

國科會 工程技術研究發展處 工業工程與管理學門規劃報告

Strategic Plan of Industrial Engineering and Management Program
for National Science and Technology Council, Taiwan, ROC.

范書愷 主編



國科會 工程技術研究發展處 工業工程與管理學門規劃報告 2020-2022

諮議委員：王國明 陳茂生 廖慶榮 張保隆 江行全 張瑞芬 蔡篤銘 王茂駿
簡禎富

學門召集人暨總編輯：范書愷

學門經理：鄭錦燦

規劃委員暨編輯委員：

人因工程與設計子學門

陳協慶（召集人） 石裕川 梁曉帆 邱敏綺 曾誰我 孫天龍 林漢裕
林志隆 盧俊銘 林瑞豐 唐硯漁

大數據分析與資訊系統子學門

李家岩（召集人） 林春成 郭人介 王 敏 江育民 車振華 鄭家年
劉建良 王姿惠 陳勝一 鍾毓驥

生產系統與智慧製造子學門

曹譽鐘（召集人） 王逸琦 吳政鴻 楊大和 張永佳 王孔政 王宏鏞
葉承達 曾明朗 梁韻嘉 陳宗輝

作業研究與決策科學子學門

張國浩（召集人） 林希偉 楊朝龍 蔡佩芳 王逸琳 張秉宸 藍俊宏
孔令傑 楊東育 陳子立 陳世彬

服務系統與科技管理子學門

洪一薰（召集人） 陳文智 林真如 邱銘傳 王建智 黃誠甫 林仁彥
郭財吉 李曉惠 吳政翰 謝益智

前瞻議題與新興科技

曾元琦（召集人） 吳吉政 洪一薰 翁紹仁 張國浩 郭財吉 曾明朗
黃欽印 蘇國璋 陳協慶 曹譽鐘 陳一郎 陳敏生 袁千雯 林伯鴻

執行編輯：林國平（總編輯）

黃澄瑛 黃誠甫 任志宏 王怡然 鄭錦燦

助理編輯：陳思儀

序言：工業革命、工工先行

「工業工程與管理學門」自 1992 年成立至今，在政府研發資源持續投入、國科會長官們的支持，以及歷任學門召集人與領域先進的奉獻和努力下，已成為台灣工業工程與管理領域推動前瞻研究、人才培育、產學合作和國際學術交流的重要平台，使工業工程與管理學門成為重要研發領域和活躍的學術社群，持續創造產業貢獻和國際影響力。

因應全球經濟和產業結構的快速變遷，以及人口老化與少子化的影響，世界大國重回製造，紛紛提出製造戰略，爭奪下一代製造的主宰。隨著人工智慧、大數據、5G、邊緣計算、物聯網、機器人等日新月異的科技，產業生態與價值鏈即將因下一次「工業革命」而重新解構，台灣產官學研應該思考適合的製造戰略與升級轉型路徑。工業工程與管理學門的角色更為關鍵，未來研究方向和人才培育亟需革新思維。

工業工程與管理學門繼往開來，本次規劃報告承接第九屆規劃報告書進行增修改版，擴充各子學門範圍、重建各領域關聯之研究架構、更新重點研究方向和分工，並配合國科會工程處增加「前瞻議題與產學發展」的組織分工，鼓勵跨領域跨學門整合，並組織團隊爭取重大科研計畫：

- E5015 人因工程與設計 (Ergonomics and Design)
- E5016 大數據分析與資訊系統 (Big Data Analytics and Information System)
- E5022 生產系統與智慧製造 (Production System and Intelligent Manufacturing)
- E5026 作業研究與決策科學 (Operations Research & Decision Sciences)
- E5027 服務系統與科技管理 (Service System and Technology Management)
- 前瞻議題、新興科技與產學發展

學門各領域專家、學者、先進擔任規劃委員、複審委員及各種學術服務，讓學門得以蓬勃發展。規劃委員持續就國際前瞻研究議題和台灣產業需求交流討論，國科會鄭錦燦經理協助資料蒐集、編輯團隊的分工合作。衷心感謝 林敏聰副主委、徐碩鴻前司長、廖婉君前司長、李志鵬處長以及國科會長官們對工業工程與管理學門的大力支持，領域先進與規劃委員們的付出與貢獻，著墨細述，斟酌再三，方能完成工業工程與管理學門規劃報告書。懇請各界學界先進不吝賜教，疏漏之處敬請見諒。



敬上

2022 年 12 月 17 日

目錄

第一章 緒論.....	5
1.1 工業工程與管理學門概況.....	5
1.2 學門規劃目標.....	9
1.2.1 人因工程與設計子學門.....	10
1.2.2 大數據分析與資訊系統子學門.....	10
1.2.3 生產系統與智慧製造子學門.....	11
1.2.4 作業研究與決策科學子學門.....	11
1.2.5 服務系統與科技管理子學門.....	12
1.2.6 前瞻議題與新興科技.....	13
1.3 學門研究成果及獎項.....	15
第二章 人因工程與設計子學門.....	16
2.1 人因工程與設計子學門簡介.....	16
2.2 人因工程與設計子學門研究專長與重點方向.....	28
2.2.1 生物力學與人體計測.....	28
2.2.2 安全與衛生.....	28
2.2.3 人機系統.....	29
2.2.4 宏觀人因工程.....	29
2.2.5 產品與系統設計.....	29
2.2.6 感性工程.....	29
2.2.7 情緒與生活經驗.....	30
2.3 人因工程與設計子學門未來研究方向與重點.....	31
2.3.1 以人為本的人工智慧.....	33
2.3.2 智慧生活環境與空間.....	35
2.3.3 大數據為基的生活體驗.....	37
2.3.4 安全與健康科技.....	39
2.3.5 高齡社會的人因議題.....	40
2.3.6 新興產業發展.....	41
第三章 大數據分析與資訊系統子學門.....	44
3.1 大數據分析與資訊系統子學門簡介.....	44
3.2 大數據分析與資訊系統子學門研究專長與重點方向.....	44
3.2.1 統計分析.....	45
3.2.2 資料科學與大數據分析.....	46
3.2.3 產品與服務實現技術.....	50
3.2.4 企業電子化.....	51
3.2.5 決策資訊系統與數位決策.....	57
3.2.6 資通訊技術在工業工程與管理之應用.....	60
3.3 大數據分析與資訊系統子學門未來研究方向與重點.....	68
3.3.1 組合優化.....	69
3.3.2 物聯網與虛實整合.....	70
3.3.3 生物資訊與醫療資訊.....	71
3.3.4 碳中和與能源管理.....	72
3.3.5 大數據分析與前後端趨勢.....	72

3.3.6	自然語言與語音處理.....	74
3.3.7	物件偵測與行動運算.....	75
3.3.8	數位金融發展與應用.....	76
第四章	生產系統與智慧製造子學門.....	77
4.1	生產系統與智慧製造子學門簡介.....	77
4.2	生產系統與智慧製造子學門研究專長與重點方向.....	78
4.2.1	製造策略.....	78
4.2.2	供應鏈管理.....	78
4.2.3	生產系統分析、設計、規劃與管理.....	81
4.2.4	精實管理.....	82
4.2.5	智慧生產.....	83
4.2.6	全面品質管理與可靠度.....	86
4.2.7	循環經濟與永續.....	88
4.3	生產系統與智慧製造子學門未來研究方向與重點.....	90
4.3.1	永續供應鏈.....	90
4.3.2	智慧物流.....	92
4.3.3	共享經濟.....	93
4.3.4	大數據分析與應用.....	96
4.3.5	物聯網.....	99
4.3.6	數位轉型.....	99
第五章	作業研究與決策科學子學門.....	103
5.1	作業研究與決策科學子學門簡介.....	103
5.2	作業研究與決策科學子學門研究專長與重點方向.....	104
5.2.1	網路分析與可靠度.....	106
5.2.2	隨機模型.....	112
5.2.3	等候理論.....	116
5.2.4	決策分析.....	118
5.2.5	柔性計算與啟發式演算法.....	119
5.2.6	人工智慧在工業工程與管理之應用.....	121
5.2.7	人工智慧可釋性與決策科學.....	124
5.2.8	整數規劃與組合最佳化.....	128
5.2.9	賽局理論.....	129
5.2.10	排程與存貨系統.....	132
5.3	作業研究與決策科學子學門未來研究方向與重點.....	134
5.3.1	隨機動態規劃.....	134
5.3.2	預測性維修.....	136
5.3.3	智慧運輸系統.....	137
5.3.4	智能化無人載具之研究.....	139
5.3.5	行為作業管理/行為作業研究.....	142
5.3.6	作業研究於醫療與健康照護之應用.....	146
5.3.7	作業研究於能源永續系統之應用.....	149
5.3.8	作業研究於疫情期間醫療資源規劃策略之應用.....	152
第六章	服務系統與科技管理子學門.....	154
6.1	服務系統與科技管理子學門簡介.....	159
6.1.1	服務科學研究的發展趨勢.....	160

6.1.2	科技管理研究的發展趨勢	161
6.2	服務系統與科技管理子學門研究專長與重點方向	161
6.2.1	服務系統分析與設計	162
6.2.2	服務資源規劃與績效管理	162
6.2.3	高齡社會福祉科技與長期照護系統	163
6.2.4	服務系統智能化	164
6.2.5	科技策略與數位轉型	165
6.2.6	科技與工程管理	166
6.2.7	服務系統與科技管理整合議題	166
6.3	服務系統與科技管理子學門未來研究方向與重點	167
6.3.1	新科技產生新商業模式後的營運管理	168
6.3.2	結合人工智慧的客觀績效評估與應用	169
6.3.3	高齡社會服務系統研究	169
6.3.4	科技導入服務系統議題	170
6.3.5	製造業的服務系統	172
6.3.6	永續經營與能源轉型服務系統	172
6.3.7	綠色運輸服務系統	174
第七章	前瞻議題與新興科技	176
7.1	前瞻議題與新興科技簡介	176
7.2	前瞻議題與新興科技研究專長與重點方向	176
7.2.1	循環經濟、永續與 SDGs	176
7.2.2	智慧健康與醫療	178
7.2.3	智慧農業	179
7.2.4	元宇宙/擴增/虛擬實境與使用者體驗	180
7.2.5	人本人工智慧科技	182
7.2.6	遠距合作與工作科技	183
7.3	前瞻議題與新興科技未來研究方向與重點	184
7.3.1	循環經濟、永續與 SDGs	184
7.3.2	智慧健康與醫療	185
7.3.3	智慧農業	187
7.3.4	元宇宙/擴增/虛擬實境與使用者體驗	187
7.3.5	人本人工智慧科技	189
7.3.6	遠距合作與工作科技	190
7.3.7	國際合作	190
第八章	未來展望	193
第九章	結論：產業維新與台灣企業智能化	196
	參考文獻	198

第一章 緒論

1.1 工業工程與管理學門概況

因應全球經濟、產業結構的快速變遷，隨著物聯網、大數據、工業 4.0、機器人及人工智慧新科技的日新月異，產業生態與價值鏈即將重新解構，未來研究方向亟需關鍵性的革新與思維。人工智慧是未來產業發展最重要的技術，在發展策略上應採用軟硬整合與智慧科技驅動創新應用並重的新思維，將我國硬體製造優勢與雲端大數據技術融合，積極研發人工智慧技術，並結合社會生活、醫療照護、商業金融、綠能環保、農業生技、智慧製造、數位政府、智慧城市等領域，創造創新智慧應用，提升國際競爭力。

隨著知識與創新經濟時代的來臨，產業界面臨轉型與創新加值的壓力日漸俱增，業界對於工業工程與管理專業知識、管理技術以及人才培育的需求也愈加急切。鑒此，工業工程與管理學門配合國科會重點研發方向與需求，更新擴大大學學門的範圍，納入智慧製造、大數據分析、智慧醫療等領域。綜觀受補助計畫中，在工業工程上的技術創新、製造管理、生產系統應用、決策系統支援、智慧製造、大數據分析、智慧醫療等相關領域上都有極其優異的表現。各計畫成果除了刊登在國內外專業期刊外，也榮獲許多獎項殊榮，國科會也以工業工程學系主導之系統應用範例作為標竿，更加突顯工業工程領域知識技術對於國內產業升級的重要性，希望藉此提升台灣智能製造及先進製造技術的競爭優勢。

國科會「工業工程與管理學門」自 1992 年成立至今已經超過 25 年，在歷屆召集人王國明、陳茂生、廖慶榮、張保隆、江行全、張瑞芬、蔡篤銘、王茂駿、簡禎富、范書愷與學門同仁先進同心努力下，已是相關領域的重要學術社群，對於台灣工業工程與系統管理的研究和實證均有重要的貢獻和影響。

依據 2022 年教育部統計，工業工程與管理相關系所約 65 所；師資數共約 3,082 位；學生數共約 35,305 位。其中 2022 年執行國科會工工學門研究計畫之研究人口總計約為 1,078 人，其中教師級（教授、副教授、助理教授）研究人力約有 360 位，其餘博士生研究人員有 135 位，碩士生研究人員有 583 位，詳細近十年之參與研究計畫人數統計（如表 1.1）。由數據顯示，受到少子化的衝擊及國際高教環境競爭的影響，工工學門及學門相關學系之師生數，呈現逐年減少的趨勢。因此，學門一直以來，除在既有研究領域扎根外，也不斷積極拓展跨領域之結合與應用，發掘前瞻議題並掌握國際發展趨勢，使學門的推動和發展更與時俱進。

表 1.1 近十年參與工工學門專題計畫人數統計表（資料來源：國科會<原科技部>）

年度	教授	副教授	助理教授	博士生	碩士生
2022	190	71	67	135	583
2021	221	79	60	146	502
2020	186	91	74	155	586
2019	174	91	65	136	566
2018	186	107	67	144	586
2017	208	109	82	174	665
2016	221	117	94	198	688
2015	233	128	108	238	791
2014	239	134	121	255	841
2013	271	148	128	265	932

註：含一般專題、優秀年輕學者及隨到隨審計畫

在專題研究計畫執行部分，其中包括整合型與個別型研究計畫，2022 年共有 502 件個別型與整合型研究計畫提出，其中 270 件獲得審核通過，提案通過率約為 53.98%，近十年詳細統計數據（如表 1.2）。

表 1.2 近十年專題計畫申請數及通過率統計表（資料來源：國科會<原科技部>）

年度	申請件數	通過件數	通過率 (%)	總通過預算 (百萬)	平均預算 (千元/件)
2022	502	270	53.98	175	650
2021	489	269	55.01	210	780
2020	500	275	55.00	218	793
2019	482	265	55	190	718
2018	502	270	54	175	650
2017	570	314	55	195	620
2016	590	327	55.4	202	617
2015	630	352	55.9	211	599
2014	717	395	55.1	237	600
2013	744	416	55.9	251	603

註：1.不含新進學人隨到隨審計畫；2.含預核計畫

在產學合作計畫方面，包含應用型、開發型產學合作計畫，2022 年工工學門共提出 67 件，其中有 42 件獲得審核通過，通過率約 62.7%，詳細統計數據（如表 1.3）。從下述資訊可說明，在國科會改制為科技部之後，十分鼓勵產業與學界間的合作，期能幫助台灣縮短產學落差，提振消沉已久的科技產業實力。

表 1.3 近五年產學合作計畫申請數及通過率統計表（資料來源：國科會<原科技部>）

年度	產學計畫類型		申請件數	通過件數	通過率 (%)	總通過預算 (百萬)	平均預算 (千元/件)
2022	-	67	42	62.7	24.58	584	2022
2021	第一期		35	22	62.9	11.6	531
	第二期		31	19	61.3	11.1	583
2020	應用型	第一期	34	22	65	12.38	563
		第二期					
	開發型	第一期	7	5	72	4.48	897
		第二期					
一般型	第二期	40	26	65	15.89	611	
2019	應用型	第一期	27	20	74.1	10.6	531
		第二期					
	開發型	第一期	5	5	100	5.8	1152
		第二期					

2018	應用型	第一期	39	25	64	12.9	518
		第二期	26	18	69	9.8	546
	開發型	第一期	6	4	67	3.0	761
		第二期	8	6	75	4.8	792

註：2022 年度第二期計畫尚在審查中

2022 年申請優秀年輕學者研究計畫案件共 16 件，其中有 4 件獲得審核通過，通過率約 18.8%，詳細統計數據（如表 1.4）。

表 1.4 近年優秀年輕學者研究計畫申請數及通過率統計表（資料來源：國科會〈原科技部〉）

年度	申請件數	通過件數	通過率 (%)	總通過預算 (百萬)	平均預算 (千元/件)
2022	16	3	18.8	3.4	1145
2021	20	4	20	4.1	1024
2020	22	5	23	4.3	868
2019	17	4	23.5	3.7	925
2018	19	3	15.8	2.4	795
2017	19	5	26.4	4.1	817
2016	18	4	22.3	3.2	807
2015	30	7	23.3	6.2	880
2014	23	5	21.7	3.8	754
2013	34	9	26.5	5.7	718
2012	42	10	23.8	6.2	624

註：2012 年度開始徵件計畫

因此，學門近年來，除在既有研究領域扎根外，也不斷積極拓展跨領域之結合與應用，發掘前瞻議題並掌握國際發展趨勢，使學門的推動和發展更與時俱進。

105 年度之工業工程與管理學門成果發表會，假國立屏東科技大學國際會議廳舉行，其主題聚焦於「工業工程前瞻研究與智慧製造議題」。於上午安排「工業工程前瞻研究與智慧製造」專題演講，邀請 Georgia Tech 執行長王緒斌講座教授講授「工業工程領域國外前瞻研究」主題，以及邀請行政院科技會報副執行秘書暨自動化學門召集人葉哲良特聘教授講授「智慧機械未來趨勢發展」。針對運用工業工程知識技術，於國內產業創新發展之策略進行探討，活化工業工程在智慧製造之發展空間，並促進產業結構優化。下午場次為子學門之成果發表會，以及邀請國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心針對工業工程與管理專利領域作檢索介紹，針對學術應用、產學合作、產業升級等重要議題進行分析，期盼與會者能從產業、學術界代表的實務參與經驗分享中，尋找適合自身發展的契機，期能在產業升級與人才培育方面發揮更具體的功能與效益。希望透過活動能對國內工業工程領域之專家學者以及未來莘莘學子在研究思維與方法上有所啟發。

同時，受到全球人口老化與少子化的影響，就業與勞動人口數逐年下滑，將造成全面性之生產力危機。故各國積極推動人工智慧、數位製造、智慧製造等相關政策，如德國推動工業 4.0、美國有先進製造、中國更提出製造 2025 計畫，由此可知，智能製造

及先進製造技術的優化，是刻不容緩的議題。

因此，於 106 年度學門成果發表會，假國立臺北科技大學國際會議廳舉辦，其主題仍聚焦於「工業工程與智慧製造」。上午邀請 Applied Soft Computing (ASOC) 期刊編輯 Mario Köppen 教授講授「Centered Computing: Novel Paradigms, Challenges, and Applications」主題，以及邀請國立台灣大學資訊工程學系系主任暨智慧計算學門召集人莊永裕教授講授「智慧計算技術的現況與挑戰」。希冀藉由邀集產官學研界貴賓與專家蒞臨與談、分享相關研究發展趨勢，並與參與之學者進行探討及交流，構思工業工程領域在智慧製造與前瞻研究之下的新角色與發展契機。下午則安排四場工業工程與管理論壇，主題分別為：智慧製造、智慧醫療、長照與服務系統、VR & AR 與人因設計以及循環經濟與供應鏈，每個論壇皆針對工業工程在智慧製造、智慧醫療、長照與服務系統、VR & AR 與人因設計及循環經濟與供應鏈跨領域的合作研究議題進行討論。希望促進與談貴賓以及專家學者們能有更多的互動與討論，激發更多工業工程跨領域的研究火花。

工業工程的角色一向是建立在人與生產系統之間，目標在於增加生產效率與品質，也同時降低人員的負擔。近年來人工智慧、智慧製造及相關產業政策的提出，就是為了要確保產業獲利以鞏固其國際企業地位。然而，企業甚至國家間之競爭並未因政策的確立而得以平穩，另一波因為自動化而對於人員角色的重新規劃已然帶來更多的不安。因此，對於人的照顧，為工業工程領域人員的使命與社會責任。

台灣新人口情勢的發展，朝向少子化、人口高齡化，造成工作者負擔增加等影響，伴隨衍生的問題包括勞動力及勞動參與率下降、老人長期照護與安養供需、及消費與投資活動減少等趨勢，進而產生全面性之生產力危機。政府自 2016 年推出新南向政策以茲因應，乘著東協與南亞人口結構年輕，中產階級大量興起，內需消費潛力龐大，可全方位建構發展台灣新經濟，成為造福社會的主流勢力。

因此，107 年度學門成果發表會假亞洲大學國際會議中心舉辦，主題聚焦為「Taiwan × ASEAN」，上午邀請國立成功大學蔡明祺講座教授分享「智慧製造與產學合作創新經驗分享」、韓國首爾大學工業工程系主任兼韓國工業工程學會理事長 Ilkyeong Moon 教授講授「Inventory Management in Manufacturing Sector: Case Studies of Best Business Practices in Korea」以及捷克 Czech Institute of Informatics, Robotics and Cybernetics (CIIRC CTU) Ondrej Velek 主任講授「CIIRC & Industry 4.0; the Czech approach to Advance Industrial Production」等主題。下午則安排「期刊主編論壇」以及「Taiwan × ASEAN 國際學術論壇」，邀請菲律賓、柬埔寨、印尼、越南、日本、泰國、馬來西亞、印度等東南亞國家之專家學者蒞臨與談、分享，並與參與之學門先進進行探討及交流，期盼藉由國際專家學者和與會者之互動，促進工業工程與國際接軌之發展，構思當代工業工程領域的責任與機會。

因此，108 年度學門成果發表會假元智大學舉辦，本成果發表會主要目的在於促進學術界之交流，同時藉由與會之產、官、學、研各領域的專家對工業工程與管理相關領域之研究成果，及國內外重要議題進行經驗分享與專業交流，期能學術界執行國科會專題研究計畫之相關成果，能為產業領域所應用，其主題聚焦於「工業工程前瞻研究與智慧製造議題」，並邀請國內外專家學者專題演講和學門成果重要政策方向說明，以及及各子學門研究方向之討論。

因此，109 年度學門成果發表會假國立高雄科技大學舉行，預計於上午時段將安排三場「工業工程與管理子學門」專題演講 I，第一場邀請先知科技股份有限公司 高季安總經理、春雨工廠股份有限公司 陳玉松榮譽顧問以及佐翼科技有限公司 劉峻林執行長講授「生產系統與智慧製造」主題，由蘇明鴻教授擔任「生產系統與智慧製造」之主持人及由曹譽鐘教授擔任「生產系統與智慧製造」之引言人；第二場邀請國家災害防救科技中心 蘇

文瑞研究員、國立臺北科技大學工業工程與管理學系 陳子立教授以及國立臺灣科技大學工業管理系 楊朝龍教授講授「作業研究與決策科學」，主題由鍾毓驥教授擔任「作業研究與決策科學」之主持人及由張國浩教授擔任「作業研究與決策科學」之引言人；第三場邀請國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 姚銘忠教授、國立臺灣大學工學院工業工程學研究所 吳政鴻教授以及基元會計師事務所 劉福運所長講授「服務系統與科技管理」，主題由王嘉男教授擔任「服務系統與科技管理」之主持人及由洪一薰教授擔任「服務系統與科技管理」之引言人，希冀藉由邀集產官學研界貴賓與專家蒞臨與談、分享相關研究發展趨勢，並與參與之學者進行探討及交流，期盼藉由產官學及與會者之互動，構思工業工程領域在智慧製造與前瞻研究之下的新角色與發展契機，下午則安排三場工業工程與管理學子學門專題論壇 II，主題分別：前瞻議題與新興科技、人因工程與設計及大數據分析與資訊系統，每個論壇可針對工業工程在前瞻議題與新興科技、人因工程與設計及大數據分析與資訊系統跨領域的合作研究議題進行討論。希望促進與談貴賓以及專家學者們能有更多的互動與討論，激發更多工業工程跨領域的研究火花。

因此，110 年度學門成果發表會假東海大學舉行，「110 年度國科會部工程處 工業工程與管理學門 專題計畫研究成果發表會」。這二年台灣產業開始呈現久違的蓬勃發展氣氛，大量湧回台灣的資金，帶動我國產業的產能並且推動產業升級，今年則是由東海大學工業工程與經營資訊學系接受國科會工程處工業工程與管理學門委託共同主辦。110 年度工業工程與管理學門成果發表會主要目的在於促進產學專家之交流，藉由專題計畫展示建置學門學術交流平台，深入探討工業工程與管理學門的重要議題，吸引超過 247 位專題計畫主持人以及專家學者參加。會議將安排台灣大學蔡孟勳特聘教授與漢翔航空工業股份有限公司董事長胡開宏博士擔任演講貴賓，分別針對國內前瞻研究進行主題講座。此外，亦安排台灣引興股份有限公司 王慶華董事長、台中榮民總醫院 吳杰亮副院長和睿騰創意有限公司 張力和總經理分別針對智慧製造、智慧醫療、智慧光學進行專題演講分享，並同時安排工業工程與管理所有子學門的學者專家進行成果報告與未來趨勢展望。另外，將安排產、官、學、研各領域的專家對工業工程與管理相關領域之研究成果，以及國內外重要議題進行心得分享與專業交流，並深入探討工業工程與管理重要議題，以虛擬展場展示專題計畫成果，評選出最佳計畫成果頒發獎勵，以及相關政策說明，期能增進專題計畫研發成效與擴展產學計畫的廣度。敬邀 蒞臨指導，共襄盛舉。

1.2 學門規劃目標

工業工程與管理 (IEM) 領域之技術與知識可被廣泛應用於提升各類型製造業與服務業之營運效率，對國家經濟之長足成長及競爭力強化之助益可謂深遠，本學門負責規劃與推動工業工程與管理之發展方向與重點研究領域。根據年度之學門規劃及近年研究學者整體發展依領域專長別，配合國科會重點研發方向與需求，工業工程與管理學門更新擴大子學門的範圍 (代碼不變)，以擴大工工學門參與國家重要科研的貢獻和影響力。學門五大子學門領域如下：

- E5015 人因工程與設計 (Ergonomics and Design)
- E5016 大數據分析與資訊系統 (Big Data Analytics and Information System)
- E5022 生產系統與智慧製造 (Production System and Intelligent Manufacturing)
- E5026 作業研究與決策科學 (Operations Research & Decision Sciences)
- E5027 服務系統與科技管理 (Service System and Technology Management)

本年度工業工程與管理學門整體規劃發展架構參考並延伸自 105 年規劃報告 (科技部工業工程與管理學門一百零五年度學門規劃報告，2016) 如圖 1.1。今日的產品與服務除了原有生產製造系統為本之產業根基外，以人為本的服務與設計儼然形成趨勢與主流脈動，不管是提供實體的產品或無形的服務，皆須以服務系統與科技管理為架

構主體來涵蓋，洞悉顧客需求並提供優質的產品與服務，始能達到以人為本的終極目標。因此，也更突顯出必須善用人因工程與設計的專業知識，融入於產品與服務系統之設計中，體驗貼近顧客需求為導向的創新商品。由於現今的商品不僅提供無形服務之外，優質的實體產品也是相當重要的部分，為強化整體商品的競爭力，生產系統之優化與智能化仍為工業工程與管理學門不斷追求的核心價值與目標。為提升製造業與服務業之整體競爭力，對於基礎研究方法、決策模式與先進資訊技術的研究、應用與精進，亦即作業研究與決策科學及大數據與資訊系統兩個子學門，亦扮演著關鍵性的角色，使其能改善與強化各類型產業之整體競爭實力。經由工業工程與管理各子學門延伸的前瞻議題與新興科技研究，必能落實工業工程與管理的產業應用及產業化，為我國整體經濟，創造其商業與科技發展之顯著價值。

1.2.1 人因工程與設計子學門

人因工程與設計子學門研究專長與重點方向包括：

1. 生物力學與人體計測 (Biomechanics and Anthropometry)
2. 安全與衛生 (Safety and Health)
3. 人機系統 (Human-Machine System)
4. 宏觀人因工程 (Macro Ergonomics)
5. 產品與系統設計 (Product and System Design)
6. 感性工程 (Kansei Engineering)
7. 情緒與生活經驗 (Emotion and Living Experience)

近年來人工智慧、機器學習、擴增實境、混合實境與虛擬實境等技術的快速發展，雖然大幅地改變人類的工作與生活方式，但不變的共通趨勢仍就是以人為本、使用者中心的概念，貫穿所有健康、舒適、安全、便利等人性化議題，凸顯現今「人因工程與設計」子學門在跨領域創新應用的特色。回顧過去、展望未來，因應全球高齡社會、科技生活、環境議題等發展趨勢，「滿足目前以及未來人類需求」是科技發展的主要方向；因此，許多先進國家已將「以人為本」視為未來產業科技發展的最高準則。

本章節彙整並說明人因工程與設計未來推動重點方向，內容包括：以人為本的人工智慧、智慧生活環境與空間、大數據為基的生活體驗、安全與健康科技，以及高齡社會的人因議題，最後並就新興產業提出重要的發展方向。

本規劃期待結合國內人因與設計領域專家學者的力量，持續對發展中產業深化人因，對新興產業普及人因，並對全新產業開拓人因，以促進我國產業的提升，強化未來本子學門在特定主題或產品設計之產、官、學、研的合作。

1.2.2 大數據分析與資訊系統子學門

大數據分析與資訊系統子學門研究專長與重點方向包括：

1. 統計分析 (Statistical Analysis)
2. 資料科學與大數據分析 (Data Sciences and Big Data Analytics)
3. 產品與服務實現技術 (Product and Service Realization Technologies)
4. 企業電子化 (Electronic Business)
5. 決策資訊系統與數位決策 (Decision Information System and Digitalized Decision)
6. 資通訊技術在工業工程與管理之應用 (Applications of ICT Technologies for Industrial Engineering and Management)

大數據分析、雲端運算、物聯網、人工智慧等新興資通訊科技的迅速發展，同時也帶動各類產業端的應用。大數據分析是透過快速整合大量、異質性的資料，從中發現隱

藏的特徵與樣型，以協助數位決策；雲端運算藉由不同運算平台加速運算效能，增進生產力與效率；物聯網技術整合各種終端電子裝置，蒐集與匯入大量資訊；人工智慧技術促進電腦與運算裝置產生邏輯分析、學習、推理、調適、決策、物件識別甚至決策能力。大數據分析與資訊系統子學門之相關研究，除了持續關注先進資通訊技術在產業端、中介端、消費端等領域研究外，可透過平台開發串接企業內外部大量資料，有效管理問題、模型與數據間的整合。預測是過程，決策是目的。經由統計分析、資料科學與大數據分析方法從中萃取有用的資訊，建構預測模型，協助企業在產品與服務實現，以及企業電子化等應用。更進一步建構決策資訊系統以輔助數位決策，並整合各種新興資通訊技術於工業工程與管理之應用。

1.2.3 生產系統與智慧製造子學門

生產系統與智慧製造子學門研究專長與重點方向包括：

1. 製造策略 (Manufacturing Strategy)
2. 供應鏈管理 (Supply Chain Management)
3. 產系統分析、設計、規劃與管理 (Analysis, Design, Planning and Management of Production Systems)
4. 精實管理 (Lean Management)
5. 智慧生產 (Intelligent Production)
6. 全面品質管理與可靠度 (Total Quality Management and Reliability)
7. 循環經濟與永續 (Circular Economics and Sustainability)

生產系統與智慧製造的研究目的是探討並實踐以最有效率的方式，設計、製造並以最便捷方式配送顧客所要求的產品或服務，任何關於生產、監控、品質、成本、配送與服務的各種設計、規劃、管理問題皆屬本子學門研究的對象。近幾年新冠疫情影響各國，全球貿易環境面臨半導體晶片缺貨、物流缺櫃、原物料上漲等問題，再加上中美貿易戰、烏俄戰爭美金節節升息及通貨膨脹等事件所帶來的經濟影響，全球性供應鏈和市場面臨多方危機。企業必須著重生產系統與智慧製造的管理，並強化數位、分析、決策、協作與永續的相關能力，方能滿足顧客的多樣化需求與因應市場快速性的變化及不確定風險。長期以來本子學門的主要研究問題包括製程改善與檢測自動化、品質工程與製程能力提升、生產效率改善與產能規劃、物流倉儲與全球運籌、存貨理論與需求之即時服務、以及供應鏈管理以期效率之提升。隨著新產品、新設備、新科技與新製程之出現，或因社會和消費者對於新世代產品有新的要求與期待，新的生產問題與其新的生產技術也不斷進行革新。近年來由於資通訊技術之快速發展，裝置感測器所產生之大數據可以即時提供分析並進行決策，智慧製造與數位孿生之概念提供未來智慧工廠之最佳藍圖。綠色供應鏈管理/企業永續也在循環經濟的框架下持續推展，在未來企業應更加重視價值創新、產品定位、智能生產與能源永續，綜合以上世界潮流之近況及觀察國內近年之產業發展，生產系統與智慧製造子學門的未來推動重點方向有五個重要的研究方向：(1)永續供應鏈；(2)智慧物流；(3)共享經濟；(4)大數據分析與應用；(5)物聯網；(6)數位轉型。

1.2.4 作業研究與決策科學子學門

作業研究與決策科學子學門研究專長與重點方向包括：

1. 網路分析與可靠度 (Network Analysis and Reliability)
2. 隨機模型 (Stochastic Modeling)
3. 等候理論 (Queueing Theory)
4. 決策分析 (Decision Analysis)

5. 柔性計算與啟發式演算法 (Soft Computing and Heuristics)
6. 人工智慧在工業工程與管理之應用 (AI Applications for Industrial Engineering and Management)
7. 人工智慧可釋性與決策科學 (Explainable Artificial Intelligence and Decision Sciences)
8. 整數規劃與組合最佳化 (Integer Programming and Combinatorial Optimization)
9. 賽局理論 (Game Theory)
10. 排程與存貨系統 (Scheduling and Inventory Systems)

作業研究 (Operations Research) 是解決最佳化問題的方法，可視為兼具「科學」與「藝術」之學問——因為求解決策問題時涉及數學技巧與策略，所以是一種「科學」；但在建立模式之前與求解之後的執行則涉及決策者的創造力與個人能力，所以同時也是「藝術」。作業研究自 1940 年代發展以來，一直是跨領域、且在實務上被廣泛應用的學科，其方向隨著時代演進與產業需求而不斷地調整。由於資訊科技的蓬勃發展，新興的研究主題如雲端運算系統、(綠色) 供應鏈管理、全球運籌管理、知識管理及服務科學隨之興起，作業研究的應用範疇也因而繼續擴大。傳統作業研究的重心放在尋求解題方法，例如數學規劃等最佳化之研究；近年來因為電腦計算能力的提升，輔以平行運算與網格運算等技術，使得在過去屬於較耗時的運算方法，變得可以在合理的時間之內求解問題。此外，作業研究不斷地與其他學科進行結合，因此在追尋求解的新方法之外，如何面對各種產業問題，於合理的時間提出可行且品質穩定的方案，儼然成為更務實的做法。

因此，作業研究已不僅僅侷限於工程與管理上的應用，而是逐漸將觸角深入其他更廣泛的應用領域，迫切需要學者們整合其他應用的領域或是產業，導入新知並推陳出新，如此作業研究的未來發展將指日可待。

1.2.5 服務系統與科技管理子學門

服務系統與科技管理子學門研究專長與重點方向包括：

1. 服務系統分析與設計 (Analysis and Design of Service Systems)
2. 服務資源規劃與績效管理 (Service Resource Planning and Performance Management)
3. 高齡社會福祉科技與長期照護系統 (Gerontechnology and Long-Term Care Systems)
4. 服務系統智慧化 (Intelligent Service Systems)
5. 科技策略與數位轉型 (Technology Strategies and Digital Transformation)
6. 科技與工程管理 (Technology and Engineering Management)
7. 服務系統與科技管理整合議題 (Integrated Topics on Service System and Technology Management)

臺灣在邁入已開發國家之際，服務業已經超越製造業成為發展最快速的產業，在三大產業中，服務業的 GDP 產值比重最高，將近整體產值的三分之二，且服務業就業人口比例，亦呈現大幅成長之趨勢，經濟型態進入以服務業為主的時代。唯近三年內，製造業的發展突出，在就業人數無明顯增長的情況下，依然表現強勁，可稱為過去政策與轉型計畫的優良成果。相較之下，服務業雖有成長，卻不如工業成長表現亮眼，顯示在服務業也需要新的轉型計畫，提供產業升級的可能性。面對服務業轉型時代的來臨，如何將工業工程在製造業上解決問題的經驗及技術，轉換到服務業問題之解決方法為服務系統的主要研究課題。就科技管理而言，包含以科技提升各個產業面的管理流程。

科技發展與科技變遷對於經濟社會的進步有著極深遠的影響，科技發展的速度與變異，為產業內的企業個體彼此激烈競爭下的產物，企業面臨市場環境的不確定性，必須強化其科技預測與規劃以及科技能力分析。根據子學門七大研究專長與重點方向以及提出七項未來推動重點方向，包括「新科技產生新商業模式後的營運管理」、「結合人工智慧的客觀績效評估與應用」、「高齡社會服務系統研究」、「科技導入服務系統議題」、「製造業的服務系統」、「永續經營與能源轉型服務系統」、「綠色運輸服務系統」，供學門專家參酌並深入研究。

1.2.6 前瞻議題與新興科技

前瞻議題與新興科技子學門研究專長與重點方向包括：

1. 循環經濟 (Circular Economy)
2. 能源轉型與永續發展 (Energy Transition and Sustainable Development)
3. 社會責任與永續目標：從 CSR、ESG 到 SDGs (Social Responsibility and Sustainability Goals: from CSR, ESG to SDGs)
4. 智慧健康與醫療 (Smart Health and Healthcare)
5. 智慧農業 (Smart Agriculture)
6. 元宇宙/擴增/虛擬實境與使用者體驗 (Metaverse/AR/VR and User Experience)
7. 人本人工智慧科技 (Human-Centered Artificial Intelligence)
8. 遠距合作與工作科技 (Remote Collaboration and Work Technology)

地球資源有限，且近年來全世界人口快速增長，各國都市化程度亦漸趨提升，因而衍生出諸多環境問題，循環經濟的概念與運作模式逐漸受到各界重視。永續發展即滿足當代需求，同時不損及後代子孫滿足其本身需求的發展，包括經濟、社會與環境的永續。智慧農業就是在傳統農業融入科技、環保與生態等控制設施，並且連結物聯網(IoT)與大數據分析，達到與工廠生產品質、數量、交期、成本，且健康安全兼具之生產效能目標。擴增實境、虛擬實境與使用者體驗也日益受到注重。世界衛生組織 (WHO) 對「智慧醫療」定義為：「資通訊科技在醫療及健康領域的應用，包括醫療照護、疾病管理、公共衛生監測、教育和研究。」此外，物聯網、雲計算、大數據、移動網際網路、機器人、3D 列印等智慧科技也隨著邁向工業 4.0 因運而生。隨著這些前瞻議題與新興科技的演進，有必要探討工業工程在之中所能扮演的角色與可能作出的貢獻。

承上所述，詳細之說明與規劃，分別陳述於後續第二章人因工程與設計子學門、第三章大數據分析與資訊系統子學門、第四章生產系統與智慧製造子學門、第五章作業研究與決策科學子學門、第六章服務系統與科技管理子學門與第七章前瞻議題與新興科技。

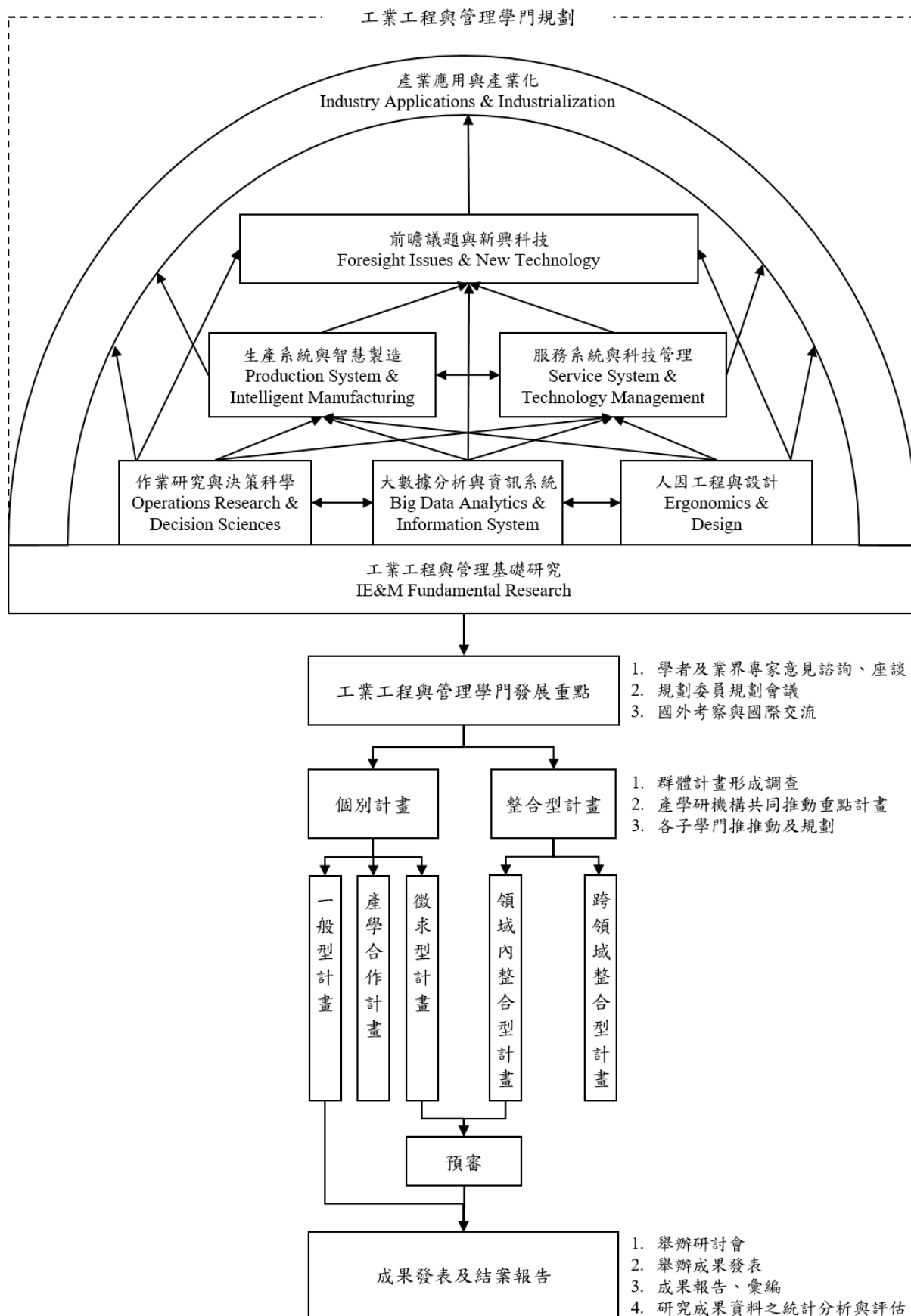


圖 1.1 工業工程與管理學門整體規劃發展架構

1.3 學門研究成果及獎項

國科會為獎勵專家學者特設立吳大猷先生紀念獎、傑出研究獎、傑出特約研究員獎、行政院傑出科技貢獻獎等諸多獎項，各獎項說明如下：

1. 吳大猷先生紀念獎：為培育青年研究人員，獎助並鼓勵國家未來學術菁英長期投入學術研究與持續提升學術表現，並紀念吳大猷先生對發展科學與技術研究之貢獻。
2. 傑出研究獎：為獎勵研究成果傑出之科學技術人才，長期從事基礎或應用研究，以提升我國學術研究水準及國際學術地位，創造社會發展與產業應用效益，展現科研成果之多元價值，增強國家科技實力。
3. 傑出特約研究員獎：為鼓勵特約研究人員投入長期性、前瞻性之研究，以帶動我國科技之發展，加速提升我國之科技水準及國際學術地位。
4. 行政院傑出科技貢獻獎：為表揚我國傑出科技人才，對國家社會所作之優異貢獻。

學門歷年獲獎紀錄如表 1.6。

表 1.6 工業工程與管理學門獲獎紀錄（資料來源：國科會<原科技部>）

國科會獎項	獲獎人
吳大猷先生紀念獎	吳建瑋 吳政翰 李家岩 侯建良 張國浩 曹譽鐘 曾元琦 廖崇碩 謝中奇 瞿志行 吳欣潔 許嘉裕 張秉宸
傑出研究獎	王小璠 王茂駿 江行全 李永輝 阮約翰 林清河 林義貴 徐世輝 桑慧敏 高 強 張百棧 張國浩 張瑞芬 曹譽鐘 陳亭志 陳茂生 陳梁軒 彭文理 曾勝滄 黃宇翔 黃惠民 葉維彰 廖慶榮 蔡篤銘 瞿志行 簡禎富 蘇朝墩 鐘崑仁 吳建瑋 李家岩
傑出特約研究員獎	王小璠 王茂駿 高 強 陳茂生 曾勝滄 黎漢林 廖慶榮 蔡篤銘 蘇朝墩 鐘崑仁 彭文理 葉維彰
行政院傑出科技貢獻獎	簡禎富

第二章 人因工程與設計子學門

人因工程與設計子學門為有效整合並加強人因工程於設計上之應用，於2001年起，將人因工程子學門更名為「人因工程與設計」子學門，涵蓋「人因工程」與「工業設計」的研究範疇。人因工程乃是應用對於人員生理、心理能力特性的相關知識以改善工作系統，使得人員能在安全、衛生、健康、舒適的情況下發揮最大工作效率，同時提高生活品質；而工業設計之主要目的是設計產品與服務，為使符合人的需求與習性，工業設計經常需要考量並應用人因工程技術。近年來各種創新與設計的領域也逐步納入了人因工程的概念與方法，今日的產品與服務所需要的人因考量已經擴大到組織與宏觀福祉層面，而設計方法與內容更不限於工業產品的設計，更加彰顯「人因工程與設計」子學門跨領域創新應用的特色。人因工程與設計子學門（E5015）將針對生物力學與人體計測（Biomechanics and Anthropometry）、安全與衛生（Safety and Health）、人機系統（Human-Machine System）、宏觀人因工程（Macro Ergonomics）、產品與系統設計（Product and System Design）、感性工程（Kansei Engineering）、情緒與生活經驗（Emotion and Living Experience）等七個研究專長與重點方向詳加說明。

2.1 人因工程與設計子學門簡介

人因工程（Human Factors/Ergonomics, HFE）起源於歐洲，發展已超過70年。最早在歐洲是英國的 Ergonomics Research Society（ERS）於1949年成立（現更名為 Chartered Institute of Ergonomics and Human Factors），隨後德國 Gesellschaft für Arbeitswissenschaft（Human Factors and Ergonomics Society for the German-Speaking Area）於1953年成立；北美洲則有美國的 Human Factors and Ergonomics Society（HFES）成立於1957年、加拿大的 Association of Canadian Ergonomists 成立於1968年；在亞洲，日本的日本人間工學會（Japan Ergonomics Society, JES）成立於1964年、韓國的人因工程學會（Ergonomics Society of Korea, ESK）成立於1982年、中國的中國人類工效學學會（Chinese Ergonomics Society, CES）成立於1989年，以及台灣的中華民國人因工程學會（Ergonomics Society of Taiwan, EST）成立於1993年。基於各國專業人士對於人因工程的國際組織之期待，國際人因工程學會聯合會（International Ergonomics Association, IEA）早在1959年建立，如今將屆滿60週年，總計有52國的聯邦學會（Federated Society），專業人才漸增、研究議題愈趨多元，在廣度與深度的發展均相當可觀。

人因工程（Human Factors Engineering）是美、加地區對人因工程學的稱呼，在歐洲則廣泛地使用具有「工作法則」含義的 Ergonomics 稱呼之。人性因素、人因工程、生物力學（Biomechanics）、生物工程學（Bioengineering）、人體工學（Human Engineering）以及工程心理學（Engineering Psychology）在文獻上常常被交互使用。國際人因工程學會聯合會（Iea）將人因工程定義為：「關注人類與系統中其他元件間之互動的學科，並應用理論、原則、資料與方法，以達到人員福祉及系統整體績效的最佳化。」其中，又分為實體人因工程（Physical Ergonomics）、認知人因工程（Cognitive Ergonomics），以及組織人因工程（Organizational Ergonomics）等三個子專業領域。而人因工程專家的主要貢獻為任務、工作、產品、環境、系統等的設計與評估，以便相容於使用者的需求、能力及限制；換言之，人因工程在本質上就是「為使用者設計」的工程方法。

談到近代設計的開展，一般認為是始於工業革命，之後有美術工藝運動、新藝術運動、德國工作聯盟（Deutscher Werkbund, DWB），直到包浩斯學校（Staatliches Bauhaus）的設立，確立了近代設計的方向。隨著設計的發展，許多組織、社團、協會也陸續成立：

1957年由多個工業設計組織所發起，成立國際工業設計社團協會(International Council of Societies of Industrial Design, ICSID)，企圖提升全球工業設計水平；1963年，國際平面設計協會(International Council of Graphic Design Associations, ICOGRADA)成立，目的在促進和協助設計作品的交流，因此積極於世界各地籌辦設計週，促進大眾對設計的關注；1963年，國際室內建築師暨設計師團體聯盟(International Federation of Interior Architects/Designers, IFI)成立，致力於經驗與知識上的交流。國際設計聯盟(International Design Alliance, IDA)則由上述三大組織所組成(2003年由 ICSID 與 ICOGRADA 協助成立，2009年再與 IFI 建立了夥伴關係)，透過跨域整合與結盟，以因應全球化發展趨勢。事實上，設計的範圍非常廣泛，包括建築設計、產品設計、視覺設計、空間設計等，因此，人因工程自然也屬於廣義設計的一環，在實務應用上也常以同義詞「以使用者為中心的設計」(User-Centered Design, UCD)稱之。

人因工程設計的應用，源於二戰時期美國因軍事需求而開始有工程心理實驗室以及相關研究的民間企業誕生；1960年代以後，人因工程的專業從國防工業擴展到航太工業；1980年代後，資訊革命促使人因工程成為一解決人機介面(Man-Machine Interface, MMI)的重要學門；直到近年來蘋果公司掀起的新一波使用者體驗研究，美國始終在人因工程的發展中扮演重要角色，現今各大型企業如電話公司、電腦公司、汽車公司等均設置人因工程部門。人因工程發展趨勢與科技之發展有著密切關係，歐洲科學發展委員會將其列為重點研究，德國 Initiative for New Quality of Work (INQA) 則提出生活、工作、中高齡的對策，特別強調人因工程科技運用。人因工程應用在航太系統、通訊、電腦系統、產品與環境設計、工業與公共安全、自動化系統中之工作設計等，均為國際人因工程之研究趨勢。從1980年代後期開始，世界知名的大企業，如微軟、IBM、蘋果、通用電氣、西門子等紛紛設立使用性研究部門(Usability Research/User Interface Design)和使用性研究室(Usability Lab)，使產品真正做到以使用者為中心的設計。2012年，國際人因工程學會聯合會(IEA)發表「A Strategy for Human Factors/Ergonomics: Developing the Discipline and Profession」白皮書中特別指出：人因工程對於設計各類工作系統、產品或服務系統等，極具產出具體貢獻的潛力；但在市場的準備和高品質應用的供給方面也面臨一些挑戰。人因工程是三個基本特徵的獨特組合，包括：(1)系統方法(Systems Approach)；(2)設計驅動(Design Driven)；(3)著重於績效和福祉(Performance and Well-Being)等兩個密切相關的成果。因此，為了促進未來系統設計的更多貢獻，人因工程與設計必須成功地向主要利害關係人證實其價值。

我國人因工程源自於1984年國科會(現為國家科學及技術委員會)成立的「人因工程推動小組」，而中華民國人因工程學會(Ergonomics Society of Taiwan, EST)成立於1993年2月14日，以此整合國內人因工程人力資源，共同合作提升國內人因工程學術研究及相關技術水準，並促進國際相關研究之交流，並於1995年在巴西里約熱內盧成功爭取中華民國人因工程學會成為IEA會員國(Federated Society)。中華民國人因工程學會是一個專業的學術團體，截至2019年1月，永久會員共253人、9個團體，涵蓋公私立大專院校教師(218人，86.2%)及公民營機構團體等。教師則分布於工業工程與管理(38.5%)、設計(22.9%)、醫療(4.1%)、資管(4.1%)、環境工安衛(3.7%)、企管(3.2%)、經營管理(2.7%)、運籌管理(1.4%)等領域，顯現不同領域對於人因工程課程之重視與需求。非教師會員則分布於安全衛生、電子機電產業、設備經銷商、航空、中油、原能所等單位，而產學合作之單位則包括了中科院、運研所、醫策會、軍方單位、工研院、勞研所、金屬中心、資策會、鴻海人因中心等。

另一方面，中華民國工業設計協會(Chinese Industrial Designers Association, CIDA)在1967年成立，是台灣第一個以工業設計專業為核心的社團法人，其致力於向產業界推廣工業設計的價值，並開辦系列的人才培訓課程。1995年成立中華民國設計學會

(Chinese Institute of Design, CID)，其宗旨是以研究與發展設計學術，藉以提高設計水準。設計學會每年舉辦「設計研究成果發表會」，也定期出版《設計學報》，學報致力於設計相關領域之研究論文，經由公開徵稿及嚴謹審查，提供具有公信力之發表與交流園地，以提升國內設計學術研究水準。2003 年成立「財團法人台灣創意設計中心」(Taiwan Design Center, TDC)，台灣創意設計中心的主要任務包括：引領設計輸出國際、推動國際設計交流、厚植設計研究能量、協助產業升級創新、輔導設計開拓市場、推動台灣設計運動、活絡新一代設計力、營運創意設計場域等。

由於近九成中華民國人因工程學會永久會員為公私立大專院校教師，故於 2017 年 12 月依據國科會（原科技部）工業工程與管理學門下人因工程與設計的專長分類，分析永久會員中 227 名於國科會網頁登錄之專長領域，結果（可複選，共 461 人次）如圖 2.1 所示。可發現中華民國人因工程學會的永久會員之研究領域或專長以產品與系統設計（20.6%）、人機系統（19.7%）及安全與衛生（19.7%）為最多，皆接近 20%，而具感性工學專長者最少，僅 2.5%；其中與設計相關的產品與系統設計、情緒與生活經驗、感性工學總共占了近三分之一（31.7%）。

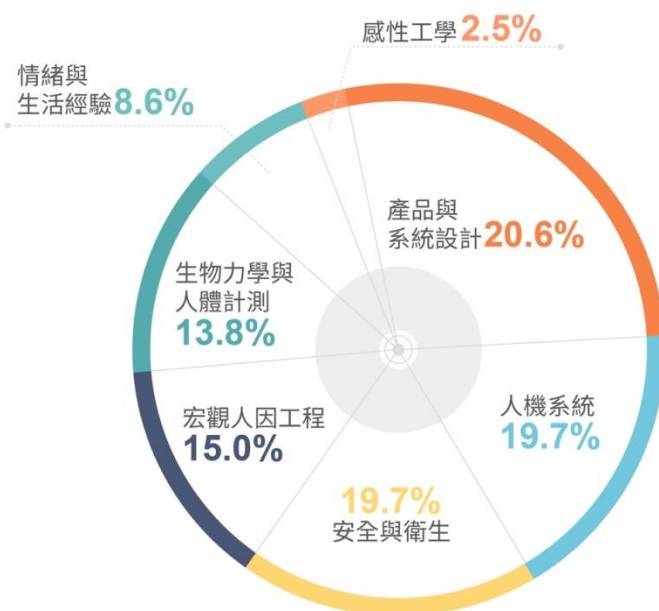


圖 2.1 中華民國人因工程學會永久會員之專長分布情形
(中華民國人因工程學會組織委員會，2017)

除每年固定的年會與學術論文發表會外，中華民國人因工程學會亦曾舉辦過多次國際研討會；如 1996 年於台北環亞大飯店舉辦第四屆 PPCOE (Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics)、2006 年於台北圓山大飯店舉辦第七屆 APCHI(Asia-Pacific Computer and Human Interaction)、2010 年於高雄國賓大飯店舉辦第九屆 PPCOE、2011 年於新竹國立清華大學舉辦第二屆 EAEFS(East Asian Ergonomics Federation Symposium) 與首屆 AES (Asia Ergonomics Summit)。近年來醫療保健系統人因工程與病人安全研究頗受各界關注，中華民國人因工程學會也於 2014 年在台北圓山大飯店舉辦了第四屆 HEPS (Healthcare Systems Ergonomics and Patient Safety) 國際研討會，這是該研討會第一次在亞洲舉辦，讓世界各國專家見證中華民國人因工程學會在「橋接學術研究與實務應用以促進病人福祉」(Bridging Research and Good Practices Towards Patients Welfare) 的能量與成果。2018 年適逢中華民國人因工程學會成立二十五週年，在學會的發源地國立清華大學擴大舉辦年會暨國際學術研討會，邀請來自日本、德國、新加坡、斯洛維

尼亞、瑞士等國的專家學者蒞臨參與。中華民國人因工程學會多年來一直積極參與 IEA 國際事務，會議與活動、推廣與交流；學會第二屆理事長王茂駿教授於 2004 年榮獲 IEA 會士榮譽，第五屆理事長王明揚教授則在擔任 IEA 2009—2012 副理事長兼秘書長後，在 2012 年榮任 IEA 2012—2015 理事長，成為第一位華人擔任 IEA 的理事長。

另為了推動兩岸三地人因工程（人類工效學）的學術交流，中華民國人因工程學會曾與中國工效學會（Chinese Ergonomics Society, CES）共同合作舉辦 IEA2009 國際人因工程學會聯合會年會暨研討會。此外，為加強合作並擴展人因工程於華人地區的影響力，兩岸三地人因工程學會經過多次的會員國會議，中華民國人因工程學會（EST）、中國人類工效學學會（CES）以及香港人類工效學學會（Hong Kong Ergonomics Society, HKES）於 2014 年 6 月在台灣台北市圓山大飯店共同成立了中華人因與工效學協會（Chinese Association of Ergonomics Societies, CAES）。隨後於 2014 年 11 月 15—16 日在湖南省衡陽市舉辦了第一屆 CAES 學術研討會暨第九屆 CES 學術年會，主題為「甲午雁行，共立中華人因工效基石」，總計有 280 人與會、60 餘篇論文發表，為 CAES 的發展寫下成功的第一頁。經過了一年多的時間，為了維持三方學會成員情誼、促成更具體的合作與交流，CAES 理事會決定於 2016 年 6 月 24—26 日在江蘇省南京市召開 CAES 理事會擴大會議，除了理事會的成員，亦邀集兩岸三地各學會推薦的骨幹人員共 30 名，藉由特邀報告及開放性的討論強化互動，期能達成具體共識並規劃後續的相關活動。2017 年 3 月 11—12 日在金門大學舉辦中華民國人因工程學會的第 24 屆年會暨學術研討會，邀請中國人類工效學學會以及香港人類工效學學會之代表蒞臨，隨後我方代表亦受邀赴廈門參加由中國人類工效學學會所舉辦之「功效學卓越研究工程」，藉以促進兩岸三地人因與功效學領域之交流與合作。2018 年 8 月 29 日，中華民國人因工程學會、中國人類工效學學會、香港人類工效學學會三方的代表於 IEA 2018 大會期間共同舉辦交流會議，商討了未來在互訪及研究、課程、證照等方面的合作規畫。2019 年 8 月 30-31 日在陝西省西安市舉辦兩岸三地人因工程高峰論壇暨 2019 中國人類工效學學會全國代表大會，會中邀請兩岸三地人因工程的骨幹人員共 50 名，藉由學術報告增進彼此的交流與討論，並規劃後續的互訪活動；CAES 的第一屆理事亦於 9 月 1 日改選第二屆（2019—2022）理事，由王明揚教授當選理事長，持續推動兩岸三地的合作與共同發展。

回顧國際發展歷史，人因工程與設計對於人類績效與福祉的貢獻顯然是密不可分，而我國的人因工程與設計自 1990 年代起開始系統性地發展，近年逐漸地成長茁壯。立足於這些基礎，接著將介紹相關的研究主題以及產、官、學、研之間的合作與互動，以配合時代趨勢的變化，擬定未來之研究方向。

國內自 1984 年國科會開始推動人因工程之研究以來，早期研究主題包括人體計測、工作環境測定、中文電腦鍵盤設計、訊息顯示設計、運動生物力學、控制與顯示設計等。在 1993—1997 時期，「安全與衛生」的論文數增加最多，此時期正值勞工安全衛生研究所與國科會投注大量經費，針對我國勞工進行大規模的人體計測資料蒐集與資料庫之建立，因此有較多人體計測相關的研究產生。另外本時期「檢驗作業」的論文數也增加不少，這可能與早期我國人因工程學者多具有數理、機械背景有關，工業工程除了從生產管理面或品質管理面改善工廠運作績效外，人因工程學者從檢驗作業找到可發揮之處，結合數學模式與機械知識提升機器視覺的檢驗績效。2000 年之後，由於政府持續推展「兩兆雙星」產業，因此在半導體與 TFT-LCD 產業也有豐富的人因論文發表。黃雪玲(1993)運用問卷調查方式詢問 EST 會員主要的研究領域，結果與李再長(2000)調查學術界人士的成果相似，受訪者指出 Occupational Health 及 HCI 是最主要的研究領域。

以 Lin (2015) 的研究為基礎，於 2022 年再次分析人因工程研究之論文主題。此次蒐集了 120 位學會永久會員從 2013 年至 2021 年共 1,240 篇的期刊論文清單，其中與人因工程相關的論文計有 817 篇。將研究領域分為 13 類，分別是：

1. 人因工程理論
2. 人因工程方法與技術
3. 人體計測
4. 施力作業
5. 人機系統
6. 系統建置與評估
7. 檢驗作業
8. 場所與產品設計
9. 駕駛作業
10. 特定職場研究
11. 特定族群研究
12. 安全與衛生
13. 巨觀人因工程

現以 EST 成立的 1993 年為基準，1993 年以前視為第一時期，之後每五年為一時期，將論文發表的年代區分為七個時期；因此第一時期為 1971-1992 年、第二時期為 1993-1997 年、第三時期為 1998-2002 年、第四時期為 2003-2007 年、第五時期為 2008-2012 年、第六時期為 2013-2017 年、第七時期為 2018-2022 年（目前只計算到 2021 年）。每一時期之論文發表總數分布如圖 2.2。論文總數從第一時期的 72 篇逐期增加至第六時期的 491 篇，共增長將近 7 倍。前五期每時期平均較前一時期成長 1.7 倍，每期以約 100 篇的速度在增加。第六期則維持與第五期相近，但第七期的論文篇數較前期少，原因一為第七期目前只計算四年（2021 年止），原因二為 2020 年新冠肺炎全球爆發，在避免人與人接觸的前提下，人因工程相關的實驗難以進行，導致發表的論文數量降低。

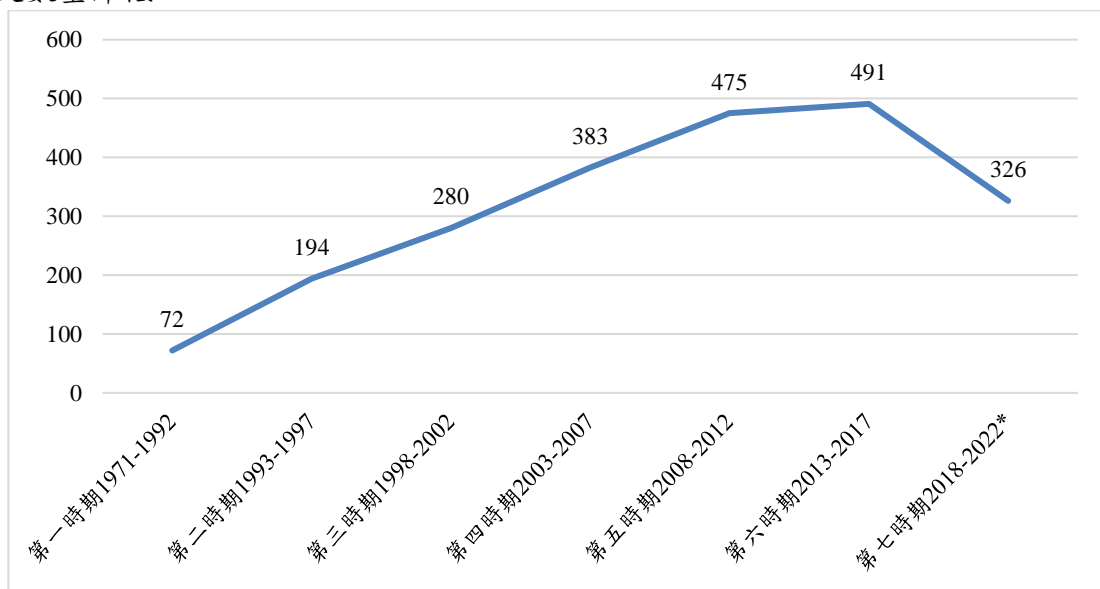


圖 2.2 各時期論文發表數量分布情形 (*第七時期只計算到 2021 年)

前五個時期當中(1971-2012 年)，論文篇數呈現正成長的主題有「5. 人機系統」、「12. 安全與衛生」、「13. 宏觀人因工程」、「11. 特定族群研究」、「10. 特定職場研究」、「6. 系統建置與評估」、「9. 駕駛作業」等七項，但「1. 人因理論」與「7. 檢驗作業」

二項主題的論文篇數呈現負成長。論文主題從早期的人因工程評估方法等基礎研究，後來偏重於安全與衛生，以及近年的人機系統，每個主題均與國際間的熱門議題具有高度關聯性。

第七時期（2018–2022），共計發表 326 篇，其中以「5. 人機系統」、「8. 場所與產品設計」、「11. 特定族群研究」等三項主題篇數較多，共有 160 篇，占該時期論文數 49%（如圖 2.3）。進一步分析該三項主題之研究，「5. 人機系統」之研究對象從職場所使用的 VDT 工作站轉變為一般民眾使用的各式電子資訊產品（如電子書、電子紙、手機等）以及虛擬實境、擴增實境呈現方式，評估項目從滑鼠鍵盤操作績效、文字辨識度轉變為閱讀理解性、偏好姿勢、主觀喜好度、動暈程度等。「8. 場所與產品設計」的發表篇數自第六時期（2013–2017）開始超過其他主題，延續到第七時期，均為篇數第二多的主題。「8. 場所與產品設計」主題中的場所包含工作站、生活空間與公共場所，產品對象更加多元，工作場所使用的手工具、手套、鞋具、工作服等，到民生相關的桌椅、寢具、數位遊戲、無人機等，均有學者進行評估與設計。「11. 特定族群研究」與「8. 場所與產品設計」的發展相似，同樣在第六時期（2013–2017）與第七時期（2018–2022）一躍成為篇數占比第三的主題。研究對象包含兒童、孕婦、中高齡者與身心障礙者，其中又以中高齡者的相關論文較多，分別針對中高齡者人體計測、生活型態、生活空間、工作條件、使用器具等項目進行評估與改善。

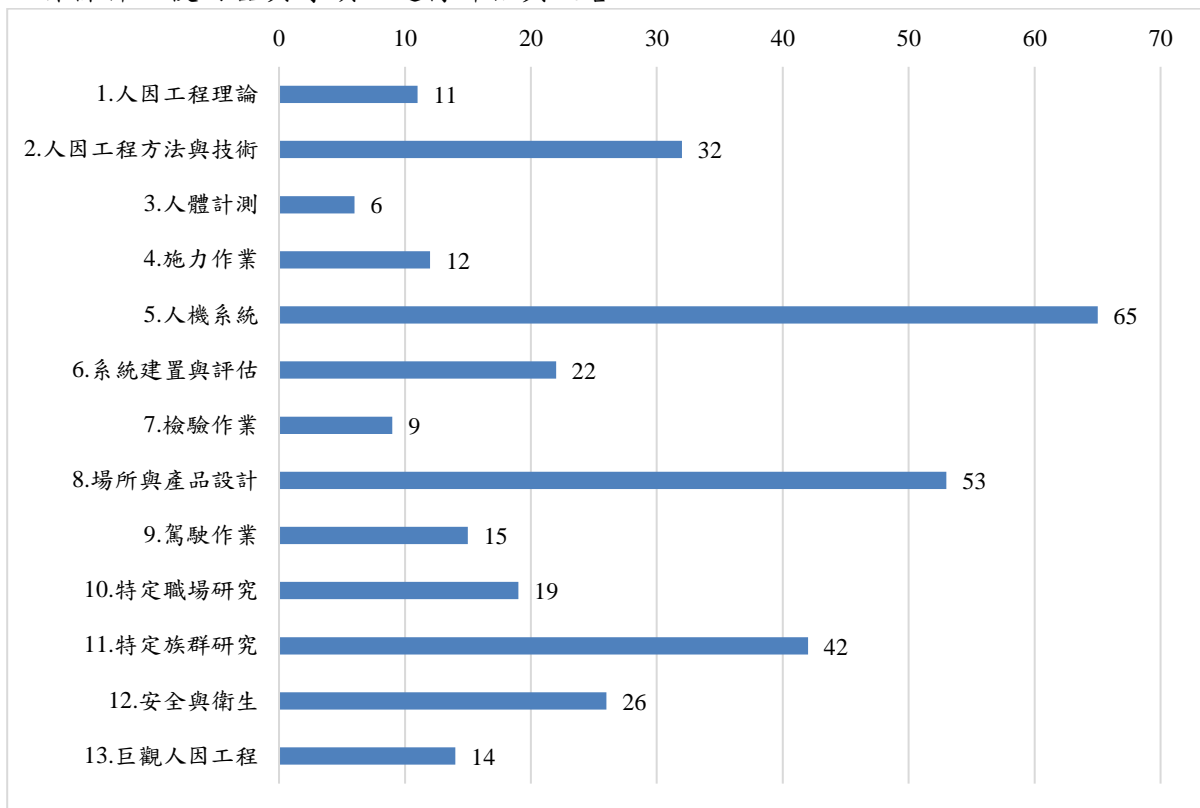


圖 2.3 第七時期（2018-2022）人因相關論文各主題發表數量分布（統計至 2021 年）

根據 2016 年 9 月 EST 針對永久會員之研究領域或專長進行調查發現，具人機系統、產品與系統設計，以及安全與衛生專業領域者為最多，再者為宏觀人因工程、生物力學與人體計測、以及情緒與生活經驗，而具感性工學專長者最少。此外，EST 亦於 2016 年 10 月透過會員的網路調查，發現若欲將人因工程議題應用於服務產業，其排序最優先的前五項，依序為人機介面與系統、高齡人因議題、情緒與生活經驗、產品設計，以及作業環境評估。本調查結果與過去黃雪玲（1993）、李再長等（2000）、林榮泰等

(2004) 的相關調查進行比較，發現高齡人因議題、情緒與生活經驗成為新的焦點議題，由此可知，過去偏重於製造業的人因研究，與服務業人因議題之間，確實存在差異。此外，從問卷分析結果也發現，在國際上或產業界日益重視的議題，如參與式人因工程、虛擬實境應用、使用性工程等，其排名均不高，可能與國內人因學者目前的專業背景有關。

從2015年至2022年中華民國人因工程學會年會暨學術研討會之成果發表可看出，設計的議題相當多元。近年來研究的方向與重點包括：文化創意設計、互動設計、通用設計、設計管理、情緒設計、服務設計、社區營造、感性工學、魅力工學、社會設計、資訊設計 (Information Design) 與設計教育等。為了進一步了解設計領域對各主題的研究能量，圖 2.4 是索引 2014—2018 年在華藝線上圖書館所收錄台灣的期刊論文、會議論文和學位論文資料庫，從資料庫中輸入設計領域相關研究的字詞，檢索含有該字詞的篇名、摘要和關鍵字，即出現期刊論文、會議論文和研討會論文的發表數量，並進一步將三種論文的發表數量加總，即得到相關研究議題的發表篇數。

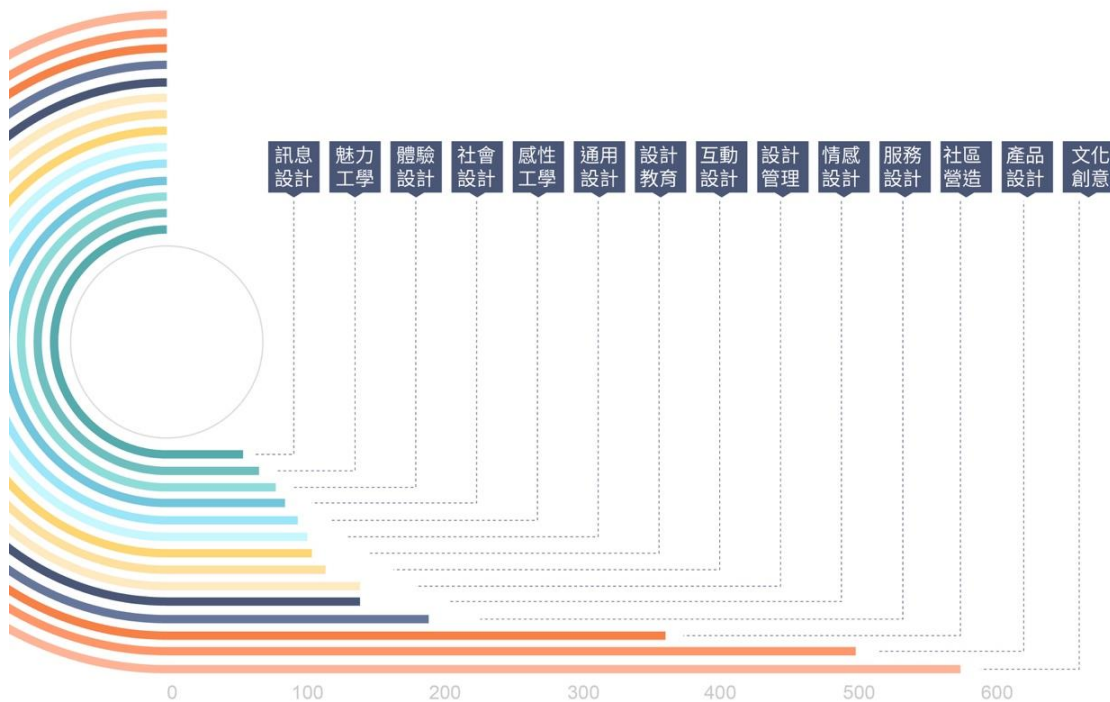


圖 2.4 2014-2018 年設計相關研究議題的發表篇數 (資料來源：華藝線上圖書館)

圖 2.4 的資料顯示，文化創意為近年來設計領域研究的大宗，文化創意是透過創意將文化元素加以應用、展現或發揮其特質等，在文化部的法規中，文化創意產業的範圍相當廣泛，產業別除產品設計外，還包括視覺藝術、音樂及表演藝術、工藝、建築設計、數位內容、視覺傳達設計、創意生活等產業，由於產業的多面向，因此造就了文化創意的蓬勃發展。此外，設計和產業息息相關，產品設計牽涉的層面也相當廣，包括：造形、風格、材質、行銷、設計模式、構想發展模式、設計團隊溝通模式等。因此，與產品設計相關的研究也相當多元。其次，社區營造、服務設計、情感設計與設計管理等，亦為設計領域近年來熱門的議題。

Tim Bentley 等學者綜整了多篇人因工程未來趨勢相關論文及參酌國際情勢，提出未來人因工程的研究範疇與主題，彙整如表 2.1 (Bentley et al., 2021)。其中「先進科技」與「人口變化」範疇相關的研究主題是我國人因學者的強項，未來可以此為基礎，透過政府支持與產業優勢，鼓勵人因學者將研究能量拓展至「新的組織形式」、「新的工作方

式」與「環境壓力」等範疇。

表 2.1 人因工程之未來發展方向 (Bentley et al., 2021)

範疇	研究主題
先進科技	<ul style="list-style-type: none"> ● 人與科技之間的關係變化 ● 人-機器人互動設計 ● 人在自動化系統中的角色 ● 工作系統設計 ● 系統整合 ● 工業設計 ● 協作系統和虛擬系統的設計 ● 運用人相關資料進行大數據分析 ● 自動駕駛車輛 ● 無人機應用 ● 物聯網技術 ● 遠端醫療系統設計
全球化和貿易自由化	<ul style="list-style-type: none"> ● 根據尊嚴勞動原則 (Principles of the Decent Work Agenda)，參與全球供應鏈的設計及其監管 ● 透過社會對話和參與來制定勞工標準和保護政策 ● 運用人因工程於發展中國家的製造系統 ● 服務生產系統之設計 ● 關於非標準化及不穩定工作者的職業安全與衛生及勞工福祉
人口變化	<ul style="list-style-type: none"> ● 跨文化的生產系統設計 ● 多樣化和分散勞動力之工作系統設計 ● 跨文化設計的設備以因應使用者的多樣性 ● 高齡者的工作制度與工作設計 ● 高齡者的產品與服務設計 ● 職業安全與衛生及勞工福祉 ● 全球供應鏈中下的永續勞動力議題
新的組織形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 虛擬組織和網絡組織的協作和資訊共享系統設計 ● 虛擬社會技術系統 ● 未來工作的教育和技能要求和能力 ● 臨時工和非正規部門相關的人因議題 ● 零工和平台經濟以及工作商品化相關的人因議題 ● 身兼多職之人因議題 ● 產品和服務的靈活性與創新之設計
新的工作方式	<ul style="list-style-type: none"> ● 家庭工作/遠程工作環境 (車輛、運輸系統等) 之設計 ● 活動式工作 (Activity-Based Working) 之工作環境設計 ● 資訊工作中心環境之設計 ● 社交網絡和協作工具之設計 ● 協作系統和虛擬系統之設計 ● 虛擬環境工作者及活動式工作之職業安全與衛生、勞工福祉及生理舒適性 ● 遠端醫療系統設計
環境壓力	<ul style="list-style-type: none"> ● 綠色人因工程 (Green Ergonomics)

範疇	研究主題
	<ul style="list-style-type: none"> ● 供應鏈人因工程 (Supply Chain Ergonomics) ● 永續設計及社會技術系統 ● 依永續與企業社會責任為目標來優化績效與福祉 ● 人因相關應用能夠正向影響人類行為 ● 車輛設計 ● 組織和系統彈性之設計

分析上述研究議題之發展與改變，人因工程與設計子學門的研究有圖 2.5 所示之趨勢性的變革：1.從單一研究議題應用單一人因工程面向提昇至單一研究議題應用複合人因工程面向、2.研究核心從提昇「工作表現」轉向提昇「健康與福祉」、3.人性化的焦點從滿足「使用者需求」到探索「使用者經驗」(石裕川等人，2019)。

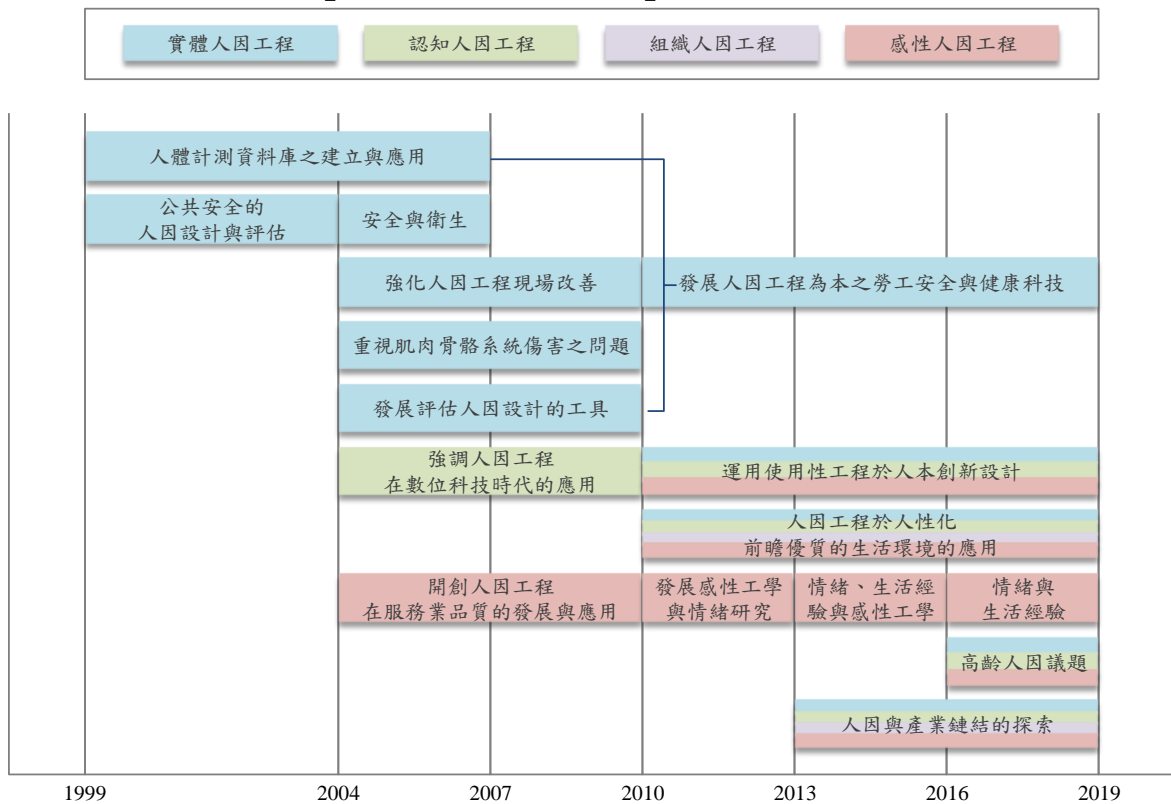


圖 2.5 1999 年迄今人因工程與設計子學門研究議題的發展變化 (石裕川等人，2019)

人因工程與設計子學門的研究動態可以從 2016 年至 2018 年國科會 (原科技部) 通過的計畫案來進行觀察。這三年通過計畫數共 299 案，含研究型計畫 260 案、產學型計畫 39 案。研究領域概分成六類，分別是：「生物力學與人體計測」、「安全與衛生」、「醫療與健康照護」、「人機互動、認知與使用經驗」、「高齡議題」，以及「產品設計」等議題 (科技部，2019)。從圖 2.6 上半部可以看出，近三年以人機互動、認知與使用經驗共通過 83 案 (28%) 最多，第 2-4 名案數相差不多。在高齡與長照議題的發酵之下，高齡議題、醫療與健康照護也有相當多學者專家關注。

進一步分析發現，在高齡以及醫療與健康照護這二個議題，研究多集中在高齡與醫療相關的人機互動、認知與使用經驗，其比例超過 60%，顯示在這二個議題上，人機互動、認知與使用經驗的研究相當重要，具有未來發展之潛力。

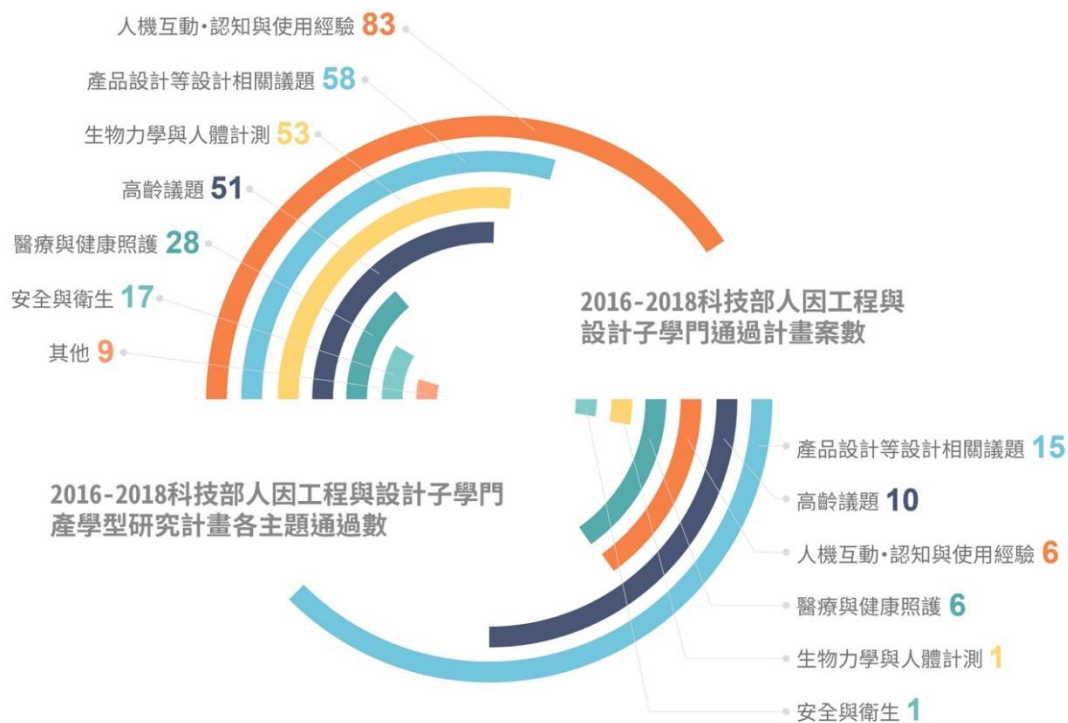


圖 2.5 2016-2018 科技部人因工程與設計子學門通過計畫案數（資料來源：國科會）

若將這三年中的產學型研究計畫獨立檢視，如圖 2.6 下半部所示，則會發現反而以產品設計等設計相關議題占了 39 案中的 15 案（38%），顯示在產學合作部分，廠商相當重視人因工程的學理應用在產品的設計開發。亦即未來本子學門在產、官、學、研之合作上，將會是在特定主題或產品設計上高度整合相關的人因工程各領域學理，並且確實地予以落實。針對圖 2.5 所列的主要研究領域，茲詳細說明如下：

1. 人機互動、認知與使用經驗

人機系統的設計向來是認知人因工程領域的一項重要應用，基於對人類心智模型的假設，得以模擬人類在與系統互動時的感知、認知等歷程，進而評估主觀反應與績效；近年來，隨著使用者體驗（User Experience, UX）漸漸受到重視，關注的範圍也延伸至整體的互動，並涵蓋情緒、信念、偏好、乃至於行為表現。因此，現今在「人機系統」或「情緒與生活經驗」的研究已密不可分，從相關的研究計畫主題便可看出端倪。

在學界與產業界的交流上，台北市電腦公會於 2016 年 10 月在 TAF 空總創新基地舉辦 XSION 跨界創新國際論壇，邀請了 beBit、三星、聯想與 IBM 等專家進行講演，同時也邀請中華民國人因工程學會一起參與規劃及展示一些學研成果，中華民國人因工程學會也趁機舉辦「人因與智慧科技大師座談會」。此外，國科會（原科技部）於 2015 年核定本子學門之唯一整合型計畫即是「結合情境智能與人因工程開發工作負荷雲端評估系統」，其子計畫包含「應用穿戴裝置發展上肢重複性作業之工作負荷智慧評估與監測技術」、「以使用情境為基礎的穿戴式裝置 3D 人體計測、可接受荷重分析及系統使用性評估」以及「應用穿戴裝置發展體能負荷與視覺負荷智慧監測與評估技術」，顯見人機互動與使用經驗之議題亦隨著雲端技術普及而有另一層面之附加價值的提升。

而人機互動與裝備的操作與配適近年也逐漸受到軍方的重視，自 2020 年至 2022 年由國家中山科學研究院、陸軍訓練中心、國防部陸軍司令部等單位委託中華民國人因工程學會進行有關武器系統操作介面、化學兵裝備配適、野戰型外骨骼評估測試等研究案即計有 4 件以上。

2. 生物力學與人體計測

為實現將國內人因工程之研究成果落實於本土，自 1994 年至 2000 年，北、中、南各區的學者專家已經共同完成國內勞工、大學生、軍人、一般民眾等樣本量測與資料庫查詢系統之建立，更將擴大至高中職、國中、國小學生之人體計測，初步建立了較完整並且有多方面應用價值的國人人體計測資料庫。隨後則有勞動部勞動及職業安全衛生研究所於 2014 年著手建立以我國勞工為主的 3D 人體體型資料庫，以此為基礎，勞安所自於 2021 年起迄今，著手進行全國性的三維人體計測資料量測及推拉力實驗調查。同時，中華民國人因工程學會於 2015 年與中科院合作進行國軍人體 3D 計測資料之蒐集，2019 年與國防部軍備局合作進行國軍頭/臉 3D 掃描資料庫建置與防護面具型號自動辨識之研究，2020 與中科院合作進行人體計測手、腳部施力量測；另為因應國防部「國機國造、國艦國造」國防自主政策，於 2018 年分由海軍造船發展中心與空軍委託中華民國人因工程學會與國家中山科學研究院進行海軍艦艇人員與空軍飛行人員的全身人體計測資料量測作業，2019—2021 年間，航發中心、中科院委託清華大學與中華民國人因工程學會、空軍官校進行飛機駕駛艙操控之儀表板、手及腳部尺寸、力量之量測，這些研究產出之成果將可作為海、空軍下一代裝備設計之依據，使新裝備的人機介面更能符合國軍體型，以提升操作/維修安全性與舒適性，並強化訓練效率。另一方面，2013 年本學門獲國科會（原科技部）補助之唯一整合型計畫即是「人體手部 3D 資料庫與動畫手型之建立」，可見落實計測資料之蒐集與更新之必要性，國科會仍認為有其必要性。

3. 高齡議題

人口老齡化是全球很多國家當前所面臨的共同議題，隨著年齡增長，人類的整體生理能力都逐漸衰退，某些影響技術學習的認知能力，包括記憶力、感知能力和空間能力也有所下降，更需要由「以使用者為中心」的人因工程為其提供適當的補償設計。2016 年本學門所獲得國科會（原科技部）的整合型計畫有二，皆與高齡議題有關，包括「高齡社會溝通、行為、與認知之研究」以及「高齡者感性生活空間與健康維護系統建置與評估」，顯見近來國內學者對該議題之重視與興趣。然而，相對高齡議題的熱門度，對照中華民國人因工程學會會員專長領域的分布（圖 2.1）可知，高齡議題仍需更多人員的投入。

4. 醫療與健康照護

財團法人醫院評鑑暨醫療品質策進會（醫策會）為了提升醫療品質而舉辦「醫療品質獎」，近年來持續增設「人因特別獎」並屢邀中華民國人因學會協助評審，也逐漸證明人因專業於醫療品質與安全之重要性。另一方面，從近年國際相關期刊論文發表情形觀之，目前與醫療照護相關之研究，如依據人因三大領域：實體人因（生物力學與人體計測、安全衛生）、認知人因（人機系統、產品與系統設計）與組織人因（宏觀人因工程）來區分，主要以實體人因相關研究居多。在認知人因方面則多以概念、指引或實例探討方式，導入各種可用於評估改善醫療相關程序、產品、設備之人因方法，以及分析人因改善可帶來之效益，但較少看見大型醫療系統或設備之具體改善成效。而在組織人因方面，則以系統性的方法或主觀問卷蒐集分析醫療機構組織內部對於部門間的工作流程/互動、潛在疏失類型或工作安全氣氛等，藉以提供效率或整體安全績效。

為了結合群力推廣人因工程與設計的概念與方法於醫療系統，中華民國人因工程學會於 2020 年成立「醫療人因小組」，積極與財團法人醫院評鑑暨醫療品質策進會（醫策會）以及各醫療機構合作。小組已有多位成員擔任醫策會專案與評審委員，以及與醫療機構完成多項產學合作研究案。而每年舉辦之「國家醫療品質獎人因特別獎」於 2022 年修改為醫療機構參賽的專案須經醫療人因工程專家的篩選、輔導與諮詢。

衛生福利部食品藥物管理署（以下簡稱食藥署）於 2020 年制定適用於醫療器材製

造廠與製造業者（以下簡稱醫材業者）之「醫療器材人因可用性工程評估指引」。該指引以美國 FDA (U.S. Food and Drug Administration) 的多項標準 (IEC 62366-1:2015, IEC/TR 62366-2:2016, IEC 60601-1-6:2010/AMD1:2013, ISO 14971:2019) 為基礎，發展出適合我國醫材業者於產品設計、研發、申請查驗登記及產品上市過程中，應考量之人因工程以及優使性工程評估相關事項。「醫療器材人因可用性工程評估指引」所涉及的專業包含優使性工程、人因工程與風險管理三大部份。該指引將優使性工程、人因工程視為同義詞，目的為應用與人類行為、能力、限制以及其他特點相關之知識，對包含硬體與軟體之使用者介面、系統、任務、文件及訓練等進行設計，讓使用者可安全並有效使用器材。指引中推薦方法包含訪談 (Interview)、脈絡訪查法 (Contextual Inquiry)、焦點團體訪談 (Focus Groups)、文獻審查 (Literature Review)、任務分析 (Task Analysis)、認知任務分析 (Cognitive Task Analysis)、功能分析 (Functional Analysis)、工作負荷評估 (Workload Assessment)、失效模式與影響分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) /故障樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA)、專家審查 (Expert Reviews)、認知演練法 (Cognitive Walkthroughs)、啟發式評估 (Heuristic Evaluation) 及放聲思考法 (Think-Aloud Protocol)。

「醫療器材人因可用性工程評估指引」針對醫療器材之設計與開發，規範以形成性評估 (Formative Evaluation)、風險管理以及總結性評估 (Summative Evaluation) 三個步驟實施人因工程以及優使性。形成性評估意指在開發過程中的一個或多個評估階段，經由探索使用者介面設計的優點、缺點和意想不到的使用錯誤，並鑑別其可能會導致之危害。另外透過風險管理方法幫助業者對物理、機械、熱、電氣、化學、輻射與生物危害進行檢視，避免使用者因為人機介面的不良設計，導致使用者錯誤使用醫療器材造成上述相關危害。而總結性評估是在使用者介面開發結束時進行評估，獲取使用者能安全使用人機介面的客觀證據。

5. 安全與衛生

重複性肌肉骨骼傷害的防制是我國職業安全衛生之中相當重要的課題之一，政府已於 2013 年 7 月 3 日修正通過職業安全衛生法 (職安法, 2013)，並將肌肉骨骼傷害的防制正式明文規定於職安法第 6 條第 2 項之中，並於施行細則第 9 條與職業安全衛生設施規則第 324-1 條規定相關內容，要求事業單位據以實行相關防制措施。同時，勞動部勞動及職業安全衛生研究所已於 2014 年著手建立以我國勞工為主的 3D 人體體型資料庫與推拉力施力值資料庫，並嘗試開發 3D 電子人模平台、擴充先前已完成之人因工程工作姿勢圖例，藉以協助我國事業單位由設計端與現場端來改善「不良姿勢」危害因子與「過度施力」危害因子，並推行重複性肌肉骨骼傷害之防制，降低勞工的重複性肌肉骨骼傷害之風險。

再者，勞動部勞動及職業安全衛生研究所先後於 2019 年至 2022 年間委託中華民國人因工程學會進行「全身及局部振動暴露規範蒐集與分析」、「物流業配送員下背受力分析及輔導」、「人因工程檢核手冊草案撰擬」、「關鍵指標法於肌肉骨骼傷病評估之適用性探討」、「不安全行為之人因工程檢核實場測試及成效評估」、「泥濘農地從業者作業負荷調查」等多項計畫，其目的擬探討人因工程評估結果與罹患職業性肌肉骨骼傷病之間的關係，以提供未來預防職業性肌肉骨骼傷病之參考。而勞動部職業安全衛生署也分別於 2016 及 2020 年委託中華民國人因工程學會執行「職業性肌肉骨骼疾病預防」與「109 年人因危害預防精進對策」計畫，希望協助事業單位相關預防措施之推動，進而促使業界落實法令規定，及齊一勞動檢查機構檢查員勞動檢查之標準，盼能達到建立諮詢輔導平台、開發職業性肌肉骨骼疾病預防之相關工具指引、培訓專業人才、提升服務品質等成效。

人因工程與設計之發展，將逐漸由微觀人因工程 (Micro-Ergonomics) 發展到宏觀

人因工程 (Macro-Ergonomics)，亦即由傳統工作面之各種研究推展到管理、組織、與生活面的問題，如居住空間、公共建築、交通工具、家電產品、家具、醫療產品，大眾運輸工具效率、公共建築的功能配置等與社會和機構組織架構、分工方式、管理策略等的關係及影響等，以提升人們工作與生活的品質。無障礙設計、通用設計、可及科技、感性工學、服務體驗設計、情感互動、情緒與認知機制、使用者研究與感性設計、情緒體驗與設計、感性設計與高齡化社會、感性環境與社區營造、感性照護與醫療、智慧生活與感性設計、商業模式與情緒管理、情緒研究的基礎理論、魅力研究與品牌營造等議題的發展，是近年來國內外社會的熱門議題，本學門應用的範圍一直在擴大中，未來亟需進行跨領域研究方法的整合與突破，以符合國內產業逐步由代工製造轉型到創新、研發與設計的趨勢。

2.2 人因工程與設計子學門研究專長與重點方向

依據國科會 (原科技部) 工業工程與管理學門專長列表 2018 年彙整版，人因工程與設計的研究方向與重點共有 7 大項 57 小點，依序說明。

2.2.1 生物力學與人體計測

生物力學與人體計測 (Biomechanics and Anthropometry) 包括有人體計測資料庫 (Anthropometry, Strength, and Mobility Database)、工作姿勢分析 (Working Posture Analysis)、人工物料搬運 (Manual Material Handling)、滑(跌)倒、墜落與步態分析 (Slip, Fall, and Gait Analysis)、數位人體模型 (Digital Human Model)、量測技術開發與應用 (Development and Application of Measurement Technology)、輔具與防護具設計 (Assistive and Protective Equipment Design) 等七小點。

對「人因工程與設計」子學門而言，其最基礎、也最重要的資料莫過於人體計測。因此政府單位，如教育部、國科會、勞動部、內政部等，莫不竭力積極建立相關之計測資料庫 (石裕川等，2019)；除了一般民眾、勞工、軍人等各種族群之計測資料庫的更新，伴隨資訊科技的進步，能夠提供更完整三度空間資訊的數位人體模型也漸漸受到重視，並且應用於產品、工作環境、輔具與防護具等的設計及評估。此外，也有諸多研究計畫探究各種職業類別的工作姿勢與物料搬運改善、滑(跌)倒及墜落的預防等議題，以確保勞工安全。

2.2.2 安全與衛生

全與衛生 (Safety and Health) 包括有法規與標準 (Guidelines and Standards)、職業傷害分析 (Occupational Injury Analysis)、工作壓力與心智負荷 (Work Stress and Mental Load)、肌肉骨骼傷害 (Musculoskeletal Disorders)、作業環境評估 (Working Environment Assessment)、工作生理與負荷 (Work Physiology and Physical Work Load)、輪班制度 (Shift Work)、人為失誤 (Human Errors)、人員績效與可靠度 (Human Performance and Reliability)、現場改善 (Ergonomics Practices) 等十小點。

配合勞工權益漸受重視以及職業安全衛生法(原勞工安全衛生法)之修正(職安法，2013)，人因性危害的預防得以透過強制性的法規落實於工作現場。基於人因工程的原則，人員在生理層面(如：關節活動範圍、負重、施力)及心理層面(如：績效要求、時間壓力、挫折承受)的限制更能被確實考量，藉以訂定合理的工作標準，加以與環境照明、溫度等之互動需求，可有效地應用於工作的設計；而針對既有工作的改善，則能夠從人員的角度分析人為失誤、工作壓力的來源，進而提出具體的改善方案及對應的成效預測。

2.2.3 人機系統

人機系統 (Human-Machine System) 包括有心智模式 (Mental Model)、多媒體與虛擬實境 (Multimedia and Virtual Reality)、擴充與混合實境 (Augmented Reality and Mixed Reality)、顯示與控制 (Display and Control)、人機介面與互動 (Human-Machine Interfaces and Interaction)、人-機器人互動 (Human-Robot Interaction)、使用性 (Usability)、行為決策支援系統 (Behavioral Decision Support System)、緊急操作程序設計 (Emergency Operation Design)、警報系統設計 (Alarm System Design) 等十小點。

人機系統的設計向來是認知人因工程領域的一項重要應用，基於對人類心智模型的假設，得以模擬人類在與系統互動時的感知、認知等歷程，進而評估主觀反應與績效。因應近年對於高度自動化技術發展的期待，在尚未實現「全自動化」的過渡期，值得特別強調「人與機器人互動」之設計 (Gorecky et al., 2014)，而此議題也延伸至整體的互動，並涵蓋情緒、信念、偏好、乃至於行為表現。

2.2.4 宏觀人因工程

宏觀人因工程 (Macro Ergonomics) 包括有安全設計規劃 (Safety Design and Planning)、安全文化與管理 (Safety Culture and Management)、產品標準與檢驗 (Product Standard and Inspection)、團隊工作設計 (Teamwork Design)、參與式人因工程 (Participatory Ergonomics)、組織人因工程 (Organizational Ergonomics) 等六小點 (Holden et al., 2015)。

為了更確實地解決工作現場的安全與衛生，常透過參與式人因工程讓組織成員自主發掘可能的危害因子，除了從第一線的角度直接指出問題所在，也有助於提升配合改善的意願、強化團隊合作；加以管理階層的支持，便可重塑組織的安全文化，讓組織人因工程有效地發揮。延伸至消費性產品的開發，即是要納入使用者思維，邀請其共同參與設計，更有助於實現通用設計，滿足各種使用者的需求。

2.2.5 產品與系統設計

產品與系統設計 (Product and System Design) 包括有產品設計 (Product Design)、公共及居住空間設計 (Design of Public and Living Space)、服務與體驗設計 (Service and Experience Design)、通用設計 (Universal Design)、標誌與圖像設計 (Sign and Pictogram Design)、文化創意設計 (Culture and Creative Design)、色彩與視覺傳達 (Color and Visual Communication)、全球化及本土化設計 (Design for Globalization and Localization)、優使性工程 (Usability Engineering) 等九小點。

對於產品或系統的開發而言，除了基於各種生、心理的限制以發展妥適的設計，也必須考量群體內的多樣性，提供客製化的選擇或通用設計，並於產品生命週期的設計與開發過程中，應用多種系統化方法創造與設計出具符合使用者需求與高優使性之創意產品。考慮到優使性設計或使用者經驗的產品或服務，可以讓使用者在和產品互動或享受服務的過程中，不會感到困惑、猶豫或障礙，更能增加產品及服務的競爭力。

2.2.6 感性工程

感性工程 (Kansei Engineering) 包括有量化感性分析 (Quantitative Kansei Analysis)、聽覺及觸覺感性工程 (Auditory & Haptic Kansei Engineering)、感性設計 (Kansei Engineering)、感性量測 (Kansei Measurement)、感性傳播 (Kansei Communication)、感性互動 (Kansei Interaction)、感性資訊處理 (Kansei Information Processing) 等七小點。

當消費者或使用者與產品、服務互動時，會先透過感官知覺接受刺激，再結合認知歷程產生特定的感受、情緒或生理反應，而感性工程正是一套將這些感性意象轉譯為

設計元素的技術，有助於提昇消費者或使用者的滿意度。感性工程以人性導向設計之本質，與人因工程之以人為本的之基本精神設計不謀而合；對照人類的訊息處理歷程，感性工程探討的重點包括各種感官知覺對應的感性反應、感性反應的量測方法、量化的分析方法、各領域的設計應用等。感性工程在不同領域都有許多成功的應用實例，但上述的各項主題中仍有些限制，需要改善以強化分析結果的有效性：例如主觀評價常使用的語意區辨量表，難免受到語言及文化差異而造成解讀之不一致，導致跨國或跨文化研究的困難 (Hartono, Chuan, & Peacock, 2012)，若能結合客觀的生理反應或對照驗證，可能有助於彌補有意識反應之不足 (Schmitt et al., 2014)。

在互動體驗的過程中，常使用靜態圖片呈現不同之設計，但僅透過視覺體驗聯想其他的感官知覺可能未盡精準，導致與真實使用之間的「期望落差」，因此宜評估適用圖片、影像、實體產品、乃至於虛擬互動的情境。確保資料的正確性後，另一項挑戰是統計模型的選擇，傳統常基於線性關係的假設，但實際狀況恐更為複雜 (Chan et al., 2011)，故應嘗試基於不同感受的特性以實驗定義較為適用的方法，以提昇推論及設計建議的品質。此外，亦可將感性工程應用至產品、服務以外的領域，例如將工作姿勢的變異連結至當事人的「不省力的—省力的」、「受到限制的—未受到限制的」等主觀的語意評價，有助於將各種姿勢分類、找出較理想的建議，以達成有效的工作設計。

2.2.7 情緒與生活經驗

情緒與生活經驗 (Emotion and Living Experience) 包括有情緒與認知機制 (Cognitive Mechanism for Emotion)、愉悅感與情感設計 (Pleasurable and Emotional Design)、感性環境與社區營造 (Kansei Environments and Community Development)、感性照護與醫療 (Kansei Healthcare)、商業模式與情緒管理 (Business Models for Emotion Management)、魅力研究與品牌營造 (Miryoku Research for Branding)、情感互動設計 (Affective Interactive Design)、情緒體驗與設計 (Emotional Experience and Design)、服務體驗設計 (Service and Experience Design) 等九小點。

近年來設計所關注的焦點逐漸從使用者行為與認知擴展至情感體驗。未來在虛實整合的元宇宙情境下，人與人之間的情感體驗與情緒交流如何更加擬真地如真實世界人際互動的感覺，將會是「情緒人工智慧」應用與實踐的最佳領域。隨著人工智慧與雲端運算技術的快速進展，情緒科技 (Emotional Technology) 儼然已經成為熱門研究主題，從過去使用者與環境、服務、產品互動行為到情感體驗延伸，到讓冰冷的機器讀懂人的情緒？如何在環境中透過直接或非直接接觸方式，洞察使用者情緒與情感感受進而提供適時合宜的產品、情境與人機互動 (情境智能)，將成為未來虛實整合互動環境 (元宇宙) 當中，讓人能否能浸入在虛擬環境卻有如真實互動體驗感受的關鍵之一。透過接觸式與非接觸式多感知量測系統結合情境訊息來準確判定情緒與情感狀況，然而情緒的多樣與複雜程度卻超出想像，加州大學柏克萊分校的 Dacher Keltner 等人 (2015, 2016) 重新定義了人類情緒的種類至少有 27 種，並且情緒之間的區隔也非壁壘分明，從過去的表情辨識、肢體動作、語音對話分析、生理訊息量測 (膚電、心跳、表面溫度變化)、行為反應 (瞳孔注視、眼球追蹤等) 對情緒反應的辨識，到透過「情緒人工智慧」 (Emotional Artificial Intelligence) 的測量、理解、模擬、回應人類情緒，使得各個領域可以讓科技注入更多人性情緒的元素在當中，應用範圍擴及：

1. 醫療領域：如對於失智、自閉症或心理疾病患者在認知、記憶力、心智狀況等預測、評估與治療介入，情感運算也有很大的發揮空間。
2. 軍事領域：對於軍人戰場模擬、壓力應變、創傷反應等，情緒科技幫助訓練、評估與策略輔助提供。
3. 教育與娛樂領域：對於課程教材、遊戲等各式互動學習娛樂情境，提供情緒體驗與

情感互動式設計規劃。

4. 商業應用：情感互動設計與服務行為體驗等量化、評估與消費者喜好預測等應用。
豐富未來虛實整合情緒體驗：多樣虛實整合過程使用者互動情緒設計與表達。

2.3 人因工程與設計子學門未來研究方向與重點

回顧過去、展望未來，因應全球高齡社會、科技生活、環境議題等發展趨勢，「滿足目前以及未來人類需求」是科技發展的主要方向；因此，許多先進國家已將「以人為本」視為未來產業科技發展的最高準則。近十幾年來各項科技的進步，大幅改變人類的工作與生活方式，唯其不變的共通趨勢就是以人為本、使用者中心的概念（ISO 9241-210：2010），尤其因科技發展所衍生的人機介面配合問題甚至造成使用者的焦慮與不安，更突顯強調「人性」的重要性。此外，有鑑於未來產業結構及生活型態變化加劇，國科會（原科技部）過去推動各項「以人為本」之科技專案，包括前瞻優質生活環境科技跨領域研究專案計畫、智慧型生活空間跨領域計畫、前瞻工程科技之未來產品概念設計計畫等，明白揭示我國應積極提出「以人為本」之中心概念，貫穿健康、舒適、安全、便利等人性化議題。未來的生活環境會因人工智慧（Artificial Intelligence, AI）、大數據（Big Data）、擴增實境（Augmented Reality）、混合實境（Mixed Reality）與虛擬實境（Virtual Reality）等幾項技術的快速發展而產生極大變化。

隨著人工智慧、5G、物聯網等技術的成熟，將對人類生活帶來巨大的轉變，例如：自駕車和機器人，已逐步進到我們的生活中。國科會在新一輪（2021—2024）科技發展計畫的主軸為「智慧未來」，製造業、服務業、醫療等產業的人工智慧化是未來的趨勢，而智慧化如何應用於產業各面向，且如何聚焦，發揮智慧化的最大效益，都是需要關注的焦點。

除了科技所帶來的改變值得關注外，產業競爭的態勢，已從降低成本的微利時代，升級到美學經濟的設計思維，同時隨著經濟的發展，人們生活水平的提升，美學經濟是必然的趨勢。以美學作為消費策略，最成功的當屬蘋果公司所設計的產品，ipad、iphone 成功地做出市場區隔。因此，不論是生活用品、工業產品、文創產業或是服務設計，效率與性能不再是決勝的關鍵，誰能激起消費者的情感，就能掌握市場經濟。美學正是一個關鍵的要素，因為美學能引發正向情感，進而提升產品的價值與滿意度。因此，「美力」會是未來最重要的競爭力。

當科技考量到人性，更應該關注科技如何協助高齡化浪潮所衍生的問題。國際上將 65 歲以上人口，占總人口數比例達到 7%，歸類為高齡化社會，14%為高齡社會，20%為超高齡社會。根據國家發展委員會推估（2018 至 2065 年），台灣已於 1993 年成為高齡化社會，2018 年轉為高齡社會，預計 2026 年將邁入超高齡社會，到了 2065 年，每 10 個人中約有 4 位是 65 歲以上老年人口。面對高齡化的問題，高齡者用品、照護服務等都將逐步湧現，成為未來極具市場的新興產業。基於上述的趨勢及浪潮，未來設計研究的趨勢有五個方向：

1. 人工智慧引領下的智慧生活

早期人工智慧只在科幻電影中，如今人工智慧已遍布各個領域，例如：機器人、交通、醫療、產業應用等。未來，人工智慧將改變人類的生活模式，就像空氣一樣無所不在，同時也不可或缺。當生活中到處都是人工智慧的時候，設計者應該思考，人工智慧對生活會帶來什麼樣的影響，該有什麼樣的作為？以機器為例，運用機器人在產業可取代重複運作的勞力，讓傳統產業朝向智慧化升級，這樣的機器人該呈現什麼樣的樣貌？家裡照護的人形機器人，又該是什麼樣的樣貌？設計領域該如何看待機器人的外形，尤其是出現在居家生活領域的機器人。因為機器人外形給人的感受，會直接影響人的接受度。早在 1970 年，日本機器人專家森政弘提出一個恐怖谷理論（Uncanny

Valley)，當機器人的造形，從機器形逐漸提高到擬人程度，人們對該機器人的正向情緒會增加，當擬人到接近人類的相似程度時，便開始產生負面情緒。這樣的理論雖然也受到許多學者質疑，但未來機器人會更頻繁地走入生活，如何針對不同功能的機器人，並提供適切的外形，仍為很重要的議題。同時，研究機器人的外形給使用者的情緒反應，也是一個不可忽略的課題。

除了機器人之外，人工智慧將在可以想見的未來走進家庭，以亞馬遜所打造的智慧住宅為例，利用智慧音箱為入口，控制電器用品、查看來訪者、天氣、交通資訊等，同時與電商物流結合，解決生活所需 (Kettschau et al., 2014)。未來，設計領域可從智慧家庭出發，思考如何打造舒適便利的生活，如何有效率地駕馭自動化與安全監控等，同時考量以人為本的智慧生活，思考人性化的人工智慧，落實「科技始終來自於人性」的未來 (Bauer et al., 2019)。

2. 5G 世代下的資訊設計

在 1980 年代，電子電路興起，一塊電路板就能取代原本複雜機械所產生的功能。因此，許多產品都被一塊電路板所取代，產品變成了方盒，形成了「造形失落」的年代。當人們不知道方盒中的電路板究竟具有什麼樣的功能時，興起了產品語意學，主要用意是解決電子產品的黑箱化與難以理解的認知問題。透過具語意的造形設計，讓使用者知道該方盒是什麼樣的產品，具有什麼樣的功能與如何操作等問題。

時至今日，5G 與物聯網的時代來臨，究竟 5G 時代對人類的生活會產生什麼樣的變革？日本總務省拍攝了一部名為「連結 5G 以後的世界」的影片，影片中包含有：自動駕駛、遠端醫療、同步翻譯、智慧眼鏡、無人商店與無人機等。在 5G 世代下，將會出現大數據資料，如何將物聯網的複雜資訊，轉化成對使用者有意義的訊息，並優化與友善化資訊的樣貌，讓訊息變得更精確、更容易認知與理解。其次，透過設計，如何強化使用者介面 (UI) 與使用者體驗 (UX)，讓人與機器在交互過程中，有更自然的互動。因此，資訊設計就成為 5G 世代下，最重要的研究議題之一 (Jeong et al., 2022)。

3. 建構「美力」的軟實力

使用性工程 (Usability Engineering) 是隨著電腦科學的發展所興起的專業，用以評估產品或介面的有效性、效率和滿意度等。當研究者關注使用性等科學的問題時，是否忽略了使用性中的美學問題 (Norman, 1988)。在主流的 HCI 教科書中，往往找不到跟美學有關的關鍵字 (Tractinsky, 1997)。過去，重使用、重效率，重效果的研究，未來應納入美感，因為美會引發正向的情緒，進而影響產品的使用性 (Thüring & Mahlke, 2007)。

當人們的生活水平逐漸提高，產品價格已不再是唯一考量因素，低利代工不再有利可圖，企業主開始思考如何轉型，才能讓產業永續發展。除了產業轉型值得關注外，美學素養會隨著經濟與生活水準的提升而顯得重要。如何將美學變成商品的價值，透過新方法探究這些議題在新世代的可能性，讓產品的感性、魅力成為一種吸引力和感動力 (Hamborg et al., 2014)，其次，如何著重產品美學、環境美學與生活美學，建立審美機制與經驗，剖析審美的心理機制，藉此認知美、理解美與感受美，並思考如何強化美的感性價值，讓「美力」成為競爭力，是一個值得努力的方向。

當人們的美學素養逐步提升下，對美的觀念與要求也會改變，尤其是在人工智慧世代下，美學在社會上的功能與意義會如何轉變，如何因應才能與時俱進，也會是值得注意的議題。

4. 從社區營造到地方創生

社區營造指的是社區居民，凝聚共識，以集體的形式，對在地文化、產業的復興。社區營造需要跨領域整合，過去一、二十年的發展，設計領域也參與其中。近年來，政府與學者開始關注地方創生的問題，例如：行政院把 2019 年定位為地方創生的元年，

藉以正視地方社區與偏鄉地區的沒落、人口老化、人口外移等問題。地方創生源自於日本，主要用意是為了振興地方的衰退，找到地方持續成長的活力，藉以增加就業機會，進而改變人口的流向。因此，推動地方創生，創造工作機會，提高生養後代的條件，以減緩地方人口老化和沒落的問題，符合世界潮流，也貼近台灣當前的需求（國家發展委員會，2017，2018，2019）。

地方創生可說是社區營造的前身，但地方創生服務的場域更大，社區營造是以小範圍的村、里或區域部落為主，以單打獨鬥的點狀發展，無法形成產業聚落，較難達成具經濟規模的產業。地方創生將場域擴大，當服務場域擴大後，研究者應思考如何盤點地方的人、事、物（產），與地方地特色和資源？如何訂出優先順序與發展目標？如何凝聚共識？進而用創新策略，進行規劃，以設計加值的手法，開拓地方特色資源，引進優質人才，帶動地方產業發展，提升地方文化，讓人回流，藉以減緩與改善地方人口的老化，這是地方創生要克服的難題。

5. 建立「青銀共好」的通用設計

高齡者在未來將會逐漸增加，是各領域都必須面對的課題，研究者應對高齡化抱持正面的看法，透過跨領域合作，積極面對。因此，若能從人本設計與以使用者為中心的觀點和同理心去感觸與體驗，多了解高齡者需求，結合 AI 並透過各種設計與制度，將能建構一個體系協助高齡者解決問題，創造更友善的生活環境（Zhavoronkov et al., 2019）。

通用設計的理念是讓產品或使用空間，都能適合所有人使用。在面對高齡化社會的趨勢下，通用設計的理念，更需要被強化，尤其是面對未來的智慧科技，通用設計如何落實，該如何利用科技協助解決高齡者生活不便的問題，如何提供高齡者更人性化、友善化的照護，為高齡者推動一個軟硬體都適宜的生活環境，並包容不同族群使用的便利。因此，如何讓通用設計塑造出一個「青銀共好」的宜居生活，是設計產業不容忽視的趨勢（Demirkan, 2007）。

基於以上五個重點，將人因工程與設計未來推動重點方向彙整並說明如下，包括：以人為本的人工智慧、智慧生活環境與空間、大數據為基的生活體驗、安全與健康科技、以及高齡社會的人因議題，最後再就新興產業發展提出人因工程與設計的重要方向。

2.3.1 以人為本的人工智慧

隨著科技持續推動新的經濟型態，從工業經濟逐步轉型到知識經濟，以及近年更新興的體驗與服務經濟。在支援新的體驗與服務經濟的科技上，人工智慧已有突破性的發展，各種代替人類的感知與辨認技術也逐漸成熟，推動自動化服務的設計需求。在服務體驗、自動化服務與多元精緻的客製化服務的經緯交織下，創新設計便成為維持競爭力的核心要素。然而，創新設計要實踐服務體驗的精神，必須以消費者/使用者之需求為本，了解消費者/使用者的心理以及與服務系統的接觸點與互動模式。台灣這幾年一直正處在產業轉型的十字路口，但尚未找到更好的模式，正值人工智慧在應用上的發展風口，以人為本的人工智慧結合人本創新設計的研發與應用將是攸關台灣是否轉型成功的關鍵因素。透過人因工程發展使用者導向為依據的產品與服務，才能突破過去以技術導向追求產品功能規格升級的作為，整合硬體業者技術（硬體、系統、元件）與服務業者的平台（服務平台、數位服務商品），提供消費者整合與創新的解決方案（Xu, 2019；Auernhammer, 2020；Qadir, 2020）。

在人工智慧時代，人工智慧的技術能力期望透過設計，讓機器有機會學習個人持續變動的需求，以提供更好的個人化貼心服務。然而，貼心是一項不容易的挑戰，人的價值取向並非始終如一，人的需求多元，目的也會改變，有時互相抵觸，沒有統一的標

準。另一方面，人與人工智慧的互動方式，相較於過去透過不變的視覺介面與互動方式截然不同。由於人工智慧為基礎的人機互動系統會不斷學習與調整服務，用以滿足人們的變動需求與體驗，允許系統對提供的服務做適當調整，乃是人工智慧的技術可期待之突破。例如，目前在各種系統上的使用者介面設計多半為視覺的表現方式，視覺認知研究結果也累積了大量的視覺設計原則。然而，這些視覺設計原則無法應用於新一代的聊天機器人（Chatbot）的設計上。利用自然語言或是文字的互動模式就需要有新的心理與認知研究，透過不斷實證的結果來提出新的設計原則。由深度學習與類神經網路為基礎的人工智慧技術，其互動介面輸入與輸出也跟過去根據寫定的法則來運作的系統不同。因此，以人工智慧為基礎的人機互動設計也需因應當前技術，以做出更謹慎的設計。著名設計研究者 Holmquist（2017）在面對如何使用人工智慧作為最新的設計材料時，提出幾個人工智慧設計需要謹慎考量的挑戰，說明如下：

1. 為透明性設計（Designing for Transparency）

人工智慧設計有必要讓用戶了解人工智慧如何實際影響互動。使用者必須清楚，系統實際上是根據傳入的資訊做出自己的決定，就像下棋一樣，而不是像過去根據一組固定的規則進行工作。總之，人工智慧的設計可能需要比我們過去習慣的介面更模糊，屬於更開放式的使用者介面。

2. 為不透明性設計（Designing for Opacity）

第二點看似與第一點有矛盾，因為我們不再能夠準確地解釋人工智慧為何或如何做它所做的事情——它們是不透明的。設計師如何與使用者溝通產品內部有哪些東西無法解釋？這又如何影響系統中的信任和信心等品質？都是亟須研究的設計挑戰。

3. 為無法預測設計（Designing for Unpredictability）

無論神經網絡訓練得多好，它仍然在某種程度上需由給定的數據中得出自己的結論。人工智慧會設計自己的策略，導致它會做出不一定是人類會做出的一些令人驚訝的決定與行為。因此，設計師必須為那些以意想不到的方式行事的系統做好準備和設計。設計要如何最大限度地減少損害並最大限度地發揮這種不可預測性帶來的好處？

4. 為學習設計（Designing for Learning）

此點與通過不斷學習改善人工智慧有關。理想情況下，神經網絡永遠不應停止學習；它應該持續使用新的輸入來改進其演算結果並使系統更好。但是輸入資料不能成為使用者的苦差事，如果使用者必須明確地訓練系統，那麼很可能成為有效使用的障礙。如何設計系統來鼓勵使用者輸入資料，並將人工智慧建立在互動本身上是新的設計挑戰。

5. 為演化設計（Designing for Evolution）

此點與人工智慧系統將如何隨著與人互動的時間推移不斷發展有關。人工智慧產品與使用者合作解決問題時應該要不斷改進，但是有些改進可能為非預期的。因此，如何傳達演化就是設計議題。隨著人工智慧系統的發展和做出新的決策時，有必要將其傳達給使用者，以便知道他們期待什麼，並且可以避免令人不快的意外發生。

6. 為分享控制設計（Designing for Shared Control）

最後的挑戰涉及如何設計人工智慧系統以允許與使用者共享控制，而不是由其中一方具有完全的控制權。介面設計必須允許使用者能夠清晰的控制，以及下達如何分配權利的指示；這包括自動系統有多大的權力可以制定自己的決策，以及多少權力是在使用者控制下。然而，其中一些決策可能太複雜，無法通過視覺或有形介面來與人類溝通，導致需要語音或其他更細微的溝通模式。於此，設計人工智慧系統的互動性以使其能夠與使用者真正合作將是成功的關鍵衡量標準之一。

另一方面，與不同種類機器人的互動，將來在每一個人的平日生活越來越頻繁。由於這樣的需求，機器人心理（Robotic Psychology）研究將越來越重要。機器人心理學是

一個跨領域研究和應用的領域，研究在於人與人工智慧機器人在不同層面上的相容性，包括，感覺動作，情緒，認知和社交 (Libin & Libin, 2004; Spielberger & Reheiser, 2009)。從心理學的角度分析機器人及其行為，為技術和社會科學的理論和實踐應用開闢了新的視角。機器人心理學要採用人因的系統研究方法來研究心理生理學，心理學和社會層面的人與機器人互動的關係。例如，在機器人心理學脈絡中的相容性，即是取決於人類如何感知他們的機器人夥伴，以及人類如何在情感上對機器人產生感受。機器人心理學研究將培訓，教育，娛樂和治療的元素融入到人與機器人溝通過程中，從而產生了互動技術的增強建構模型的發展。例如對人心模型、情緒模型、社會行為模型、教導與學習模型等。

在製造現場，有些作業因自動化技術未趨成熟或是成本仍高，僅能採取操作人員與工業機器人協同作業的「人機協作」(Human-Robot Collaboration) 模式，從人機系統的角度觀之，一方面與人類操作機器或人類、機器各做各的之「人機合作」不盡相同，另一方面又沒辦法完成比擬兩名作業人員之間的協作，因此需獨立探討在此模式下的心智模式：由於「確保人類安全」是人機協作的最基本原則 (ISO10281-1, 2011)，當工業機器人可能接觸人員時，便會減速或停止移動，但人員可能對照過去的機器操作經驗而誤認為故障，故必須透過適切的顯示以降低人員的心智負荷及失誤風險；儘管機器人能夠透過非接觸式的感測及運算單元成功判斷人員的狀態，該如何向人員提供回饋也是一項挑戰，宜基於人際溝通妥善設計。此外，幫助人員對於跟機器人之互動維持合適的信賴亦至關重要，在降低人員工作負荷、提昇效率的同時，也要避免過度信賴造成情境察覺 (Situation Awareness) 下滑 (Makrini et al., 2019; Peternel et al., 2017; Peternel et al., 2018)。

在日常生活中，自動駕駛亦有許多類似的挑戰：目前的技術仍以 SAE (2018) 定義的 level 2 為主流 (Knoop et al., 2019)，例如由人類控制方向盤、自動化系統控制油門及煞車的「主動式巡航定速」，即為「人機協作」的例子，因此，同樣需考量透過視覺、聽覺、觸覺等多感官餘備顯示設計，以避免駕駛人花費過多心力而未能全神貫注於路況。此外，若駕駛人因熟悉而過度信任自動化駕駛輔助系統，恐忽略要定時地主動留意其狀態，萬一系統臨時故障，便可能因未掌握狀況而延誤處置，故宜刻意地強制要求駕駛人確認狀態—如需參考儀表板資訊以解除造成明顯不視的聽覺警告—以維持適當的情境察覺；即使是更高等級的自動化，仍無法保證不會有系統故障、需要駕駛人接手的情況，因此皆需妥善考量前述維持情境察覺的方法，以確保人、機之間的有效溝通與及時互動 (Bhise, 2012; Akamatsu, 2013; Walker & Stanton, 2017)。

對應至人因工程與設計子學門的專長分類，此研究方向有待人機系統 (心智模式、人機介面與互動、人一機器人互動、使用性)、宏觀人因工程 (團隊工作設計、組織人因工程)、產品與系統設計 (產品設計、服務與體驗設計) 等子領域的學者專家共同投入發展。

2.3.2 智慧生活環境與空間

當生活中到處都利用人工智慧技術時，設計者應該思考，人工智慧對生活與環境會帶來什麼樣的影響，該有什麼樣的作為？智慧生活的核心技術，除了人工智慧技術以外，物聯網 (Internet of Things)、大數據 (Big Data)、深度學習 (Deep Learning)、影像辨識技術 (Image Processing and Recognition)、擴增實境 (Augmented Reality, AR)、混合實境 (Mixed Reality, MR) 與虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 等多樣軟硬體技術的快速發展，成為實現智慧生活環境與空間的關鍵基礎 (Cook et al., 2009; Gams et al., 2019)。

展望未來的科技與研究，遍存感測器 (Ubiquitous Sensor) 與致動器 (Actuator) 等

擷取使用者參數如動作、姿態的工程技術發展日趨成熟，應更進一步探討使用者之需求及與智慧生活環境互動所產生的使用者體驗 (Muño et al., 2020)，故須整合環境心理學、互動設計、社會科學等人因工程領域的應用技術，以實現以人為本的智慧生活環境。此一生活環境除了帶給人們便利與舒適外，更應讓人們更專注且融入在使用情境，保障人們的安全與健康，同時對環境友善。因應此一目標，將幾項未來的重要議題，分述如下：

1. 以大數據為基礎的個人化情境設計

隨著個人資訊爆炸式的成長，智慧生活的實現除了技術開發與服務提供者以外，社群媒體與政府亦掌握了許多個人化資料，整合眾多資料來源與複雜資料型態的大數據分析以進行個人化的情境設計為一重要課題 (Alyass et al., 2015)。在針對個人需求提供服務滿足人們生活所需、帶給人們良好使用經驗的同時，也必須研究每個個體對不同誘因的敏感度來應用激勵、同儕效應等方式對人們的生活方式產生正向影響，如選擇更個人化的操作介面與易令人專注的情境設計，更健康節能的生活模式，這是智慧生活環境與空間設計長遠之目標。

2. 深度學習智慧系統

對於使用大數據進行個人需求的偵測、判斷與剖析，過去使用條件式甚至淺層學習 (Shallow Learning) 的演算法已不足以解讀複雜的人類行為，而深度學習 (Deep Learning) 的神經網路演算擷取資料多個層面的特徵以進行更有效率的行為判讀及需求預估，同時整合本地端感測器所蒐集之資料與雲端大量資料進行運算，方能達到即時化更新及演算之需求。對於深度學習系統所需的資料來源篩選與應用，則需回歸到人類行為科學的研究，配合影像辨識技術、穿戴式量測裝置對於人類行為、動作與情緒判讀的精準度與敏感度的提升，精確掌握人們生心理的需求及狀態，提供相對應的服務 (Kistan et al., 2018; Lee et al., 2021)。

3. 虛實整合的空間設計

隨著電腦、圖形處理器的運算能力強化與輕量化，無論是固定式、手持式或穿戴式的 AR/VR 設備逐漸融入人們的生活，人與機器間各型態的資訊輸入與顯示途徑也不斷進化，在人對電腦的資訊輸入方面，跨設備的觸控屏幕、語音輸入手勢輸入、動作輸入、眼球軌跡輸入等都已具有實際產品問世，顯示方式除了典型的平面視覺顯示裝置，全息投影 (Holographic Display) 技術或整合實體結構與虛擬光學影像的光雕投影 (Projection Mapping) 技術都是新型態的影像顯示方式。複數個顯示/輸入裝置的人機介面整合設計，需考量到資訊與資訊傳遞的干涉與搭配、人類訊息處理的能力以及設計上空間相容性等多項要素，以帶給使用者良好的使用者體驗。

同時隨著元宇宙的熱潮和疫情的肆虐，互動體驗方式勢必會受到影響且推陳出新，逐步使人的社交互動進入人造的虛擬世界，各種虛擬 (AR、VR、MR) 逐漸廣泛的應用在互動體驗之中。不同的虛擬技術會產生不同的互動體驗和情感，分析比較不同的虛擬技術對情感體驗產生的影響，以及虛擬技術介面設計對互動體驗過程所引發的情感等，都是在元宇宙和疫情之下的一個熱門議題 (Aromaa & Väänänen, 2016; Kadir et al., 2019; Hietanen et al., 2020)。

4. 智慧人機互動

隨著電腦運算能力、雲端儲存服務以及人工智慧技術的成熟，智慧居家、智慧醫療、智慧學校等已不是遙遠的目標。在這些智慧環境中，人與物 (或系統) 的互動始終是影響使用者表現、安全與滿意度的重要環節。當人機互動冠上「智慧」一詞，這代表電腦或系統必須能夠「智慧地」了解人員的狀態及判斷其需求，並針對需求提供適當的回應與服務 (Wu et al., 2017)。換言之電腦系統必須能做到「察言觀色」，在不干擾使用者原來作業的前提下「智慧」地了解使用者。因此，為了達到「智慧人機互動」的應

用目標，發展多種非接觸/非干擾式 (Unobtrusive/Contact-Free) 的多感知管道 (Multiple Sensory Modalities/Multi-Modal)，收集人員資料達到人員的狀態辨識有其必要性 (Goulart et al., 2019; De Silva et al., 2012; Jenkins et al., 2009)。

鑒於上述需求，攝影機、麥克風、眼動儀等非接觸/非干擾式設備已被廣泛用於辨別使用者狀態，然而過去此類研究人員的背景大多與電腦科學相關，因此研究內容與方法著重於人工智慧模型的建構。雖然不少研究結果顯示對於訓練與測試的資料有著良好的預測成效，但研究中除了忽略人員狀態與收集特徵值之間的學理關係外，亦較無法兼顧資料收集在系統性與完整性上的考量。常見發展的人工智慧模型容易因為模型發展的過程中對於資料的過度擬合 (Overfitting)，而造成無法有效適用於其他實際應用。此外，現階段與人員狀態相關的資料大多缺乏正確標籤，在資料量未達所謂「大數據」的程度前，人工智慧模型 (特別是深度學習方法) 的預測成效受到限制。

5. 產品與情感體驗

情感體驗是以體驗設計為基礎，目的是喚起內心的情感，不同的產品體驗會有適合的感官，也會引起不同的情感變化。因此，如何藉由產品體驗和感官搭配的最適化，來產生最佳化的情感，藉以增加消費者對產品的認同感、價值感等，對設計師或進行體驗行銷過程中，是一個值得關注且重要的議題。Norman (2002) 將情感劃分為三個面向，分別為本能層次、行為層次和反思層次，本能層次是藉由設計外觀和美感，給予使用者視覺感官上的體驗，行為層次是藉由產品的功能，給予使用者在使用過程中的體驗，反思層次則是融合了教育、文化、經驗和形象等更深一層的體驗。因此，可進一步研究不同層次所帶來情感體驗，以及不同層次的情感交融所產生的效果。

過去有關情感的研究都是基於正向的角度來進行，例如：研究一個介面，如何讓人更愉悅的操作，悅耳的聲音如何讓人的情緒不緊張，適當的顏色搭配讓人產生正向的心理感受等。情感是複雜且多面向的，負面的情感也同等重要，負向的情感體驗也是設計師可以操弄的研究，例如：救護車的鳴笛聲、出現具有威脅性的造形等，讓人產生緊張或沮喪的情感，或許能減少錯誤，增加注意力等。

人因工程強調實驗科學，透過嚴謹研究假設、實驗設計與統計檢定，驗證自變項與應變項之間的關係。因此，以人因工程實驗科學為基礎，透過系統性的實驗方法收集高質量的資料，並先驗證特徵值的重要性，再結合人工智慧方法建構辨別模型之方法論，是人因工程與設計子學門可著墨的研究方向，藉由上述流程方法的執行，或許能協助克服現階段電腦科學領域在辨別使用者狀態模式上所面臨無法廣泛應用的困難。

對應至人因工程與設計子學門的專長分類，此研究方向有待生物力學與人體計測 (量測技術開發與應用)、人機系統 (多媒體與虛擬實境、人機介面與互動、人-機器人互動、使用性、行為決策支援系統)、產品與系統設計 (產品設計、服務與體驗設計、通用設計)、情緒與生活經驗 (感性環境與社區營造、情緒體驗與設計) 等子領域的學者專家共同投入發展。

2.3.3 大數據為基的生活體驗

人因工程旨在基於對人類能力限制及個體差異之了解、發展「以使用者為中心」的設計，傳統方法往往是透過實驗室內的模擬找出設計目標，除了情境條件較難完整地反映現實狀況，時效性也是一大挑戰：即使是微幅調整系統的參數設定範圍，從招募參與者、蒐集資料到分析解讀必然花費相當的時間，使得設計未能及時地更新以符合需求變化。所幸，伴隨資訊科技的持續進步，新興的感測技術可在自然、不干預活動的前提下記錄、蒐集使用者之行為，面對因此而累積的大數據也能快速地運算，應用於公眾設施的彈性設計便得以實踐，藉以創造更理想的生活體驗。另一方面，近年受 COVID-19 疫情影響，人們開始正視遠距辦公、遠距學習的必要性及相關挑戰 (Ahmed et al.,

2022)，上述的原則也得以發揮效用、幫助發展以大數據為基的良好遠距體驗。此主題的相關議題如下：

1. 結合感測技術從日常行為中獲取資訊

以大眾運輸為例，若乘客使用個人化的電子票證，可記錄其所屬族群（學生、普通成人、高齡者、身心障礙人士）及進、出站時間，搭配對應的列車時刻，有助於了解弱勢族群是否必須花費較多時間，除藉以提出設計變更，亦可運用同類數據評估成效，在維持正常使用的同時便能促進多元友善設計。若想要進一步了解各時段的人流分布，則可於更新地板時增設壓力感測單元、提供影像辨識以外的偵測來源，一方面可降低個人隱私的疑慮，另一方面也能更快速估計各時段在不同區域的通行量，有助於設計及評估疏散人潮的措施、掌握預防性維護之優先性以提昇乘客安全、乃至於妥善布置重要公告的位置，由於是「讓乘客的行為說話」，可謂新型態的參與式設計（Mahmud and Hasan, 2021；Qiu et al., 2022）。

2. 分析使用方式優化產品使用性

遠距會議、協作平台及線上教學已行之多年，但隨著近年使用需求遽增，許多不良的使用體驗才被陸續反映；換個角度思考，這些抱怨的源頭—即讓使用者困惑的操作行為—若能被有效蒐集、分析，將可加速有效的設計改善與評估。最基本的使用資訊是各項功能被觸發的頻率，再加上各功能間被接連觸發的關係，有助於決定介面元件的相對位置，亦即使操作流程更符合需求與直覺；若發現會議主辦人（或教師）及參與者（或學生）有不同的行為特徵，則可進一步提供多模式選擇，以提升使用彈性。配合這種以大數據為基的及時改善，就算每次更新時僅有微幅的變化，使用者也能感受到漸入佳境的使用體驗。

3. 開發去識別化技術重視使用者隱私

大數據已成為各領域的發展趨勢，但數據的蒐集、傳遞、分析與公布有時會伴隨使用者隱私的曝光，因此使用者的隱私權與資料正當使用的界線成為大數據發展的重要議題。除了蒐集數據前應告知使用者將提供何種數據給第三方，以及數據可能的使用方式外，對於數據同時應進行去識別化處理。去識別化（De-Identification）意指透過某種技術或遮蔽方式，使得一筆資料不再與特定個人有連結。常見的去識別化方式包括統計揭露控制（Statistical Disclosure Control）、K 匿名系列演算法、差分隱私演算法（Differential Privacy）、對抗生成網路資料生成法（Generative Adversarial Network Generator）、多機構去識別化資料融合分析法等。人因工程未來不只蒐集與分析數據，需一併學習與開發去識別化技術，才能兼顧大數據分析和個人的隱私。

4. 開發大數據分析與視覺化技術

相較於人因工程傳統透過實驗或局部調查獲得數據的方式，大數據具有四種特性，分別是資料量大、資料類型多樣、資料快速產生、資料真假參雜。因此大數據的資料除了取得與儲存外，特別需要發展資料分析演算法與資料呈現技術。資料分析常使用人工智慧、機器學習等技術，透過分類、迴歸分析、排序、關聯分析等方式找出其中規律，並運用決策樹、遺傳演算法、人工神經網路等模型進行計算（Majnarić et al., 2021；Wang et al., 2021）。未來可進一步研發更有效率與準確性的演算法，快速更新結果以利即時反應使用者狀態的改變。另外如何將數據轉換為圖表、地圖等視覺化資料，讓觀看者一目了然資料的重點與趨勢，同時也是未來的研究重點之一。資料視覺化（Data Visualization）指的是利用圖形化工具（如統計圖表、立體模型等）從龐大的數據庫中萃取出有用的資料，使其成為易於閱讀、理解的資訊。不管使用何種視覺化的圖形，均須兼顧資料的正確性（數據不因圖形化而改變）、吸引力（該圖形能夠引發觀看者的興趣）以及可理解性（觀看者能夠理解該圖形的意義）等三項，好讓觀看者覺得有趣、易於理解並印象深刻（Friendly & Wainer, 2021）。

對應至人因工程與設計子學門的專長分類，此研究方向有待人機系統（人機介面與互動、人-機器人互動、使用性）、產品與系統設計（產品設計、服務與體驗設計、通用設計）、感性工學（聽覺及觸覺感性工程、感性設計、感性互動、感性資訊處理）、情緒與生活經驗（感性環境與社區營造、情緒體驗與設計、服務體驗設計）等子領域的學者專家共同投入發展。

2.3.4 安全與健康科技

1. 人因性危害預防

勞動部職業安全衛生署於 2015 年 12 月 11 日發布人因性危害預防計畫指引（勞動部職業安全衛生署，2015），目的在幫助和督促事業單位改善及預防因工作所造成的肌肉骨骼傷病職業傷害。在此人因工程的防制計畫下，企業應強化其人因性危害預防組織之建置與技術能力，以防制職業性肌肉骨骼傷病之發生有其迫切性。近年來影像演算技術的發展，可依照產業類型的不同（營造業與醫療業），將過去依靠人力觀察的人因工程評估工具，利用數位影像和快速演算技術，讓現場作業員工或人資主管可即時獲得警示，當下改善可能造成職業傷害的工作姿勢或環境，藉由人因工程數位評估方式落實照顧勞工族群、即時預警免於累積性肌肉骨骼傷病危害的智慧作法。加上實務個案數量的累積分析，模擬預測系統建立，皆有賴於國內人因工程專家、資訊工程專家與企業安衛主管持續共同攜手合作，一起打造更安全、更尊重人性的工作環境。國內已有廠商將影像分析的技術應用於工廠環境，開發出可預先標記安全（綠色）和警示（黃色）活動範圍的偵測系統，用於提升工廠的安全維護，但由於該系統對勞工的辨識，以及工作姿勢、作業內容與施力大小等之資料收集與分析仍有所不足，尚未能用於評估偵測範圍內勞工的作業負荷與肌肉骨骼危害暴露程度，這也是未來需持續研究的方向之一。

近期各國在人因工程危害評估工具的發展上仍持續有所進展（ISO，2014），然而這些工具對我國現行產業之適用性值得進行研究加以確認，同時其所需之應用軟體也值得開發。例如德國政府於 2019 年頒佈新版的關鍵指標工具（Key Indicator Method，KIM），其內容除了 6 個新版的 KIM 工具之外（BAuA，2019），另包括 KIM 的延伸工具（KIM Extended Tool，KIM-E tool），提供內插試算公式以及整併子項作業風險之功能，明顯擴增舊版 KIM 工具的涵蓋面與應用性（杜珮君，2022）。但因其內容及計算方式較為複雜，相關應用軟體的開發與改善案例將有助於肌肉骨骼危害防制教育訓練與實際的使用。

近年來，自動化製造、材料科技、動力機械和人工智慧等技術快速發展，以及勞工老化的趨勢下，機器外骨骼逐步引進於各場域。例如：支撐車廠組裝作業員膝關節的 H-CEX（Hyundai Chairless EXoskeleton）、協助倉儲人員重複搬運的上肢外骨骼輔具、或是針對降低腰部負荷的日本人字型外骨骼（Atoun Modely）；皆有助於勞工於職場上安全與健康的工作執行。因此，未來機器外骨骼將更需要從「人機協作」朝向「人機融合」的方向來發展，協助高齡工作力運用與職場環境改善。

2. 醫療器材設備優使性評估

醫療機構近年積極引進目前蓬勃發展之人工智慧與大數據分析等科技，期望建構智慧醫療體系，此體系將有更多的人機系統議題，需要人因工程與設計的相關研究。科技通常視為人類執行任務的工具，但隨著人工智慧與機器人科技的進步，科技已從工具的角色慢慢轉變為團隊隊友的角色，因此有人類—人工智慧—機器人組隊（Human-AI-Robot Teaming，HART）之新興研究方向，例如團隊的協同性（Synchronization）、適應性（Adaptability）、信任（Trust）、溝通（Communication），以及人工智慧的解釋性（Explainability）等面向，這些面向也與宏觀人因工程的研究方向相關（Lematta et al.，

2021；Huang et al., 2021)。

食藥署近年來與工業技術研究院量測技術發展中心人因/可用性工程實驗室（以下簡稱工研院量測中心）共同舉辦多場推廣性活動，相關議題如智慧醫療器材 IEC 62366 可用性測試、醫療器材可用性評估方法與技術及醫療器材軟體風險分析工具之應用等。在法規與條文的推廣下，人因工程與優使性工程將受到醫材業者的重視。然而過去國內大部份醫材業者著重於製造代工的營運模式，對於自我品牌的經營以及產品設計與開發著墨未深。有鑑於此，食藥署新政策的實施有待人因工程與設計子學門能量的挹注，朝產官學合作、人才培育與研究發展等多項重點深耕。

在國內醫材業者缺乏人因工程人力的情況下，人因工程與設計子學門之成員可規劃與執行產官學合作計畫，協助醫材業者依循「醫療器材人因可用性工程評估指引」（衛福部食藥署，2020）進行醫材設計與評估，提昇產品於國際市場上的競爭力。由於「醫療器材人因可用性工程評估指引」是根據美國 FDA 多項標準所建構，其內容是否適用於國內之醫護人員、醫療作業以及醫療環境尚未進行系統性確認，因此可衍生出許多相關研究議題。

對應至人因工程與設計子學門的專長分類，此研究方向有待生物力學與人體計測（人體計測資料庫、工作姿勢分析、滑/跌倒、墜落與步態分析、輔具與防護具設計）、安全與衛生（職業傷害分析、肌肉骨骼傷害、工作生理與負荷、現場改善）、宏觀人因工程（安全設計規劃、安全文化與管理、參與式人因工程）、人機系統（人機介面與互動、人-機器人互動、使用性）等子領域的學者專家共同投入發展。

2.3.5 高齡社會的人因議題

在 2026 年，台灣即將邁入「超高齡社會（Super Aging Society）」，屆時高齡人口比例將高達 20% 以上，如何透過人因工程幫助老化過程所面臨的生理、心理認知、社會互動、環境限制，有效整合高齡科技（Aging Technology）、輔助科技（Assistive Technology）和人因工程（Ergonomics/ Human Factors）於職涯延伸、維持健康、提高醫療照顧與生活品質等領域越來越受到關注。結合各種科技輔助、評估與改善，讓生理機能逐漸衰退的高齡者仍能健康、舒適、安全地享受工作與生活，是人因工程在高齡化趨勢中重要的核心與目標。在相關高齡化社會人因工程關注的領域可以擴及：

1. 掌握高齡者的內外變化

身體各部位隨著年齡增加而逐漸改變，改變的部分除了面貌與體型外，還包含了知覺機能（視覺、聽覺、觸覺、味覺、嗅覺等）、生理機能（心血管結構與功能、血壓、心搏、代謝系統、神經系統、免疫系統等）、運動機能（肌力、靈巧性、速度等）、認知機能（知覺速度、工作記憶容量、注意力、推論能力、空間能力等）、美感偏好（色彩、型態、質地等）等面向（Nylén et al., 2014；Fox et al., 2015）。人因工程專業人員仍需持續調查與評估高齡者上述面向的變化與狀態，特別是不同族群（如新移民、原住民）或不同狀態（如患有慢性病、阿茲海默症、帕金森氏症等）之高齡者，以作為相關產品、設施與服務設計的重要參考基準。

2. 職業生涯的延伸與智慧傳承

隨著高齡化過程肌耐力、反應能力與感知覺（視覺）能力退化等，如何透過工具、設備與工作環境設計與改善，透過工作負荷評估調整職務內容等方式，延長職業生涯讓高齡工作者的智慧、經驗與專業得以延伸。資深員工的價值在於其長年累積的經驗與技藝，如何有效傳承豐富經驗亦是重要的關鍵議題。透過人因工程評估與分析技術，如：動作擷取（Motion Capture）、眼球運動追蹤（Eye-Tracking）、行為分析（Behavior Analysis）與紀錄等技術記錄並保存資深員工的操作步驟或策略特性，透過人工智慧建模，可系統化提供新手與老手間經驗差異並提供具體的修正建議，甚至可以將智慧複

製至工業機器人的程式，提升自動化作業的品質 (Strasser, 2017)。

3. 高齡使用者產品設計與體驗

考量生理與認知功能變化，提供同時滿足身、心、靈的友善產品設計，瞭解高齡者情緒與生活體驗是重要的關鍵。隨著科技快速發展，生活中充斥著各式新式科技軟、硬體產品，從手機中各式各樣新穎 APP、智慧家電、情境智能環境控制系統、自駕車到陪伴機器人等。運用參與式設計 (Participatory Design) 手法將高齡使用者在前期設計開發過程共同參與設計，清楚定義高齡者需求，提高使用者滿意度，幫助高齡者更輕鬆、順暢地使用既有的產品或服務，這些都有賴人因工程專家的參與及投入 (Demirbilek & Demirkan, 2004; Ijsselstein et al., 2007; Basanta et al., 2017)。

4. 高齡使用者安居與生活友善空間設計

過去公共空間、大眾運輸工具、生活與休憩環境的設計配置，以多數成年人或兒童為主。然而隨著高齡者身、心、靈的變化與需求，從人體計測為基礎出發，結合高齡者動作與感知覺能力特色，提供公共空間與大眾運輸工具友善安全與人性化的體驗，人因工程專業可以提供全面性的考量與設計規範來提升更友善的高齡使用者安居與友善空間規劃 (Villarouco et al., 2016; Uddin, 2018)。

5. 高齡服務整合與體驗設計

除了有硬體、建築、空間的友善規劃，商業活動中高齡者是最具有潛力的消費族群之一，人因工程專業可以評估並提升以使用者為中心的設計服務規畫與體驗，服務體驗與設計範圍可以含括醫療服務、商業服務、旅遊交通服務、居家生活服務等，透過服務設計流程深入了解使用者需求，並加以思考、評估與改善，結合高齡者能觸及的軟、硬體科技，幫助高齡者更能融入社會增加社會參與感。

6. 高齡醫療與照護需求設計

在社會結構改變、少子化家庭與家庭照顧人力缺乏的情況下，對於獨居老人與失能長者的照顧需要相當的照服與護理人力。然而高齡者間個體在生理與心理的衰退程度差異性非常大，在沒有充足的照護人力協助下，如何透過非穿戴式、遠端照護科技協同專業照服與護理人員成為高齡醫療與照護的重要議題。結合 5G、大數據分析與人工智慧技術，越來越多去個人辨識與不侵犯隱私的行為分析技術導入來及時判斷高齡者行為動作退化與跌倒風險，如: Beseye 新創公司影像辨識的骨骼動作分析技術與 Fusion 毫米波雷達跌倒偵測系統，透過 AI 行為分析辨識平台預測與警示老人跌倒或異常危險行為，人因工程對於這些高齡醫療與照護需求的設計能提供人機互動介面設計與行為動作建模等領域的專業協助 (Ozkaynak et al., 2021)。

7. 高齡與科技整合應用議題

隨著科技進步與未來虛實整合趨勢推進，科技產品與環境整合對與高齡使用者相關的議題，例如在虛實整合 (元宇宙環境) 環境與使用介面下高齡者視覺與生理能力調節與適用性評估，也將成為人因工程領域探討的主題之一。

對應至人因工程與設計子學門的專長分類，此研究方向有待生物力學與人體計測 (人體計測資料庫、輔具與防護具設計)、安全與衛生 (法規與標準、作業環境評估、現場改善)、人機系統 (人機介面與互動、人-機器人互動、使用性)、宏觀人因工程 (參與式人因工程)、產品與系統設計 (公共及居住空間設計、通用設計)、情緒與生活體驗 (感性照護與醫療、服務體驗設計) 等子領域的學者專家共同投入發展。

2.3.6 新興產業發展

過去人因工程的研究發展，多數為基礎理論型的研究，而從國家與產業整體發展的角度可以發現，未來產業急迫地需要人因工程相關理論的實踐，並協助產業落實於產品設計上。從產品與系統設計、人機系統、情緒與生活經驗等，到人因手法的跨領域

應用，更是展現人因工程在未來產業成功發展所扮演的關鍵最後一哩。以下就未來產業發展上，嘗試提出人因工程與設計的重要方向，積極配合產業同步成長。

1. 發展中領域的持續輔導與深化

多年來人因工程與設計子學門一直在製造業、勞工安全與衛生、運輸安全、產品設計等領域有卓越貢獻。現今台灣的產業仍多屬中小企業，其發展腳步與大型公司的差距甚巨，仍需人因工程相關專家學者輔導產業升級，並建立相關規範。例如高齡議題、運輸安全、製造流程及作業環境改善、符合使用者需求的產品設計與研發、人為失誤防止等，都值得人因工程學者專家更深入且持續地研究。

2. 新興領域議題的拓展與普及

近年來人因工程學者積極探索新興產業與技術中，人因相關的議題，目前多聚焦於醫療與健康照護產業、國防產業、無人駕駛技術之合作與發展。以醫療產業為例，人因工程學會已與醫策會合作，在醫療體系中推展人因工程；在國防產業中，國機國造政策帶來許多人因議題，例如人體計測可以應用在座艙設計、頭盔設計、氧氣面罩設計、控制器尺寸設計、施力評估等（國家中山科學研究院，2019），其他如軍裝分群設計、穿戴式裝置評測、戰訓生理評估與各式介面操作等議題，也都由國防大學與國家中山科學研究院積極整合，開始進行人因相關的研究；無人駕駛車或無人機的操控介面人因議題，也帶來許多新契機。在新興領域中，目前人因研究之廣度仍有不足，尚有許多人因工程議題，有賴人因工程各領域專家的持續參與及深耕，與產業共榮並進。以下列舉數項議題，卓供參考：

- (1) 電動車的設計挑戰：汽車產業正經歷一場世代的變革，電動車已逐漸取代燃油車。電動車與傳統燃油車不同的地方是少了燃油引擎和變速箱，改以馬達來驅動。由於馬達的體積較小，因此可以跳脫傳統設計的框架，汽車外型設計，得以有更大幅度的變化，車室空間也因此增大很多。此外，電動車整合了一些先進科技，自動駕駛導入，人與車輛的互動，同時也會帶來變革。因此，從人-機（電動車）-環等三個面向，進一步探討電動車外型的吸引力、車室空間的舒適性，自動駕駛的安全性，人車介面的操作性等，都是智慧電動車發展過程中需要關注的焦點。
- (2) 元宇宙風潮下的虛擬生活：自從 Facebook 更名成 Meta 後，元宇宙的風潮也逐漸興起，元宇宙是虛擬實境（VR）與擴增實境（AR）等概念的延伸，使用者透過虛擬方式，可進行任何的體驗和活動，例如：虛擬購物，使用者可以從物品的虛擬 3D，感受其尺寸、樣態、使用等，減少對產品的不確定性。在元宇宙的架構下，包含硬體設備，如 AR/VR/觸覺手套等裝置、虛擬平台的 3D 環境、使用者行為和介面設計等，研究者可思考，從設備、虛擬環境建置、使用者等不同面向，探討如何才能讓人更方便，更容易和有效率的沉浸在元宇宙當中。
- (3) 著重 CMF 的產品創新：CMF 是顏色（Color）、材料（Material）、表面處理（Finish）的統稱，消費者接觸到產品最直接的視覺感受，除了產品的造形之外，就是產品的 CMF。台灣在最近這幾年也逐漸意識到 CMF 對產品的重要性，有些企業開始招募 CMF 設計師。當材料被設計師選擇時，除了材料本身之外，還要考量搭配怎麼樣的表面處理，同時也要思考用色的問題。因此，在設計過程中，在顏色、材料、表面處理中，研究最佳化的視覺效果，能進一步提升消費者對產品的感受。
- (4) 科技融入通用設計的思維：通用設計的理念是讓產品或使用空間，都能適合所有人使用。在面對高齡化社會的趨勢下，通用設計的理念，更需要被強化，尤其是面對未來的智慧科技，通用設計如何落實，該如何利用科技協助解決

高齡者生活不便的問題，提供高齡者更人性化、友善化的照護。因此，以智慧科技為基礎，融入通用設計理念，研究高齡者的生理、心理樣態，為高齡者設計適宜的產品，推動便利的生活環境，也是亟需努力的問題。

3. 全新產業領域與人因應用的開拓與嘗試

隨著科技進步與產業進化，產生了全新產業領域，一些以前未曾思考、未曾嘗試的人因工程議題，為人因工程帶來全新的挑戰。也因為是全新領域，人因工程研究可以在產業發展的導入期即取得良好基礎，並刺激產業的正向發展。以下嘗試略窺的數個全新產業發展領域以及在科技和設計思維的轉變下的研究趨勢，提供參卓：

- (1) 機人協同製造：從工業 4.0 開始，製造產業高度智慧化，機器與人員之互動將變成機器為主，人員為輔的製造流程，人員須搭配機器以共同完成工作。
- (2) 人機協同服務：在人工智慧與高度自動化下，未來服務產業可貴之處在於人與人之間的溫度。因此在未來服務產業會演變成前端主導及服務為人員，後端則由智慧化器械或機器處理的過程，而形成人機協同服務的概念。
- (3) 無人化服務：部分服務在人工智慧與科技的加持下，可以達到少人化甚至無人化，例如無人銀行、無人商店、無人行政機關、無人餐廳。在無人化服務中，人因工程需探究服務流程與人機介面是否符合使用者的需求與想法，以求最佳使用體驗。
- (4) 無人駕駛系統：目前無人駕駛之發展方興未艾，未來自動駕駛的概念會從無人車、無人機到各種動力載具，載具的形態也可能脫離目前可見範疇。新的人機介面、座艙設計、控制環境與系統整合，甚至無人駕駛系統與環境之間的議題，都是未來人因工程應觸及的層面。
- (5) 跨領域整合人因與科技：未來在生活與工作上，會愈來愈強調情境與科技整合的重要性，因此人因工程需要整合不同領域之專業知識與技術，以營造最佳化的體驗。例如智慧居家中所使用的各種系統，必須自動感知成員的需求與狀況，自動學習家庭成員的習慣，主動提醒或防止家庭成員的失誤。不同智慧系統之間需能進行訊息傳遞與溝通學習，並整合構成安全舒適且溫馨的家居/工作環境。目標需以人因工程概念為核心，整合不同領域的技術與專業，共同完成跨域產品或技術之研發/整合，以追求生活與工作之最適化。

期待透過不同人因與設計領域專家學者的力量，在發展中產業深化人因，在新興產業中普及人因，在全新產業中開拓人因，強化未來本子學門在特定主題或產品設計之產、官、學、研的合作，並讓我國成為國際人因與設計重鎮，共同促進我國產業從 A 提升到 A+ 的等級。

第三章 大數據分析與資訊系統子學門

大數據分析與資訊系統子學門 (Big Data Analytics and Information System) 的發展重點並非在於資訊技術本身的精進、資訊技術運作效能的提升，而是在於透過資訊技術對各類產業、各類活動等應用領域產生創新、強化與效能改善 (行政院國家科學委員會工業工程與管理學門一百零二年度學門規劃報告，2013)。工業工程領域之大數據分析與資訊系統子學門，期望能兼顧學理研發與產業應用等雙重價值，扮演工業工程與管理學門對於應用先進資訊技術在產業端、中介端、消費端等層面持續關注新興議題、研發相關資訊技術，以帶動產業的創新應用 (科技部工業工程與管理學門一百零五年度學門規劃報告，2016)。大數據分析與資訊系統子學門 (E5016) 基於國科會 (原科技部) 工業工程與管理學門一百零八年度學門規劃報告 (2019) 進行修正，將針對統計分析 (Statistical Analysis)、資料科學與大數據分析 (Data Sciences and Big Data Analytics)、產品與服務實現技術 (Product and Service Realization Technologies)、企業電子化 (Electronic Business)、決策資訊系統與數位決策 (Decision Information System and Digitalized Decision)、資通訊技術在工業工程與管理之應用 (Applications Of ICT Technologies for Industrial Engineering and Management) 等六個研究專長與重點方向詳加說明。

3.1 大數據分析與資訊系統子學門簡介

近年來由於大數據技術、雲端運算、物聯網和人工智慧之蓬勃發展，各種終端智能裝置的大量使用，藉由物聯網實現機器、終端裝置等資訊的蒐集與匯入；藉由雲端運算提升計算效能；人工智慧透過建模從數據中學習以達成運算裝置的因果推論、識別及決策能力，人工智慧技術發展與電腦運算效能的大幅提升，帶動各類產業端的應用發展；而由於資料之高速、大量和多變，促成大數據分析之技術發展。其中，由極大量數據中萃取、分析和發現隱藏的資訊特徵的過程稱為大數據分析。使用大數據分析，可以發現各種關鍵訊息，例如製程診斷、市場趨勢，客戶偏好等。大數據分析幫助企業制定更明智的業務決策，並掌握所有相關的數據和特徵。隨著人工智慧技術發展，決策精準度大幅提升，降低決策系統中人員介入的依賴性，進而達成系統直接決策的機會。

隨著工業 4.0 的興起，各產業紛紛朝著物聯網、大數據分析及雲端的方向努力，根據 MicroStrategy (2020) 在 MicroStrategy 的報告指出，全球有 59% 的公司正在使用大數據分析，相較於 2015 年的 53%。在雲端運算平台的使用有 47% 的公司更願意使用分析平台，相較於 2018 年的 39%。突顯出大數據分析逐年以來被許多企業所接受。大數據分析與雲端計算帶來的效益不僅擴大硬體設備蒐集數據的容量，同時也加強軟體系統分析數據方面的能力，也因此有更多企業願意從傳統型轉型為智慧化。

3.2 大數據分析與資訊系統子學門研究專長與重點方向

隨著大數據分析、物聯網、人工智慧等新興資通訊科技的產生，本子學門相關研究建議著重在如何有效管理並應用企業內外產生的大量資料。經由統計分析、資料科學與大數據分析方法以從中萃取有用的資訊，產生預測模型，以協助企業在產品與服務實現以及企業電子化 (Electronic Business) 等應用。進一步建構決策資訊系統以輔助數位決策，並整合各種新興資通訊技術於工業工程與管理之應用。

以下針對統計分析 (Statistical Analysis)、資料科學與大數據分析 (Data Sciences and Big Data Analytics)、產品與服務實現技術 (Product and Service Realization Technologies)、企業電子化 (Electronic Business)、決策資訊系統與數位決策 (Decision Information

System and Digitalized Decision)、資通訊技術在工業工程與管理之應用 (Applications of ICT Technologies for Industrial Engineering and Management) 等六個面向勾勒大數據分析與資訊系統之研究專長與重點方向。

3.2.1 統計分析

統計分析在大數據分析與資訊系統相關研究中是常用的核心方法，例如應用迴歸模型建立低良率關聯模型，並從中篩選可能造成顯著影響的因子；透過實驗設計，找到最佳的參數配方組合；基於時間序列分析，建立供應鏈上需求預測的模型；根據所蒐集之樣本資訊，基於貝氏統計建立醫療診斷與推論模型。實務上統計分析不僅作為大數據分析之理論基礎，並且已應用於製造、醫療、金融、物流、農業、經濟等不同產業領域，在工業工程相關領域提供核心方法，以下列出統計為基礎的研究方法在大數據分析與資訊系統的研究方向：

1. 關鍵變量/因子篩選

在大數據分析中常須同時處理成千上萬的屬性，如何從中找到顯著的屬性對目標變數或者反應變數進行解釋，是統計方法經常面臨的問題；甚至樣本個數遠少於資料的屬性個數，造成統計自由度不足的問題，使得傳統統計方法無法使用；亦或是資料稀疏 (Sparsity) 下或資料不均衡 (Data Imbalance) 下造成估計上的偏誤。

2. 少量資料/小數據下的模型建立

既有的產業應用大多需準備大量的訓練資料集，然而實務上並非所有情況下都可取得足夠的數據以建立精準的模型，例如要建立設備機台的錯誤偵測 (Fault Detection) 模型，當導入新產品或新製程時，新資料樣本少，基於過去資料所建立的模型往往無法直接使用。除了利用抽樣的方法增生資料外，或透過無母數方法 (Nonparametric)、元學習 (Meta-Learning)、少樣本學習 (Few-Shot Learning) 等，如何在現有少量的數據下，合理的產生可用於模型的數據是實務上亟需解決的問題。

3. 貝氏統計推論/貝式最佳化

機器學習在許多應用中都可建立準確度高的模型，然而解釋性 (Interpretation) 卻往往不足。反之，對於模型結果的解釋卻是統計分析所擅長，例如可結合貝氏統計與推論，將模型結果整合為不同事件圖 (Event Graph) 建立前後事件的影響關聯。此外，貝式最佳化方法也是目前常用於機器學習模型中，進行超參數組合優化常見的方法之一。

4. 工業統計 (Industrial Statistics)

統計分析基本上由描述性和推理性兩種類型的分析組成。描述性統計使用數據來描述或總結樣本或總體的特徵；推理統計使用數據來推斷屬性並基於資料樣本對群體進行預測，可以使用定量和定性方法。當處理供應鏈的不確定性時，例如庫存、分銷和風險分析、統計分析是必要的。統計多變量技術對於供應鏈控制非常有用，可以最大限度地降低不良情況和有效物流管理的風險。然而，考量大數據高速、多類和高差異性的特性，則應建立穩健且易於調整的統計方法，此時傳統的統計方法變得效率不高，因為大數據導致了異質性，干擾累積等。因此，大數據下尋求有效穩健的統計方法十分重要。在生產製程中，除了統計製程管制與先進製程控制是常用偵測異常事件的方法，該方法現在也為串流數據進行概念漂移 (Concept Drift) 偵測的基礎方法論之一，以瞭解機器學習模型重新訓練的時機。

5. 模擬 (Simulation)

模擬在大數據分析應用受到廣泛重視。建模和模擬可幫助開發人員在不同的系統配置和複雜系統運行下進行假設分析，模擬方法有助於大數據分析下平衡成本與效能。舉例而言，智慧製造應用中，大數據分析下模擬分析可協助製造商蒐集和分析來自生產現場和製造環境所回傳的大量傳感數據後做出決策；模擬可以幫助製造商根據客戶

訂單，預測機器和附加設備的需求。大數據為模擬帶來了更多挑戰：首先，根據還原論和因果關係，目前基本模擬理論仍不能滿足大數據分析應用於供應鏈管理的需求，因預先定義如目標、邊界、實體、約束等概念，大數據資料下可能難以界定這類條件(Wang et al., 2016b)。其次，由於更複雜的問題和大量的計算，大數據環境使得模擬建模方法難以很好地執行，成為研究上之挑戰。目前模擬方法提供了數位分身(Digital Twin)的基礎學理，以邁向工業 4.0。

6. 統計資訊可視化

統計分析後往往產生大量的報表與數據，但時常不易解讀，因此如何發展可視化(Visualization)的圖形或表格，以視覺化協助將統計分析後的結果更加明顯易懂，是後續可深入研究的議題。

3.2.2 資料科學與大數據分析

資料科學係從資料中萃取出有價值的部分，結合眾多理論和資訊技術，進而協助進行研究調查的學者、商業、工業各領域的非專業/專業人士透過有價值的資料來解決所面臨的實務問題。可依據大數據資料量龐大(Volume)、資料變動快速(Velocity)、資料多樣性(Variety)、資料真實性(Veracity)及資料價值(Value) 5V 特性。舉例而言，透過 POS 機台的結帳資料可轉化為數位資訊，透過大數據分析技術讓決策者掌握消費者特性，更進階最佳化物流、庫存等(簡禎富與許嘉裕，2019)。

資訊爆炸的時代，工業工程與管理學門中大數據分析與資訊系統扮演相當重要的角色，於資料科學與大數據分析將分為 12 項技術進行探究供學門專家參考，分別為：「資料預處理(Data Preprocessing)」、「特徵工程(Feature Engineering)」、「關聯規則(Association Rule)」、「決策樹與隨機森林(Decision Tree and Random Forest)」、「類神經網路(Neural Network)」、「支持向量機(Support Vector Machine)」、「深度學習(Deep Learning)」、「分類與預測(Classification and Prediction)」、「群集分析(Cluster Analysis)」、「自然語言處理(Natural Language Processing)與語意分析(Semantic Analysis)」、「資訊檢索(Information Retrieval)」與「平行計算與雲計算(Computing and Cloud Computing)」，針對 12 項技術分別與大數據關鍵字進行 Scopus 資料庫中期刊文章數據蒐集。圖 3.1 呈項 12 項技術柏拉多圖從 2016—2022 年 Scopus 期刊論文總量，…前五項百分比加總已經超過 80%，排名前五名分別為：類神經網路、深度學習、支持向量機、群集分析、決策樹與隨機森林，從圖 3.1 可以觀察出以智慧化技術於 2016—2022 年，大數據分析相關期刊論文發表量。圖 3.2 為分年觀察，可以發現 12 項技術皆為每年成長趨勢，從國際期刊逐年發表量成長幅度排名如同總量情形，明顯呈現大數據分析技術上專家學者投入較多的研究能量，特別是人工智慧領域。

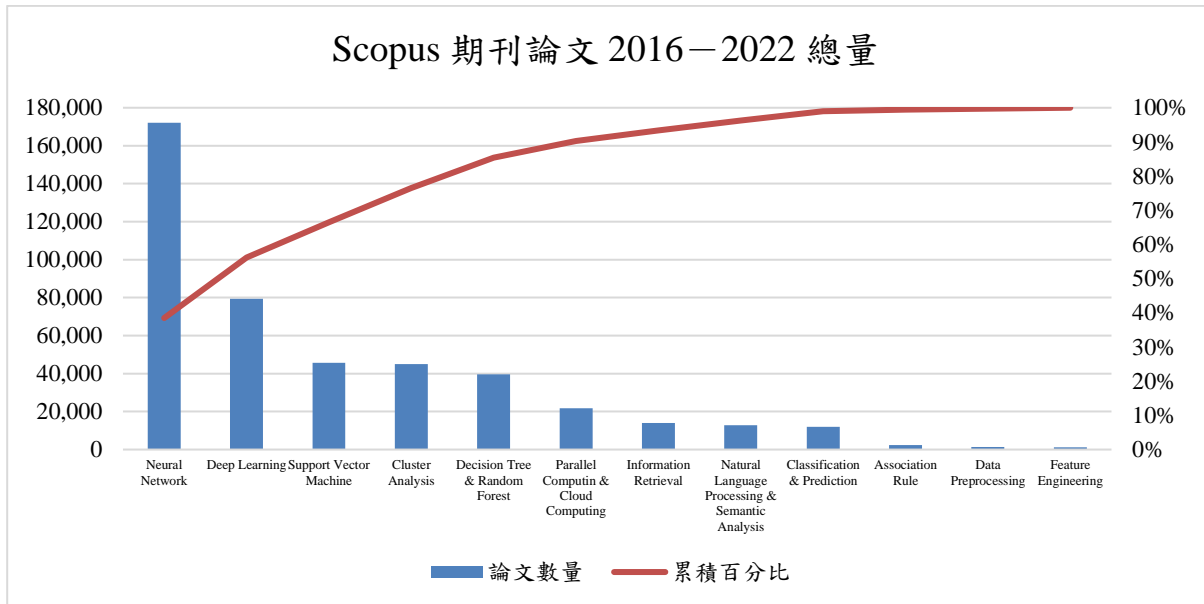


圖 3.1 2016/01—2022/04 大數據分析相關期刊論文發表總量
(資料來源：<https://www.scopus.com>)

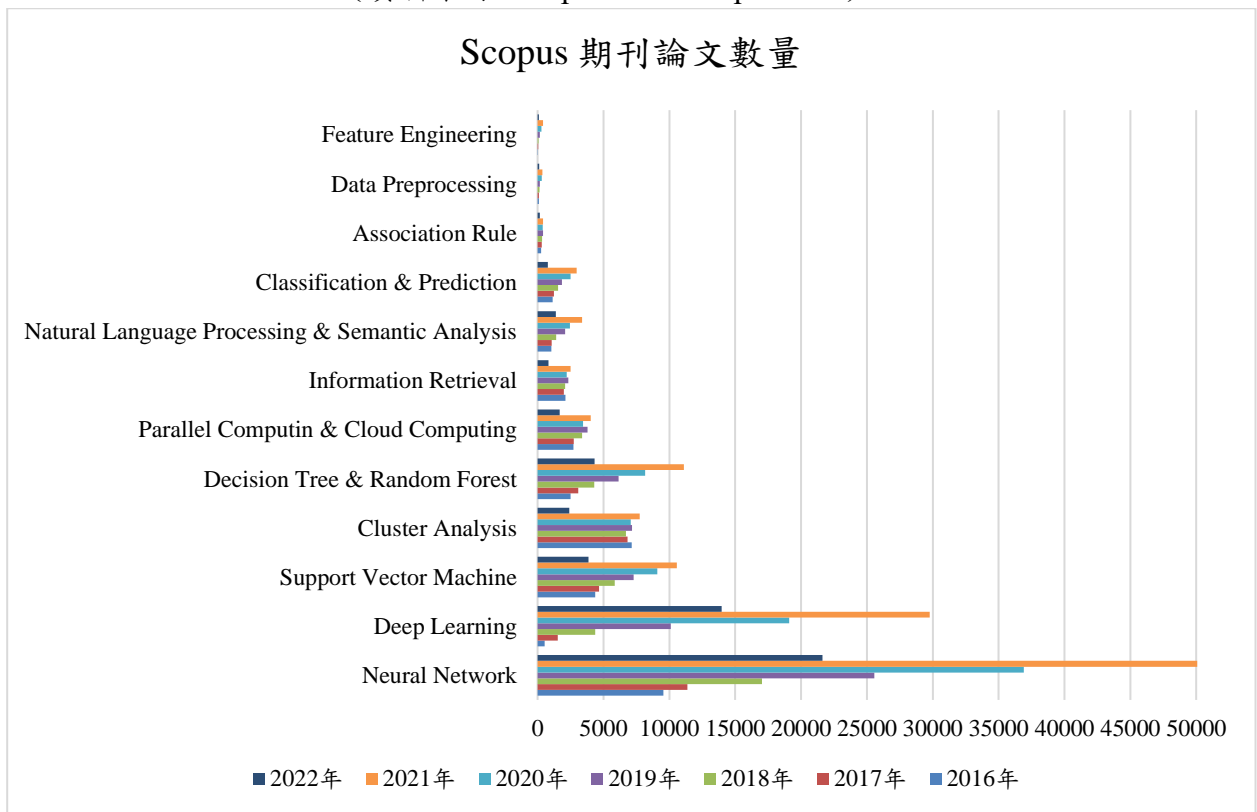


圖 3.2 2016/01—2022/04 大數據分析依據年分期刊論文發表量
(資料來源：<https://www.scopus.com>)

以下將探討資料科學與大數據分析中，類神經網路、深度學習、自然語言處理、平行計算、群集分析、商業智慧等研究專長與重點方向。

1. 類神經網路

類神經網路主要透過數學模式模擬大腦神經網路傳遞方式，早期研究技術面主題以感知機 (Perceptron)、多層感知機 (Multilayer Perceptron, MLP)、倒傳遞神經網路 (Back Propagation Neural Network, BPNN)、較多學者探討，且應用在各類不同資料的分類或預測。Chen (2017) 採用改善的蜂群演算法於輻射基底類神經網路 (Radial Basis

Function Neural Network, RBFNN), 透過啟發式演算法進行改善神經網路學習能力, 並應用於大數據的交通流量預測。Shi et al. (2018) 發展創新的 Pooling-深度遞迴神經網路解決過度配適 (Overfitting) 問題, 於住宅用戶電量負載預測分析, 此為物聯網與大數據結合成功案例。綜合而言, 學者們近年投入類神經網路於資料科學中, 透過啟發式演算、混合式結構與前處理等技術精進類神經網路能力, 值得未來學門內專家參考。

2. 深度學習

多層式神經網路於 2006 年 Hinton et al. (2006) 使用了受限波茲曼機 (Restricted Boltzmann Machine, RBM) 解決神經網路多層式的問題, 命名為深度置信網路, 開啟深度學習百家爭鳴的時代, 且大數據分析正需要能快速處理且精確的技術, 因此深度學習很快地被眾多學者應用於各種不同領域。卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 以及循環神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 為深度學習的兩大主流網路架構。CNN 藉由卷積與池化運算具有平移不變性 (Translation Invariance), 經堆疊後可產生階層性特徵; RNN 屬於序列模型 (Sequence Model), 能有效擷取序列資料間高度相關的特徵, 後續發展出的長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM) 與 (Gated Recurrent Unit, GRU) 進一步解決標準 RNN 梯度消失問題, 改善模型長期記憶能力。Wen et al. (2018) 將軸承健康或瑕疵的高頻訊號轉換成圖檔, 並透過 CNN 來進行模型學習, 以協助錯誤偵測與診斷。Ma et al. (2019) 設計並行架構包括 CNN 與雙向 LSTM 進行萃取空間與時間特徵於大量資料的地鐵乘客預測。Li et al. (2019) 於生物資訊領域即介紹在大數據時代下的深度學習相關應用, 於工業工程領域更有透過物聯網 (Internet of Things, IoT) 蒐集製造所需大數據, 利用深度卷積神經網路進行分析的成功案例。Li et al. (2018) 點出目前深度學習於大數據分析中的串流資料 (Streaming Data), 高維度資料 (High-Dimensional Data), 模型的可擴展性 (Scalability of Models) 和分配式計算 (Distributed Computing)。近年自編碼器 (Autoencoder) 透過編碼將維度縮減, 並再以解碼將資料還原的技術, 也常用於異常信號偵測與機台健康狀況 (Kwak & Kim, 2021)。深度學習能否在大數據時代扮演重要角色, 學門內專家可更進一步集思廣益, 發展更優化的深度學習結構加速訓練、處理高維度問題, 讓深度學習更適合業界應用。

3. 自然語言處理

自然語言處理 (NLP) 為運用演算法分析人們相互溝通使用的語言, 進而使得機器有能力如同人類一般理解其中內容, 並完成相對應的任務, 因此 NLP 屬於人工智慧的重要範疇之一 (Liddy, 2001)。而現今日常生活使用的 Google 翻譯、蘋果智慧助理 Siri、撰寫文件的自動校正皆為 NLP 常見的應用。過去自然語言處理常用的機器學習方法如支援向量機與隱藏式馬可夫模型等, 且上述淺層機器學習多數特徵仰賴人工合成, 因此使用者需對此領域有足夠的先備知識, 但即使如此特徵工程仍然耗時且不易取得完整的重要特徵 (Young et al., 2018)。因此在近十年已逐漸被具有強大特徵自動擷取能力的深度學習所取代, 而接續將以深度學習於 NLP 之方法與應用為主軸進行介紹。CNN 與 RNN 皆為 NLP 領域中常用的演算法。Yin et al. (2017) 進一步評估兩者在多項 NLP 問題的表現, 指出 RNN 在多數任務中表現優良且穩定, 但在著重識別關鍵詞彙的特定問題中反而 CNN 較佔優勢, 因此兩者並無絕對的優劣關係, 取決於問題是否需理解文本資料中整體性的語意。而上述兩種方法持續主導 NLP 領域直到 Google 提出捨棄 RNN 與 CNN 的新型網路架構—Transformer (Vaswani et al., 2017; Wu et al., 2021)。

4. 平行計算與雲端運算

傳統的資料庫主要為關聯式資料庫 (如: MySQL 或其商業版的 Oracle、微軟 MSSQL 資料庫等) 都是以定義良好的資料庫來組織及儲存資料, 而面對多樣性的資料, 這些資料常與傳統的資料不同, 多具高度的異質性與非結構化, 新興的資料庫技術用以處理

此類的資料通稱為 NoSQL (Not Only SQL)，如：Hbase。面對巨量資料的處理速度若要能產生具時效性的效果才能粹取出資料最大的價值，巨量資料的處理常以分散式運算為主，通常需要有分期式檔案系統。最早廣受使用的為 Hadoop 分散式檔案系統 (Hadoop Distributed File System, HDFS) 及建構於系統上的分散式運算處理架構 MapReduce，MapReduce 是由 Map 將資料分散計算，再由 Reduce 整合 Map 計算後的結果。有別於 MapReduce，Apache Spark 以使用記憶體內 (In-Memory) 技術進行分析，資料處理的速度快很多。近年來平行運算及分散式處理可大致分為叢集運算 (Cluster Computing)、網格運算 (Grid Computing) 及雲端運算 (Cloud Computing)。所謂叢集運算 (Cluster Computing) 為結合區域網路內的數台電腦進行平行運算，然後獲得結果，可以提供高效率的運算能力。而網格運算 (Grid Computing) 是利用分散的電腦資源來共同解決問題，此類的問通常需要大量的資料存取及計算。雲端運算 (Cloud Computing) 由 Amazon 所提出的雲端運算服務，由叢集技術發展而來，結合分散各區域的網路，提供巨量資料的處理及使用者所需的服務。以資料庫的結構及處理，對於有結構化的資料，如工廠內部的資訊系統資料分析可以在關聯式資料庫的架構下結合分散式處理 (如：MapReduce 或 Spark) 或叢集運算來進行決策。而雲端運算則可以提供較有變化性的服務，如物聯網 (IoT) 等。由於資料的多樣性，NoSQL 資料庫可提供更具彈性的資儲存，近年來也有學者針對 NoSQL 資料庫提出類平行演算法 (Davardoost, et al., 2020) 以及 NoSQL 相關資訊安全議題 (Sicari et al., 2022)。

5. 群集分析

資料分析中資料類別若未有明確分類，初始的群集分析就相對重要，透過資料相似度、中心距離或資料密度等方式進行有效的歸屬群體。群體中心分群 (Centroid-Based Clustering) 包括 k-平均法 (K-Means)、模糊 c-平均法 (Fuzzy C-Means, FCM)、階層式分群法 (Hierarchical Clustering) 等延伸相關方法。Arias & Bae (2016) 發展電動汽車充電需求預測模式，其預測模式利用階層式分群法進行交通樣本的歸類；Gan et al. (2018) 發展智能交通信號系統採用模糊 C-平均法初步分群，並利用類神經網路減少不正確訊號機率。資料密度式方式主要根據資料密度函數來分群資料，其經典演算法包括 DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)、SCM (Subtractive Clustering Method)，相關應用如 Bi et al. (2016) 發展語意減法驅動分群方法 (Semantic-Driven Subtractive Clustering Method, SDSCM) 其主要透過每個資料點的模糊語意式進行搜尋最高密度中心點，其利用分群結果降低客戶的流失與風險。對於高維度的數據集，由於維度的詛咒使得特定距離函數在高維空間中出現問題，因此子空間 (Subspace) 群集可使用部分特徵或旋轉子空間來找出特徵間相關性以進行分群，例如：CLIQUE 與 SUBCLU (Aggarwal & Reddy, 2014)。最近的發展主要在目標域上的非監督群集方法生成的偽標籤 (label) 來優化機器學習模型。然而，由於實際應用場域中的人為變異和複雜群集結構，非監督群集生成的偽標籤有時不可靠，因此最近透過圖卷積網絡 (GCN) 提出階層連接為中心 (Hierarchical Connectivity-Centered, HCC) 的聚類方法，以生成更可靠的偽標籤與群集結果 (Bai et al., 2021)。

6. 商業智慧

商業智慧主要透過資料倉儲，多維度資料萃取，進而產生出可視化報表協助企業進行決策。在大數據時代下，傳統商業智慧在蒐集資料，資料庫與可視化方式透過新穎的大數據技術皆有所改變，如 Cai et al. (2017) 探究物聯網於雲端的儲存系統，特別點出大數據於商業智慧在複雜關聯/結構化或語言式非結構性的資料串流、擷取對於商業智慧的實質效用相當重要。且於大數據 5V 下商業智慧將隨之改變，如何快速分析與數據科學已經成為商業智慧的重要議題 (Larson & Chang, 2016)。Choi et al. (2017) 更進一步指出大數據下商業智慧未來可針對：(1) 先進技術的改善，如顧客行為研究、

資料拓譜方法的研究等；(2)系統安全與可靠度精進，如系統可靠度或安全性衡量指標評估、供應商資訊串流安全、發展系統可靠度或安全性理論；(3)操作風險降低，如大數據資料品質強化、建立優化數據風險管理系統等，學門內相關專家可以參考投入相關研究。隨著電子商務的普及，大型物流公司的分揀裝載量也日趨增加，半自動分揀設施的數據驅動的商業智能系統能有效地改善貨物裝卸順序，減少 20%的分揀操作時間提升效率 (Zhou et al., 2021)。

3.2.3 產品與服務實現技術

產品與服務實現技術的研究除了建立在傳統的服務工程，與產品服務系統外，智慧產品服務系統也逐漸成形。未來可以透過大數據，物聯網，虛實整合，進而蒐集消費者行為，以增加消費者參與和消費者互動，使服務系統更智慧，並將會是產品服務實現技術的趨勢。

近年來製造業為了獲取競爭優勢，將價值鏈逐漸由「以製造為中心」轉變為「以服務為中心」，此轉換亦稱為製造業服務化。製造業服務化有兩個層次：一是投入服務化的過程，即強調服務的價值而非產品本身；二是業務服務化，強調滿足顧客的需求與功能，進而提供完整的服務系統。對消費者而言，希望透過產品所提供的「功能」與「服務」得到滿足，並非產品的本身。在實務經驗中，產品與服務之間的關係是相當複雜的，所供應的產品需建立在一連串的服務鏈上，且服務的供應包含許多有形和無形的元素，因此有學者認為產品與服務模糊了之間的分界，將生產者和產品的生命週期纏繞在一起 (White et al., 1999)。對廠商而言，提供相關的服務來取代產品的銷售，但產品的所有權仍在廠商手中，消費者只要透過付費方式就能使用該產品，也可以讓廠商直接提供該產品的服務及功能。相關概念說明如下：

1. 產品服務系統 (Product Service System, PSS)

產品服務系統為一創新的商業模式，近來，製造服務化從環保和永續的觀點切入，兼顧經濟獲利，也提升社會福祉。Mont (2004) 定義產品服務系統為：「一種整合產品與服務的組合方案以滿足消費者需求。」而產品與服務之比例會隨著社會與經濟的考量而有所不同。透過產品及原物料或是零件的重覆使用及再製造，有效提高資源的使用效率、減少資源的消費及廢棄物的產生，其具體的方法則是推行產品服務系統。因此未來大部分企業在產品設計時，應將 PSS 的觀點納入考量，增加產品的附加價值，如此不僅可符合生態效益，也會因持續的減少污染與資源的消耗，生產更有用的產品和服務，朝向企業及世界的永續發展。企業由「以提供商品為主，提供服務為輔」的經營管理思維模式，慢慢轉變成為「以提供服務為主，而商品只是為了滿足其服務而所生產與創造的工具」，如 Toyota、BMW 及 GM 公司，已開始提供使用者遠端診斷系統。此系統需要蒐集資料，以迅速了解汽車為何故障，協助汽車駕駛者於駕駛時解決故障問題。另外，企業也透過全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)。以資訊與通訊科技 (Information and Communication technologies, ICTs) 提供駕駛者道路狀況，旅遊資訊等。也有相關的企業，提供財務支持給消費者，以購買新的商品，如此可以增加新車的市場銷售量。

2. 智慧產品服務系統 (Smart Product Service System)

傳統的服務引擎僅強調服務本身，特別只考慮到如何去物質化，減少實體商品，但對於消費者行為，消費者參與，與消費者互動則較少著墨。近年來，更多的感測器運用於產品服務系統中，蒐集消費者行為的資料，智慧產品服務系統。就發表的文章數量而言，PSS 設計和 PSS 環境與社會影響是討論最多的兩個主題 (Barravecchia et al., 2021)。Lee et al. (2019) 定義智慧產品服務系統為「結合智慧產品與電子服務於單一解決方案，以滿足消費者需求。」 Chowdhury et al. (2018) 分析智慧產品服務系統包含三方面：

(1) 數位資源以驅動價值系統與商業模式；(2) 系統擴散至數位系統；及(3) 聰敏的動態產能。因此在思考改變產品為服務的過程，也需思考如何蒐集消費者行為，增加消費者參與和互動的機會。

3. 大量客製化與個人化 (Mass Customization and Personalization)

近年來資訊系統以及電子商務的快速發展，從客戶端到製造端之間的訊息也因而透明化，大量製造與客製化、個人化協同運作已越來越受到重視。工業革命提出大量生產的概念，其中「大量」意味著產品的模式化、標準化，反之，「客製化」則意指少量生產。然而，大量客製化 (Mass Customization) 的概念乃是能提供多樣的選擇，同時又可滿足大量客戶的需求。以往大量生產著重於生產標準化的產品，而客製化產品只能少量生產；然而在資訊時代，消費者經由網際網路的便利性，可於線上搜尋、瀏覽、下訂單，訂購符合個人所需規格的產品，並經由網路傳送到工廠使之同步獲得訂單訊息，實現小量多樣的彈性生產模式 (簡禎富，2019)。

個人化可以簡略分成拉式、被動式和推式個人化三大類。而依其精細程度，尚可再分成三個等級：(1) 大規模個人化，所有消費者接受相同產品或行銷組合，即取平均後再進行個人化；(2) 區隔式個人化，區隔出具有同性質偏好的消費者群體，並且對其中的細分市場中的消費者，以不同行銷組合進行個人化；(3) 個人級個人化，依據消費者的個人品味和行為，量身打造不同行銷組合的產品或元素。若以資訊角度分析，個人化是透過蒐集個人相關資料並分析，以提供專屬的資訊與服務。例如當使用者進入特定網站後，該網站會依使用者過去瀏覽網頁或交易紀錄留下的數據，呈現並推薦適合該名使用者的個人化產品、資訊與服務。舉例而言，進入外文網站時，網頁將自動轉換成使用者所在地之語言，或是進入某網路賣場，即時提供使用者相關之折價券。

個人化與客製化兩者的概念相似卻又不同，個人化通常需要大數據分析與資料挖掘技術，好從資料庫中找出有用的資訊，而客製化則要讓程式的可變動性更高，Office 的自訂工具列就屬於客製化的範圍。

4. 虛擬/擴充/混合實境

虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 的最大特點在於使用者可以用自然方式與虛擬環境進行交互操作，改變過去人類除了親身經歷，就只能間接了解環境的模式，從而有效地擴展自己的認知手段和領域。由於 VR 技術可即時表現三維空間、提供人機互動式的操作環境，並帶來的身臨其境般的感受。因此，無論在軍事科技或航太相關產業，VR 的模擬和訓練皆扮演舉足輕重的角色。近年隨電腦硬體軟體技術的發展，虛擬技術在不同行業都有長足的發展，包含虛擬戰場、虛擬城市、虛擬辦公室，皆是虛擬實境技術的應用。然而，VR 技術有著最嚴格的圖形處理需求，較電腦遊戲的要求還要高出七倍。近幾年 GPU 技術的快速提升，也大幅提高產生畫面的速度。到目前為止，主要已經克服的障礙包括每秒提供足夠的幀數和降低延遲情況 (用戶移動頭部時產生的延遲情況)，產生出不會卡頓和造成數位動暈症的體驗。不過，VR 現行技術還有不盡理想之處，例如觸覺方面之體驗仍有待加強。若要營造出如同電影「駭客任務」一般之虛擬實境，需要將人體的腦波跟電腦結合，用數位資料來刺激腦波以達到五感體驗，而想要達到上述之境界，目前仍有許多技術層面需要克服。擴增實境 (Augmented Reality, AR) 技術在工業上可被廣泛應用，如將攝影機和螢幕技術整合至自動調光焊接面罩，使操作人員在燒融鋼材的同時能保護眼睛安全。此外，當設備發生緊急情況需要維修時，被派去支援的人員不一定對故障設備十分了解，若能透過 AR 眼鏡的顯示畫面指示與協助，可增加工程人員進行維修之效率，並提升操作之安全 (Runji et al., 2022)。

3.2.4 企業電子化

對於許多現代企業而言，獲得競爭優勢的途徑在於分享知識和轉型成為學習型組

織。企業需利用科技能力將知識萃取、解析、應用；並同時具備創造力和創新能力，將這些能力納入組織文化的核心，藉此創造新知識流，貫穿組織和傳播知識，以創建新的商品差異化，為客戶增加商品之附加價值，進而提升企業之競爭力（Combe, 2006；Knapčiková et al., 2021）。技術在知識管理過程中起著關鍵作用，在今日資訊爆發與資訊技術日新月異的時代更具意義，如何在快速變化和高度市場波動性下發掘關鍵的特徵知識，作為組織之知識來源，成為重要的議題。藉由高速互聯網達成企業間與企業內部高水平的連接性，提升即時運算之可能性。這使得與供應商，客戶和合作夥伴的溝通快速、高效且符合成本效益。有助於提高生產力，為公司提供更大程度的靈活性，並擴展業務關係。電子化企業具有多種資訊平台，進行各類業務活動，其中最為普遍且受重視的項目，如協同規劃、預測與補貨（Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment）、客戶關係管理（Customer Relationship Management）、資產管理（Asset Management）、智慧機上盒、數位轉型（Digital Transformation）。

1. 協同規劃、預測與補貨（Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment, CPFR）

協同規劃，預測和補貨幫助供應鏈更好地協調活動，通過改進的需求預測和生產調度為客戶服務。CPFR提供了一個框架，涵蓋了廣泛的問題，包括需求預測、庫存管理、生產和補貨計劃以及訂單履行（Hill et al., 2018）。這是通過系統的資訊和知識共享過程完成的。CPFR將銷售和營運管理與供應鏈計劃和執行流程聯繫起來。提高產品可用性，同時降低庫存，運輸和物流成本。CPFR超越單一企業範疇，目標是促進戰略夥伴關係，為供應鏈作業建立支持性的系統架構。然而，許多實務上問題影響CPFR之實踐，如協同後的管理流程由執行（訂定目標、實施方式和流程調整）到運營層面（預測和訂單），雙方需要協定的部分越多將會進一步增加協同的成本；沒有共同核心作業目標、難以即時處理例外狀況、促銷和新產品導入歸屬機密無法共同規劃；沒有整合決策支持系統來彙整各端（客戶、市場、製造、原物料供應）數據；沒有足夠的資訊技術/專業知識、缺乏執行CPFR共同規範、缺乏互信基礎等。

近年，大數據分析技術已應用提升CPFR效率。在大數據應用下，CPFR旨在滿足從不同應用於供應鏈分段（如製造業、設備、運輸、零售）之決策協調，利用各種數據源（如結構化數據，物聯網時間序列，地理空間數據，多媒體和視頻資料，文字，人工智慧和語義半結構化資料）作為規劃、最佳化和決策支持。另一方面，CPFR之自動化的挑戰在於必須橋接不同的系統並實現動態和即時執行，並最佳化決策。面對大數據的特性需要一種新的規範，其建立在新框架、新架構、新技術和新執行語言的基礎上。其中包含許多工業工程領域議題：

(1) 商業智慧與CPFR整合

大數據時代中，新的商業型態模式和行為等，都為供應鏈上的需求與供給平衡帶來新的難題，使得企業更難以掌握市場需求與資源整合，導致需求與供給失衡，預測準確度下降。當需求信號傳遞滯後使得採購與供給計劃趕不上需求變化時，就會造成庫存大量積壓的同時還常常出現庫存短缺的現象。未來CPFR運用商業智慧和即時市場監控等技術，對各項關鍵銷售業務進行深度分析，以掌握市場特性與特徵，發現改進的機會並對其進行決策最佳化，落實在採購與供給業務的需求預測，採購戰略和採購業務的分析與改善等。面對快速變動的市場和各種供應鏈的突發狀況，協同規劃也重視決策的時效性，在大量和變異性大的數據下，快速即時運算協同規劃之生產、庫存、配銷等決策藉此優化整體營運系統成為一挑戰性課題。故即時性資料處理（RTDP）也對未來CPFR之發展扮演重要角色。

(2) 智慧生產與CPFR整合

智慧生產是一種不斷發展的製造狀態，藉由數位化與智慧化運算技術提高生產製造之靈活性和適應性。智慧生產支持系統（例如：物聯網和人工智慧等數位解決方案），改進驅動因素（例如：供應鏈連接性，分析和自動化），以及最終結果（例如：運營敏捷性，適應性和盈利能力）。因此，智慧生產和 CPFR 相輔相成，且各企業之智慧化生產，仍需整合至上下游供應鏈夥伴，才能獲得即時的供應鏈支援，智慧生產才能實質實現。故未來各企業將重視如何整合供應鏈決策，將 CPFR 架構納入智慧生產系統中，將智慧決策由企業個體擴展至供應鏈夥伴中，讓供應鏈後勤能夠敏捷反應，提升智慧生產之成功率。然而，機器學習和數據科學技術在實務應用上，也應留意方法的假設、背景、使用時機、優與劣等的問題。這些問題中的每一個都可能造成在實踐中實施的困難，尤其是與製造特性和領域知識相關的問題。因此也需要系統地檢查和解決相關問題，透過五階段構析框架（5-Phase Analytics Framework），從敘述性、診斷性、預測性、處方性到自動化分析，可釐清智慧製造陷阱與潛在應對辦法（Lee & Chien, 2022）。

(3) 供應鏈管理與 CPFR 整合

由於競爭使得資訊技術不再僅是工具，而是戰略的關鍵驅動因素，因此需要理論和實踐方案來戰略性地實施供應鏈中的各類資訊技術，提升決策之時效和有效性（Aryal et al., 2018）。供應鏈管理一直在利用統計和運營研究來最佳化供需平衡的目標。大數據分析如何應用於供應鏈中採購、網絡設計、產品設計/開發、需求預測、採購、生產、調度、庫存和物流等活動。目前，大數據解決方案通過建立更準確的客戶偏好預測，幫助企業進行分析消費者行為。供應鏈決策者仍需要不斷尋求有效管理大數據的方法，以獲得更多價值。大數據資料類型，也由傳統結構化資料轉為非結構化資料，主要包括社會輿論資料、客戶回饋，以及客戶社群互動資料等。要從內容豐富的非結構化資料中挖掘出商業智慧，需要使用不同的研究方法和衡量方式，包括描述性分析、內容分析以及影像資料分析等。現有大量的研究著重於結構性數據之分析，但對於非結構化數據，例如社會化數據對供應鏈的影響和作用的研究卻相對缺乏。如何利用上述之各類型非結構化資料於各種供應鏈活動，提升決策品質，成為重要課題。使用最佳化方法有助供應鏈管理系統提高需求預測和供應鏈計劃的準確性。大數據下應用最佳化運算不僅昂貴且不穩定，並因大規模問題導致收斂速度慢，因此使傳統最佳化技術難以在大數據下成功應用於供應鏈管理。因此，為了處理大數據資料，有必要實現大規模最佳化方法，如非平滑最佳化（Large-Scale Non-Smooth Optimization）程序、基於平行計算為基礎之演算法等（Karmitsa, 2016）。

(4) CPFR 於新商業型態應用

CPFR 現已由原先的零售商與生產製造的整合，逐漸擴展至許多產業，如物流業、醫療業、服務業等。協同規劃方法與技術上也因不同產業型態而有不同的運作方式和新技術發展。然而，面對 2020 後的平台經濟、共享經濟等新商業模式興起，交易型態大幅改變，例如多邊（Multi-Sided）平台不僅媒合多邊市場的需求，也將扮演 CPFR 的主導任務，提前進行各方市場的需求媒合、預測、商品組合、庫存控制、聯合促銷等活動，藉此平台商可提升其服務內容，創造更大的網路外部性，藉此增加平台之競爭優勢和收益。舉例而言，美食外送平台（Uber Eats、Foodpanda）近年滲透率逐漸提高，如何提前整合消費者偏好進行需求預測、提前整合業者之供應鏈進行備料，提升各方市場滿意度，成為各平台業者所努力方向。然而，新商業模式之不確定性也較傳統商業模式

更為複雜，且各方市場彼此鏈結卻仍需服務各自的傳統供應鏈；因此，未來 CPFR 在新商業型態應用上，資訊整合技術（安全性、資訊架構等）、最佳化演算方法、商業決策分析、協商/協同機制、供應網絡整合等議題仍有極大的發展空間。

2. 客戶關係管理（Customer Relationship Management, CRM）

多數公司正在由越來越多的數據源中獲取客戶相關數據，這些數據源通常來自外部且非結構化，藉由分析這類數據獲取其潛在價值，以便提早發現商機（Nam et al., 2019）。Gartner（2019）在 2019 年的報告中指出，2018 年 CRM 產業仍然成長了 15.5% 達到 482 億美元，依舊是最大且成長最快速的軟體市場。CRM 可分為以下幾種普遍類型：（1）運營管理型 CRM，管理當前客戶的運營決策互動；（2）分析型 CRM，通過數據分析和重新評估客戶資訊提升決策制定品質；以及（3）協作型 CRM，旨在通過協調規劃等方法改善客戶體驗，提升企業內部門間的合作和溝通，並同時達成與客戶間的互利。並且文獻中顯示，為了因應快速變化的商業環境，CRM 是強化顧客忠誠度以及流程創新的關鍵工具之一，對於成功的公司來說 CRM 也成為現在的商業世界最有影響力的商業工具之一（Guerola-Navarro et al., 2021）。

然而，過去的 CRM 多應用 B2B，少部分使用於註冊的終端客戶以實現 B2C，然而消費者間的交互影響和輿論監控，因技術等限制甚少被探討。Web 2.0 的出現如 Wiki、Blog、Facebook、Twitter 等社交媒體協作平台，促進用戶之間的創造、協作和共享，而不僅是通過電子郵件發送和檢索信息，此類稱為社交網絡。社群網路時代，產生了社群顧客管理（Social Customer Relationship Management, SCRM）議題。社群網路亦成為與顧客的溝通橋樑之一，同時企業不再僅僅注重在管理舊顧客，而是包含潛在顧客，且在進行交易前便可以從社群網路獲得大量顧客資訊，利用這些資訊有效地針對目標客群進行行銷，並期望交易能有效發揮到顧客的社交價值。Web 2.0 的快速增長，可與客戶組織建立關係，這是傳統的 CRM 技術所無法辦到。根據社交媒體中的使用者對話進行更精確的分析，從而幫助提供更準確的計劃或活動，甚至產生客戶的興趣和偏好。社群網路實現了社群營銷的可能，例如企業使用社群網路作為工具，盡可能地在社群媒體上處理客戶的投訴（Anshari et al., 2019）。近年，Web 3.0 的出現，例如元宇宙（Metaverse）、非同質化代幣（Non-Fungible Token, NFT）、加密貨幣等的新議題，其特性希望達到去中心化，避免個資與網路資源集中在少數大公司。透過使用區塊鏈技術來建構出虛擬網路生態，以協助網路自治。而這也使得 CRM 方法再次需要演進與突破，大數據分析技術在這去中心化的分散式與異質網路結構中，扮演關鍵的角色。

未來 CRM 戰略應結合大數據分析，藉此產生新的契機豐富 CRM 內容與決策精準度。相同的，仍需克服數據大量運算耗時，數據差異性大和數據時效性短等議題。儘管存在這種困難，但部分標竿公司仍努力克服這種阻礙，具體用於 CRM 決策中。為了成功地將 CRM 與人工智慧系統整合，組織敏捷性為考量之一，並能有效地提升企業競爭力。更具體地說，員工信任將影響態度，並間接地影響行為意圖，將導致公司在推行採用人工智慧的 CRM 整合系統成功與否。此外，人工智慧與大數據分析技術的容易使用，也是影響員工態度的關鍵之一（Chatterjee et al., 2021）。Zerbino et al.（2018）之研究指出 CRM 的成功有賴於許多面向的因素，包含 CRM 戰略規劃；CRM 中的資訊科技基礎架構；CRM 中的管理意涵和資訊分析；和 CRM 對組織影響。對於大數據時代下，目前的學術文獻亟欲了解大數據如何影響 CRM 計劃的關鍵成功因素，藉此管理人員和企業可由其關係的進一步見解中獲得管理意涵。

3. 資產管理

資產管理意指處理組織或公司的投資，資產包括無形資產或無形資產。有形資產是指可觸及的東西，包括建築物、土地、生產設備或辦公設備；無形資產是指無法觸及

的事物，如知識產權、商譽、金融資產或人力資本。資管管理的目標首先是創造盡可能的利潤，實現資產價值的協調活動，涉及成本、機會和風險與期望的資產績效之間的平衡，以實現組織目標。憑藉豐富的數據和數字資產，許多公司已經在尋求數位資產管理（Digital Asset Management, DAM）的機會；投資回報可能是中長期的。但是數據正在變得高維度；現在通過探索多維數字資產，有遠見的企業組織擁有先發優勢、引人入勝的故事和更大的回報（Cherrington et al., 2020）。由於資料儲存的成本逐年降低，使得大數據與工業 4.0 的盛行，促使企業投入大量的資金在數據的分析與應用上，對這些公司的營運也造成很大的改變。除了數據管理屬於資產管理發展重點外，大數據和各種形式的決策支援方法已經改變資產管理領域的決策制定，越來越多的資產管理人員正在將人工智慧和機器學習用於研究和創意，提供交易、投資、銷售和客戶維持等活動中；利用大數據和預測分析，提供投資組合和深入的報表來協助投資決策者。舉例而言，演算法交易機制多年來一直增長，機器學習為下一代算法提供支持，從而實現決策制定和交易執行。大數據分析可用來發現可能預測未來業績的變化或者利用分析師的報告來提早預測即將發生市場變化的輿論。這些工具解析大量非結構化數據源（如新聞、報告、Blog 和社交媒體），以確定潛在的投資趨勢等。因此，以下就數位資產管理和數據驅動之資產管理兩方面進行說明。

從數位資產管理說明，企業數據和服務在資產負債表上具有財務價值，其價值在於推動數據創新，促進資訊經濟中的新資訊產品和服務的推出，增強運營績效和加速業務獲利等具競爭力提升的成果。在各產業中，許多公司都在競相積累獨特的數據資產並開發資訊分析方法，希望在競爭激烈的環境中，超越競爭對手。相對地，沒有將數據視為企業資產或者無法制定數據資產管理戰略的公司面臨競爭力下降的危險。然而，數據資產有以下的挑戰：（1）數據資產難以計算其折舊和評估其價值，目前的數據資產包含多年來積累的遺留的各種數據內容，然而此類資產難以評估其價值。（2）當前的數據管理使資產管理者難以審核自己的數據準確性和完整性。（3）大多數資產管理者對於數據並非擁有者；反之，企業依靠第三方（如基金經理員和其他代表）來管理資產，數據受到危害或不安全的機會增加。

大數據分析於資產管理，其不僅改變了交易世界，也提高了客戶服務、數據管理、運營等決策支持，提升決策自動化和效率。財務金融方面，許多公司已經在對賬、保證金設定、抵押優化、及異常管理等領域採用了大數據分析技術或簡單的人工智慧技術。許多公司現在都有類似大數據分析和人工智慧技術的計劃。隨著技術及其應用的不斷改進，財務金融的虛擬助手，越來越有能力，因此提高虛擬助手處理查詢和請求的權限，甚至允許協助代替人工代理承擔各種客戶服務。大數據時代使得數據採集能力和數據科學技術結合在一起，將這些數據資源組合成預測模型，作為重要的決策參考依據。各種數據源整合技術、分析方法、演算技術和應用能力等將為未來資產管理領域發展重點。

4. 智慧機上盒（Smart Machine Box）

智慧機上盒（Smart Machine Box, SMB）是指附加在機械設備，並具備資料收集、轉譯、傳輸、處理、儲存，以及提供應用服務模組功能的軟硬體整合系統，可以連接既有設備的控制面板、可程式化邏輯控制器（Programmable Logic Controller, PLC）與工業電腦（Industrial PC, IPC），以及可能新加裝的感測器、光學鏡頭等物聯網元件。國內有發展智慧機上盒設備的包括研華、台達電、科智企業等企業與工研院、資策會等研究單位，透過加裝智慧機上盒可以協助國內企業達到設備聯網，在不更換設備的情況下實現工業 4.0 的相關應用。

台灣製造業除了旗艦廠商外，中小企業於 2020 年已達 154 萬家，約佔全體企業 99%，就業人口達 931 萬人，約佔全國就業人數的 81%，他們的營業額與資本額沒有能

力承擔全新的智慧機械機台，而可考慮加裝智慧機上盒的方式，並透過加裝感測器收取必要資料，再與企業資源規劃系統、製造執行系統的資料整合，實踐部分智慧製造的功能。經濟部工業局於近年持續有智慧機上盒補助計畫，協助國內廠商打好工業 3.0 的基礎，接著邁向工業 4.0 與數位轉型。相關計畫的目標，大致可以分成三個階段：(1)智慧聯網：將廠內關鍵設備聯網，實現資訊數位化 (Digitization)，將實體的資訊轉成為電子的格式。(2)智慧管理：逐步技術數位化 (Digitalization)，採用數位科技的技術或是方式來改進企業的營運模式或是客戶體驗，例如設備稼動率管理、報工計畫管理、設備故障通報與紀錄、品質監控等等。(3)智慧化與數位轉型：透過前兩階段的基礎，發展智慧化模組，如自動生產排程、設備健康度、製程參數最佳化等等。

回到研究議題上，案例企業前面的階段會有精實生產等相關議題，配合數位化進行改善。而後面智慧化的階段，現在智慧製造的相關研究主題都有發揮空間，如自動生產排程、設備健康度、製程參數最佳化等等。需要留意的部分是中小企業透過智慧機上盒所收集的資料欄位還是偏少，深度學習以過往經驗而言，在特徵選取的效果明顯，但是在於衍生變數的部分仍然表現不夠理想。之前也有小數據深度學習的議題，可能透過遷移學習 (transfer learning) 去強化訓練結果 (Wan et al., 2021)。

另外，在中小企業設備常有關鍵因素，例如廠內的老師傅也經常透過震動或聲音判斷設備的情況，更生活的例子，不少人也是用震動與聲音判斷自己愛車與電腦是否異常，但因為設備的限制，可能資料不是直接從馬達等動力來源測量而是透過感測器在外部測量的話，可能受到其他震動與迴波的疊加的綜合結果。這種資料需要從時域資料轉成頻域資料進行分析，需要較多的工程知識，而在資料量上常常也較大，需要較多的資訊處理能力。

5. 數位轉型

數位轉型 (Digital Transformation) 的過程中，未來工廠將邁向更小、更乾淨、更易管理，並添增更多彈性化設備及先進的自動化設備，即時滿足市場及顧客少量多樣的需求。製造智能化 (Manufacturing Intelligence) 透過大數據分析與物聯網技術，可自主調整上下游供應配送、自主調整生產環境與產線之產能、判斷生產產品規格、進行有效的資源與能源配置 (王立志、范書愷、丁慶榮、郭財吉、林春成、許嘉裕, 2018)。台灣近幾年來因系統整合蓬勃發智慧製造應用領域的範疇外，更可透過專利盤點同時也瞭解自身的挑戰。尤其現階段台灣在智慧製造政策上，感知層與認知層相較沒有技術優勢，缺乏感測器技術與通訊標準的協議，為未來台灣發展智慧製造之重點關鍵。

數位轉型分成數位化 (Digitization)、數位優化 (Digitalization)、數位轉型 (Digital Transformation)、數位再造 (Digital Reinvention)。事實上，數位轉型是一個過程，在這個過程中數位技術會引發創新的破壞，從而引起組織的策略改變，使得組織尋求改變其價值創造路徑，同時管理影響這一過程的結構變化和組織障礙。對數位轉型的文獻回顧，也指出了公司運營環境的日趨複雜。隨著數位技術提供更多的資訊、運算、通信和連接性，使多元化參與者的分散式網絡能夠形成新的協作模式。在這樣的過程中，甚至會在利益可能不完全一致的參與者之間建立依賴關係。這一新事實為組織的創新和績效提供了潛在的機會，並超過了公司的界限，影響了個人、產業和社會。與此同時，由於企業控制的運營環境要素越來越少，企業維持競爭優勢的能力比以往任何時候都更加脆弱 (Vial, 2019)。因此提升風險控制的能力也是轉型的關鍵之一。藉由蒐集之即時資訊，透過數據管理、分析，輔助各種決策，藉此提高風險控制能力。舉例來說，如傳統的被動維修或預防性維修，透過歷史經驗和資訊進行分析，對機台即時的數據蒐集及分析 (溫度、轉速等)，透過機器學習等技術，能做更精確的預測性維修 (Lu & Lee, 2022)，降低機台故障率。對許多企業在維修過程中，最大的挑戰依然是意外停機。故若能提升預測性維修的精確度，將在技術與流程轉型中改善停機所造成的巨大損失。

3.2.5 決策資訊系統與數位決策

決策資訊系統與數位決策的發展重點在於利用系統分析與設計 (System Analysis and Design)、知識管理 (Knowledge Management)、分散式決策支援系統 (Distributed Decision Support Systems)、網際網路應用系統 (Internet Application System)、結合專家系統 (Expert System) 與使用者體驗 (User Experience)、同時透過決策資訊視覺化 (Visualization of Decision Informatics)、行動應用程式 (Mobile APPs) 和商業平臺策略提升各類產業、各類活動應用領域之創新、強化與效能改善。上述領域隨著大數據、人工智慧與物聯網時代的來臨，應該在原有領域基礎上思考創新的研究主題。

1. 系統分析與設計

為建立資訊系統，系統分析師必須經由調查、分析、設計、開發、安裝、評估及維護等步驟，而調查和分析的知識及能力是不可或缺的，然而，現今許多對於系統分析師的教育或訓練往往忽略這個步驟，直接進行系統的設計。在設計系統前，必須先確定系統的目的，以避免在系統的設計及修改時，忽略了原先系統預期的目的。此外，在系統設計前，應依據系統資料流程圖進行分析。由於資訊系統可小至一個部門內部的子系統、或延伸至公司內各部門的系統、或大到跨公司的系統，資料流程圖可以呈現系統內各子系統、公司內各部門、或公司內外資訊的流動方向，在系統開始設計前，必須能完整地分析在系統資訊流的流程圖 (包含各種資料的輸入、處理、輸出及儲存等)，才能在系統設計時正確呈現資料，系統分析的另一功能在系統的維護，當系統的設計完成且安裝後，如果在使用的過程中有必須修正的錯誤時，可以依循分析時的資料流程圖，追蹤資訊錯誤發生的子系統或部門所在，減少修正的時間。

2. 知識管理

根據國家教育研究院對「知識管理」(Knowledge Management, KM) 的解釋為：「組織有效結合科技、人力及資訊，藉由知識的選取、儲存、整理、分享、應用及創新，促進組織成員共享與創造新知，以增加組織資產和提升組智慧之歷程。」早期的知識管理將知識的層級可分為資料 (Data)、資訊 (Information) 及知識 (Knowledge)。事實上，昨日的資料是今日的資訊及明日的知識。

早期知識管理的應用，著重於組織內的知識管理，將公司內優質員工或技師的知識或技師轉換成可以傳達的知識。這些公司內部的資深員工或技師，在長久的工作下，累積了相當程度的經驗或優秀技術，這些經驗或技術常無意識地表現於工作上，有時無法有效地表達或傳承，這種無意識到的專業技能稱為隱性知識，而知識管理在有效地發現知識、蒐集知識、加以處理後轉換成較為明確的知識後再分享給所需要之他人。簡言之，知識管理在於將存在個人內在的隱性知識轉換成可以傳達於他人的顯性知識。Gartner Group 對知識管理的定義為提升整合企業內資訊的管理及分享的方法。而後，知識管理將知識進一步轉換成智慧 (Wisdom)，形成常見的 DIKW 模型及 DIKW (Data-to-Information-to-Knowledge-to-Wisdom) 金字塔 (Rowley, 2007) 所整合之智慧，有助於決策的選擇。

在大數據時代，利用大數據分析將蒐集之資料分析，將組織中的隱性知識外顯成可協助進行決策的訊息，跳過傳統知識管理中資訊、知識及智慧的階層，直接進行預測及決策。在大數據的衝擊下，個人資訊的價值在蒐集時是無法察覺的，使得知識管理的主旨將存在無個人無意識下的隱性知識外顯為可分享的知識來傳達，也降低了知識及智慧的價值，而知識與智慧的傳承的價值應更有其長遠的意義存在。因此，新一代的知識管理將利用大數據來開發組織的知識管理，經由大數據知識系統推演成資訊，再進一步產生有價值的知識，協助決策者進行決策。大數據與知識管理的結合常應用於健康照護 (Manogaran et al., 2017; Zhang et al., 2017)。近年來，從大數據中挖掘出有價值的隱藏知識有賴於推理技術的支持，知識圖譜 (Knowledge Graph) 作為一種新型的知

識表示形式。知識圖譜可以有效地組織和表示知識，使其能夠在多元應用中得到有效利用 (Chen et al., 2020)。基於知識圖譜的推理已經成為一個熱門的研究課題，因為它可以從現有數據中獲得新的知識和結論。具體來說，推理方法分為三類：基於規則的推理 (Rule-Based Reasoning)、基於分散式表示的推理 (Distributed Representation-Based Reasoning) 和基於神經網絡的推理 (Neural Network-Based Reasoning)。知識圖譜推理的延伸相關應用，也包含如問題回答和推薦系統。分散式決策支援系統與專家系統

決策支援系統 (Decision Support System, DSS) 為協助決策者進行決策的資訊系統。決策支援系統可以使用於個人、公司、組織或團體的決策，分散式決策支援系統係用於探討由多人所進行的決策所進行之決策，即所謂的組織決策支援系統 (Organization Decision Support System)。在組織決策支援系統後所延伸的為群體決策支援系統 (Group Decision Support System, GDSS)，為由少數人於會議所進行決策系統。

當代人工智慧 (Artificial Intelligence) 常見的三種不同學科領域 (Jordan, 2018)，分別為最早期的擬人化的 AI (Human-Imitative AI)，發展到具有智能擴增功能的 IA (Intelligent Augmentation)，進而期望能有智能基礎建設的 II (Intelligent Infrastructure)。其中，II 系統需要能夠管理分別存放於各處具快速變遷且不連貫性的資訊，諸如此類的系統通常需要雲端的介面來處理即時且分散的決策。而所處理的資料的特性常具有長尾性 (Long-Tail Phenomena)，大部分的資料集中於少數人手中，而大部分的人無法擁這些資訊，為能提供具智能的基礎建設，II 系統必須能在資訊的分享及競爭的衝突下達到所欲達成的目標。II 系統常見於運輸系統或醫療體系內。分散式決策支援系統為半結構性的決策支援系統，共享不完整或稀缺性的資料，並即時協助處理不同層次的決策。研究處理不完整或稀缺性資料的分析及決策方法、高效率或智慧化的通訊管理系統 (Communication System)、分散式資料庫及其結構和管理有助於分散式決策支援系統的效率。

伴隨網際網路及大數據的普及，強化資訊管理決策，提升組織效能變得日益重要，「專家系統」也隨之興起。「專家系統」在人工智慧領域中發展相當迅速、應用也極為廣泛。傳統的專家系統推理的效率較低、知識規則也少、開發易陷入困難。現階段的專家系統是利用建構在電腦知識庫上的專家知識與經驗法則來解決問題。這些知識庫上結構化的資料和模式的建立其實相當不易，目前只有少數領域的知識庫可以借鏡參考，而最為大眾使用及受到引用參考的即是在生物資訊相關領域的基因本體論知識庫 (Gene Ontology Repository)，所延伸出來的相關應用及研究非常廣泛。如何建置工業工程領域的相關本體論知識庫，無論是在高科技的智慧製造領域，或是結合人因系統過去相關的量測資料庫，都是相當值得探討的研究方向。

3. 使用者體驗

相關知識庫的累積，其實亦可以針對系統情境的發展、適當的模式分析以及使用者體驗的變化皆對決策資訊系統與數位決策有所助益。相關的研究在人機交互作用 (Human Computer Interaction, HCI) 領域已經受到許多矚目；然而如何應用使用者體驗於決策資訊則是新興的研究議題，包括如何利用使用者體驗作為線上廣告的 Google 關鍵字廣告行銷 (Google AdWords)、媒體網站的使用者回饋、以及各種行動應用程式的使用模式等。這些研究在學術基礎理論上仍有許多探索的空間，但在產業及應用層面上產生的影響力相當鉅大，並已經深入我們的生活 (Google AdWords 在 2017 年的全年銷售總額已經達到千億美金)。未來我們如何在學理上，應用使用者體驗針對不同的決策資訊系統作更深入的探討，將是值得討論的研究。

4. 決策資訊視覺化

科技蓬勃發展，數據資料也呈現指數型態的快速持成長攀升，透過決策資訊視覺化將是一個可以有效提升決策效能的方式。資料視覺化是運用視覺的方式呈現數據，

透過圖像化將複雜的數據簡化，同時讓我們易於辨別數據的規律、趨勢及關聯。除此之外，許多複雜的決策判斷問題，從半導體的晶圓（Wafer）良率檢測判斷、供應鏈的網路關係圖等等。而在視覺化開放軟體方面，目前已經有許多工具可供使用，包括能夠支援各種格式、並與各種資料庫結合的 Cytoscape 網路開放平台，亦有許多視覺化工具的學習場域。另一方面，在過去幾年的研究基礎下，結合政府政策推動、產業技術研發、工業 4.0 及其他新興技術與理念，延伸出更多產業端的應用。

5. 行動應用程式

通訊技術日趨成熟，人手一台智慧型手機，結合行動應用程式，不僅大幅影響我們的生活方式，也為使用者提供真正切合需求的服務。行動應用程式（手機 APPs）是為智慧型手機、平板電腦或其他移動裝置設計的一種應用程式。開發手機行動應用程式能將最新訊息快速又精準地傳達給使用者，同時有效地蒐集反饋訊息，而我們如何結合上述所提的使用者體驗回饋、數據資料視覺化、加上行動應用程式的載具，將相關決策判斷系統化、學理化，將是工業工程領域的一大挑戰。未來在現今科技的大量普及以及資訊服務的日漸推廣下，為支援產業、尋求競爭，以創造產業轉型成長之新動能，為台灣啟動全新的生產力。

6. 商業平臺策略

平臺為憑藉著資訊技術將許多的個人、組織和資源進行鏈結，而形成龐大的價值網絡，是一個可以相互溝通或完成交易的場域。平臺經濟即是在平臺場域中，聚焦於雙方或多方的供給與需求的互動，為各類的參與者和平臺的營運商創造經濟價值。平臺經濟並不是近年才被創造出的商業活動，然而却因數位科技和行動裝置技術的快速發展，致使商業平臺模式廣泛地滲透至許多的產業，例如：Uber（交通運輸）、Facebook（群眾社交）、YouTube（影音媒體）、Airbnb（住宿服務）等。平臺經濟的迅速崛起對現今的全球經濟活動產生了重大的變革，平臺經營模式已成為社會創新與產業發展的關鍵驅動力，其顛覆了傳統線性的價值創造形式（程序起始於供給者而終止於消費者的生產模式），轉變為雙向網絡的價值共創模式（供給者與消費者之角色可以依照供需情境而互換）。Facebook—內容創作者與閱讀（聽）者、Airbnb—房東與房客、Uber—司機與乘客，皆呈現了人人都可以是供給者或消費者的角色，藉由互動生態網絡獲得價值共創效益（Chen et al., 2022）。多邊市場和網路效應以及平臺治理為商業平臺經營議題中長期受到關注的研究項目。

從多邊市場和網路效應的主題觀之，在平臺場域中將相互依存的兩個或多個用戶群進行鏈結，用戶群會分散在平臺的各個邊，並且因各自擁有不同的角色而有不同的目標。平臺的經營者致力於整合不同用戶群間的供需互補，藉由縮減資訊的不對稱，以減少搜尋和溝通的成本，增進用戶群間的交流互動。平臺營運的關鍵不僅在於穩定平臺的運作和服務所有的用戶群，亦竭力於吸引大量的用戶群，以促使平臺發揮網路效應的經濟性，而為平臺的經營者和用戶群創造價值，開創共贏的效益。多邊市場和網路效應中主要探討的議題包含：平臺經營模式之設計、平臺行銷策略的規劃、效應分析等。

從平臺治理的主題觀之，藉由以互聯網和大數據為核心技術，創新的商業平臺模式形塑網絡生態系統，推動了服務經濟的快速發展，亦促進了產業轉型升級。平臺經濟具備多邊市場和網路效應的特性，經營者即需著眼於平臺治理，以有效進行資源整合，和促進價值創造。平臺治理中關鍵的議題包含：良性公平競爭制度的建立、參與者權益的維護、監管制度的研擬等（Rietveld et al., 2020；Jullien and Sand-Zantman, 2021）。

鑑於現今大眾有許多食、衣、住、行、育、樂的消費行為皆架構在商業平臺的營運上，在平臺上眾多用戶群間的互動與交易會持續地產生商流、金流、物流、人流、資訊

流，其中即會交織出一個巨量的數據網絡，進而成為平臺上一系列經濟活動的驅動力。在基於數據資源的商業平臺模式下，除了前述項目仍具有延續探究之價值，最佳化供需媒合、消費趨勢分析、顧客服務模型設計、資源分配優化、消費評價分析、交易風險控管分析、定價機制和補貼政策之規劃、數位技術對網路效應的影響、用戶忠誠度評估，皆為值得深入探討的研究議題。

3.2.6 資通訊技術在工業工程與管理之應用

1. 人工智慧 (Artificial Intelligence)

人工智慧發展已超過半個世紀，但由於過去硬體技術的困難無法快速突破，導致電腦計算能力有限，使得其研究的深度與廣度深受限制。近年來隨著半導體技術的崛起，實現高效能且低成本的晶片，以提供強大的運算能力以及儲存大量數據的環境，進而形成人工智慧快速成長的溫床，使其應用的範疇與處理分析的能力大幅提升。人工智慧若依技術可廣泛分為四類：機器學習、自然語言處理、圖像處理、語音識別。其可應用的範圍包括：邏輯推理、機器感知與社交、規劃與學習、資料處理與分析等。其技術發展過程可分為四階段：第一階段，機器自動控制階段：經由感測或接收訊號，經由程式控制使機器擁有自動控制的能力，進行各種重複性的工作，用以取代簡單的人力工作；第二階段，資料處理與判斷階段：此階段的技術為藉由演算法連結輸入資料與輸出資料，可並產生極大量不同的輸入及輸出資料組合，該階段技術應用發展為拼圖解析程式、醫學診斷程式等；第三階段，機器學習：讓電腦透過學習資料的特徵值，使其能分析數據特性用以進行資料預測或判斷；第四階段，深度學習：相較於機器學習，深度學習是讓電腦透過大數據，自行解析資料特徵，達到自我學習且不斷優化。

隨著人工智慧技術應用在更龐大複雜的問題，龐大的運算量也使晶片發展深受矚目，而目前發展較成熟的晶片為 CPU、GPU、FPGA、ASIC，其中 CPU 為處理智能設備中運算及協調其他各功能構件；GPU 為執行複雜的數據處理計算，較擅長影像處理的平行計算；FPGA 為不採用指令和軟體，是軟硬體合一的高效能、低功耗的可程式設計晶片；ASIC 為專門設計給某種特定的需求的晶片，其效能最優。而由於 CPU 通用於各種設備，若能將 CPU 和其他處理器結合起來，達到更大的效能，像是近年 Google 發表 TPU 其兼具了 CPU 和 ASIC 的優點，也看得出晶片在人工智慧成功發展占很重要的份量。

以下提出四點人工智慧未來的趨勢：(1) 成功整合軟硬體：要實現軟硬體整合，其中晶片的主要演進核心為半導體與演算法，其發展目標是追求高效能，而硬體追求低功耗且更快運算速度，要如何將晶片被動元件、DRAM、處理器等零組件進行整機組裝，才得以達到更大的運算、資料處理能力，為重要的一大課題；(2) 自主學習：人工智慧將從機器學習進化到深度學習，提升為自主學習，預期將創造虛擬環境，其情境將符合現實世界的限制，使機器進行自主學習，以提供更強的解決問題能力，使其邏輯推論能力能運用到更多終端應用；(3) 行動裝置晶片結合人工智慧運算：行動裝置裡處理器大多為 ARM 架構，而其缺點為速度不夠快，未來的手機晶片可望內建人工智慧運算，使行動裝置可發展的功能更加廣泛多元，抑或是更加快速的反饋能力；(4) 廣泛的終端應用：人工智慧的技術將更廣泛運用，並透過其技術解決更複雜的問題與提供更方便的服務，使人們的環境更加智慧化，如發展智慧工廠、智慧家電、自駕車等。

人工智慧在工業上帶來了許多成果，藉由製造產品的各種資料，提供全面自動化或分析生產過程中可改善的地方，透過該技術進行現場計算辨識，不僅僅可以降低傳輸成本，並可同時減少辨識結果的延遲時間，以提高反應速度、提升良率、優化製程、縮短生產週期，其應用領域例如：自動化工廠、智慧物流、動態排程、機器視覺檢測等技術。現今的技術不僅僅只將已知資訊活用，亦開始著重在分析問題發生原因與預測

未知的風險，以降低停機所造成的傷害與生產成本。隨著感測器的進步並結合人工智慧，讓工業機器人的辨識能力、移動精準度和穩定度已相當成熟，並到達可和人互相協作的程度，使技術能更廣泛應用於限制較高的少量多樣製造型態。在未來，隨著更成熟的人工智慧技術，無人工廠的運作雛型將更加完善，其未來的發展藍圖諸如：監視系統協助安防控制，利用學習不同環境下的辨識內容，進而透過自動綜合解讀更多現場狀況，並對應相應的處理機制；晶片將內建人工智慧運算使各種機器擁有互相溝通的能力；機器人可與人共事；人工智慧取代螢幕運用更直覺化的方式展示資料；3D 感測等相關應用，將使工業更邁向一大步。

(1) 圖形識別 (Pattern Recognition)

圖形辨識的領域中有許多重要的子任務，例如影像分類 (Image Classification)、物件偵測 (Object Detection)、語義分割 (Semantic Segmentation)、影像生成 (Image Generation)、姿勢估計 (Pose Estimation) 等。其中又以影像分類、物件偵測與語義分割為圖形辨識中重要的基礎問題 (Wu et al., 2020a)。因此本文中以前述的兩個問題為主，探討此兩項技術近年的發展，以及在工業工程與管理學門中的相關應用。

(2) 影像分類

影像分類指的是在一張影像中，辨識出物件語義上的類別 (Semantic Category)。近年來，由於大數據以及軟硬體進步，深度學習 (Deep Learning) 主導了這個領域的發展。影像分類的應用十分廣泛，例如使用影像分類於醫學的診斷上 (Marques et al., 2020)。在遠端感測影像 (Remote Sensing) 上也有許多的應用，例如使用 EfficientNet 加上 Attention 機制，在高解析的遙測影像中標定出主要的關注重點 (Alhichri et al., 2021)。在農業領域中，辨識植物是否有疾病 (Atila et al., 2021)、對水果的分類 (Duong et al., 2020)，或是對牛隻行為的分析也都是影像分類的重點應用 (Yin et al., 2020)。

2012 年 AlexNet (Krizhevsky et al., 2017) 開始展露頭角之後，以卷積神經網路 (convolutional neural networks, CNN) 為主的深度網路成為這個領域的發展主流。VGGNet (Simonyan & Zisserman, 2015) 如同 AlexNet 一樣，疊了更深的神經網路，但簡化了 AlexNet 中複雜的設計，從而得到了更好的效能。GoogLeNet (Szegedy et al., 2015) 的設計人員觀察到，除了加深網路外，也可以「加寬」網路，同樣可以讓模型有更好的效能。較深的網路可以讓模型觀察到更複雜的細節。而較寬的網路指的是在同一層網路中，使用不同 Size 的卷積核來讓模型有能力關注圖片中不同大小的物件。為此，Inception 架構被提出，其是 GoogLeNet 中的 Building Block。其包含了不同大小的卷積核，其中 1x1 卷積核是用來減少神經網路的運算量，使得 GoogLeNet 即使疊加了較 VGGNet 更深的網路，也能有不錯的運算效能。

由何愷明博士等人所提出的 ResNet (He et al., 2016) 可以說是一個里程碑的網路架構，在 2022 年時，ResNet 論文的單篇引用數，已經突破了十萬大關。早在 ResNet 出現前，研究人員已經知曉透過堆疊神經網路，可以得到較好的效能。但這樣的作法在網路的層數到達一個深度後，反而會出現「效能退化」的狀況。He 等人在微軟研究院中提出了殘差區塊 (Residual Block) 的 building Block，成功地加深了網路的層數到 152 層 (對比於 GoogLeNet 的 22 層，這是很驚人的進步)，避免了效能退化的狀況。也因此，往後的 CNN 網路設計，甚至在 NLP 的模型如 transformer (Vasqani et al., 2017)，都會引入殘差區塊來提升模型的準確率。由前所述，我們知道加深，加寬，並且提升影像的解析度可以讓模型更有效能。那麼如果我們設計的模型把這三個要素都納

入呢？Google Research 的 Tan 等人依此想法設計出了 EfficientNet (Tan & Le, 2019)，並成功地在 ImageNet 的 top-1 效能上，打敗了 ResNet 或 SENet 等經典網路，而且還如同其名 “Efficient” 所述，有更快的運算效能。EfficientNet 的想法是先選定一個基底的網路（如 ResNet-152），並在此網路架構上，使用 grid search 的方式探索最適合的網路層數，寬度，以及解析度，從而得到更好的效能。

近幾年，圖形辨識以及自然語言處理（NLP）領域的交流日益密切，兩方的研究人員常互相借鏡研究的成果。ViT (Vision Transformer) (Dosovitskiy et al., 2021) 便是這樣的產物。自從 Transformer 模型使用大量文本「預訓練」，加上「自注意力」機制，並且在下游任務「微調」的模式在 NLP 領域取得驚人的成就後，如何將相同的概念應用在圖形辨識領域中，就成了熱門的研究。Google Research 所提出的 ViT 便是這樣的產物。在 ViT 中將圖片切成 16x16 的大小（稱為 patch），並拉成一個序列，接著應用 Transformer 的自注意力機制來分析圖片。Dosovitskiy 等人發現如果有龐大的圖形庫可以加以預訓練，那麼 ViT 在下游任務中，甚至可以得到不弱於 CNN 為基礎的模型。Swin Transformer (Liu et al., 2021) 在 ViT 上加上了 Shift Windows 的機制，從而讓模型可以學到圖形中多種尺度的特徵，這篇論文是 2021 年 ICCV 的最佳論文。

影像分類領域長期主導著圖形辨識領域的發展，其中一個主流就是 CNN 網路的設計。近年來的一個發展方向是借鏡 NLP 領域的發展，將自監督以及 pre-train 的模式引入，如同我們談到的 ViT 以及 Swin 架構。另一個發展的方向是引入無監督的對比學習 (Contrastive Learning) (Jing & Tian, 2021)，使用更大量且沒有標籤的資料，讓模型學到更好的 representation，從而在下游的分類任務上表現得更好。由於 IoT 以及行動計算的興起，如何讓模型更輕量化，有更有效率的推論速度，也是一個發展的主流，使用網路架構搜尋 (Neural Architecture Search) 在硬體可以負擔的情況下取得計算效能，以及預測精確度之間的平衡應該也是未來的一個發展方向 (Wu et al., 2019)。

(3) 物件偵測

在物件偵測中，我們不只要分辨圖片中物件的類別，還要使用 Bounding Box 將物件的位置給標定出來。在深度學習的領域中，物件偵測的方法可以分為 Two-Stage Detection 以及 one-Stage Detection (Zou et al., 2019)。在 Two-Stage Detection 的方法中，模型使用兩個階段來完成物件的偵測，第一個階段 Detector 將圖片中大量的 Background 給移除，第二階段則在剩餘的區域中找到目標物件，並標示出來。而 One-Stage 模型顧名思義，就是省略了 Region Proposal 的階段（即找出影像中 Candidate Object 的階段），直接完成物件偵測。因此，One-Stage Detector 通常效能較好，也節省計算資源，但相對於 Two-Stage 模型來說，有較低的精確度。無論是 One-Stage，或是 Two-Stage 的模型，背後都有一個骨幹網路 (Backbone Network) 來抽取圖像中的特徵，之後再由抽取出來的特徵來完成物件分類，以及 Bounding Box 位置的推論。除此之外，物件偵測的方法也會透過 Non-Maximum Ssuppression (Nms) (Luo et al., 2021) 或是 Feature Pyramid Networks (Li et al., 2019) 等技術來提升偵測的精確度。

物件偵測在工業界有許多相關的應用，例如行人偵測 (Pedestrian Detection) 可以應用於自駕車 (Automatic Driving) (Zhang et al., 2016)、影像監視、犯罪防範、車流監測 (Mao et al., 2020)，無人商店 (Zhang et al., 2020)

等。此外，近年來由於疫情的緊張，臉部偵測 (Face Detection) 也成了熱門的應用，許多手機上拍照的 App 也需要臉部偵測的功能 (Zafeiriou et al., 2015)。文字標籤的偵測亦是物件偵測技術可以發揮的領域，例如車牌的偵測，以及車牌號碼的擷取 (Vahab et al., 2019)。在工業生產中亦有許多物件偵測的應用，例如偵測小零件上的瑕疵 (Yang et al., 2019)，或者一個可以在 RGB-D 影像上 (有深度資訊的 RGB 影像) 完成工廠零件偵測的方法 (Mouzenidis et al., 2021)。

2. 物聯網 (Internet of Things, IoT)

物聯網的發展備受矚目，被視為帶動科技產業發展最重要的力量之一，該技術是將實際物體結合感測器或應用程式介面 (Application Programming Interface, API)，並透過網際網路連線產生訊息的連結，進而形成所謂的物聯網。物聯網是基於多種技術趨於成熟下的產物，智慧型手機、感測器、雲端技術的發展，其中可分為五項技術的應用，分別為：無線射頻辨識 (Radio Frequency Identification, RFID)、無線感測網路 (Wireless Sensor Network, WSN)、中介軟體 (Middleware)、雲端計算 (Cloud Computing)、物聯網軟體應用 (IoT Application Software)，其目前技術整合之組成主要架構包含：感測控制元件、介面傳輸、通訊網路、系統整合、軟體及雲端，其中物聯網帶來最大的改變為無需透過人力，便可即時蒐集資料並快速分析，進而加以應用資訊對於環境進行判斷或採取決策，對於預測和大數據分析之領域有大幅度的貢獻。該技術透過訊息採集、聯網、運算、控制，以深入各個領域並大幅提升終端應用的智慧化程度，其中包括車聯網及智慧運輸、工業物聯網、智慧家庭及建築、國土及公共建設、智慧城市等應用領域。

在製造業中，物聯網藉由無線網路發展出機器對機器 (Machine-to-Machine, M2M) 的技術，並透過高速、低延遲、低功耗、網狀網路，使得設備、系統、流程和人員間達成更有效的資訊連結，當中除了可以追蹤機械作業、偵測故障情形、回報錯誤，及發出預告警示，從被動地等到裝置停止運作，晉升為主動偵測以降低停機所造成的傷害，更可以透過感測器蒐集各種終端裝置的數據傳輸至雲端進行有更意義的分析。在未來，可期待利用物聯網技術將即時分析和雲端服務結合起來，將各種物件加以透過資訊流進行連接，並進行動態運輸物流的追蹤與遠端控制，使工廠可以實現完全自動化與裝置系統間的互通協作，加以發展更靈活的製造型態，且實現高製造產量、高機器運作時間，並充分結合應用產業領域知識與雲端資料分析，以達到簡化裝置維護管理、端到端連線、大數據分析、應用流程等作業。

目前無線感知網路已經被應用於工業自動化，在工業流程中，無線感測器可以被嵌入到生產線當中流動，因此可以持續不斷對成千上萬個地方進行監控。而監控多個不同引數的智慧感測器，便可以像微型實驗室一般進行分析工作，將資料傳送回數據採集與監測系統 (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) 來執行需要的動作。若未來普及計算被成功實現，勢必對工廠自動化有極大的幫助 (Gulati et al., 2022)。然而，普及計算目前仍面臨著一些挑戰：(1) 移動性問題，由於普及計算設備的移動性與 IPv4 協定中，域名地址的唯一性互相衝突，普及計算環境下需要按地理位置動態改變移動設備名，必須依靠 IPv6，其移動連線特性可以有效地解決此問題；(2) 融合性問題，普及計算環境是一個結合無線、有線與網際網路的網路世界，因此有線網路和無線網路間之連接是一個需要解決的問題。無線網路近年占據越來越重要的位置，因此有線與無線通信技術的融合絕對是不可或缺；(3) 安全性問題，普及計算環境下，物理空間與信息空間的高度融合、移動設備和基礎設施之間自發的互操作會對個人隱私造成潛在的威脅。同時，移動計算多數情況下是在無線環境下進行的，移動節點需要不斷地更新通信地址，這也會導致許多安全問題。這些安全問題的防範和解決將是必須面

對的挑戰。

3. 雲端運算與邊緣運算 (Cloud/Edge Computing)

雲端運算早在十年前就已成為非常熱門的科技名詞，隨著多核心處理器等硬體的進步、網頁呈現技術的改善、各式運算技術（網格運算、MapReduce、NoSQL、自主運算等）的不斷突破，以及服務導向架構（Service Oriented Architecture, SOA）概念的影響，雲端運算的概念已經非常普及。美國國家標準與技術研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）在 2011 年所提出的雲端運算定義，由於所涵蓋的面向非常全面，因此廣泛被採納。根據其定義，雲端運算是一種雛型，目的為實現無所不在、便利且因應使用者要求的存取管道以使用及存取網路、伺服器、儲存空間、應用程式與各式服務等等共享式運算資源。而這些運算資源能夠在極少的管理作業與供應商協助的條件下，快速進行配置和發佈運算資源。

目前已經有具體應用在工廠的實例，例如有工具機業者利用 IPC 訊號蒐集器，藉由實體機台以及資料擷取（Data Acquisition, DAQ）蒐集訊號資料，並從 ERP、MES 或 QC 等等其他製造管理系統取得生產線資訊，接著將數據全部收納至資料庫，詳細確實的保存原始訊號，再將數據資料上傳到建立於 IMS 雲端架構的 CPS，而 CPS 之中不但擁有雲端伺服器以提供運算資源，還具有能夠提供訊號分析、裝置故障診斷、機台健康評估、機台壽命預測等功能的「IMS Watchdog」，另外又備有健康機械知識庫。因此再經由關聯度分析，便能夠讓來自感測端的數據顯示出其潛在的特徵。無論是遠距離觀察生產線狀態的線外管理者，或者在廠內監控各個機台的線上管理者，都可以清楚掌控每一部機台的資訊以及生產線的狀態，進而能夠更進一步將建構於雲端平台的技術支援服務系統導入作業，使工廠更具競爭力的服務。

隨著晶片技術的提升以及邊緣運算平台的成熟，開始能夠讓現場端裝置與閘道器擁有基礎的人工智慧，使數據資料能在 Edge 端進行更快的篩選、分類、彙整、分析，並且利用這些數據資料來不斷修正與優化模型，大量的運算已經從網絡核心轉移到邊緣裝置，也就是大多數製造數據的來源（來自大量移動設備和工業物聯網附加到工廠中的設施和機器人），邊緣運算分配了大量的運算資源到生產末端以協助運算，進而減少決策的反應時間，降低帶寬使用，提高能源效率，以及數據安全和隱私。

由於雲端式分析技術已經讓製造商得以從感應器、視訊攝影機、機器人物聯網裝置所產生的極大量資料，分析出工廠需要改善的部分，將這樣的分析功能移轉到邊緣，製造商能存取更大量的資料，甚至在營運異常導致產品出現瑕疵之前採取預防措施。因此，許多工廠皆引進邊緣運算技術，邊緣運算技術也在各個面向有所突破。例如企業 HPE 開創的融合式邊緣系（Converged Edge System）、歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）所創建的多接取邊緣運算（Multi-Access Edge Computing, MEC）等等。另外，諸如將邊緣運算運用在智慧城市的攝相鏡頭，在保護隱私及流量成本的前提下搜索失蹤兒童；運用邊緣運算技術打造智能機器人工廠，提高生產效率並減少指令數量。甚至有研究整合區塊鏈與邊緣運算，促使邊緣運算在未來工廠的應用發展值得期待。

4. 電腦視覺

工業物聯網與人工智慧技術日漸成熟，電腦視覺可應用之範圍亦隨之大幅增加。為了實現智慧製造，結合了電腦視覺應用的自動化系統會藉由攝像頭或其他感測器及時收集圖形資訊或相關數據，並藉由邊緣計算裝置將其轉換成可被分析的虛擬數據，並運用內部或外部的強大的雲端計算系統將收集到的即時數據進行人工智慧分析以進行生產相關之決策。電腦視覺技術於智慧製造之應用大致可分為幾類：條碼判讀、缺陷檢測、可追溯性、分揀、視覺機器人等（Javaid et al., 2022）。

第一類應用於條碼判讀，電腦視覺可快速檢查條碼並識別有缺陷的條碼，此特性

可幫助盤點庫存、自動化更新庫存狀態，亦可防止庫存盤點時的人為錯誤。第二類應用於缺陷檢測，近年來深度學習技術已被證實在缺陷檢測問題上有良好的表現，例如：人工神經網路應用於識別車輪表面缺陷 (Krummenacher et al., 2018) 等，也被廣泛地應用到各種產業之中，例如：晶圓級晶片封裝檢測 (Wu et al., 2020b)、藥物注射的顆粒檢測 (Zhang, et al., 2018)、工業印刷電路板缺陷檢測 (Li et al., 2021) 等。

第三類應用於可追溯性，電腦視覺可透過追蹤與辨識生產線上人員的骨架，確保作業員均有按照公司所制定之標準作業流程進行生產，以維持產品品質 (Yan et al., 2018)，亦可透過及時圖像處理從生產現場收集的影像，提醒員工何時處於危險的狀態，以降低工安意外發生的機率 (Oztemel and Gursev, 2020)。第四類應用於分揀，在柔性製造系統中，每個零件在準備好交付之前都需經過一系列加工，其中可能會損壞標籤。為使這些生產線能進行混合模型生產，必須將零件準確分類並發送到正確的操作位置。需要一個不依賴標籤的分揀系統來實現這種柔性製造系統，使用電腦視覺透過基於卷積神經網路的元素分割方式，可有效建立此系統並提升分類之正確性。第五類應用於視覺機器人，視覺機器人在高危險、高污染、高複雜的環境中的使用頻率大幅增加，例如：汽車工廠裡的車身組裝與噴漆、在醫療手術中透過電腦視覺為執刀醫生建立更清晰的 3D 地圖，並協助視覺機器人在狹窄的體腔內可以精準的下刀，完成複雜的外科手術。

電腦視覺在智慧製造中扮演重要的角色，使自動化的生產線具備自我調整與優化的能力，未來想更精進電腦視覺的應用，如何訓練出適合的模型是一大難題。現今的方法大多使用深度學習法進行訓練缺陷模型，雖然可大幅提高效能，但此方法亦時常被質疑，因為大多數深度學習的方法都需要大量樣本來訓練缺陷模型。而在良率很高的產業中，缺陷是不常見，因此這種要求很難被實現，並且只有少量樣本可以使用，深度學習的模型可能會被不良訊息誤導而導致模型失真，因此如何在缺陷數少的情況並訓練出穩定的缺陷模型值得深入探討。此外，為了解決有限的訓練數據和需要手動標籤資料，可使用非監督式學習法，使電腦視覺在未來有機會成為不需要人類就能自主學習的系統。

5. 自動語音辨識

自動語音辨識 (Automatic Speech Recognition, ASR) 或 (Speech To Text, STT) 主要是透過電腦演算法自動把語音內容轉成對應的文字。電腦自動辨識語音換成文字後，可搭配其他技術構成多種不同的人機互動應用，例如個人語音助理 Apple Siri 或 Google Assistant、智慧音箱 Amazon Echo、智慧家電 Google Home、車載語音、客服中心等。

語音辨識的研究，大致上可以 2010 為一個分水嶺，2010 以前主要是基於 Hidden Markov Model (HMM) 模型為主的語音辨識技術，其中 1988 李開復等人在 CMU 以高斯混合模型 (Gaussian Mixture Model, GMM) 對 HMM 的狀態觀察值建立模型，可辨識長語音序列，成為第一個大詞彙量語音辨識系統 Sphinx (Wang et al., 2019)。從 2010 年開始，深度學習技術效能開始有明顯進步，其中多倫多大學的 Dahl 與 Hinton 投入 Deep Neural Network (DNN) 語音辨識技術研究，隨後並加入微軟研究院鄧力等人，並在大詞彙語音辨識上取得大幅效能增進，該研究在兩個測試集中，相對錯誤減少率 ERR (Error Reduction Rate) 分別取得 16.0% 與 23.2% 的成果 (Dahl et al., 2012)，此後語音辨識模型主流開始從統計式學習 (HMM+GMM) 逐漸改變為深度學習 (HMM+DNN)，並開始一系列深度學習語音辨識模型的研究，如下圖 3.3 的語音辨識研究發展圖所示。

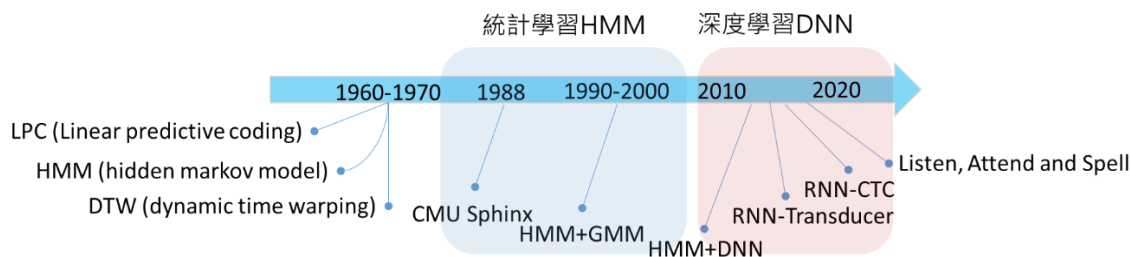


圖 3.3 語音辨識研究發展圖

語音辨識除了深度學習技術在演算法模型突破之外，另外重要因素在於具備龐大的語音資料；例如 Google 在 2007 年推出 GOOG-411 語音識別查詢服務，讓用戶可以透過語音搜尋公司電話及地址，此服務收集到大量的用戶語音資料。另外 Google 也持續透過 YouTube、Voice Search 收集大量資料，不斷優化模型。在 Google I/O 2015 中宣告，Google Now 語音辨識的詞錯誤率 WER (Word Error Rate) 在兩年內從 23% 降到 8%。而 Apple 在 WWDC 2015 中也宣告，Siri 語音辨識的詞錯誤率已經降到 5%，相對於前一年的錯誤降低率 ERR=40%，語音辨識的正確率的提升非常顯著。

傳統語音辨識的處理流程如下圖 3.4 系統架構所示，一段語音進來後，先切割 Frame，並透過 Fast Fourier Transform (FFT)、Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) 等聲學特徵分析後，透過聲學模型 (Acoustic Model, AM) 以 HMM 建模轉換成音素 State，並透過發音模型 (Pronunciation Model, PM) 轉換得到可能的詞集合，最後透過 N-Gram 語言模型 (Language Model, LM) 解碼找出最佳詞序列。

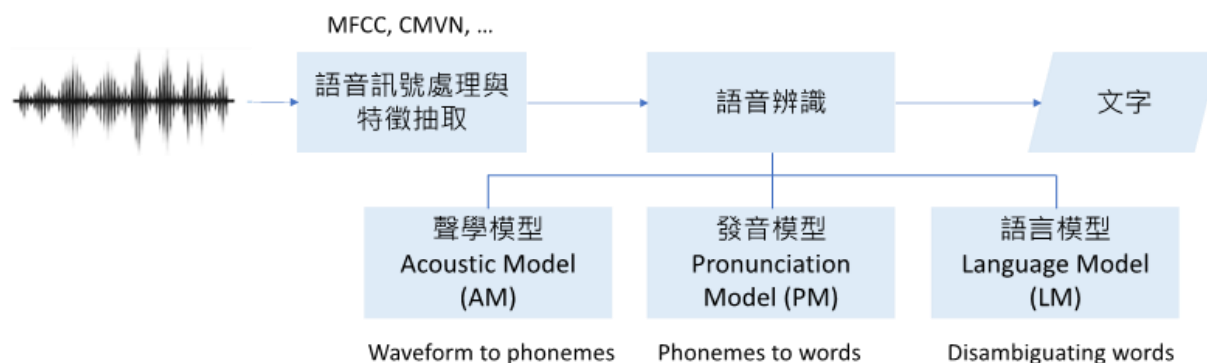


圖 3.4 傳統語音辨識架構

這種分階段的作法，三個模型都是以各自資料配合不同的模型損失函數、優化策略等進行訓練，較難得到整體模型優化，此外當模型進行推論時，每個階段的錯誤也會逐步累積造成錯誤率遞延放大。

而深度學習時代開始興起端到端 (End-to-End) 的語音辨識架構，嘗試直接從資料中找出輸入特徵參數向量與輸出文字潛在的對應關係，該作法可省略 GMM、發音模型訓練。這類方法大多以 RNN 為主進行變化，並搭配 CTC (Connectionist Temporal Classification) (Sak et al., 2015) 作為損失函數進行訓練。常見的端到端架構有 RNN+CTC (Battenberg et al., 2017)、RNN Transducer (Rao et al., 2017) 與 RNN+Attention 機制 (Bahdanau et al., 2016) 三種。如下圖 3.5 所示，其中圖中 x_t 為時間點 t 的音框特徵參數向量、 h_t 為隱藏層、 y_t 為輸出文字、 c_t 為注意力層，其中 y_t 可以選擇性輸出空字串 ϕ ，輸出字元包含空字串 ϕ ，因此可解決輸入輸出長度不一致的問題。

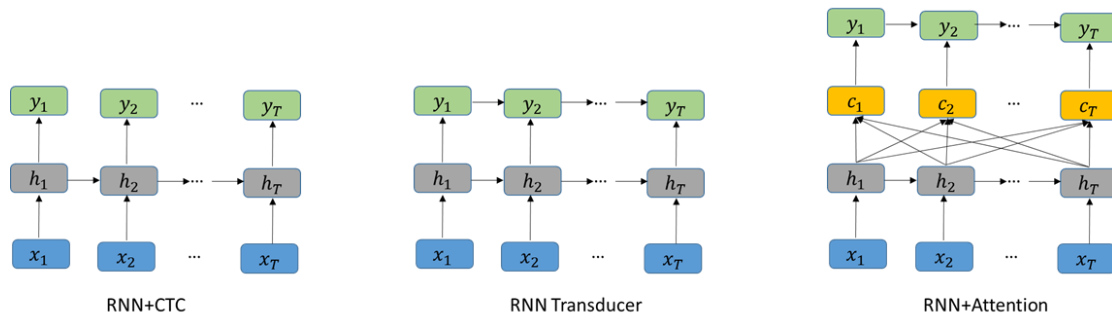


圖 3.5 端到端語音辨識網路架構

最基本的端到端架構為 RNN+CTC，主要就是以 RNN 搭配 CTC 損失函數進行模型訓練；RNN Transducer 則考量文字前後相關特性，將輸出文字 y_t 之間的轉移機率一起納入模型訓練，提升輸出字串序列正確性；而 RNN+Attention 則加入「注意力」機制，在輸出 y_t 時會透過注意力層，考量所有隱藏層 h_1, \dots, h_T 的資訊。雖然端到端架構能簡化訓練流程，但它需要比傳統架構更多的語料來訓練，才能得到較穩定的效能。

6. 資通訊技術在長照、復健與健康管理之應用 (ICT Applications for Long-Term Care, Rehabilitation, and Health Management)

台灣人口老化速度全球最快，115 年老年人口將成長至 500 萬人，成為超高齡社會。如何建構活躍老化的社會，落實優質長照制度，以因應超高齡社會，已為當務之急。如何借助資通訊技術在長照、復健與健康管理之應用，彌補人力觀測或照護不足，全面地建構完整的長照體系是值得研究的課題 (王國明等人, 2018)。

資通訊的穿戴裝置、感測器、互聯網等技術，促成智慧健康照護產業蓬勃發展。智慧醫療將資通訊技術應用在醫療和健康領域，包括醫療照護、疾病管理、公共衛生監測、教育和研究，增進醫療的可近性和降低醫療成本，特別對開發中國家和弱勢族群有深遠的影響，值得研究與開發。首先，蒐集醫療資料，上傳至雲端，經由資料採礦分析，幫助醫療院所優化經營管理、長期追蹤監測、病患健康管理、臨床決策、客製化醫療服務和研究，並成為政府醫療政策和醫療資源分配的決策參考 (Chan, 2015)。另一方面，許多國家在資通訊技術應用在長照上的已有成功經驗，如英國在遠距照護與日本在健康促進和追蹤上的應用。產業界也積極設計適合年長者需求的住宅、通訊、醫療和休閒產品，如遠距醫療、追蹤失智長者的無線通訊器材、穿戴裝置，開啟高齡智慧科技的研發應用產業，均為值得持續研究與開發的議題 (陳銘田, 2019)。

7. 資通訊技術在智慧城市、智慧運輸與智能電網之應用 (ICT Applications for Smart Cities, Transportation and Smart Grid)

智慧城市係利用資通訊技術，透過物聯網、大數據和人工智慧，在公共設施、交通運輸、醫療健康、安全、環保、觀光娛樂等領域，整合城市的系統和服務，滿足居民對智能生活需求的環境，提升資源運用的效率、優化城市管理，改善人民生活品質，並可進一步打造智慧城鄉，值得持續研究。台灣擁有實力雄厚的資訊技術製造和網絡科技基礎，政府亦列為施政重點，因此智慧城市的發展，深具潛力。另一方面，台灣資通訊業者對參與智慧城市建設有極高興趣，具有完善的資通訊技術產業鏈，包括台積電、聯發科、宏碁、英業達、廣達、台達電等，均為供應鏈上重要的企業，也是台灣發展智慧城市不可或缺的一環。此一系列智慧城市議題，值得持續深入研究 (台灣智慧城市發展現況, 2018)。

台灣資通訊科技服務涵蓋率及網路普及率超過 80%、資通訊硬體設備市場占有率世界第一，加上豐沛的資通訊產業鏈及人力資源，成為智慧運輸研究與發展的優良平台。資通訊技術可運用於解決偏鄉交通不便、運輸走廊壅塞及公共運輸吸引不足等交通問題，利用資通訊科技增進交通安全，對改善台灣交通環境，亦為當務之急。具體而

言，5G、物聯網、雲端運算、大數據分析、人工智慧之發展，為運輸服務發展創造實踐機會，跨域科技整合應用、跨運具交通服務、車路聯網、無人載具和共享概念，成為下一階段以資通訊技術進行智慧運輸發展的重要趨勢與研究議題。例如，建立整合式交通資訊及交控平台，讓系統蒐集同一時間內不同道路的交通數據，引導民眾做出差異選擇，滿足更多人移動與運輸的目標。另一方面，透過追蹤、後台管理技術，結合對駕駛的輔導，提升公車的可靠度，到站準點率增加（吳碧娥，2019）。

智慧電網係以傳統電網為基礎，導入資通訊技術並整合分散式能源，搭配智慧化控制策略，達到節能省碳的目的。可將資通訊技術應用於智慧電網的發輸配用，進行電網穩定度與供電品質之監控與提升。另一方面，未來全球發展方向除更有效率反應供電成本，研究相關附加服務，均為發展智慧電網極有潛力之議題。此外，可藉智慧電表分析用戶之用電特性並進一步設計合適之節能策略，短程而言有助於用戶節省電費支出。更可幫助電力公司即時掌握需求端之負載特性，進行相關負載管理措施與電力調度，可有效強化電網供電可靠度、降低興建電廠或饋線投資與增加可容納再生能源之能力（經濟部能源局，2019）最近，機器學習與智慧電網間的應用也十分受到關注，尤其是電網的安全性。例如精確且快速偵測網絡攻擊取決於適當地選擇機器學習和深度學習模型，該方法能有效地預測與偵測異常事件的發生（Kotsiopoulos et al., 2021）。

8. 資通訊技術在服務系統與文創之應用（ICT Applications for Service Systems and Social Innovations）

資通訊科技發展和體驗經濟崛起，台灣的服務業面臨快速發展與轉型升級之挑戰。如：安全電子支付結合人工智慧，於服務業導入資通訊科技，增加服務內容的獨特性與新穎性，打造新型態的服務模式，可創造產業的新藍海。將人工智慧、大數據、行動網路、資訊安全等先進資通訊科技，結合跨領域合作與創新商業模式，推動國內產業發展智慧製造、智慧健康與醫療、智慧流通與生活之服務系統科技，並提升服務創新商業模式，建立台灣產業的優勢與差異化，展現高科技化應用潛力，此一系列議題，值得持續深入研究（李傑等人，2017）。近年來，ICT 蓬勃發展也促使建築業以可持續改善與參與永續議題，例如預裝配房屋建築（Prefabricated Housing Construction）透過 ICT 可縮短排程延遲、節省人力資源、降低建築不必要的浪費、減少碳排等達到精實建築（Lean Construction）的趨勢。其中，一種基於區塊鏈和物聯網的技術可建立平台來加強預裝配房屋建築的發展。ICT 促進智能決策，有效地監控建築專案進度、成本、人力、狀態等。預裝配組件是定義為支持 IoT 和 CPS 的智慧與連結裝置，於區塊鏈有利於防止在通信中註入或傳遞有害資訊，更好地處理動態變化的施工階段（Li et al., 2021）。

結合資通訊技術，可以有效保留傳統歷史文化，整合宗教建築，達到文化與科技結合，促進國民認識宗教文化之蘊涵，並達到歷史淵源之傳承。此外，運用雲端追蹤技術結合名俗盛事，實現資通訊技術結合文創產業，可促成智慧生活環境。另一方面，透過資通訊科技，強化在地文創產業競爭力，降低商業模式與服務系統被模仿的風險，也讓消費者感知到文創產業的差異化服務（陳俊良，2017）。此外，以智慧城市的視角觀之，智慧城市是技術和社會創新的空間結果，同時形成平台來促進創新。從歷史上看，新技術一直在城市中不斷發展，即使這些想法的起源在城市本身之外。一般來說，智慧城市的關鍵驅動力，如國家和地方政策、ICT 產業需求增長、全球快速發展新格局、貨物和資訊的快速流動、以及重要的政治利益等因素。這些驅動的因子、過程與權重因管轄區而有所差異，也持續在智慧城市計劃提供相關的服務（Kim et al., 2021）。此一系列議題，值得持續深入研究。

3.3 大數據分析與資訊系統子學門未來研究方向與重點

在既有以製造業、醫療照護產業、服務業、教育體系等產業應用為主的基礎下，資

訊系統子學門的近年來的發展更著重於將產業應用需求與資訊技術結合，在物聯網、工業 4.0、綠色能源等新興技術與理念下，發展更多產業端的應用。而在大數據分析與各類演算法的發展下，衍生更多中介應用相關的研究課題。在消費端應用部分，則因行動通訊技術的日趨成熟、線上/線下商務交易/金融的頻繁、新興網路社群力量的崛起等條件，發展更多前瞻的消費端應用課題。大數據分析與資訊系統在產業端應用、中介端應用、以及消費端應用等研究方法（科技部工業工程與管理學門一百零八年度學門規劃報告，2019），研究主題的包含：

1. 理論方法：組合優化
 2. 產業端應用：物聯網與虛實整合、生物資訊與醫療資訊、碳中和與能源管理
 3. 中介端應用：大數據分析與前後端趨勢
 4. 消費端應用：自然語言與語音處理、物件偵測與行動運算、數位金融發展與應用
- 上述研究主題皆有延續發展之價值。對於工業工程與管理領域的研究學者來說，如欲進入不同的應用領域（例如：生物資訊或醫療資訊領域），應可善用其過去應用在智慧製造領域的相關方法論，並進行跨領域的合作研究，藉由應用領域相關學者的豐富經驗和資料，協助進行建模，相信應是工業工程與管理學者可茲發展的方向。以下進一步詳細說明大數據分析與資訊系統之未來推動重點方向。

3.3.1 組合優化

求解組合優化問題在近年來因 AI 應用需求崛起而受到關注，例如：在數據分析常見的二元分類問題，透過訓練資料集建構預測模型用以分類新的資料。再者，由於疫情與國際對立改變了全球供應鏈合作模式，各國大廠開始建構庫存以確保供給，過度庫存的結果卻也加速了供需失調，面對國際需求旺盛以及人力資源短缺的挑戰下，我國產業積極推動智能化方案以優化作業效率與簡化流程，其中排程、存貨、網路、路徑規劃、產能規劃等相關決策大多為組合優化問題，顯示該領域研究對於產業發展之重要性。針對近年研究方法進行分類供相關領域研究人員參考。

1. 機器學習模型求解排程與路徑規劃問題

透過機器學習方法求解組優問題，主要將模型輸入端定義為決策，透過神經網路進行學習，模型輸出端為決策結果。目前方法主要運用於零工式排程問題與旅行推銷員問題等問題。零工式排程相關文獻包含利用 Graph Neural Network (GNN) 與 Reinforcement Learning (RL) 進行求解，所提出方法較一般派工法則優但與最佳解仍有所差距，另一挑戰在於網路模型規模隨工件與機台數指數成長，影響 GNN 計算時效 (Park et al., 2021)。Zhang et al. (2020) 為相似問題的原創研究，透過機器學習來決定派工法則決策，所訓練出的模型可適用於不同問題維度之零工式排程問題，稱之為 Size Agnostic。旅行推銷員問題方面，Vinyals et al. (2015) 建構 RNN 模型，透過監督式學習方式以最佳解做為學習目標進行模型訓練，網路輸出點為節點排序即為欲求解之決策。Bello et al. (2017) 使用強化學習來訓練模型，解決了監督式學習一定要找到最佳解才能訓練模型之限制。Kool 與 Welling (2018) 則使用 GNN 來架構神經網路。

2. 結合作業研究與機器學習之研究

Branch and Bound Algorithms 為作業研究領域用於求解混整數規劃問題主要方法，與機器學習結合之研究主要使用機器學習分析問題特性並提供有價值資訊，使混整數規劃問題問題能更有效求解，例如：分析問題之目標函式與限制式結構並進一步簡化、強化混整數規劃模型、利用機器學習模型生成初始解或決定是否將問題進行預處理等。相關研究如 Kruber et al. (2017) 透過 Random Forest 測試在進行混合整數線性規劃問題求解之前是否需將問題進行 Dantzig-Wolf Decomposition。Bonami et al. (2018) 使用 Support Vector Machines 分析將問題線性化是否可以減少混合整數二次規劃問題之求解

時間。其它類型的研​​究主要透過機器學習方法來學習 branch And Cuts 之最佳參數設定，包含 cutting Planes Methods、Node Selections Methods、與 branching Variable Selection Methods，目前研究以後者居多。例如：Hottung et al. (2017) 建構深層神經網路以學習 Branching Variable Selection Methods 策略、Baltean-Lugojan et al. (2018) 透過機器學習模型選取 Cutting Planes Methods。Marousi and Kokossis (2022) 設計一種通用的全域最佳化演算法，該算法適用於解決二次箱型限制式問題。該方法重新制定了切割平面 (Cutting Planes) 分解方法，並透過數據驅動的切割平面選擇替代了主問題的解決方案。

3.3.2 物聯網與虛實整合

物聯網於工業的應用主要在於如何基於各個機器、載具、設施單元具有感知和溝通的能力下，以分散式自主 (Distributed Autonomous) 的方式機動協調解決所面對的限制或障礙，發展機器可相互溝通、協調，整合以對標的物件提供作業與服務。產品在要求服務之際，若需要和不同製造設施溝通，可將服務與硬體設備分離，使得針對服務的需求可以被一致化的陳述，再藉由「服務導向架構」系統加以轉譯成對應不同硬體設備的控制指令執行服務提供功能。

物聯網於工業的主要應用是基於生產環境中連接各樣於工業設備上的感測器。設備製造與服務廠商、設備使用廠商，以及服務提供廠商皆可利用對設備的即時與持續的追蹤觀察能力，了解設備正常或異常運作信號，進一步建立預測性模型，實現所謂「預測性維修」(Predictive Maintenance)，即在機器未損壞或停機前預先分析得知並加以排除，避免設備在非排訂時間停機維修所產生的重大損失。此領域涉及多項傳統的分析預測模式，也包含了多種感測器的使用與大數據分析工具的運用。

工業物聯網的發展下除了大量以機器人取代勞工重複性的工作，人機緊密協作在未來工廠亦為一個必然的趨勢，人的優勢仍在於靈巧、彈性及解決問題的能力，透過設計各種自然人機介面給予機器/機器人指令或溝通，以及以「擴增實境」觀察或由機器主動的向協作人員表達負載、品質、進度等機器狀態與相關信息，與機器無縫的協作以達到最佳的綜效。此外，與實體環境同步存在的數位環境亦提供了一個模擬、測試、防錯的數位製造能力。數位/虛擬的測試原本就具有其優勢，其與實體環境的差距，可藉由物聯網或聯結產品持續及長期的資料回送快速而有效的修正，使得數位世界中的數位雙生 (Digital Twin) 或數位脈絡 (Digital Thread) 可用以精確的描述及預測實體產品與各項作業。

物聯網也開始擴展到工業外的相關應用。例如，智慧能源中從智慧電網到智慧建築及各種智慧節能的系統，皆可利用物聯網架構持續取得相關信息，改善系統的透明度；在智慧交通/運輸、智慧運籌與智慧倉儲皆可藉由相同的架構，改善系統效能，創造更具競爭力的服務與商業模式。在大數據分析的基礎上，可進一步綜合其他非直接相關的有效資料，輔助進行更智慧化的分析和推論，以強化決策與管理的功效。藉由物聯網功能的整合強化服務的提供提高產品或設備附加價值，在產品皆成為聯線產品後，可發展各項智慧聯結服務成為「成果經濟」(Outcome Economy)，各種產品對於使用者的效益在於所提供的服務，各種經濟活動皆可藉由物聯網聯結所提供的即時感測及回應能力，提供即時 (On Demand)、按使用付費 (Pay-Per-Use)、訂單生產 (Make to Order) 等以拉式經濟 (Pull Economy) 模式為基礎之各種服務。

網宇實體系統 (Cyber-Physical Systems, CPS) 平台係透過物聯網互聯的溝通，達成資料的交換與統整；並透過雲端與大數據的分析，進而控制與協調改善整體的產業價值鏈。CPS 作為智能運作的核心，需結合智慧系統中之各種軟硬體，感測器 (Sensor) 的資料蒐集與安全防護、關聯式網路的系統溝通與實體環境的聯繫、人工智慧的大數據計算與決策分析，進而達成致動器 (Actuator) 與生產設備的控制與協調，並和場域

中之人員協同作業，達成智慧化生產與管理的目標。因此，CPS 平台架構之開發，需針對不同的應用情境或產業需求加以客製，以滿足各種產業獨特之特殊智能應用。

應用 CPS 技術於製造活動各環節以提升效率是近年來工業工程學門值得探討重要議題。主要可從 CPS 系統架構與平台、以及 CPS 應用。CPS 系統架構與平台主要包含：CPS 系統之理論模型、分散式設計、平台架構設計、模擬與使用者介面設計、運算架構、物聯網架構、通訊機制等；CPS 技術應用則在於產品研發階段、生產排程、現場管控、與 AR/VR 技術結合之應用、及永續生產之應用。

此外，近年來可解釋的人工智慧(XAI)技術蓬勃發展，一些應用領域，包括金融、醫療保健、交通、軍事、法律和人機交互等，都會使用到 XAI 的技術(Minh et al., 2022)，尤其是在使用較複雜的人工智慧模型，例如深度學習，XAI 可補足解釋性的觀點。其研究方向與挑戰，其一專注於討論準確性和可解釋性之間的權衡，這個問題發生在當模型可解釋能力提升時，預測績效受到影響。有相關研究評估 XAI 模型指標的發展，鑑於深度學習模型已經主導了許多 AI 領域和取得了顯著的性，XAI 已越來越多地應用於解決黑盒人工智慧模型，並帶來更多解釋上的信任，因此建構量化指標來說明可解釋性的程度。XAI 發展也專注於對深度學習模型的各種策略進行可解釋性的分類，表示可解釋性的三個程度，包括（1）預建模可解釋性（Pre-Modeling Explainability），（2）可解釋模式（Interpretable Mode），（3）建模後可解釋性（Post-Modeling Explainability）。

3.3.3 生物資訊與醫療資訊

近年來，由於資通訊科技的快速發展，不管是生物資訊學（Bioinformatics）或醫療資訊學（Medical Informatics），已廣泛受到許多研究人員的重視。生物資訊學的發展始於 1960 年代初期，將計算方法應用於蛋白質序列分析。後來，亦出現如 DNA 的分析。在 1990 年代到 2000 年代，測序方面的重大改進技術及成本的降低，導致資料呈指數級增加，也就是所謂的大數據，因此帶來相關挑戰（Gauthier et al., 2019）。原則上，生物資訊學主要是利用應用數學、資訊學、統計學和電腦科學的方法，進行各種生物學資料的分析。除傳統新技術外，目前深度學習在生物資訊學領域上，已展現了其能力，包括序列分析、結構預測和重建、生物分子特性和功能預測、生物醫學圖像處理和診斷及生物分子相互作用預測和系統生物學。其中如 RNN、CNN 及 Graph Neural Network（GNN）已被大量應用在生物資訊學上。不過，目前的挑戰包括資料的缺乏、過度學習、不均衡資料、可解釋性、不確定性的規模、災難性遺忘及減少計算要求和模型壓縮等（Li et al., 2019），皆為未來可努力的方向。

而在醫療資訊學領域，則是研究和應用方法以改進對患者數據、臨床知識、人口數據及與患者護理和社區健康相關的其他資訊的管理及分析。原則上，目前大致是以大數據分析為主軸，其可能的架構包括如健康照護資訊學和大數據、健康物聯網雲架構、健康推特大數據管理、學習健康照護系統、同步大數據分析、整合健康照護分析系統、預測分析系統、基於雲端的患者資料分析系統等。由於資料的種類多元，例如就診或檢查資料、影像資料及訊號資料等。因此，目前已有各種資料探勘技術被應用於各種疾病的健康照護上，如分類方法中的類神經網路、決策樹及演化演算法等（Shafqat et al., 2020），甚或一般的影像辨識技術。近年來，深度學習亦已成為醫療或健康照護資料分析的顯學。因此，除前述之 RNN 及 CNN 外，如 DNN、Deep Autoencoder 及 deep Belief Network 等，亦被應用在此領域（Ravi et al., 2017）。因此，未來在相關方法論的強化上，尚需相關的投入，或如特徵擷取等技術，亦為發展的重點。

3.3.4 碳中和與能源管理

碳中和 (Carbon Neutrality)，是指國家、企業、產品、活動或個人在一定時間內直接或間接產生的二氧化碳或溫室氣體排放總量，通過使用低碳能源取代化石燃料、植樹造林、節能減排等形式，以抵消自身產生的二氧化碳或溫室氣體排放量，實現正負抵消，達到相對「淨零排放」。其中碳定價、徵收碳費與碳交易為碳盤查/碳足跡之後的主要路徑。(1) 碳定價。碳定價是國際間認為有效降低溫室氣體排放的政策工具，而部分國家搭配採用徵收稅或費，有些則實施「總量管制與排放交易」。隨著歐盟公布「碳邊境調整機制 (CBAM)」草案，啟動國際間對碳關稅的重視。未來倘若我國無實施碳定價相關政策，未來產品出口時將被要求出口國要求繳交碳關稅或相關費用。(2) 徵收碳費。以專款專用的方式建立，碳費徵收對象考量排放源類型、國家溫室氣體階段管制目標分階段逐步推動實施。未來費率訂定除考量產業競爭力，也將鼓勵碳費徵收對象提出自主減量計畫，設定符合國家減碳路徑的減量目標，經核定後將可適用優惠費率，引導產業加速投入減碳工作。碳費用途將專款專用於溫室氣體減量、發展低碳、及負排放技術，促進低碳經濟發展。(3) 碳交易。由於我國溫室氣體排放源集中，前 30 大排放源即占製造業總排放量 70%，現階段實施「總量管制及排放交易」制度，會面臨流動性不足、市場過度集中的問題。為穩健推動碳交易，將持續鼓勵企業採行自願減量給予減量額度 (Carbon Credit)，建置交易平台提供予有減量責任或需求者，以減碳績效有價化帶動企業加速轉型。且為達有效減碳及使產業能以合理價格取得抵換額度，初期不以金融商品形式推動 (周至宏，2022)。

隨著全球暖化與環境動態的改變，能源與永續發展的問題已逐漸成為學者與企業重視的研究問題，而能源的永續管理則主要包含永續與負責之供應鏈管理 (Sustainable and Responsible Supply Chain Management)、再生能源管理 (Renewable Energy)、智慧電網之分散式需求反應 (Distributed Demand Response Program in Smart Grid)、綠能交通 (Green Transportation) 等牽涉到能源的開源、監控、節流、轉換互補議題。例如為了提高分散式再生能源的利用率，減少對傳統電網的依賴，能源互聯網將智慧電網與電池儲能系統和物聯網結合，實現用戶之間的能源共享。Lin et al. (2021) 提出通過能源交易平台構建混合整數規劃模型，用於通過能源互聯網實現住宅群的能源優化共享，具有再生能源設施和電池儲能係統的住宅可以通過該模型進行能源交易和共享。

3.3.5 大數據分析與前後端趨勢

大數據分析趨勢包含混合雲與邊緣運算 (Hybrid Cloud and The Edge) 以及 Mlops。(1) 雲端計算 (Cloud Computing) 對大數據分析的傳輸與運算方式極為重要，尤其是透過某些租賃機制，企業無需購買昂貴的超級電腦或基礎設施，即可使用大規模資料庫，並根據對應的資料完成分析與計算。隨著越來越多的數據，若使用傳統的「雲端運算」架構要求資料被傳輸回中央的資料中心進行處理，然後再傳輸回使用者裝置，會高度仰賴網路頻寬的需求。因此，邊緣運算以一種分散式運算的架構，將應用程式、數據資料與服務的運算，由網路中心節點，移往網路邏輯上的邊緣節點來處理。將運算能力和儲存能力挪到網路邊緣或終端設施，在實體或地理位置上盡可能接近終端設備，以減少網路頻寬使用和延遲，縮短回應時間。(2) 另一方面 MLOps，隨著更多企業與專案使用機器學習進行建模與實驗，會發現機器學習 (ML) 建模只是大數據分析的第一階段。由於有相當多的 ML 模型逐漸被開發出來應用，大規模管理 ML 生命週期相當複雜，企業團隊必須要記錄並管理資料、程式碼、模型環境，以及機器學習模型本身。除了必須針對開發、封裝和部署模型建立程序，以及監視其效能，有時還得重新訓練這些模型。因此為了解決機器學習所面臨的困難與挑戰，我們需要一種新的架構來將 DevOps 的靈活性帶入 ML 的生命週期，這種方法稱為 MLOps (Wu, 2019)，這個詞其

實就是 Machine Learning + Dev+Ops 三個部分的縮寫。把專案中機器學習模型的開發、軟體開發與 IT 系統運營技術的整個生命週期串接在一起，通過自動化軟體交付和架構變更的流程，來使得建構、測試、發布軟體能夠更加地敏捷與可靠，並透過企業組織各司其職但互相連接的軟體系統讓整個專案團隊可以緊密的合作。舉例來說，微軟的 Azure 提供大量的資源來運作 MLOps。

前端趨勢包含漸進式網路應用程式 (Progressive Web Apps, Pwas)、元件化開發 (Component-Driven Development)、以及 GraphQL v.s. RESTful API。(1) 漸進式網路應用是 2016 由 Google 所提出的概念，它並不是單指某一項技術，而是應用了多項技術的 Web App。現行的 Native App 指的是由 App store 安裝下載，然而多數使用者將近有 80% 的時間會使用在 Top3 的 App 服務，例如：YouTube、Instagram、Facebook 等，這使得開發的性價比不高。另一個常使用的就是響應式網頁，但在使用過程中可能有頁面卡頓、用戶體驗不佳等及其他幾個缺點，如離線時用戶無法使用、無法接收消息推送等。因此推出 PWA 目標就是希望既能有 Native App 的流暢體驗，且不需要一連串安裝過程。由於對於從業者，多個平台開發相同的應用程式是具有挑戰性的，Huber et al. (2022) 比較了能源效率在使用其他行動開發方法的 PWA。同時，當執行 PWA 時，也檢查不同網絡瀏覽器的能源足跡。就能源效率而言，PWA 可被視為其他 Mobile Cross-Platform Development (MCPD) 方法的可行替代方案。事實上，Android Native 開發方法表現出最低的能源消耗，這也說明原生開發方式仍然是最節能的。(2) 前端元件化開發對於提高開發效率、程式碼的可維護性和可複用性有很大幫助。前端工程師按照一定的規範，產生出合格的網頁元件，再組裝成完整的頁面。元件一般包含 HTML 模板、CSS 樣式和 JavaScript 資料邏輯，可以直接在其它元件中使用，元件本身的模板、樣式和資料不會影響到其它元件。常見的基礎元件包含有：按鈕、提示框、表單輸入控制元件、對話方塊、表格、列表等。對於較大規模的公司來說，公司的網站、App、桌面應用、Web 端應用等的設計風格會是一樣的，同樣的元件會在不同平臺中使用，這個時候企業團隊之間可以共享一套元件庫，複製轉移到各端平臺上，減少重複開發的成本。

(3) GraphQL v.s. RESTful API。過去採用 REST 架構的 API 呼叫方式，後端程式負責資料層的處理，而前端程式只負責拿到資料後的呈現處理。當前端程式有資料需求時，只能概略向資料源 API 提出請求，而由後端程式決定，下達 SQL 指令到資料庫取出資料，再拋給前端。然而，REST API 每次只能呼叫單一資料源，同一網頁若有多種資料源的需求，例如用戶帳號資料、交易資料、推薦產品清單，就得向三個資料源提出三次 API 呼叫請求，這會增加拋給前端的資料量和連線複雜度。為此，GraphQL 的作法則和 REST 不同，GraphQL 可以讓前端程式以物件結構來描述所需要的資料，甚至可以使用巢狀結構來描述資料物件的欄位，能更精準也更明確地描述所需要的資料，再向後端 API 提出資料查詢請求；而後端 API 則透過 Web 伺服器上的 GraphQL 模組或伺服器，向不同的資料源所在的資料庫取得資料(王宏仁，2019)。整體而言，使用 GraphQL 最直接的好處就是可以減少同一個網頁向後端呼叫的次數，能加快網頁的速度，提供更好的操作體驗。

後端趨勢包含雲端原生 (Cloud Native)、微服務架構 (Microservices Architecture)、以及無伺服器架構 (Serverless Architecture)。(1) 雲端原生意指是在軟體開發初始，就使用以雲端為基礎的設施，並結合開發原則 (DevOps) + 開發方法 (微服務架構 + 容器化技術)，達成快速建置、測試、部署、維運的目的。它可以讓整個開發到後續維運的流程更加快速、有效率且容易更新調整，目前實作雲端原生技術的公司如 Netflix, Uber, WeChat 等。(2) 微服務架構。早期單體式架構舉例來說假設使用任意一個後端框架建立 RESTful API service，其中可能會有登入、發文、購物車等不同商業邏輯 (或稱服務)，而這些不同的商業邏輯會被包含在同一個應用中，並且通常會對同一個資料來

源（例如：資料庫）做存取及寫入，部署也需一同部署。這樣的架構會無法達到高可擴展性及高效率的開發。微服務架構將原本複雜的應用，依照商業邏輯切分成一個個服務，每個服務也會有各自的資料庫與伺服器。這樣的好處是不同的服務可以獨立擴展與部署，而不會被其他服務制約，每個服務也可以使用不同的技術去建構（莫力全，2021）。但在這個架構下也有較複雜的問題，也就是會需要處理不同服務之間的溝通。

（3）無伺服器架構。伺服器之於企業，就像成品倉庫之於物流業。行之有年的伺服器架構，近年來逐漸演進成無伺服器架構。原因在於企業常常付出高額的雲端費用，卻無法完全運用所購買的容量，便出現了閒置的伺服器空間。為了解決伺服器閒置的問題，無伺服器運算服務便誕生了。當企業需要開發新項目時，只需購買相對應的雲端服務，就可以建立開發團隊所需要的後端環境。因此由服務提供商負責維護雲服務的穩定性，而開發人員可以專注在編寫程式碼，省下維運的時間並加速開發。常見的服務商有 AWS Lambda、Azure Functions。

3.3.6 自然語言與語音處理

在自然語言與語音處理的發展中，Transformer 為一僅基於注意力機制建構的 seq2seq 模型，藉由多頭自注意力機制（Multi-Head Self-Attention）取代 RNN 的角色，不但克服 RNN 無法平行運算的限制，並且解決長期依賴問題，因此在性能與效率上皆有顯著提升，該模型也迅速在 NLP 領域中崛起。另一方面，Fast.AI 提出 Ulmfit (Universal Language Model Fine-Tuning)，應用遷移學習先透過龐大文本資料預訓練通用語言模型，再依據目標數據微調模型，其優勢在於同一預訓練模型可運用在多種 NLP 任務中，並且在小數據的任務上表現突出。在後續的研究中 Transformer 配合預訓練機制機取得多次突破，儼然成為 NLP 模型的基本配備。第一位集大成者為 Google 所提出的 BERT (Bidirectional Encoder Representation from Transformers)，同時運用 Transformer 與遷移學習一舉在 11 項 NLP 任務中成為當前表現最佳的模型。後來 Google 將 BERT 應用於自家的搜尋引擎中，協助使用者獲得更佳的搜尋體驗。而 Open AI 先後提出三個世代的 GPT (Generative Pre-Trained Transformer) 模型，其中 GPT-3 參數量達到驚人的 1750 億，其最受到矚目的為優異的文本生成能力，能夠撰寫新聞、模仿寫作風格以及編寫程式等等，而在釋出商用 API 後各式各樣相關應用應運而生，使得 NLP 技術逐漸改變人們的生活。

如今已有眾多數量級超越 GPT-3 的大規模預訓練模型相繼提出，雖然模型的強大能力令人印象深刻，但背後卻隱含許多無法忽視的風險，例如濫用模型散佈大量錯誤資訊、模型自動生成帶有歧視或具攻擊性的字眼等。Google DeepMind 研究中整理語言模型伴隨的六大潛在危害，並隨後提出方法自動化測試查找語言模型的不良行為並對其進行修復 (Weidinger et al., 2021; Perez et al., 2022)。但總體而言目前相關的研究仍不足，如何訓練出符合負責任 AI (Responsible AI) 標準的語言模型是未來必須面臨的挑戰。

2019 年自監督學習 (Self-Supervised Learning) 方法開始崛起，從資料本身學習內隱的特性後，可建立預訓練模型 (Pre-Trained Model)，遷移到目標領域下游任務，除了在文字影像應用上取得重大成果之外，目前在語音模型訓練上也是熱門議題如 FAIR Wav2vec、Google Audio2Vec 等 (Liu et al., 2022)。隨著自監督學習的蓬勃發展，近年來已經成為影像跟自然語言的重要研究方向，因次未來可持續關注將自監督學習應用於語音辨識的研究以及其發展。

近日 BLOOM (Bigscience Large Open-Science Open-Access Multilingual Language Model) 的提出，其能夠根據大量文本數據生成文本的自迴歸大型語言模型之一。該模型目前包含 46 種語言和 13 種程式語言，以生成文章。進一步地，該模型還可以延伸

到執行已明確訓練過的 NLP 或文本任務，只需將過程轉換為文本生成工作即可。它是第一個使用 1760 億個參數進行訓練的多語言大型語言模型。由於它嵌入在 Hugging Face 平台中，其實現與 Hugging Face 的其他轉換器相同。作為探索人工智慧的工具，BLOOM 開放用於一系列研究用途，例如從歷史文本中提取資訊和在生物學中進行分類。BLOOM 模型可用於一些需要生成文本的應用實例，例如編寫短文、摘要、從文章中提取資訊、或利用一系列文本編寫新句子 (Gibney, 2022)。此外，對於許多數據科學開發人員和研究人員來說，這也是一個很好的起始點，可以從那裡開始學習相關軟體，如 PyTorch、Apex、DeepSpeed 等，朝著更深的方向發展。

3.3.7 物件偵測與行動運算

物件偵測領域的未來發展可能包含底下幾個方向。(1) 輕量級的物件偵測方法：包含許多物件偵測的方法，例如 Fast R-CNN (Ren et al., 2017)，EfficientDet (Tan et al., 2020)，Yolo (Turay & Vladimirova, 2022) 都依賴於骨幹網路所粹取出來的特徵。但這些骨幹網路可能會消耗大量的計算資源，使得這些方法無法順暢地在 IoT 或是行動裝置上執行，因此輕量化的模型將是未來的一大挑戰 (Liu et al., 2020)。(2) 小物件的偵測：在大的場景中針對微小物件偵測對於現有的物件偵測演算法也是一大考量。例如在工廠中就有許多小的零件需要引入深度學習的機制來偵測，再加上工廠中有 real-time 的考量，更加深了方法設計上的挑戰，其研究進展可參考 (Liu et al., 2021)。(3) 自動化搜尋最佳的網路架構：在 EfficientNet 的說明中我們談到了 Google Research 如何使用系統化的方式找尋最佳的網路架構。事實上，搜尋最佳的網路架構需要大量的時間，若能使用自動化的方式，將有助於線上環境快速的反應 (Ghiasi et al., 2019)。(4) 在多樣的資料來源中做物件偵測。現實生活中存在多樣的影像資料，例如：RGB 片，包含深度資訊的 RGB-D 圖片，影片，LIDAR，3D 點雲資料 (Déziel et al., 2021)。如何讓模型可以適應這些資料，或設計新的方法來完成不同資料格式上的物件偵測，也是未來的一大挑戰。

行動運算需要考慮到大量且密集的行動資訊，且必須具備即時性的計算能力，開發相關即時演算法及處理大量時間序列資料為重要的研究方向。此外，行動計算在工業工程領域主要所專注的是在對其應用領域的創新、結合與強化，並達到相關系統的效能改善。製造產業的應用上，可在產線佈置許多感測器，藉以監測生產過程，並提高自動化良率。若能透過感測器彼此互相的資訊傳輸溝通及交互運算，可即時反映製程缺陷，並提高產線效益；在交通網路的管理、分析及導航服務上，透過交通網路上的感測器 (例：視訊監控設備、eTag 服務)，與智慧手機的行動資訊搭配，分析呈現即時的交通流量資訊，像是目前的 Google Map 導航；電力能源網路的監控，包含在電力網路的後端利用感測器監控電力供給的穩定性，在搭配使用者前端的智慧電表等感測設備，透過網路溝通等方式，在電力供需端提供即時的配對，將可改善目前電力系統的傳輸效益；此外，在天然災害的警示及救援系統開發，利用相關預警系統設備，搭配行動載具的溝通傳輸及即時運算，將可以大量且快速地推播給所有災害發生地點的民眾；同時若能運用各種載具間的溝通協定，設計服務模式，將有助於事後救援系統的補強及輔助；搭配行動載具所具備的個人化資訊，以及行動載具和消費場域之間的溝通及媒合，將能更準確地預測消費行為，並提供客製化的服務需求；最後在定位及地域感知服務方面，地域感知 (Location-Awareness) 資訊通常透過行動載具的 GPS 定位訊號 (室外) 或 3G/Wifi 技術 (室內)，判斷使用者所在區域及所需服務，藉此提供適當的資訊；而相關的應用服務像是展場/賣場導覽、行動裝置之間的相互溝通、地理資訊的儲存紀錄分析等，都是具有發展性的研究方向。

3.3.8 數位金融發展與應用

金融產業隨著雲端、大數據分析、行動支付、資訊加密認證等新的資通訊技術的導入而因應產生新的金融服務，例如數位貨幣、認知計算、金融大數據資料分析、數據優化及組合、行動支付、虛擬銀行、區塊鏈等。例如，以服務為導向的雲端架構與計算，提供銀行、基金、保險等金融業者，從數據運算、存儲等功能，整合提供金融業的雲端服務 (Cloud Service)；此外，金融服務透過關聯規則、群聚分析、時間序列、機器學習、分群方法等資料分析從中找到有趣的樣型或規則，協助各項金融決策制定，如風險管理、信用評估、優化服務、客戶關係管理等。再者，區塊鏈 (Blockchain) 加密技術提供了交易紀錄追蹤的基礎，促使新的金融服務得以藉由公私鑰簽章加解密方法，讓數位資產可以在不同持有人之間移轉並記入帳冊。最後是行動支付的應用以及針對行動支付開發相繼的創新增值應用設計，應用的研究議題從顧客傾向、商品定價、行動裝置安全、App 應用軟體安全皆為行動支付資訊系統重要的研究議題。

數位金融技術將帶來不可避免的組織、經濟和社會進步，其從根本上改變金融市場的運行方式，例如高頻交易作為金融科技的一種應用是如何改變交易本身的。同時，區塊鏈和人工智慧兩項技術，大大地推動金融科技革命 (Hendershott et al., 2021)。近年來，大量數據被收集和非同質化代幣 (Non-Fungible Token)，或稱之貨幣化，已經證實了數據是資產、是一種新貨幣。大量數據、快速復雜且精確的演算法、雲計算等高速高效率的技術已成為近年來推動創新的關鍵因素之一。新一代消費者對平庸的服務品質和不透明的財務關係不太能接受，而大型科技公司正在探索提供服務的機會 (Allen et al., 2021)。依靠諸如各種隱藏費用 (如信用卡費用) 等細則的公司將無法在新形勢生存下來，但同時我們也體認到，這些改善我們生活的先進技術也帶來了一系列新的風險，例如消費者隱私風險和網絡安全風險。舉例來說，雲計算在效率、彈性和靈活性方面使許多典型的金融機構受益與轉型，但同時可能帶來一些新的網絡風險 (Cyber Risks)。

第四章 生產系統與智慧製造子學門

生產系統與智慧製造子學門的研究目的；是探討並實踐以最有效率的方式，進行設計、製造並配送顧客所要求的產品或服務。而任何關於生產、品質、配送與服務的各種設計、規劃、管理問題皆是本子學門研究的對象。本章將針對生產系統與智慧製造研究領域的學門發展背景、近年研究方向與重點，以及未來發展方向與趨勢，分三小節加以說明。

4.1 生產系統與智慧製造子學門簡介

生產系統與智慧製造子學門的相關研究；是在 20 世紀初為了提升工廠的生產效率而開始，隨著產業型態與資訊科技的演進，生產系統與智慧製造子學門研究亦不斷的進步發展，並持續增加議題。早期因應大量生產之需要而發展出工作研究、生產管理及存貨管理等技術，在上世紀中末期隨著電腦科技帶動計量模式與系統自動化等相關研究，使得生產系統靈活彈性化與廣泛的品質工程有大幅的躍進。接續隨著生產全球化也促進了供應鏈運籌管理的研究，而生產敏捷性與生產消費的整合成為晚近研究的重點。

近年來隨著資通訊科技的進步，大數據分析技術的運用及物聯網時代的來臨，主要工業國家也提出發展之策略。從德國提出工業 4.0，美國的 AMP 計畫推動再工業化，日本提出工業 4.1J 發展機器人未來工廠，韓國推動製造創新 3.0 發展智慧型工廠，中國大陸推動中國製造 2025，台灣推動生產力 4.0（行政院，2015），到最新的五加二創新產業策略（行政院，2016），顯見主要製造大國皆進入先進智能製造的競爭舞台。由於新冠肺炎疫情、中美貿易、科技戰與極端氣候等問題的發生，使得過去兩年改變了全球的生活與產業面貌，且這些改變也成為各國政府亟欲克服的挑戰。台灣於 2022 年 3 月提出「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，提供至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，以促進關鍵領域之技術、研究與創新，並引導產業綠色轉型，帶動新一波經濟成長。

基於以上國家發展方向，生產系統與智慧製造子學門目前規劃的研究重點包含以下七大方向：

1. 製造策略與運籌管理（Manufacturing Strategy and Operations Management）
2. 供應鏈管理（Supply Chain Management）
3. 生產系統分析、設計、規劃與管理（Analysis, Design, Planning and Management of Production Systems）
4. 智慧工廠與生產系統自動化（Intelligent Factory and Production System Automation）
5. 精實管理（Lean Management）
6. 全面品質管理與可靠度（Total Quality Management and Reliability）
7. 循環經濟與永續（Circular Economics and Sustainability）

為了解析新時代生產管理的議題與挑戰，並有效連結學術與產業界。生產系統與智慧製造子學門於 2022 年 3 月 18 日舉辦「智慧營運與轉型工作坊」，會中探討了智慧化企業營運模式，揭開製造與服務業逆風成長的關鍵，以及如何擺脫景氣循環與疫情的影響。除此以外，本會議也探討了臺灣中小企業在數位轉型的困境與可能解決的方案，以及學術能量如何接軌智慧營運實務的幾項芻議。

4.2 生產系統與智慧製造子學門研究專長與重點方向

4.2.1 製造策略

如今疫情持續延燒，全球供應鏈受到擾亂，使製造業供應鏈產生巨大影響，導致零組件短缺與成本上漲，這時企業的供應鏈管理更顯重要（陳怡如、林玉圓，2022）。分散製造、厚植在地供應鏈，已成為各國產業發展的共識（遠見雜誌整合傳播部企劃製作，2021）。未來的生產基地必須在靠近市場的地方生產，建立「短鏈供應策略」，以確保供應鏈安全、降低生產危機，並保持企業彈性與韌性（劉彥伯、張字信，2022）。

除了創造彈性供應鏈，劉彥伯、張字信（2022）指出：減輕供應鏈壓力的最佳方法就是監控最上游供應商，以預測可能發生的嚴重變化。要做到這一點，我們可利用「AI」根據目前狀況進行分析並提供供需數據，追蹤與直接/間接供應商無數的交易，確保企業能夠處理供應鏈中的任何不足。陳侑成（2022）認為：IoT 與 AI 的結合能極大化產能與最佳化效益，結合發展成為「人工智慧聯網」（AIoT），是未來科技的主流趨勢。再加上台灣擁有強大的資通訊與韌體整合經驗，可以把握以下幾個切入市場的方向：

1. 「AIoT 結合邊緣裝置」：隨著設備連接數、資料量提升，複雜的製造生產或模擬及複雜演算法需要高效的晶片模組。因此雲端技術從中央處理演變為數個裝置端協同運算與儲存，可大幅提升資料處理速度與企業運作的機敏性。
2. 「從周邊設備切入產品整合」：我們應避免與國際大廠硬碰硬，像是在資料處理及雲端技術一流的 Google、微軟，或是提供智慧製造核心軟硬體架構為主的 GE、PTC、ANSYS；而是應朝整合商為目標，從物聯網終端設備感測、OT 控制、衍生管理軟體切入，建置符合企業需求的智慧製造方案。
3. 「規劃完善的現金流及投資方案」：企業投入智慧製造產線在初期費用成本頗高，短期內可能造成企業營運成本上揚，但以長期來看，將有助於耗材的浪費、停機風險、品質提升、提升稼動率以及因應人力不足的問題。
4. 「智慧製造導入評估」，台廠要將智慧製造的導入視為一個過程而非目的，中小企業不可能一次性完整導入全部的智慧科技，建議針對產線人力需求大、製程複雜、產線關鍵步驟逐步導入自動化與智慧化設備（陳侑成，2022）。

不僅如此，Wahyudi et al.（2022）指出：製造策略是依著顧客的喜好而逐漸發展。顧客的喜好不僅與公司產品相關，更重要的是與其相應的服務相關。這蘊含著，創新管理十分重要。如何在創新的過程中與「服務」銜接，將是一個研究方向。另一個可行的研究方向是：去找到那些可以影響「服務」的因素，好讓企業可以更適應或更容易地進行，順利地從產品過渡到產品與服務（Wahyudi et al., 2022）。

Abdullah et al.（2022）提到：面對強勁的競爭對手，一個企業在製造策略上的競爭力，如：成本、質量、物流、表現力、靈活度、創新性等是至關重要的。而藉由工業 4.0 來提高競爭力，優化製造策略已經越來越普遍。然而，工業 4.0 的技術，具體對於製造策略有什麼影響仍不清楚。Abdullah et al.（2022）的研究結果顯示：成本因素與大數據、建模、模擬有顯著的關聯；質量與自動化、機器人技術有顯著的關聯；物流與物聯網、大數據、自動化、機器人有顯著的關聯；靈活性與增材製造（Additive Manufacturing）及虛實整合系統（Cyber-Physical Systems）有顯著的關聯。而擴增實境、網路安全、區塊鏈技術對於製造策略的影響較小。Abdullah et al.（2022）同時也建議未來的研究可集中開發各種情境、應對困難的景況發展。

4.2.2 供應鏈管理

供應鏈管理即為有效整合通路上下游的成員，使得商品能夠在正確的時間、正確的地點，以正確的數量、價格與品質執行生產、配送或銷售。並滿足客戶服務水準與成本最小化（或利潤最大化）。在供應鏈管理的領域，大致包含產業電子化（Industrial e-

Business)、需求鏈設計(Demand Chain Design)、供應鏈設計與規劃(Supply Chain Design and Planning)、供應商評估與管理(Suppliers Management)、供應鏈風險管理(Supply Chain Risk Management)、外包管理(Outsourcing Management)、物流與倉儲系統規劃(logistics and Warehouse System Planning)、確定性存貨模式(Deterministic Inventory Models)、不確定性存貨模式(Stochastic Inventory Models)、顧客關係管理(Customer Relationship Management)、供應網路設計(Supply Network Design)、策略聯盟(Strategic Alliances)、供應契約設計(Supply Contract Design)、配銷策略(Distribution Strategy)、供應鏈模式(Supply Chain Models)、全球運籌(Global Logistics)等主題。

供應鏈管理涉及的功能與領域廣泛，包括作業(Operations)、行銷(Marketing)、財務(Finance)以及資訊(Information)等功能。在供應鏈管理問題中，不同功能之間的介面管理越來越受到學術與企業界的關注。供應鏈跨功能之介面整合與管理，不同於傳統上只能從單一功能去探討供應鏈管理的問題。而是從至少兩個以上功能交疊介面的角度，去探討供應鏈跨功能的介面整合與管理問題。近年來，新興科技如人工智慧、大數據分析、雲端運算、區塊鏈等技術已使得跨越組織或公司間的物流、資訊流與金流更有效率及透明化。這些新興科技改變了各功能的運作型態以及功能間的連結，例如在製造業透過人工智慧進行作業面上的瑕疵檢測、設備參數調控、預測維修執行等；在服務業應用大數據分析於行銷面上的顧客分群、銷售預測、精準行銷等；以及財務面上的信用、流動或市場風險管理等。此外，透過新興科技可有效減輕財務上的負擔與限制，進而改善作業與行銷面上的績效，並促進新商業模式的開發與增長。而未來的研究重點尚包括價值鏈中新興科技對於物流與金流協調所扮演的角色、製造或服務業中基於新興科技之創新融資模型(如群眾募資、P2P 網路借貸、首次代幣發行等)、導入新興科技對新商業模式所帶來的供應鏈管理挑戰、應用新興科技於創新性產品或服務的作業、行銷與財務管理等。

目前區塊鏈最大的應用為數位貨幣，但區塊鏈應用的潛力遠遠不只如此。就供應鏈管理面上，區塊鏈可透過密碼學(Cryptography)、共識機制(Consensus Mechanism)、點對點(Peer-to-Peer, P2P)網路和智慧合約(Smart Contract)來加密、驗證、追蹤及分享帳本上的交易資料。而這種分散式系統在沒有單一實體控制的商業環境中，可以解決供應鏈成員間利益不一致時的責任歸屬與資訊揭露之問題，且成員資料都可即時更新，亦無須與各方內部交易紀錄進行複雜且容易出錯的核對過程。因此可促進供應鏈中關於商品加工、儲存、配送、需求等資訊分享的透明度、效率及信任度，並進而強化供應鏈運作效率(Efficiency)與韌性(Resilience)(Cole et al., 2019)。基於區塊鏈具備分散式分類帳(Distributed Ledger)、智慧合約使用、P2P 網路與資料不可竄改(Immutability of Data)等特性，未來研究可朝下述方向進行：

1. 強化供應鏈中商品透明度及可追溯性。例如，在全球遭受疫情肆虐下，於製造商、批發商、醫院和患者之間採用不可竄改的醫療用品資料分類帳本，有助於確保醫療用品之安全性。
2. 簡化檢核程序。例如，區塊鏈可數位化資料，且資料可記載對應的時間戳記，有助於加速商品進出口海關檢核。
3. 改善庫存管理。例如，利用智慧合約改善超量預定等庫存管理問題。
4. 降低供應鏈複雜度。例如，區塊鏈之去中心化能力，可使供應鏈中的某些中介成員(對商品進行認證的非營利組織)將不再需要。
5. 區塊鏈與物聯網之整合有助於智慧製造之實踐與可信度，然資料傳遞所需頻寬為主要挑戰，故可朝結合 5G 技術，強化資料傳遞之效率來改善。
6. 強化資料品質之管理，進而提升資料分析之可應用性。經由區塊鏈數位化資料，增加資料透明度，可藉此探討如何減少貨運單丢失、詐欺及竄改等可能，以及減少運

輸業文書工作的成本。

7. 全球食品供應鏈系統也可透過區塊鏈技術開發出安全可靠的系統 (Pandey et al., 2022)。
8. 區塊鏈有許多潛在應用，但該項技術仍未成熟，某些技術挑戰尚未解決，因此組織在導入區塊鏈技術的當下也需要審慎評估，是否具有實施區塊鏈的合適策略以及配套措施，這將是影響成功與否的一大關鍵。此外，區塊鏈是否得以發揮，將取決於組織如何使用該技術並將其與其他技術結合，或利用區塊鏈生成的資料來做出更有效之決策。

在新型冠狀病毒 (COVID-19) 肆虐下，不僅使各國民眾及政府震盪不安，也使全球供應鏈受到嚴重衝擊。在疫情當下，各國政府也立即做出相對應政策，例如：全面性封國、企業及廠商停工、交通限制規範等，這些現象導致全球經濟波動於不確定性環境之下。其中對全球供應鏈帶來影響甚大，從上游原料供應商及產品製造商、中游批發商以及零售商到下游消費者，彼此之間不確定之供應與需求之下，打亂了供應鏈原有日常秩序。除政府政策導致商品、原物料運輸中斷而使供需充滿不穩定性之外，也造成製造商與零售商開始恐慌性訂購以及消費者恐慌性搶購之行為發生，這將會使供應鏈危機變得更加嚴重。除了必須提出策略解決供應鏈的問題外，在疫情後的新常態下，供應鏈如何革新策略、協調供應鏈的合作等，將可避免未來面對自然災害或黑天鵝事件時，無法迅速做出較佳的反應。這也是各企業於管理上必須重視的議題。而供應鏈在 COVID-19 疫情流行下的潛在挑戰包括：

1. 需求的不確定性：COVID-19 流行導致消費者購買行為的轉變，從而造成需求中斷 (Hippold, 2020)。COVID-19 的爆發引發了許多商品的歷史最低需求，從而對製造業及上游供應商產生了重大影響。由於未來市場的不確定性和收入的減少，許多人正將他們的消費模式轉變為基礎消費。而減少了奢侈性的消費，將導致對昂貴商品的消費減少。這種不確定性和需求中斷將成為影響供應鏈的主要挑戰。
2. 供應鏈不連貫性：由於 COVID-19 大流行對供應廠商造成了產能限制、價格和數量上的波動，進而構成了供應鏈斷線的主要因素 (Razdan & Kumar, 2020)。Business Standard (2020) 的研究中指出，穀物和豆類等必需品在市場上變得稀缺。自從 COVID-19 大流行爆發以來，多數城市的糧食採購量翻了一倍，這是因為從批發商到零售商，供應鏈上的每個參與者都在囤積貨物，進而造成人為的稀缺狀態。這種做法會導致供應受限而引發價格波動，並導致供應鏈的不連貫及順暢運行的障礙。
3. 材料的稀缺性：隨著 COVID-19 的大流行及許多國家遭到封鎖，使得全球市場變得極不穩定。由於恐慌性購買、各城市封鎖期間及供應端相關業務的不確定性提升，也讓消費者對必需品的需求激增。因此被視為關鍵材料和服務的產業將承受巨大風險 (Razdan & Kumar, 2020)。另一方面，讓原材料的供應保持穩定，這對製造企業來說也是一個巨大的問題。根據 Chen et al. (2020) 的研究，在封鎖期間進口完全停止，並且在數週內幾乎沒有復甦，即使在解除某些封鎖限制之後也是如此。例如製藥、汽車、電子和化工產品等各個行業都面臨著零件的短缺。
4. 交貨延遲：COVID-19 大流行導致貨物和材料的運輸受到限制，特別是受到限制或遏止類別的區域。這也導致了更長的交貨時間，從而影響了關鍵原材料和半成品的交貨時間 (Hippold, 2020)。
5. 採用次優的替代品：為防止 COVID-19 疫情擴大所產生的封鎖限制，進而擾亂了供應商及其業務的連續性。在封鎖期間企業必須考慮供應商或產品之替代方案，以降低採購風險 (Kilpatrick & Barter, 2020; Razdan & Kumar, 2020)。根據 The Hindu Business Line (2020) 的研究提到為了減少庫存，印度的大多數企業已經採取準時交貨的配送策略。然而印度許多行業，如製藥、汽車、化工和紡織等，高達

70%以上的原材料是從中國進口，這也使得印度企業受到嚴重影響。因此在後疫情時代，大多數公司需轉向國內供應商進貨作為替代方案。而採用較差的替代品將導致產品品質不佳，並可能對供應鏈產生長期不利影響。

6. 勞動力的稀缺性：根據 International Labor Organization (2020) 發布 COVID-19 大流行報告，約有 20 億工人（約佔世界人口的 25%）受僱於無組織部門，其中大多數工人屬於新興經濟體，就印度而言，因封鎖和遏止措施而受影響的工人數量達到 4 億（超過 90% 的工作人口）。在印度等高度依賴非正規經濟的新興經濟體中，工人是任何製造業和服務業的支柱。而隨著大量農民工流離失所，勞動力稀缺是一個關鍵問題，也是對供應鏈正常運作的關鍵挑戰 (Carnevale & Hatak, 2020)。
7. 局部最佳化製造：由於疫情導致某些產品的需求空前激增，且對其他產品易產生需求排擠之狀況。這將直接影響製造業如何有效管理其產品組合、產能規劃、排程等，而通路成員間如何共享設備、基礎設施、原物料和勞動力資源規劃，亦是供應鏈的重大挑戰 (Razdan & Kumar, 2020; Richter, 2020)。
8. 庫存容量限制：隨著疫情的到來，全國消費者的樂觀情緒有所下降，預計消費者將在相當長的一段時間內繼續減少支出。這情形將導致倉庫和配送設施中的庫存過多，從而在倉庫和當地配送中心造成存儲和容量限制上的問題。同時長期的過量庫存也將導致潛在的損害，如產品易腐性問題和營運資金週轉不靈，導致整個供應鏈中的組織出現流動性問題 (Hippold, 2020; McKinsey, 2020)。
9. 最後一英里運送 (Last Mile Delivery)：在 COVID-19 爆發之後，受影響的城市與全球其他地區皆有不同的防疫規定，進而影響了位於跨國倉庫的產品交付。即使產品確實到達了交付地點，運輸商也可能因必須通過隔離區，被迫必須選擇替代性路線，進而導致交付延遲。而不同地方機構所頒發的防疫通行證也有不同的規定，其一致性和有效性的要求也是需要考慮的重點。上述所有因素都增加了最後一英里交付的困難度。

基於 COVID-19 疫情對供應鏈帶來最大的挑戰是供應不連貫性，即供需不一致。因此應分別從供應方、物流儲存方以及需求方等各面向，去分析、整合及提出策略，尋求如何掌握管理市場變化所帶來的威脅、抓住潛在機會以及重新配置資源和能力，以使供應鏈更有彈性來應對未來的逆境，同時也可以在動態商業環境中獲得持續競爭的優勢。Suryawanshi et al. (2022) 指出：近年來，供應鏈的研究朝供應鏈韌性 (Supply Chain Resilience) 發展。供應鏈韌性是指供應鏈為應對突發事件做準備的適應能力。雖然供應鏈韌性現在的發展還在起步階段，但 Suryawanshi et al. (2022) 曾討論了 3672 篇文獻，為供應鏈韌性相關主題提供了前瞻性的研究方向及微觀分析。例如在供應鏈網絡設計的設定下，對供應鏈實體，如供應商、生產過程、倉庫等進行評估；利用強健最佳化 (Robust Optimization) 方式來模擬不確定性，提升供應鏈韌性；易腐產品的供應鏈網路設計；在不確定的情況下為供應鏈網絡設計和設備選址規劃模型等。

4.2.3 生產系統分析、設計、規劃與管理

台灣在生產系統方面，已經從「對未來智慧化實踐的過度期待」逐漸朝向「省思智慧科技的痛點」。這樣的進展，劉仁傑 (2020) 提到這反映在以下三個趨勢：(1) 智慧科技應用的基礎建設，不僅是虛擬系統的通信標準，更是著重實體系統的作業標準。譬如：智慧排程軟體雖然有助於對應市場需求，但現場疲於因應插單與催料的結果，可能長期荒廢實體系統標準的建立與優化。(2) 自動化可立即節約人力，但可能掩蓋改善機會。舉例來說：一家汽車零組件廠原規劃將瓶頸製程「上油防鏽」自動化，但經過兩年的沖床換模改善，以及後製程機械加工與組裝作業的流程改善，刪除了這項作業。換句話說，沖壓依照後製程需求作業，讓金屬件沒時間生鏽，凸顯了原有防鏽作業的浪費。

(3) AI 從治標到治本，挑戰才剛剛開始。例如：從品質管理的演進觀點，品質檢驗是最初期的階段，本身不具價值。透過檢測數據，回饋到製程改善，甚至設計改善的源流階段，才符合結合品質工程創造顧客價值的精實系統思維。

除此之外，台灣與鄰近全球製造重鎮日本相同，都面臨少子化、高齡化問題，造成勞動人力愈趨困窘，因而導致許多產業生態有所轉變，連帶讓產業必須面臨升級之沉重壓力。企業如何站在既有的基礎之上，盤點自身擁有的資源和長短處，建立專屬自己的數位轉型策略和智慧製造技術藍圖，進而保留資深主管和老師傅的經驗與管理能力，發展具彈性的決策支援系統，才能在重構中的全球產業鏈中卡位，實現大數據分析和系統整合的目標，進而解決人才斷層、企業接班問題（簡禎富，2019）。

- (1) 另一方面，台灣許多產業為加強國際競爭力漸漸發展成極富彈性的生產聚落體系，並走向製造兼具服務的模式。不過要打造工業4.0的綜合系統，須先用理想樣貌描繪出生產系統的宏觀設計。宏觀設計應該盡可能完整地描繪出理想樣貌，將整體狀況「可視化」。就方法而言，各產線要制定出未來5至10年的展望，同時明確創新理念。為了實現該創新理念，在每個實行階段要逐漸突破各種課題，以全體最佳化為目標。如果只做部分改善，恐怕會先從能做的開始，使得對策缺乏系統，難以達到整體最佳化。反過來說，概念不明確的創新舉措很難引發突破（日本能率協會顧問公司生產工程創新中心，2022）。總體來說，許多一流的生產現場都已經體會到，不必急於連結行銷 AI 或導入智慧排程軟體。透過製程穩定的標準作業改善、並讓製程連結縮短LT（Lead Time），才是智慧製造的治本之道。Alzoubi et al.（2022）等人的研究結果表明：供應鏈整合與縮短交貨時間兩者之間的關聯是正相關，並建議透過靈活性和信息共享來提升公司的能力，並實現供應鏈整合、敏捷實踐。

4.2.4 精實管理

Womack et al.（1990）將其所參與為期五年對日本豐田汽車生產模式的研究，整理撰寫了《The Machine that Changed the World》一書，在書中豐田生產系統（Toyota Production System, TPS）被名為《精實生產》，後來以此名稱在西方國家廣為流傳，精實的核心思維乃以顧客角度為出發點，對企業或組織內所有活動確認價值，並進行永無止境的改善，以消除這些活動裡任何形式的浪費，讓物流與情報流維持快速且順暢的流動，而企業或組織在推動精實改善的過程中，對於企業競爭力的關鍵四指標即是 Quality-品質、Delivery-交貨、Cost-成本、Flexibility-彈性，產生直接影響，並聚焦在下列改善課題：

1. 職場安全的提升與環境的改善：職場安全是最重要的事，所謂 3K 作業（辛苦、髒亂、危險）在現今工廠依然可見，例如重體力勞動作業，依據我國勞工保護措施標準，重體力勞動作業雖然被定義為以人力搬運或揹負重量在 40 公斤以上物體之作業，然而製造現場仍然可觀察到中高齡的勞動者，對於 10—20 公斤的物件，仍徒手搬運或揹負且頻度頗高。許多物件或許不重但其外形特異卻讓人不易徒手拿取或搬運，不輔以合適的工具，即必須以不符合人體工學之方式搬運。另類極辛苦的工作為體積極小，不易拿取且需要仔細核對數量的小物件，高度倚賴人員專注度及手眼協調的能力，作業不易且容易疲勞。更有作業如研磨或金屬熱處理，會造成粉塵或小顆粒物質飛散，鑄造或熱鍛等高溫物件也須特別需要加強工作場域的安全與環境的改善。
2. 品質改善：降低產品不良率（即改善直通率），此類改善課題以 TPS 的兩大支柱中

的自動化為起點，自動化指品質在工程內製造出來，出現異常要立即停止生產，找出真因改善並預防再發。操作上先將品質狀態可視化，分別針對防止不良品的發生與防止不良品流出制定改善對策，在生產不良品方面，須檢視並改善工程、流動、設備、工具等，設計防誤裝置做到不可能生產出不良品，至於不良品的流出，則需改善品檢方法與工具以達到防止流出不良品。

3. 縮短前置時間：以 TPS 的另一個支柱 - 及時化為核心，強調須依據顧客需求讓物無停滯的流動，物如要暢流，與物相關的資訊亦必須暢流，要讓生產達到如此所謂的「應有姿態」首先需決定生產節拍時間，安排平準化生產。設計後工程領取的模式，並且盡量縮小生產與搬運的批量，讓工程流程化，且作業需具備設備彈性或人員多能工的能力，才可能達到前後工程的同期化，進而縮短前置時間。
4. 落實機器設備的全員保全：設備的可動率與穩定是工程穩定的基礎，提高可動率減少損失是主要改善策略。而強調現場機器設備的使用單位需自主保全活動，灌輸自己使用的設備自己維護的觀念，落實設備環境的 5S 並執行日常點檢、定期點檢、小整修與調整、短暫停止的復原、簡易的預防保全、零件事前更換等。另外專業的設備保全單位負責計畫保全，其內容主要有計畫性的實施設備保全，與當設備故障時縮短修理時間的事後保全，使用單位應整合保全單位一起推動個別設備的小改善。另外在決定購買或設計機器設備的初期，亦須將保全的管理工作納入規劃。
5. 新產品開發改善：新產品開發的流程必須考慮能以最快的速度、最穩定的品質、與最低的成本完成量產的準備流程，設計單位與生產製造單位必須無隔閡，且資訊需透明快速分享，並執行巧遲拙速的快速試作驗證。此外在開發的階段也需將未來量產可能出現的問題逐一解決。

基於過去推動精實管理的企業大多採用由上而下強制性的改善推動模式，因此大多聚焦於上述之課題，進而消除浪費降低庫存，遞減成本提高公司的獲利。然而不難發現，一般公司推行精實管理普遍的反應是：某些精實觀念不易被推行甚至不易被理解，即使某些單位推動精實改善有局部成效，但仍不容易維持更不容易擴展發散到全公司。堀切俊雄（2020）將傳統 TPS 加入「人與職場的活性化」的課題，進而提出「全方位 TPS」，將過去由上而下強制的改善推動模式進化成 - 員工自己發現問題自己想辦法動手改善，並設計推行自發性的改善活動，讓從業人員感受到自己的價值，並對工作充滿幹勁進而產生改善意願。而動腦思考並轉化為行動，這類活動可透過 5S 競賽、品管圈活動、からくり (Karakuri) 改善等，搭配適當的獎勵制度讓參與改善的員工對其改善成果產生成就感，再搭配活潑的目視管理工具創造出有活力的職場，引導團體提升士氣，如此該企業或組織將有機會能夠成為如同豐田公司一般的學習型精實企業。

4.2.5 智慧生產

製造業為我國經濟的關鍵核心，製造業競爭力深入影響整體經濟及國民生計。近年來，各項新興科技已大幅改變製造的模式及方法，智慧生產也已成爲未來趨勢 (Zhong et al., 2017)。為因應全球化和新興科技造成的產品生命週期縮短及全球化競爭，我國製造產業已大量建立智慧生產系統，藉以追求製造品質、生產力、及製造靈活度的提升，而智慧生產系統也促成大量客製化以滿足多元需求 (Qin et al., 2021)，並增進整體製造效能及客戶服務品質。

前述智慧生產系統運用的關鍵科技要素包含物聯網製造及雲端計算：

1. 物聯網製造 (IoT-Enabled Manufacturing)：物聯網製造利用智慧製造設備 (Smart Manufacturing Object) 感應環境並交換資訊，智慧設備亦能自主進行製造決策 (Parhi et al., 2021)。物聯網製造促進各種製造元素 (例如：機台、工人、材料或

工作)的即時資訊收集與資源共享 (Bi et al., 2014)。應用案例已廣泛分佈於半導體製造、模具製造、汽車零件製造、和航空維護營運等。

2. 雲端製造 (Cloud Manufacturing): 雲端製造運用網路運算、虛擬化技術、物聯網和服務導向技術,將生產要素轉換為可共享流通的共用資源 (Nguyen et al., 2021)。藉由整合的數位化管理控制技術,達成無縫 (Seamless) 資源共享及風險控管,並藉由資源面的協調,提高製造與供應鏈綜效。
3. 智慧生產 (Intelligent Manufacturing): 結合物聯網製造、雲端製造等新興科技,智慧生產運用知識與技術增進生產效率 (Kusiak, 2019),並透過創新架構、模型、與方法論,提升品質與敏捷性。智慧製造系統的近期實例包含虛實整合工廠,為政府、製造商和學術界提供智慧生產的驗證及測試場域,並累積創新能量。

整體而言,製造業物聯網環境日漸普及,但智慧生產與雲端製造仍處於早期發展及實證階段,具高度研發潛力。結合物聯網、雲端計算和大數據分析概念,可促成製造決策及製造資源最佳化 (Wang et al., 2021)。相關研究領域的近期發展重心包含物聯網、虛實整合系統、雲端運算、大數據分析及資訊與通訊技術:

1. 物聯網 (The Internet of Things): 物聯網是由各類裝置及設備組成的互聯網路系統,藉嵌入式的感應器及控制器傳輸並交換數據 (Rajnoha et al., 2021)。相關研究包含網路基礎架構、數據分析、及機器學習等領域。並已廣泛應用於智慧生產、智慧城市、及智慧醫療保健等基礎設施中。
2. 虛實整合系統 (Cyber-Physical System): 虛實整合係指實體系統與軟體系統的深度整合,緊密連結的實體與軟體系統 (Pivoto et al., 2021) 可整合運算資源,改善實體系統控制,並促成高度協調的智慧生產 (Jbair et al., 2022)。自工業 4.0 以來,有許多投入數位孿生 (Digital Twin, DT) 的研究藉以實現智慧製造。Son et al. (2022) 指出:我們必須清楚地考慮應該將 DT 的哪一部分應用在智慧製造中,讓它發揮什麼作用。他們的研究結果顯示:DT 主要的功能在於原型設計、試點研究、監控、改進、控制。他們建議,要實現智慧製造,未來的研究設計和製造的 DT 必須整合,DT 才能發揮作用並擴展。
3. 雲端計算 (Cloud Computing): 雲端運算利用共享運算資源,達成更高的靈活度、降低成本並提高效率。雲端計算包含多種傳遞模型,如: Software as a Service (SaaS)、Platform as a Service (PaaS)、Infrastructure as a Service (IaaS) 等,可視化和可擴展的雲端資源可形成具延展性的計算服務 (Qi et al., 2019)。目前,雲端計算的普及仍有侷限,資源分配、隱私與資訊安全等均為重要挑戰及未來研究方向。Web API (Web 應用程式介面) 的運算變革,使得連網裝置將不再受限於所在位置與瀏覽器型式的使用者介面,有更多相對於手機運算能力較低的裝置,可藉著連網的能力取得雲端的服務 (周旺暉, 2012)。González-Mora et al. (2023) 等人提到:資訊技術的廣泛應用,使得 Web 上可用的開放數據不斷增長。然而,目前卻缺乏合適的機制,來理解這些開放數據源,因而阻礙了它的可重用性。未來的研究可朝這個方面努力。
4. 大數據分析 (Big Data Analytics): 數據的產生來自各類感應器、設備、音訊、網路、及應用程式等,大數據分析可萃取大量製造數據中的隱含知識,並利用知識萃取結果促成各類加值應用 (Rai et al., 2021)。
5. 資通訊科技 (Information and Communication Technology): 運用資訊和通訊科技進行數據的儲存、傳輸和操作 (Hashim, 2007),可改善決策品質並提升生產效率 (Bloom et al., 2014),使生產系統得以快速回應市場變化、降低成本、提高客戶服務水準 (Colin et al., 2015)。借助資訊和通訊科技,將可以制定出準確的生產順序、可視化工作流程,並可以主動採取決策來控制進度 (Lota et al., 2022)。

上述智慧生產相關研究著重使用資通訊平台整合新興技術，並建立智慧生產架構與智慧製造系統模型。而藉由以下研究領域的創新突破，未來將可逐步達成系統控制與人機合作智慧化，並落實於各類產業應用場域。

1. 智慧生產架構：智慧生產架構可整合智能產品設計、智慧生產、智慧物流以及智慧供應鏈等元素，降低成本並提升製造敏捷性。平台系統（網路、物聯網、虛擬化）架構設計為其中關鍵，妥適的平台系統可無縫整合製造系統、資通信科技及感測器等各個層面的技術。
2. 智慧製造系統建模：生產系統動態顯著影響品質和效率，數據驅動的製造系統模型必須結合歷史資料與系統即時狀態，進行診斷並預測系統動態變化（Wu et al., 2020）。診斷及預測結果藉由雲端服務與動態最佳化方法，可促成整體決策品質之提升。
3. 智慧系統控制：智慧設備利用嵌入式感測器及聯網控制器，監控並識別生產系統狀態，以進行自主決策並提高系統可靠度及效率（Zhou et al., 2022）。集中式決策架構隨系統規模擴大而面臨運算複雜度挑戰，難以促成大型系統整體最佳化。因此，智慧系統控制將著重於運用智慧設備的分散式自適應決策，提高運算效能，降低控制複雜度。
4. 智慧排程系統：智慧排程系統利用啟發式演算法將排程系統進行最佳化，考量工廠生產線上所有實際生產限制，如等待時間、批貨重要性、可用機台與加工時間等，以最短時間安排數百批貨至數十台機台生產，除了可提升機台利用率，並可同時降低批貨超過等待時間產生報廢的損失。近年來，有學者提出利用深度強化學習方式求解零工式排程問題，其排程效果優於傳統最佳化與派工法則（Lei et al., 2022）。
5. 人機協作：智慧設備可利用語音識別、電腦視覺、機器學習和同步模型等，協同人類決策者，共同完成製造工作（Wang et al., 2021）。人機協作追求決策者和設備的互補，納入決策者監督（human-in-the-Loop）的機器學習方法，將在各類情境中加速實現人機協作。在生產排程上，客製化訂單時常考驗著車間的動態調整能力。而深度強化學習（Deep Reinforcement Learning）有助於車間解決這類問題。在遇到訂單或資源有大變動時，能夠良好地適應、解決動態排程問題（Zhang et al., 2022）。
6. 智慧製造應用：整合連網設備、數據分析、與決策方法，在不同的應用領域中達成智慧生產。藉由雲端計算與服務導向架構（Service Oriented Architecture），分享或串流供應鏈成員的各類製造資源。Zhou & Wang（2021）則探討了智慧製造環境中邊緣運算與自動化的相關應用。相關研究主題包含：生產計劃和調度、工廠監控、在製品與倉庫管理、設備可靠度管理、及預測保養等。

智慧生產對工業和經濟發展的重要性仍將持續提升，運用尖端技術於各種製造和服務可提高產品和製造系統的價值。智慧生產主題具備高度研究潛力，當製造設備具備先進感測器及遠端控制功能，設備將可回應不同的製造要求，或動態依據生產線現況做出反應。而透過如此的架構，除了可將感測器數據上傳至雲端平台並轉換成服務，並能夠藉由雲端平台，進行資源的串流、協調、與共享。

因此充分運用智慧生產系統的能力，增進整體系統綜效為重要研究主軸。工業工程優勢領域相關方法，如：數據分析、統計分析與管制、資訊系統分析與設計、隨機最佳化、非線性最佳化、與動態最佳化等，均為智慧生產的核心，亦能在智慧生產的範疇中發揮關鍵價值。例如：數據分析、統計分析與管制、資訊系統分析與設計等工具可在數據轉換為資訊及知識的過程中，作為關鍵理論基礎。而隨機最佳化、非線性最佳化、與動態最佳化則可接續運用數據分析結果，建構因時因地制宜的穩健動態決策系統。

4.2.6 全面品質管理與可靠度

近年來本學門在全面品質管理與可靠度的研究計畫，大致可分類如下：

1. 全面品質管理與卓越經營 (Total Quality Management and Business Excellence)：當組織以系統性的方法持續地把對的事情做對、做到最好，並且常態性地進行檢討改善，就可以被稱為做到了卓越經營，而全面品質管理的方法就是這種系統性的方法。在現今變動快速的環境之下，企業唯有持續精進並且能夠快速應變，才有可能存活。全面品質管理的方法從 1980 年代戴明(W. E. Deming)、朱蘭(J. M. Juran)與其他多位品管大師所提出的想法與實行原則以來，經過了數十年的考驗，即使在其間隨著經濟環境的變遷加入了各式工具協助企業做到卓越經營，其全面品質管理的基本精神卻一直都沒有改變。戴明在 1950 年代所強調的「系統」，也就是現今決定企業競爭力的供應鏈以及終端消費者，系統要朝向一致的方向前進，如同供應鏈要協同合作以服務終端消費者是同樣的道理。
2. 新興的科技催生了各世代的工業革命，隨著工業 4.0 時代的到來，現今的世界環境已經從以科技為中心由人操控把關的分層系統，轉變成為以人為中心而透過各式科技的協助來滿足人類需求的系統。為了因應此種變遷，負責維運美國國家品質獎 (Malcolm Baldrige National Quality Award, MBNQA) 的美國品質學會 (American Society for Quality, ASQ) 於 2017 年提出「品質 4.0 (Quality 4.0)」一詞，將新技術與傳統的品質方法相融合，利用快速發展的網路科技在系統內串聯各單位的運作與資料，利用人工智慧的創新作法讓設備與人共同合作而減輕人的工作負擔，在這過程中與生產力相比，更為著重品質與應變能力，並實現卓越經營。在品質 4.0 的時代中，創新技術如機器學習、人工智慧、設備與操作者之連結、新形態的協作方式包含社群媒體、區塊鏈、大數據、雲端計算與擴增實境 (Augmented Reality, AR) / 虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 或是混合實境 (Mixed Reality, MR) 等，都將改變企業的工作方式，但真正能協助企業實現卓越經營的，卻是策略、領導方式、品質流程以及企業文化上的改變，而這些是全面品質管理的精神。
3. 六標準差 (Six-Sigma)：六標準差是一套系統性的方法，利用團隊以專案的方式進行，強調使用明確的數據與統計方法做為決策的依據，也訂定具體的績效指標來評估專案成果，以協助企業提升經營績效。使用六標準差的方法與邏輯，除了能夠協助各種企業改善流程的變異與速度之外，也能夠應用於工程方面的研發。六標準差的方法已經協助了許多企業提升其績效，其中包括製造業、服務業、金融業、政府機構、學校、醫療產業等，只要有流程，就有能應用六標準差方法的場域。六標準差與精實 (Lean) 的方法相結合被稱為精實六標準差 (Lean Six Sigma, LSS)，應用於研發設計被稱為六標準差設計 (Design for Six Sigma, DFSS)，而現今快速發展的新興科技剛好有助於協助企業蒐集即時的數據，完全符合六標準差方法中讓數據說話的基本原則。
4. 品質工程與設計 (Quality Engineering and Design)：品質工程是一系列的作業面、管理面以及工程面的作法，以確保所交付到顧客手中的產品在設計的產品壽命期間，其品質特性能夠符合顧客的需求。品質工程的方法可分為在產品研發設計期間實施的線外 (Off-Line) 品質工程，以及在產品生產期間所應用的線上 (On-Line) 品質工程。其中線外品質工程是一種經濟有效的品質改善活動，它運用系統性的方法與改善產品或流程的設計。線外品質工程可分為三個階段，分別是系統設計、參數設計與允差設計，透過此設計方法讓產品或是流程的表現 (品質特性)，比較不會受無法控制 (Uncontrollable) 變數 (或稱為雜訊因子) 的影響。在系統設計的階段，著重在將顧客的聲音轉換成具體的產品設計功能；接下來透過實驗設計的

方法找出影響產品或流程品質特性的重要因子，並設定這些因子的最佳水準（目標值）；再採用公差設計的方法進一步改善這些因子的變異（公差），同時加入製造成本的考量以完成產品設計。而線上品質工程則是指在製造過程中監控重要的品質特性以維持品質的方法，其中以統計品質管制的手法為主要工具，主要的研究包括各種管制圖的開發與應用，尤其是少量偏移的監控，或是搭配適當的回饋機制以進行製程參數的調整。

5. 檢測系統 (Inspection Systems)：檢測是一種經過規劃的正式衡量流程表現的程序，整個程序包括量具校正、檢驗、測試、比較檢驗的結果並作出後續處理決策。檢測將決定待測品的是否符合相對應的規格，若檢測結果是發現產品瑕疵，還需要決定該產品應該要重新加工、修補、取代還是報廢，以避免產品進入後續流程或是流出給顧客而造成更大的損失。檢測的方式、時機、檢測的數量、取樣的方式以及檢測工具的選擇與維護是在執行檢測時的基本研究議題。而檢測的目標除了確保產品品質之外，還需考量檢測資源的分配、對生產流程的干擾、執行檢測與其他相關的成本，及檢測的錯誤等，並達成最大化檢測的效率。檢測可分為線上檢測與線外檢測兩大類，其中線上檢測用於監控制造過程中的產品品質，當作業面或是技術面的原因而使線上檢測無法執行時，則完成產品製造的某些步驟後採用線外檢測的方式進行。隨著自動化技術的發展以及數據分析技術的精進，以自動光學檢測技術取代人工檢測將能夠提高檢測的效率。近年來快速發展的機器學習與深度學習，也被廣泛應用於自動光學檢測的資料辨識。除此之外，以整體的方式考量檢測系統與生產計畫，利用多目標決策的方式權衡產品品質、生產週期時間及整體成本亦是近年來比較實務的研究方向。而利用隨機 (Stochastic) 工具將環境的不確定性、檢測機台的可靠度等因素考慮進去；加入來自生產系統的限制（如機台容量、夾具治具的數量、或是成本）；以模糊 (Fuzzy) 的工具納入來自於內部或外部失敗模式的不確定性等；以及將檢驗人員的心理層面考慮進去等等，也都是有趣的研究方向。
6. 系統可靠度 (System Reliability)：一系統通常由多個子系統或元件串並聯所組成，其中各子系統或元件可能因保養或故障維修等因素，造成系統無法正常運作。因此，作為衡量系統是否能正常運作的績效指標-系統可靠度，其評估與最佳化便成為管理者所重視的議題。系統可靠度評估與最佳化研究領域甚為廣泛，就方法論而言，可涉及機率模型、網路分析、系統模擬、隨機過程、機器學習、深度學習、硬性與柔性最佳化方法等。在應用方面，迄今仍有許多關於物流、運輸、服務、製造和產品之研究；而近年來全球受疫情肆虐和天災影響，供應鏈系統、防疫系統與救災系統之可靠度研究將越顯重要。此外，台灣電力短缺屢屢造成斷電情形，電力系統的可靠度研究將有助於改善台灣電力供應環境。Xu & Yang (2022) 即提出一評估電力系統可靠度的方法。
7. 故障預測與健康管理 (Prognostics and Health Management, PHM)：近來，PHM 已成為克服傳統可靠度分析局限性的關鍵技術，PHM 擷取感測器訊號並對系統或設備等，執行監控健康狀態、偵測異常、診斷故障，更重要的是，預測其生命週期內的剩餘使用壽命 (Remaining Useful Life)。此健康資訊可用於決定最佳的維護或更換零件時機，並減少非預期性停機或避免不可回復的系統故障。傳統採資料驅動的 PHM 架構包含資料蒐集、特徵提取、特徵選取、異常偵測、診斷以及預知等模組，而以深度學習為基礎的 PHM 架構則減化了特徵提取與特徵選取 (Rezaeianjouybari & Shang, 2020)。資料蒐集由狀態監控感測器、資料存儲和傳輸設備組成，以取得來自系統的監控資料；特徵萃取則將原始測量資料轉換為含有系統行為的特徵資訊；特徵選取旨在從所有特徵中，去除無關和冗餘的特徵，以

選取最優特徵子集，並適當進行資料降維來生成新的低維特徵子集，同時保留原始特徵的直觀資訊。異常偵測旨在偵測系統是否出現異常狀況，一旦偵測出異常，則發出警示訊息，以便下一步執行診斷。診斷是異常偵測後的關鍵步驟，藉由分析退化的嚴重程度來識別系統的健康狀態，了解故障類型。故障預測是指系統初期故障檢測和與剩餘使用壽命預測，可作為及時性維修保養的決策依據。而決策支援屬 PHM 中的「健康管理」部分，根據診斷和故障預測的產出結果，採取及時、適當的維修保養和後勤決策。上述模組已有許多方法論被提出，未來可藉由導入新興技術，包含工業物聯網、5G、機器或深度學習、邊緣計算等，強化 PHM 之作業效率與分析準確性。關於故障預測與機台健康管理的相關文獻可參考 Lin et al. (2021)。

1. 良率管理 (Yield Management)：良率管理最早應用於航空公司，之後被應用於服務業的收入管理 (Revenue Management)，主要在探討具時效性資源 (如飛機座位、旅館房間等) 的訂價策略。在製造業方面，由於產能可被視為具時效性的資源，因此良率管理也適用於製造業。對製造商來說，良率管理可分為良率提升與良率預測兩大部分，其中良率提升在於找出可提升良率的製程參數並加以調整，良率預測則是藉由瑕疵的偵測來估計產品的良率。當製造體系的資料越複雜，越難對產品良率的問題做出即時的反應，但近年來快速發展的雲端系統與大數據分析的技巧，讓良率管理的研究變得更可行。如可將來自製造執行系統與來自製造資源規劃系統的資料整合，並採用可視化數據的技巧，廣泛地觀察生產狀況，並立即探究可能存在的技術問題。此外人工智慧與機器學習的方法，在良率管理方面也有很多可行的應用。

4.2.7 循環經濟與永續

隨著地球資源耗竭、環境污染這些全球性的議題快速升溫，深深影響著人類社會的永續發展 (Sustainable Development)，針對永續發展趨勢，全球開始推動循環經濟 (Circular Economy) 與永續發展理念。永續發展，根據環保署的環保名詞定義為：1、要能滿足當代的需求，同時不損及後代滿足本身需求的能力，亦即在提升和創造當代福祉的同時，不能以降低後代福祉為代價；2、以善用所有生態體系的自然資源為原則，不可降低其環境基本存量，亦即在利用生物與生態體系時，仍須維持其永遠的再生不息。永續發展的概念成為當前追求經濟、環境、社會三贏局面為目標，各種有關「永續」的學問研究領域也孕育而生。在工業工程學門領域中，將協助永續問題模組化及最佳化的解決模式。

在聯合國永續發展目標 12-永續/責任生產及消費之下，經由循環經濟與永續發展之概念，將製造、消費、再生三階段成功經驗複製，以達成結合資源永續及循環經濟，並應用於半導體產業、生技醫藥產業、智慧機械產業、綠能科技產業、服務業、物聯網產業等。透過上述產業資源重新配置或重新利用，將廢棄物轉化為生產資料的系統，並對有限自然資源日益增長的需求推動許多新興與前瞻的知識與技能，例如發展人工智慧應用、推動智慧供應鏈管理、運用雲端平台、數位工具，以及大數據分析等，使其有效發揮國內產業優勢。

我國面對環境議題，開始關注於產業能源、水資源等問題；而資源循環的議題，也從民生的廢棄物，更多走到產業的事業廢棄物問題。工業工程與管理面臨這些問題，可考慮整個供應鏈的整合，並有效利用回收之廢熱、廢水及廢棄物質，進而發展出新的再利用模式。而隨著生產模式的改變，可針對目標與參數變動之影響，建構多目標規劃模式，並進一步分析模式參數的適用性。此外利用實驗設計加工製程，並進行模式測試與敏感度分析，求出最佳參數與生產模式，將可發展成為產業或其他共生產業創新的商業模式，並有效降低廢棄物量、節省生產成本及減輕環境負荷。以最佳化為例，在降低

微電網的經濟成本和污染物排放後，將能同時滿足負荷需求和系統約束。並進一步建立集成光伏發電單元和儲能系統的冷熱電聯供微電網模型。

以永續消費模式來說，相關研究曾採用消費者二氧化碳排放方法來架構模型。通過供應鏈中商品所在地到最終消費地的所有二氧化碳排放納入國家消費模式，並評估亞太地區 17 個國家的二氧化碳排放主要因素。以模組化為例，以社會 5.0 觀點為基礎的永續固體廢物管理框架，建構了階層永續固體廢物管理結構中的相關的因果關係，以改善在實際執行固體廢物管理因素的關鍵障礙。而相關的永續發展及循環經濟文獻可分別參考 Song et al. (2022) 與 Zheng et al. (2022)。

另一方面，環境、社會和企業治理 (Environment-Social-Governance, ESG) 責任已成為企業經營的重要目標及資本市場關鍵考量 (Koberg & Longoni, 2019)。為提升經營績效及聲譽，企業必須積極投入資源進行供應鏈改造，降低供應鏈活動所造成的環境、社會和經濟影響 (Norris et al., 2021)。並達成永續願景及 ESG 目標，永續供應鏈管理為重要產業實務問題，並引導相關研究領域持續蓬勃發展 (Khan et al., 2021)。

永續供應鏈管理之研究著重於供應鏈流程的環境、社會和經濟層面的整合，關鍵要素為永續供應鏈架構 (Configuration) 與永續供應鏈組織管理機制 (Governance Mechanism)：

1. 永續供應鏈架構大致可分為開放型 (Open)、第三方 (Third-Part)、封閉型 (Closed) 三大類型：
 - (1) 在開放型架構下，核心企業促使第一階供應商提升永續性，各階供應商受命再將永續性擴展到它們底下各自的供應商 (Senyo & Osabutey, 2021)。
 - (2) 在第三方架構下，廠商可能會與非經濟行為體(例如非政府組織)合作，為供應商提供 (Sustainability Outcome) 訓練及幫助；或者將供應商評估這項任務委派給第三方組織 (Chkanikova & Sroufe, 2021)。
 - (3) 在封閉型架構中，買方與供應商藉由直接聯繫與協調，改善永續性結果 (Sazvar et al., 2021)。
2. 永續供應鏈的組織管理機制著重永續性倡議 (Sustainability Initiatives)，並建立直接 (Direct) 或間接 (Indirect) 的管理機制 (Trail & McCullough, 2021)：
 - (1) 直接管理機制下，核心企業投入資源直接進行供應商管理，藉由供應商評估、供應商合作 (例如：訓練、財務支援) 以及多方活動改善營運永續性。
 - (2) 間接管理機制則建構在第三方標準之上如：第三方特定產業驗證 (例如：FSC) 以及第三方跨行業認證 (如：ISO14001、SA8000、FLA) 等。
3. 永續供應鏈的應用面研究大致可分為五個主題 (Sarkis & Zhu, 2018)：
 - (1) 策略層面 (Strategic Consideration)：策略面而言，供應鏈永續性應以企業的可持續競爭優勢驅動 (D'amato & Korhonen, 2021)，包括企業願景、價值主張、戰略決策、管理評估標準 (績效指標)、企業社會責任與法律規範等。
 - (2) 營運層面 (Operational Level)：營運層面主要著重於供應鏈各個層級的決策、及整體供應鏈決策的整合 (Kumar et al., 2021)。
 - (3) 跨域管理與介接 (Decisions at Functional Interfaces)：著重於決策個體如何進行跨越職能的互動與整合 (Ghadimi et al., 2019)。包含供應商選擇 (Stević et al., 2020)、永續性評估 (Bai et al., 2019)、碳足跡管理與低碳製造 (Zhang et al., 2020)、綠色物流 (Wang et al., 2020) 等。
 - (4) 永續與綠色產品 (Green Product) 設計及製造：綠色產品的生產與製造，必需考慮環境影響及衝擊 (Hong et al., 2019)。研究重點包含可分解產品的設計與製造，例如：利用生態設計工具 (Ahmad et al., 2018) 和生態循環準則 (Liu et al., 2019) 設計出綠色產品等。

- (5) 永續能源(Energy Perspective):相關研究探討能源效率(Soleimani et al., 2022)、二氧化碳排放(Sarkar et al., 2021)、或生質能(生質燃料)供應鏈(O' Neill & Maravelias, 2021)等。

基於以上研究重點，結合工業工程在資料分析、最佳化、及資訊系統設計與建置等層面的既有優勢，以工業工程方法為核心理論，配合實務研究成果將可使永續供應鏈概念更加完備，並促成架構、管理機制、及應用層面的具體落實。

4.3 生產系統與智慧製造子學門未來研究方向與重點

4.3.1 永續供應鏈

永續生產是以生命週期評估檢視製造環境，從產品研發設計與材料選用開始，以迄後續設備選用、生產製造、儲存、物流運輸、售後服務、回收及相關資源利用過程，並統計所耗用的能源及其碳排量。永續生產則是永續供應鏈的基礎目標。在全球人口持續成長造成糧食短缺，使得水資源及糧食生產、儲存與流通有效利用之永續供應鏈發展，成為值得探討的議題，並且可針對各行業導入永續供應鏈概念。利用系統整合的專業，從永續生產方向，將製造與服務產業經驗，複製到各產業的成功模式，導入不同面向的永續生產及供應鏈思考與研究投入(Tseng et al., 2013; Ren et al., 2018; Wangsa et al., 2022)。例如，永續生產系統設計：蒐集即時性之製程相關資料，應用數位雙生之模擬規劃，產生即時性系統配置與個人化產品設計，並藉由生產系統可持續修正與自我學習之數據資料，提供更具智能化之永續生產系統與快速永續設計。

在現代的永續供應鏈則必須結合工業 4.0 及智慧製造，工業 4.0 關鍵要素包括自動化、機器人化、大數據分析、智能系統、虛擬化、人工智能、機器學習和物聯網。根據歐盟工業 5.0，提供了超越效率和生產力作為唯一目標的工業願景，並加強了工業對社會的作用和貢獻。永續供應鏈將工人的福祉置於生產系統，使用新技術在尊重地球生產極限的同時提供就業和經濟繁榮。並通過專門研究和創新服務推向永續，進行以人為本和有製造彈性來補充工業 4.0 的不足(Bui et al., 2022; Fernando et al., 2022a)。隨著工業 4.0/5.0 為產業、人員和社會帶來好處，它將提高產業的競爭力，且有助於吸引最優秀的人才。因此，它賦予人員權力，並解決人員不斷發展的技能及培訓需求；它也有利於我們的社會，因為它有利於創新與循環經濟生產模式和智能技術，進而更有效地循環再利用現有的自然資源。

工業 4.0/5.0 為產業永續供應鏈管理，優化資源利用最大化並減少浪費以實現競爭優勢，因此在不確定的情況下建立了一套有效的永續供應鏈管理推動因素，例如採用模糊德爾菲法得出一組有效的屬性，以及模糊集理論處理來自定性數據的不確定性，模糊解釋結構建模在不確定性下的層次結構。分析結果為組織能力和敏捷性，技術進步和經濟效益是主導方面；領導力和管理支持的承諾、供應商的合作、企業文化、組織變革的準備和永續性概念整合是產業改進的首要標準(Tseng et al., 2021; Tseng et al., 2018)。透過工業 4.0/5.0 不斷創新形式，推動循環經濟將形成產業創新聚落，並強化系統整合能力，進而連結全球創新能量，提升臺灣產業國際競爭力與人民生活品質，平衡區域發展及創造就業機會，進而實現永續發展及成為智慧綠能國家的目標。創新與循環經濟在物質不斷循環利用的基礎上發展經濟，使生態經濟原則體現在不同層次的循環經濟形式上，透過區域系統性的合作，優化配置資源而提高資源的利用效率，使生產過程中減少投入與減少排放，而達成利潤的創造(Wangsa et al., 2022)。

經由智慧製造與生產系統，應用工業工程概念，來使產業永續供應鏈更加完整。例如: Abu et al. (2022) 研究永續綠色倉庫的可控碳排放中降低訂購成本和產品劣化之間的最佳平衡。工業正在尋求在使用石化燃料和減少碳排放之間找到適當的平衡，因為燃燒石化燃料對於工業化是避免不了的。不同業別中，碳排放可以通過鏈中不可避免

的物流活動（例如：照明、供暖、空調、產品變質）。因此將這些活動透過節能的綠色技術來控制排放，是可操作的方向。綠色倉庫是目前供應鏈中流行的一種限制碳排放的存儲系統。其結果表明，當所有三個提議的減少屬性都考慮到短缺時，利潤增加了46.30%。這種改善不乏顯著，而增加的利潤為94.75%。Mashud et al. (2022) 研究改進庫存決策和開發更好的綠色技術投資方法是現有相關文獻的主要貢獻。除了提出更好的庫存決策和投資綠色技術外，企業的財務業績也被視為焦點。然而，現有關於永續批量大小的工作都沒有考慮同時減少碳排放、產品劣化率和設置成本以最大化總利潤。

以上這些研究都闡述工業工程管理開發了一種基於創新技術（智慧製造）、組織和環境和創新技術的新理論模型，以填補過去研究的空白。智慧製造與生產系統針對永續供應鏈管理的基礎理論用於捕捉製造業公司在採用創新技術及支持碳交易活動。調查數據中，我們檢查了創新技術早期採用者的看法及其與能源效率的關係（Fernando et al., 2022b；Tseng et al., 2022）。而這些關鍵驅動因素，則採用創新技術可以幫助公司提高業務透明度，管理能源消耗，即減少碳排放的主要因素。

在智慧製造與生產系統整合針對於永續供應鏈管理的基礎理論：

1. 在工程經濟分析的運用：基於市場價格與產出量，以動態系統模擬法規劃最適產品產量，生產系統可整合水/能源/廢棄物三者進行全面性盤查與分析，提出更具綜效的規劃、發展、決策和監測機制。再生能源之生產、儲存、使用等技術問題，可利用類神經網路法進行系統之規劃，並採用對環境產生的衝擊進行分析比較（Fu et al., 2022）。例如：在電池系統開發中，氫氣燃料電池是值得投入研究且具有發展潛力。
2. 在協同規劃目前的四大發展趨勢為，從永續供應鏈連結智慧生產之協同商務規劃、最終消費市場導向化、供需永續價值鏈活動流程同步一致化及國際化（Bui et al., 2021；Chuah et al., 2021）。共享經濟的協同生活，將需求相仿的人們集結起來，分享或交換空間、交通、個人服務、物品、金融資產等實體或非實體資產的發展趨勢仍然方興未艾。而有關永續供應鏈規劃與物流管理協同系統分析與規劃及人機協同作業等研究亦將持續發展。
3. 永續生產規劃與管制：朝向工業4.0之虛實系統整合，包括數位化、網際網路、物聯網、人工智慧演算法、物流配送及空間規劃等，將機台預防保養與動態資料自動納入生產規劃中，提供即時生產規劃與動態排程，持續改進永續生產系統效能，形成智慧製造生產系統（Abdul-Hamid et al., 2020）。組裝系統中，生產規劃與控管朝向多產品、多規劃期及多階段之情境探討，提出最佳化的決策方法，來降低生產成本與縮短生產週期時間。將最佳化決策模組整合於虛實生產系統中，提出更精準的生產規劃與控管方案。再製造規劃中，可回收品具複雜性與高度不確定性，再製造規劃與投產批量控管的困難度高，如何蒐集即時資訊與擬定動態排程，才能符合再製造者的實務需求（Abu et al., 2022）。全面整合顧客需求，營造顧客共同參與決策情境，以永續生產觀點將生產系統重新設計、規劃及控管，達到快速回應顧客需求提高顧客滿意度。
4. 生產排程：生產排程發展的最新趨勢包括：工業4.0虛實化系統架構下不同製程型態排程的新技術及模型發展、智能化分派式製造系統排程、AR/VR輔助排程系統開發、認知製造生產系統排程、模塊化工廠環境下的生產排程、排程系統規劃、應用數位雙生之即時性動態排程系統規劃、智慧製造與人工智慧排程、人工智慧演算法之設計、協同供應鏈之排程規劃、結合深度學習的排程方法、結合大數據分析的排程方法及設計鏈協同排程等（Lin et al., 2019；Wang et al., 2019）。
5. 同步永續工程：實務上，同步工程設計相關的模組與參數具不確定性，且要同時考量多個目標規劃設計，後續可朝這方向發展及開發求解方法（Kuo et al., 2018；Kuo

et al., 2019)。亦可發展以系統生命週期為基礎的成本分析模式，比較現在與過去的同步永續工程系統之成本差異。產品使用後如何延續最終產品的效益，包括可回收、再利用等，納入產品的開發與設計，兼顧經濟與降低環境衝擊。

1. 總結，智慧製造與生產系統整合針對永續供應鏈管理的研究還在不斷的進步，現代所面臨的問題，追求經濟、環境、社會三贏局面的目標，以及各種有關「永續」的學問研究領域，皆可運用於智慧製造與生產系統整合，並試圖建立一種新的經濟模式，獲得尋求人類經濟、社會與環境和諧共榮的最佳化。進一步走向資源永續利用、經濟社會永續發展的循環經濟型社會。例如零排放、產品生命週期、生態設計、生態工業園區、綠色技術清潔生產等循環經濟融合環保概念蓬勃發展，因而整合成一套永續供應鏈管理系統，促進資源永續利用的實現。

4.3.2 智慧物流

由於各種因素疊加影響，這兩年供應鏈發展承受著巨大的壓力。不論是由於電子商務近年來呈現爆炸性地成長（電商物流），或是因戰爭爆發需要快速地將補給品及醫療資源送達災區（救災物流），還是因著疫情嚴峻醫療照護相關之配送作業需求迫切（醫療物流），各方面都顯示我們對物流的依賴已超過既有物流系統的負荷。與此同時，疫情徹底地改寫全球供應鏈生態。它造成的物流中斷，對全球供應鏈造成了連鎖效應，導致貨物堆積在倉儲區，影響貨運船隻的正常轉運，不但限制了全球貿易的流動速度，更打亂企業的產品進口及庫存管理。根據富比世的調查，全美最大的一千家公司中有高達 94% 的企業供應鏈受到影響，而各國的持續封城、封港政策更是讓這情況雪上加霜（Narasimha et al., 2021）。這場風暴讓原物料來源到終端客戶皆受到影響，不僅挑戰多數企業的商業、營運、財務和組織彈性，同時彰顯許多組織的潛在風險管控和供應鏈缺失（蔡淑芬，2022）。

供應鏈中斷之壓力有望透過智慧物流（Intelligent Logistics）及供應鏈轉型來減輕。智慧物流的發展，因著資通訊領域上許多新興技術的成熟及普及，已逐漸發展成利用這些新概念、技術及工具的新型智能物流系統。透過 AI 與分析讓彈性物流變得可行，不但能預測即將暴增的消費者需求，還能確認何時擴張或縮減供應鏈需求，並且加以管理。以倉庫為例，AI 技術讓重要的揀貨、包裝與存貨流程自動化，縮短前置時間，讓貨物更快速移動（Anna，2022）。

智慧物流所涉及的範圍甚廣，包括：採購、運輸、倉儲、配送、包裝、裝卸搬運、流通加工等物流環節，其涉及的研究主題包括供應鏈規劃能力、運輸定位溯源能力、倉庫運作自動化、供應鏈可視化、雲供應鏈軟體等領域的相關技術。供應鏈中斷的問題，其嚴重性同樣也吸引企業加大對供應鏈關鍵節點自動化的投資（陳曉曦，2022）。此外，為減少對特定地域和全球供應鏈的依賴，各國政府和企業領袖無不積極制訂策略，以建立本地供應鏈。於此同時，企業也應重新設計具替代性的供應鏈流程、提升儲存能力以貼近其消費者，並加強最終的交貨與退貨程序（蔡淑芬，2022）。其中，傳統物流在退貨情況產生時，需要較長之反應時間，而不愉快的退貨經驗將可能使業者不僅失去客戶的忠誠度，且貨物缺乏再包裝、檢驗或再利用的流程，降低產品的獲利性與流動性，因此逆向物流（Reverse Logistics）仍為一重要議題（OOSGA 策略顧問公司，無日期）。值得注意的是，新型物流系統需配合新的規劃、管理及運作方式，才能避免造成運作上的衝突，適得其反。如何填補創新物流系統的營運管理研究上的空白，以發展出有效率的整合物流模式，是一個兼具有挑戰性與重要性的主題，值得相關領域學者投入研究。許多大型物流公司存在著流程過於複雜、效率低、車輛管理混亂等問題。Li & Li（2022）透過研究物聯網現況及起源，模仿智慧物流企業並找出該企業存在於物流環節的問題，不但利用企業物流技術來建立智慧物流企業管理模型，也進行管理實驗，透

過實驗數據分析來改善現況。

供應鏈轉型依不同的對象與議題，可能有不同的做法。例如近年由於疫情肆虐，多國政府陸續採取封城策略，對電子商務的需求大幅提升，其中對醫療相關用品，如：疫苗、藥品等之高度溫控要求，以及大量需宅配之生鮮蔬果等，對冷鏈（Cold Chain）中之儲存、包裝、追蹤、運輸、清關、產品管理以及安全等都有著極大之挑戰。因此規劃與庫存效率，可以系統分析結果為依據的需求感知、實施動態庫存補貨、銷售時點情報系統（Point of Sale）驅動自動補貨、即時庫存最佳化、感測器驅動的預測等。供應商合作方面，包括以系統分析結果作採購、資產共享、運用區塊鏈科技達到透明化、雲端與控制台最佳化、供應商生態系統等方式。物流最佳化方面，包括使用擴增實境進行物流最佳化、自動化物流、直接送至使用者的配送服務、無人駕駛卡車、無人機、動態調整/基於預測所設定的路徑等。在銷售最佳化方面，包括依庫存水準動態調整定價、感測器驅動補貨、針對性行銷等。

4.3.3 共享經濟

共享經濟（Sharing Economy）並非是一個新概念，其可追溯自 1978 年，由美國社會學學者馬庫斯·費爾森（Marcus Felson）與喬·斯佩思（Joe Spaeth）於《American Behavioral Scientist》所提出之「協同消費」（Collaborative Consumption），後來，越來越多的學者探討了此一概念，並出現了許多名詞，如協同生產（Collaborative Production）、協同消費、點對點（Peer-to-Peer）以及使用權經濟（Access Economy）。共享經濟起先屬非營利目的之模式，如 Couchsurfing 和 Freecycle 均屬之；爾後隨著資訊科技的日新月異與 Web 2.0 興起，在資源有限情況下，人們開始利用網路連接線上與線下的世界來增加資源的提供與取得，並發展成收取一小部分「共享費」的商業模式，如 Uber 和 Airbnb，導致共享經濟的興起。共享經濟是指資源閒置的組織或個人透過第三方支付平台將商品使用權轉讓給他人的情況，所有者透過共享閒置資源獲取利益，而需求者以較低的價格獲取資源，從而提高資源利用率，具有導向社會與環境永續（Sustainability）之意義（Zhu & Liu, 2021）。

共享經濟的出現為全球許多經濟體帶來了新的商業和社會價值，共享經濟雖然擾亂了企業及其市場之運作，然由於強大且迅速的顛覆性，亦可以創造巨大的經濟價值。Statista 預測全球共享經濟的年價值將從 2014 年的 140 億美元增長到 2025 年的 3350 億美元，12 年增長了 24 倍（Lock, 2022）。與此同時，全球共享經濟平台的供應商收入將從 2017 年的 186 億美元增加到 2022 年的 402 億美元（Jennifer, 2018）；此外，2011—2012 年矽谷之共享經濟成功案例：Airbnb 和 Uber，亦改變了全球數千萬旅客對酒店和出租車消費行為，2006 年全球約 35 萬會員共享約 1 萬 2 千輛汽車，而到了 2018 年，汽車共享市場已擴展到全球六大洲與 47 個國家，約有 320 萬會員共享超過 19 萬 8 千輛汽車，其中，亞洲是全球最大的汽車共享地區，佔全球會員的 71.4%，全球第二大市場為歐洲，佔全球會員的 21.2%（Shaheen & Cohen, 2020）；Airbnb 於 2019 年在全球 10 萬個城市中約有 600 萬個房源，市值預估達 380 億美元，超過當時全球第四大連鎖飯店-萬豪，2021 年市值估計更成長到約 1130 億美元（Lock, 2022）。

共享經濟之所以蓬勃發展，乃是有些人認為共享經濟可以緩解環境和社會問題，例如降低污染與成本、聯繫人際關係、獲取所需資源、甚至增加收益減少貧困等（Rojanakit et al., 2022）例如，Li et al.（2020）以美國亞利桑那州的土桑市為例，指出若該市增加四個共享單車站點，並協助使用者優化騎乘路線，可有效減少人們對汽車的使用，進而減少碳排放量；Li et al.（2021）探討 Uber 進入都會區後對勞動市場之影響，實證結果顯示 Uber 的進入提高了勞動參與率，減少貧窮線下勞動人口之失業率，並改善了低收入勞工的就業和財務狀況。而隨著共享經濟的持續發展，許多共享模式

也因而而生，如共享快遞、共享單車、共享雨傘等，其主要特點是納入第三方基於資訊技術所創建的交易平台，第三方可以是商業組織或政府，個人使用這些平台交換閒置物品，分享他們的知識和經驗，或從企業或創新項目籌集資金，本質是整合線下閒置的商品或服務提供者，讓他們以更低的價格提供產品或服務。共享經濟的生產者可以不必然是企業，而可以是一般個人或企業，所謂產品也可包含非實體資產和實體資產，產品的使用者可以不必是所有者，產品的使用權、所有權和管理權可以是分離的。又，根據 Botsman & Rogers (2010) 與 Schor (2016) 之研究，共享經濟模式可歸納如下：

1. 再流通市場 (Redistribution Markets)：使用者可在網站上提供二手物的買賣之二手市場，而平台為提供買賣雙方交易的媒介，此也助於減少碳足跡排放，並強化永續發展的社會意識。
2. 產品服務系統 (Product-Service Systems)：透過暫時提供產品而非銷售產品的服務以換取報酬。對於使用者而言，透過此制度能讓使用者僅在需要時使用產品，而平時也不必因擁有產品而增加額外持有成本，也增加了使用者的方便性，此模式有助於更頻繁地使用耐用品和其他資產之租賃行為，如在運輸方面的 Uber 與 Boston's Hubway 以及在住宿方面的 Airbnb。
3. 協同生活 (Collaborative Lifestyles)：需求相仿的人們集結起來，分享或交換空間、交通、個人服務、物品、金融資產等實體或非實體資產。

(1) 非實體資產共享：群眾以同等時間價值的形式交換服務，於此種模式平台協助任務請求者與執行任務工作者進行配對，並在任務被完成後，工作者會得到請求者的任務報酬，例如：Instacart 並沒有倉儲系統，亦沒有雇用全職員工，而是建立一個媒合平台，媒合「有代購需求」的消費者與想要利用空閒時間賺取收入的「代購配送員」，直接利用實體生鮮業者的倉儲和店面，將生鮮食品配送至顧客手中。此外，遠距會議、AR/VR 等遠端協同技術 (Remote Collaboration Technology) 的發展，促進線上零工經濟 (Online Gig Economy) 之創新模式，讓技術性工作團體或人員，如軟體工程師、設計師或文書工作者等，可透過此平台與客戶進行媒合，並在不受空間與時間限制下提供其專業服務 (Kässi & Lehdonvirta, 2018)。

(2) 實體資產共享：如提供共享工具和共享空間的 Makerspace。

在資源有限下，共享經濟提供企業得以有效利用資源，強化核心競爭力的契機，且除 Uber 與 Airbnb 等共享經濟代表性企業外，下述幾家採共享經濟模式之企業，亦持續成長中，由此可知，如何應用共享經濟模式，以追求工業工程與管理中的資源有效利用，實屬具前瞻性的議題。

1. USPACE：以共享經濟模式來滿足區域車位需求，將城市中空餘不用的停車位提供給需要停車的人，在產權確立狀況下分享閒置物品，相較其他搜尋周遭空餘車位的廠商，USPACE 決定自己創造新車位，與畸零地或空餘車位的擁有人溝通，希望他們將不會用到的時段讓出，且讓擁有人自行訂定價格，以滿足台北居民的停車需求為主，並規劃將其擴散到新北、桃園、台中、台南、高雄等地 (Huang & Kuo, 2020; USPACE, 2022)。
2. Care.com：為全球最大家政服務之共享經濟平台，服務範圍橫跨 17 個國家，服務項目包含房屋清掃、老年照護、幼兒保母、兒童家教與寵物托顧等；服務提供者將可提供之服務資訊刊登於平台上，服務需求者透過電腦或行動裝置輸入所需的服務需求、時間與地點等，平台會推薦附近適合的服務提供者，並提供服務提供者的年資、服務次數與服務評價，緊接著，服務需求者與提供者可進行聯繫，討論服務內容與價錢 (Kauffman & Naldi, 2020; Fetterolf, 2022; Care.com, 2022)。
3. Yojee：Yojee 平台上將小型物流交付公司聚集在一起，以便它們能夠達到規模經

濟，其最吸引人的是其自動交付技術，Yojee 支持自主交付車輛，其自動化管理網路和自駕車的結合可以使小型物流公司比大型車隊更有優勢，這讓每家在 Yojee 註冊的公司都可以按需使用自主卡車車隊 (Shcherbakov & Silkina, 2021; Yojee, 2022)。

4. GoShare、iRent 與 WeMo Scooter：GoShare、iRent 與 WeMo Scooter 均提供共享機車之服務，透過整合電動機車與行動裝置，創造一個智慧電動機車租賃服務，有效提升機車的使用率、解決空氣、噪音汙染以及交通壅塞問題，達到共享經濟的理念。其服務流程為透過手機 App，尋找附近的可租車輛並預定、騎乘，到達目的地時，再將機車停於公共停車格即可。而 iRent 除提供共享機車服外，亦提供共享汽車服務 (Huang, 2022; GoShare, 2022; iRent, 2022; WeMo Scooter, 2022)。
5. Zipcar：運用科技服務節省人事與營運成本，會員需要用車時，透過網路或電話語音預約查詢，Zipcar 會告知距離其最近車輛的車牌號碼與位置 (通常是路邊專用停車格內)，會員便可以就近用會員磁卡取車，不需到門市辦理租車手續、或擔心超過營業時間，使用完畢車輛會自動感應上鎖 (Kauffman & Naldi, 2020; Jiang et al., 2021; Zipcar, 2022)。

除上述提及之共享經濟模式與新興案例，Zhu & Liu (2021) 建議未來可進行共享經濟研究領域建議如下：

1. 現存共享經濟模式多以 B2C 與 C2C 為主，然而，受 COVID-19 疫情影響，不少共享經濟公司經營上收到挑戰，例如 Airbnb 在受疫情影響的地區的預訂量顯著下降，Uber 也受到重創，曾造成股價單月下跌 50% 以上，飯店與餐飲服務業更是在受到重創；卻亦有因疫情而逆勢成長的共享經濟產業，像是醫療、教育、外賣、超商等領域的共享經濟用戶數和交易量於疫情期間有顯著增長，是故，於此情況下，導致某些產業的人力過剩，有些產業之人力則不足，因此若能發展 B2B 之共享員工模式或其他共享模式，預期有助於社會經濟之穩定。
2. 共享經濟也被期望能提升環保效益，例如，電商物流採用的物流箱多以紙質製造而成，收件人往往拆箱後雖將箱子丟棄至資源回收，但仍造成繁複的回收作業，甚至使用的紙質材料亦會增加樹木的砍伐；共享快遞盒 (Shared Express Package) 為一種可循環利用的包裝箱，收貨人簽收後，物流士即將箱子回收做為下次商品配送使用，未來研究在商品設計上可多採用環保材質並加強其耐用性，此外，亦可增加回收點，當物流士無法與收件人面交時，收件人可透過回收點將共享快遞盒繳回，以其能提升共享快遞盒的使用意願。
3. 深入探討共享經濟對環境的負面影響，而並非僅關注共享經濟所帶來的效益，例如雨傘、行動電源、自行車等共享物品的損壞率極高，是否容易造成廢棄物的堆積或資源的浪費？
4. 共享經濟的社會和消費風險應被更加重視，共享平台的發展過程中，會持續蒐集用戶資訊，然而此些隱私資訊被洩漏或不當使用，便會威脅到用戶權益或財產安全，未來研究可針對共享交易的異常事件進行分析，辨別潛在的社會與消費風險，建構完善風險管理制度與監控措施。

政府和國家政策應在共享經濟發展中發揮重要作用。隨著共享經濟的發展，傳統的經濟模式將逐漸被淘汰，經濟市場將受到前所未有的衝擊，人們的生活觀念和生活方式將逐漸改變，要實現真正完整的共享經濟，需要政府大力推進和完善社會信用體系等配套措施。在政府企業和個人層面，還有很多社會資源有待開發，且現有研究對政府和國家政策對共享平台發展和消費者參與行為之影響的理論和實證研究仍甚少。

4.3.4 大數據分析與應用

本單元謹就「大數據的使用範圍」與「大數據在生產系統的分析與應用」兩項主軸，分別推薦九類與六類主題，作為未來研究方向之參考。

1. 「大數據的使用範圍」之未來研究方向建議

隨著數位化浪潮持續發酵，數據需求及應用越趨提升，根據 IDG 報告指出，全球數據預測量逐年遞增，預計 2025 年當年度的數據量會達到 175ZB (1ZB=109TB)，等同 2010 至 2020 年十年間的數據總量，成長快速。然而，大部分的企業及民眾都認同且意識到大數據的重要性，但僅有少數企業可有效處理取得的數據資訊，市場上的數據需求，主要分為四個階段：數據蒐集、數據分析、數據應用以及數據變現，將蒐集到的數據進行專業分析，並應用於各領域及產業中，才能達到實質成效幫助 (Sağiroğlu & Sinanc, 2013)。Gandomi et al. (2022) 等人根據目前已發表的論文之結論，為大數據提供了未來的研究方向，更好地協助研究人員在機器學習領域，針對大數據分析問題，找到好的起點。例如，未來研究可以朝解決識別新特色之限制，或是解決用其他機器學習技術來發展分類器之限制進行。此外，也可以研究那些 Twitter 和 Instagram 等社交軟體上口語化的文字數據，通過語義深度學習模型，更精確地分析出人們的態度和想法。

基於上述背景，謹就「大數據的使用範圍」，推薦以下九類主題作為研究方向：

- (1) 分析文字型態：文字的型態大多是由人類語言所構成，許多都沒有特定的結構。這些文字資料的來源，反映在日常生活當中，網路社群媒體上的文章、新聞等。儘管它們看似雜亂，而且沒有一定的結構，但這些由自然語言構成的文字型資料中，一樣蘊藏著許多有價值的資訊。文字探勘的重點在於從非結構文字資料中找到有用的議題或情緒。文字探勘能有系統地識別、擷取、管理、整合與應用文字資料背後所隱藏的知識，儘管文意可能模糊，文意與背後隱藏的情緒可能完全相反或牴觸，加上有拼字寫法錯誤，或者翻譯品質不佳等問題，但文字探勘技術的進步與搜尋引擎的崛起，還是能在文字探勘中，做出文章的情緒與意見探勘 (Tan, et al., 1999)。
- (2) 改善安全執法：近年來，大數據也廣泛應用在政府單位的執法過程，特別像是近年來中國對於攝影機的功能優化，使得人臉能夠進行辨識及追蹤，但相對的也引發了嚴重的個人隱私問題。除了隱私問題以外，這項技術確實也達成了一些正面的效應，例如：美國安全局透過類似的技術以及大數據的應用，進行恐怖主義的分析並進行應對、打擊等，或是透過應用大數據工具來捕捉罪犯、信用卡公司也能使用大數據工具來預防詐欺交易的行為等。
- (3) 增加運動表現：運動員進行訓練時，也開始應用大數據的分析技術，比如利用戴在運動員身上，或是運動器材上的傳感器技術，可以知道此運動員的運動表現、姿勢及角度，然後進行大數據分析以找出各種改善建議，來提升運動員更好的運動表現。而目前有許多的培養精英體育選手，或是各種體育機構、團體，也會追蹤更多細節的資訊，像是比賽的環境、運動員的成績表現，以及運動員的各種身體素質及賽外狀況或喜好，都納入大數據的參考價值之中，並加以分析及應用，或是分析競爭對手的動作及球路，都能增加比賽的勝率。
- (4) 提升機器設備性能：大數據分析可讓設備在應用上更加智能化，例如：Google 透過大數據工具研發 Google 自產的自駕汽車，並透過車子配有的相機、GPS 以及傳感器，將交通訊息回傳於大數據的資料數據庫，進而讓駕駛能夠更便利、更安全的駕駛。大數據也能用於機台損壞預測，蒐集機台訊號，分析機台損壞情況，提早對損壞機台進行維修，避免機台因嚴重損壞而停機，造成產線停擺，並確保設備性能。
- (5) 更加便利生活：大數據也可以應用於我們的日常生活，如民眾可用穿戴式裝

備，比如智能手錶或智能手環等所產生的數據資料，回傳至大數據雲端資料庫，以追蹤及分析自身身體狀況，方便民眾管理自身的熱量消耗、睡眠品質、壓力高低等，根據結果可以做出應對的對策。另外，例如政府單位可用來分析地區性的交通狀況以便進行道路的改善計畫，或是像透過大數據分析，交友軟體可以用來尋找屬於適合你的另一半等，都是屬於改善或提升民眾生活品質的大數據應用。

- (6) 促進醫療研究/科技進步：利用大數據分析的預測、計算，可以在幾分鐘，甚至幾秒鐘內，使整個 DNA 解碼，且可以立刻訂定出最好的方案來做治療。另外，我們也可以透過大數據，去更好的了解及預測各種不同的疾病發生，甚至可以幫助病人的病情進行適合、更確實的治療；而現階段許多醫院、研究機構都已經開始利用大數據技術，來做這個領域的研究與測試。例如醫院應用於關注早產嬰兒和患病嬰兒身體狀況，藉由收集嬰兒的心跳數據，分析結果可以讓醫生針對嬰兒的身體可能出現的不適症狀做出預測，以利進行後續應對。
- (7) 改善業務流程：除了上述提到的分析使用者喜好，大數據也能為企業、公司優化整套業務流程（SOP），減少更多的成本，精確地找出有效率的工作或業務模式。常見的例如公司內部的工作流程優化、網路數據的連結、物流業的配送路線優化、人力資源的管理及招聘分析等，都是大數據應用於業務流程優化的常見應用範圍。
- (8) 更加理解客戶需求：利用大數據分析顧客喜好及行為，針對不同消費者給予不同的廣告宣傳，許多公司及企業可以善用本身的大量客戶所衍生出的數據資料，或是透過數據公司的資料，進行大數據的管理及應用，更好的理解客戶以及客戶們的愛好與購買行為，進而分析客戶並找出更好的應對策略。
- (9) 促進智慧生產：在工業 4.0 時代，這些生產系統需要通過適應大數據處理、物聯網（IoT）和人工智能（AI）等與智能工廠相關的系統技術來改進其功能。此外，要求產品質量監控系統在其行為特性中具有智能功能（Shin & Park, 2019）。例如在其操作特性中具有自識別、自重構和自適應機制，以面對不斷變化的製造過程環境，並提供製造端最大效益及逐漸達到產品零缺陷的目標（Shin & Park, 2019）。其中智能製造中人工智慧模型的選擇也是重要一環，如果訓練資料與測試資料分布較不一致，模型的採取將是一大考驗，結果顯示，非監督式模型的準確度遠遠大於監督式模型，因此無監督式模型較能適應資料分布不一致的問題。

2. 「大數據在生產系統分析與應用」之未來研究方向建議

大數據（Big Data）難以透過傳統的資訊技術和分析方法處理和分析，因此，新一代的技術和系統結構，透過大量取得、搜尋或分析大量的資料以尋求解決方案。大數據主要的特徵分為三個方面（3Vs），可以用 3Vs 定義大數據的三個特性：量（Volume，資料大小）、速（Velocity，資料輸入輸出速度，資料樣態變化速度）與多變（Variety，資料多樣性）。此外，大數據的特徵也可以擴大至五個 Vs，即量、速、多樣、價值及真實性，此定義被廣泛認可，因此突顯出大數據的必要性（Hashem et al., 2015）。Tang et al. (2022) 整理了大數據於預測研究的相關文獻。

全球政府與產業均戮力推動「工業 4.0 與智慧製造」，藉此維持其競爭優勢。雲端計算（Cloud Computing）、物聯網（Internet of Things, IoT）、機器人（Robotics）、擴增虛擬實境（Augmented Virtual Reality）等資通訊技術快速發展，使得生產相關活動的資料可以被大量且快速的蒐集與儲存，大數據技術因此成為資料增值與應用的重要關鍵。工業 4.0 之精神乃基於將物聯網和服務化概念引入製造系統，從而實現縱向和橫向一體化的智慧生產產品、流程、與系統。由此產生的智慧工廠能夠滿足動態客戶需求，在小

批量、動態批量中具有高可變性與生產彈性，同時整合了人類的創造力與機器高度自動化 (Thoben et al., 2017) 之優勢以實現未來工廠之願景。

基於上述背景，就「大數據在生產系統分析與應用」，本文延續前三年之國科會(原科技部)工程技術研究發展司 2017-2019 工業工程與管理學門規劃報告(2019)，推薦以下六類主題，作為研究方向：

- (1) 大數據為基之供應鏈風險管理：：供應鏈的特性包含環環相扣、最小化整體系統成本(全球搜尋)與管理不確定性及風險。天然災害與 COVID 疾病的發生、民主與共產國家的對峙，使得供應鏈斷鏈，對企業造成巨大的損失，甚至全球供應鏈管理典範也都變得脆弱。即時生產系統、精實供應鏈、精實最佳化、這些典範生產策略，也增加生產斷鏈的風險。回應性為利用原來網路結構以因應短期的供應、產能及需求的變化。回復性需要能夠充分掌握供應鏈的資訊，並且進行快速且有效的分析與資訊回饋。因此，應用大數據技術預防與解決供應鏈風險，能夠成為供應鏈風險管理有效的機制。關於應用大數據於供應鏈風險管理的文獻，可參閱 Vieira et al. (2020)。
- (2) 大數據為基之生產資源整合與規劃：將 IoT 延伸為透過網路型式連結 People, Process, Data, and Things，稱為 IoE (Internet of Everything)。IoE 所包含的連結可以包含 Machine-to-Machine (M2M)、Machine-to-Person (M2P)、Person-to-Person (P2P)，而以生產資源的角度而言，可以視為員工、製程、資料與 IoT 彼此之間的連結。若能運用 IoE 的架構，描繪生產系統所蒐集與儲存的大數據，進而分析應用以網路型式連結生產系統的員工、製程、資料與 IoT，可以更有效地整合生產資源，進而規劃具有效率且安全的生產系統。
- (3) 大數據為基之研發規劃與管理：供應鏈管理近年來也強調與研發鏈 (Development Chain) 整合，而研發鏈涵蓋新產品導入的整個過程，包含產品設計階段、生產產能、製程知識庫、生產決策支援系統與生產計畫 (Simchi-Levi et al., 2008)。供應鏈與研發鏈必須緊密整合，而其整合必須透過二者的資訊分享，並且產品設計需要深慮使用者觀察與體驗，也需要整合跨部門不同步之研發產出。應用大數據技術整合供應鏈與研發鏈的跨部門/公司不同步且分散式的異質資料，進而創就新穎設計，可以思考為產品研發規劃與管理的研究趨勢。
- (4) 大數據為基之產銷需求預測與規劃：傳統產銷需求預測的方法著重於分析結構化的顧客需求資料，然而，隨著 IoT、機器人、擴增虛擬實境等資通訊技術發展，企業可以蒐集與儲存更多的顧客行為資料，這類資料往往是非結構化的資料。應用大數據處理隱晦的顧客需求之結構化與非結構化資料，更能夠掌握顧客偏好，以獲得更準確與更即時的產銷需求預測。
- (5) 大數據為基之作業流程改善：在生產系統蒐集與儲存大數據相關資料的情況下，以大數據驅動分析，針對社會關注議題，進行流程改善分析與提出製程改善方案，可以思考為生產系統未來推動重點方向。例如：食品產銷大數據整合與應用，食品安全議題是近年來社會關注的重點，而產銷履歷的建置則更為迫切，確實掌握食品供應鏈的過程，進而確保食品安全。除了仰賴低溫供應鏈技術與管理，亦可以透過整合食品生產與銷售的履歷追蹤與回溯來達成。例如：以大數據驅動能源配置與管理，隨著全球暖化與環境動態的改變，能源與永續發展的問題已成為學者與企業重視的研究問題，而能源的永續管理包含永續與負責之供應鏈管理、再生能源管理、智慧電網、綠能交通等開源、監控、節流、轉換互補之議題。
- (6) 大數據為基之生產系統最佳化：使用最佳化方法有助生產管理系統的效能。

未經精煉之大數據應用最佳化運算雜亂無序，並因大規模問題導致收斂速度慢。如何經由數據精煉化、型態比對、預測與診斷四個層次，萃取大數據中潛藏的企業最佳實務與企業規則，再導入最佳化目標與限制建模，將有機會實現大數據為基之生產系統最佳化。

4.3.5 物聯網

在疫情與美中貿易衝突後，全球逐漸形成各自獨立又合作的製造中心，工業物聯網身為關鍵基礎設施，將是製造業轉型需面對的首要步驟 (Howie, 2022)。物聯網 (Internet of Things, IoT) 近年來發展漸趨成熟，其背後原因有二：一、部署成本以及運營成本降低，二、IoT 部署以及營運容易度上升。首先是 IoT 感測器的成本、儲存成本、電晶體及網路成本大幅降低，驅動了越來越多的業者發展 IoT 技術使其更加的成熟。而部署 IoT 變得更加容易、分析相關數據變得更簡單，也驅動了其他層面的應用，像是雲端技術、邊緣運算的發展 (OOSGA 策略顧問公司，無日期)。

如今，物聯網已經進入智慧家庭，並越來越多地進入智慧城市領域。創新的商業和工業物聯網 (Industrial Internet of Things, IIoT) 應用正在推動企業向前發展，從零售到醫療保健，從能源到製造業，各行各業都在利用物聯網的價值來提高生產率、可持續性和營運安全性 (Daniel, 2022)。物聯網在製造業的應用同樣也迅速地蔓延開來。在工業物聯網中，機器可以與其他機器、物體、環境和基礎設施等進行互動和溝通，以新的方式連結、監控、分析和實際運用資料，透過大量資料的搜集與機器對機器 (M2M) 的溝通，將包含人機介面 (HMI)、監控和資料採集 (SCADA) 系統、分散式控制系統 (DCS) 和可程式化邏輯控制器 (PLC) 的 OT 與 IT 整合在一塊，形成製造業者轉型的重要底層架構。疫情爆發更強化製造業使用工業物聯網平台的動機，包含在不派遣維修團隊出國情況下進行跨國工廠遠距監測、設備的預測性維護需求、即時性資料搜集與分析、戰情室建立應對突發狀況等。在以雲端為基礎的工業物聯網平台上，單一廠商或設備的資訊可快速上傳至中央平台，這使得許多在廠內的活動搬遷至雲上，大幅提高遠距資料處理的能力 (Howie, 2022)。

由於工業物聯網是根據產業實際應用架設，一旦與現實不符合，或經濟性誘因不足，並不容易產生擴散效果，以複製到其他應用場域。雖然雲端、感測器、網路通訊等單元技術逐漸成熟，然尚有若干重點與整合性議題未獲得全面解決，特別適合工業工程專業之投入，例如：分散式製造環境下之最佳化模式、智慧代理人之溝通協商機制、製造系統稀少案例之機器學習模型、物聯網與算力平衡技術之整合、物聯網與人機介面技術之整合、物聯網與智慧戰情室技術之整合、物聯網與感測技術/及時數據之整合、工業物聯網導入之經濟模式等領域知識，亟待開發。相關工業物聯網的文獻可參考 Zhao et al. (2022) 與 Kumar et al. (2022)。

4.3.6 數位轉型

工業 4.0 一詞最早出現在 2011 年的漢諾威工業博覽會 (Hannover Fair)，其以智慧製造為主導。在工業 4.0 概念提出之前，有三次不同工業革命的發展階段。第一次工業革命 (1750 年—1850 年)：屬於機械化時代，利用蒸汽動力帶動機械化生產；第二次工業革命 (1870 年—1914 年)：為電氣化時代，大量運用電器動力帶動自動化生產；第三次工業革命 (1970 年—2010 年)：進化至資訊化時代，使用眾多電子裝置及資

訊技術來帶動數位化生產。在第四次工業革命(2011年一至今),則是利用物聯網型態,建構出一個有智慧型意識的產業世界,發展具備有適應性、資源效率、人機協同工程的智慧型工廠,以貫穿供應鏈夥伴作業流程及企業價值流程,創造產品服務化與客製化的供應能力之產業經濟創新(Wikipedia-Fourth Industrial Revolution)。

Gartner 報告(Gartner, 2021)提出了 2022 年重要的策略科技發展趨勢包括:自動化系統(Autonomic Systems)、AI 工程化(AI Engineering)、決策智能(Decision Intelligence, DI)、生成式 AI(Generative Artificial Intelligence)、雲原生平台(Cloud-Native Platform, CNPs)、數據管理架構(Data Fabric)、分布式企業(Distributed Enterprise)、組裝式應用程式(Composable Applications)、超級自動化(Hyperautomation)、隱私增強計算(Privacy-Enhancing Computation, PEC)、網絡安全網絡(Cybersecurity Mesh)、全面體驗(Total Experience, TX)等科技。

為打造有效率之智慧自動化工廠及兼具產品服務化、客製化能力之全球運籌競爭能力,許多企業以工業 4.0 型態為基底,透過數位轉型發展,來優化傳統供應鏈的串聯合作模式以及強化企業對於巨量資料的分析處理與運用能力,進而轉態成數位供應鏈型態。近年來,由於 Covid-19 肺炎的爆發造成了供給與需求不確定性,且擾亂了全球供應鏈作業,導致交貨延遲和貨物短缺(Tietze et al., 2020)。例如,由於肺炎疫情的封鎖,中國部分富士康工廠被迫關閉,導致蘋果公司推遲向市場釋出新商品(Xu et al., 2020)。為了減輕 Covid-19 肺炎疫情對運營的負面影響,公司必須最佳化其供應鏈,以確保在一定水準下的安全庫存並實現準時交貨(Choi, 2021)。由於數位技術是一種較新的資訊科技技術,可以幫助企業實現公司內部的資訊透明度,讓因新冠肺炎而無法出勤的員工可在家工作,同時預測市場潛在風險及減少需求之不確定性,這讓許多企業正在整個供應鏈中積極部署各種數位技術之資產(Ivanov et al., 2019; Ivanov, 2020; McKinsey, 2020)。如何透過數位轉型發展成數位供應鏈型態,以下有五個建議之未來推動重點方向:

1. 永續供應鏈
2. 智慧物流
3. 共享經濟
4. 大數據資料分析與應用
5. 物聯網

在當今競爭激烈的商業環境中,工業 4.0 之數位轉型技術、永續供應鏈和通路協調越趨重要,這也都可包含於永續供應鏈議題中。以下分別針對這些研究方向作簡要介紹。

對供應鏈之環境、社會與企業管理(Environmental, social, and corporate governance, ESG)、企業社會責任(Corporate social responsibility, CSR)概念影響:在當今的商業環境中,永續性在供應鏈中越來越重要。除了經濟問題外,供應鏈還應採取一些行動,以保護環境和社會資源。自利益相關者理論演變以來,商業可持續性已成為一個流行的概念(Freeman, 1983)。該概念已從世界環境與發展委員會(1987),對可持續發展的單純定義演變為考慮到千禧一代需求的那種發展,同時保留了 Z 世代,發展到企業社會責任的概念。因此,在現今時代企業社會責任的重要性不可被忽視。然而,一些行業特別是煉油廠和製造業,由於其排放量和資源消耗模式,在氣候變化、全球暖化和環境惡化方面發揮著巨大的影響。迫切需要協調一致的政策和行動,以盡量減少過度使用自然資源對環境造成的有害影響。根據以上描述,除供應鏈全球化之外,ESG 為近期企業所重視的一種營運、評分指標,符合 ESG 標準的企業能促進永續發展,為環境、社會、經濟帶來正面效益,並且滿足利益相關者的許多需求及實踐企業的社會責任。而供應鏈如何透過 ESG 概念達成永續性供應鏈及符合社會期望的企業社會責任,可供研

究學者做發想 (Pivo, 2008; Kluza et al., 2021; Wong et al., 2021)。

在工業 4.0 的背景下，供應鏈的協調對保持永續性尤為重要。其技術和數位化可簡化企業之間垂直和水平的合作。例如：透過供應鏈之間的資訊分享或協調合約來平衡供應鏈成員之間的相關作業、協調損益平衡以達到雙贏 (World Economic Forum, 2017)。供應鏈數位轉型有助於提高預測性維護活動的效率，以降低產品開發成本、改善採購流程，並加強產品客製化能力，進而降低生產的總成本 (Kamble et al., 2022)。例如：透過數位雙生 (Digital Twin) 此顛覆性技術 (Disruptive Technologies) 整合虛擬和實體的持續性系統，在穩定製造運作流程具相當大的潛力，因為其數據豐富的环境有助於對製造過程進行即時監控、模擬和預測製造過程，可讓工廠運作更加透明化以及優化製造過程、提升效率 (Cheng et al., 2018; Ding et al., 2019)。Bai et al. (2022) 利用區塊鏈技術來提升供應鏈透明度，解決了農業供應鏈中面臨缺乏社會責任感、環境績效不佳等諸多問題。他們的研究結果顯示，利用技術性、區塊鏈智能合約、區塊鏈安全、跟蹤產品零件可以良好地協助供應鏈管理者制定策略。

智慧物流是透過使用智慧技術和設施來全面感知與識別物流的所有環節，藉以做出最佳化的物流相關服務決策。智慧物流是發展跨公司或跨行業運輸網路物流和資訊高效組織的關鍵手段，是現代物流發展的必然趨勢。以下提供了幾個智能物流的研究方向供學者參考：

1. 有效提高智慧物流效率：現有研究涵蓋了許多應用於物流的智慧技術，如自主控制 (Windt et al., 2007)、雲端計算 (Gregor et al., 2017)、工業控制產品智慧 (McFarlane et al., 2013)、智慧運輸系統 (Montreuil et al., 2011)、自組織物流 (Bartholdi et al., 2010)、數據分析 (Chen et al., 2021; Govindan et al., 2018) 和物聯網 (Ding et al., 2020; Liu et al., 2021) 等技術研究，而這些研究大多著重於技術創新如何提高物流系統的效率，但這些智慧技術能否確實為傳統物流提高效率或是降低成本嗎？還是保持原樣貌會較佳？這些議題值得供學者做深入探討。
2. 智慧物流實際應用：Liu et al. (2019) 指出為智慧車輛和物流任務提出及時資訊驅動的動態最佳化策略，此策略有助於降低物流成本，降低油耗，並提高車輛利用率。Guo et al. (2020) 提出了一種自我適應協同控制模式，智慧生產物流系統可以從中提高智慧、靈活性和彈性的能力。

共享經濟透過去中介化、將閒置資源再分配利用和提高生產力。在網路社群與行動裝置的助力下，加速共享經濟的發展，使供應商和客戶之間的界限正在模糊和瓦解，因共享經濟使每個人都能夠扮演這兩個角色，但也因客戶和供應商有不同的目標，經常會有相互衝突的情況發生，所以如何做到兩者之間「最佳化資源分配」，可供學者為研究議題 (Hu et al., 2019)。

大數據資料分析能力於供應鏈中常是指公司能具有識別品質問題、設定最佳定價、追蹤盈利客戶及使用大數據資料工具管理最低庫存的能力 (Akter et al., 2016)。在多數文獻中，大數據資料被確定為能幫助決策者準確規劃和執行發展活動並提高供應鏈績效的創新工具。因此，大數據資料分析能力在實現供應鏈創新和穩定供應鏈績效方面的作用至關重要。使用大數據資料工具能使組織做出更正確的決定，增強創新並減少供應鏈運營的不確定性 (Wamba et al., 2015; Akter et al., 2016; Snapp, 2017; Lai et al., 2018; Yu et al., 2021)。

其中大數據資料分析之可追溯性可以供學者作為未來研究的方向。可追溯性是指識別和追蹤產品、材料和服務的歷史紀錄、配銷和位置的能力。多年來，可追溯性在各機構已被要求在某些部門實施。運用大數據分析去追溯產品與服務，是否可以更能掌握供應鏈廠商甚至是下游消費者？以及該如何提升或擴大應用範圍 (Manal et al., 2022)。Cobanoglu et al. (2022) 提供了許多有關大數據的未來研究之方向。如：他們建

議，由於自然語言處理和關聯規則學習很少被使用在供應鏈管理相關的數據分析，未來研究應側重朝數據分析技術的使用和整合框架。又例如：大部分的供應鏈管理或數據分析都是針對組織績效，鮮少有針對員工層面的研究，由於供應鏈本質是跨組織的，未來的研究方向可以朝如何從跨組織的角度研究數據分析之商業價值來著手。

在工業 4.0 發展過程中，物聯網技術被用於各個領域，下列幾個方向供學者參考：

1. 全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)：透過將 GPS 對應系統與企業資源規劃系統聯絡起來，可促進物流排程。此使用方式可促使供應鏈整體作業相關訊息之透明度提升，讓決策者的效率提高、增進運輸能力及達到城市地區的運輸最佳化 (He et al., 2009)。由於在物流運輸過程中，難以確定運輸所走的路徑，以至於物聯網設備受到了人為干預。Gul & Paul (2023) 提出了一種利用區塊鏈和智慧合約的解決方案，使用 GPS 的數據來建立可信任的路徑和營業場所，以減少物流過程中的人為干預。
2. 車輛遠端訊息處理：車輛技術供應商的日益使用，透過及時的共同資訊，可確保於車輛維修、車輛診斷、駕駛員管理、燃料管理、安全和健康管理以及車隊管理上獲得更有效率的管理 (Dubois et al., 2002)。Menon et al. (2022) 透過先前開創的智慧事故預知系統並結合 Google Assistant，在汽車裡安裝了許多設備，用來監控速度、距離、安全帶、門鎖、安全氣囊、手剎車等安全相關方面狀況。另外，透過物聯網實時數據，車子可以從先前的資料中得出檢測結果，以適應各種問題。

智慧感測器：溫度、衝擊和溼度感測器，可用於檢測環境和貨物狀況的變化。這些資料會與物聯網相互結合，可在供應鏈合作伙伴之間共享，在整個供應鏈運輸過程中，以確保維持貨物和材料的溫度、溼度和品質條件 (Bryman, 2014)。智慧物流系統的設計理念是持續追蹤貨物狀況，同時將數據發送到雲端，讓業主可以隨時透過數據進行質量檢查。一般會使用到的設備如：傳感器，它是一種半導體器件，連續感知周遭環境的變化，協助減少數據讀取錯誤及讀取數據所花費的時間；溫度感應器，可以協助監測蔬果類的溫度，並將數據發送給電腦；超聲波傳感器，其用來測量距離，確認貨品在被運送的過程中是否被移位、掉落導致損壞；LDR 傳感器，用來測量光的強度，避免蔬果過度暴露在光線下，在短時間內變質 (Aghil et al., 2022)。

第五章 作業研究與決策科學子學門

作業研究與決策科學是解決最佳化問題的方法，可視為兼具「科學」與「藝術」之學問——因為求解決策問題時涉及數學技巧與策略，所以是一種「科學」；但在建立模式之前與求解之後的執行則涉及決策者的創造力與個人能力，所以同時也是「藝術」。作業研究自 1940 年代發展以來，一直是跨領域、且在實務上被廣泛應用的學科，其方向一直隨著時代演進與產業需求而不斷地調整。由於資訊科技的蓬勃發展，新興的研究主題如雲端運算系統、(綠色) 供應鏈管理、全球運籌管理、知識管理及服務科學隨之興起，作業研究的應用範疇也因而繼續擴大。傳統作業研究的重心放在尋求解題方法，例如數學規劃等最佳化之研究；近年來因為電腦計算能力的提升，輔以平行運算與網格運算等技術，使得在過去屬於較耗時的運算方法，變得可以在合理的時間之內求解問題。此外，作業研究不斷地與其他學科進行結合，因此在追尋求解的新方法之外，如何面對各種產業問題，於合理的時間提出可行且品質穩定的方案，儼然成為更務實的做法。

自 1950 年代以來，許多先進國家已在大學講授作業研究課程，到了 1960 年代其發展更臻完善，許多大學（諸如 Harvard、Michigan、Stanford、UC Berkeley、Wisconsin、Purdue 等名校）專為它設立學系或研究所並授與學位；許多理、工、商科系並將作業研究列為必修、必選或選修課程。目前，許多大型企業也重視聘用有作業研究背景或訓練之人員，以從事各項業務之決策分析工作。國內作業研究與決策科學子學門的學者，除了強化自身研究能力之外，更應積極地擔負起提升國內企業競爭力的重責大任。德國柏林工業大學（TU Berlin）即為一例，其在工程與管理類的教學及研究上，強烈要求理論必須結合實務，或許是 TU Berlin 學校性質有類似科技大學的訴求，也或許因為德國企業環境供需使然，教授與學生皆樂於選擇「實務問題導向」的研究，此舉不僅使學生更容易了解實務問題，利於深入思索並提出確切的解決方案，而非流於空泛、抽象的描述。因為實質發揮產業合作的綜效，這可能也是業界願意提供高額研究經費予校方，而且多數博士生畢業後即被業界工作所吸納的主要原因，此點值得我們深思。有鑑於此，本子學門在進行研究方向之規劃時，期能更有效整合國內作業研究的資源。以下分別敘述本子學門的發展背景、國內外研究現況、未來發展方向與研究重點，以供本領域相關學者未來研究方向及政府在相關領域推展作業研究應用之參考。作業研究與決策科學子學門（E5026）將針對最佳化（Optimization）、網路分析（Network Analysis）、隨機模型（Stochastic Modeling）、決策分析（Decision Analysis）、柔性計算與啟發式演算法（Soft Computing and Heuristics）、人工智慧在工業工程與管理之應用（AI Applications for Industrial Engineering and Management）、排程與存貨系統（Scheduling and Inventory Systems）等七個研究專長與重點方向詳加說明。

5.1 作業研究與決策科學子學門簡介

作業研究與決策科學之興起可溯源至第二次世界大戰前夕，1937 年英國正面臨德國空軍連番大規模的空襲，故如何確保英倫三島免受德國空軍轟炸的蹂躪，防空戰略就成為當時英國國防最急迫確立之決策。此時一些本來從事自然科學研究的科學家與工程師，體認國家安危，轉而研究作戰活動及戰術運用問題，同時提出一份研究報告，將每次空戰英軍出動戰機數和戰損機數統計資料加以分析，利用統計迴歸方法，預測未來戰機之戰損數量會隨著每次出動戰機數成正比，此結果呈報決策單位後，受到皇家空軍及邱吉爾首相的讚賞，並駁回法國請求再派戰機增援的決定。歷史證明，這個決策對於日後英倫三島保衛戰產生極大的貢獻，這群科學家可說是作業研究與決策科學

之鼻祖。至今雖然戰略（戰術）觀念隨著時代的演進，但「軍事作業研究」對國防與國家安全依然扮演舉足輕重的角色，針對現代「軍事作業研究」文後將重新進行詮釋與註解。

由於作業研究與決策科學在軍事上獲得顯著成功，促使工商界對此新領域逐漸感到興趣，在二次大戰後，便將作業研究方法廣泛應用在工商界及政府機構。1947年，George B. Dantzig 發明了單體法（Simplex Method），專門用以求解線性規劃（Linear Programming）。接著在 1950 年代，作業研究與決策科學中的許多建立模式重要的技巧，如動態規劃（Dynamic Programming）、等候理論（Queuing Theory）等先後發展成形。

隨後作業研究與決策科學不僅持續應用在軍事領域中，也處理了包含工業、商業、政府、防災中的調度和管理程序，採用科學的方法探討人員、機器、原料和資金而產生的複雜問題。因此作業研究也陸續作為產業界及科技界分析、解決問題的思維方法，並結合實務經驗，使得效益更加彰顯。自此決策者就將所經歷的各種問題，相繼應用在政府及企業面對的各個領域中，因此作業研究的發展更加迅速。利用作業研究與決策科學思維，衍生出系統分析、系統工程、作業系統、工業工程、工程經濟及財務投資等學術專業領域，雖然這些名稱之間有所區別，但其涵義均是作業研究與決策科學觀念之延伸。

到了 1960 年代初期，電腦科技的進步帶來高速計算的能力，激勵作業研究與決策科學學者希望藉著電腦計算效能的提升，使得作業研究與決策科學分析與求解的技術，在產業界的實用性顯著地提高。但是當時電腦設備價格昂貴，截至 1980 年代作業研究的應用，因為計算成本過高而產生瓶頸。因此儘管當時在學術界作業研究的理論研究有持續性的進展，但產生作業研究與決策科學無法實際解決當代企業界問題的扭曲認知。

在 1980 年代之後，因為個人電腦的普及化及晶片製造技術的快速演進，不僅使得計算成本巨幅地降低，而且甚至中小型企業也可以透過個人電腦運用作業研究與決策科學分析與求解的技術，因此作業研究與決策科學的應用再度普及。許多調查報告與期刊論文顯示，作業研究的影響在過去 30 年之間持續增加，美國著名的《錢》（Money）雜誌也認為作業研究是就業職缺數成長最快的領域之一。

在現今 21 世紀，拜資訊技術持續成長所賜，作業研究與決策科學的應用持續蓬勃成長，主要是企業對於作業研究與決策科學運用迫切的需要，包括計算能力的增強、資料取得的便利、軟體的快速發展、人力素質的提高，再加上企業對品質及公司績效的要求，如全面品質管理（Total Quality Management, TQM）、供應鏈管理（Supply Chain Management, SCM）、企業流程再造（Business Process Reengineering, BPR）、精實六標準差（Lean Six Sigma）以及系統性創新（TRIZ）理論等，這些都已經成為提升企業競爭力的工具，迫使公司重新思考他們的經營方針與競爭策略。

5.2 作業研究與決策科學子學門研究專長與重點方向

本節整理並介紹作業研究國內外近年研究的方向與重點，後續再提出未來研究方向的建議。世界上最早成立作業研究學會的國家是英國（1948 年），接著是美國（1952 年）、法國（1956 年）、日本和印度（1957 年）等。到 1986 年為止，國際上已有 38 個國家和地區建立了作業研究學會或類似的組織。1959 年英、美、法三國的作業研究學會發起成立了「國際作業研究聯合會」（International Federation of Operations Research Societies, IFORS），之後各國的作業研究協會紛紛加入，目前已有四十多個團體會員，是國際作業研究組織中規模最大者。

此外還有一些地區性組織，如歐洲作業研究協會（Association of European

Operations Research, EURO) 成立於 1976 年；亞洲地區在 1985 年亦成立了「亞太作業研究學會」(Asia-Pacific Operations Research Societies, APORS)；中國大陸、日本、韓國、香港、新加坡等國家或地區，都已成立作業研究學會，隨後更加入 IFORS 國際性組織。原美國作業研究學會 (Operations Research Society, ORSA) 與管理科學學會 (The Institute of Management Science, TIMS) 亦是國際間學術活動相當活躍的組織，已於 1995 年合併成立「作業研究與管理科學學會」(Institute of Operations Research and Management Sciences, INFORMS)。而國內目前的相關組織為於 2003 年成立的 INFORMS 台灣分會(Taiwan Chapter), 以及同年成立的「台灣作業研究學會」(Operations Research Society of Taiwan, ORSTW)。

美國作業研究學會過去每隔五年的問卷調查均顯示，學術界在教學上認為最重要的作業研究技術有數學規劃、模擬學、統計方法、隨機過程、決策分析等，再加上電腦技術的快速進步，延伸出最佳化軟體、決策支援系統、線上模擬分析、各式決策模型等的應用，使得作業研究在管理的應用上，變得更為方便、有效。

作業研究與決策科學發展至今所涉及的研究領域，已由原本的製造業、軍事工業，擴展至服務業、金融業，近年來更朝向醫療業發展。研究文獻上記載了許多作業研究相關理論與技術解決之實際問題，不論是已解決或是有待解決者，都顯示了作業研究的實用性，近年來相關實務應用彙整如下：

1. 運輸物流業 (Transportation Logistics)：運輸物流業面臨到運輸路徑、車隊排程與包裹運送問題，藉由作業研究中網路分析的相關理論，應用服務網路設計 (Service Network Design) 加以分析，包含策略性的設施區位問題 (Facility Location Problem)，以及營運面的車輛途程問題 (Vehicle Routing Problem)，得以降低營運成本與增加收益。近來又因歐盟對電子電器品回收 (WEEE) 的要求，逆向物流等回收機制相關課題因應而生。
2. 貨櫃港口運籌作業 (Container Terminals Operations)：對以海運為大宗運輸的我國而言，可藉探討貨櫃場存放佈置、貨櫃進出場順序、裝卸船排程、岸邊佈置、及週邊運輸工具整體配合之研究，強化運作效能。香港的大學中工業工程相關科系特別強調海事作業的研究。最近，新加坡國立大學由工業與系統工程系及新加坡海運研究中心共同成立下一世代港口研究中心，針對港口運籌作業問題透過模式建立、模擬分析、及最佳化探討新港口及海運系統相關議題。
3. 製造業 (Manufacturing Industry)：製造業經常會遭遇的供應鏈計畫與生產排程問題，在文獻中已經有研究運用作業研究中的基因與螞蟻演算法 (Genetic & Ant-Colony Algorithms) 可以得到績效良好的供應鏈與生產系統運籌的決策，這些方法是近年來發展出的啟發式演算法，說明這些啟發式解法之特性與進步水準已逐漸適用於現代的工業界。
4. 汽車工業 (Automobile Industry)：在汽車工業已經有相當多作業研究應用的案例，例如寶獅雪鐵龍集團 (PSA Peugeot Citroen) 欲改善車體的生產流程，運用作業研究技術相關的模擬學與馬可夫鏈模式 (Simulation & Markov Chain Models of Series-Parallel Systems)，使得該公司投入最小資本額，又能達到改善產量的目標，並且在 2001 年底有十三億美元的營收。
5. 航空業 (Airlines)：航空業最需要的就是一套有效處理突發狀況的人員安排準則，在遇到突發狀況時，如天氣變化、暴風雪、水災、恐怖攻擊、空中交通管制、機械問題、機師/組員罷工等，透過作業研究相關的決策支援系統 (Decision Support System) 進行人員的安排。
6. 醫療管理 (Health Care Management)：醫療院所的人力資源規劃、排班作業、存貨管理、及病歷管理等問題，都與作業研究與決策科學子學門的基礎理論相關，因此

可以將相關技術活用於醫療管理，並且持續以不斷創新研發之技術，進行醫療資源整合，期望能有效提升醫療產業整體服務品質。

7. 生物科技 (Biotechnology): 台灣業界已有生技公司整合生物資訊資料庫、生物資訊分析與決策系統，以及量產規劃等技術，推出國內第一套生物資訊解決方案 (Bioinformation Solution)，協助國內產業及研究單位，運用生物資訊學 (Bioinformatics) 克服規劃及實作的障礙，順利完成實驗設計或生產線之建立，能夠給予產業界實務上的協助。
8. 服務科學 (Service Science): 服務科學是 IBM 在 2006 年所發展的一種跨學科領域整合，其目的是將作業研究、工業工程、資訊科學、商業策略、管理科學、社會與認知科學、法律科學的研究整合，發展服務經濟時代所需的技能。目前服務科學仍是由大學院校主導，而大學與產業的目標未必一致。服務工程多半由應用研究機構主導，發展出的方法較能被顧問公司採用並協助移轉給廠商，或由廠商直接採用。

事實上過去數十年，作業研究領域發展了許多理論模型與有效的解題方法，著名期刊亦以刊登這些有嚴謹數學結構的論文為主。因此，作業研究給人的印象往往僅止於「個別單一規劃技術的集合」。事實上，作業研究係以組織內管理問題為思考對象，它強調的是跨學域的團隊合作、系統的思考方式、資訊及組織決策程序的整合與改進。換言之，作業研究的發展應以組織應用為目標，解決實務問題為導向，而非僅是方法的高深。

彙整近期的研究方向與重點，主要以作業研究之最佳化 (Optimization) 理論為主軸，探討未來理論性及應用性研究之可行方向及近期發展趨勢，包括網路分析 (Network Analysis)、隨機模型 (Stochastic Modeling)、決策分析 (Decision Analysis)、柔性計算與啟發式演算法 (Soft Computing and Heuristics)、人工智慧在工業工程與管理之應用 (AI Applications for Industrial Engineering and Management)、排程與存貨系統 (Scheduling and Inventory Systems) 等。

因此，作業研究已不僅僅侷限於工程與管理上的應用，而是逐漸將觸角深入其他更廣泛的應用領域，迫切需要學者們整合其他應用的領域或是產業，導入新知並推陳出新，如此作業研究的未來發展將指日可待。由上述的研究方向與重點看來，除了致力於演算方法的開發之外，本學門的研究逐漸朝向理論與實務並重發展，也期望學校教育能與實務結合，結合國際趨勢的潮流。國內研究方面，在國科會 (原科技部) 補助之研究計畫中，屬於作業研究模型建構或演算方法者占有相當的比例，但是國內從事作業研究的學者較為缺乏橫向聯繫與整合，若能彌補這方面缺憾，且抱持積極態度依重點研究方向發展，將會對社會及學門有更顯著的貢獻。未來期待藉由學術界提供業界最新、最有效的研究方法論，協助其解決實務問題，建立以決策技術進行產學協同與橋接的基礎，達到發掘學術研究新興議題與改進產業決策協助發展的雙贏局面。

5.2.1 網路分析與可靠度

網路係指一具有特定拓樸之系統，其組成元件包含多個節點 (Node) 與多個傳輸邊 (Arc) 所構成。在真實世界中，網路上的每個元件 (傳輸邊或節點) 可能由於全部失效、部分失效或維修保養等因素，使得各元件之產能 (Capacity) 具有多種狀態 (Multistate)，而由這些多種狀態元件所組成之網路則被稱為隨機流量網路 (Stochastic-Flow Network, SFN)。就實體網路而言，諸如：電腦系統中以傳輸邊表達光纖線路、節點表達路由器，則可視為一個電腦網路；物流系統中以傳輸邊表達配送路徑、節點表

達各區域物流中心，則可視為一個物流網路。相關的應用可進一步擴展到製造系統、通訊系統、電力系統、交通運輸系統等。除實體存在的系統架構外，無形的流程架構或加值程序亦可透過網路表達，應用範圍包含服務流程、企業流程管理、專案管理、企業資源規劃系統等。隨著近年來人工智慧、物聯網、大數據、雲端與邊緣計算、智慧製造的蓬勃發展，隨機流量網路更被應用在評估許多大型的複雜系統。例如於雲端與邊緣計算網路中，可透過拆解實體網路為邊緣計算子網路與雲端計算子網路，分別及整體評估其績效 (Huang et al., 2022)。再者，於智慧製造系統中，可採用隨機流量網路分別架構現場感知層、實體網路層、應用服務層，針對各層級與綜整績效進行評估。亦或是在複合式情境上，如災害救援可能同時涉及電力網路 (Lin et al., 2012; Xia et al., 2020) 與交通運輸系統被破壞，如何統整評估以利災情分析與快速修復，是應用隨機流量網路於實務戰情分析時之重點。

在進行隨機流量網路之分析時，大多採用最小路徑 (Minimal Path, MP) 或最小割集 (Minimal Cut, MC) 等兩種方法，以利進行系統之績效評估。其中，網路可靠度 (亦可稱之為系統可靠度，或於服務系統中可視為服務水準) 可作為主要績效指標之一，網路可靠度的定義為流量能夠由起點成功傳送至終點的機率值，可視為一網路滿足需求之績效指標。例如在電腦系統中，網路可靠度為資料可以成功地透過電腦網路從伺服器端傳送到需求端之機率，以滿足需求端所需之資料量；以物流系統而言，網路可靠度為貨物可以成功地透過物流網路從貨主端傳送到市場或客戶端之機率，以滿足市場端所需之貨物量。然而，在評估一個隨機流量網路之系統可靠度時，亦牽涉了集合與機率之運算，而這些集合與機率的運算，也就成了隨機流量網路中所需探討的重要議題之一。值得注意的是，隨著前述各種大型複雜系統的發展，網路架構、資料傳輸量、元件機率分配的取得，其數量與即時性需求已非傳統方法可解；在計算網路可靠度值上，以既有數學解析方式求解其效率亦不符合預期。因此，評估隨機流量可靠度必須在傳統架構上，考量最新技術與實務需求。

為完整架構隨機流量網路之可行發展與應用議題，以及近代技術如何增益隨機流量可靠度之評估，規劃以下五大子題供相關學者投入此一領域之研究：1. 尋找 MP 與 MC 之方法；2. 網路可靠度之計算；3. 集合與機率之運算；4. 實務應用與最佳化議題；5. 相關理論的限制與突破。

1. 尋找 MP 與 MC 之方法

就搜尋網路中 MP 或 MC 的方法而言，所謂的路徑 (Path) 指一組可以使起點與終點得以相互連結之傳輸邊集合；而 MP 係指其傳輸邊集合中除去任一條傳輸邊則不為一條路徑。所謂的割集 (Cut) 指一組可以使得起點與終點無法相互連結之傳輸邊集合；而 MC 係指其傳輸邊集合中除去任一條傳輸邊則不為一組割集。

要搜尋 MP 與 MC 之集合，必須 (或假設) 在網路中各元件為二階狀態 (Binary State) 的條件下進行。尋找 MP 與 MC 在作業研究領域的網路分析中，已被廣泛討論。而尋找 MP 與 MC 的方法不外乎採用直接列舉法 (Direct Enumeration) (Shen, 1995)、布林函數 (Boolean Algebra) 或集合論 (Set Theory) (Yeh, 2006) 等方式。其中亦不乏學者透過啟發試演算法尋找 MP (Al-Ghanim, 1999; Yeh, 2007)，或透過節點切割尋找 MC (Yeh, 2006)，以改善求解的複雜度與效率。而近年來亦有學者提出透過簡化網路拓樸的方式，找出重要傳輸邊以縮短尋找 MP 的時間 (Housni, 2019)；或是採用深度優先搜尋法 (Depth-First Search, DFS) 以減少搜尋時記憶體的使用量 (Zhu et al., 2019)。上述研究皆試圖提高求解的複雜度與效率。

由於 MP 與 MC 為大部分隨機流量網路模型分析之核心方法，因此如何正確、快速地找到所有的 MP 與 MC 為學者所努力的目標。此一議題的發展，更有賴數學家透過集合理論或拓樸學之方法，建立一套更有效率的機制來進行。

2. 網路可靠度之計算

可靠度為隨機流量網路的重要績效指標之一，傳統上求解可區分為兩大方向，一為利用數學模式計算精確值、二為透過模擬方法求解估計值。無論是使用數學模式或模擬方法，目前的相關研究已有眾多國內外學者前仆後繼地投入，並發展出一套成熟的邏輯與架構。除了以上兩種傳統模式，近年來更發展出以類神經網路等人工智慧方式，預測網路可靠度值 (Chen et al., 2021)。以下分別針對計算網路可靠度之精確解、估計解與人工智慧預測進行探討，並勾勒出未來可進行之研究議題。

(1) 可靠度精確值

利用數學模式求解可靠度精確值可歸納為三個步驟：(1) 尋找網路的 MP 或 MC；(2) 透過 MP 求算滿足需求的下界向量（稱之為 d -MP）；或透過 MC 求算不滿足需求的上界向量（稱之為 d -MC）；(3) 計算滿足 d -MP 以上的機率即為可靠度；或計算滿足 d -MC 以下的機率即為不可靠度（可靠度 = 1 - 不可靠度）。而上述的三個求解步驟，已有諸多學者鑽研於求解效率之提升；對於作業研究領域的學者，可朝求解模式的各步驟改善作為研究重點。

以 MP 或 MC 為基礎，過去已有許多研究提出演算法求得滿足需求的下界向量 (d -MP) 或透過 MC 求算不滿足需求的上界向量 (d -MC)。以 MP 為基礎，Lin et al. (1995) 提出了一套演算法，計算各路徑流量配置以滿足需求 d ，並透過轉換程序求得各傳輸邊所應提供的最小容量向量。以 MC 為基礎，Jane et al. (1993) 提出了一套簡單的演算法求解滿足需求 d 之上界向量，亦即在此上界向量以下之狀態皆無法滿足需求 d ，藉以求解網路之不可靠度。上述的方法皆假設節點是完美的 (Perfectly Reliable) 而不會失效。

後續研究更進一步考量網路中節點失效 (Node Failure) 之問題，透過將失效節點列舉於 MP 或 MC 的集合內，發展出新的演算法求解 d -MP 與 d -MC。而上述方法的最大限制，在於 MP 或 MC 必須事先求算或給定，然而這些求得 MP 或 MC 的方法已被證明為 NP-hard 問題 (Colbourn, 1987)。因此，亦有學者提出不需給定 MP 即可直接尋找 d -MP 之方法，使得網路可靠度的評估步驟更加精簡 (Yeh, 2008)。

而求解 d -MP 與 d -MC 方法，經由眾多學者的投入與努力下，也先後納入了預算限制 (Forghani-elahabad & Kagan, 2019)、時間限制 (Lin, 2003)、多商品 (Lin, 2007)、傳輸正確率 (Huang & Lin, 2012) 與維修保養 (Lin & Chang, 2012) 等因素與條件，亦有學者試圖以運算效率更佳的方式快速列舉 d -MP 以滿足不同需求水準 (Yeh, 2018)，使得網路可靠度的評估方法更臻於完善。然而，在面對真實系統時，仍有許多因素或混合因素必須考量，皆有賴各領域學者的投入，方得以使隨機流量網路模型盡善盡美。

(2) 可靠度估計值

利用模擬方法估計網路可靠度時，則是透過蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation) 隨機產生一組系統狀態，進而判定在此隨機狀態下需求是否能成功由起點傳遞至終點。反覆產生系統狀態與判定，將傳送成功與失敗的次數累積統計後，即可估計網路可靠度（可靠度 = 成功次數 / 總實驗次數）(Ramirez-Marquez & Coit, 2005 & 2007)。

上述所提模擬方法 (Ramirez-Marquez & Coit, 2005) 需在已知 d -MC 之條件下方可執行，近年來亦有學者將前述數學模式所求得之 d -MP 視作門檻 (Threshold) 與模擬出之系統狀態相比較，若系統狀態優於門檻則記錄為成功 (Lin et al., 2013)。部分學者則透過模擬電腦系統中資料傳輸的過程，以評估不同時間點下資料行經位置與節點阻塞狀態，若資料能在時間限制內由起

點傳達至終點則記錄為成功 (Lin et al., 2012)。然而上述方法最大限制，在於必須已知 d -MP 或 d -MC 作為門檻方能執行。而尋找 d -MP 或 d -MC 本身是一個 NP-hard 的問題 (Bai et al., 2020)，因此雖然透過模擬方法估計網路可靠度其效率隨實驗次數呈線性，然前處理取得 d -MP 或 d -MC 仍是 NP-hard。最新研究已發展出在不需取得 d -MC 的前提之下，以 MC 為基礎之模擬方法 (Chang, 2022)，而該研究中也透過不同架構的大型網路驗證其效率與準確度優於傳統模擬結果 (Ramirez-Marquez & Coit, 2005 & 2007)。

透過模擬方法估計可靠度，其目標不外乎於模擬系統之品質；而品質則取決於「快速」、「準確」與「穩健」等要素。其中「快速」意指收斂程度、「準確」係指接近真實解；而模擬過程的「穩健」亦決定了一個模擬系統的優劣，表示此模擬系統變異之幅度。特別是對於有志投入於大型複雜系統之學者，在納入諸多真實條件於模擬系統之餘，模擬系統之品質時為一大挑戰。再者，不需 d -MC 的模擬方法雖已提出，仍有幾個可行方向仍待探索，包括不需 d -MP 的前提之下以 MP 為基礎進行模擬，甚至不需要 MP 與 MC。

(3) 人工智慧預測法

使用人工智慧(或更廣泛的機器學習)長久以來皆是估計網路可靠度的重要方法之一 (Muselli, 2004)。隨著近年來硬體計算能力增強與深度學習的廣泛運用，利用人工智慧預測網路可靠度在效率上已漸漸取代傳統精確值計算或模擬估計。例如：Davila-Frias & Yadav (2020) 提出一套以卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 為基礎的預測法，利用 CNN 特性以圖形描述網路拓樸，取代傳統以矩陣方式之模型；Zhou et al. (2022) 則提出以物理深度學習 (Physics-Informed Deep Learning, PIDL) 為基礎之方法估計含不確定性量化系統之可靠度。而相關的網路可靠度估計技術也被應用在製造系統上，如 Chen et al. (2021) 利用深度學習網路 (Deep Neural Network) 以預測大型製造網路的滿足生產需求之服務水準。

3. 集合與機率之計算前述透過 d -MP 或 d -MC 計算網路可靠度時，牽涉了各 d -MP(或 d -MC) 的集合運算，以及這些集合所相對應之機率值。在計算各集合的機率時，除了採取傳統統計學中的交集互斥法 (Inclusion-Exclusion Principle) (Hudson & Kapur, 1985; Xue, 1985) 外，亦包含了不相交事件法 (Disjoint-Event Method) (Hudson & Kapur, 1985; Yarlalagadda & Hershey, 1991)、狀態空間分解法 (State-Space Decomposition) (Aven, 1985; Alexopoulos, 1995) 和遞迴不交和法 (Recursive Sum of Disjoint Products, RSDP) (Zuo et al., 2007)。

其中，Jane & Lai (2008) 證明了狀態空間分解法所需求的執行時間與記憶體儲存空間較交集互斥法和不相交事件法為優。在 Zuo et al. (2007) 提出了 RSDP 演算法後，驗證了 RSDP 的計算效率遠優於狀態空間分解法。因此，RSDP 演算法已逐漸被採用於網路可靠度的計算上。而近年來，Bai et al. (2015) 將啟發式排序 (Ordering Heuristic) 概念加入 RSDP 演算法，進一步提升了網路可靠度計算上之效率。

雖然目前已存在諸多方法，可透過 d -MP 或 d -MC 計算網路可靠度 (本質上是 d -MP 或 d -MC 之集合計算)。然而，在面對大型複雜的網路時，仍難免有效率不佳、占用過多記憶體的問題存在。因此，改良既有方法或開創新的模式仍為隨機流量網路領域的努力目標，例如 RSDP 演算法即是從 SDP (Sum of Disjoint Products) 演算法改良而來、啟發式排序則進一步改善 RSDP 之效率。這些集合與機率之網路分析，則有賴數學家與統計學家之投入。

4. 實務應用與最佳化議題

本部分則針對隨機流量網路在實務應用上之案例，以及延伸的最佳化議題作為後

續可行研究之參考依據。亦即除了前述三項方法論外，隨機流量網路仍具有相當大的發展與應用性，值得跨領域學者的投入與貢獻。

(1) 實務應用議題

除了方法論研究之外，隨機流量網路之可靠度評估也逐漸被應用在許多領域，包括：資訊管理、生產管理、災害救援、電力管理、供應鏈管理與企業資源規劃等。藉由不同領域學者的研究與推廣，使得隨機流量網路與網路可靠度分析之方法論更貼近現實所需，也助益了此一領域研究發展之活絡與豐富性。

隨機流量網路已被廣泛地應用在許多真實系統，透過網路可靠度的探討，得以有效評估系統的產能狀態及需求達成率。而前述的不同理論議題，亦有多數發展是應運實務需求所生。其中最普遍的應用應當為電腦系統，包括：台灣學術網路 (Taiwan Academic Network, TANET)、台灣高等學術網路 (Taiwan Advanced Research and Education Network, TWAREN)、高級研究計劃署網路 (Advanced Research Projects Agency Network, ARPANET)、美國國家科學基金網路 (National Science Foundation Network, NSFNET)。在前述的電腦系統應用上，則主要採用以時間為基礎的隨機流量網路作為原型，並因應現實需求而納入成本、維修、正確率等限制式，使得理論模型得以契合實務需要。

在生產管理範疇，則有學者提出流量不守恆之製造網路模型，並應用於技術密集產業 (印刷電路板、觸控面板) 與勞力密集產業 (製鞋產業)，以及提出相對應之產線配置決策模型。供應鏈相關課題則針對多商品配送作為研究，包含了各類型電子產品配送系統之績效評估。未來研究則可進一步考量易腐性、易碎性之商品配送網路，並納入綠色供應鏈、逆物流等相關議題使得可靠度評估更貼近於目前世界趨勢。

不少學者也將隨機流量網路之應用推廣至電力系統，以解決電力傳輸線配置在考量建置成本與可靠度最佳化之多目標問題，作為電力網路基礎建設時的一大參考依據。此外，考量電力網路極容易受到天災 (尤其是颱風、地震) 而造成區域性的大規模破壞，因此亦有學者以相關性失效模型探討此議題。而上述的議題皆有本土學者 (或與國外學者合作)，致力於台灣電力網路之研究，亦實踐了本土化的深耕與貢獻。而相關性失效之研究在未來可擴大至交通運輸系統、物流配送系統、災害救援系統等應用，作為考量區域性破壞時之評估與決策依據。其中，針對災害救援系統亦是當前國家災害防救科技中心所關注之議題，而隨機流量網路可用以架構交通路網，並描述災害發生時所造成的不可預期性破壞，進一步透過網路可靠度作為救災可能性之績效評估。例如在高度隨機的災難後，災後需求可能會隨著交通路網的中斷而面臨挑戰，而各式救災物品如水、食物、醫療用品和救生設備等 (Chang et al., 2022)，自然而然形成救援系統內的多商品配送問題 (Lin, 2007)。而過往研究中針對系統的備援/冗餘件配置，則可進一步增益災害救援系統的可靠度，在災害防救中扮演新的角色 (Yeh & Fiondella, 2017; Yeh et al., 2022)。

(2) 最佳化議題

結合柔性計算方法於網路可靠度最佳化議題，係指針對各種不同型態之隨機流量網路，求解能使得可靠度值最佳之資源配置 (Lin & Yeh, 2012; Yeh, 2019; Lin et al., 2019; Zhou et al., 2021)。其中「資源」一詞對於不同網路型態各有其定義。以電力網路而言，兩台發電機之間須透過傳輸線來輸送電力，則可將資源視為電力傳輸線；在物流網路當中，兩轉運站或兩城市之間須透過運輸商來運送貨物，亦即可將資源視為運輸商。一般言之，假設給定一網路架

構(亦即網路拓樸已知),並且有足夠數量的資源,如電力傳輸線、同軸電纜、光纖與運輸商等,且各資源之配置成本與可提供容量及其機率分配為已知,即可透過柔性計算方法決定出最佳之資源配置,使得在此資源配置下,不僅能滿足資源配置成本限制外,且使得網路可靠度最大。

除上述資源配置最佳化議題外,網路拓樸的最佳化設計(Zaheri et al., 2019; Nie et al., 2019; Lin et al., 2021)亦為長久以來的關注重點,例如在物流網路中,為了提升網路可靠度而考慮在既有的網路拓樸上新增一配送路徑,此時該配送路徑應如何設計方能使網路可靠度之提升達到最大,即為管理者所關切之議題。此外,管理者除期望網路可靠度達到最大之外,亦希冀成本花費上達到最小,例如在資源配置最佳化議題中,雖然可以找出具有可靠度最佳的資源配置,但相對而言有較高之成本,是否就以該組資源配置做為考量,尚需評估相對於投入成本所帶來的經濟效益,因而衍生成一多目標最佳化議題,類似的決策考量亦發生在網路拓樸最佳化設計議題中。

關於最佳化的議題首重求解之效率與品質。其中效率可透過網路可靠度的求解方法進行提升,包括:加快搜尋MP或MC之速度、改良d-MP或d-MC的求解演算法,以及提升機率運算之效率。而求解的品質則有賴柔性計算方法本身之改良,亦是在網路可靠度議題中值得探討的因素。

5. 流量守恆理論的限制與突破

前述的方法論或實務應用,在實際執行時上皆有個強烈的假設—「流量守恆(Flow Conservation Law)」,亦即自起點送出的數量必同等於終點所接收數量(Ford & Fulkerson, 1962)。然而在許多的實務應用上網路的流量未必守恆,以製造業為例:各機台皆有其產能與良率,在生產過程中會因機台本身的良率影響而出現不良品,所以會有報廢或重工之情形。由於報廢的關係,必然導致投入(原料)與實際產出(成品)流量不同的情況,違反了傳統網路可靠度問題的「流量守恆」基本假設。為了將隨機流量網路應用至製造系統中,突破流量守恆定理之研究也應運而生。而未來的研究可擴及至包含:物流系統的商品損(腐)壞率、資訊系統的封包遺失率與電力傳輸衰退率等議題,打造符合特定系統之「流量不守恆」網路模型,以及對應的網路可靠度評估模式。

傳統隨機流量網路模型中,另一重要假設為「各元件產能狀態為統計獨立」。但在現實中網路之配置可能受天災或人為破壞,導致區域性的大規模失效,故將相關性失效(Correlated Failures)納入隨機流量網路模型有其必要性。目前已有部分研究探討隨機流量網路的局部相關性失效(即傳輸邊/節點內之各元件其失效具有相關性)、相鄰相關性失效(即傳輸邊/節點之失效會影響其相鄰傳輸邊/節點)與全域相關性失效(同時考量「局部」與「相鄰」之相關性失效)。此外,過去相關研究裡,各傳輸邊所能提供之多階狀態產能機率值是恆定不變的,或是時間的影響是可以被忽略的。即便已有許多隨機流量網路模型以時間作為限制條件(Lin et al., 2012),然在此類模型中依然是採用固定可靠度值描述傳輸邊成功機率。換言之,過往研究無法考量可靠度工程理論中,時間因素會使得傳輸邊乃至於網路可靠度衰退之影響(Chang, 2022)。因現行隨機流量網路可靠度模型多以特定時間下之固定成功機率值進行評估,然而在現實系統中此機率值因隨時間而異(如製造系統中工作站與機台之可靠度會隨運轉時間逐漸降低),因此未來研究可以網路可靠度為基礎,融入可靠度工程理論探究時間對網路可靠度之影響。

根據前述的說明,可知隨機流量網路在理論與應用上,可涵蓋諸多主題之研究。而方法論的精進,除了可使演算效率提升外,更能吸引非作業研究領域的學者提高探討

隨機流量網路之意願。特別是在人工智慧、物聯網、大數據、雲端與邊緣計算、智慧製造的蓬勃發展下，有賴更多先進技術與跨領域學者的投入，禱能使得隨機流量網路之模型架構與應用更貼近於實際複雜系統需求，並提供業者作為評估其系統之指標值，判斷其網路是否符合管理者或顧客之標準，並藉由最佳化議題之應用重新改善或設計網路，提供管理者作為決策之參考。

5.2.2 隨機模型

有鑑於許多實際問題都存在各類不確定因素，導致無論在建模、規劃求解、甚至執行敏感性分析時，都無法以傳統數學規劃方式來解析。因應不確定性決策情境，穩健最佳化或不確定最佳化 (Robust Optimization) 為近年來在作業研究領域中新興發展的技術。而這些不確定因素可能來自量測誤差 (Measurement Errors)、建模誤差 (Modeling Errors)、或因決策者當下所掌握的資訊不足所致，舉例來說：在使用線性規劃求解能源電廠問題時，可能牽涉到多重發電機組重新開機與臨時關機等不同發生組合之考量；再者，在決策者當下之電力需求量也許是未知或是難以精確評估，因此造成預測誤差的產生。這類不確定性所造成的預測誤差，廣泛地存在我們的周遭，因此學界必須正視此問題的存在與其重要性，並提出相對的因應策略。過去的文獻來看，最令人熟知處理不確定性因素的技巧便是隨機規劃 (Stochastic Programming, SP)，早期的參考文獻有 Beale (1955) 和 Dantzig (1955)。傳統上其方法在於搜尋最佳成本目標方程式之最佳期望值，而其受限於機率型限制式 (Probabilistic Constraints)，限制式根據有限狀態 (Scenarios) 下，利用近似法加以評估之。這類方法已行之有年，且在許多實務應用有許多成功案例，例如：電力排程問題。雖然如此，在實務執行上，仍有許多困難與挑戰必須克服：(1) 不確定性之機率分配必須為已知 (至少必須估計)；(2) 當問題規模快速擴大時，有限狀態近似評估法之計算複雜度變得無法預知。

兩位以色列學者 Ben-Tail & Nemirovski (1998、1999、2002、2006a & 2006b) 開啟了不確定最佳化 (Robust Optimization, RO) 的大門，相對於隨機規劃使用機率分配的概念，而 RO 使用集合來描述不確定性的概念，不確定性參數必須包含於一個確定已知的集合，每一組參數伴隨著一組不確定最佳化子題，而子題中之限制式條件，可伴隨已知集合中不同參數而有不同狀態；因此，針對此限制式可找出成本目標方程式最壞情況分析 (Worst Case) 並加以最小化，而得到主題之穩健最優解 (Robust Solution)。如同隨機規劃問題一樣，RO 的問題也常造成計算複雜度等困難，但使用集合概念來代替機率分配描述不確定時，可使我們利用許多成熟已知的凸集合分析來解析問題，包含 Lagrange Relaxation 法等，對於近似解的上下界也可進行分析，RO 所得解雖是近似解，但其必滿足原限制式。

RO 的發明並非意味著隨機規劃即將被取代，而是 RO 可視為其他現有工具 (或方法) 的後續延伸，例如：使用 RO 所得解之上、下界分析結果，可利用機率分配法做後續分析，故 RO 與隨機規劃可說是一體兩面、相輔相成之規劃技術。根據上述說明與文獻探討，大致可將 RO 之研究領域分為方法論與實際應用兩個層面，其可能研究方向列述如下：

1. 不確定線性規劃 (Robust Linear Programming)：其實際應用如穩健單色電磁天線 (Monochromatic Electro-Magnetic Antenna) 之設計。
2. 不確定二次規劃 (Robust Quadratic Programming)：包含不確定二次規劃問題、橢球型態之不確定性與圓椎式不確定性二次規劃問題。其實際應用案例如最小平方法於天線設計等問題。
3. 不確定半正定規劃 (Robust Semidefinite Programming)：其不確定性受限於方形或

球體限制區域。

4. 不確定線性迴歸 (Robust Linear Regression)：其應用於電視機真空管之製造。
5. 不確定可調節之多階段最佳化 (Robust Adjustable Multistage Optimization)：其實際應用如仿射可調節之不確定對應變數 (Affinely Adjustable Robust Counterparts) 於不固定原料供應商之存貨管理、控制多階層多週期的供應鏈。

近年來各國學者致力將 RO 應用至不同應用領域或是對於 RO 提出新的詮釋，將簡述如下供學門研究者參閱。Chiu et al. (2004) 利用 RO 針對癌症治療法之強度調控放射治療技術進行研究，討論如何替病患進行完整之診療規劃；Adida & Perakis (2006) 考慮 Make-to-Stock 之製造系統，利用 RO 之模型考慮不確定需求之存貨與動態定價等問題；Bertsimas & Thiele (2006) 利用 RO 提出一套方法論，研究如何控制供應鏈成本的最佳模式；Perakis & Sood (2006) 利用 RO 討論單一限期產品存貨問題；Chen et al. (2007) 提出一套偏離值量測準則當作 RO 建立不確定性集合之依據，並利用專案管理實例說明此方法設定不確定活動完成時間的應用性；Sungur et al. (2008) 將 RO 引進 Vehicle Routing Problem 中，考慮供給不確定性求解之問題；Bertsimas & Brown (2009) 乃針對線性 RO 問題如何建立不確定性集合有著深入的探討；Bertsimas et al. (2011) 提供了一篇非常完整的文獻探討文章，對於有志於 RO 研究學者有非常大的助益。另外，有關 RO 在理論性質上之數學探討在近年來也是重要研究議題之一，其相關的學術著作，有興趣的學者可參考 (Erera et al., 2009；Goh & Sim, 2010；Delage & Ye, 2010)。

雖然 Robust Optimization 使用集合來描述不確定性參數(不需要任何分配資訊)的概念可以解決 Stochastic Programming 模型需要完全知道隨機參數服從特定分配的假設，但是當要解決真實世界的管理與工程問題時，這些不確定參數仍然可以從歷史數據或專家經驗蒐集得到，故雖然對於模型隨機參數服從特定分配無法精確得知，但是對於隨機參數部分統計特性仍然可以推估出來，此稱為 Ambiguity 集合 (Ambiguity Set)，因此考慮不確定性參數服從 Ambiguity 集合下的 Distributionally Robust Optimization (DRO) 模型也是近年來隨機最佳化重要研究議題 (Rahimian & Mehrotra, 2019；Lin et al., 2022)，DRO 目的克服 RO 與 SO 各自缺點，將蒐集到的歷史數據資料透過統計工具來求得模型中不確定性參數的部分統計資訊(例如：平均值、標準差等)，進而建構該不確定性參數的 Ambiguity 集合，因此又稱為資料驅動最佳化 (Data-Driven Optimization)，服從此 Ambiguity 集合包含許多可能的分配，因此在最佳化 Worst-Case Distribution 的目標下來建構 DRO 模型來求得最佳決策，文獻上有兩種方式來表達 Ambiguity 集合：Moment-based 與 Distance-based (Rahimian & Mehrotra, 2019)，也衍伸出不同的模型進行探討。Rahimian & Mehrotra (2019) 和 Lin et al. (2022) 皆針對 DRO 做非常完整的文獻探討，對於有志於 DRO 研究學者有非常大的助益，另外，有關 DRO 相關的應用，有興趣的學者可參考 (Wang et al., 2019；Wang & Chen, 2020；Shehadeh & Padman, 2021；Lin et al., 2022)。

在最佳化領域，普遍之研究著重於找到能使效益最大化或成本最小化之決策，亦即尋求一組最適的輸入，使得系統能獲得最佳的產出。然而在複雜系統中，若因子間關係複雜且具隨機性，則目標式往往無法以解析形式 (Analytical Form) 進行表達，這時僅能透過模擬實驗來觀察系統輸入與輸出之間的關係，進而進行有系統地分析以求得最佳解，這即是模擬最佳化 (Simulation Optimization) 的基本概念。

為了進行模擬實驗，首先須深入了解與觀察真實系統的運作情形，並透過這些觀察以電腦建構出對應之模擬模型 (Simulation Model)，使模擬模型更貼近實際之問題。一般使用模擬模型所做的模擬實驗稱為評估式模式 (Evaluation Model)，此模式是將給定之決策參數組合輸入模擬模型中，得到對應的輸出或稱為系統績效指標，因此僅能

觀察在這些組合之決策參數下的系統績效指標，並從中選出最佳決策，並非於整個可行解域中找出最佳解。

而模擬最佳化模式 (Simulation Optimization Model) 與評估式模式的差異在於多了最佳化的步驟，其目的在於搜尋到能使目標值最小/最大化的一組決策參數，而因模擬實驗的輸出結果會受隨機因子影響，故目標式多採期望值之形式，並透過平均績效指標等作為目標式之估計，再藉由隨機最佳化演算法逐步調整決策參數，達到系統性尋找最佳決策參數組合之目的。

隨機最佳化演算法種類繁多，其中在以梯度為基礎的演算法 (Gradient-Based Method) 中，以隨機近似法 (Stochastic Approximation, SA) 最為常見，包含有限差隨機近似法 (Finite Differences Stochastic Approximation)、同步擾動隨機近似法 (Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation) 等，此類方法需要估計出目標式的梯度，且容易在落入區域最佳解後難以跳脫，這兩個限制造成它們大多適用於處理問題結構為單峰之最佳化問題，而較難廣泛被應用於各種實務問題，這個現象也促使無微分最佳化方法逐漸受到重視。

無微分最佳化方法 (Gradient Free Method) 是一種只需使用函數值資訊，即可搜尋到最佳解的方法，其無需梯度資訊的特性也使其能被廣泛應用於許多函式的求解，Swann (1972) 也證明了此類方法較為穩健 (Robust) 與可靠 (Reliable)，著名的方法如 Nelder-Mead 單形法等。此外，有些啟發式演算法也能求解無微分最佳化問題，如禁忌搜尋法 (Tabu Search)、模擬退火法 (Simulated Annealing)、基因演算法 (Genetic Algorithm)、粒子群演算法 (Particle Swarm Optimization) 等。這些方法大多是藉由對自然現象的觀察而提出的想法，具有節省大量計算時間之特性，且能在合理的時間內找到近似最佳解，然而卻難以保證其搜尋結果能確實收斂至全域最佳解。

近年來，因模擬最佳化的求解效果提升，使得其在實務問題上的應用越來越廣泛 (Fu, 2002)，如 Kao (2014) 應用模擬最佳化於 IC 封裝產業之平行機台配置問題；Kuo (2015) 使用模擬最佳化以求解複雜網路之可靠度最佳化問題；Chen & Wang (2016) 發展結合粒子群演算法與最佳資源分配法 (Optimal Computing Budget Allocation, OCBA) 來求解多目標急診室醫療資源配置問題；Tsai et al. (2021) 結合快速篩選 (Rapid Screening) 與隨機近似 (Stochastic Approximation) 的模擬最佳化演算法來求解骨科手術排程問題；Tsai et al. (2022) 開發以 R-SPLINE (Retrospective Search with Piecewise-Linear Interpolation and Neighborhood Enumeration) 為基礎的 SECURE (SEcurity Check Under Random-wait Effect) 模擬最佳化演算法來求解具有預算與等候時間限制下的安全檢查系統決策問題；Chang et al. (2022b) 開發以樣本平均近似 (Sample Average Approximation) 為基礎的模擬最佳化架構來求解當災害發生後多種物資存貨配送與路徑規劃問題等。而在模擬最佳化的求解方法中，如何有效率地利用模擬資源於特定決策參數之績效估計及新決策參數的搜尋始終是研究者所關注的議題：因此許多變異縮減 (Variance Reduction) 及模擬資源分配 (Budget Allocation) 的概念被引入，有效提升模擬資源的使用效率。

此外，過往模擬最佳化問題之目標式大多設為期望值之形式，然而若以期望績效作為比較決策優劣的標準，容易使決策者忽略極端事件發生時之風險，因此風險管理的概念被引入，決策者在決定採用特定決策參數時，除了希望其期望績效表現較佳，亦希望能避免此決策參數在面對市場波動而遇到極端情況時，不會產生決策者難以承擔的巨大損失。例如，作為股票投資者，除了希望找到期望報酬最高的投資組合，也希望這筆投資萬一發生重大虧損時，其損失量仍在投資者能負擔的範圍內。

隨著風險管理的概念興起，目標式以條件期望值為形式的最佳化問題也逐漸受到重視，許多學者也發展了不同求解條件期望值最佳化的方法，如 Rockafellar & Uryasev

(2000) 提出的線性方法 (Linear Approach), Hong & Liu (2009)、Lim et al. (2010) 及 Iyengar & Ma (2013) 則分別提出以梯度為基礎的方法 (Gradient-Based Method) 進行求解。當面對黑盒子問題、解析解未知而無法得到梯度相關資訊時, 模擬最佳化的方法則扮演了突破此一困境的重要角色, 近期也有相關研究以此類方法進行條件期望值的求解, 如 Lin (2018) 所提出之 AGLS-CE (Adaptive Global and Local Search for Conditional Expectation)、Chang et al. (2022a) 所提出之 APHS-CE (Adaptive Particle and Hyperball Search for Conditional Expectation) 以及 Chang et al. (2021) 所提出之 SNM-CE (Stochastic Nelder-Mead for Conditional Expectation) 分別以 Chang (2016) 所提出之 AGLS-QC (Adaptive Global and Local Search for Quantile-based Constraint problems) 及 Chang (2012) 提出的 SNM (Stochastic Nelder-Mead Simplex Method) 兩種無微分最佳化演算法為基礎, 針對原始演算法的流程進行適當的修正, 且結合了順序最佳資源分配法 (Sequential Optimal Computing Budget Allocatio, SOCBA) 及重要性抽樣 (Importance Sampling, IS) 等概念, 發展出能求解離散及連續型決策變數下之條件期望值最佳化演算架構, 不但提升條件期望值在估計或新決策參數搜尋時的效率, 且經過相關數值實驗, 確認了 AGLS-CE 及 SNM-CE 的求解表現相對於其他演算法來得穩定, 獲得了不錯的研究成果, 值得後續探討與發展。

近年來由於工業 4.0 與智慧製造潮流下, 數位雙生 (Digital Twin) 技術如何應用在工廠中來協助其進行最佳化決策已經備受重視, 大部分文獻中認為模擬模型 (Simulation Model) 是實現在動態製造系統中數位雙生平台的關鍵技術, 尤其是離散事件模擬模型 (Discrete Event Simulation), 但是要模擬大型且複雜的製造系統是相當花時間與計算資源, 更何況要在此數位雙生的大型模擬系統中找尋最佳決策更是相當困難, 因此 Xu et al. (2016) 提出多細緻度模擬最佳化 (Multi-Fidelity Simulation Optimization) 的演算法 (稱為 Multi-fidelity Optimization with Ordinal Transformation and Optimal Sampling, MO2TOS) 來解決此問題, 其中低細緻度模型 (Low-Fidelity Model) 忽略複雜系統因素, 透過簡單的模型 (例如: 等候模型、確定型數學模型) 來快速找到較不精確的最佳解, 再透過 OT (Ordinal Transformation) 與 OS (Optimal Sampling) 的技術將解空間轉換到高細緻度模型 (High-Fidelity Model) 來更一步快速搜尋到最佳解。近期中也有許多相關研究來應用多細緻度模擬最佳化求解大型複雜應用系統, 如 Qiu et al. (2016) 應用 MO2TO 演算法求解階層式醫療服務系統問題、Li et al. (2017) 提出多目標細緻度模擬最佳化演算法求解大型貨櫃碼頭產能規劃問題、Lin et al. (2018) 應用 MO2TO 演算法求解彈性生產系統中機台與搬運車同步排程問題、Zhang et al. (2020) 應用細緻度模擬最佳化來有效地找出半導體晶圓製造的最佳生產計劃決策、Zhang et al. (2022) 結合啟發式演算法與 MO2TO 演算法來加速最佳解的搜尋並應用在數位雙生為基礎的飛機零件生產工廠、Guo et al. (2022) 用演化式演算法搜尋低細緻度模型最佳解以及用最佳資源分配法搜尋高細緻度模型最佳解並應用在急診室醫護人力資源配置問題, 這些文獻皆顯示多細緻度模擬最佳化在大型複雜系統的最佳化決策的可行性與有效性。此外, 多細緻度模擬最佳化仍有許多議題值得後續更多探討, 包括: 如何設計出有效且快速的低細緻度模型、低細緻度模型與高細緻度模型有哪幾種類回饋機制能更加速搜尋到最佳解、發展更有效的演算法來加速不同細緻度模型的最佳解搜尋。

5.2.3 等候理論

等候理論是作業研究的一個分支，其利用機率和數學的方法，探討顧客到達系統的過程中，具有不確定的服務需求或供給服務之間相互關係，其中顧客為等待服務的單位，而服務者則是提供服務的單位；因此，從廣義的角度來說，等候理論涉及資源受限的系統之設計和分析。在現今科技發代的時代，排隊對於管理任何形式的壅塞問題，扮演了一個重要角色，這並不表示其為一個新的現象，早在一百多年前，丹麥數學家 A. K. Erlang (1909) 研究電話交換網絡壅塞問題，並使用機率理論建構數學模型，之後便開始有越來越多學者開始投入等候理論相關研究，並有重要的發現與貢獻。研究排隊系統的主要目的，是盡可能地了解現實生活中不同的排隊情況，經過多年的發展，等候理論已成為一門相當成熟的研究領域，可以成功地對於真實世界的系統（如：電信系統、計算機網路、生產製造、客服中心、交通運輸、零售業和銀行業等），進行系統建模和分析。建構排隊數學模型的目的，是獲得封閉（Closed-Form）解，使系統設計/管理者可以進一步地計算系統績效指標，例如：平均隊伍長度、平均系統長度和顧客在系統之平均等候時間等。

Bhat (1969) 將等候理論中出現的問題，分為以下三種類型：(1) 透過數學模型處理系統行為問題（Behavioral Problems of the System），關於行為可以進一步地區分瞬態行為和穩態行為；(2) 關於排隊情況的實驗數據、估計和假設檢定的系統統計問題（Statistical Problems of the System）；(3) 對於真實排隊系統操作中固有的系統操作問題（Operational Problems of the System），以改進其設計、控制和有效性作為目標。Worthington (2009) 提出五個維度描述現實排隊的範圍與已發展的排隊模型：(1) 單一服務者、多重服務者和無限服務者；(2) 指數和非指數分配假設；(3) 系統之穩態和時間相依行為；(4) 單一節點、串聯排隊和排隊網路；(5) 額外特性（如：批次服務、批次到達、服務者休假）。由於排隊現象在應用環境中具有普遍性，許多重要產業實際情況可以表示為排隊服務系統，顯示排隊建模（Queueing Modelling）具有潛在的應用價值，我們可以合理地預期等候理論相關問題在未來依舊是個具有挑戰性的研究議題。以下建議幾個等候理論未來可進一步研究之方向，提供對此研究領域有興趣的研究人員參考。

1. 健康照護

在照護服務系統中，排隊現象無所不在，尋求醫療服務的患者往往需要等待才能獲取所需的服務，長時間的等待可能會造成病患身體不適，也可能會導致病情惡化和增加額外的醫療成本。在健康照護系統中與排隊等候相關的論文，最早可以追溯到 1950 年代，由 Bailey (1952、1954) 開始進行相關研究，之後出現有越來越多的等候理論應用於健康照護系統於的相關研究。若可以知道顧客等候成本與提供的資源成本時，管理者可以透過排隊模型找到壅塞和效率之間的經濟平衡 (Gupta, 2013)。由於急診壅塞除了增加病患的等時間以外，也會影響急診室的醫療品質，對於有急診需求的病人，如果沒有及時給予的適當處置，將可能造成病患生命上的危險，然而對於醫院而言，則是會造成醫療資源之浪費與增加成本。因此，急診室的病人排程和排隊相關的問題在作業研究、急診和健康照護服務領域受到越來越多的關注 (Elalouf & Wachtel, 2022)。利用等候理論結合模擬方法作為研究工具，可以有效地分析急診部門相關研究議題，如：實施快速通道服務、急診病患流量管理與分析、急診部門等候時間問題、瞭解急診部門系統行為等，相關研究可以參考 Wiler et al. (2013)、Fitzgerald et al. (2017)、和 Hu et al. (2018)。近年來，由於嚴重特殊傳染性肺炎 (COVID-19) 爆發時，確診人數呈現指數型增加，對於加護病房的需求量也隨之增加，使得醫療量能遭受巨大的壓力，顯示醫療機構快速反應的重要性，在疫情發展具有高度不確定性和有限醫療資源的條件下，更是強調有效實施排隊方式與管理的重要性，相關研究包括：Meares & Jones

(2020)、Ameur & Berdjoudj (2021) 和 Bekker et al. (2022)。

2. 排隊賽局

基於賽局理論的排隊經濟學相關研究已快速地發展，在這些研究中，存在某種顧客利益函數之收益-成本結構，是為了反映了顧客對於服務的期待和不願意花費時間等待，即顧客等候時間越長，其所付出的成本越大。Naor (1969) 是最早從賽局理論的角度分析排隊系統的研究，他考慮一個具有單一服務者之可觀察排隊系統，即顧客抵達系統時，可以得知隊伍長度的資訊，顧客可以做出進入隊伍等待或是止步離開的決定。自此，開始有許多研究利用賽局理論方法擴展了 Naor (1969) 的排隊模型，也出現各種不同的具有策略型顧客之排隊系統，研究內容著重在於 Nash 均衡策略，和從社會福利 (Social Welfare) 角度探討顧客的均衡策略和社會最優參與策略。均衡顧客行為可以根據顧客抵達系統時，是否知道服務者狀態和隊伍長度訊息，區分以下四種情況：完全可觀察情況 (Fully Observable Case)、幾乎可觀察情況 (Almost Observable Case)、幾乎不可觀察情況 (Almost Unobservable Case)，和完全不可觀察情況 (Fully Unobservable Case)。關於可觀察和不可觀察之排隊系統，Hassin and Haviv (2003) 的專書做了完整的介紹與分析。有關完全可觀察排隊，是指抵達系統之顧客知道服務者狀態和隊伍長度，近期的研究可以參考 Aghsami & Jolai (2020) 和 Wang & Xu (2021)；有關幾乎可觀察排隊，是指抵達系統之顧客僅知道隊伍長度但是不知道服務者狀態，近期的研究有 Wang et al. (2021) 和 Zhu et al. (2020)；有關幾乎不可觀察排隊，是指抵達系統之顧客僅知道服務者狀態但是不知道隊伍長度，近期的研究可以參考 Tian & Wang (2020) 和 Panda & Goswami (2021)；最後，有關完全不可觀察排隊，是指抵達系統之顧客完全不知道服務者狀態和隊伍長度，近期的研究有 Wang et al. (2019) 和 Sun & Wang (2022)。基於實際等候排隊問題所建構的排隊等候模型具有多樣性，透過等候系統的賽局分析，將有助於顧客和服務者進行決策制定。

3. 機器學習

近年來人工智慧蓬勃發展，電腦透過機器學習演算法處理大量資料，找出資料間的關聯性和建立預測模型，進而對新收集到的資料進行預測。目前機器學習的應用範疇十分廣泛，包括製造業、汽車產業、金融產業、醫療照護產業等。近幾年開始有學者利用機器學習技術處理排隊等候問題，Curtis et al. (2018) 使用九個機器學習模型，如：支援向量機 (Support Vector Machine)、隨機森林 (Random Forest)、彈性網路 (Elastic Net) 等，和一個線性迴歸模型，針對進行放射線檢查的病患，預測其等待時間和預約延遲時間，並且進行演算法之比較分析。Kyritsis & Deriaz (2019) 說明如何使用機器學習來預測人們排隊等候的時間，並且使用公開銀行排隊數據集，透過訓練神經網路，得到測試集的平均絕對誤差 (Mean Absolute Error) 為3.35分鐘。由於排隊管理是改善機場運營的基本問題，Rodríguez-Sanz et al. (2021) 利用隨機森林演算法建構預測模型，用來預測西班牙 Palma de Mallorca 機場之報到櫃檯和安全控制區域的隊伍長度。現在是資訊爆炸時代，資料成長速度呈現指數成長，IDC (International Data Corporation) 估計到 2025 年，物聯網設備產生的數據將從 2019 年的 13.6 ZB 增長到 79.4 ZB (<https://www.eetasia.com/iot-growth-demands-rethink-of-long-term-storage-strategies/>)，而等候理論對於各行各業有其廣泛之應用性，利用資通訊技術可以方便取得數據資料進行分析，結合機器學習演算法建構預測模型，將有助於解決實際生活中的顧客等候問題。

5.2.4 決策分析

自 1970 年代以來，對於價格與數量的均衡建模，變得越來越重要，尤其是對於某些特定地區或國家能源市場，例如電力、排放或天然氣市場。民營企業利用模型來估測市場價格、經營策略的利潤，以及評估設備與運輸方案。政府單位的政策制定者可使用這些模型來評估環境與能源政策，以及基礎設施投資可能會影響的公共目標，例如消費者成本，整體市場效率，能源安全和環境影響。許多能源市場模型是工程經濟或系統模擬，這些模型或多或少表達真實的市場參與者的類型與相關決策變量，並同時考慮到實體能源供應和運輸限制對於市場價格的影響。

互補問題 (Complementarity Problem) 是一種最佳化模型能描述能源市場 (Ruiz et al., 2014)。簡單來說，互補問題是以一向量的決策變數 x ，來滿足限制式 $f(x) \geq 0$ 、 $x \geq 0$ 與 $f(x)x = 0$ 。習慣上我們常用 $0 \leq f(x) \perp x \geq 0$ 表示。通常互補問題可用以呈現市場的納許均衡 (Nash Equilibrium)，也就是當參與者到達該決策組合時，任何一方都不沒有誘因獨自改變決策行為，因為那樣只會降低自己的報酬。互補問題有許多不同的形式與複雜變化，例如混合互補問題 (Mixed Complementarity Problem, MCP)，其條件式中包含均衡與互補條件式；數學具有均衡限制 (Mathematical Programming with Equilibrium Constraints, MPEC) 其最佳化問題在限制式中包含互補條件；以及均衡問題具有均衡限制式 (Equilibrium Problems with Equilibrium Constraints, EPEC)，其呈現多數參與者的納許均衡，每位參與者解自己的 MPEC 最佳化問題。事實上，連續性最佳化問題的一階最佳化條件，也就是 (Karush-Kuhn-Tucker, KKT)，是為互補問題的一種特例。互補性是解決均衡問題的一種方法其使得多位市場參與者進行同步地利潤最大化，尤其是市場參與者在不同的行為假設下 (例如：市場有領導者與跟隨者)，可以用不同的模型結構來描述之。

在理論發展上，主要針對不同形式的互補問題，發展其相對的求解演算法 (Solution Method) 為主。如果在互補問題中，限制式 $f(x)$ 為線性的 (Linear)，則該問題被定義為線性互補問題 (Linear Complementarity Problem, LCP)，不然被定義為非線性互補問題 (Nonlinear Complementarity Problem, NCP)。解決 LCP 的主要解決方案算法基於 Pivoting 方法，例如知名的 Lemke's Method (Lemke, 1965)，或 Iterative Method，例如矩陣分解 (Matrix Splitting)。一方面，Pivoting 方法可以在有限數量的 Pivots 中達到解決方案但可能存在計算複雜性，尤其針對大問題其積累四捨五入錯誤 (Roundoff Errors)。另一方面，Iterative Method 雖不會有累積四捨五入問題，但卻可能需要大量的疊代來近似全域最佳解。解決 NCP 最廣泛使用的演算法是 PATH (Dirkse & Ferris, 1995)，這是基於牛頓法 (Newton's Method)。在每次牛頓法疊代過程中，NCP 中的非線性函數被一階泰勒展開式所替換，而呈現前一次疊代的近似值，此時為一 LCP 問題。而 LCP 便可以用前述的 Pivoting Methods 解決，重複疊代直到收斂。在許多案例中，PATH 演算法已經成功地解決了許多不同的 NCP 模型。

關於 MPEC 求解方法，我們可了解到一般的 Nonlinear Programming (NLP) solver 無法處理，因為某些標準的限制式是違反的。因此，求解方法發展主要是基於互補限制式的正則化 (Regularization)，在目標函數中給予懲罰項 (Leyffer & Munson, 2010)，或者用於順序性二次規劃 (Sequential Quadratic Programming) (Chen et al., 2006)。其他方法包括互補條件的數學式變換、Bender's Decomposition Method、內點法 (Interior Point Methods) 等。至於 EPEC 的求解方法，由於每個領導者的 MPEC 其非凸 (Non-Convex) 可行解域，不易處理。EPEC 的主要求解方法之一為對角化 (Diagonalization) (Hu & Ralph, 2007)，基於順序性地求解 MPEC 直到收斂。另一方法為互補問題的非線性規劃的重構 (Leyffer & Munson, 2010)，即由每個 MPEC 相關的所有 KKT 條件形成的數學模型。然而，解的存在性一般無法證明與確定，因此 EPEC 的求解方法仍是作業研究

領域的研究方向。

在應用發展上，由於現在的商業軟體與技術，得以求解大型的互補問題，從幾百個到幾萬個決策變數。此外，這些模型也可清楚地呈現供應選項、需求變異、與運輸限制等。這些都使得互補問題模型成功使用於各種工程應用、商業環境，以及經濟問題 (Ferris & Pang, 1997)。在能源市場應用中，市場出清拍賣 (Market-Clearing Auction) (Motto et al., 2002)、非策略生產者排程 (Non-Strategic Producer Self-Scheduling) (Arroyo & Conejo, 2000)、均衡問題 (Hobbs & Helman, 2004)、策略提供與策略均衡 (Strategic Offering & Strategic Equilibrium) (Hobbs et al., 2000)、生產力與效率分析 (Lee, 2018)。其他應用例如排放交易 (Emission Trading) (Chen et al., 2008)、自然瓦斯市場 (Natural Gas Markets) (Gabriel et al., 2013)、多種商品市場 (Multicommodity Markets) 等。

5.2.5 柔性計算與啟發式演算法

柔性計算 (Soft Computing) 一詞最早為 1990 年代由模糊理論的創始者 Zadeh 教授提出，旨在模擬人類的「軟性」思維，以與電腦運算的「硬性」(Hard) 思維有所區別，亦即柔性計算對於不精確性 (Imprecision)、不確定性 (Uncertainty) 具有高容忍度 (High Tolerance)，因此針對具模糊 (Ambiguous)、雜訊 (Noisy) 等特質的資料都能透過仿人類的思維所建立的演算法或是模型予以處理 (Omolaye et al., 2017)。

最早的柔性計算分類中包括模糊邏輯 (Fuzzy Logic, FL)、人工神經網路 (Artificial Neural Network, ANN)、進化計算 (Evolutionary Computing, EC)、機率推理 (Probabilistic Reasoning) 等範疇 (Ibrahim, 2016; Chakraborty et al., 2017; Omolaye et al., 2017)。機率推理一般所指為貝氏網路 (Bayesian Network) 或是信念網路 (Belief Network)，而模糊邏輯除在模糊集合 (Fuzzy Set) 理論上的改善，與其他演算相結合亦為一重要發展趨勢 (Kahraman et al., 2016)。

近年來，隨著演算方法的演進，許多研究亦將群體智慧 (Swarm Intelligence, SI) (或稱為自然啟發演算法, Nature-Inspired Algorithm; 生物啟發演算法, Bio-Inspired Algorithm) 納入柔性計算之中 (Phonsa & Bansal, 2018)，抑或使用更為廣義的萬用啟發式演算法 (Meta-Heuristic) 取代進化計算之地位 (Ray, 2015)。

萬用啟發式演算法之起源可追溯至 1950 年代之模擬退火法 (Simulated Annealing, SA)、1970 年代的基因演算法 (Genetic Algorithm, GA)，乃至於 1980 年代之禁忌搜尋法 (Tabu Search, TS)。而自 1990 年代至今，則可算是進入百家爭鳴之時代，超過三十種以上的演算法陸續被提出，據此萬用啟發式演算法可細分為下列類別 (Yang et al., 2013)：

1. 進化演算法：基因演算法 (Genetic Algorithm, GA)、基因規劃法 (Genetic Programming, GP)、進化策略 (Evolutionary Strategy, ES)、進化規劃法 (Evolutionary Programming, EP) 以及差分進化 (Differential Evolution, DE) 等。
2. 群體智慧：如蟻群最佳化 (Ant Colony Optimization, ACO)、人工蜂群 (Artificial Bee Colony, ABC)、人工免疫系統 (Artificial Immune System, AIS)、蝙蝠演算法 (Bat Algorithm, BA)、布穀鳥搜尋 (Cuckoo Search, CS)、螢火蟲演算法 (Firefly Algorithm)、花卉授粉演算法 (Flower Pollination Algorithm, FPA)、螢火蟲最佳化 (Glowworm Swarm Optimization, GSO)、和弦搜尋法 (Harmony Search, HS)、粒子群最佳化 (Particle Swarm Optimization, PSO)、蟑螂感染演算法 (Roach Infestation Algorithm, RIA)、螺旋最佳化 (Spiral Optimization, SO)、病毒最佳化演算法 (Virus Optimization Algorithm, VOA)、生物共生演算法 (Symbiotic Organism

Search, SOS) 等

3. 局部搜尋演算法 (Local Search): 貪婪隨機適應搜尋程序 (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, GRASP)、引導式局部搜尋法 (Guided Local Search, GLS)、遞迴局部搜尋法 (Iterated Local Search, ILS)、散佈搜尋法 (Scatter Search, SS)、模擬退火法 (Simulated Annealing, SA)、禁忌搜尋法 (Tabu Search, TS)、變動鄰域搜尋法 (Variable Neighborhood Search, VNS) 等。
4. 混合式 (Hybrid): 彌集演算法 (Memetic Algorithm, MA)、各式萬用啟發式演算法之相互結合、萬用啟發式演算法與各種硬式演算法之相互結合等。

人工神經網路則是起源自 1940 年代芝加哥大學的 McCulloch 教授與 Pitts 教授所提出之人工神經結 (Artificial Neurons) 的概念而來, 已發展出之常見模式如: 監督式學習 (Supervised Learning) 的倒傳遞網路 (Backpropagation Network)、霍普菲爾德網路 (Hopfield Network)、徑向基函數 (Radial Basis Function, RBF); 非監督式學習 (Unsupervised Learning) 的自組織映射網路 (Self-Organizing Map, SOM)、適應性共振理論網路 (Adaptive Resonance Theory, ART) 等。更重要的是近年來人工神經網路理論有著突破性的發展, 許多新型網路模式陸續被提出, 如: 深度學習 (Deep Learning) 中的卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN)、生成式對抗網路 (Generative Adversarial Networks, GAN)、遞歸神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN)、長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM) 等, 使人工神經網路應用範圍更加廣泛。

柔性計算的應用範疇非常廣泛, 如: 分類 (Classification)、分群 (Clustering)、控制 (Control)、資料挖礦 (Data Mining)、預測 (Forecasting & Prediction)、新產品發展 (New Product Development)、最佳化 (Optimization)、績效衡量 (Performance Measurement)、規劃與排程 (Planning & Scheduling)、策略管理 (Strategy Management) 等 (Ibrahim, 2016; Chakraborty et al., 2017; Omolaye et al., 2017; Vojtek, 2018); 若以其應用產業來分類, 更是包羅萬象, 如: 金融業 (Ibidapo et al., 2017; Ifebanjo et al., 2017)、能源業 (Archana & Vidhyapriya, 2016)、食品業、製造業、科技業、物流業 (Jabbarpour et al., 2017)、醫療產業 (Govindarajan & Raichandran, 2016; Kaushal et al., 2018)、營造業 (Araba et al., 2021)、農業 (Kamilaris et al., 2018; Murali & Gopi, 2018)、軟體業 (Ifikhar et al., 2018; Rastogi et al., 2018)、環保業、生技產業甚至運動產業 (Bonidia, 2018) 等皆可看到柔性計算的身影 (Merigo et al., 2019)。此外, 也越來越多的領域開始使用柔性計算作為新興機器或軟體運行的演算法, 比如機器人抓取 (Mahanta et al., 2022)、虛實系統的計算 (Bhatia et al., 2022) 等。

人類已進入大數據 (Big Data) 時代, 目前公開上線的可用資料已超過 1PB 之多, 並以每年 0.5PB 的速度繼續累積 (Ramakrishnan & Kumar, 2016)。透過行動裝置感應器傳輸每一次數位資料處理及社群媒體登入動作後, 也會讓資料加速累積。大數據的資料來源十分多元且累積速度驚人, 然而要從中擷取有用的資訊, 處理資料時需要強大的運算能力、高效能的資料分析, 以及其他專業技術。也因此隨著社群媒體 (Social Media)、雲端服務 (Cloud Service) 的快速崛起, 其中衍生的應用如: 自然語言處理 (Natural Language Processing, NLP)、推薦系統 (Recommendation System)、影像與影片處理 (Image and Video Processing)、預測保養 (Predictive Maintenance) 等亦成為柔性計算近年來探索的熱門領域 (Ejimogu & Basaran, 2017; Bolla & Chakravarthy, 2018; Hao et al., 2018)。除此之外, 當深度學習中的日趨龐大的模型發展趨勢下, 如何能夠設計出最佳的模型結構與參數設定, 此衍生之拓樸最佳化 (Topology Optimization) 與超

參數調整 (Hyper-parameter Tuning) 勢必將成為柔性計算未來之另一研究焦點 (Bouktif et al., 2020; Gundu & Simon, 2021; Mohakud & Dash, 2022)。

5.2.6 人工智慧在工業工程與管理之應用

隨著科技之快速發展，以及社會互動在全球化的波瀾，傳統在足夠資料的前提下假設下所發展的以統計為基礎的資料分析方法面臨挑戰。一方面是資訊技術所帶來的大數據 (Big Data)、使得資料的分布無法觀察與描述。另一方面是由於社經環境的急遽變動使得稀有事件 (Rare Events) 之資料不及蒐集、以致不足以分析其特性。由於資料分析是一切研究與應用的基礎，如何發展適當的分析方法成為工業工程學門應思考的發展方向。以下針對這兩極端的資料分析現況與發展作一概述：

1. 大數據的現況與發展

- (1) 大數據的問題與概述：大數據近年來快速成長，根據麥肯錫全球研究中心在 2011 年 5 月發表的全球大數據研究報告指出，全球資料量光是在 2010 年就增加了 70 億 GB，相當於 4 千座美國國會圖書館典藏資料的總和 (巨量資料專輯, 2016)。大數據變得感知化、物聯化以及智能化 (胡世忠, 2013; Wang, 2008)，而所涉及的範圍廣含社群網站、醫療影像、氣象預測、基因分析、財務或商業資訊分析等。因此，若能將大數據進行優化的分析以產生新的洞察，將可協助我們掌握甚至預測趨勢，為社會創造出新的成長機遇與航向價值。
- (2) 大數據的分析與發展：處理大數據將面臨大量、繁雜、快速變動以及真偽存疑的資料型態，而面對這些資料型態的問題，可以用 Hadoop、江河運算、資料倉儲與資料治理等分析技術對應。
 - a. 資料倉儲技術 (黃旭愉, 2005; 胡世忠, 2013)：運用新資訊技術所提供的大量資料儲存、快速分析能力，將過去龐大而無法深入整理分析的營運資料建立成為一個整合性資料庫，其功能具備「主題導向」、「整合性」、「時間變動性」以及「非暫存性」等，能提供決策支援資訊，並藉由整合相關工具軟體，適時將正確的資訊傳遞給適當或需要的人。
 - b. Hadoop (胡世忠, 2013)：由 Apache 軟體基金會所研發的開放原始碼分散式運算技術，以 Java 語言開發針對大量且結構複雜的大數據分析所設計，目的並非瞬間反應、截取和分析資料，而是透過分散式的資料處理模式大量掃描資料檔以產生結果。可延伸運用於使用者行為分析、防堵詐騙及提高產線良率等。
 - c. 江河運算 (胡世忠, 2013)：源自 IBM 與美國國防部合作研發的反恐系統，能動態蒐集多個資料流，在資料儲存前先完成分析，並利用演算法將結果即時傳達給決策人員，能針對大數據的即時性在微秒內做出反應與決策。應用可延伸至犯罪防治與醫療預防等。
 - d. 資料治理 (胡世忠, 2013)：因大數據中真偽難辨、殘破不堪的比例偏高，因此本方法雖不負責分析資料，但透過一系列的措施與程序、詳細設定管控的機制以管理監督資料，可提高資料的可靠與完整度，讓資料分析更具有實質的意義。
 - e. 串流數據分析 (王宜倫, 2015)：用來同時分析和處理多個來源的大量快速串流資料或訊息，並即時分析與處理事件 (Event) 所產生的相關數據。其資料源可以從多個輸入來源 (包括裝置、感測器、網路點選資料流、社交媒體摘要和應用程式等) 中擷取的資訊，進行識別模式和關聯性分析。

在雲端運用蔚為風潮的時代，資訊的變遷與資料量也將呈爆炸性的成長，面對從大數據中進行長期或是深入分析的挑戰，如何萃取潛藏其中的產業新價值與社會新動態正是當今政府、業界與學者們共同努力的目標。

2. 稀少資料的現況與發展

- (1) 稀少資料的問題與概述：小樣本問題泛指因資料量不足無法應用現有以統計方法為基礎的資料分析法、導致分析績效不佳與錯誤推論的情況。欲解決此類問題，蒐集更多資料顯然是最直接而有效的方式。然而，某些情況下欲獲得足夠的資料是相當困難甚至不可行的。舉例而言，當商品具有短生命週期的特性，為能快速回應市場需求，企業常須從有限的資料中擬訂生產策略；特別是現實生活中的災害性地震、海嘯、龍捲風、恐怖攻擊、精神疾病等罕見事件，其可用資料稀少，但多數卻伴隨著難以估量的社會成本支出。因此，如何從少量資料中萃取出更多有效資訊，是個刻不容緩、亟需發展的研究方向。
- (2) 稀少資料的分析與發展：目前稀少資料的分析方法的發展中，主要有重覆採樣法（Resampling Methods）、類神經網路（Artificial Neural Network）虛擬樣本產生法（Virtual Data Generation）和特徵工程（Feature Engineering）四種。
 - a. 重覆採樣法：將一小樣本的資料，使用重新重複抽取部分子集的方式，得出較多的資料樣本以作為分析的資訊。目前重新採樣法有交叉驗證法（Krus & Fuller, 1982；Kurtz, 1948；Mosier, 1951）、刀切法（Jackknife）（Tukey, 1958）和 Bootstrap（Efron & Tibshirani, 1993）。
 - b. 類神經網路：一種模仿生物神經網路的結構和功能的數學模型或計算模型，常用來對輸入和輸出間複雜的關係進行建模，目前被運用在解決廣泛領域的問題（Alonso et al., 2007；Fausett, 1994；Rumelhart et al., 1986），諸如工程分析、品質管理、投資策略、影像辨識等。目前生成式對抗網路（Generative Adversarial Network, GAN）已常被用來做圖像生成或資料生成（Creswell et al., 2018；Yi et al., 2019）。
 - c. 虛擬樣本產生法：當對小樣本進行預測時，使用模糊集合的概念（Huang & Claudio, 2005；Huang & Leung, 1999；Li & Lin, 2006）或類神經網路（Huang & Claudio, 2005）及多元切割法（Wang & Huang, 2010a, 2010b）等進行資訊擴散或延生，合理的填補小樣本中缺乏的資訊。
 - d. 特徵工程（Feature Engineering）：特徵工程是根據既有的領域知識（Domain Knowledge）資料或原有的特徵中，人工地創造新的特徵與資料（Seide et al., 2011；Garla & Brandt, 2012；Zheng & Casari, 2018；Zhang et al., 2021）。對於數值型的資料，可對數值進行四則運算、指示函數、組合分類、分解類別、單位轉換、階段性統計量、混合聚集等來創造新的特徵。對於影像資料通常可以透過旋轉影像、色彩轉換、時間指示過濾器等找出新的資料或特徵。

3. 可解釋的人工智慧（Explainable Artificial Intelligence, XAI）

人工智慧或資料科學的部分模型，由於其結構複雜或其黑盒子的特性，往往不易於解釋其物理意義或因果關係。Gunning(2017)將 XAI 分成三類：(1) Deep Explanation：模型在輸出決策結果的同時，以一句話也輸出決策背後的解釋。(2) Interpretable Models：模型本身可以被解釋，包含其機率或隨機的特性。(3) Model Induction：對黑箱模型提出解釋，主要以描述模型的局部行為，或是對模型的黑盒子的架構（例如，類神經網路）與參數進行分析，大多以視覺化方法進行一層層的解釋。

上述分析工具各有利弊，以重新採樣法來說，樣本數目有著很大的影響，若樣本太少時，會受限於其分析樣本數目而導致可靠度降低，因此至少大於 15 筆資料較能確保

其結果的穩定性 (Chen et al., 1997)。類神經網路法則若資料低於 100 筆，其結果的精確度至多只可達 70%，此外對於小樣本問題來說，類神經網路分析方法也存在著過度訓練 (Overtraining) 的問題，若發生將導致模型無法產生新的資料。最後以虛擬樣本產生法而言，在產生過多虛擬資料的狀況下，將有可能導致部分的虛擬資料不在母體樣本中的反效果。在各種方法均有其限制的情況下，面對稀少資料若能選擇合適的方法運用，並研究出更多分析工具以獲取精確的資訊，將可預防重大災害或預測特殊疾病的復發等，為社會降低社會成本並為民眾帶來福祉。

此外，在許多應用領域常出現不平衡資料 (Imbalanced Data)，亦即少數組資料 (Minority Data) 和多數組資料 (Majority Data) 筆數差異甚大的情況，例如監測天災、診斷罕見疾病、監控生產線上的瑕疵品等，目標為偵測少數的異常資料。少數組往往為需要被判別的重要事件，然而當少數組和多數組資料比例懸殊時，一般分類器 (Classifier) 傾向資料預測為多數組，無法有效識別重要的少數組。

為了提升判別少數組資料的敏感度，不平衡資料的分類方法大致可分為三類：資料層級、演算法層級與集成方法。在資料層級類方法方面，常見的方法透過上採樣 (Up Sampling)、下採樣 (Down Sampling) 調整資料筆數。Chawla et al. (2002) 提出 SMOTE (Synthetic Minority Over-Sampling Technique) 方法，藉由合成新的少數組樣本，增加少數組資料比數，後續延伸方法例如 ADASYN (ADaptive SYNthetic) (He et al., 2008)，MWMOTE (Barua et al., 2014) 等，則加強對較困難分類的區域合成樣本。演算法層級藉由調整錯誤分類的成本使模型對少數組更為敏感，但真實成本往往未知，若成本設定不佳會影響分類結果 (Cao et al., 2013; Ali et al., 2015)，最佳化技術可應用成本設定。集成方法則結合資料層級與演算法層級方法，例如 Chawla et al. (2003) 以及 Wang & Yao (2009)，分別提出將 SMOTE 結合 Boosting 與 Bagging 方法，分類成效良好，SMOTE 相關回顧請見 Fernández et al. (2018)、Pradipta et al. (2021)，而 Brandt & Lanzén (2021) 則針對 SMOTE 和 ADASYN 兩方法於不平衡資料的分類做綜合比較與回顧。

4. 遷移學習人工智慧 (Transfer Learning)

人工智慧或機器學習技術發展至今，大多數模型如深度學習網路均假設訓練集 (Training) 和推論或測試集 (Inference 或 testing) 時，採用的資料來自相同的資料分佈 (Distribution)、或來源於相同的特徵空間 (Feature Space)。但在現實應用中，這個假設有時常面臨挑戰而很難成立，主要原因有兩個：第一、具有標記的訓練資料數量有限，常使得欲研究的領域之資料不足以訓練模型。第二、資料的分佈常隨時間、地點或其他因素進行動態的推移而產生資料分佈的變化，而需要重新收集資料，並重新訓練模型。

由於上述的因素，人工智慧的學者開始思考另一種可能的方法，即利用過往所學習到的經驗或知識，應用於解決新的問題，並更快的解決問題或取得更好的效果。換句話說，遷移學習目的是從一個或多個來源任務 (Source Tasks) 中抽取知識、經驗，然後應用於一個目標領域 (Target Domain) 中 (Pan & Yang, 2010)。自 1995 年以來，遷移學習吸引了眾多的研究者的目光，並有很多別名，比如：學習如何進行學習 (Learning to Learn)、終身學習 (Life-Long Learning)、推導遷移 (Inductive Transfer)、知識強化 (Knowledge Consolidation)、上下文敏感性學習 (Context-Sensitive Learning)、基於知識的推導偏差 (Knowledge-Based Inductive Bias)、累計/增量學習 (Increment / Cumulative Learning)、領域適應 (Domain Adaptation) 等，遷移學習之相關文獻請見 Weiss et al. (2016) 和 Zhuang et al. (2020)。

傳統的遷移學習有三個基本的類型：主要根據來源域的相似程度或有標記資料及無標記資料是否存在來分為推導式遷移學習 (Inductive Transfer Learning)，轉導式遷

移學習 (Transductive Transfer Learning)，及非監督式遷移學習 (Unsupervised Transfer Learning) (Pan & Yang, 2010)。然而，由於深度學習技術的蓬勃發展，近年來的相關研究將相關研究依其來源域的相似程度分為主要的兩大類：同質性遷移學習 (Homogeneous Transfer Learning) 及異質性遷移學習 (Heterogeneous Transfer Learning) (Weiss et al., 2016)。假設一個學習領域可被定義為 $\mathcal{D} = \{X, P(X)\}$ ， X 表示特徵空間，其中 X_s 表示來源域的特徵空間；而 X_t 表示目標域的特徵空間；而 $P(X)$ 為 X 的邊際機率分布 (Marginal Probability Distribution) 其中 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \in X$ 。 $P(X_s)$ 及 $P(X_t)$ 則分別代表來源域及目標域的邊際機率分布。而遷移學習的工作則可定義為，在給定一個特定領域 \mathcal{D} ，以及則有標記的資料 Y 的情形下，建立一個預測函式 $f(\cdot)$ 可以用來從訓練資料 $\{(x_i, y_i) | i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}, x_i \in X \text{ and } y_i \in Y\}$ 進行學習。

(1) 同質性遷移學習 (Homogeneous Transfer Learning)：基於 $X_t = X_s$ 及 $Y_t = Y_s$ 的條件下，我們想要在 $P(X_t) \neq P(X_s)$ 或 $P(Y_t|X_t) \neq P(Y_s|X_s)$ 的情形下，縮小來源域及目標域資料分布上的差距。來求解同質性遷移學習的方法上，大致可分五種方法：

- a. 基於資料樣本 (Instance-Based)：假設來源域中有一個樣本和目標域中的一個樣本非常的相似，那麼我們就可以通過權重的調整及分配，加大此一相似樣本對應的權重，來分別作用到源域 (Source) 和目標域 (Target) 來進行轉移 (Chawla et al., 2002; Yao & Doretto, 2010; Asgarian et al., 2018)。
- b. 基於特徵 (Feature-Based)：假設在來源域及目標域的特徵具有很大的區別，可以透過將這兩個域的特徵變換到同樣的空間，以研究這兩個域上的相關內容和性質 (Pan et al., 2011; Long et al., 2013; Long et al., 2014; Oquab et al., 2014)。
- c. 基於參數/模型 (Parameter/Model Based)：即透過來源域和目標域的參數共享機制來進行遷移學習。這也是在訓練深度學習網路中用到最多的一個方法。比如說，將事先訓練好的模型，透過固定一些網路層的參數，修改部分網路層的參數使其得到最終好的訓練結果 (Yao and Doretto, 2010; Duan et al., 2012)。
- d. 混合資料及參數 (Hybrid-Based)：即結合基於資料樣本及基於參數/模型兩者的特色，為目前較為新穎的作法 (Xia et al., 2013)。
- e. 基於相關性 (Relational-Based)：透過學習來源域及目標域的共同相關性，來進行遷移學習，也是相對較新的作法 (Li et al., 2012; Yang et al., 2018)。

異質性遷移學習 (Heterogeneous Transfer Learning)：基於 $X_t \neq X_s$ 及 $Y_t \neq Y_s$ 的條件下，縮小來源域及目標域資料分布上的差距，以簡化原來的問題到同質性遷移學習。由於異質性遷移學習的來源域及目標域的特徵空間並不相同，上述使用於同質性遷移學習的解法，僅有基於特徵的方法可使用。在透過使用同步 (Sukhija et al., 2016; Feuz & Cook, 2015) 或非同步 (Duan et al., 2012; Samat et al., 2017) 的特徵方法，可將原來的異質性轉換為同質性問題，再進而使用同質性遷移學習的其他方法來修正來源域及目標域特徵分布的不同。

5.2.7 人工智慧可釋性與決策科學

鑑於深度神經網路在產業或學術界均已大量採用並取得一定成效，惟黑盒子模型設計上可釋性不高，因此在特定產業，如製造業的良率分析、製程偵錯、機台健康分析等議題上，其應用仍受質疑，使用者往往不敢貿然採用。自 2017 起，美國國防高等研

究計畫署 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 結合國內研究大學與機構開始執行 Explainable Artificial Intelligence (XAI) 的四年期計畫 (Gunning & Aha, 2019), 主要目的即在於面對如潮水般湧入的 DNN 模型, 有越來越多的使用場景, 例如醫病預判與自駕系統對突發狀況的決策, 需要對其判斷或預測結果進行解釋, 找出重要因子並改善其模型, 減少重大損失、確保人身安全。自此計畫起, 帶動了許多的學者投入此研究領域, 應用了作業研究中各類演算法與模型, 以下做一介紹, 期望提供學門中對此命題有興趣之學者投入。

Lipton (2018) 提及模型解釋能力相關的研究應該要考慮以下五要素: 了解模型何時預測正確的可信度 (Trust)、輸入變數與判斷結果的因果關係 (Causality)、在不擅長領域中仍可作用的模型可轉移性 (Transferability)、即使不了解內部運作也能提供的信息量 (Informativeness)、確保模型決策是公正且符合道德 (Fair and Ethical Decision-Making)。Samek et al. (2017) 則是在其 XAI 相關文獻的整理文章中, 對於為何我們需要打開 DNN 的黑盒子作了進一步統整, 文中論述 XAI 需求主要來自四個構面: 模型驗證 (Verification of the System)、模型改善 (Improvement of the System)、向模型學習 (Learning From the System)、合法性確認 (Compliance to Legislation)。前三構面, 可以看成是對模型的解析, 使模型的決策有所依據, 第四構面旨在結合法務資訊提升模型的適法性與大眾接受度。而後 Montavon et al. (2018) 再次整理將解釋模型分為解析 (Interpretation) 和說明 (Explanation) 兩大類, 前者為將深度學習模型從抽象的概念解釋到人類可以理解的範圍, 例如: 最大激活區域 (Activation Maximization) 等方法 (Nguyen et al., 2016); 後者則是針對結果解釋為何模型會做出如此判決, 例如: 敏感度分析 (Sensitivity Analysis, SA) (Baehrens et al., 2010)、逐層遞展關聯度分析 (Layer-Wise Relevance Propagation, LRP) (Bach et al., 2015) 等技術所產生的熱點圖 (Heat Map)。

在 DARPA 的 XAI 計畫中總結出了三種可釋性模型: 深度解釋 (Deep Explanation)、可自釋模型 (Interpretable Models)、模型歸納 (Model Induction), 並將目前盛行的各類機器學習演算法歸類到其適合的可釋性模型。第一類的深度解釋即如 Samek et al. (2017) 所摘錄之 SA 與 LRP 方法, 欲找出 DNN 輸出值對應的熱點圖; 而過去數十年來機器學習演算法大部分著眼於第二類可自釋模型的發展, 例如: 迴歸模型 (regression)、線性判別分析 (Linear Discriminant Analysis)、決策樹 (Decision Tree)、貝氏分類器 (Bayesian Classifier) 等, 這些模型儘管預判的準確度不如 DNN 來得高, 但其本身已具備解釋能力, 其觀念是在發展可釋性模型時值得借鏡的; 第三類模型歸納則是利用外部的實驗來測試黑盒子模型, 並藉實驗結果推論出一並行的可釋性模型, Ribeiro et al. (2016) 提出的 Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME) 即為一例, 其精神在使用一可理解的局部模型來適配 DNN 模型輸出輸入之間的關係。由於第二類的可自釋模型不在本計畫研究範疇, 因此以下針對「深度解釋」與「模型歸納」分別介紹。

1. 深度解釋

目前主流的深度解釋方法時間由遠至近可列出: SA、LRP、DeConvNet、Guided Backpropagation、CAM、Grad-CAM、Grad-CAM++、PatternNet、PatternAttribution、DeepLIFT 與 BagNet 等, 以下則簡述各方法核心概念供學門先進參考。

敏感度分析 (SA) 主要透過偏微分去計算分類函數的梯度向量在每一個輸入資料上是否影響 (Baehrens et al., 2010), 然後針對這些向量去判斷哪些輸入變數對分類目標的影響最大。然而實際應用上, 敏感度分析整體解釋能力不如 Bach et al. (2015) 提出的逐層遞展關聯度分析 (LRP)。DeConvNet 利用反卷積 (Deconvolution) 的技術對 CNN 進行解釋 (Zeiler et al., 2014), 然而因 ReLU 激活函數導致不連續層的特性讓此方法沒

有辦法完全回推，顯示的特徵也因此受到侷限。另外反卷積使用的 Unpooling 是一種以回推近似原圖為目標的方法，在 Max-Pooling 的時候即先紀錄相對應的索引值，在 Unpooling 的時候將特徵放在這些索引值上。

為了改善在 ReLU 激活函數導致的不連續層造成無法完全回推的問題，提出了 Guided Backpropagation (Springenberg et al., 2014)，主要是將 Backpropagation 與 DeConvNet 的概念結合，使得回推時能消除大部分雜訊，並凸顯回推熱點圖時的分類重點特徵。Kindermans et al. (2017) 實驗發現 DeConvNet、Guided Backpropagation、LRP 等解釋模型都無法完整地解釋線性模型，因此根據 DeConvNet 和 LRP 的概念延伸而提出了 PatternNet 和 PatternAttribution 兩種解釋技術，將其數學函數修正以符合線性條件。除了能合理解釋線性模型之外，也改善了對深度神經網路的解釋。

Class Activation Mapping (CAM) 使用 Global Average Pooling (GAP) 替換原本 CNN 的全連接層 (Zhou et al., 2016)，由於沒有全連接層，此模型輸入圖像就不再受到限制，可以支援任何大小，並發現 GAP 不只可以減輕過擬合，經過稍微挑整過後，還可以使 CNN 在前向傳遞的時候能辨識圖像區域。然而，要求所有模型最後都換成 GAP 連接 Softmax 層並非理想策略，Selvaraju et al. (2017) 推出了 Grad-CAM 方法，從分類加權分數回推到最後的卷積層，並從中取得局部特徵，再經過加權函數後，最後利用一個 ReLU 函數確保輸出特徵圖只有正相關的部分，進而求得比 CAM 更好的結果。Aditya et al. (2018) 將 Grad-CAM 的概念延伸為 Grad-CAM++，並放寬原本的函數進而整理出新的通式，儘管成果優於原本，但是也限制了此模型僅能應用於 CNN。Grad-CAM++ 認為過去評論解釋結果都是經過人眼，所以提出了一套解釋系統，衡量可視化結果是否與決策有關。

DeepLIFT (Shrikumar et al., 2017) 與 BagNet (Brendel & Bethge, 2019) 則是當前深度解釋常用的技術。為解決 ReLU 不連續性的方法，DeepLIFT 不再只透過梯度的方式進行回推解析，且運用原本在訓練模型時的參考樣本，並透過與這些樣本的差異給予重要性評分，不連續性造成的雜訊因此得以消除。BagNet 則以簡單的概念將圖像辨識準確度提升到超越 AlexNet (Krizhevsky et al., 2012)，引起 XAI 社群許多關注。其主要的手法是利用和 LRP 相似的 bag of features 模型，第一階段將圖片切割成較小的圖像，第二階段將每個圖像以各分類特徵圖的方式進行線性計算，第三階段為利用平均將所有小圖像的分類分配到 Softmax 層，進行最後分類判斷。

總結深度解釋的方法著眼於拆解模型，以不同的計分方法經過模型原始設計時的層層架構，回推至原始變數（或圖片上的像素）上，因此可以在模型訓練完成之後，立刻使用原本資料集回推得到解釋分數，其優勢在於效率，但缺點在於個別深度解釋技術不易泛化至其他類模型上，需要各自推導。

2. 模型歸納

模型歸納的概念是利用額外的實驗或模型來測試既有之黑盒子模型，並藉實驗結果推論出平行的可釋性模型，所以可以不用了解黑盒子內部，也能解釋模型判斷的依據，也因此能泛用至各類黑盒子模型。例如，LIME 方法 (Ribeiro et al., 2016) 就強調可以解釋任何分類模型，以一圖形分類器為例，一開始會用 super pixel 的方式進行圖像切割，然後以二元矩陣的方式呈現 Super Pixel，並擾動每個單位去看輸出的結果變化，最後在目標區域中適配一個簡單的可解釋函數（以線性函數為例），達成可以局部解釋的目標，最後再把較高相關的區域呈現出來，就完成特徵可視化的流程。以下則分別說明基於梯度、基於遮擋、基於概念分割與 SHAP 等四類模型歸納方法。

- (1) 基於梯度的歸因方法中，每個梯度量化每個輸入維度的鄰域變動影響預測輸出的程度。該法計算與給定圖像的類別所對應之輸出神經元相對於輸入的梯度，梯度值將突出顯示給定圖像的區域。Simonyan et al. (2014) 最早提出基

於梯度的兩種視覺化技術。第一種是最大化類別分數以產生出一張圖片，這個流程就像是神經網路在最佳化神經層權重的訓練過程，不同之處在於該方法最佳化的起始對象是一張像素皆是 0 的輸入照片，神經網路權重則是固定在之前訓練過程中的權重；第二種是特定圖像 (Image-Specific) 類別顯著性視覺化。而後 Integrated Gradients (Sundararajan et al., 2017) 的出現本質上亦在計算預測輸出相對於輸入特徵的梯度，積分梯度符合 completeness 性質，意即歸因總和等於目標輸出減去在基線評估的目標輸出。此外，Sundararajan et al. (2017) 也提出歸因方法應該滿足兩個基本公理：敏感性 (Sensitivity) 和實現不變性 (Implementation Invariance)。敏感性意味對於某個特徵不同導致預測結果不同，解釋方法應該對這一特徵具有非零的歸因，實現不變性是指兩個結構不同的神經網路的輸出對於所有輸入均相等，則它們在功能上視為等效，滿足其歸因一致。

- (2) 基於遮擋的觀念則類似敏感度分析，利用遮擋某些輸入特徵並衡量對模型輸出的影響程度，藉此來計算輸入顯著性。直觀上，如果特徵不重要，刪除之後自然不影響輸出，倘若刪除的是重要特徵，則勢必大幅影響輸出，最簡單的做法便是利用一個灰色矩形遮罩在圖像上滑動，每遮蓋住圖像的某個圖塊，便重新計算遮罩遮擋後圖像的類別預測分數，與原始圖像預測類別分數差距最大者，判定為改圖像區域為重要。RISE 是一常用基於遮擋技術解釋模型的方法 (Petsiuk et al., 2018)，將輸入圖像依序使用隨機二元遮罩進行逐像素的相乘，然後將生成的圖像輸入到模型進行分類。透過遮罩線性組合得到顯著圖，其對應的權重來自每個遮罩後圖像的類別預測分數，該演算法相較於單純的矩形方塊遮罩遮擋效果更好，理由在於同時考慮多種隨機特徵組合，也避免不同矩形方塊大小所造成的結果差異。
- (3) 基於概念分割的解釋技術則是為了突破過往多利用顯著圖作為視覺化工具的主流解釋性技術，其解釋層級多停留在「像素層級」，這容易迎合個人主觀認知，而且距離以高層次人類概念理解的形式尚有一段差距，TCAV (Testing with Concept Activation Vectors) 試圖彌補了這方面的缺失，TCAV 是一種基於概念萃取的解釋方法 (Kim et al., 2018)，從神經網路內部狀態萃取概念激活向量 (Concept Activation Vector)，並用方向導數來測試一個特定概念對於分類結果的重要程度。快速瞭解概念分割可藉文獻中多以探討「條紋」這個概念對於預測「斑馬」類別的影響為範例，試圖從大量圖案上找出重要區塊，倘若有重複出現的特徵，則可定義為概念。TCAV 可以衡量抽象概念對特定類別的重要程度，然而概念本身尚需要該領域專家的人為介入以貼上標籤，在很多實務上，並沒有多餘的人力與時間能夠完成這項工作，我們往往希望由程式自動萃取候選概念。於是 ACE (Automatic Concept-Based Explanations) 的解釋性框架被接著提出 (Ghorbani et al., 2019)，期望藉由聚集不同圖像的局部圖像區域，自動識別出高層次人類可理解的概念。
- (4) SHAP 由是一基於賽局理論的方法，亦可泛用於解釋任何機器學習模型的輸出。其主要概念為利用合作賽局理論 (Cooperative Gametheory) 中的 Shapley 值計算單個資料點對於模型輸出結果的貢獻。Shapley 值是一種根據玩家對總支出的貢獻來為玩家分配支出的方法，玩家在聯盟中合作並從這種合作中獲得一定的收益。用 Shapley 值去解釋機器學習的預測的話，其中「總支出」就是資料集單個資料的模型預測值，「玩家」是資料的特徵值，「收益」是該資料的實際預測減去所有資料的平均預測。對於簡單的模型來說，最好的解釋就是模型本身，同時滿足可解釋性和完備性。對於複雜的模型 (如：集成方法或

深度網絡)，原始模型它不容易理解。因此必須使用一種更簡單的解釋模型 (Explanation Model)，定義為原始模型的任何可解釋的近似。Deep SHAP 則是 DeepLIFT 結合 SHAP 所發展出來的方法。

綜合而言，XAI的重要性與發展正隨著AI模型的廣佈與深化，逐漸成為焦點，一來需要瞭解模型前因後果的推論邏輯使模型預測的可信度更高，二來則可知道模型失誤的原因與找到改善的契機，不論哪一方向，均與作業研究息息相關，上述的各類演算法，都在計算過程中得藉助線性或非線性規劃的估計 (例如：SHAP演算法)，更遑論在期望AI技術落地的同時，使用者亦需透過模型最佳化找到最合適地的輸入參數設定，意即進行決策，因此當產官學積極發展各類分類、預測模型的同時，XAI與作業研究將扮演最後一哩路，串聯AI模型與最佳決策。

5.2.8 整數規劃與組合最佳化

現實許多困難的決策問題，只要是牽涉到有限項目的選擇，譬如專案排程、運輸物流路線規劃等應用，用 0/1 變數來代表是否購買、投資、或僱用等決定。其應用隨處可見，特別在生產排程、專案管理、物流運送路線規劃等領域。這類問題大多為組合或離散最佳化問題，而其精確最佳解則仍主要以「整數規劃」模式處理，在此我們通常指的是「線性整數規劃」問題，亦即將線性規劃中的部分或全部變數依需要而設定為整數。

整數規劃問題較線性規劃問題困難許多，一般常見的整數規劃問題大多無法在多項式時間內求得精確最佳解，導致許多實際的整數規劃應用必須倚賴啟發式演算法，以在可接受的時間內得到不錯的可行解。然而，啟發式演算法求解整數規劃問題的效能通常沒有保證，有時甚至與最佳解相去甚遠。因此，目前在學術界與業界依然有不少人繼續探索能在越短時間內計算接近精確最佳解的研究，近年在整數規劃的精確解法部分有下述六點的進步 (Wolsey, 2020)：

1. 建模方式的改進。
2. 性能更佳的線性規劃軟體。
3. 更快的電腦運算能力。
4. 新的切割平面理論和演算法。
5. 新的啟發式演算法。
6. 分支切面法 (Branch-and-Cut, B&C) 與一些整數規劃的分解演算法的技術改進。

上述的技術進步使得最佳化軟體 (GUROBI、CPLEX、Xpress、SCIP 等) 在求解整數規劃部分，每年仍皆有些許進展。其中，除 SCIP 原本就是學術軟體之外，前三者商業軟體皆可免費提供學術用途使用，因此大部分會用到整數規劃求解的學術研究論文，皆以前兩者為主要實作建模的軟體。目前這些軟體使用的主要技術仍為「分支界限法」(Branch-and-Bound, B&B) 以及以其機制而衍生的「分支切面法」(B&C) 與「分支訂價法」(Branch-and-Price, B&P) 的變種，譬如數種特別的「有效不等式」(Valid Inequality) 與「切割平面」(Cutting Plane) 的推導，可協助切割出頂點為整數的多面體邊界。針對大規模困難的排程或路線規劃問題而言，以分解機制 (Decomposition) 為基礎，結合切面產生 (Row Generation) 與變數產生 (Column Generation) 的「分支切面與訂價法」(BCP) 為近年常見的有效解法。此外，在更快產生好的可行整數解以加速 B&B、B&C 方面，近年亦有不少成果 (Berthold, 2006, 2013; Vigerske & Gleixner, 2018; Achterberg et al., 2020)。

目前在求解整數規劃精確解這方面最新的進展，是引進人工智慧的相關技術來加

速求解，其中機器學習是一種資料驅動（Data-Driven）方法，與傳統數學規劃（Mathematical Programming）技術不同，資料驅動方法不用事先假設不確定性模型是完美的，僅著重於只有不確定性數據可用的實際環境（Ning & You, 2020）。較知名的例子為：由 DeepMind 提出之應用於圍棋的 AlphaGo 和應用於蛋白質結構預測的 AlphaFold2，以及由 Google 以類神經網路為基礎，所提出 Neural Branching 與 Neural Diving 的新機制（Nair et al., 2020），其中 Neural Branching 旨在使用類神經網路離線學習 Full Strong Branching（Dey et al., 2021）的結果，以協助在 B&C 過程中能選到較佳的分支方式；而 Neural Diving 則著重亦使用啟發式演算法估算最佳的可行解，其主要想法在於以機器學習與類神經網路針對特定架構的問題，預估如何選定某些變數的整數值（Rounding）處理方式，再繼續求解下一層的子問題。其實上述 Nair et al. (2020) 所提出的求解方式並不完全創新，因為近年也有一些類似研究，但因為 DeepMind 與 Google 的高知名度，且其測試結果的確也比 SCIP 軟體效能與效率上皆有足夠顯著的差距，因此十分值得關注。

由於整數規劃問題的求解困難度實在太高，而近年又開始流行的人工智慧在各領域皆有不少新的進展與突破，如：Mirkouei & Haapala (2014) 整合機器學習和數學規劃方法，補充現有的生質能源（Biomass-to-Biofuel）供應鏈在供應商選擇的方法；Liang et al. (2019) 則是利用深度學習方法處理無線資源分配問題（Wireless Resource Allocation Problem），並應用於車載網絡；Ling et al. (2021) 以 0-1 背包問題（Knapsack Problem）為例，構建類似直方圖的圖像表示，透過修改圖像細節後，將問題擴展至一般 0-1 線性規劃問題，並且訓練具有基於解碼-編碼（Encoder-Decoder）結構的深度卷積神經網路（Deep Convolutional Neural Network），其實驗結果顯示作者所提出的深度學習方法能夠有效地處理 0-1 整數規劃問題。因此，可以預期像上述 DeepMind 與 Google 使用機器學習方式來協助求解整數規劃的研究，應將會是個重要的研究主題。在這方面，可參考 Bengio et al. (2021) 與 Mazyavkina et al. (2021) 所做的重要文獻總整與回顧。此外，Bertsimas & Stellato (2022) 成功地使用機器學習手法（Bertsimas & Stellato, 2021）把具參數的整數規劃問題當成一個多分類問題來處理，如此即可將機器學習與整數規劃結合起來。該研究發現，若以此手法來處理急需快速求解的困難實時（Real-Time）線上混整數規劃問題（Online Mixed-Integer Optimization），可以在極短時間（毫秒）內得到幾近 GUROBI 的啟發式演算法需 1 秒多才得到的類似解，可預期相關領域主題勢將引領出新的一波研究潮流。

5.2.9 賽局理論

自從 von Neumann and Morgenstern (1934) 出版了《Theory of Games and Economic Behaviors》這本劃時代著作後，「賽局理論」（Game Theory）正式成為學術界的一個學科，吸引數學家、經濟學家等領域的學者投入研究。有別於 von Neumann 和 Morgenstern 主要探討的零和賽局（Zero-Sum Game），Nash (1950) 於其博士論文中嚴謹地定義了「奈許均衡」（Nash Equilibrium），將人們對賽局的分析進一步拓展到非零和賽局（nonzero-sum game）。在那之後，Selton (1965) 與 Harsanyi (1967) 分別建立了動態賽局（Dynamic Game）與不完全資訊賽局（Incomplete-Information Game）的分析框架，賽局理論在經濟學、政治學、管理科學、電腦科學、工業工程、作業研究等各領域的研究與應用便更佳蓬勃發展。Nash、Selten 和 Harsanyi 也因為他們在賽局理論奠基與發展的貢獻，於 1994 年共同獲得諾貝爾經濟學獎。

賽局理論在管理科學與作業研究的發展與應用亦開始得很早，例如前述 Harsanyi (1967) 的經典論文便是發表於管理科學與作業研究領域的頂尖期刊《Management Science》。有了賽局理論作為分析工具，學者們開始將傳統作業研究領域主要考慮單一決策者的範疇向外拓展，開始研究具多決策者的決策問題與最佳化。幾個在工業工程與作業研究的重要子領域包括：

1. 供應鏈合約 (Supply Chain Contracting)

雖然實務上偶爾也有整合式的供應鏈，從上游原料提供、中游生產運輸到下游批發零售都由同一家公司掌控，但更常見的是分散式的供應鏈 (Decentralized Supply Chain)，因此供應鏈上的公司通常都會面臨與供應鏈上的其他公司之間關於採購、銷售的合約問題。在最單純的批發合約之外，學者們透過賽局理論分析了更複雜的合約形式，包含允許退貨合約 (Pasternack, 1985)、彈性數量合約 (Tsay, 1999)、銷售獎金合約 (Taylor, 2002)、營收分享合約 (Cachon & Lariviere, 2005) 等，並論證這些合約形式能有效地在供應鏈上分攤風險，進而提高供應鏈的整體效率。近年隨著數位經濟蓬勃發展，這方面的研究也從實體商品拓展到數位商品如電子書、音樂、行動數據服務、線上影音串流等。

2. 銷售通路選擇與設計 (Distribution Channel Selection and Design)

企業在提供商品與服務給終端消費者時，經常面臨銷售通路的選擇與設計問題，最經典的場景是一個品牌商要決定在一個市場上要自己經營直接通路 (Direct Channel)，還是委託獨立的零售商經營間接通路 (Indirect Channel)。在這個議題上，McGuire & Staelin (1983) 的經典論文說明零售市場的競爭激烈度會影響品牌商的通路設計，之後更有許多論文討論各種產業與場景下的通路選擇與設計問題。在電子商務蓬勃發展後，品牌商通過線上通路自營直接通路的可行性大增，因此也有許多研究探討品牌商是否應該採行雙通路 (Dual Channel) 策略，一方面委託零售商銷售商品，同時也自己經營直接通路，以及在數個通路上的產品區隔、市場區隔與定價問題 (Seifert et al., 2006)。這樣的雙通路策略常被稱為「Bricks-and-Clicks」，並在近年來被廣泛研究 (Ozbilge et al., 2022)。

3. 薪酬管理 (Compensation Management)

賽局問題不僅發生在公司與公司之間，同樣也會發生在一個組織之內，其中一個經典的議題就是薪酬管理，亦即公司該如何設計給員工 (特別是銷售員或業績導向之員工) 的薪資結構，以最有效率地激勵員工付出努力。Basu et al. (1985)、Rao (1990)、Lal & Srinivasan (1993) 是初期幾篇最具影響力的研究，建構了在有道德風險與逆向選擇的環境中的分析模型；近期則有 Chen (2005) 將存貨控制與薪酬管理一同考慮、Zhang et al. (2021) 將銷售的不確定納入模型與分析等。近年來由於共享經濟興起，針對自主提供臨時性服務的勞務提供者 (如：Uber 司機) 的薪酬制度設計的研究亦逐漸增加。

4. 收益管理與動態定價 (Revenue Management)

對直接面對消費者的公司來說，賽局理論更是它們制定對消費者之銷售策略的有力工具，其衍生出的子領域即為收益管理。收益管理包含許多作法，其中最廣為人知的即為動態定價 (Dynamic Pricing)，最早是航空公司透過票價的浮動來最大化易腐性商品 (Perishable Product) 的預期收益，隨後旅館、租車公司甚至實體零售業者也紛紛跟進。Gallego & Van Ryzin (1994) 奠定了以動態規劃 (Dynamic Programming) 建構動態定價模式的基礎，亦啟發了之後大量的動態定價研究，其中將消費者搜尋與等待低價的策略性行動 (Strategic Consumer Behavior) 納入考慮的動態定價研究亦是主流之一 (Su, 2007)。另一個動態定價的分支是利用價格的即時漲跌調節供給和需求，隨著 Uber 等共享經濟企業的蓬勃發展，在學術界也持續有學者投入研究 (Yan et al., 2020)。

上述子領域從上個世紀末便蓬勃發展，近年來仍方興未艾。在議題方面，電子商

務、行動商務、數位經濟、共享經濟的興起與普及，產生了如前所述的新議題；在方法論方面，在學者們將新的分析架構與方法納入後，也帶來了新的面貌，特別是行為經濟學（Behavioral Economics）以及動態學習（Dynamic Learning）。

在作業研究領域的學者剛開始建構賽局模型描述決策者的決策模式時，絕大部分學者假設決策者為完全理性，其典型的行動目標為最大化自身預期利潤。這樣的設定固然在許多場景合理，但也在某些情境中顯得勉強，在前述子領域中就有很多例子。舉例來說，小廠商由於規模小、承擔風險能力低、缺乏完整資訊、人才短缺等原因，很多時候並不能像大公司一樣精算出最大化自身預期利潤的方案；許多員工相較於自身報酬最大化，更在乎（或也在乎）自己在同類型員工間是否獲得相對合理之報酬；消費者的購物決策更充滿一時衝動、效益評估的能力侷限、買錯或買貴後的後悔等有限理性（Bounded Rationality）性質。隨著行為經濟學者透過經濟學、心理學的研究方法探索出更完整的決策模式，作業研究領域的學者結合賽局理論與行為經濟學，修改過往的模型假設以探討有限理性的影響，進而產出新的研究成果。

另一個在近年來與賽局理論有所結合並產生重大影響的領域是動態學習。在多決策者的世界中經常存在有資訊不對稱（Information Asymmetry），亦即一個決策者不知道其他決策者所知道的資訊。在過往雖然就有許多將資訊不對稱納入賽局模型的研究，但近年來由於人工智慧特別是強化學習（Reinforcement Learning）的廣受重視，愈來愈多學者開始在一個動態賽局中，讓一個決策者透過觀察其他決策者的行為以更新自身資訊進而優化決策，其中一個典型的例子就是施行動態定價的廠商透過每期觀察消費者的購買與等待行為更新自身對消費者的認知，並將此更新後的認知納入後續定價的考量。可以預期賽局理論與動態學習的整合，可以在未來產生更多火花。

展望未來，仍有許多新興議題吸引學者們以賽局分析進行研究，茲列舉數項如下：

1. 多邊平臺與共享經濟（Multi-Sided Platforms and Sharing Economy）：

隨著網路網路的發達，多邊平臺的商業模式在許多產業與傳統的經銷模式分庭抗禮，例如零售領域的 eBay 與淘寶、運輸領域的 Uber 與 Lyft、金融領域的 TransferWise 和 LendingClub、教育領域的 Coursera 和 edX 等。在這些產業中扮演核心角色的多邊平臺最重要的是媒合供給和需求，而供給方和需求方又透過跨邊網路效應（Cross-Side Network Externality）互相吸引，使得平臺必須同時考慮供給方和需求方的定價（或補貼）、治理等問題。這樣新的商業模式帶來了新的挑戰，也吸引許多學者投入以賽局模型描述產業中各決策者的行為並進行分析。在作業研究領域，C2C 交易平臺以及共乘平臺已經被大量地研究了，但仍有許多學理上尚待解決的議題與挑戰，例如三邊以上的平臺以及平臺間的競爭，留待學者們繼續投入。

2. 區塊鏈與 Web 3.0（Blockchain and Web 3.0）：

區塊鏈與虛擬貨幣在近年來在產業界引起相當多關注，也表示 Web 3.0 的時代正逐漸拉開序幕。有別於 Web 2.0 時代由中心化的科技巨頭提供網路服務，Web 3.0 強調去中心化（Decentralization）並由網路上的節點們共同負擔起記錄與驗證交易的工作。區塊鏈做為一分散式資訊系統，本身在技術底層就有許多賽局理論的應用之處，例如 Liu et al. (2019) 回顧了為了增強區塊鏈安全機制而被提出的賽局模型，Kim (2019) 則結合隨機過程與賽局理論提出並分析區塊鏈治理機制。相較於完全公開的公有鏈，由數個組織共同維運的聯盟鏈被許多人認為更具有商業應用價值，而聯盟鏈要能順利運作，除了仰賴區塊鏈本身的機制，也需要聯盟中各組織以設計良好的合約與協定來約束彼此。以目前最多工業工程學者投入的供應鏈透明性（Supply Chain Transparency）、供應鏈融資（Supply Chain Financing）為例，Sodhi & Tang (2019) 將區塊鏈技術列為供應鏈透明性的重要解決方案之一，並且鼓勵學者投入研究；Fan et al. (2020) 以賽局理論探討供應鏈是否應採用區塊鏈科技，並將消費者對供應鏈透明性的關注程度納入

考慮；Chod et al. (2020) 研究顯示，透過引入區塊鏈科技以提供可驗證的存貨數量資訊，能有效彰顯供應商的營運能力；Tsoukalas & Falk (2020) 針對區塊鏈技術在群眾外包的機制設計進行賽局理論建模與分析。聯盟鏈中的合約設計也是賽局理論學者在未來可投入的議題。

3. 碳稅與碳交易 (Carbon Tax and Carbon Trading)：

碳稅與碳交易事實上都不是全新的議題，在學術界以賽局分析進行相關研究、探討企業應如何在考慮碳稅與碳交易的前提下進行生產、運輸、供應鏈、產品設計的決策也至少有十年以上；Choi et al. (2020) 提供了近十年來應用賽局理論探討相關議題的回顧。但由於ESG（環境保護、社會責任、公司治理）的廣受重視，不僅所有公司都會在未來更加重視碳稅與碳交易，相關法規也勢必會持續演化，因此產生出新的議題，使得最近幾年相關研究持續蓬勃發展（Halat & Hafezalkotob, 2019、Mirzaee et al., 2020、Yang et al., 2020、An et al., 2021、Fan et al., 2022、Gao & Souza, 2022是其中一些例子）。在未來，可以預期以賽局理論進行碳稅與碳交易相關之作業研究研究的論文仍會層出不窮。

5.2.10 排程與存貨系統

近年來隨著工業 4.0 中創新的資通訊技術、新型運輸工具及物流作業模式，大幅地改變了既有的物流系統，現代物流也進入了 4.0 時代 (Logistics 4.0)。然而利用這些新技術、運具及概念的新型物流系統，至今尚未完全發揮其潛力，其效率未必優於既有的物流系統，其原因在於新型物流系統必須搭配適當的營運模式，如果沿用現行的規劃、管理及運作方式，難免產生新舊系統在運作上的衝突，反而降低系統之整體效率，作業研究技術與方法可用於解決此問題，以充分發揮新型物流系統之潛在效益。作業研究領域的學者如果對此研究領域有興趣，可以先聚焦於以下的研究主題。

1. 車隊管理 (Fleet Management)：目前許多企業已利用車載資訊服務及物聯網的建置，進行車隊的維護作業、駕駛管理、車速管理、燃料管理及安全管理等。透過預測分析可以發展出一些較有效率的車隊管理模式及系統，也因而衍生出許多作業研究領域的新興重要議題。
2. 倉儲管理 (Warehouse Management)：透過感測網路及預測分析，優化儲位規劃、檢貨作業及存貨管理等。其中近來於城市衛星倉的建立，可以縮短配送到終端顧客的時間，提高服務水準。機器人及無人搬運車在智慧倉儲的運用，也增加了倉儲管理的效率。
3. 需求預測 (Demand Forecasting)：物流服務需求之預測難度很大，尤其是城市物流中的貨運量預測 (Nuzzolo & Comi, 2014)，是一個兼具有挑戰性與重要性的主題，值得相關領域學者投入研究。亞馬遜透過預測，事先將顧客可能需求的商品，事先送到附近的物流中心，而 MOMO 也利用預測，事先送到城市內的衛星倉。
4. 無人運具 (Unmanned Vehicles)：電商、車廠及物流業者均已積極投入無人運具的開發與應用，並提出了許多創新的無人運具物流模式，例如無人機、自駕車、無人倉及無人貨輪等。許多學者已投入使用無人運具的新型物流系統研究，這是一個相當重要且值得立即投入的研究方向。
5. 共享物流 (Shared Logistics)：共享經濟是近年來的熱門趨勢，其在物流上也有許多應用，例如運具共享、共乘及群眾外包 (Crowdsourcing) 等。目前在這方面的研究較集中於運具共享及共乘系統，且較專注於公共運輸系統或個人運具，但是企業運輸能力分享的物流模式也是值得關心的新興議題。Walmart 已有鼓勵員工透過

下班時，幫忙運送顧客的訂單，並給予補助。如何尋找適當的外包人員，及考慮外包人員未出現的不確定性，是重要的議題。此外，如何應用大量即時資訊優化這些物流系統的設計及管理其營運，尤其是在城市物流的應用方面 (Savelsbergh & Van Woensel, 2016; Bachofner et al., 2022)，也是重要的議題。

6. 綠色物流 (Green Logistics): 由於環保意識的抬頭，許多學者投入綠色物流相關研究 (Dekker et al., 2012)，尤其是綠色運具，如電動車、油電混合車等的應用研究，主要研究議題包括系統/網路設計及日常營運的優化等，例如在車輛途程問題考慮多型態能源的加油/充電。由於油電混合車是過渡性產品，有興趣之學者可直接投入電動車之相關研究。此外，混合車隊將被持續使用一段時間，也是值得探討的主題。最後，在智慧城市架構下，如何整合公共運輸系統、共乘/共享物流系統及綠色運具，以同時降低環境衝擊及有效率地進行物流活動，是未來特別重要的研究方向之一。
7. 即時優化的物流系統: 結合地理資訊系統 (GIS)、全球定位系統 (GPS)、行動應用程式 (Mobile App)、及即時交通資訊，透過快速及普及的通訊系統，可以有效率地規劃及執行物流活動，但是如何在極短時間內處理大量的資料與優化營運模式與日常作業，是一個重要且迫切的議題。
8. 物流網路設計 (Logistics Network Design): 在大量可用資訊及可行新型運具的新型物流系統中，既有的物流網路及其設計方式已不再適用，因此透過作業研究技術與方法來重新設計物流網路也是一個重要的議題。此外，考量永續發展的物流網路設計也是值得關注的新興議題 (Eskandarpour et al., 2015)。
9. 冷鏈 (Cold Chain): 冷鏈物流逐漸受到重視，而冷鏈物流系統的設計及營運模式上仍然有許多值得研究的議題，包含感應器的設置、車載重量對車輛途程問題的影響等，建議有興趣的作業研究領域學者直接進行智慧環境下的冷鏈物流系統設計及營運模式研究。
10. 救災物流 (Humanitarian Logistics): 救災物流在近二十年來受到許多作業研究領域學者的重視，也有大量的相關研究，但是考量資通訊技術及新型運具的救災物流研究較少，仍值得作業研究領域學者投入研究。尤其近年來各地極端氣候發生機率提高，透過資通訊科技進步，跨組織甚至跨國家的合作，可以有效的規劃及佈置各類資源，使得各地災害的救助可以更快速及資源有效率的使用，是可以透過作業研究方法加以探討。
11. 醫療物流 (Healthcare Logistics): 由於目前大量醫療資訊的即時性和可及性以及機器人在醫療上的推廣應用，如何設計更有效率的各種醫療物流系統及如何優化和這些系統的日常運作是重要的議題。
12. 全通路 (Omini-Channel): 全通路配銷使顧客能夠以多種方式與賣家互動，以選擇、購買和交付物品，目前許多電商試圖透過虛實整合來緩解電子商務快速成長所帶來的物流問題，實體零售業也加入電子商務競爭，馬雲提出新零售的概念，零售業逐漸走向線上線下 (Online to Offline, O2O) 發展，然而如何設計有效率的虛實整合系統及如何優化此類系統的日常物流作業，例如補貨、存貨及配送等，值得投入研究 (DHL, 2015)。
13. 區塊鏈 (Blockchain): 物流配送往往要經由多人經手，從供應端到顧客端要產生多張訂單，就算是供應鏈各層之間透過電子資訊交換，也需要許多資訊，如果上下游之間沒有及時同步，未來在對帳或查詢時就相對困難。透過區塊鏈平台，供應鏈的相關業者，把單據轉換成智慧單據，資訊確認後，就可放在區塊鏈上確認，所有相關的業者都有一份，任何人都不能修改，在未來是可以再探討的議題。

5.3 作業研究與決策科學子學門未來研究方向與重點

由於作業研究是一門應用及支援各種產業之應用科學，其發展與產業之動態有密切的關聯性，因此作業研究與決策科學子學門在配合國科會（原科技部）工業工程與管理學門的政策下，未來的研究除了持續推動基礎的傳統模型與求解方法外，亦將著力於政府公部門及民間產業的應用研究，培養各個應用領域的專才，積極推動跨領域群體整合。

本節以作業研究與決策科學之未來推動重點方向與重點為主軸，規劃幾項可能的研究方向與重點，包含：1.隨機動態規劃；2.預測性維修；3.智慧運輸系統；4.智能化無人載具之研究；5.行為作業管理/行為作業研究；6.作業研究於醫療與健康照護之應用；7.作業研究於能源永續系統之應用。以下分別就各研究領域分別簡介如下：

5.3.1 隨機動態規劃

Bellman (1953) 提出隨機動態規劃 (Stochastic Dynamic Programming, SDP)，藉由 Bellman Equation (又稱 Optimality Equation) 為跨越多時間點的動態決策方法立基。隨後，學者用「最佳控制」及「馬可夫決策過程 (Markov Decision Processes, MDP)」等名詞描述 SDP 的不同面向。SDP 的最主要優勢及應用在於求解複雜度不隨規畫期程 (Planning Horizon) 增加而大幅成長，相較於利用情境 (Scenarios) 描述問題隨機性的穩健最佳化方法，更能應對較長的規劃期程，也較適用於決策具長期影響的隨機最佳化問題。

雖然動態規劃已被認為是有效求解規劃期程較長的隨機動態決策方法，但面對系統規模越來越大且決策日趨複雜的智慧聯網系統，動態規劃仍面臨了許多挑戰。其中，最主要的挑戰在於狀態和決策空間的維度限制，也就是相關學者所稱的維度詛咒 (Curse-of-Dimensionality) (Puterman, 1994)。為求克服運算能力與維度限制，近年來近似動態規劃 (Approximate Dynamic Programming, ADP)、強化學習 (Reinforcement Learning, RL) 均伴隨人工智慧和電腦計算能力增強而有蓬勃發展並引領多面向研究領域的快速演進。以下分別對相關領域近期發展趨勢如近似動態規劃、強化學習、及貝氏強化學習 (Bayesian Reinforcement Learning, BRL) 進行簡介。

1. 近似動態規劃及強化學習

強化學習可視為作業研究於機器學習之直接應用，強化學習的學習標的為：不同系統狀態下採用不同決策的後續成本或效益，此一成本或效益函數常被稱為 Q-函數，Q-函數對應的物理意涵即可視為為動態規劃的值函數 (Value Function)，也就是 Optimality Equation 的解，因此近似動態規劃及強化學習也常被稱為 Q-Learning。Q-Learning 或 RL 也因此可被視為求解動態決策問題的方法。近似動態規劃及強化學習相關研究始自於 Werbos (1977) 提出自適應動態規劃 (Adaptive Dynamic Programming)，自適應動態規劃使用貪婪演算法 (Greedy Algorithm) 增加動態規劃問題求解速度；Watkins (1992) 提出 Q-Learning 算法，利用懲罰和獎勵模仿動態規劃的值函數，可視為使用不同更新邏輯的動態規劃；Bertsekas (1995) 發表了 Neuro-Dynamic Programming (NDP) 演算法，NDP 具有處理狀態空間較大或缺乏準確模型而難以處理的問題的潛力，也是目前強化學習的雛形；Hinton (2006) 發表了克服神經網路深度限制的論文後，採用神經網路與深度學習理論於強化學習問題的研究開始蓬勃發展。

在智慧製造與服務系統中，自主決策的分散式系統及強化學習是效率提升的關鍵。故 RL 近期已廣泛應用於製造及服務產業。以策略為基礎 (Policy-Based) 的方法最先發展的是針對隨機策略的策略梯度 (Policy Gradient, PG) (Sutton et al., 1999)。而後來

自 DeepMind 的 Mnih et al. (2013) 在 NIPS 發表了利用深度學習網路 (CNNs) 由高維度的感應器輸入 (Sensory Inputs) 提取有效特徵，然後利用 Q-Learning 進行策略優化，這種結合深度學習的 Q 學習方法被稱為 Deep Q-Learning (DQL)。Silver et al. (2014) 提出了確定性策略梯度 (Deterministic Policy Gradient, DPG) 演算法，用於連續動作的強化學習。Mnih et al. (2015) 發表深層 Q-learning 網路 (Deep Q-learning Network, DQN)，此即為用於 Alpha Go 中所使用之 Q 函數。同年 DeepMind 將深度學習神經網路加進 DPG 之策略學習方法，並採用以 DQN 為主的 Q 函數，提出深度確定性策略梯度 (Deep Deterministic Policy Gradient, DDPG) 演算法 (Lillicrap et al., 2015)。除了新發展的確定性策略，也有學者續改善隨機策略，Schulman et al. (2015) 提出信賴域策略優化 (Trust Region Policy Optimization, TRPO) 演算法，透過將原策略梯度方法轉化為梯度優化問題，改善效率不佳的問題。Mnih et al. (2016) 則提出 Asynchronous Advantage Actor Critic (A3C) 演算法，除了可提升收斂性，其在高維度和連續動作皆更有效。Schulman et al. (2017) 簡化 TRPO 之算法，提出一更易求解的近端策略優化 (Proximal Policy Optimization, PPO) 演算法。於製造系統中，上述提到之方法常應用於製程控制 (Jiang et al., 2017; Jiang et al., 2018; Xu et al., 2020; Szarski & Chauhan, 2021)、排程 (Legros, 2018; Chen et al., 2019; Zhou et al., 2020; Park et al., 2021)。Panzer & Bender (2022) 提供一強化學習應用於製造系統的完整文獻回顧。而強化學習於其他服務系統的應用，Ulmer (2019) 提出一個改進 Q-Learning 的演算法，探討強化學習及近似動態規劃方法在隨機運輸網路最佳化問題之應用；Goldstein (2019) 結合作業研究 (Behavior Operations Research) 與人工智慧方法，求解經典之動態規劃搜尋問題 (Classic Searching Problem)。

2. 貝氏強化學習

貝氏強化學習可應用於系統環境頻繁變化的動態最佳化問題。傳統動態最佳化方法建模時多假設一組穩定的系統特徵參數，如在生產系統中的機台使用率、加工時間、貨機台故障率等。然而實際系統往往並不符合單純或穩定的模型假設。為了將研究更貼近實際環境，貝氏學習 (Bayesian Learning) 應用機率學中的貝氏定理，當觀察到新數據時，即運用新數據更新系統特徵描述。透過不斷的更新，得到貼近當前實際環境的系統參數及最佳解。

近年來，有許多學者將貝氏學習應用到強化學習中，稱之為貝氏強化學習 (BRL)，BRL 主要的優點有兩個：第一是改善了探索與利用平衡問題 (Exploration and Exploitation)，第二的優點則是 BRL 帶有正則化 (Regularization) 技術，能夠避免過度擬合 (Overfitting) 問題。Strens (2000) 首先提出了將貝氏方法應用到強化學習的框架中，同時也提出許多應用貝氏方法後會面臨到的新挑戰。當空間狀態數量非常多時，強化學習在探索空間策略時會耗費相當大的成本，因此傳統強化學習無法進行在線 (Online) 學習，往往只能以離線 (Offline) 方式進行學習，為改善此問題，Poupart (2006) 探討了結合貝氏方法的強化學習，提出了 Bayesian Exploration Exploitation Tradeoff in Learning，簡稱為 BEETL，用於有效的進行在線學習、提高計算效率並且盡可能地減少探索。Cope (2007) 提出了一種貝氏動態定價模型與一種定價策略，在與靜態定價和跟傳統的動態定價方法比較後，證明其方法的優異性。傳統營收管理方法中，幾乎都假設在顧客需求分布上擁有完全資訊，Afèche (2013) 放寬了這個假設，研究在貝氏更新策略下的最佳定價策略，並考量顧客延遲成本的參數分布不確定性。對於零售商面對戰略性顧客的降價定價策略，Whang (2014) 提出了一種考量需求不確定性的

非線性需求函數下的貝氏方法。傳統的逆向強化學習 (Inverse Reinforcement Learning, IRL) 透過學習每一期的獎勵函數來進行建模，但需要非常準確的輸入獎勵函數，為此，Ramachandran (2007) 將貝氏方法結合 IRL，使得建模不需要完整的獎勵函數資訊，透過實驗結果也證實了此方法提高了以往 IRL 的性能。Ryzhov et al. (2019) 利用貝氏學習方式，加速近似動態規劃 (ADP) 的搜尋及求解速度，並可被應用於多類之隨機動態最佳化問題中。BRL 相關領域目前仍蓬勃發展中，未來可能拓展的潛在研究方向包含：在線值近 (Online Near-Myopic Value Approximation)、離線值近似 (Offline Value Approximation)、在線樹搜索近似 (Online Tree Search Approximation)、價值函數演算法 (Value Function Algorithms)、貝氏策略梯度 (Bayesian Policy Gradient)、Bayesian Actor-Critic 等 (Ghavamzadeh et al., 2015)。

5.3.2 預測性維修

2015 年，根據波士頓諮詢公司 (Boston Consulting Group, BCG) 的工業 4.0 (Industry 4.0) 研究顯示，隨著工業 4.0 熱潮持續發燒，未來將創造出：大數據導向品質控管 (Big Data Driven Quality Control) / 機器人輔助生產 (Robot Assisted Production) / 自動駕駛物流車 (Self-Driving Logistics Vehicles) / 模擬生產線 (Production Line Simulation) / 智慧供應鏈網路 (Supply Network) / 預測性維護 (Predictive Maintenance) / 機器即服務 (Machines as a Service) / 自組生產 (Self-Organizing Production) / 複合式零件的積層製造 (Additive Manufacturing of Complex Parts) / 擴增實境技術強化維護和服務 (Augmented Work, Maintenance, and Service) 等新興職缺需求 (Pan, 2016)。

此外，近年在大數據 (Big Data) 熱潮中就以預測性維護的成長最為顯著，預測性維護不僅能優化設備的運作時間和性能，並減少檢查預防性維護 (Preventive Maintenance) 的時間和人力成本，在許多行業中廣被應用，職缺需求應運而生。未來產業極需培養出懂得運用數據資料進行輔助維修的人才。進而協助仍處於預防性維護的產業，朝向高值化的預測性維護升級，晉升工業 4.0 的行列之中。

預測性維修的源起與概念：預測性維修 (Predictive Maintenance, PdM) 指以狀態為依據的維修，在機器運行時，可以依據機器之各裝備進行定期或連續的監控診斷，判定裝備所處的狀態，並以裝備之狀態以及可能的故障模式，預先制定預測性維修計畫，確定機器應該修理的時間、內容、方式和必需的技術和物資。簡而言之，預測性維修乃是利用預測方法得到的結果，進行維修之管理，並結合設備之狀態歷史資料，以及參考環境內部其他同類設備的運行情況，應用系統工程的方法進行預測保養之綜合判斷分析，以預測隱患的發展趨勢，提出防範措施和治理對策。舉例而言，機械器具可記錄其中振動、發熱、或電量改變，並可藉由監控以上數據，判斷器具狀態，並發展預測性之保養計畫 (MBA 智庫百科, 2016)

修復性維修 (Corrective Maintenance)，又稱事後維修 (Break-Down Maintenance)，是在設備故障後，才進行維修的方式。此方法以設備是否完好為維修的判定標準，且只在設備部分或全部故障後再進行修理，為非計劃性維修的一種。

預防性維修 (Preventive Maintenance)，又稱定時維修，是以時間為依據 (Time Based) 的維修方法，即在一定的時間間隔進行停機檢查及維修動作，以預防設備損壞造成的生產損失。此維修方法也是目前製造業普遍採用的維修方法。預防性維修的時辰制定，需要對設備保養的項目、週期時間等先行規劃，例如年度保養計畫等。而其中預防性維修績效的指標有當機率、失效率或 MTBF 等，可藉由監控指標了解設備狀態，以及目前生產製造流程的穩定程度。

事實上，預防與維修間的關係，根據過去的歷史資料與維修保養紀錄，同時可定義出狀態 (State)、行動 (Action)、轉移機率 (Transition Probability)、以及報酬 (Reward Function)。根據機台狀態與採取維修保養行動後的結果，這些經驗可以使用強化學習 (Reinforcement Learning)，包含馬可夫決策過程 (Markov Decision Process, MDP) 與 Q-Learning，基於動態規劃 (Dynamic Programming) 的方法，找出最佳的保養政策 (Policy)，以節省保養成本與提升機台的可靠度。Stephane(2016)、Rocchetta et al.(2019) 及 Xanthopoulos et al. (2017) 皆利用強化學習方法在不同領域上找出最佳 (Optimal) 的預防性維護政策 (Policy)。

預測性維修的目的在於評估最佳的保養頻度，並常以統計分析工具進行預測，例如利用迴歸分析來訂定最佳的保養頻率。而利用分析結果，除了可以做為保養週期訂定的依據，預防保養數據的紀錄，也可以用以做為預測保養分析的資料輸入。因此，預防保養與預測保養可互相支援並循環運用，藉以提升設備保養的有效性。

以電氣設備常用的斷路器 (Circuit Breaker, CB) 為例子，從 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 發表的訊息得知，以斷路器而言，在 100 個損壞的斷路器中，其中沒有進行任何預測性維護的占 82%，而進行了預測性維護的只占 18%，可以發現，只要確實作了預測性維護後，就可以降低電氣設備的風險。

1. 狀態監測技術：狀態監測技術發展到現在，在各工程領域都形成了各自的監測方法，狀態監測的方法依據狀態檢測手段的不同而分成許多種，常用的包括：振動監測法、雜訊監測法、溫度監測法、壓力監測法、油液分析監測法、聲發射監測法等。
2. 故障診斷技術：故障診斷常見之手法如下：時頻診斷法、統計診斷法、資訊理論分析及專家系統診斷、人工神經網路診斷、模糊診斷、灰色系統理論診斷等。
3. 狀態預測技術：狀態預測為按照裝備的運行信息，判斷裝備當前狀態，並藉以預測未來的狀態。常用方法包含時序模型預測法、灰色模型預測法和神經網路預測法，Satyam Srivastava (2018) 利用機器學習方法，根據當下工廠監控的各種數據預測電源的故障，來進行預防性維修。

維修決策技術：維修決策是多角度出發，根據上述之狀態監測、故障診斷和狀態預測的結果進行維修之整合判斷以及可行性分析，藉以定出維修計劃。常用的方法包含故障樹推理法、數學模型解析法、貝氏 (Bayes) 網路法 (適用於表達和分析不確定和概率性事物) 和智能維修決策法等。

5.3.3 智慧運輸系統

大眾運輸指的是對大眾開放，提供乘客運送服務之交通運輸工具，其所提供的運輸服務通常是需要付費的，大眾運輸的涵蓋非常的廣，包括航空、鐵路 (火車、捷運、輕軌、路面電車等)、公路 (公車、公車捷運系統 BRT、計程車、Uber，共享單車等) 及水運 (客輪、水上巴士) 等交通方式。大眾運輸在許多人的日常生活中扮演重要的角色，如通勤的上班族、通車的學生、逢年過節返鄉的人潮、或是旅遊度假的遊客，在交通上皆需仰賴大眾運輸。

近年來隨著資訊通訊技術的快速發展，交通硬體設備及軟體的提升，智慧型行動裝置的普級，雲端技術的發展，物聯網的興起，大數據分析技術的日趨完善，人工智慧演算法的突飛猛進等，民眾對於及時交通資訊、網路化與行動化應用服務及整合性交通資訊的需求與依賴愈來愈明顯，智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation System, ITS) 變成各國爭相發展研究的重點之一，所謂的智慧型運輸系統是有效的整合電腦、資訊、通訊、感測、及控制等技術，透過即時資訊傳輸，及時提供大眾準確且安全的運輸資訊，有效提升行車安全、減少運輸時間、減少交通壅塞、提高運輸效率、減少能源

消耗（石油或電）、減少交通工具的耗損等，達到全方位大範圍的智慧運輸。智慧型運輸系統的研究與發展最早由美國（1990）、歐洲（1993）與日本（1994）率先展開，近年來加拿大、澳洲、中國、韓國、新加坡等國家的相關研究也日趨成熟。

智慧運輸系統的含蓋非常廣，以下針對幾個大眾較常接觸並受惠的系統做介紹：

1. 全球定位系統（Global Positioning System, GPS）：智慧型運輸系統內的 GPS 功能，可提供定位功能及導航功能（車輛導航，船舶導航、飛機導航、個人導航），可即時提供使用者電子地圖、路況資料（是否施工、交通是否順暢）、路線規劃、可用的大眾運輸資料（可到達的公車號碼或捷運及預估到達時間，公車動態資訊，搭乘 Uber 或計程車預估的車資，共享單車的租賃位置及可租借單車的數量）、最短路徑、最快速的運輸方式、最經濟的運輸方式等資訊，並可提供快速找出週遭可用的停車空位、加油站、電動汽機車充電資訊等等，可按使用者的需求，即時提供可靠穩定且安全的最佳運輸方式。
2. 智慧公車：對通勤族及學生而言，公車是每日必備的交通工具，智慧公車在提供乘客端服務的部分，可在公車等候區透過智能站牌提供即時公車訊息，在公車上提供電子車票、到站顯示等功能，乘客也能透過公車 app 查詢公車路線、目前位置，及預計要等待或到達的時間。在管理方面，智慧公車能達到超速管理、路線監管，運行狀況監管，數字行車紀錄，故障診斷、行程油耗紀錄，燃料消耗量標準管理等等，提供給乘客更安全便捷的交通方式。
3. 共享單車系統：近年來共享單車系統為城市間點到點近距離的交通提供另一種便捷的選擇，由於不會排放廢氣，且是以消耗自己的體力來替代其他能源的損耗，共享單車普遍被認為是非常環保的交通工具之一。使用者可經由共享單車的 app 或網路資訊，即時查詢到附近可租借或歸還共享單車的據點，以及可租借的單車個數或可歸還的車位，搭配信用卡或是悠遊卡的註冊綁定，使用者可快速便捷的租借單車，以經濟實惠的價格在城市間移動。系統所蒐集到的租賃資料，除了可統計騎乘資料，並可進一步分析經濟效應、碳足跡及減碳數據，另外也可衍生模擬新增租賃據點的選擇、單車調度遞補的最佳路徑等研究主題。
4. 資訊可變標誌及交通訊號控制系統：交通道路是否順暢，智慧運輸系統可提供極大的輔助及效益，相關管理單位首先可透過 GPS 定位系統掌握目前用路人的人數，或是透過道路安全監控系統（CCTV）即時掌握道路的路況、車速及車流量，並透過設置於道路兩旁或上方的資訊可變標誌（Changeable Message Sign, CMS），透過通訊傳輸網路發佈訊息，提供給用路人即時的路況資訊（如某道路順暢、前有障礙物掉落、雨天路滑、車多或壅塞時提供可使用的替代道路資訊等）。另外城市道路是否順暢有很大的程度取決於交通訊號控制系統，當路口有一定的交通流量時（如上下班時間、重大車禍事故發生、假日人潮造成交通壅塞等），相關管理單位須即時掌握到最新路況，並透過交通訊號控制系統，遠端控制，甚至智慧控制，適當且即時的控制不同路口交通號誌通行的時間，並緊密監控及回饋其執行成效，以達到有效確保交通道路順暢的目的。
5. ETC 及行動支付系統：高速公路電子收費系統（Electronic Toll Collection, ETC）及行動支付系統（如悠遊卡、手機行動支付等）的導入，不僅大大的縮短交通運輸購票、繳費、驗票、通行的時間，同時也減少許多相關作業人員人事的支出。另外系統可自動蒐集 ETC 及行動支付的使用情形，透過大數據的分析及技術，研究單位可研發出更多元，有助於改善智慧運輸的相關方法。
6. 智慧停車系統：民眾選擇自駕前往市區或熱門景點，最常遇到的問題就是找不到停車位，常面臨需要花一些時間找停車位或是把車子停在較遠的地方再步行到目的地，或多或少造成不便，也常遇到繞了很久都找不到停車位，而當車子一停好，

一路上走來又陸續出現多個空的停車位的情形。隨著智慧運輸的興起，近年來建立的停車誘導系統可即時提供自駕者停車場的停車狀況（滿位或尚有多少空位），另外停車位 App 則是可快速幫自駕者找到附近可用的停車位及停車費率，大大提升自駕者停車的便利性。而在停車場收費的部分，以往收費停車場或路邊停車大多採人工開單收費的方式，近年來隨著科技的進步，發展出智慧停車格及自動車牌辨識，當民眾將車停放智慧停車格後，系統能自動偵測車號，記錄車輛停車時間並可利用電子票證（如悠遊卡、行動支付等）在停車格旁的繳費機柱上即時感應扣款，或是使用信用卡綁定自動扣款，讓民眾輕鬆好停繳費便利。而自動車牌辨識技術則被大量的使用在無人管理的付費停車場，智慧停車系統為自駕者提供了停車上的便利，同時也可減少相關作業人員人事的支出。

綜合以上的討論，紛紛指出智慧運輸正在改變民眾使用大眾運輸的習慣，在考量「時間就是金錢」此亙古不變的道理下，如何應用智慧運輸系統即時提供大眾穩定可靠、快速且便利、安全且高品質的運輸服務，這裡面包含許多的科技、系統、智慧、演算法、與資料分析，而這其中也包含許多組合最佳化的問題，可作為作業研究領域研究的方向，如路線的規劃（最短路徑、最快到達、或最經濟的路線規劃）、大眾運輸網路規劃、大眾運輸資源配置、大眾運輸資料挖礦、大眾運輸使用率最佳化、智慧運輸品質績效與成本滿意度分析、飛機火車公車捷運班次的排程規劃、機組人員火車公車捷運司機排班規劃、繁忙時段人員車輛的調度規劃、交通流量預測、交通壅塞的最佳疏散方式模擬、大眾運輸交通工具票價的訂定、行動支付與自動收費停車場（格）的成本效益分析、停車場（格）的使用率最佳化，共享單車使用率最佳化、共享單車與減碳量的相關性分析、共享單車最佳新增據點的位置及數量之決策、資訊可變標誌的最佳擺放位置及其效益分析、遠端交通訊號控制系統建置、遠端交通訊號控制系統設立的數量及位置對疏散交通流量的成效分析等等。

5.3.4 智能化無人載具之研究

隨著 5G、物聯網、人工智慧的技術日新月異，「無人自動化載具」（Unmanned Autonomous Vehicle）或簡稱「無人載具」的應用越來越流行。「無人」意謂著人力的節省，但同時也假設載具自身具有足夠的智能，在滿足設定之目標與限制之下能安全完成任務。而這從頭到尾的過程，必須有多項軟硬體技術配合才得以完成，其中作業研究相關理論在軟體部分扮演舉足輕重的角色，小至避免衝撞（極小化定位誤差、計算兩物間之預期衝撞反應時差等），大至有效地分派責任區域與路線規劃（最短巡邏、搜救、物流運送時間等），皆涉及不同種類的最佳化問題。可惜目前普羅大眾及諸多媒體之目光大多集中於個別載具系統的辨識學習系統或機電整合技術的發展，較忽略上述軟體技術所需的作業研究理論之貢獻與困難度。在此，我們挑選數個無人載具路線規劃的相關研究議題來說明。

在無人載具的用途部分，主要為取代人力去處理人較難處理且又需要常做的任務，尤其在軍事方面的應用近年來更是蓬勃發展。在此我們主要針對一般民間用途，特別著重在大範圍的巡訪需求，依陸海空等不同場域之應用加以說明。值得注意的是，這裡所探討的主題皆是作業研究領域中某些經典問題的變種。以往的相關文獻即使其假設情境並沒有特別提及所考慮載具是否「有人」，然而經過數學規劃模式或最佳化演算法運算而得的解，都是假設這些載具之「操控者」會完全按照規劃結果來行進，亦即該「操控者」是被假設為沒有智能、完全聽從命令的，因此先前文獻幾乎無視載具「操控者」的存在，這其實等效於「無人」的結果；而現今載具所希望具有的「智能」或「人

工智慧」，其實正好對應且等效於原先文獻的所有求解模式與演算法。因此那些模式或演算法剛好可直接套用在無人載具的電腦來當其「智能」，只是現今的無人載具大都將自身的行進里程上限等電力、續航力問題列入其路線規劃的考量，這是先前文獻較未觸及的。

在陸地的巡邏應用部分，以警察執行巡邏勤務、垃圾車或除雪車等為例，主要都是在給定的街道路網上，必須規劃載具（巡邏車、垃圾車、除雪車等）的行經路線，其中可能某些節點（Node）或節線（Arc）一定要經過，甚至其經過次數或時段有不同的權重、規範或效用。以垃圾車或除雪車的路線而言，較類似於鄉村郵差問題（Rural Postman Problem, RPP）或旅行推銷員問題（Traveling Salesman Problem, TSP）；然而以巡邏車而言，可能會再更複雜一些，譬如某些路段在某些時段或有不同的巡邏需求與效益，且順逆向不見得有對稱的參數設定（此類圖稱為風向圖，Windy Graph）。此外，如何用最短的時間分派不同巡邏車在不同區域的 K 台巡邏車路線規劃問題（K-WRPP）（Benavent et al., 2009；Archetti et al., 2014），又會牽涉不同巡邏車的巡邏範圍如何劃分，而此議題也會跟「越野競賽問題」（Orienteering Problem, OP）相關。

除了巡邏外，近年來由於線上購物交易興盛，城市內的物流活動愈趨密集，因此也開始有物流公司試圖使用無人車或無人機進行最初與最後一里（First-and-Last Mile）的運送，較有名的可能是結合無人機配送的 Flying Side Kick TSP（Murray & Chu, 2015）或是 2-Echelon VRP（Cuda et al., 2015；Luo et al., 2017；Hu et al., 2018）這類問題，該問題是以 Amazon 的貨車載無人機進行包裹運送，在貨車行駛中途可釋放無人機去進行最後一哩路的包裹配送，該問題探討如何規劃最小成本路線以造訪所有的顧客，而貨車扮演移動基地的角色，因此我們必須同時規劃貨車、無人機兩者的路線與排程（何時在何處收送無人機）。

除上述方式外，另一個直覺的物流應用就是直接將都會區中收到收送貨需求直接指派一台車去處理，就好像計程車一樣，直接去地點接人（貨）之後至訖點送人（貨）。然而，這種方式的運送主要是著眼於每件起訖點間迅速的時效，但也會導致路上車滿為患，且各台車因只載一件貨物而較浪費空間，若以旅運需求來說尚可接受，但以貨運需求而言則是成本過高。因此也衍生出新類型的軸輻式運送網路（Boysen, Schwerdfeger & Weidinger, 2018），將整個營業範圍區分為多個小分區，各分區由一個集散點（Hub）當成地區性物流中心，由該處派出小型無人車去客戶端收送貨物，而 Hub 間的貨物則再由貨車（亦可為無人車）轉運接駁，因此貨物將靠多次的轉運接力方式送完，此種方式在 Hub 間的運送可充分利用經濟規模的優勢（所以閒置空間較少），只有在最初與最後一里路時會看到較多小型無人車穿梭於 Hub 與各收送貨處，因此會比前述的直送方式的載具個數少了許多且具有較低的運送成本。

上述兩種城市物流網路所需的作業研究技術，在直送部分若以員工運送則僅牽涉到最短路徑；若以群眾外包（Crowdsourcing）方式，則將牽涉配對問題（Matching）。若以軸輻式網路運送，則 Hub 位址、責任區位劃分部分與設施選址（Facility Location）問題相關；而 Hub 間的貨車排班與路線規劃則牽涉區位途程（Location Routing）問題。

在水上、水中的無人船，將會與空中的無人機有較類似的民間應用，主要用於偵查、搜救、巡邏、拍照等用途。而無人機在物流方面可能的應用亦已於先前解釋過，在此主要針對巡邏、搜救方面用途，且特別將無人機或無人船的續航力或電力列為在路線規劃上的重要考量。

在水上或空中以無人載具群組巡邏的部分，其基本問題與前述的 TSP、RPP 等類似，然而主要的挑戰在於水域或空域的作業範圍通常較廣大，這將導致求解時不但理論的數學規劃模式幾乎無法處理，甚至諸多的啟發式演算法也難以設計比較。舉例來說，最直覺的作法就是將作業範圍先切割劃分成許多格點（Grid），如此即可將原先的

巡邏問題，轉換為在此格點網路上的 K-WRPP 等之類的問題；該網路若切割過細，可能會產生成千上萬個節點或節線，導致求解困難；反之，若切割過於粗略則又與現況太不符實，目前為止的幾無使用數學規劃模式來探討多台無人載具群組的路線規劃的相關研究文獻，稍微有關的文獻頂多提出無法比對驗證成效的演算法來實作，這部分的確困難度頗高，但隨著硬體技術的進步，我們預期群飛這方面的需求將越來越多，因此如何以有系統的方式來規劃整體最好的行進巡邏路線，將會是個具理論與實務價值的研究議題。

此外，在搜救部分，使用無人船或無人機更是需求極大的應用。如果僅是將所欲搜尋區域構成之路網上所有或部分節線經過的巡邏問題，只是 RPP 的變種。在傳統網路搜救部分，假設欲搜尋之標靶出現在各節線之機率已被事先估算而得，在這樣的情況下，應該不能僅使用傳統 RPP 那種只重視路線長度而忽視搜尋機率的作法，而是理應將該搜尋機率列入考慮才對。Berger & Lo (2015) 探討多搜救隊於單位節線長度網路 (Unit Graph, 亦即所有節線的長度皆為單位長度) 搜尋靜態標靶，目標式為最大化尋獲標靶之機率。Jotshi & Batta (2008) 針對單一搜救隊搜尋靜態標靶，試圖找出一條經過所有節線的路徑，以最小化期望搜尋時間為目標；然而上述之研究仍是假設搜尋作業必須使用人力沿路逐段徒步跋涉探索；相對而言，無人機具有較快的三維空間移動能力，可跳脫二維路網的路段連結限制；只要續航力足夠，同時指派多架無人機分工協同搜尋，應可更快完成搜尋任務，同時也能減少搜救團隊發生人身意外。因此我們認為將無人機移動模式與其續航力補充方式列入路線規劃的考量，應會是個很有價值與充滿挑戰性的研究議題。

在使用無人機進行「橋樑檢測」部分，Benavent et al. (2007) 將使用機器人巡視檢測橋梁骨架的問題視為一個 WRPP。Benavent et al. (2009) 探討 KRPP，以 Min-Max (MM) 的目標提出混整數規劃模式並使 B&B 演算法，其目標式求取多車路徑中最長者將之最小化，以期每台車的負荷趨於平均。而 Benavent et al. (2010) 針對 MMKWRPP 提出多個求解起始程序的方法，以迭代局部搜尋程序 (Iterated local search) 組合各車路徑，效能不錯。最近，Bolourian & Hammad (2020) 使用 LiDAR 無人機之偵查範圍與角度而設計的方法，找尋橋墩中的 VPIs (View Points of Interest)，以啟發式演算法找尋初始 VPIs 集合，再使用基因演算法等啟發式演算法解決 TSP 問題，並在迭代中更新選點。類似應用還有以 3D 物件為對象設計的無人機路線規劃方法，透過水平切割物件，每層 Non-Convex 圖形經過 Clustering，以 K-means、MIP 模型求解最小最大直徑之最佳解後，決定每個水平面的停留點，並加入補償值以保證無人機不會碰撞到物件，最後再以平均分配的形式指派無人機路線。由於橋樑檢測為當下無人機最常被提及的應用之一，即使其問題架構類似上述的 KWRPP，但可能會是較早能落地的實務應用。

隨著車輛系統的開發與演進，我們預期「全自動駕駛系統」技術可能在數年內便臻成熟，在其變成全民基本配備之前，應該會先被用來改善長途駕駛時，人相對於電腦會因為疲勞而發生更高的失誤機率。其中，「隊列行駛」(Platooning) 技術藉由通訊及自動駕駛系統，設定兩台以上的車輛在保持一定距離下以相同速度行駛；由於電腦系統的輔助讓車輛得以在比人為駕駛時更小的車輛間距下同步行駛，不僅能使後方的車輛大幅降低風阻減少油耗，也因前後車動作同步一致化，可使兩方車輛皆縮短反應時間，提升安全性。目前此技術已運用在與自動駕駛技術的結合，並應用在卡車車隊提升其運輸量及效率，並能有效減少廢氣排放和油耗 (Patten et al., 2012; Alam et al., 2015)。相關文獻中，Bonnet & Fritz (2000) 以實驗證明當後方車輛以 80 公里/時行駛 10 公尺將省下 21% 之油耗，Shladover et al. (2012) 也模擬評估當自駕系統成熟普及後，因車間距減少可使道路流量增加至高兩倍。

Eckhardt et al. (2016) 提到各貨車工業已經逐步開發出可實行隊列行駛的貨車運輸系統，對於未來正式實現隊列行駛科技給予正面的期待。對於隊列行駛的研究，Bhoopalam et al. (2018) 依實作中可能考慮的變因將研究細分為已排程與實時等兩種隊列行駛情境；Boysen et al. (2018) 針對固定起訖點，不同時間條件下車輛該如何組合隊列的問題建構整數規劃模型；Van de Hoef et al. (2017) 以大型貨車隊伍和一中央調控系統來規範各貨車之路線及速度，利用可行的隊列組合，以最大化路線重疊為目標，提出以鄰域搜尋法為基礎的啟發式演算求解，以有效降低油耗成本。Liang et al. (2016) 則引入貨物運輸期限做為限制，透過調整各車輛間之速度進行規劃。其油耗則考量了車型、地形及速度的模型，能更接近於現實的情況。Larsen et al. (2019) 引入樞紐(Hub) 的概念，將可以等待的車輛放置於樞紐站，能更有效率地分配路線或組合成隊列，或應用於長途運輸中，車輛可能面臨須暫停(加油、駕駛員疲勞)等問題，需要由多台車接續運輸時的路線規劃及車輛分配，並同時考量靜態及動態規劃。該研究估計在理想狀態下能節省 4—5% 的成本。由於長途貨車的疲勞駕駛問題的確能用隊列行駛技術來處理，我們也預期該技術之應用會較一般無人車更早被普及，此亦將為作業研究技術在無人車部分的先導落地應用。

5.3.5 行為作業管理/行為作業研究

作業研究的另一新興領域是「行為作業管理 (Behavioral Operations Management, BOM)」及「行為作業研究 (Behavioral Operations Research, BOR)」。在一般作業研究所探討的數學模型中，多假設決策者在完全理性(沒有個人之情緒或行為的考量)且不為其他相關決策者影響之前提下，進行個人之決策。但是，在 60 年代麻省理工學院以著名的啤酒遊戲 (Beer Game)，在簡單的供應鏈中，由於各節點企業之間資訊的不對稱及追求自身利益的最大化，引發偏誤的訂購量決策，導致長鞭效應 (Bullwhip Effect) 的現象。在面對報童問題情境的決策者，因為過度自信或對於資訊回饋的錯覺，會導致有誤差的訂購量決策。還有行為經濟學大師 Daniel Kahneman 提出「展望理論」(Prospect Theory)，改進博奕論中的期望效用假說而建立，加入了人們對賺蝕、發生機率高低等條件的不對稱心理效用，它比較符合心理學觀察結果，能比較寫實地描述一個人，在風險決策(如金融投資)之時的心理，成功解釋了許多看來不理性的現象。展望理論對分析在不確定情況下的人為判斷和決策方面作出了突出貢獻，Daniel Kahneman 更因此獲得 2002 年諾貝爾經濟學獎。多位學者開始關心：若作業研究在建立模式時，加入決策者行為考量，會有何影響？此即行為作業管理 (BOM) 及行為作業研究 (BOR) 之研究宗旨。

Gino & Pisano (2008) 對於「行為作業」(Behavioral Operations) 之定義為：人類行為與認知及其對於作業系統與流程影響之研究 (The Study of Human Behavior and Cognition and Their Impacts on Operating Systems and Processes)。對於 BOM/BOR 領域有興趣之研究者，可參閱 Loch & Wu (2005)、Bendoly et al. (2006) 及 Bendoly et al. (2010)，以對 BOM/BOR 領域相關的方法論獲得整體發展的基礎背景及了解其在作業系統應用之初步了解，並可參考 Gino & Pisano (2008) 所提出之研究發展方向。以下彙編之內容主要參考 Bendoly et al. (2010) 所整理 BOM/BOR 領域之四個知識主體 (Knowledge Bodies)：認知心理學 (Cognitive Psychology)、社會心理學 (Social Psychology)、群體動態學 (Group Dynamics) 及系統動態學 (System Dynamics)。表 5.1 則指出在四個知識主體之研究中，典型之五種研究方法即：實地案例調查 (Field Case

Study)、控制實驗 (Controlled Experiments)、問卷訪談 (Survey Methods)、數學建模 (Math Modeling) 及模擬 (Simulation) 應用的現況。

彙整 BOM/BOR 領域四個知識主體與作業研究與決策科學子學門高度相關之內容：

1. 認知心理學

最被關注的是個體 (Individual) 決策乃為「有系統的差異」(Systematic Deviation)，其主要分為兩類：「捷思」(Heuristics) 與「偏誤」(Bias)。其中，偏誤乃關注描述決策後果 (Outcomes) 所造成之差異，而捷思則關注於決策過程之差異；詳參 Baron (1998) 及 Plous (1993)。認知心理學常見的三個理論面向如下：

表 5.1 BOM/BOR 領域之四個知識主體及典型之研究方法 (Bendoly et al., 2010)

	認知心理學	社會心理學	群體動態學	系統動態學
分析之典型單位	個體	個體	個體與群體	群體與組織
常用之研究方法				
實地案例調查	○	⊙	○	●
控制實驗	●	●	●	⊙
問卷訪談	⊙	⊙	●	○
數學建模	●	○	⊙	⊙
模擬	⊙	⊙	⊙	●
關鍵主題	捷思、偏誤	動機/ 標的、回饋	群體迷思、 艾必琳矛盾	存量與流 量、延遲

註：●及⊙代表「最流行」及「非常普遍」之方法論，圓圈面積代表方法論常用之程度（故⊙及○次之），○空心圓圈表示很少運用該方法論。

- (1) 過度自信 (Overconfidence)：傳統上的「過度自信偏誤」(Overconfidence Bias) 乃指個體相信他們知道的比實際真正知道的多。過度自信偏誤在許多模式中有重要的影響；以需求預測為例，預測中的誤差常來自對於需求分配的錯覺 (Misperception)，像是自行認知分配較窄的定義域 (Range)，此型態過度自信又稱過度精準 (Overprecision)，而這種情形常導致低估需求預測的變異數導致決策中系統性及可預期的誤差。因為類似低估需求變異數，在存貨問題中，則常導致個體持有過低的存貨；像是 Croson et al. (2008) 探討報童問題，因為過度自信偏誤導致訂購量有誤差的現象。另一型態的過度自信為過度估 (Overestimate)，常用於新產品開發、有系統地低估作業系統中的週期時間、錯誤率及其他負面績效評估值；可參見 Healy & Moore (2007)。
- (2) 錨固 (Anchoring) 及不足調整 (Insufficient Adjustment)：Bowman (1963) 以實驗顯示個體常不當地以過去的觀察及經驗錨固其決策或反應，但是對此錨固發生的影響估計通常不足；參見 Tversky & Kahneman (1974)。在存貨問題中，Serman (1989a) 提出以錨固與調整的捷思 (Anchoring & Adjustment Heuristic) 解釋啤酒遊戲中參與者的訂購量決策，引發系統性偏誤而導致長鞭效應的現象。文獻中多數研究探討的重點，在應用中確定錨固為何、預測與解釋其對決策的影響。
- (3) 損失趨避 (Loss Aversion)、倒影效應 (Reflection Effect) 及建構 (Framing)：研究發現個體對於損失及獲利 (Gain) 常有兩種型態的不對稱性，即損失趨避與倒影效應-展望理論 (Prospect Theory) 對此建立分析模式；參見 Kahneman & Tversky (1979)。損失趨避常導致經理人投資過多資源於保留獲利能力不足的產品或市場，而在新產品開發及研發投資不足。倒影效應乃指個體對於獲

利採風險規避，但是對於損失採風險愛好 (Risk-Seeing)，對此個體無法以典型的期望效用理論進行建模 (Balvers & Mitchell, 1997; Levine & Zame, 2002)，而且此類型決策者對於新產品開發或上市、IT 系統導入等已經發現虧本，但仍追逐風險並持續追加資源 (逐步擴大允諾) 以求成功；參見 Khavul et al. (2008)。建構所談的是描述個體如何決定其所面對為一損失及獲利，最近有些研究提出運用修訂的效用函數進行評估；參見 Tamura (2007) 及 Tomlin & Wang (2008)。個體會因決策選擇描述方式而遭到左右，因而形成建構偏誤，此問題也常見於存貨政策、IT 軟體投資及新產品開發；參見 Schultz et al. (2008)。

在一般的 OR/OM 模式中，多假設個體為完全理性 (Perfectly Rational) 且具有無限的推理 (Reasoning) 能力。而 BOR/BOM 領域的研究顯示，個體僅為有限的理性，多以捷思進行決策而常為其系統性偏誤所苦，故整合 OR/OM 模式與認知心理學，可以有效強化預測的能力，並深化對於決策過程、效力、行為及可能偏誤的了解。

2. 社會心理學：動機影響有意識及無意識的決策，帶動相關的行動。而動機常被下列三個面向所影響，故為 BOR/BOM 模式的重要關注

(1) 標的設定 (Goal Setting)：運用模式進行決策必須列出目標 (Objective)，所以目標的設定當然非常重要；Sevier (1992) 指出缺乏明確、特定即可及之標的會導致及時 (JIT) 生產系統執行失敗。運用數學模式有助於使決策者更加了解系統，進而設定適當的目標，例如：運用 M/G/s 模式所得的穩定狀態統計值，可以提供決策者對於系統在不同參數下的變化，有助其設定應該關注的目標。

(2) 回饋與控制理論 (Feedback and Control Theory)：Katok et al. (2008) 指出回饋頻率對於存貨契約的服務水準有重要的影響，Bolton & Katok (2008) 顯示較長的回饋期間會累積變異性造成在存貨訂購決策的扭曲。因為建模使決策者對於系統中各流程有深刻的了解，可以運用數學模式協助了解回饋對於系統的影響；例如：Powell & Schultz (2004) 針對一生產線其操作員的作業時間為緩衝區狀態的函數，Fillinger & Hongler (2005) 也運用等候理論，在緩衝區相關的服務率的前提下，分析生產線的系統效率。

(3) 彼此相依性 (Interdependence)：結局的彼此相依性 (如共同獎勵) 可以導致不勞而獲或發展規範 (Norms)；參見 Olson (1965) 及 Schultz et al. (1999)。Schultz et al. (2009) 指出在群體進行平行工作時，工人的工作速度會自行調整趨近平均速度。Doerr et al. (2002) 提出模式探討工作彼此相依性與工人異質性的交互作用在不同工作線所發生的影響。

一般的 OR/OM 模式多忽略加入設計參數對於動機的影響，整合上述三項可以有效地增加模式預測與解釋之能力。

3. 群體動態學：主要探討個體感知自己為群體的成員及他們如何一同 (非個別) 面對決策。群體動態學通常關注下列三個面向：

(1) 群體迷思 (Groupthink, GT) 及艾必琳矛盾 (Abilene Paradox, AP)：即使在一開始與群體互動時，個體有不同的想法，但群體迷思改變個體，最終其意向反應群體的共識；艾必琳矛盾 (AP) 所指為群體成員，常採取「與群體所真正想要」背道而馳的行動；參見 Kim (2001) 及 Taras (1991)。上述二者都會因為環境限制 (如：時間、訓練及資源不足)，對於群體產生壓力而常作出次佳 (Sub-Optimal) 的決策，故學者會將此潛在連結加入數學模式，了解群體在面對環境限制進行決策時複雜的互動；參見 Bendoly & Hur (2007) 在專案管理領域相關的探討。

- (2) 群體中的指責 (Blame in Group): 歸屬理論 (Attribution Theory) 指出在群體中的個體常將拙劣的成果歸因於他人或外部情勢; 參見 Bendoly & Swink (2007) 及 Taylor & Fiske (1975)。Sternan (1989a) 也以此說明啤酒遊戲中, 參與者常會指責群體中他人的行為。
- (3) 崩壞螺旋 (Breakdown Spirals): 不彰的績效會同時造成 GT 及 AP 而使群體局勢壓力增加, 而且常伴隨 (內部或外部的) 指責, 可能在群體強化凝聚力或擴大裂縫, 又再度增強 GT 及 AP 的循環。崩壞螺旋對於作業系統的負面影響, 請參見 Chapman (2006) 及 Bendoly & Cotteleer (2008)。

群體動態學的現象, 已有多位學者運用各種形式加入數學模式中; 參見: Blanc (2009)、Glazer (1958)、Koenigsberg (1966)、Larson (1987), 及 Zhao & Grassmann (1990)。

4. 系統動態學: 其探討系統層級行為規則性的效應與設計對於績效的改善, 故較個體與群體的層次更高。系統動態學常運用之工具有二: (1) 「因果構圖」(Causal Mapping): 常用以表示系統動態的複雜度及 (2) 模擬 (Simulation): 用以評估系統組件 (Components)、資訊來源與個體決策互動的推論。系統動態的研究已經著墨於許多作業實務議題: 存貨管理 (Diehl & Sternan, 1995; Sternan, 1989a)、新產品上市 (Paich & Sternan, 1995)、專案管理 (Lyneis et al., 2001)、流程改善 (Repenning & Sternan, 2002)、服務管理 (Oliva & Sternan, 2001) 及車隊管理 (Moxnes, 1998)。系統動態學的研究指出決策者在具有顯著回饋延遲 (Sternan, 1989a)、回饋複雜度 (Diehl & Sternan, 1995; Schweitzer & Cachon, 2000 及 Sternan, 1989a,b) 及變化狀況的環境中, 常會績效不彰。Sternan (1989a,b) 指出決策者在動態複雜的環境績效不彰, 來自回饋的錯覺及個體對於因應環境沒有敏感度適當及正確地採用回饋。

另外, 在供應鏈與通路管理領域與 BOM/BOR 的結合, 其中最重要的研究議題之一即在「公平性」(Fairness)。早期由經濟學家先開啟對於公平性的探討, 參見 Kahneman et al. (1986) 及 Fehr & Schmidt (1999)。近年在供應鏈與通路管理加入公平性的具有代表性的研究包括 Cui et al. (2007)、Loch & Wu (2008)、Ho & Su (2009) 及 Pavlov & Katok (2011)。作業研究為各領域決策者 (或決策群體) 進行重要量化決策主要的輔助方法論。新興的 BOM/BOR, 能更貼切的描述真實生活中決策模式, 有效強化預測與分析能力, 更深化對於決策過程中因個體或群體行為及系統動態所產生可能誤差的了解, 可以作為我國作業研究學者拓展研究領域及增廣研究議題多元性的可能方向。

人們對動態系統的理解取決於訊息呈現方式, 作業研究對各種行為效應高度敏感 (Hämäläinen et al., 2013)。Brocklesby (2016) 討論行為與模型建立兩研究議題之交集其必要性, 透過作業研究方法關注行為方面的研究, 從建立模型、解決問題與建置決策支援系統等, 將可大幅改善作業研究實踐。近年 BOM/BOR 應用領域發展相當廣, 例如供應鏈與存貨管理 (Ancarani et al., 2013; Sarkar & Kumar, 2015; Schorsch et al., 2017; Castañeda et al., 2019)、醫療照護 (De Blok et al., 2013)、品質控制 (Cho et al., 2017)、緊急疏散管理 (Fry & Binner, 2016) 和服務管理 (Lee et al., 2013) 等, 諸多研究將行為要素納入分析模型或實證研究。然而 Becker (2016) 提到現階段研究常對行為的理解過於狹隘, 忽略跨領域的連結, 或是在發展 BOM/BOR 時沒有與作業研究核心學科緊密結合, 皆有待突破。未來研究可以應用理論觀點或實證研究方法, 從個體、團體和組織層級, 對人類行為、社會學、經濟、心理、政治, 甚至文化等領域, 發展 BOM/BOR, 進行跨域作業研究。此外, 由上述文獻探討可知: BOM 和 BOR 的研究領域與心理學的

背景知識有密切深厚的關連性。在我國工業工程領域中有多位人因工程領域的教師，有心理學之學識知能背景（即其大學或碩士畢業學位）。故在我國各工業工程與管理系中，作業研究與人因工程領域教師非常適合進行跨子學門之協同合作，有機會在行為作業管理及行為作業研究領域共同開拓優質的新興議題。

5.3.6 作業研究於醫療與健康照護之應用

隨著醫療保健相關知識、科技與方法日新月異的進步與突破，人們對於追求高品質之醫療與健康照護亦不斷提升，故現今醫療環境對於效能與效率的需求及服務品質的要求日益增加，然而醫療保健不但事關生命且其成本所費不貲，如何在有限之資源條件下，應用相關科技研發醫療保健系統與制度、達到醫療保健資源最佳利用與配置，遂成為當下重要議題。依國內外相關統計，醫療院所由於醫療疏失而造成生命財產損失或醫療糾紛者更不計其數。此外，因為基層醫護人員短缺、醫療器材與藥物成本的提高、及醫療經營管理失當與能力不足，使得近約六成美國醫院呈現虧損的狀態。美國的醫療機構面臨著財務艱困、消費者滿意度下滑與同業競爭激烈的窘境，而同樣的問題亦發生在世界其他各國家的醫療體系中。根據經濟學人資訊社（Economist Intelligence Unit, EIU）於 2010 年發表之「亞洲醫療照護面對的挑戰」白皮書中（經濟學人, 2010），在中國、香港、印度、印尼、馬來西亞、菲律賓、新加坡、南韓、台灣、泰國、及越南 11 個國家或地區，台灣醫療開支占國內生產毛額（GDP）比重居冠，顯現台灣醫療健保相關制度亟需改革。

僅次於日本，台灣人口老化比率增加快速，從 2006 年的 10%，繼戰後嬰兒潮於 2010 年進入老年後，預計在 2020 年將增至 15%。而由於人口老化的趨勢嚴重，高齡病患將會急速增加，且其對醫療資源需求遠比一般成年患者高，故醫療體系未來將面臨更多老年病患之醫療健康照護相關費用之大幅成長。而根據數據顯示 10% 的老人人口之醫療費用約占目前國民醫療保健支出（National Health Expenditure, NHE）五分之二，由此證實高齡病患之健康醫療費用是全民健康保險財務的重要負擔。鑑此，為提升老人醫療健康照護品質、改善健保財務，亟需加強研發或引進醫療新科技、建構整合性醫療保健系統；按照每個人不同特質與健康需求，及早規劃、進行改善措施，從預防醫學、急性醫療至長期照護等多元化的策略選擇中，制定出最佳醫療照護決策，以促使各項醫療資源利用更有效率。

誠如其他產業，醫療環境所面臨的經營績效與服務品質相關問題，可使用科學方法有系統地解決，亦即應用工業品質改善與系統作業績效提升之技術於醫療健康照護系統，被視為具有實質且顯著的成效。故近年來有愈來愈多的作業研究與管理科學領域研究者，將傳統作業研究方法或結合資訊科技等運用，延伸應用於醫療體系，以期改善醫療相關領域之作業績效問題。而值得注意的是，美國作業研究與管理科學學會（INFORMS）於 2006 年首度發起之最佳化研討會（INFORMS Optimization Society Conference, 2006），即以「最佳化與醫療保健（Optimization and Health Care）」為研討主題。由此可知，醫療系統與保健機制等相關問題的最佳化，特別是在世界各國人口普遍老化現象，突顯出高齡人口醫療與長期健康照護成長需求趨勢下，將會是作業研究領域近期的研究重點。參考美國作業研究與管理科學學會 2009 年年會（INFORMS Annual Meeting, 2009）之研討內容和 Hartmann et al. (2022) 統整之相關研究最新發展，將作業研究方法於醫療與健康照護系統之應用歸納出以下幾個重點方向：

1. 醫療政策（Ciani et al., 2013；Bennett et al., 2012）健康服務作業、健康保護、及健康促進等相關醫療政策訂定。
2. 公共衛生與預防醫學議題（Lasry et al., 2013；Tao et al., 2012；Tizzoni, 2012）流

行疾病散播與時間序列模型建構、疾病演變模型預測、潛在病患篩檢與病因關聯研究、大型流行性疾病之反應策略、及疾病控制與預防最佳篩檢策略等。

3. 醫療供應鏈 (Al-Karaghoul et al., 2013; Kelle et al., 2012; Samii et al., 2012) 藥物配送網路規劃、轉診規劃、急診病患運送路線與網路規劃、及疫苗存貨預留與配置問題等。
4. 社區醫療與遠端醫療系統 (Kucukyazici & Verter, 2013; Oliveira et al., 2012; Rinaldi et al., 2011) 中長期社區醫療資源配置規劃與組合決策分析、遠端醫療系統建置等。
5. 醫療資訊系統 (Chang et al., 2012; Leema & Hemalatha, 2013; Southard et al., 2012; van der Togt et al., 2011) RFID 與感應器應用與模擬資料分析、病患等候時間預測與影響、電子醫療紀錄系統、及健康醫療資訊網頁探勘 (Web Mining) 技術應用之改善等。
6. 醫療機構之作業管理如產能規劃、醫護人員排班規劃、手術時段排程、醫護人員使用率最佳化、門診與急診病患看診時段指派、病患照護規劃、病患等候線分析、及病患到達人數預測等 (Helm et al., 2012; Hulshof et al., 2013; Maenhouta & Vanhoucke, 2013; Ozen & Balasubramanian, 2013; Patrick et al., 2012; White et al., 2011)。
7. 醫療機構之資源管理。醫療空間設施規劃、病床數規劃、醫療器材購買與報廢期限規劃、病患動線規劃、及整體醫療資源有效利用等 (Griffin et al., 2012; Ma & Demeulemeester, 2012; Zhu et al., 2012; Holm et al., 2013)。
8. 醫療機構之營運績效評估。醫療機構之成本效益分析、病患進入/出之經濟分析、及醫療服務品質績效與成本和滿意度改善分析等 (Claxton et al., 2011; Falavigna et al., 2013; Grigoroudis et al., 2012; Kara, 2013)。
9. 智慧診斷與判讀如電腦輔助醫療影像分析、人工智慧 (Artificial Intelligence)、演算式智慧 (Computational Intelligence) 診斷、診斷最佳化、及醫療資料探勘等 (Andriole et al., 2011; Darmanayagam et al., 2013; Kim et al., 2011; Meisel & Mattfeld, 2010; Ting et al., 2013)。
10. 療程最佳化著重於病患個體或群組差異、病程不確定、及有限資源下之決策智慧等 (Miller et al., 2013; Rosebraugh et al., 2012)。
11. 長期照護系統長期照護 (Long-Term Care, LTC) 系統最佳化產能規劃、設施資源利用改善、及等待時間服務水準分析決策支援系統等 (Zhang et al., 2012; Zhang & Puterman, 2013)。

除了上述所歸納廣為學者重視的十一個研究主軸之外，針對台灣的社會現況及需求，此處亦提出幾個值得作業研究領域學者進一步深入探究的重要議題：

1. 針對醫療介入與服務進行更合宜的成本效益評估並據以優化醫療資源分配：

台灣的全民健康保險本身隱藏著嚴重的財務壓力。由於個人的醫療支出或成本與年齡有高度相關，65 歲以上民眾之就醫費用，包括門診、急診及住院的花費等往往是國人平均的 1.5 到 2.5 倍，此問題在社會高齡化的今日更顯迫切。此外，醫院為追求利潤，可能透過投資購買昂貴之先進醫療儀器墊高醫療以及健保費用，但未必能夠有效提升全民的健康水準。如何確保國民健康保險之永續發展並且避免醫療系統崩壞，這個跨域的健康管理議題是值得投入的重要方向。

針對不同的醫療介入與醫療服務進行更精準合宜的成本效益評估，顯然是與健保資源分配之優化及醫療服務之定價有關的問題，也是作業研究領域學者最長於處理的問題之一。雖然透過健康計量學的分析方法來進行成本效益評估的作法已經是國際中常見的作法，但在包括醫療服務之成本效性的評估，以及醫療資源分配的優化的方法論及應用，仍有許多面向需要進一步突破。舉例而言，評估與健康有關的生活品質或者

效用，不能夠單單考量存活時間的長短，所以調整品質後存活人年(Quality Adjusted Life Year, QALY)往往被作為醫療決策與管理介入時的評估單位(Hwang & Wang, 2004; Huang et al., 2019)。

作業研究領域學者可以結合其他領域專家，包括醫學、流行病學、健康經濟學、心理學、統計學的專家等共同合作解決此跨域整合的研究議題，透過不同領域開發出的評估方法與計量基礎，在考量到決策者的風險偏好、願支付價格或效用函數的情況下，進一步透過作業研究模型進行優化，以確保醫療資源分配的有效性。

2. 用作業研究工具提升健康風險評估方法及健康風險管理決策之品質：

近年來，在台灣社會中，食品及環境(不管是瘦肉精、毒澱粉、塑化劑或空氣中的懸浮物質)所引發大量的健康風險問題，造成民眾恐慌，也突顯當前風險管理的缺口。不管是微生物性、物理性、或者化學性的風險，往往具有傳播性以至影響範圍廣泛。另外，由於存在科學上的不確定性與個體之間的變異性，實務上並不易推估暴露劑量與毒性反應關係以評估對人體健康的衝擊，危害物對健康的影響也往往未能夠在短期清楚得知，加上許多承擔風險者並非自己自願承擔風險，而且承擔風險者往往不是因風險而得利者，這些均造成風險評估與管理困難度。

雖然近年來風險分析方法的發展及實務的應用有長足的進步，許多作業研究的數學工具，例如機率模型、貝氏統計分析、模擬方法、決策理論已被廣為應用於健康風險管理，但當前的風險分析仍偏重於傳統靜態的風險評估。而且研究的對象往往只著重在既存且相對容易辨視的危害，未深入考量到潛在的新風險與黑天鵝事件(Aven, 2016; Aven & Zio, 2014; Khan et al., 2015; Pasma & Reniers, 2014; Venkatasubramanian, 2011)。

很顯然地，在新興風險的概念越來越受到關注(Flage & Aven; 2015)下，為了處理存在大量不確定性、影響的範圍不易界定、且數據不完美的現實風險管理議題，作業研究在風險分析領域的挑戰之一在於開發出能夠更清楚地捕捉知識維度與時間動態的新評估框架與分析工具，並且要能夠將人因工程和組織因素適度整合到風險評估中，亦即將分析從傳統的定量風險評估(Quantitative Risk Assessment)演化到動態定量風險評估(Dynamic Quantitative Risk Assessment)。這些方法上的突破，不僅可以運用於健康風險評估與管理，亦可以適用於環境風險或其他複雜系統的管理。

應用作業研究方法深入探究健康照護公平性之議題作業研究方法可以用來分析健康照護之公平性問題，透過實證數據及建構分析模型識別及評估包括地理區域、族群、性別、以及其他社經因子所造成之健康照護差距或就醫不公(Health Disparity)情況。近年來，已有為數不少的研究，針對不同的國家、區域探究其醫療保健之公平性(Bradley et al., 2017; McCoy & Lee, 2014; Rheingans, Atherly & Anderson; 2012)。台灣之全民健康保險制度已實施多年，但其實施效果是否已促成健康照護之公平，何處需要管理介入以調整資源配置，需要更客觀與實證的分析。

研究健康照護之公平性的一大挑戰在於公平並非一個容易衡量的概念，然而由於作業研究方法可以包括不同的目標函數，並考慮不同目標之間的權衡，所以可以透過不同的方式系統性地量化公平。因此將更有效地辨識是否存在弱勢群體，並以分析結果作為施政優先順序和預算或資源配置之參考等。

除此之外，上述作業研究於醫療與健康照護之應用，往往著重於日常作業中的醫療系統優化議題。然考量到近年的環境的變遷、自然與人為巨災風險的增加(Wallemacq, 2018)，以及流行疾病的盛行(例如：2020年至今的COVID-19大流行)，如何透過作業研究方法，解決巨災發生時的作業管理問題，提升巨災下醫療系統的反應效率以及韌性，亦是當下及未來作業研究與決策科學的重要研究課題。

當巨災發生時，作業研究工具不僅可應用於處理物流供應鏈、救災設施選址、救援

物資配送與傷員運輸、甚至大規模疏散等數學規畫問題外（相關回顧研究可參考如 Caunhye et al., 2012；Anaya-Arenas et al., 2014；Özdamar & Ertem, 2015；Esposito Amideo et al., 2019；Farahani et al., 2020；Sabbaghtorkan et al., 2020），也必需應用於支持巨災期間醫療照護系統的協調與整合。被視為服務核心的醫療照護系統在巨災時將承受巨大壓力。系統中的關鍵組織、人員與物資如何協調以確保系統之韌性並提供及時和優質的醫療服務變得更加重要。

就醫療照護系統而言，災害勢必影響醫療資源和醫療運營的人員配置，近年的研究亦已針對相關應變提出解決方案（例如：Lodree et al., 2017；Becker et al., 2018）。然而，部分巨災風險存在連鎖反應，往往形成級聯災害（Cascading Disaster or Cascading Risk），正如此次世界各國 COVID-19 疫情中所見，短期內中重症與急診患者激增，以及醫療照護資源在疫情下的自然損耗，導致長時間醫療量能下降。急診床位短缺造成資源的排擠，間接造成其他重症病患治療或者手術的瓶頸，導致其他重症患者等待，甚或造成死亡（Xiang & Zhuang, 2016）。事實上，災害往往也改變了醫療照護的慣常使用的規範與作業標準，因應服務的缺口與壓力，住院（甚至入院）的門檻和出院標準均重新進行修改及調整，以提高收治需要緊急醫療服務的患者的能力，這也是學者 Zhang & Howard（2015）的研究中指出的問題。

從 COVID-19 疫情的衝擊與近年研究的呼籲，已充分指出巨災期間醫療照護系統協調的重要性。若能運用作業研究模型來強化，則可避免管理或者指揮調度混亂，並優化醫療資源的配置，以確保醫療網絡在災害或者疫情衝擊下的穩定性（Kruk et al., 2015；Ogawa et al., 2016；Espindola et al., 2018；Pazirandeh & Maghsoudi, 2018；Tippong et al., 2021；Mangla & Luthra, 2022）。在 COVID-19 爆發期間，醫療照護系統的協調機制被證明是非常關鍵（Carenzo et al., 2020）。如何確保整個醫療系統或者網絡的集體效果，而不是著重在個別醫院或者個別區域的成效，亦將是未來研究的重心。

此外，雖然近年的研究已試圖解決特定醫院或組織內的醫療資源共享與醫院之間的醫療資源共享問題（如；Sung & Lee, 2016；Lei et al., 2015），但還有一些關鍵議題有待進一步研究。包括同時處理患者與醫護人員的彈性配置問題，如何透過協調網絡的設計與、臨時性醫療組織或人員的設立與調度、輕重患者的重新分派等創造臨時性的增援能力，這些都是決定巨災下醫療系統韌性的關鍵決策。

最後，針對作業研究在醫療照護與健康風險領域的應用部分，為促成作業研究的產出真正能夠促成預期的實際效應，提升福祉與生活品質，有些關鍵驅動因素是進行研究的過程中不可忽視的，在此一併提出。首先是在建構模型與驗證模型的階段，應該讓醫療及健康領域專家或者決策之利益相關者（包括政策制定者或決策者）參與模型設計和驗證，因為這些領域專家或者利益相關者對決策問題的背景充分了解，可以確保模型和分析準確描述健康問題並解決他們面臨的政策問題。其次，應盡量使用具有代表性，能夠真正切合分析所需的數據。與決策情境有關的數據的品質往往和作業研究模型的參數設定至為相關，往往也是一個作業研究模型的分析結果是否能夠提出重要管理意涵、產生實質影響或可真正得以實施的重要因素。因此，靈活運用作業研究相關分析模式與方法則於醫療管理問題，並且持續以創新研發之技術，有效整合醫療資源，期望能確實改善並提升醫療保健管理績效，進而優化醫療產業整體服務品質。

5.3.7 作業研究於能源永續系統之應用

隨著台灣在世界工業與經濟體系中逐漸成為重要成員，企業體致力於降低本身對環境衝擊的影響，已成為責無旁貸的義務，而「永續發展」近年來不僅成為各方最為關

注的焦點之一，亦為初期建立策略架構時必定納入的考量方向。此前瞻性研究領域範圍廣泛，從策略架構、模型建立，到實際執行、評估與管控，顯示其為跨領域整合議題，因此，作業研究學者可以就數學建模與規劃、資源分配、系統控制、決策分析、及風險管控等方面做出卓越貢獻，協助業界提升環境品質與綠色競爭力，更進一步地嚴守地球資源耗用的承載能力，避免侵害未來世代使用資源與環境的權力。相關可行研究議題簡述如下：

1. 生命週期評估之工具或方法架構：新能源之生命週期評估，新技術或產業之生命週期評估，生命週期成本分析生命週期的工具開發，產能擴充與生命週期成本之評估 (Lu et al., 2006; Lu et al., 2006; Nissinen et al., 2007; Uihlein et al., 2008; Liu et al., 2010; Morales-Mora, 2012; Thies et al., 2019; Alejandrino et al., 2021)。
2. 綠色/永續供應鏈管理理論與實務，及風險評估模型之建立：綠色供應商評選，綠色供應鏈之獲利分析，綠色供應鏈之績效評估與改善，精實綠色供應鏈管理，綠色供應鏈之風險管理，綠色供應鏈網路設計最佳化 (Wang, 2011; Wang & Kao, 2012; Kumar et al. 2012; Wang & Chan 2013; Dües, 2013; Mirzapour Al-e-hashem, 2013; Tseng et al., 2019; Gawusu et al., 2022)。
3. 能源、及資源管控之系統與模型：智慧電網之最佳化，智慧電網之排程，電動車之規劃，動態資源分配規劃與模擬 (Zhang & Li, 2004; Göllei et al., 2012; Kent et al., 2012; Silva et al., 2012; Rokni et al., 2018; Shi et al., 2021)。
4. 水資源管理與開發：兩階段的模糊隨機之水資源規劃，水資源規劃的不確定性分析，水資源的決策管理 (Li et al., 2008; Liu et al., 2008; Wang & Huang, 2011; Sheffield et al., 2018; Al-Jawad et al., 2019; Niu & Feng, 2021)。
5. 沼氣廠之評估：沼氣廠之環境衝擊評估，沼氣廠的績效表現最佳化 (Ishikawa et al., 2006; Poeschl et al., 2012; Thorin et al., 2012; Akbaş et al., 2015; Sarker et al., 2019; Zahedi et al., 2021; Alrbai et al., 2022)。
6. 情境分析與多準則決策評估：綠色產品設計與製造之風險評估，模糊多目標準則與多目標規劃於綠色供應鏈 (Liu et al., 2005; Kannan et al., 2013; Deng & Jiang, 2019; Haiyun et al., 2021; Yu & Khan, 2022)。
7. 天然氣運輸系統之容量擴充規劃：大氣環境友善管理之穩態設計，天然氣運輸規劃之風險評估，天然氣工業之策略分析與技術評估 (Feng, 1990; Gunasekera & Edwards, 2006; Pelletier & Wortmann, 2009; Sönmez et al., 2013; Moraes & Faria, 2016; Zubairu et al., 2021)。
8. 風力發電預測系統模型之建立與評估：風力發電之預測系統，模糊論於風力評估，風力系統之模擬分析，風力預測之資料採礦分析 (Üstüntaş & Şahin, 2008; Colak et al., 2012; Stathopoulos et al., 2013; Heinermann & Kramer, 2016; Bokde et al., 2019; He & Wang, 2021; Meng et al., 2022)。
9. 建築能源管理與監測系統模型之建立：低碳建築與能源管理，建築之能源績效評估 (Wang et al., 2012; Dawood et al., 2013; Mason & Grijalva, 2019)。
10. 電子產品回收管控：電子產品的廢棄管理與系統建置，易拆解及回收分析，拆解順序分析與動態產能規劃，回收處理費與成本之評估分析 (Huang et al., 2000; Gottberg et al., 2006; Smith & Chen, 2011; Hong & Ke, 2011; Kuo, 2013; Nowakowski, 2018; Malekhouyan et al., 2021)。
11. 碳足跡與碳管理在供應鏈中之模型建立：低碳產品設計，碳足跡分析，碳稅分析，碳供應鏈管理分析，低碳經濟 (Shimada et al., 2007; Song & Lee, 2010; Kuo, 2013; Das & Jharkharia, 2018; Moshood et al., 2021)。
12. 全球模型系統之開發：全球水資源模型，非線性規劃之全球氣候變遷 (Janssen,

1997；Evan，2011；Li et al., 2016；Yue et al., 2020；Yan et al., 2021）。

13. 生態化設計之指標的建置：生態化設計指標之量化，
14. 綠色創新設計技術開發，生態化設計與產品的環境管理系統之開發，生態化設計系統開發（Donnelly et al., 2006；Cerdan et al., 2009；Knight & Jenkins，2009；Yang & Chen，2011；Vidal et al., 2015；Livotov et al., 2019；Janahi et al., 2021）。
15. 綠色運輸系統之能源供應網路之設計與效益評估：綠色運輸運具如電動汽、機車、氫氣車之問題點包括：(1) 續航距離短、(2) 補充能源之時間長、(3) 能源補給站缺乏。綠色運輸系統之能源補給可行性網路設計、網路架構改善及與網路架構成本效益分析（Lim & Kuby，2010；Gim & Yoon，2012；Capar et al., 2013；Jung et al., 2014；Meratizaman et al., 2014；Zheng et al., 2014；Ventura et al., 2015；Jia et al., 2016；Shen et al., 2019；Liu et al., 2022）。

除了以上針對作業研究與決策科學在資源及永續議題方面應用面的綜論之外，就臺灣未來的社會經濟發展而言，水資源與電力資源將是二個學者專家需要特別關注的焦點。以水資源為例，它是大型且複雜社會生態系統（Social-Ecological System）的重要一環，在極端氣候與產業發展的雙重影響下，這個複雜社會生態系統對整體社會與民生的衝擊益發嚴重。

過去管理單位或者專家學者往往採用工程觀點來探討水資源系統，試圖使用物理或工程模型去優化行動方案並控制其結果。但在現實社會中，水資源的供需、使用等不只牽涉到客觀的物理層面，往往同時延伸至社會、經濟、政治的複雜網絡，甚至涉及糧食與能源等國家層級的政策，不同因素所形塑的網絡連結可能產生強大連鎖與槓桿效應。

在這樣的複雜社會生態系統中，理論數學模型所推導的合作均衡與永續發展之目標未必得以實現。根據「利潤私有化-成本公有化」之悖論（Commonized Costs-Privatized Profits Paradox），複雜系統中的利害關係人往往傾向於採用不合作及非永續的行為，最終將出現水資源透支的典型症狀（Loaiciga，2004），因此，若無法設計良好的模型與誘因機制，合作與永續將難以出現（Marchiori，2010）。

因此，未來作業研究在水資源管理的應用，除了從水資源系統的物理現象與自然運作機制著手外，更須深入探討社會結構如何與自然系統界接與互動。與例來說，為了分配有限的資源，不同的權益關係者，過去的研究往往會考量不同部門或不同決策者間同時存在競爭與合作的關係（例如：Mushtaq et al., 2009；Sovacool & Sovacool，2009；Santhosh et al., 2014；Ozturk，2015；Qin et al., 2015），也可能透過建模方式來框架與分析權益關係者之間的策略或謀略行為，以及管理或者政策干預的效率及效能（例如：Walker，2011；Xu et al., 2018），這些都是未來的研究中需要進一步關注的。

此外，雖 Dinar & Hogarth（2015）已指出過去 70 年來賽局理論在水資源管理問題中應用與貢獻，然不管是制定資源轉移市場的交易賽局機制，包括資源的訂價與談判問題等（如 Kong & Xu，2009；Krawczyk & Tidball，2006；Fu et al., 2018；Qin et al., 2019），都將是臺灣的作業研究與決策科學領域學者需要關注的議題。除了水資源之外，與水資源應用息息相關的空間規劃問題往往也需要透過嚴謹的模型提供決策支持，與土地利用與管理之競合中的應用（例如：Mu & Ma，2007；Samsura et al., 2010；Liu & Li，2013）也需要被適度地延伸與擴展。

在電力資源部分，基於民生產業經濟上的需求與電力供需缺口漸增的時空因素，台灣的電力產業也因此於 2021 年推出新興的輔助電力市場—「微電網」輔助服務，台電亦據以建立電力交易平台（台電電力交易平台，2022），以輔助服務及備用容量作為電力交易機制，透過公民營企業一起合力供電來確保系統發電及負載得以維持平衡，並減

緩未來可能發生的系統性衝擊。作業研究除了可優化微電網電力輸運外，確認並提升電力交易機制之效率亦是作業研究與決策科學學者的重要任務。

5.3.8 作業研究於疫情期間醫療資源規劃策略之應用

從 2019 年 11 月，中國武漢爆出不明原因肺炎，並在短時間內快速蔓延到世界各國，WHO 在 2020 年 1 月將這個新的病毒命名為 2019 新型冠狀病毒「COVID-19」，並將此次疫情列為國際公共衛生緊急事件。面對新病毒未知的傳染方式與確診者的高致死率，各國紛紛頒布各種旅行禁令，也造成近代規模最大的全球隔離行動。疫苗研發的科學家們在這段時間以破天荒的方式加速研究，想了解病毒特性以及防治的方式，各國政府也竭盡所能的集合各種防疫物資與人力，減緩病毒擴散的速度，並提供確診者需要的醫療服務。如何在限制人員移動的同時、讓資源能夠快速地送達疫情嚴重的地區，需要更快速與即時的規劃，以因應所有可能的發展底下就針對 2020 年到 2022 年上半年發表的期刊論文中與疫情相關之研究摘錄如下：

Ghamizi et al. (2020) 在研討會 Knowledge Discovery in Databases (KDD) Health Day 中，建議使用深度學習與模擬預測的搜尋式最佳化 (Search-Based Optimization) 來找到最佳決策。利用傳染病常用的進階隔室模型 SEIR (Susceptible, Exposed, Infectious, and Recovered)，將決策者期望的目標式與限制式，以基因演算法求解出最佳策略，而基因演算法中適配度的計算，是利用深度學習的類神經網路，利用該決策地區收集到的資訊進行預測，並將預測的有效傳染數 (Effective Reproduction Number R_t)，輸入至傳染病的隔室模型中進行模擬，產生出該決策的總死亡數 (Total Deaths) 以及人口活動水平 (Activity Level) 作為該決策的適配度，進行染色體的篩選。Kompella et al. (2020) 在 2020 AI for Social Good 研討會中提出使用強化學習 (Reinforcement Learning) 找出能減少經濟衝擊，同時又能避免癱瘓醫療量的最佳策略，該研究推出開放的流行病模擬器 (PANDEMICSIMULATOR)，這個模擬器能針對地區特性、人員移動方式、檢測方式、確診者與他人的接觸方式，以及政府政策等作調整，精確模擬出客製化的結果。此模擬器還能進一步嫁接非營利的人工智能組織開發的平台 OpenAI Gym，便於使用平台上所有強化學習演算法。

在疫苗施打的策略上，Bertsimas et al. (2020) 提出疫苗配置的最佳化問題。該研究使用的流行病學模式 DELPHI，能找出疫苗施打與致死率在不同族群的關聯性，利用這個模式的推估值建立了疫苗配置的非凸優化問題 (Non-Convex Optimization)，並提出座標下降法 (Scalable Coordinate Descent Algorithm) 求解。Luo et al. (2022) 也提出類似的疫苗施打時序配置的最佳化問題。該研究使用進階隔室模型 SEIRV (Susceptible, Exposed, Infectious, Removed, Vaccinated)，以年齡作為人口結構分群的最佳控制模式 (Age-structured Population Compartmental Finite-dimensional Optimal Control Model)，利用美國 CDC 真實資料，再進一步分出必要工作人員與非必要工作人員兩類，共分出 11 個族群，並找出最佳的疫苗施打決策。Filho et al. (2022) 使用進階隔室模型 SEIAHRV (Susceptible, Exposed, Infected symptomatic, Asymptomatic, Hospitalized, Removed, Vaccinated)，並將超級傳播者進一步分出來，利用新的模式評估不同的疫苗施打策略。

在醫療資源的配置問題上，高雄科技大學的 Wang et al. (2021) 提出臨時醫院地點選擇的最佳化問題。該研究結合模糊層級分析法以及加權評分模式，將可能地點依照各種防治疫情衡量指標進行排序。Abdin et al. (2021) 提出篩選能量配置的最佳化問題，該研究將流行病隔室模型 (Epidemiological Compartmental Model) 敘述為混整數非線性最佳化模式，並加上無症狀感染以及不同人口結構的風險程度，該模式評估不同的篩檢能量配置對於不同地區的脆弱程度與公平程度，找出篩檢能量在不同地區的最佳分

配。Gao et al. (2022) 提出如何因應各醫院染疫病患數量不同而進行醫療人員重新配置的最佳化問題。基於資訊有高度不完整的前提下，該研究提出穩健最佳化模式，以疫情嚴重或是疫情相對緩和作為穩健解的兩種極端情境，並進一步比較使用加權平均 (Weighted Mean)、中位數 (Media)、以及加權中位數 (Weighted Median) 對於異常值數量多寡的敏感度。

綜觀而言，Jordan et al. (2021) 將最佳化模式用於 2019 新型冠狀病毒的預測與控制問題，進行文獻整理。其中他們將與相關的最佳化模式研究，以底下的四個新架構進行分類。架構一為該研究是屬於微觀或宏觀模式；架構二為該研究是屬於早期或是後期模式；架構三為該研究與 2019 新型冠狀病毒的關聯性是直接的或間接的；而架構四為該研究隔室的定義 (Compartmentalized Perspective)。該研究的結論當中提到，文獻當中所有研究，最欠缺的就是資料的完整性、一致性、以及對病毒的相關知識。也或許因為這個原因，讓各種研究無法有更大、更整合的效果，例如微觀模式與宏觀模式的結合、或是早期模式如何延伸到後期模式的關聯等，都是讓最佳化方法無法取得實際決策者的青睞，讓研究成果能進一步幫助現實的決策過程。

第六章 服務系統與科技管理子學門

臺灣邁入已開發國家之列，服務業已經超越製造業成為發展最快速的產業。服務業產值占 GDP 的比重或服務業就業人口比例，皆呈現大幅成長之趨勢，經濟型態進入以服務業為主的時代。世界銀行於 2007 年的統計資料亦顯示，已開發國家之國內生產毛額有三分之二以上來自於服務業。而我國經濟發展趨勢亦然，由表 6.1 以及圖 6.1 可得知我國近年來各項產業占 GDP 的產值比重，在三大產業中，服務業的 GDP 產值比重最高，且占了我國 GDP 產值的三分之二。

表6.1 我國各項產業GDP比（行政院主計總處，2022）

產業 年份	GDP 產業比 (%)		
	農、林、漁、牧業	工業	服務業
2016	1.87	36.87	61.27
2017	1.82	36.83	61.35
2018	1.69	36.31	62.00
2019	1.68	35.46	62.86
2020	1.59	37.12	61.29
2021	1.49	37.92	60.59

產業GDP佔比趨勢圖

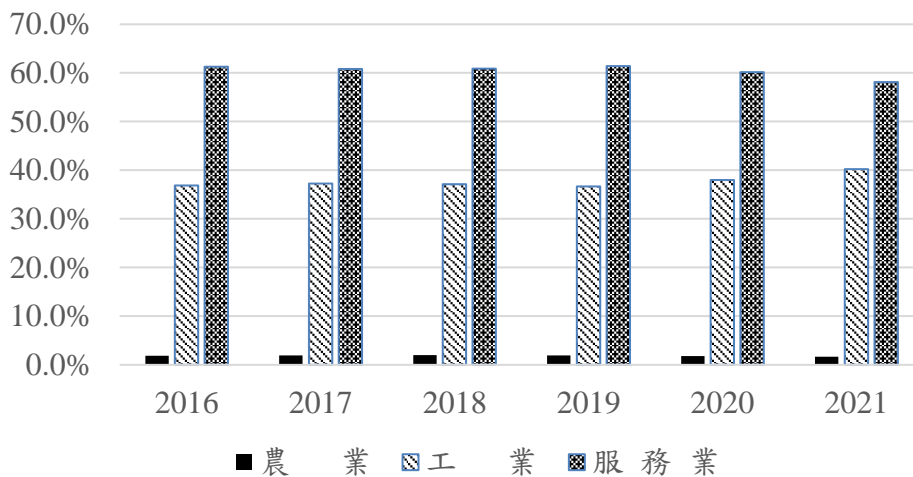


圖 6.1 我國各項產業 GDP 比趨勢圖（行政院主計總處，2022）

表 6.2 為臺灣歷年來各項產業的就業結構，其中服務業就業比重近年呈現上升的趨勢。表 6.3 顯示出臺灣各個產業每人貢獻 GDP 正逐年升高。近三年內，工業的發展突出，在就業人數無明顯增長的情況下，依然表現強勁，可稱為過去政策與轉型計畫的優良成果。相較之下，服務業雖有成長，卻不如工業成長表現亮眼。同樣的趨勢由圖 6.2 彙整而出，顯示在我國的服務業也需要新的轉型計畫，提供產業升級的可能性。

表6.2 我國各項產業就業結構比 (行政院主計總處, 2022)

產業	就業結構比 (%)		
	農、林、漁、牧業	工業	服務業
2016	4.95	35.88	59.17
2017	4.9	35.79	59.31
2018	4.9	35.71	59.38
2019	4.86	35.58	59.55
2020	4.76	35.43	59.80
2021	4.65	35.45	59.81

表6.3 我國各項產業人均貢獻GDP (行政院主計總處, 2022)

產業	人均貢獻 GDP (百萬新台幣/人)		
	農、林、漁、牧業	工業	服務業
2016	0.59	1.60	1.61
2017	0.64	1.67	1.64
2018	0.66	1.70	1.68
2019	0.66	1.72	1.72
2020	0.66	1.85	1.74
2021	0.64	2.10	1.80

服務業 / 工業 就業人口與產值趨勢圖

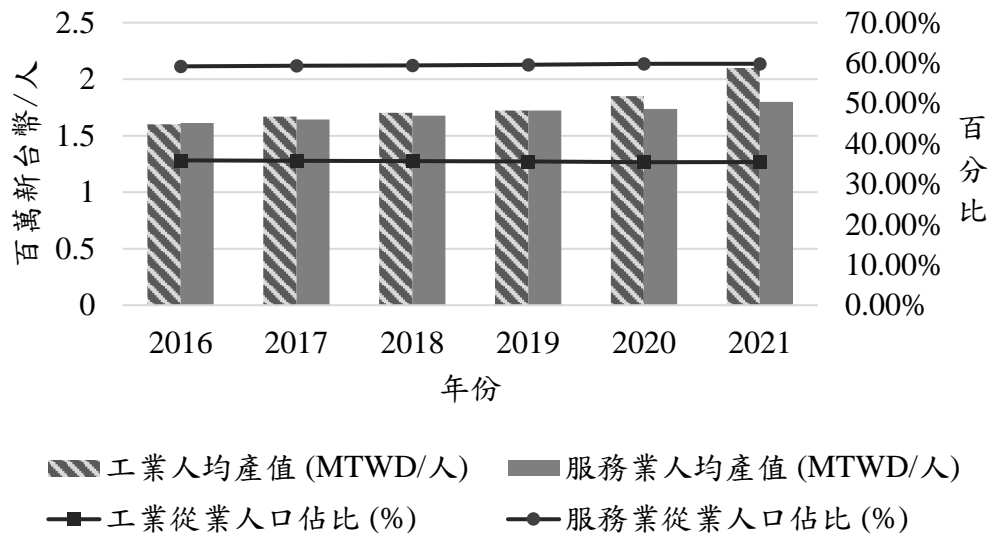


圖6.2 我國服務業就業比趨勢圖 (行政院主計總處, 2022)

表6.4 美、日、歐的服務業比重的比較 (Trading Economics, 2020)

	國家	百分比		
		農業	工業	服務業
勞動力	美國 (2020)	1.36%	19.91%	78.74%
	日本 (2020)	3.38%	24.22%	72.40%
	歐盟 (2020)	4.50%	22.50%	73.00%
GDP	美國 (2020)	1.10%	18.50%	80.40%
	日本 (2020)	1.00%	29.60%	69.80%
	歐盟 (2020)	1.70%	24.60%	73.70%

表 6.4 可以得知，美、日、歐盟的服務業皆是他們就業市場的中堅力量，都佔了超過七成的就業人口比例。其中，美國的就業市場有近八成都在服務業，農業以及工業的勞動人口皆低於日本以及歐盟。歐盟以及日本的服務業就業人口比則相近。從表 6.2 可以看到台灣的服務業就業人口占勞動市場的比例接近六成，低於美、日、歐盟，在產業進一步轉型的發展，臺灣服務業就業人口預期更進一步提升。

GDP 的百分比可以看出美國以及歐洲的服務業的 GDP 佔比皆高於其服務業的勞動人口比率，而日本服務業的 GDP 佔比則是略低於其服務業的勞動人口比，反而是其工業的 GDP 佔比高於其工業就業人口比例。表 6.1 觀察到臺灣的服務業 GDP 的百分比也低於美、日、歐盟，但其服務業 GDP 的百分比有略高於服務業的就業人口比，表示臺灣服務業人均產值的確低於製造業的人均產值。

表 6.5 美、日、歐的服務業比重的比較 (Trading Economics, 2020)

國家	服務業 GDP (百萬美元)	服務業人口 (百萬)	人均貢獻 (美元)
美國 (2020)	17,600,545	189.8	92,732
日本 (2020)	2,530,315	72.5	34,885
歐盟 (2020)	11,270,155	181.9	61,948

進一步分析美國、日本、歐盟服務業就業人口的人均貢獻。從表 6.5 得知美國服務業 GDP 和服務業就業人口皆最多，人均貢獻 GDP 遠高於日本以及歐洲，可以得知美國的服務業處於事業領導的地位。歐盟次之，接著是日本。再從表 6.3 可以看到台灣服務業人均貢獻 GDP 也低於美及歐盟。從表 6.1 至表 6.5 可以得出，臺灣的服務業人口雖逐年成長，但是相較於美、日、歐盟來說，還是相對較低的，成長速度也較慢，而服務業的人均貢獻也低於美、歐盟，所以臺灣的服務業的產業內容的確有加值的空間。

服務產業中許多的內容均為內需產業，進一步分析美國、歐盟及日本的服務產業的外銷產值如表 6.6，當中以歐盟的服務業外銷總產值最高。從圖 6.3 的外銷產值趨勢圖可發現，在 2018 年到 2020 年的期間內，三個地區的服務業外銷產值皆呈現驟降的趨勢。其原因可歸咎於 2020 年新冠疫情爆發，各國紛紛採行各項隔離與封鎖措施，對於全球經濟層面造成嚴重的衝擊，因此美國、日本、歐盟在服務業的外銷上皆呈現衰退的趨勢。

表 6.6 美國、日本、歐盟的服務業外銷產值統計 (The World Bank, 2020)

年份	百萬 (美元)		
	美國	日本	歐盟
2014	757,050	163,793	1,568,521
2016	780,942	175,703	1,504,379
2018	861,719	194,249	1,867,194
2020	705,647	161,844	1,673,782

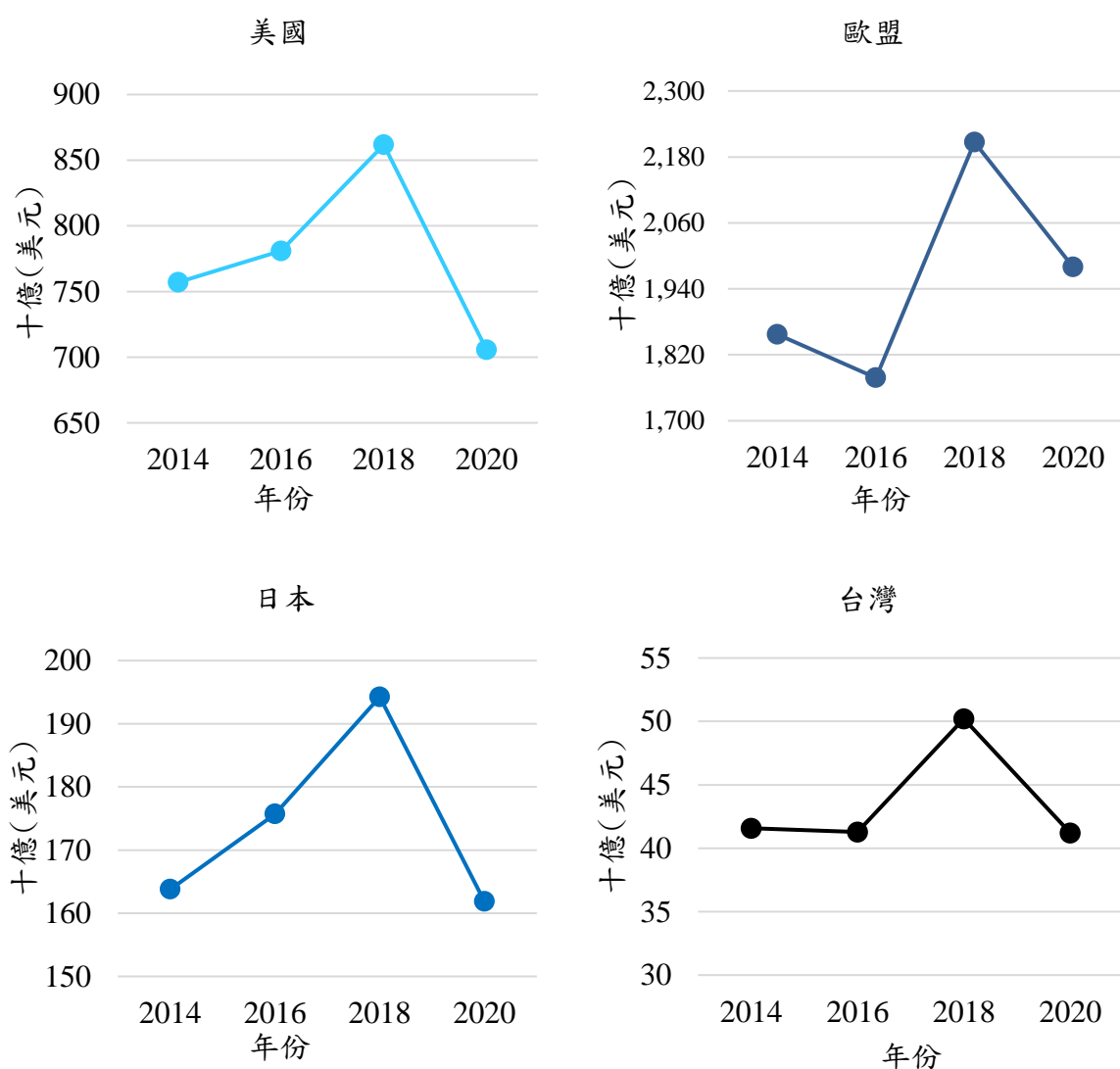


圖 6.3 美國、日本、歐盟、台灣服務業外銷產值趨勢圖

根據國際貨幣基金組織（International Monetary Fund, IMF）發布的國際收支手冊第六版（BPM6）規範，服務產業主要可分為 12 個領域，包含製造、維修、運輸、旅行、建造、保險、財務、智慧財產使用、通訊與資訊、其他商業、私人文化休閒以及政府服務。其中，運輸、旅行、財務以及智慧財產使用占美國服務業外銷約莫六成，是美國服務業外銷的大宗。從表 6.7 可發現 2018 到 2020 年的期間，占比結構產生了明顯的變化。

表 6.7 美國各項服務外銷佔比（美國經濟分析局，2020）

年份	各項佔比(%)						
	運輸	旅行	財務	智慧財產使用	通訊與資訊	其他商業	其他
2014	11.98	23.81	15.84	15.37	5.10	17.47	10.43
2016	10.47	24.70	14.70	14.47	5.52	19.60	10.54
2018	10.80	23.29	15.37	13.32	5.71	20.49	11.02
2020	8.04	10.32	20.46	16.12	8.03	25.96	11.07

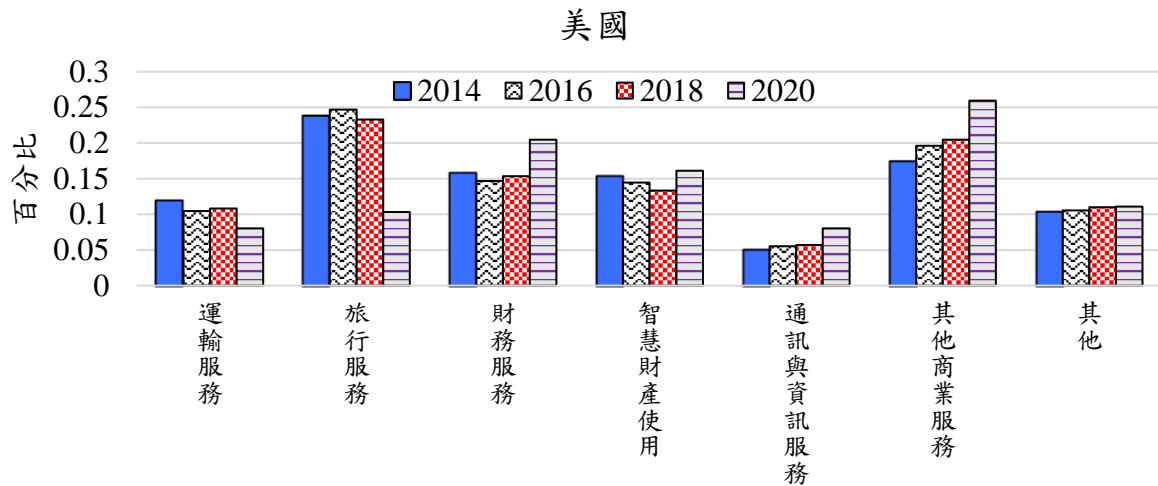


圖 6.4 美國各項服務外銷佔比趨勢

圖 6.4 為美國 2014—2020 年各服務業各分項的占比趨勢。從圖中可明顯看出，2020 年新冠疫情的爆發導致各領域服務產值占比有了顯著的改變，其中運輸服務與旅行服務在 2020 年有明顯下降的趨勢，在財務服務、通訊與資訊服務以及其他商業服務上卻有明顯的提升。可看出在疫情的衝擊下，服務業外銷性質的轉變。

在國際貿易上，中央銀行資料庫定義的服務項目包含加工、維修、運輸、旅行、電信資訊服務、金融保險、智慧財產權與文化休閒。其中運輸、資訊服務、以及金融保險項目有顯著的佔比。從表 6.8 中可發現，在 2020 年後我國的服務貿易淨值由負轉正，開始帶來外匯收入，推測與疫情造成的全球供應鏈結構改變，使得貨運業開始大量獲利有關。但整體的國際服務市場卻因為疫情萎縮，若我國能抓緊產業變動的契機，適時推動優良的政策，定能將我國的服務市場拓展至世界。

表 6.8 台灣服務業產值（中央銀行統計資訊網，2022）

年份	國際收支-服務貿易 百萬（美元）		
	淨額	收入	支出
2014	- 11,344	41,578	52,922
2015	- 10,819	40,968	51,787
2016	- 10,524	41,291	51,815
2017	- 8,762	45,213	53,975
2018	- 6,622	50,209	56,831
2019	- 5,064	51,838	56,902
2020	3,753	41,210	37,457
2021	12,474	52,036	39,562

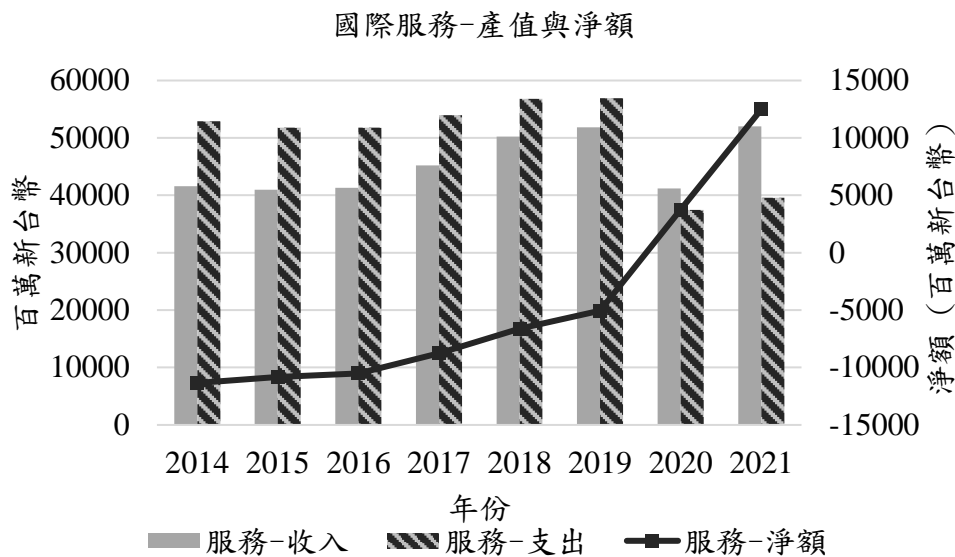


圖 6.5 臺灣服務業外銷產值與淨額

透過服務業的發展，使得大眾生活品質更為提升、公共服務更有效率、資金籌措更便利、商品運輸效率更高，服務業正向循環發展促使國家經濟更加強大。故興盛的服務業，除了是國家經濟現代化表徵外，更是國家經濟發展能再上一層樓之必要道路。近年政府已主導推動的「5+2 創新產業」：智慧機械、物聯網（亞洲·矽谷計劃）、綠能科技、生醫產業、國防產業、新農業、循環經濟中，服務系統與科技管理領域學者以工業工程與管理相關理論與方法論應用於上述議題。

其中，為加速台灣產業轉型升級，政府打造以創新、就業、分配為核心價值，追求永續發展的經濟新模式，以 5+2 產業創新計畫，作為驅動台灣下世代產業成長的核心，為經濟成長注入新動能，並布局關鍵前瞻技術及引進高階人才，形成產業創新聚落，強化臺灣服務系統整合能力，吸引國內外投資，進而連結全球創新能量，提升臺灣產業國際競爭力與人民生活品質，期能實現綠能矽島及智慧國家，並平衡區域發展及創造就業機會的目標。雖然人類經濟型態發展的主軸，依序由農業推展至工業，再轉移至服務業為主流。現今由於資訊與網路技術的發達，以知識密集的服務業，如研究發展技術服務、資訊服務、傳播、全球運籌服務等服務業，雨後春筍般迅速成長。服務系統與科技管理子學門（E5027）將針對服務系統分析與設計、服務資源規劃與績效管理、高齡社會福祉科技與長期照護系統、服務系統智慧化、科技策略與數位轉型、科技與工程管理、服務系統與科技管理整合議題等等七個研究專長與重點方向詳加說明。

6.1 服務系統與科技管理子學門簡介

「服務系統與科技管理」主要在探究服務系統設計與服務營運管理問題，並以提升服務系統品質與生產力為目標。諸多學者從功能、任務與資源等角度探討之，Gronroos（1990）定義服務系統設計與服務作業管理為：「構建服務來產生資源（Developing Service-Generating Resources），以及協調資源互動（Coordinating the Interaction of the Resource）」，即說明服務系統設計與服務作業管理的主體是「資源」，如何透過服務來創造資源與善用資源係為此研究領域主要的目標。Armistead（1990）定義服務系統設計與服務作業管理為：「設計服務系統，落實服務策略，並達成業者所訂策略目標」，由此定義可知，服務系統設計與服務營運管理可視為企業經營中的一環。企業策略與目標應結合客戶需求，即從事服務系統設計與服務營運管理應清楚瞭解客戶需求，內容

包含客戶服務的基本要素、客戶所關心並攸關競爭優勢的服務加值要素、客戶對服務需求的變化、服務組合、資源使用效率與生產力目標、各項資源的使用限制。Johnston & Clark (2005) 定義服務系統設計與服務營運管理為：「管理提供客戶服務的系統，包含了設計、規劃、營運與控制等功能，目的是將服務資源運用到最好的配合，以設計滿足客戶需要與高生產力的服務系統」。這個定義以資源的投入、過程、產出的系統觀，強調服務系統設計與服務營運管理功能（設計、規劃、營運與控制）與目標（滿足客戶需求與高生產力）間的關係。

由於產業發展的時序原因，過去工業工程與管理學門多著重在製造系統問題研究，雖早期也有服務營運管理的相關研究，但較屬零星並歸屬在製造業的生產作業管理領域中。1980 年代之後，服務營運管理領域漸漸得到重視。Johnston (1994, 1999, 2005) 及 Roth & Menor (2003) 研究顯示，本學門對服務系統設計與服務營運管理的探討，已歷經萌芽期（1911—1980）、獨立期（1980—1985）、發展期（1985—1995）、主導期（1995—迄今）四次典範轉移（Paradigm Shift）。國內對於服務營運管理的研究，最早開始於國內第一個「服務業基礎與應用研究」的國科會大型計畫，正式開啟我國服務營運管理的學術研究；而從 1994 年開始，服務營運研究正式成為國科會工業工程與管理學門的一個子學門。服務系統設計與服務營運管理，無論是基礎研究、實證研究、應用研究、個案研究等，於歷任學門召集人努力推動下，目前已成為工業工程與管理學門中最具活力的研究領域之一，申請計畫案件數也一直名列學門前段。

由於服務業的系統設計與營運管理已成為獨立領域，而現今也正值服務業經濟發展之際，本學門應有系統的將過去在「產品」與「製造系統」的研究內容與方向，轉移到對「服務」與「服務系統」的研究。為帶動更優質且彈性、傳遞迅速之服務體系，「服務系統」與「科技管理」之結合已儼然為時勢所趨，以下將依序介紹「服務科學」與「科技管理」之研究發展趨勢。

6.1.1 服務科學研究的發展趨勢

服務系統的研究議題以服務科學的概念出發，跨領域應用許多產業問題。Spath (2006) 歸納出服務業研究領域發展的里程碑，指出隨著服務需求的複雜化、科技與資訊技術進步、服務品質與價值的重視、自助與自動化服務發展，均促進不同時代的重點發展與研究。如 1970 年代著重服務管理與服務行銷、1980 年代開始強調服務作業管理與服務品質、1990 年代發展服務工程議題等，並且指出二十一世紀開始，「服務科學」將成為未來服務業研究的主軸架構。

有關「服務科學」嚴謹的定義，學者們雖尚未有較一致性定義，但從 IBM 原始提出的服務科學、工程與管理概念（Service Science, Engineering and Management, SSEM），可直接的理解為服務科學是為了改善服務，融合「科學」、「工程」和「管理」，所發展的一種跨領域學科。所謂「服務科學」就是要將具「主觀」性質的服務，運用「科學」、「工程」和「管理」的方法，將其「客觀」化，進而納入為科學的範疇研究。

其中「科學」功能在於創造可運用的知識內容與體系；「工程」功能在於運用知識創造可操作的系統；「管理」功能在於透過程序產生與攫獲顧客價值。因此「服務科學」就是研究如何運用科學的方法和原則，管理「服務」的組織過程和資源，以達到服務的效果和效率的學問。亦即透過科學過程論證後的知識，引導改善服務系統在生產力、品質、績效、適應、成長等方面的能力，以及其可預測性，並增進知識的再運用性，有助於組織的創新與生產力。

國內外工業工程與管理相關的重點大學與研究單位多廣泛結合跨領域之研究成果，如電腦科學、管理科學、工程學、經濟學、社會科學、法商策略、會計及財務金融

等，應用於服務作業之相關研究與創新。透過科技研發讓服務作業變得更有效率與標準化，而又能兼顧服務「以人為本」的人性化與個別化需求 (Service Cognition) (Makino et al., 2009)，尋求創新、有效能的服務型態。服務科學的觀念已儼然應用於運輸、零售、旅遊、醫療、餐飲、金融等服務業之績效，而對於設計、行銷與客服等製造業功能也發揮並強化其服務之價值。

彙整多位學者的研究，舉例而言Abe (2005)、Frolovicheva (2006)、Maglio et al. (2006) 及Spohrer & Chesbrough (2006) 等學者針對「服務科學」所作的解釋與說明，「服務科學」跨領域研究，乃結合計算機科學、經濟學、作業研究、工業工程、企業策略、管理科學、社會科學、認知科學、商業知識與經驗等不同學門，並以提高服務業之生產力與創新力為本領域的價值目標。即「服務科學」不僅研究策略、結構、運作、行銷，還研究服務需求、服務定位、服務績效、服務文化、服務創新、服務策略、服務產品、服務定價、服務品牌等。服務科學隨著服務業的發展，與社會、經濟、科技、教育文化發展息息相關，已經形成了自身的比較完整的學科體系。綜觀而論，「服務科學」是社會科學、自然科學、技術科學和人文科學交叉形成的科學，可謂之結合應用性與實用性的科學，並應用到服務系統諸多的研究議題。

6.1.2 科技管理研究的發展趨勢

科技管理是在研究如何管理科技的創造、取得、及開發技術的系統，以創造出組織最大價值。即科技管理是一個涵蓋科技能力的規劃、發展和執行，並用以規劃和完成組織的營運和策略目標的跨學科領域。由此可知，科技管理的核心在於「科技」與「應用」，意即透過科技的運用為組織創造差異化來產生最大的價值。例如近年來無論在紡織、資通、半導體等產業，以及因應全球趨勢而發展之健康照護、綠能環保、雲端計算等產業，科技與管理均扮演關鍵角色。

奈米科技、能源科技和永續經營方面是另一個吸引許多學者研究的領域。環境和永續性一直是具有顯著影響力的主題，原因可能是來自於其本質為跨領域研究所引起的吸引力，特別是未來在全球經濟不景氣及異常氣候頻傳下，對能源資源的善用與再生能源之探討，將是各國發展的重點。在此發展趨勢下，可預見綠能產業已被認為具備帶動下一波經濟成長之潛力，亦屬環境永續之發展策略。創業家精神是另一值得注意的議題，此議題在傳統科技管理領域中注入新的思維 (Aerts et al., 2007)。如果以更長期的觀點來看，新興科技和商業化/科技轉移應是值得關注，相似的情景，創新及育成也是一個重要方向。

資訊科技應用趨勢中，機器學習亦已引起許多學者興趣而且在特定主題中呈現一系列的研究成果。隨著雲端運算和物聯網已成為未來企業思考其經營模式時不能忽視之方向，企業除要調整其策略與服務系統外，更需要結合工業工程與管理學者，投入「科技管理」相關議題研究，以重新探討企業在研發、設計、行銷、生管、製造與作業、品管、運籌與服務等功能如何創新。以下將基於學術研究及產業需求，針對服務系統與科技管理之重要研究議題，規劃其研究重點。

6.2 服務系統與科技管理子學門研究專長與重點方向

先進國家服務業無論在就業人口數及 GDP 產值佔產業分類比值最大的一部份。上述分析中得知臺灣服務業佔比逾六成。服務系統與科技管理的理論研究、方法及應用廣義而言可擴及服務業、製造業、及農業生產，朝效率性、便利性、及全面性的趨勢精

進。傳統定義中，經濟部於「服務業發展藍圖」中選定八項主要服務業，包括：批發零售、餐飲、物流、管顧、資訊服務、設計、廣告、會展等；以及七項整合性服務業，包括：數位內容、無線寬頻應用、養生照護、智慧自動化工程技術、雲端運算、電子商務、能源技術服務業，工業工程與管理領域的相關方法及理論均可應用於上述產業中。

科技管理內容包括以科技提升各個產業面的管理流程，科技發展與科技變遷對於經濟社會的進步有著極深遠的影響，科技發展的速度與變異，為產業內的企業個體在為求生存而彼此激烈競爭下的產物，企業面臨市場環境的不確定性，必須強化其科技預測與規劃以及科技能力分析。科技技術可用硬體面（Hard Aspect）的科技及軟體面（Soft Aspect）的科技作區別，其中硬體面的科技，包括：資訊科技、RFID 等；而軟體面的科技，為組織內部的管理方法。科技管理將傳統的製造系統和生產運作管理概念由單純的工廠範疇拓展到國際製造網路與供應鏈的協調與管理。

服務業雖然是一個以提供服務為主行業的總稱，包括行業領域甚廣，性質差異性大，應用的領域除了服務業外，服務系統與科技管理子學門依據經濟與社會發展之需求，特別提出七大研究專長與重點方向：服務系統分析與設計、服務資源規劃與績效管理、高齡社會福祉科技與長期照護系統、服務系統智慧化、科技策略與數位轉型、科技與工程管理、服務系統與科技管理整合議題等，亟待更多工業工程與管理學者投入相關研究。因此，在面對服務業時代的來臨，如何將工業工程在製造業生產與管理上解決問題的經驗及技術，轉換到服務業問題之解決為服務系統的主要研究課題（Szmukler, 2009），並進一步將臺灣服務業內需型產業特性，轉業升級到外銷服務業，加值服務業的人均產值。

6.2.1 服務系統分析與設計

服務系統分析與設計研究服務系統中個體間的相互作用、服務系統與外界的對接設計，以及服務系統整體及系統內個體的行為及功能，預測服務系統的變化並提供服務系統決策。服務系統分析與設計預期改善決策過程及系統表現，以期最佳化服務系統。服務系統的設計方法包括設計思考、雙模型鑽石及服務體驗工程（Service Experience Engineering）。研究主題包含採用市場調查（Market Survey）所進行的服務系統分析與設計，服務系統之概念性設計、服務場址選擇、佈置及服務流程設計與規劃、及顧客自助服務設計等。各子題說明如下：

1. 服務系統之概念性設計子題中，相關研究包括：服務價值鏈與生命週期、服務元素與組合設計、服務具體化與標準化、服務水準與保證設計、國際化服務設計、服務系統設計與作業管理架構研究、服務系統創新與服務設計、服務科學意涵與本子學門研究架構探討、創新服務研發與管理、服務跨領域議題研究（如跨心理、社會、管理等）等議題。
2. 服務場址選擇、佈置、流程設計與規劃子題中，相關研究包括：服務業群聚分析與設計、服務場所佈置設計與規劃、服務場址環境安全與環保等議題。
3. 服務程序設計與分析子題中，相關研究包括：服務程序之設計與建構、服務程序再造、服務程序之安全設計等議題。
4. 顧客自助服務設計子題中，相關研究包括：服務差異化設計、服務系統之遞送管理、結合 RFID 技術實現顧客自助服務之創新應用等議題。

6.2.2 服務資源規劃與績效管理

服務資源規劃與績效管理之相關子題包括：服務成效績效指標的建構與與衡量、

服務專案的風險控管、服務系統之效益評估與分析、服務系統建置對資訊傳遞之安全性及效率性評估、顧客導向觀點導入服務系統之知覺價值評估、促進服務品質及效益的方法論及工具、服務系統的生產力之評估、提高服務效益的技術等議題。服務系統之績效評估管理，相關研究包括：服務品質模式與衡量、服務品質計畫與控制等議題。

「績效管理」是以一定的方法與流程，對組織中的部門、成員和管理者的工作過程與工作產出進行綜合管理與評鑑，以提高成員的能力，並改善與提高組織的績效水準 (Storey, 2002)。績效管理主要步驟：建立服務組織目標、設定成員工作目標、監督績效進度、績效評估、績效評估資訊的應用 (管理決策、績效改善、成員發展等)。績效評估為績效管理的重要步驟之一，是技術也是藝術。目前績效管理主要方法：常用的有 KPI (關鍵績效指標)、360 度評價法、MBO (目標管理)、敏捷績效管理等。績效評估指標應具備的特性：策略一致性、信度、效度、判別能力、具體性等。目前績效評估的問題現況：績效考評為任何組織運作成效評量必要之惡，而組織與成員的績效評估，常常因部份「主觀」因素，造成各組織與人員間和諧度降低，甚至產生矛盾。此主題下的研究重點方向：

1. 組織與成員的績效考評大都以人員、專家等評鑑與評分，建立「主觀」績效評估機制 (績效考核)。「主觀」績效評估主要缺點為常引起人員矛盾糾紛與降低人員間和諧與向心力。
2. 服務資源之分析與規劃相關研究包括服務資源規劃、顧客購買服務規劃、服務系統整體作業規劃、服務系統後勤作業管理、服務系統之設備與設施維護管理等議題及服務需求與估計、服務供需認知與市場機會之評估、服務供需平衡分析模式建立、服務供需矛盾理論等議題。
3. 成本分析在服務資源規劃佔有重要角色，工業工程與管理領域可結合成本會計領域，相關研究包括服務成本結構、服務成本與效益比較分析、市場行銷學之成本收益評估、服務成本與價格制定評估與管理等議題。
4. 服務系統中許多商業模式均為委外作業，如美國許多大公司將電話行銷服務業務委外施行，產生許多值得研究的議題包括服務委外風險評估、委外需求的評估與規劃、服務委外供應對象之選擇與關係的建立等議題。
5. 服務系統中的績效估如何量化一直是值得研究的議題，相關研究包括：服務量化與最佳化分析模式建立、服務系統之人員排班設計與管理、服務系統之作業排程管理、服務系統之有形及無形存貨管理、服務系統之等候線管理等議題。服務系統之績效評估指標相關研究包括：服務專案的風險控管、服務系統之效益評估與分析、服務系統建置對資訊傳遞之安全性及效率性評估、以快速回應模式建構服務系統之顧客滿意度評估、顧客導向觀點導入服務系統之知覺價值評估、促進服務品質及效益的方法論及工具、服務的生產力之評估、提高服務效益的技術等議題。
6. 雲端運算 (Cloud Computing) 與服務化概念促成雲端服務創新 (Cloud Service Innovation) 發展，企業營運活動與管理逐漸進入虛擬或虛實整合環境，企業資訊系統也從營運輔助角色逐漸轉換為企業關鍵流程架構核心能力與策略性工具，雲端化與服務創新改變企業活動、組織型態與管理邏輯，並影響組織績效。相關研究包括：企業採用雲端服務之考量、雲端服務對於企業組織績效之影響因素、雲端工具之用戶體驗與服務設計、醫療照護上之雲端運用與服務創新、智慧型電動車載平台系統之雲端服務與技術創新、雲端服務於產品協同開發等議題。

6.2.3 高齡社會福祉科技與長期照護系統

國際老人福祉科技學會 (International Society of Gerontechnology, ISG) 定義高齡福祉科技 (gerontechnology) 為設計科技與環境，使得長者能夠健康、舒適與安全地

立生活和參與社會。醫療院所的服務科學 (Service Science on Hospital) 的出發點為 2013 年衛福部成立之初即預估 2025 年時我國 65 歲以上人口將超過總人口的 20%，即將成為「超高齡社會」。因應人口結構轉型衛福部撰寫「2025 衛生福利政策白皮書」。白皮書中，工業工程與管理學門之服務科學可貢獻的領域有：「拓展全方位醫療照護體系」、「建置優質長期照顧服務體系」，與「衛福資訊創新應用服務新契機」(衛福部，2014)，皆與老人福祉科技與長期照護系統相關議題有密切關係。建置優質長照體系，完備長照服務資源為衛生福利部 111 年度施政目標之一。

國發會預估，2025 年台灣六十五歲以上人口達 20%，將邁入超高齡國家，台灣面臨人口老化的國安危機。人口高齡化趨勢下，透過福祉科技來建立長期的照護系統，以解決家庭少子化面臨的瓶頸，具有廣大的市場需求。因此，也帶動相關領域的學者，對此進行深入研究與探討，期望推演與設計出具有可行下的系統性解決方案，來提供給相關單位決策的參考。工業工程和管理具備有跨領域的專業特性，應用在不同的應用領域。在健康照護系統中，如六標準差、精實系統、品質保證、可靠度與流程分析的工具與技術，來改善與提高照護系統的可靠性、效率、生產力、品質和安全，以解決醫療行業的效率和效能問題 (Sharma et al., 2021)。此外，在工業 4.0 的潮流下，Ahsan & Siddique (2022) 在排程問題、資安問題、數位供應鏈、區塊鏈技術、人工智能的考慮下於 Covid-19 期間，整合工業 4.0 技術所發展的健康照護 (IHC) 架構，解決包括數據安全、資源分配和數據透明等問題 (Ahsan & Siddique, 2022)。

此外，IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering 將工業工程與管理領域的各樣工具運用於六個主題：(1) Healthcare Operations Management、(2) Medical Decision Making、(3) Socio-Technical Systems Analysis related to healthcare、(4) Quality Engineering、(5) Healthcare Informatics、(6) Healthcare Policy (IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering, 2022)。台灣特殊的健保架構、人口分布，與醫療體系在這六個主題會有不同的發揮之處。值得工業工程與管理領域的學者結合醫界專家一起共同研討。

6.2.4 服務系統智能化

雲端科技與資訊系統之成熟，加速服務系統智慧化及服務系統的數位轉型，再加上疫情影響人們生活工作等型態，更加速企業邁向數位轉型，從數位內容、行動應用與巨量資料等議題持續加深影響企業運作、創新與再造。相關研究可從數位轉型、數位創新及再造之影響性，以及不同產業、與組織特性之比較與分析等角度切入。研究議題涵蓋：企業規模與認知對於持續使用雲端運算服務之探討、雲端產業之供應鏈之分工與整合模式、企業雲端遷移之進程與策略、人工智慧與雲端服務之整合管理、資訊科技對服務系統影響、服務系統自動化及程序分析、服務資訊系統分析與設計，以及服務系統之資料挖礦與知識管理等議題，各子題說明如下：

1. 服務系統數位轉型子題中，相關研究包括：企業規模與認知對於持續使用雲端運算服務之探討、雲端產業之供應鏈之分工與整合模式、企業雲端遷移之進程與策略、人工智慧與雲端服務之整合管理等議題。
2. 資訊科技對服務系統影響子題中，相關研究包括：資訊科技與網際網路對服務本質影響研究、服務自動化與資訊化技術之獲得等議題。
3. 服務系統自動化研究子題中，相關研究包括：可攜式行動裝置行為辨識分析、以數位電子產品建立情境資訊感測模型、網路安全對服務自動化影響、網際網路環境下服務系統之設計、服務作業管理之資訊化理論、自動化程度對服務系統的影響、服務系統電子化之架構建立等議題。

4. 服務資訊系統分析與設計子題中，相關研究包括：服務資訊系統之分析與設計方法論建立、以服務藍圖規劃與建構資訊系統、醫療產業在服務資訊系統的分析與設計之管理等議題。
5. 服務系統之資料挖礦與知識管理子題中，相關研究包括：電腦視覺於服務系統智慧化（CNN/ Fast R-CNN/ Mask R-CNN/ GAN 等模型於服務系統的應用）、自然語言處理於服務系統智能化（LSTM/Doc2vec/GRU/BERT 等模型於服務系統的應用）、複合人工智慧於服務系統智能化、遠距照護/醫療相關產業之服務系統建置、運用資料挖礦與知識管理建置服務資訊系統、以資料採礦或知識管理確認顧客偏好與需求、圖書資源之服務系統建構、運用資料挖礦建構知識管理平台等議題。

6.2.5 科技策略與數位轉型

近年商業服務模式的改變，造就平台企業的崛起，根據全球調查指出利用平台業務模型的力量企業在過去十年中的規模和規模都急劇增長。不再是社交媒體、旅遊、書籍或音樂的唯一領域，平台商業模式已經進入交通、銀行甚至醫療保健和能源領域。既有企業轉型其「線性」供應鏈架構，轉向「平台型」供應鏈，並著重於數位型平台。平台公司對商業經濟逐漸提升其貢獻。平台模式以多種方式提高了服務生產力，如 LinkedIn 平台提供了就業媒合的服務新型態。2014 年 9 個美國大型平台獲得了 11,585 項專利。許多初創平台成功地吸引了風險基金的大量投資，而大多數所謂的獨角獸（Unicorns）多為平台公司。在臺灣，鴻海開發電動車供應鏈體系，亦採用平台架構，設立 MIH Consortium 創建開放式的電動車生態平台。因此，世界經濟論壇（Jacobides et al., 2019）召開了關於數位平台和生態系統的提議，因為它是幾乎所有企業數位轉型面對的主題，另一方面數位平台模式已經主導了大眾的生活模式。

於此平台化的過程中，企業必須調整其科技策略與加速數位轉型；此趨勢下，企業並無經歷可循，故亟需學術上提供管理與策略建議，衍生相當之研究議題。根據世界經濟論壇報告（Jacobides et al., 2019）指出，平台化面臨的挑戰和機會有以下因素，並根據各因素彙整科技策略與數位轉型議題於頂尖期刊近期發表成果如下：

1. 社群與資訊強度（Community and Information Intensity）：更高比例的資訊量增值意味著社群可以更輕鬆地相互分享數位資訊價值，提升平台網路效應，增加顧客與商業利益。如何影響社群和社群的互動性（如口碑效應和網路效應等），具有其研究重要性（Iyer & Katona, 2016；Li & Agarwal, 2017；Gelper et al., 2021）。
2. 模組化與相容性（Modularity and Compatibility）：企業提供模組化的服務設計，提升相容性，促使第三方服務應用的擴散，藉此擴大平台的活躍性。顯示平台下之相容性和模組化之研究議題（Mantovani & Ruiz-Aliseda, 2016；Adner et al., 2020）。
3. 容錯能力（Fault Tolerance）：監管合理、具備容錯的產業更容易向平台轉型，因為它們也促進了第三方服務的應用。若第三方為應用程序、視頻和電子商務，且其提供服務是安全的。則能提升平台企業的利益。然而，在安全性和開放性兩者之權衡成為重要研究課題（Karhu et al., 2018；Parker & Van Alstyne, 2018；Song et al., 2021）。
4. 產能利用率（Capacity Utilization）：若企業產能閒置情況越明顯，顯示其服務平台化所帶來的效率收益就越引人注目。例如，大多數車主每天使用車輛的時間少於兩個小時。大多數業主每年使用客房的時間不到兩週，因此通過 Uber 和 Airbnb 等平台可為閒置容量創造市場，具有巨大的經濟意義，即「分享經濟」。除 B2C 的共享經濟外，企業間 B2B 的產能和技術共享或是合作開發的數位轉型，都具有平台化的經濟效益（Niculescu et al., 2018；Sun & Ji, 2021；Tsunoda & Zenny, 2021；Zhou & Wan, 2021）。

企業需在上述四個因素間權衡達成平衡，建構其科技策略。故服務系統與科技管理領域學者，可由上述四個主因，探究企業平台化過程中或是已平台化後對自身資訊技術發展、服務系統設計等策略與決策之效益，並提供相關管理建議。

6.2.6 科技與工程管理

科技與工程管理方面，企業由過去的競爭型態，隨資本支出的投入大幅提升，企業儘管在市場進行彼此競爭，但在科技發展等面向卻與競爭者進行合作，轉變為競合關係。合作包含共同開發、技術授權、策略聯盟，進而共創科技生態系統。技術創新之企業，試圖從過去資料分析同類型企業與競爭者進行戰略性技術聯盟，進而提升效益，結果呈現戰略性技術聯盟或可產生出更高效益之技術，且知識匯集帶來的互惠互利中，將為創新企業本身帶來更多創新賦能；且技術結盟可使企業間交叉學習，技術結盟最大的優勢為產生聯盟間綜效以及提升創新失敗的容錯 (Li et al., 2019)。

儘管對技術授權和合作已有了數十年的討論，但對成功的技術轉讓和合作夥伴關係的理解仍然有限。因此，為了探索未來的技術應該如何共同開發，企業必須先了解當前關鍵領域的技術轉讓和成功的因素和可持續性的商業模式，所以關於技術授權、合作和共同開發仍亟需探討以下三個關鍵問題：

1. 技術合作是否有助於企業可持續 (Sustainable) 發展？技術授權是否可為企業建立長久穩定的獲利架構，企業間穩定是否持續存在 (Cabral & Pacheco-de-Almeida, 2019; Teodoridis, 2018)。
2. 技術合作的不確定性？技術開發具有一定之風險，故其對於企業科技管理影響甚鉅，故如何探討不確定對於技術合作之影響，亦為重要研究領域 (Ryall & Sampson, 2017; Cong & Zhou, 2020; Dong, 2021; Zhang et al., 2021)。
3. 技術合作開發模式？學術研究可參考過去成功的技術合作研究，利用理論方法試驗出成功商業模式並探討各種商業模式的適用情境 (Khanagha et al., 2022; Rietveld & Ploog, 2022; Stonig et al., 2022)。

生態系統建立，為近年科技與工程管理重要研究議題，許多企業在此獲得豐碩的成果，如智慧手機中 Google 所建立的 Android 生態系，家電方面的米家生態系等。因此，「技術生態系統」成為近年服務系統與科技管理領域研究的新興議題。技術生態系統是不同企業用於運營其業務的技術解決方案之集合，以及這些解決方案如何相互連接。生態系統一詞不僅描述了你正在使用的解決方案或工具，還描述了它們如何與其他方案或工具相互交互，實務界亟需釐清這些元素中的彼此是如何聯繫，藉此建構價值創造的商業模式。該議題層面甚廣，以下簡列出近年學術著重之研究議題：

1. 激勵生態系的科技應用創新：如何激勵生態系成員的創新能力，創造共生共榮的營運架構 (Fang et al., 2021; Jones et al., 2021; Zhang et al., 2022)。
2. 生態系統的價值創造：生態系統成員並非直接由其服務獲利，可能利用企業獲取所需產生收益，故如何在生態系統中建構出價值創造模式為重要課題 (Adner & Kapoor, 2010; Bhargava, 2021; Khanagha et al., 2022; Panico & Cennamo, 2022; Zhang et al., 2022)。
3. 生態系統下的資源配置與收益管理：如何與生態系供應體系中進行交易，企業間互動決策和生態系控制者的資源配置，具有廣泛的研究價值 (Dellarocas et al., 2013; Hellmann & Thiele, 2019; Bhargava, 2021; Huang et al., 2021)。

6.2.7 服務系統與科技管理整合議題

服務系統與科技管理整合議題之相關子題包括：關鍵鏈專案管理、新產品與開發與產品服務創新管理科技專案管理、以及工業與科技教育 (Linton, 2009) 等。各子題

說明如下：

1. 關鍵鏈專案管理子題中，相關研究包括：如何因應市場需求與景氣循環，評估產能分配與其他製造資源分配，以最佳化產品組合與經濟生產之研究等議題 (Lusch et al., 2006)；以動態規劃及多階產能規劃方法優化配置電動車充電站設置的微電網 (Mehrjerdi, 2020)；以蒙地卡羅樹搜尋求解醫療系統中住院醫師數量配置問題 (Abe et al., 2022)；以隨機最佳化求解具間歇性發電性質的再生能源產能規劃問題 (Backe et al., 2021) 及以工業工程與管理常見的最佳化方法求解再生能源系統的產能規劃問題 (Geng et al., 2020; Park & Baldick, 2020; Mohseni et al., 2020; Benalcazar, 2021; Pham et al., 2021; Kuepper, et al., 2022)。
2. 新產品與開發與產品服務(Product-Service)創新管理子題中，(Li et al., 2020; Reim, 2015) 回顧產品服務系統的相關研究包括：考慮工業 4.0 環境中的產品服務系統 (Product Service Systems, PSS) (Gaiardelli et al., 2021)；由傳統產品製造導向企業轉型到提供新型態的加值服務；由產品功能或服務改善的新構想，設計與開發新產品、新服務，藉由消費者和服務提供者互動共創產生新價值 (Hoyer et al., 2010)；利用科技提升產品附加價值之創新商業模式與相關營運活動 (Pirola et al., 2020)。因應全球化與國際分工之環境，發展同步工程與系統管理技術之研究，建立新產品開發決策模式 (Cooper, 2019)；如何有效掌握市場脈動，管理產品創新與開發時序之研究等議題 (Trott, 2017)。
3. 科技專案管理子題中，相關研究包括：科技專案管理之專案的選擇、評估與資源分配 (Alyamani & Long, 2020)；發展特殊之科技專案管理技術，以因應科技發展之高度不確定環境，因應科技發展與企業整合之趨勢，發展管理大型複雜系統的專案管理技術等議題 (Galli, 2018; Zasa et al., 2020)。尤其過去應用在專案管理的計量模式，應有持續研發的必要，以使專案管理更臻成熟。
4. 工業與科技教育子題中，相關研究包括：創新科技人才之培育規劃、科技與社會互動等議題 (Libert et al., 2020)。

6.3 服務系統與科技管理子學門未來研究方向與重點

由於人類經濟型態已朝向服務業為主的時代，本學門應與時俱進，將過去在生產系統所發展的理論、模式、方法、技術與手法等，依服務本質與特性修正後，擴展至服務系統。在工業工程與管理學門專長列表中，本子學門共有七大專業項目，分別為：

1. 服務系統分析與設計
2. 服務資源規劃與績效管理
3. 高齡社會福祉科技與長期照護系統
4. 服務系統智慧化
5. 科技策略與數位轉型
6. 科技與工程管理
7. 服務系統與科技管理整合議題

根據七項專業項目，本規劃書提出七項未來推動重點方向，對應關係如圖 6.6 所示，並於後續章節逐一詳細介紹與探討。

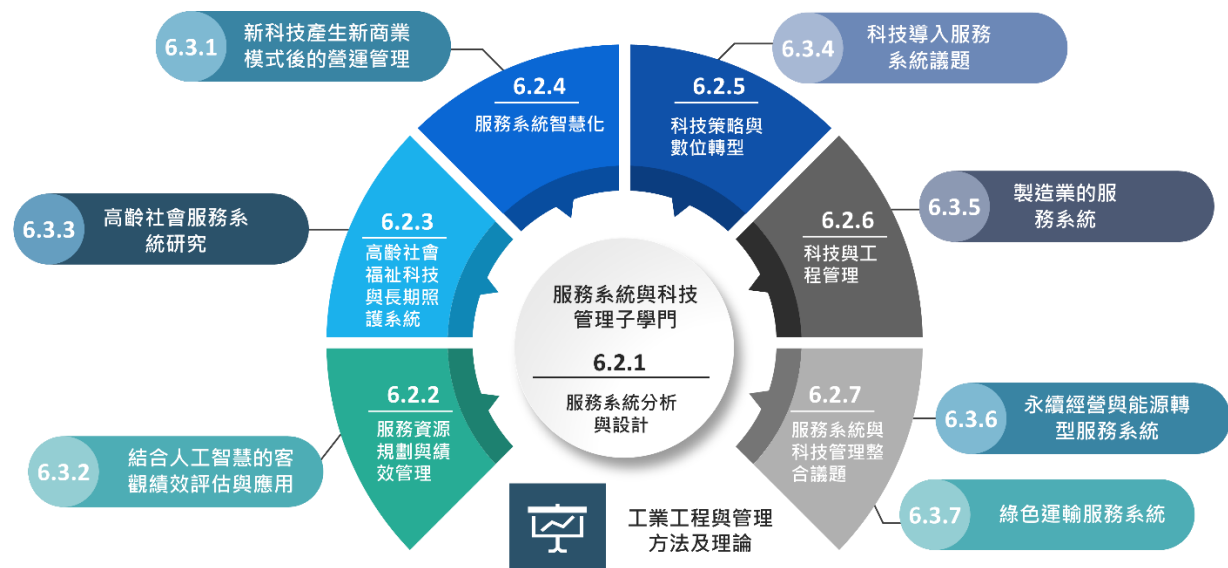


圖6.6 服務系統與科技管理子學門研究重點與方向

6.3.1 新科技產生新商業模式後的營運管理

科技創新帶動與服務創新。新科技的開發和普及化創造了許多新的商業模式，這些新的商業模式常是以服務導向的方式呈現，而非單單只是製造生產導向的新產品。例如行動裝置的普及產生也加速了共享經濟、平台經濟的普及化，除了居住場所（Airbnb）等較靜態的服務之外，更包括了包含像交通工具（Uber）或者是餐飲快遞（Uber Eat、Foodponda）等服務導向的平台商業模式。

共享經濟中的創新服務模式改變了傳統實體經濟活動與社會互動模式，主要是藉由利用未能物盡其用的資源來創造新的商業機會，且隨著互聯網技術迅速發展，有效地串接起不同利益關係者，進而增進了以共享為基礎之經濟活動的效率與效益。共享經濟此思維仍不斷地延伸至許多經濟活動領域。因此，發展更為多元且具彈性的共享經濟服務模式，以有效地促進資源活化，進而獲得價值再創造之效益，實為未來經濟活動之關鍵發展趨勢。新科技創造的新商機代表著新需求的出現，特別是在服務取向的需求；另一方面在供給營運上，需要能妥善配置資源，設計、改善流程以使得相關的需求能在符合服務提供者經濟效益下被完美地滿足。Benjaafar & Hu (2020) 和 Hu (2021) 具體指出幾個研究焦點的轉移作為傳統生產系統與創新模式間的轉換連結，(Klarin & Suseno, 2021) 也可做為相關文獻與研究方向的參考。此議題之研究重點包括：

1. 共享經濟中之創新商業模式、資源媒合機制設計與分析
2. 智慧化和行動化共享經濟平台之設計與開發
3. 開發高效率之動態媒合演算法
4. 多邊訂價機制的設計
5. 數據安全和客戶隱私之操作模型設計
6. 應用數據科學分析共享經濟之行為
7. 共享經濟服務模式永續發展、循環經濟與共享經濟之生態系統關聯研究

行動裝置大量普及後，適地性服務系統（Location-Based Services, LBS）整合 GPS 定位、行動通信和導航等多項技術，提供與空間位置相關服務的綜合應用業務。Huang et al. (2018) 回顧適地性服務系統的應用，及適地性服務系統對社會倫理及消費者行為的衝擊：食品供應鏈（Wei et al., 2020）、隱私保護機制（Yang et al., 2020）、極端氣候影響下的城市居民流動模型（Chen et al., 2020）、車輛途程問題的大數據分析（Xu et al., 2021）。適地性服務系統拓展至消費者生活層面的應用範疇，譬如：社群、娛樂、餐飲、

購物，都可以透過資訊科技技術，精準掌握消費者的位置，進而提供最近距離的服務，因此相當具有發展潛力。適地性服務系統相關研究議題包括：

1. 以大量適地性資料為基礎的智慧化服務分析，例如智慧城市的規劃、運作 (Huang et al., 2021) 等。
2. 發展社群網絡使用者對於適地性服務技術之使用方式。
3. 適地性服務提供行動廣告加值型服務之發展 (Sánchez & Bellogín, 2022)。
4. 適地性服務所衍生的客戶隱私保護機制設計之開發 (Jiang et al., 2021)。

6.3.2 結合人工智慧的客觀績效評估與應用

目前人工智慧已成功地應用於許多領域，尤其近年來利用大數據的收集與分析，人工智慧於工業、醫療、農業、交通、教育等各領域均能提供重要的決策參考。在眾多的成功應用中，人工智慧於分類的表現尤令人讚賞，例如：人工智慧協助影像醫學的判讀 (Mintz & Brodie, 2019; Briganti & Le Moine, 2020; Malik et al., 2021; 陳大正, 2021)、精密加工中，利用工具機擷取的整體製程訊號，判別機台及加工刀具的狀況 (Zeba et al., 2021; Nti et al., 2021; 張平昇, 2021) 等。

眾所周知，績效考評為任何組織運作成效評量必要之惡，而目前組織或成員的績效評估，常常因部份「主觀」因素，造成各組織與人員間和諧度降低，甚至產生矛盾。未來可導入人工智慧技術於績效評估，以降低主觀因素，建立更客觀、更和諧、更公平的績效評估機制。換言之，績效評估可進一步結合人工智慧、大數據、5G 等方式，協助建立成員、組織、系統等的部份客觀績效評估機制。此主題下，AI 於績效評估的應用領域的未來研究方向與重點：

1. 醫療：護士照顧燒燙傷、褥瘡病人等績效管理。例如：病人入院時，以人工智慧法判定其燒燙傷、褥瘡程度，以及未來醫療照護過程與復原的績效評估。
2. 交通：假日尖峰時，上高速公路的柵欄等待秒數控制系統績效評估。例如：以車流影像資料，評估目前號誌控制系統績效。
3. 公共：Ubike 的自動調度控制系統建立與系統績效評估。例如：以即時影像與大數據資料，評估目前調度控制績效。
4. 教育：以人工智慧方法協助校務評鑑。例如結合過去的評鑑結果與教育部的相關收集資訊，建立評鑑模型與校務績效評估 (蔡明學, 2022)。以即時影像與大數據資料，評估各教學單位出席績效評估。
5. 農業：結合空拍自動影像，提供政府與農民作物種植建議、警示、績效評估。
6. 社區：結合自動影像系統，建立社區、校園、公共場所、機場等的安全系統與系統績效評估。
7. AI 於績效評估的應用對象。個人：如員工。目前 Amazon 利用人工智慧為眾多送貨員做績效評估 (林妍溱, 2021)。組織：如學校評鑑、銀行評鑑、醫院評鑑等。系統：如購物平台評鑑、新聞平台評鑑、政策評鑑、社區校園的安全系統績效評估。

6.3.3 高齡社會服務系統研究

高齡社會對健康照護的需求與日俱增，老人福祉科技整合跨領域研究，發展智慧科技，提供長者在健康、住家、行動力、通訊、休閒和工作等面向服務。現今在學術研究和市場上，縱使已開發出科技輔助產品和服務系統提供長者醫療與健康照護所需，技術層面先進，但產品和服務系統的普及性與使用動機仍尚待推廣，值得從照護者與被照護者不同角度持續創新發展長期照護服務領域。在現今人工智慧、大數據、物聯

網、雲端計算、機器人、機器視覺等新興科技的推波助瀾下，臨床醫療、醫療服務、醫院管理等都面臨創新的議題。工業工程與管理領域專家有責任領導相關科技領域專家，拓展新科技在臨床與醫療服務進行創新研究；不論是軟體、硬體，或整合系統都值得鼓勵學者進行研究發展。以智慧醫療為基礎的精準醫療或個人醫療的研究亦值得鼓勵在本子學門中進行。

此外，深度學習技術如卷積神經網路 (Convolution Neural Networks, CNN)、長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM)、自編碼器 (Autoencoders)、深度生成模型 (Deep Generative Model) 等技術已經被廣泛運用於處理大量的資料，工業工程領域專家可以結合醫學領域專家使用深度學習處理醫療的大量訊號與影像資料，作為臨床決策支援之用。人工智慧於醫療的應用，促使疾病預防、診斷、介入治療發展、改善就醫經驗、提高醫療品質，已有許多成功案例 (Battineni et al., 2020; Ralbovsky & Lednev, 2020; Smiti, 2020; Yusuf et al., 2020; Ibrahim & Abdulazeez, 2021)。醫療相關數據有多種型式，包含文字、數值、訊號和影像等，提供有關身體健康狀態不同面向資訊。藉由融合不同型式的資料，或整合多個感測器量測結果，可增進臨床決策準確度，相較於僅採用單一項檢測數據結果判斷，更加全面、更接近臨床判斷方式。至於自動標記資料、收集到偏差資料、小樣本和預測模型的解釋性等，皆是智慧醫療的挑戰，有賴跨領域專家協力投入研究，然而 Richens et al. (2020) 指出機器學習的因果推理可能造成醫療的誤判；機器學習在醫療診斷上的應用所衍伸出的兩個問題：認知不透明度 (Epistemic Opacity) 及醫療誤判的問責 (Heinrichs & Eickhoff, 2020)。建議未來研究議題的設定宜注意避免以下的方式：

1. 針對特定的醫療設備器材的適用性進行驗證：這樣的驗證應該屬於廠商應該投資的人體試驗。
2. 針對特定院所發展各類軟硬體或系統：這樣的研究成果外溢性低，且應該由院所自行投資。
3. 套用多種演算法於次級醫療資料庫：由於這樣的計劃書的預期結果很不穩定，不易審議。以次級醫療資料庫進行的研究應該盡可能有流行病學的背景支持。
4. 發展如 APP 或使用者介面之類的輔助系統：這類系統周邊的輔助系統應由院所投資發展，且學術貢獻不易呈現。

6.3.4 科技導入服務系統議題

科技導入策略子題中，相關研究包括：由於新興科技擁有不確定性以及高風險，何時導入以及如何導入新興科技即變為一重要問題。導入時機上，必須考慮不只是企業自身的核心技術、導入新科技磨合所需時間、以及新興科技成熟程度，還需考慮企業外在條件，如外在水平競爭、供應鏈上下游成熟、外在投資可能性等議題。此外，服務的互動隨著科技的發展產生巨大的衝擊，元宇宙 (Metaverse) 將過去實體對象的服務轉化為虛擬對象，透過身臨其境的體驗，將電商平台的二維互動，提升至多維互動，讓過去原本只有在實體服務的溫度，在線上可以實現。Xu et al. (2021) 提出基於學習的激勵機制框架，設計出雙荷蘭式拍賣機制來確定拍賣市場的最佳定價和分配規則；Huang et al. (2022) 針對用戶與元宇宙供應商的之間關聯與資源定價，進行分佈式和集中式方法的討論；Du et al., (2022) 從消費者的角度出發，探索元宇宙系統設計與消費者行為之間的互動。提出將支付意願 (Willingness-to-Pay, WTP) 作為一種可量化的體驗品質 (Quantifiable Quality of Experience, QoE) 的衡量標準。

隨著 AI 技術成熟，AI 已成為企業數位轉型的重點之一。客戶服務是其中一項被期望導入 AI 的智能服務應用，主要原因在於人力成本的考量。智能服務的挑戰是缺乏人性意識 (Schroll, 2018)，雖然許多公司已經開始將聊天機器人作為提高客戶服務效

率的一種方式，但在同時在創造能夠即時反應用戶需求和期望的人工智能的時候，在功能和情感上滿足消費者的價值是不應被忽視的 (Følstad, 2018; Tay, 2016)。針對與聊天機器人交互感覺像機器一樣冷酷的現象，Shin et al. (2022) 以實驗方式探討透過幽默來提高服務滿意度，結果發現只有當產生幽默的服務代理是聊天機器人而不是人類時，客戶滿意度才會提高；因此在智能服務上，幽默會是一種重要的擬人化設計特徵。此外，AI 是目前公共部門最重要的資訊系統創新應用 (Benbunan-Fich et al., 2020)。Vassilakopoulou et al. (2022) 以挪威政府的經驗教訓為例，探討聊天機器人和人類如何在混合服務團隊中融合在一起。結果發現，將聊天機器人快速處理資訊的能力與人類表現出同理心和評估上下文的能力結合在一起。這樣一來，可以提高即時聊天的效率，同時保留人性化服務的特點。

綜合上述的文獻，許多公司正在推動基於人工智慧 (AI) 技術的全公司數位轉型戰略，以實現組織和業務的數位化創新，進而提出對應的決策模式來對所提出到科技策略進行風險評估。人工智慧是邁向數位時代轉型的最關鍵的管理變革，歸納出四個議題，可作為未來相關研究課題趨向之參考 (Kitsios, 2021)。此議題之研究重點包括：

1. 組織中的人工智慧和機器學習
2. 將人工智慧工具、IT 與業務戰略相結合
3. 人工智慧、知識管理和決策過程
4. 人工智慧、服務創新和價值

網際網路使用者互動下所形成虛擬社群為新型態的社會群體，隨著各類社群平台的建置 (如線上主題式討論區、Facebook 等) 發展，虛擬社群中對公眾事務的討論、商品/服務的評價、專業知識的解惑、輿論/民情的意向等，都具有一定的參考性與影響力，例如教育界 (McLoughlin et al., 2018)、知識分享機制 (Rajabion et al., 2019; Luo et al., 2021)、文化認同 (Baltezarevic et al., 2019)、博弈產業 (Sirola et al., 2021)、醫療照護 (Shaw et al., 2022)。善用此類虛擬社群自由表達、多對多傳播、自願性互動、相互感染與影響等特質所產生的群眾智慧並創造更符合社群需求的服務與技術，為一項重要之研究課題。

擴增實境技術也經常應用於服務系統，擴增實境是一個可以擴展我們現實世界的技術，可以增加數位資訊層，擴增實境不是用虛擬來取代真實的東西，擴增實境呈現在現實環境的直接視圖中，並添加聲音、影像和圖像。擴增實境技術的發展目前在各個領域已經有相當多元的應用，像是工業 (Cai et al., 2020; Egger & Masood, 2020; Lai et al., 2020; Plakas et al., 2020; Zigart & Schlund, 2020; Baroroh et al., 2021; Sahu et al., 2021; Schein & Rauschnabel, 2021)、商業 (Hagl & Duane, 2020; Cranmer et al., 2021; Yigitbas et al., 2021; Popescu et al., 2022)、醫學 (Bin et al., 2020; Parekh et al., 2020; Murali et al., 2021; Yeung et al., 2021)、軍事 (Mitaritonna et al., 2020; Wang et al., 2020; Reiner et al., 2022)、教育 (Garzón et al., 2020; Subhashini et al., 2020; Garzón, 2021)、遊戲 (Alqahtani & Kavakli-Thorne, 2020; Lee, 2020; Hou et al., 2021)、導覽 (Harley et al., 2020; Alam et al., 2022)、設計 (Regenbrecht & Schubert, 2021) 等。擴增實境技術改變了傳統製造業的運作模式，在工業製造領域中擴增實境已有相關的應用，例如操作員的教育訓練、機台設備的操作、裝配維修及維護或遠程端諮詢等，生產現場應用擴增實境技術能大幅減少錯誤，並提高工廠生產力。擴增實境亦應用在日常生活中，例如教育、觀光，利用擴增實境技術可以讓學生更加詳細了解學習內容，建構與以往不同的學習平台，設計成更具有互動性的內容，使學生直接參與學習，讓學習成效增加；擴增實境也應用於觀光導覽，只要利用手機鏡頭掃描周遭環境，就可以獲得該景點的圖像、地圖以及評價等資訊，透過擴增實境技術結合真實世界與數位資訊，將旅遊資訊影像疊合至風景中，讓觀光客更有互動以及體驗。虛擬社群與擴增實境技術於服務系統

議題之研究重點包括：

1. 社群互動特質擷取與解析（如關注課題、情緒、評價之分析）。
2. 社群互動特質為基礎之服務設計（如災情評估、事件脈絡分析、產品/服務改善等）。
3. 5G 環境下，擴增實境技術於服務系統之創新應用。
4. 擴增實境技術於製造業智慧服務系統之應用及創新商業模式。

6.3.5 製造業的服務系統

製造業的服務系統源自近年來我國產業結構逐漸由工業與製造業移轉至以服務相關產業為主體，政府的產業轉型發展策略也朝微笑曲線兩端「設計研發」及「銷售端物流」發展，推動製造業服務系統，藉以提升我國製造業之競爭力。在整個產業鏈的發展與資源配置中，愈往產業上游及下游，服務的比例愈高，企業和客戶互動關係的維繫也愈顯重要。

製造業全球化服務的佈局中，上游製造端的資源投入主要集中在有形資源的投入（Gao et al., 2022），例如製造所需的廠房設施和機器設備、產品存貨和資通訊（ICT）系統的建置，當製造商要延伸其價值鏈活動往下游移動時，則無形資源的投入將愈需要增加（Qureshi & Siddiqui, 2020），例如製造商延伸服務所需要專利、智財、全球市場知識以及全球營運模式的專業。而在產業鏈的中間端則除了須建置倉儲與物流設施以外，也需強化投入資源以掌握在地化市場和顧客的知識、維繫顧客關係以及建立提供各種服務的能力。而在下游市場端，則必須將資源專注在對於終端顧客的需求與期望、顧客體驗價值等相關知識的開發與掌握，以建立和製造端、中間端和終端顧客共創服務與價值的體系（Kim et al., 2020；Parida & Jovanovic, 2022）。因此，如何將服務的思維導入製造業的營運體系中，並且從客製化需求的觀點來發展相關營運模式，以提升顧客體驗價值，以及導入製造業服務化所帶來的效益分析等議題，為未來應投入的重要研究方向，此議題的研究重點包括：

1. 不同產業製造業的服務系統模式探索與研析。
2. 從顧客需求與體驗的觀點探討製造業服務系統相關議題。
3. 製造業服務系統之效益分析。
4. 科技導向與應用 ICT 在製造業服務系統之設計。
5. 智慧型製造業服務系統之評估與設計。

新冠疫情（COVID-19）改變全球供應鏈，全球化供應鏈體系受到擾動，過往發展中國家的人口紅利所帶來低廉製造成本已不復見，製造鏈為應對新的需求和障礙，並確保貨物運輸暢通，製造鏈及供應鏈運作方式將會有相對應的變化（Zhang, 2021；Begum et al., 2022；Pujawan & Bah, 2022）。因此，因應後疫情時代，製造鏈體系的調整及應對包括下列研究議題：

1. 全球供應鏈過去主要是由較低廉的人工成本和消費者對廉價商品的需求所驅動，後疫情時代的來臨，製造商通常會被要求需要分散製造及組裝地點，跨國製造、物流及稅負相關的分析。
2. 由於環境中不確性因子的增加，製造鏈規劃韌性相關研究議題。
3. 製造系統中，異地備援及組織內部調整以因應遠距工作的議題。

6.3.6 永續經營與能源轉型服務系統

2021 年聯合國氣候變遷大會（COP26）雖未能達成預期中的「逐步淘汰」（Phase Out）化石燃料，但也創紀錄的寫下了「逐步減少」（Phase Down）。未來綠色科技以及減碳目標必會成為國際大企業對其供應鏈夥伴的一大要求。例如蘋果力求供應鏈在 2030 年前達到百分百碳中和，盡到其企業社會責任。然而，要達到這個目標，企業需

要更多的科技創新以及轉型。蘋果自身具有相當資源可以投資碳捕捉、採用回收資源進行製造、以及全球購買碳權等策略，達到自身企業的綠色轉型。但台灣以中小企業為主的產業結構，單打獨鬥要達到碳中和卻是困難重重。以此為出發點，研究相關之研究議題可包括揭露、減碳、以及科技溢出加速轉型。

達到淨零第一步則是需要清楚知道企業總體的績效，即供應鏈溫室氣體排放揭露誘因/罰則設計。金管會雖有規定上市櫃公司必須揭露其溫室氣體排放總量，但並未規範到其子公司（目標 2027 前需揭露）與供應鏈夥伴（至今尚無規範）。因為揭露本身僅規範上市公司，故其（中小型）供應商並無揭露的必要，進而導致部分企業可以將其減碳需求轉嫁到供應商上，而規避掉其揭露的責任。對企業而言，應建立機制與誘因，引導供應鏈夥伴清楚衡量並揭露。例如 Kalkanci & Plambeck (2020) 利用賽局理論研究這些企業在哪種情境之下，向投資者主動揭露其供應商的相關碳排量。該研究並研究強制揭露之情境，並發現當有替代供應商的同時，強制揭露有利於該企業對其供應商的承諾，以促進了解該供應商的相關碳排量。例外一方面，淨零對政府或非營利組織則是如何建立規範與罰則，以引導企業進行減碳。如 Sunar & Plambeck (2016) 研究不同計算供應商排放分配的會計準則如何影響企業減碳誘因，以及 Gopalakrishnan et al. (2021) 研究碳訂價以及碳稅等政策對於供應鏈夥伴間的碳排重分配的影響。而 Han et al. (2022) 以美國汽車業為發想，研究當中央與地方政府對於排放規定不同調的情況下，到底兩者應進行水平協調（中央與地方達到共識）或進行垂直協調（直接由主管機關與企業商討）呢？

達到淨零第二步則是考慮綠色科技導入，減少能源與製程的浪費。然而，科技研發與導入具不確定性，何種綠色科技、如何投資、何時導入、如何導入等，都是相關導入議題。此間須強調綠色科技與一般新興科技不同，新興科技主要影響需求端、但綠色科技不只影響需求端也影響供給端，須分別思考與討論。如 Cohen et al. (2016) 考慮需求不確定性對於政府針對綠色科技補助的影響，並強調如未考慮需求的不確定，補助政策或無法達到其最大影響。另 Wang et al. (2021) 考慮企業競爭與綠色科技研發的不確定性，探討政府在其中監管的角色與強度，並提醒政府，當面對一個高度競爭行業下，激進的監管可能會扼殺創新。Fan et al. (2022) 則是討論總量控制與交易政策 (Cap-and-Trade Policy) 與碳稅政策對於企業研發投入減碳科技與生產的決策影響，並發現當市場銷售與碳價相關係數適中時，碳稅政策會比較總量控制與交易政策產生更多的技術投資及更少的碳排放。最後，如前所述，中小企業為主的台灣，或有大型企業帶領綠色轉型，如何從大型企業裡的科技溢出中學習，加速轉型的速度變成最後一哩路。

臺灣淨零路徑的發展比國際更為嚴峻的挑戰，除孤島電網之外，昂貴的土地成本，都造成在發展上需要更多的投入與政策規劃。淨零策略首要是發展去碳化的能源系統。然而，台灣地小人稠，資源有限而需求者眾，政府需提前佈局，著眼於前。故以工業工程與管理的角度與思維提出以下幾點思維：

1. 智慧化系統整合，建立電力系統彈性：淨零的首要任務在於使用零碳的再生能源。根據全球能源總署 (IEA) 2050 淨零排碳路徑分析，達成淨零目標下，60~70% 的電力將需來自再生能源，其中電力將來自於變動性較高的太陽光電與風力發電。然而，再生能源所面臨的挑戰在於系統整合的高度困難，因而以智慧電網為基礎的即時決策系統格外關鍵，並結合機器學習的即時預測量能，於供、需端透過物聯網技術，自動化調節與控制將成為再生能源能否成功的關鍵 (Ourahou et al., 2020; Tan et al., 2021)。
2. 綠色投資與金融在成本的計算上需以均化彈性成本 (Levelized Cost of Flexibility, LCOF) 做為投資的考量，意即估計每增加 1MWh 變動性再生能源電力調度彈性所需額外增加之成本。引入機率模型，重建電力系統可靠度：電力系統的可靠關係國

- 家與企業發展，隨著變動性再生能源高度發展，系統可靠度的評估已較過去困難。
3. 建立需量反應與電力市場耦合機制：需量反應是一種透過需求端整合，於電力不足時透過需求端減量以維持電力穩定的方式 (Hui et al., 2020; Irtija et al., 2020; Apostolopoulos et al., 2021; Eltamaly et al., 2021)。然而，其有經濟規模的效益問題，同時對於配合的用戶其亦需有政府誘因、啟動成本和單位利潤的權衡考量，此問題與工業工程於生產管理端探討獲益的概念原則上一致。
 4. 協同與連結科技產業永續發展：協同技術在 1990 年初就被提出，主要為一種工具或應用使個人可以連結在一起或分享資訊與知識 (Bayrak, 2015; Bertolotti et al., 2015)。在過去，許多協同技術被開發及應用於不同的組織間，以提升個人與組織的績效，其中包括群組討論，供應鏈管理、專案管理、遠距離教學、人力資源管理、企業學習與訓練、遠端監控，及顧客關係管理等 (Brand et al., 2000; Price & Rogers, 2004; Bayrak, 2015; Blau et al., 2020; Anthony, 2021)。
 5. 根據經濟部統計，台灣中小企業約占 98%，居於台灣產業結構中相當關鍵的地位，為順應企業永續發展之世界潮流，導入循環經濟商業模式創新，運用自動化與智慧化模式，增進永續服務品質、精進永續服務管理及永續服務供應鏈管理，將有助於台灣中小企業接軌國際永續管理趨勢新時代。
 6. 未來再生能源將成為一大重要電力來源，但再生能源本身有間歇性生產的限制，為達到供需平衡的目的，需要從電力需求面減載，除了適於用電大戶的需量競價外，用戶群代表為一營利機構，提供需量反應服務方案，建構消費者參與電力市場的管道，稱之為「用戶賦權 (Empowerment)」。

6.3.7 綠色運輸服務系統

綠色運輸服務系統考量全球面臨暖化與氣候變遷的衝擊，交通運輸是城市主要的碳排放源之一，落實綠色運輸是推動永續城市的重要策略之一。世界各國減碳的要求下，透過以電動汽車代替傳統燃油車，研究已證實電動汽車已成為減少空氣汙染排放和改善環境質量的有效解決方法，使得電動汽車逐漸成為未來趨勢，世界各國對電動車的科技發展與在日常應用的普及化正在加速推動中 (Alimujiang & Jiang, 2020; Luna et al., 2020; Zheng et al., 2020)。除了電動車的生產相關議題正是工業工程與管理的應用場域之外，電動車的使用特別是電動車充電站系統的佈建也是一重要議題。

目前各國大力推行汽機車全面電動化，文獻上已有許多電動車充電預估需求模型 (Bai et al., 2022; Yi et al., 2022) 及充電站佈署議題的研究 (Zhu et al., 2016; Bouguerra & Layeb, 2019; Bai et al., 2019; Huang et al., 2019; Khoei et al., 2020; Niccolai et al., 2021)，可是電動車充電系統仍尚未成熟。雖然，美國加州為世界上電動車發展較為普及的地區，但臺灣的地理環境與美國地廣人稀的特性不同，譬如加州大多為每一家庭均為獨棟住宅，電動車充電系統可利用家中車庫簡單改裝，即可在家中擁有充電設施。臺灣城市的特性為狹小擁擠，大多的私人運具均停放在路邊或地下停車場。

相較於傳統的燃油車，電動車在推廣使用的挑戰主要來自因電池容量有限導致續航力較短，以及充電時間長。充電網路營運是長期的投資，但是目前電動車相關技術仍在發展階段，未達到穩定成熟狀態，電池容量 (續航力) 與充電速度的技術不斷的更新。相關科技的未來可能進展可能會使決策者在充電網路規畫上較為保守，但不夠普及的充電網路會對電動車的需求造成負面引響，進而影響相關技術的投資發展。因此，充電網路的設計最佳化需考量和科技管理決策的相互影響。無線充電技術的開發，對充電方式與型態有革命性的影響，在此預期下如何投資與規劃充電網路會是另一個重要的議題，相關之研究議題可包括：

1. 在成本考量下，在地小人稠的城市型態，充電站及充電柱的選址問題

2. 在設置充電柱的過程中，由於停車位置數量的限制，勢必會出現，燃油車停在具有充電柱的停車位，設計停車收費機制，使燃油車不佔用具有充電柱的停車位
3. 經由補貼、課稅政策，及符合公平原則，鼓勵電動車普及及充電設施的設置

綠色運輸泛指使用省能源、低污染、智慧效能化的運輸工具（Wang et al., 2020；Shah et al., 2021），如步行、單車、公車、捷運、火車、高鐵和其他共享的交通工具等。除了綠色運輸工具外，有效能的管理平台來鏈結各種運輸工具，形成所謂的綠色運輸管理平台，也是推動智慧型綠色運輸服務系統的成功關鍵因素之一，其中相關的研究議題包括：

1. 最佳化之綠色運輸服務系統規劃與設計。
2. 最佳搭乘路徑規劃之智慧 APP 系統的開發、評估與回饋機制。
3. 運用大數據分析與知識管理等技術，建構智慧 APP 系統的分析與評估模式。
4. 建立智慧綠色運輸系統的整體效能評估機制。

第七章 前瞻議題與新興科技

7.1 前瞻議題與新興科技簡介

為了因應橫跨科技、經濟、社會、文化、環境、政治等面向的影響與挑戰，政府提出「台灣 2030 科技願景」為「創新、包容、永續」三大願景 (<https://www.nstc.gov.tw/nstc/attachments/13761716-07dd-4783-8598-24a12c871c58?>)。國科會近年來也積極推動全新融合式跨領域研究以鼓勵學者研究未來棘手和複雜的跨領域問題，或開闢新的研究領域 (<https://eycc.ey.gov.tw/Page/9FAC64F67005E355/169d3d87-9ba8-484c-bfe2-61882acd9ee0>)。國科會工程處「工業工程與管理學門」擁有五大研究子學門，長期對於各領域的耕耘，以及兼容並蓄各家發展，累積並跨足非常廣泛的知識、理論、方法、數據、和研究社群。近年來，工業工程與管理學門更積極因應國科會的期許來探討前瞻議題與發展新興科技，鼓勵學門研究人員提出並參與跨跨領域/跨處/跨學門之重點研究計畫，藉著融合不同子學門，促成子學門學群間的互動，產生新的研究架構、典範。因此，在五大子學門的規劃內容上，再加上跨領域與跨學科融合研究，鼓勵不同領域和學科之間的合作，投入科研活動，解決跨學科研究問題。前瞻議題與新興科技特別整理以下的研究現況，以及未來研究方向兩大章節。

7.2 前瞻議題與新興科技研究專長與重點方向

7.2.1 循環經濟、永續與 SDGs

7.2.1.1 循環經濟

工業工程與管理的視角之下，循環經濟指的是在維持資源效率、提升生產製造效率以帶動利潤成長同時，重視資源效率提升，達到與環境影響脫鉤，對減碳成效作出貢獻，並維持經濟效率 (Jeng et al., 2021)。運用資源效率分析技術，可了解零排放對環境的影響，並促成設計產品整個生命週期的廢棄物零排放計劃系統。而資源效率的提升，與其帶來的能源與資源使用行為的轉變，能為低碳轉型增添助力，更邁進永續發展的願景。

循環經濟是一個永續發展的閉環式概念。藉由資源再生系統，由封閉的供應鏈循環，使得資源得以再投入、零廢棄、零排放，以達成資源永續的目標，同時與我們所處的環境和所擁有的資源共生再製造、再循環及再利用 (Tseng et al., 2021)。循環經濟的系統下，所設計與製造生產的每個產品，都可放入多個閉環式資源循環來使用，成為新的生命週期評估的資源再利用及原材料和素材 (Liu et al., 2021)。結合能源使用效率的提升，可減少溫室氣體排出到大氣層 (Li et al., 2022)，減少碳足跡，並讓大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水平。所以在循環經濟的前提之下，在生產製造過程之下清楚的碳足跡調查 (Mashud et al., 2022)，可以達到社會和資源永續。

7.2.1.2 能源轉型與永續發展

根據政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) (IPCC, 2018)，淨零碳排 (Net Zero) 指的是在特定的一段時間內，全球人為造成的溫室氣體排放量，扣除人為移除的量等於零。截至目前，全球已有 128 個國家，宣示 2050 年達成淨零碳排。台灣也力拚 2050 淨零碳排目標，而要達成此目標，深入研究能源轉型等相關議題，是根本且重要的。

即便發展再生能源是必然趨勢，大自然的不確定性仍是一大挑戰。一旦沒有陽光或是風，隨之而來的就是太陽能與風力發電的停擺。也就是說，當發電走向看天吃飯的

階段，除了致力發展儲存電能的技術外，具備「千里眼與順風耳」的先進電力系統—智慧電網—便成為淨零路上必備的基礎建設（今周刊，2022）。智慧電網是以先進的資通訊技術與人工智慧導入電力系統，嚴密監控在多樣天候下的發電設備，用有效率的方式管理能源，以強化電力系統韌性與提升供電的穩定度。然而，鄭朝陽等人（2022）提到：在過去十年，全台約一千四百萬用電戶，智慧電表安裝進度僅約一成。檢視現況，推動智慧電網這項基礎建設仍廢待舉，淨零目標能否如期如質達成，面臨嚴峻考驗。政府如何提升民眾能源認知、提供企業及商家安裝智慧電表誘因，研究人員如何配合施政方針從各個指標深入研究，皆還有漫漫長路要走。此外，台灣智慧型電網產業協會理事長張文恭表示：在發展智慧電網時，必須結合資通訊、人工智慧、大數據、環境與氣候等技術，電力與能源的跨域人才時代已經來臨（今周刊，2022）。簡而言之，智慧電網的推動，不只是設備智慧化，更重要的是「人」的智慧化。面對這樣跨領域與整合性能力的需求，如何透過教育與觀念推廣，把人員的電力系統運轉經驗機制導入智慧電網的建立，也是台灣電力轉型的重要一環。

另一方面，台灣屢次經歷停電事件後，智慧儲能的重要性變得顯而易見。東元董事長邱純枝看好：儲能不只是成為停電的備案，儲能還有助於太陽能輸出平滑化、穩定電網的作用，未來一定會有政策要求太陽能、風能結合儲能設備（陳映璇，2022）。儲能設備儼然已成為智慧電網不可或缺的一大重點，因此如何設計一個包括儲能設備的智慧電網，包括不同能源間（再生能源與非再生能源）的調度、儲能設備的配置與網路規劃、再生能源併入電網等，都將是熱門的研究議題。

為了讓社會大眾了解能源轉型趨勢與重點方案執行狀況，台灣政府透過多元管道參酌民眾意見，目前已於2021年7月1日正式核定「能源轉型關鍵指標」，於2021年9月30日正式公布第一本「白皮書年度執行報告」，於2022年3月正式公布「2050淨零排放政策路徑藍圖」，展現政府積極推動能源轉型之意圖。如何促進關鍵領域之技術、研究與創新；如何引導產業綠色轉型帶動新一波經濟成長；如何將台灣打造為安全、潔淨、永續之智慧能源島，這些都期望能成為全民共同努力的目標。

7.2.1.3 社會責任與永續目標：從 CSR、ESG 到 SDGs

自1950年起，許多學者專家，組織，或團體陸續提出並強調企業應該有社會責任，並發揮企業的社會力（Social Power）。一直到1987年聯合國環境與發展世界委員會（World Commission on Environment and Development, WCED）在《我們共同的未來》報告中，「永續發展」的概念才真正被定義為「能滿足我們當代的需求，又不損及後代子孫能滿足他們需求的發展模式」，並建構在經濟發展、社會正義與環境保護三大基礎上。

早期企業進行企業社會責任（Corporate Social Responsibility, CSR）的作法大多以從事慈善事業、公益活動為主。CSR源起於個人的慈善活動，之後逐漸演變為企業的慈善活動，如對學校、醫院捐款，或者對具有價值的社會服務事業進行捐贈、公益活動等用以改善社會的整體健康狀況。Bowen（2013）首先提出CSR的概念，並初步定義為企業家無論從事組織管理、決策，或執行企業目標與願景的運作過程，都應該有道德上的義務與責任。然而企業的慈善活動不應僅是單向的投入，而是必須考慮社會回報與企業財務之間的關係，因為許多社會投資都有經濟報酬，許多經濟投資都有社會報酬。80年代起，企業開始運用利益相關者利潤最大化的概念，進行CSR的各項投入。Carroll（1979, 1991, 1999）將CSR定義為企業的經濟、法律、道德及慈善責任，將企業所承擔的社會責任建構為金字塔圖（Pyramid of CSR）或企業社會責任階層（CSR Hierarchy），並指出企業除了提供滿足社會大眾需求的产品或服務，及創造經濟價值以獲取利潤外，同時必須要符合法律規範、有責任去做正確的事，並且自發性的奉獻，改

善社會問題，提升及回饋社會福利。

近年來，企業積極由 CSR 力拼轉型為環境、社會和治理（Environmental, Social and Governance），簡稱 ESG。ESG 原則，為評估企業是否健全與穩定程度的三大績效指標，並可作為企業與利害關係人溝通的管道，用以提昇企業形象與競爭優勢的重要工具，因此 ESG 可作為評估一個企業永續發展的最佳指標。2001 年，美國史上最大的企業弊案—安隆案，該公司原為全美最佳百大企業，卻因財務造假及內線交易，使該公司破產，更嚴重衝擊美國金融市場及全球投資市場。有鑑於此，政府與投資人開始要求企業加強公司治理。ESG 一詞首次出現於 2005 年由聯合國召開的「Who Cares Wins」會議中，該會議邀請國際金融機構、買方和賣方研究分析師以及政府機構和監管機構，共同審查環境、社會和治理的價值驅動因素在資產管理和金融研究中的作用，並且一致認為，ESG 在長期投資中發揮重要作用。2006 年聯合國責任投資倡議組織（The United Nations Principles for Responsible Investment, UNPRI）則提出 ESG 框架，將 ESG 納入責任投資原則中。

除了為 ESG 制定框架，聯合國也在 2015 年 7 月發表了《千禧年發展目標報告》，回應其於 2000 年提出的八項千禧年發展目標（Millennium Development Goals, MDGs）。報告指出，世界貧窮人口已由 1990 年的 47% 降低至 2015 的 14%；已達學齡卻沒有上學的孩子的數目降低 50% 以上；孩童死亡率 50%；抗逆轉錄病毒療法（Antiretroviral Theory）的成功，令更多愛滋病患者得到有效的治療；蚊帳的設置，令死於瘧疾的人的數量大幅減少。然而 MDGs 距離永續發展仍有不足之處，其中性別不平等的問題依舊存在，女性在不同方面遭受歧視，並比男性更可能生活在貧窮的狀態。此外 1990 年起，二氧化碳的排放量上升超過 50%，導致極端氣候的發生頻率增加。因此，2015 年聯合國以可持續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）正式取代 MDGs。與 MDGs 相比，SDGs 有三大突破：（1）廣泛適用（Universality）：MDGs 較重視發展中國家的情況，而 SDGs 設定的目標，同時適用於已發展和發展中國家；（2）整合（Integration）：SDGs 內含 17 項目標，更廣泛地涵蓋可持續發展的三個面向「經濟」、「社會」和「環境」；（3）轉型（Transformation）：達成目標需上行下效，整體社會的參與與價值扭轉。

永續發展代表轉型。許多企業已將永續發展納入企業核心，重視外部環境及組織內部員工權益，減少慈善捐贈，現今更將永續整合至企業的營運策略中。結合 ESG 原則與 SDGs 目標，重新帶領企業創新、創造差異化與提升競爭優勢。而政府、監督單位及相關利害關係人，則透過永續報告書或企業社會責任報告書中各項資訊的揭露，進行監督及管控，期許地球與企業共同持續邁向永續發展。

7.2.2 智慧健康與醫療

智慧醫療服務的使用者是醫師，研發與製造端則在科技業，雙方必須緊密合作，才能開發合乎需求的產品。然而，醫界與科技業的組織文化與專業語言大不相同，需要更多同時理解醫學與科技的人才居中協調才能嫁接兩個產業。智慧醫療的發展大部分仍處在各自獨立的狀況，若能加強「產官學研醫」多方互動媒合，促使新藍海的智慧醫療誕生，必能使臺灣的智慧醫療發展更加強大與快速。

2017 年國科會（原科技部）產學技術聯盟合作計畫補助醫療系統聯盟（Healthcare Systems Consortium, HSC）成立於東海大學，係根據工工系翁紹仁教授過去執行醫療相關產學合作案經驗與成果，組織成跨領域的產學小聯盟服務團隊及平台。2021 年 HSC 已獲內政部許可成立正式「醫療系統聯盟」民間組織單位，聯盟致力於探討醫院系統及醫護（Wang et al., 2022）、病患需求（Weng et al., 2022），開發符合醫師、護理師、病患三方需求之服務產品，以提升醫療品質管理改善，增進國家醫療產業福祉。

由過去的醫療體系流程改善優化至現今的智慧醫療為範疇的進階輔導，有許多研究致力於以科技改善醫護工作環境。從防錯與降低人員工作負擔開始，透過科技技術運用，例如：人工智慧 (Muehlematter et al., 2021)、演算法 (Tsai et al., 2022)、區塊鍊 (Ratta et al., 2021)、雲端 (Bharati et al., 2021)、大數據 (Rehman et al., 2022)、邊緣運算 (Abdellatif et al., 2021) 與 5G (Yang et al., 2021) 等，讓醫療資料互通與醫療場域去中心化提升醫療照顧效能，使醫護有更多時間照顧病人，提高診斷正確性協助醫生做出更好的醫療決策，達到早期發現、早期治療，減少慢性病照護造成的健保資源浪費並建立服務模式。聯盟亦參考上述研究並將這些科技帶入台灣的醫療場域，進而帶動我國廠商投資發展智慧醫療器材。

關於聯盟現在的研究著重在醫療科技管理新技術開發，目前已有多樣新技術成果，合作醫院有臺中榮民總醫院、中山醫學大學附設醫院、彰濱秀傳醫院、澄清醫院中港院區、及童綜合醫院等等。舉列來說，與中山醫學大學附設醫院共同開發手術器械影像辨識清點系統，運用影像辨識技術辨識手術器械並進行清點以及分類，可提升手術器械清點效率並有效降低器械遺留在人體之風險。此外，聯盟於醫療影像辨識技術成果亦有應用在肝腫瘤識別應用、分級骨質疏鬆症醫療影像應用及 YOLO Real-time 應用在病患人流偵測。在 AIoT 技術則是研發醫院勤務高效能決策支援系統 (Chou et al., 2020)、系統模擬結合無線射頻辨識於醫院急診室、急診病床平準化決策支援系統 (Tsai et al., 2020)、及系統模擬及語音辨識改善急診問診流程 (Weng et al., 2019)。團隊亦致力於醫療作業現場及流程效率提升改善，例：最佳化在門診大樓櫃台資源配置、糖尿病病患看診流程動線改善、改善醫院手術排程等等。

7.2.3 智慧農業

智慧農業涵蓋範圍廣泛。廣義的農業包括農、林、漁、牧，其衍伸出無數的產品與服務研發機會，在導入工業工程知識技術後，拓展數個發展領域。

供應鏈管理是工業工程的 DNA 之一。供應鏈管理的模式與效益雖明確，但現今不論是農產品或漁牧產品，其供應鏈管理與發展仍相對落後。農業供應鏈 (Agriculture Supply Chain) 含五大角色，分別為農夫 (Farmer)、加工商 (Processor)、經銷商 (Distributor)、零售商 (Retailer) 與終端消費者 (End User/Customer) (Routroy & Behera, 2017)。Kamble et al. (2020) 的回顧研究中便探討以物聯網 (Internet of Things)、區塊鍊 (Blockchain) 與大數據 (Big Data) 建立數位化的、數據驅動的農業供應鏈系統的方式與成效，並提出以供應鏈能見度 (Supply Chain Visibility) 與供應鏈資源 (Supply Chain Resources) 為兩大核心，構建數據分析達成永續表現的框架系統。Sharma et al. (2020) 也回顧使用機器學習 (Machine Learning) 技術架構農業供應鏈的案例，總結出機器學習的應用可延展到農業供應鏈的各面向中，協助控制與監督農業流程，逐步構建智慧網絡。

同樣以供應鏈的角度切入，工業工程技術思維還可應用在協助農業數位轉型。如建置與食安相關的產品足跡與溯源資訊系統 (Lin et al., 2019; Visconti et al., 2020b)，以供應鏈角度由數位平台揭露各項資訊，讓其管理方式更制度化。此外，還能建構農業產銷平台，以 O2O 搭配外送服務串聯供應鏈產品平台，從生產、加工、包裝至消費配送端，各端點之資訊可回饋至平台，透過資訊整合，協助建立產銷秩序。Tsang et al. (2021) 的研究即整合互聯網與控溫外送技術，架構易腐性食品的電商物流規劃，在顧客滿意度與訂單管理間取得平衡。

隨著氣候衝擊的來臨與永續觀念的提升，農業供應鏈也需做出相應準備。碳盤查、減量與折抵等多項需要第三方 ISO 認證的程序，尤其與上下游需要鏈結，因此建置碳足跡 (Carbon Footprint)、水足跡 (Water Footprint) 評估系統，是農業供應鏈的重要角

色之一，日前已有碳足跡評估準則的使用與差異表現 (Huang et al., 2019) 與農業灰水 (Grey Water) 足跡的評估 (Hu et al., 2018) 等研究。

7.2.4 元宇宙/擴增/虛擬實境與使用者體驗

2021 年 10 月 Facebook 執行長祖克柏宣布將 Facebook 改名為 Meta，並強調從現在起將以元宇宙為優先而不是 Facebook，元宇宙的討論度一夕成為最熱門的話題。元宇宙 (Metaverse) 一詞其實最早來自於一本 1992 年的科幻小說 Snow Crash，小說裡面的人可以脫離現實世界的物理和身體限制成為虛擬角色在虛擬世界生活，並且發展出自己的社會制度、文化和經濟體。在元宇宙中，人類以虛擬人物 (Avatar) 的形態存在，身份證/護照是人類在現實生活中的身份標識，而元宇宙使用非同質化代幣 (Non-Fungible Token, NFT) 來做為人類的數字身份標識，並透過兩種途徑進入元宇宙世界：一種是通過全息投影、觸覺手套、VR 頭戴顯示器等與元宇宙進行沉浸式互動；另一種以虛擬化身融入元宇宙，進行數字社交和數字生存。要達成上述目標，不僅需要 XR (VR/AR/MR)、觸覺互聯網、人工智能、區塊鏈、仿真技術等關鍵技術支撐，更需要元宇宙相關理論、方法、解決方案、標準等方面的創新。

雖然目前元宇宙的定義尚未明確，美國創投家 Matthew Ball 在 2021 年將元宇宙畫分為 8 大範疇：

1. 硬體 (Hardware)：用來登入、互動或開發元宇宙的設備，包含 XR (VR/AR/MR) 裝置、手機、觸覺手套等。
2. 運算 (Compute)：元宇宙中的計算能力，例如物理運算、渲染、數據、AI、動作捕捉、翻譯等功能。
3. 虛擬平台 (Virtual Platforms)：通常是 3D 環境，使用者和企業在其中探索、創造、社交、參與各種體驗。
4. 網路 (Networking)：如即時穩定、高頻率的數據傳輸。
5. 支付 (Payments)：數位支付流程、平台和營運。包含虛擬貨幣與真實貨幣的兌換、純虛擬貨幣的流動等。
6. 內容、服務與資產 (Content, Services & Assets)：元宇宙使用者數據與身分相關的數位資產 (虛擬商品或貨幣) 設計、銷售、儲存、財務管理等。
7. 可交換工具與標準 (Interchange Tools & Standards)：包含創作、工具、開發、技術協議、服務，使其具有協同工作能力的標準。
8. 使用者 (包含消費者和企業) 行為：不斷發展變化的消費者和商業行為，包含花費的時間、金錢與注意力，所做的決策與能力等，是以消費需求為中心的趨勢。

近年來，國內的產業也積極投入元宇宙的發展。光禹國際數位娛樂開發股份有限公司於 2021 年打造亞洲首座元宇宙地標 Holo Park。落腳於高雄駁二特區，Holo Park 運用科技結合文創資源，打造「鹽埕懷舊復古商店街」和台灣首座全息浮空劇場，採用獨家開發的浮空投影技術 (Hologram)，透過結構光與投影技術，讓全息 (裸視 3D) 影像及真人共同演出，以異地共演的方式，將 5G、AIOT 的試驗場域運用在娛樂、生活領域，此技術結合文創內容，讓大家穿越時空，展現高雄港都的創新與活力。

此外，IC 設計起家的矽統科技近年來也積極跨足元宇宙產業，憑藉自主研發的創新優勢，矽統科技首次推出全世界最容易上手的 3D 直播工具「沉浸式 3D 虛擬直播機」，自主開發的 3D 影像處理與即時綠幕去背技術，可在一般光線的環境需求下，呈現優於市面上已有的去背效果，並一秒將你家變成專業攝影棚，直播時同時完成優質的好內容，免去後製工作的人力與時間。在實際應用層面，近二年由於疫情的關係，學校無法舉辦實體的畢業典禮。利用虛擬 3D 直播技術與視訊會議技術做結合，透過 3D 直播機讓在家的畢業生與學校老師，可以同時在同一個畫面裡出現並進行互動，以異

地共演的型式完成線上的畢業典禮。

近年來智慧眼鏡的上市，也讓資訊科技向前邁進一大步。其最大的改變在於，不再需要透過雙手來控制，只要透過語音輸入，以及眼睛所看到的景物，便可隨時做運算、辨識，並將結果主動呈現在配戴者「眼前」。目前智慧眼鏡的市場正在醞釀中，並搭配許多相關的 App 問世。

擴增實境 (Augmented Reality, AR)，亦簡稱為 AR，此詞在 1990 年由兩位波音研究員 Thomas Caudell and David Mizell 所定義出 (Qian et al., 2019)。AR 技術自 1990 年代發展至今，透過電腦仿真圖像的技術，將虛擬圖像與現實環境結合。最初是應用在醫學領域，醫生配戴 AR 眼鏡協助開刀，能夠降低手術的風險 (Jiang et al., 2019)。如今 AR 技術不單侷限於醫療使用，而是普及至各個領域及產業，如教育方面，老師可透過 AR 眼鏡瞭解課堂內學生們的學習狀況，以便掌握教學進度，也能提高與學生之間的互動 (Zarraonandia et al., 2019)；而在觀光領域，則有不少研究指出 AR 對於觀光有相當大的益處，例如博物館的 AR 導覽助於提高使用者的體驗及參與度 (Cranmer & Dieck)；在工業方面，現今的工業 4.0 則導入 AR 技術打造智慧工廠，有益於工廠降低成本 (Blanco-Novoa et al., 2018)。而在商業的行銷層面則是大量投入資源在 AR 應用吸引消費者 (Barhorst et al., 2021)，由上述可知此技術的進步給予了許多貢獻。

虛擬實境 (VR)/擴增實境 (AR)/混合實境 (MR) 之定義如下 (黃昱綸, 2019)：(1) 虛擬實境 (VR, Virtual Reality) 是運用 3D 高擬真技術模擬出三維的虛擬環境，使用者配戴頭戴式顯示器 (Head Mounted Display, HMD) 後，可以完全沉浸在虛擬環境中，因此，VR 技術也被稱為沉浸式虛擬實境技術 (Immersive VR)，使用者也可任意走動，虛擬世界會完全隨著眼睛移動的位置和角度而改變，就如同在真實世界中，VR 代表作如 Oculus Rift、HTC Vive 等；(2) 擴增實境 (AR, Augmented Reality) 主要是透過顯示器呈現虛擬與現實資訊之結合，也就是一種即時計算攝影機擷取影像位置及角度，並將數位資訊疊合至真實世界影像中之技術，這些數位資訊可以是文字、圖案、符號、有意義的資訊等，目前以 HMD 最為常見，顯示器裝置可分為兩大類：「光學式透視」及「視訊式透視」，其 AR 代表作如 Google Glass 等；(3) 混合實境 (MR, Mixed Reality) 是最晚出現的技術，是一種混合、結合真實環境 (AR 的特點) 與虛擬環境 (VR 的特點) 的技術，可以將虛擬物體置於真實世界中，並讓使用者可以與這些虛擬物體能夠非常真實地進行互動，產生「以假亂真」的視覺化環境。就 MR 的定義來看，或許與 AR 的定義很相近，實際上卻不相同，主要關鍵區分方式有兩種，第一是虛擬物體在空間中的相對位置是否會隨者使用者的移動而改變；第二是虛擬物體與真實世界互動運作是否即時獲取，也就是虛擬物體是否會根據使用者的觸碰立即產生形狀變化，讓虛擬物體呈現出宛如電影特效的逼真效果。

7.2.4.1 全球產業發展概況

根據市場調查公司 Digi Capital 報告指出，2016 年是 VR 的元年，這一年 HTC 的股票大漲，而智慧型手機普及後，日本各大遊戲公司紛紛推出應用在手機遊戲 AR 產品，如日本公司任天堂推出的 Pokémon GO 遊戲，在業界引起轟動，在這期間，全球智慧 AR 專利申請數量由 2016 年 96 件增加到 2017 年 181 件為最高峰，2017 年可以說是 AR 的元年，而後有越來越多 AR 硬體設備如雨後春筍之勢般冒出，搶攻市場，全球智慧眼鏡出貨量從 2016 年 6.7 萬副增長到 2019 年的 1,000 萬副，占據可穿戴設備市場份額的 1.92%，。專家預測 2021 年全球 AR 市場將有 1,080 億美元的收入，相當於 3 兆台幣，2021 年的 AR 市場潛力將會是 VR 的兩倍，其中移動 AR 市場將成為這項收入的主力軍，估計 2021 年截止，AR 市場的收入將達到 830 億美元，剩下的 250 億美元左右的市場份額為 VR 市場所占據。

7.2.4.2 我國廠商發展現況

在隨著 5G 網路、工業 4.0 的發展以及疫情時代的影響下大家開始關注如何用虛擬方式去做現實可以達到的事，從 2019 年開始有越來越多 AR 硬體設備開始冒出，在國外不僅有微軟、Google 等科技產業龍頭積極搶攻市場，而在台灣也有許多科技廠推出 AR 智慧眼鏡等設備，像是佐臻公司將無線傳輸、中央處理、影像和感測等技術核心，進一步發展成智慧眼鏡，並且自主研發 AR 智慧眼鏡去年已出首批軍用款交付台灣國防產業基地，導入軍用航空器戰術頭盔，未來飛行員不需直接觀看艙內螢幕，可經由戰術頭盔內的鏡片看到操作系統。宇萌科技也專注 AR 擴增實境領域，推出獨家平台編輯器，能快速生成多元 AR 互動，簡化了整體設計流程。

總而言之，台灣 AR 產業硬體產業鏈雖然完整，但是多屬於關鍵零組件供應商或製造商，在市場的需求尚未明朗前大多科技廠商積極度不高。AR 眼鏡受限價格及硬體限制，尚未有可量產的消費級 AR 設備的出現，許多廠商也尚未亮出自己的底牌，仍在市場上觀望、摸索的階段中，對於我國搶占 AR 智慧眼鏡的機會仍有很大的市場空間，同時也期望智慧眼鏡能迎來它最美好的年代。

7.2.5 人本人工智慧科技

人工智慧的技術（如：機器學習、自然語言處理、機器人）日益突破，為人類社會的福祉帶來新的展望。隨著這項科技廣泛地影響人類社會，人類作為使用者或後果承擔者，其角色亦逐漸受到重視（Bond et al., 2019），將研究趨勢由技術導向（Technology-Oriented）帶入以人為本（Human-Centered）的思維（Yang et al., 2021）。人本人工智慧（Humane-Centered Artificial Intelligence, HAI）是以第三波人工智慧浪潮興起時產生的思維（Xu, 2019），根據 Shneiderman (2020b) 的觀點，人本人工智慧應考量人類的觀點和所在情境，用以提升人類的自我效能、創造力及社會參與等為目標，同時促進隱私、網路安全、社會正義等倫理考量。Shneiderman (2020a) 以可靠、安全和值得信任的（Reliable, Safe & Trustworthy, RST）架構為出發，強調使用人工智慧系統涉及的面向。Xu et al. (2022) 提出基本 HAI 架構與衍伸的議題，可歸納出三個重要的組成構面：(1) HAI 需符合道德倫常的設計，避免歧視並維持公平與正義，以不取代人類為目標；(2) HAI 的技術需反映人類智慧與深度，讓 AI 可與人類智慧比較；(3) HAI 需以人因設計來確保 AI 解決方案是可解釋（Explainable）、可理解（Comprehensible）、可用（Useful）且好用的（Usable）。綜合上述，HAI 的核心概念是以使用者為核心的人工智慧技術，因此 HAI 系統的設計過程需要以使用者為中心（User-Centered）的設計思維支持。

人工智慧（以下簡稱 AI）已經逐漸被應用在金融（Arslanian & Fischer, 2019; Cao, 2022; Gogas & Papadimitriou; 2021）、製造（Ghahramani et al., 2020; Liu et al., 2022; Sahu et al., 2021）、醫療（Imran et al., 2020; Jacobs et al., 2021; K. Zhang et al., 2020）及零售（Battisti et al., 2022; Kliestik et al., 2022）等等多元的產業之中，其特性為人類社會帶來許多機會。例如，AI 的技術特長之一是從大量的資料中萃取出潛在規則，因此我們有機會透過資料驅動的方法（Data-Driven Method）了解個體或群體上在生活上的行為動機，提供合適宜的回應或服務。AI 的另一項優勢在於可以節省人力成本與有限資源的分配。以聊天機器人為例，聊天機器人不僅可以提供病患全天候的協助，更能降低醫護人員部分工作負荷（Kowatsch et al., 2017），在 Kowatsch et al. (2021) 的研究中，更將聊天機器人的角色視為一個病患、其家屬及專業醫護人員三方之間溝通協調的角色，聊天機器人的每日無時無刻的介入更可以提供專業知識與病患及家屬社會性的支持。Schwendicke et al. (2021) 的研究結果亦支持 AI 應用於口腔診療程序時可

達到成本效益 (Cost-Effective) 的效果，同時提升診療的準確度。同以醫療照護為例，Aslam (2022) 以深度學習模型預測病患的死亡率與呼吸器支援的需求，在 COVID-19 疫情下更有效的管理病患和有限的醫療量能。

儘管我們目睹 AI 為許多領域帶來的貢獻，人類對於完全自主的 AI 系統仍然保有疑慮 (Bansal et al., 2019; Chesterman, 2019; Lai & Tan, 2018)。對此，混合智慧 (Hybrid Intelligence) 是一個極具前景的模式。(Akata et al., 2020) 提出四項混合智慧的研究核心，包含：合作性 (Collaboration)、自適性 (Adaptability)、責任性 (Responsibility)、可解釋性 (Explainability)。(1) AI 的合作性著重於理解使用者和合作的理論基礎，建構 AI 與人之間的互動關係；(2) AI 的自適性強調必須反應使用者偏好、外在環境變動及任務等改變。實例包含 Zimmerman et al. (2020) 提倡的自適性使用者介面 (Adaptive User Interface)，此設計亦有助於提升人們對於 AI 系統的理解；(3) AI 的責任性關注道德面向及信任關係的影響。負責任的人工智慧不僅是技術本身隱含的偏見和歧視是否應該透明地披露，更重要的是使用者是否了解使用 AI 工具可能帶來的不同層面的影響，以及不同使用 AI 的行為可能導致的後果。Vassilakopoulou (2020) 以社會技術 (Sociotechnical) 的角度出發，提出 AI 應用於公眾服務與機構時針對責任性與的設計原則；(4) AI 的可解釋性主張透過可詮釋性機器學習模型 (Interpretable Machine Learning Models) 或設計機制，提升使用者對 AI 的理解。承如 Lee et al. (2019) 的發現，透過視覺化呈現演算法輸出與輸入的內容可以讓人們更好地理解使用 AI 所帶來的結果。增加技術的透明性有助於使用者理解 AI 本身的局限性，提升可解釋性和認知公平性，也可以幫助專家利用 AI 獲得有效的決策建議。

7.2.6 遠距合作與工作科技

在國際學術社群中，社群運算 (Social Computing) 與科技輔助協同合作 (Computer Supported Cooperative Work, CSCW) 是頂尖國際會議 ACM CSCW 的兩大重點次領域。CSCW 的源起是 1980 年代針對企業中逐漸引進不同的電腦作業系統，企業成員應如何在跨單位、跨部門、跨子公司、跨組織的情境下利用電腦系統協作，以提升企業產能，並同時幫助企業成員在工作場域中有更好的溝通過程以增進、修補、或簡化工作流程，優化表現與效率 (Grudin, 1994)。隨著 CSCW 的發展，早期較偏業界應用的取徑也慢慢加入了有關使用者心理、人際傳播、組織與社會等不同層面的行為科學理論架構，研究主題涵蓋遠距合作與工作科技、社會、設計等角度與增進協同合作過程，是個重視理論發展、嚴實研究方法、與實務應用的領域 (Schmidt & Bannon, 1992)。而 CSCW 中的科技 (Computer)、協同 (Cooperative)、工作 (Work) 的定義也越趨兼容並蓄，將協作的場域擴大至多元主題的社群，協同的目的也不再以工作導向為主，而提供輔助的科技則包含了各式各樣的新興資訊科技，定調了現在 CSCW 跨領域與多元的研究範圍。

舉例來說，科技的應用或是系統搭建可以是電子郵件、視訊系統、即時通訊，到近年來盛行的社群媒體與行動科技、機器人、物聯網科技、與人工智慧等。協同的方式也可以是雙人、小組、社群、社會、與文化等層級。應用的場域則是跳脫了組織與企業，包含了線上與線下各式社群的溝通、互動、學習等 (袁千雯, 2021)。

近年因為 COVID-19 疫情影響，使用者遠距需求增加，再加上人機互動領域的蓬勃發展，以及人們對使用者行為、產品與服務體驗的需求提升，遠距合作科技在資訊科學、人因、傳播等相關領域中裡成為重要的研究主題 (Caldeira et al., 2022)。CSCW 目前較熱門的研究課題主要有了解使用者在不同的場域之下，如何透過科技互動、合作等不同類型之使用者行為層面為主的行為科學研究 (Behavioral Science)，也有探討使用者如何透過科技中介進行傳播、互動、合作等研究。舉例來說，使用者如何利用社群媒體 (Social Media)，如 Facebook、Instagram 或是 Youtube 等平台進行溝通、互動以

及社群建立等行為，及其造成的影響 (Huang et al., 2014; Wohn et al., 2021)。特定領域的應用也包括健康照護、無障礙可達性研究 (Accessibility)、跨語言文化研究等，涵蓋多元使用者族群，如銀髮族、青少年、身心障礙者等 (Hung et al., 2022; Yang et al., 2019; Yuan et al., 2017)。另外，新興科技的相關應用，如人工智慧、物聯網科技、機器人、穿戴科技等，在軟硬體科技蓬勃的發展推進下，究竟在實際情境中會如何被使用者利用，又會帶來怎樣的影響，也是 CSCW 在追求科技發展之外，著重探討以人為本 (Human-Centered) 之心理、組織、社會、文化等層面 (Jiang et al., 2021; Wang et al., 2020)。這些主題皆吸引跨領域學者的投入，同一主題常見有人因學者從使用者認知、社會科學家從使用者行為、資訊科學家從系統建置與軟體發展、設計學者從原型打造改善體驗等不同角度切入。

7.3 前瞻議題與新興科技未來研究方向與重點

7.3.1 循環經濟、永續與 SDGs

7.3.1.1 循環經濟

在生產、再製造以生命週期為視角，將廢棄物變成更多資本，而不是僅是單純減少廢棄物。企業需要新的生產製造模式、永續消費者行為模式和將廢棄物轉化為資源的新解決方案 (Razzaq et al., 2021; Wang et al., 2021)。以工業工程與管理的視角進一步看待生產階段，城市和地方可以與其他利益相關者合作，促進原材料的永續性採購和資源循環的不同最佳化模式，如工業共生。為了達到最佳化系統條件 (廢物管理)，並建立大規模循環系統，有效的跨行業和跨部門合作是必要的 (Huang et al., 2021)，如在每個環節間均融入綠色理念，以建構完整的綠色生產及消費系統 (Tsai et al., 2021)，促進環境和經濟永續。

產業共生是互惠互利或共生的關係，最終邁向零廢棄、零排放的工業系統。產業共生的應用結合傳統工業工程與管理將資源以更永續的方式使用，並有助於創建循環經濟 (Tseng et al., 2018)。這將是提高產業的競爭力、永續性、資源效率和資源安全，還有助於減少溫室氣體排放。

7.3.1.2 永續發展與 SDGs

面對當前人類永續發展的挑戰，由於問題非常複雜，涉及經濟，環境與社會等不同面向，亟需跨域整合的專家以找出解方。長期以來，工業工程與管理的學者專家們，兼具工程領域知識與管理策略之跨域思維，發展許多問題解決與效率提升的工具與方法，未來若可以思考以共同設計 (Co-Design)，共同發展 (Co-Development)，及共同產出 (Co-Delivery)，建立跨領域團隊，將可驅動產業創新改變，轉型為循環型社會，建置符合永續發展的生態系統 (ECO system)。觀察淨零排放的目標，考量臺灣本土問題，如：缺水、缺電，與空汙等，鏈結國際發展趨勢以找出解決方案。在此提出工業工程與管理可以發揮合理化，最佳化與系統化等各項技術，探索下列議題：

1. 節能減碳與能源效率分析

分析能源效率轉換 (Nakaishi et al., 2021; Tic & Guziłowska-Tic, 2021)、低碳設備與基礎環境建置及評估 (Brutschin et al., 2021; Mahato & Ghoshal, 2020) 與發展能源、資源管理系統 (Pudukotai Dinakarrao, 2021)。

2. 促進綠色投資，脫碳電力評估

能源結構調整與評估 (Sun & Huang, 2021)、節能設備與系統建置 (Alsalemi et al., 2022)、綠色交通運輸轉型系統評估與發展 (de Souza et al., 2022; Shah et al., 2021)、補

貼政策制定 (Liu et al., 2021 ; Xu et al., 2021) , 及碳費、碳稅 (Cao et al., 2021 ; Doğan et al., 2022) 、碳關稅、碳邊境稅、碳交易 (Chen & Lin, 2021) 議題探討等。

3. 永續消費與生產系統

永續供應鏈管理 (Daddi et al., 2021 ; Shaw et al., 2021) 、永續生產與消費模式 (Kumar & Yadav, 2021 ; Valaskova et al., 2021) 、循環經濟/共享經濟等創新價值商業模式 (Hina et al., 2022 ; Koul et al., 2022 ; Pieroni et al., 2021) 、氣候變遷相關的風險評估與分析 (Bianchi & Malki-Epshtein, 2021 ; Guo et al., 2021) , 與永續消費行為設計與評估 (Fesenfeld et al., 2021 ; Saari et al., 2021) 。

7.3.2 智慧健康與醫療

7.3.2.1. 智慧醫療在未來的發展

智慧醫療在未來的發展可望將 7.2.2. 所述之人工智慧、區塊鏈、雲端、大數據、邊緣運算與 5G 等新興科技, 結合工業工程領域技術如: (1) 作業研究系統、(2) 供應鏈及資訊系統、(3) 品質管理系統, 著力於智慧醫療醫院系統的建置, 以優化醫療界的服務流程。舉例來說, 醫院急診等候人員資訊及健康資訊 (透過智慧裝置取得), 可結合系統模擬、APP 及 GPS, 利用系統模擬架構出一套醫療網絡預測模型, 以多家醫院為主要架構, 當有病患須前往送醫急救時, 救護人員能藉由此資訊的輸入於 APP 裡, 透過系統模擬立刻模擬該病患前往於哪家醫院為最適的選擇, 避免因為病床不足或其他因素等等, 而造成醫療人球事件再次發生。結合利用 APP 平台連結網路即時傳遞資訊讓第一線醫護人員能在掌握更詳細的資訊, 讓醫護人員於最短的時間將病患送往最適合的醫院進行急救。

7.3.2.2. 以病人為中心的區塊鏈應用構想

長久以來, 醫療人為疏失 (Human Error) 是全球病人安全 (Patient Safety) 的主要威脅, 其議題也隨著制度與醫療科技的進步而改變, 從最早期的用藥、手術安全, 到近年受到重視的團隊合作、醫護與醫病之間的溝通, 顯然對病人安全的觀點, 已經從過去的微觀人為錯誤, 轉而擴大到宏觀的制度相關系統性風險。

缺乏簡化的溝通以及無法共享和交換醫療數據是影響病人安全的因素之一。為應對此挑戰, 近年學者提出以區塊鏈 (Blockchain) 確保利害關係人 (Stakeholders) 之間安全、透明和去中心化 (Decentralization) 的數據交換, 這些構想主要以病人安全考量為先決條件, 既確保病人安全也能兼顧醫療系統運作的效率與效果。區塊鏈將複雜的醫療保健系統中的數據相互連接, 以提供安、負責和協作的環境。雖然區塊鏈可提供例如不可更改和透明的結構和分散架構等諸多好處, 也因此可優化醫療系統並提高病人安全, 但其信任性、隱私性、可擴展性和管理方式也面臨一些挑戰。

為減輕現有的數據和訊息交換的碎片化、缺乏有效和高效的數據共享、醫療系統中不一致的數據儲存和報告, 新興的區塊鏈技術透過其去中心化的優點可加以改善。由於區塊鏈屬於分散、不可變、分佈式的交易記錄, 儲存於分散的節點網絡上, 可確保數據的完整性和可靠性 (Amir Latif et al., 2020), 區塊鏈同時也被視為以時間順序附加至先前交易的連續交易鏈, 從而增強了醫療系統的安全性, 防止惡意更改和人為舞弊。區塊鏈也可以解決關鍵問題如公衛管理、索賠驗證和供應鏈管理。在此拋磚引玉舉出三項區塊鏈在強化病人安全議題上的潛在應用。

1. 遠端病人監測 (Remote Patient Monitoring, RPM)

COVID-19 大流行改變了醫療行為, 並造成對全球醫護人員的嚴峻挑戰。由於病人與醫療人員之間的實體互動提高了相互感染的風險, 數位可穿戴技術為醫療傳感器領

域提供新的出路，尤其是遠端病人監測（Remote Patient Monitoring，RPM）（Hariharan et al., 2021）。RPM 使病人能使用移動健康（mHealth）應用 App 和醫療設備（如血壓計）評估並分享其生理指標。從不同病人收集的醫療數據可分組並顯示在監控儀表上進行監控。集中化是目前 RPM 系統的主要障礙之一。事實上，現有的 RPM 系統中的數據容易產生數據洩漏（不論內部和外部）的影響，從而造成對系統可靠性的質疑。此外，在現有 RPM 系統中，由於數據完整性和共享性有限，片段的資訊無法提供完整的數據供醫療人員進行整體評估，因此降低診斷效率，從而影響病人安全。透過區塊鏈技術，或許可提供解決方案（Faruk et al., 2021），因為它可以為所有參與的醫病關係人提供健康記錄的全面性資料。由於健康記錄的透明度，系統中的醫護人員得以在進行任何醫療處置之前，追蹤和確認病人的完整病史，從而避免醫療人為疏失（Jamil et al., 2020）。

2. 電子健康記錄（Electronic Health Records，EHRs）

電子健康記錄（electronic health records，EHRs）涉及與病人相關敏感且重要的醫療數據，通常在臨床醫師、放射科醫師和藥師等之間交換，以提供正確的檢查、診斷和治療。在多個醫療系統的利害關係人之間傳輸、儲存和傳送此重要數據的過程中，數據最後有可能遺失、未記錄或修改，因而影響對病人的診斷與治療（Keshta & Odeh, 2021）。對於患有慢性疾病（如 HIV、癌症或糖尿病）的病患，由於追蹤、復健與治療前後的長期記錄，導致患病風險可能增加。Tapuria et al.（2021 於 2021 年時針對 74 篇「病患直接獲取 EHRs」的文獻進行系統性文獻回顧，調查結果發現若病患可直接獲取自己的 EHRs，他們將會感到更安心並減少焦慮感、增加看診效率與病患的服藥遵從性，並有效提升病患自主回報及自主管理的參與度，進而改善病患復原速度與整體醫療效率。然而，調查也指出病患可能會因接收過多資訊感到焦慮，且資訊安全議題仍是現今對病患共享 EHRs 的主要疑慮。

儘管資安議題還須各界先進一同解決，鑒於現有研究成果發現共享病患的 EHRs 可減低許多醫療成本，不失為一具潛力的發展目標。舉例而言，降低因分散溝通導致的病人安全問題的解決方案之一，就是實現醫療保健的互操作性（Interoperability）。互操作性是指各種軟體應用程序和 IT 系統（如 EHRs 系統）共享數據、分享資訊和利用數據交換的能力，而不管相關利害關係人所在位置為何。實現互操作性將允許相關人員共享病患的醫療記錄（在病患同意前提下）。透明和安全的數據共享對於提供有效的診斷、明確的醫療決策和治療，以及避免可能的不良事件發生至為重要。醫療數據共享還可以透過相關醫療專業人員建議和意見的收集，防止治療和用藥處方疏失的發生。

3. 事故通報系統（Incident Reporting System，IRS）

事故通報系統（incident reporting system，IRS）已是被廣泛使用的風險管理工具，可提升全球區域的病人安全。IRS 的主要驅動力是透過在之前錯誤中的學習以提高病人安全（Abraham et al., 2021）。目前已有醫院建置內部事故通報系統，即所謂的 Local Reporting Management System（LMRS），有些國家則實施了國家級的集中通報系統，以便與所有可能的利害關係人分享學習成果。截至目前為止，其最大的阻礙包括缺乏即時的信息傳播、缺乏激勵措施、缺乏安全和隱私，以及不同資訊提供者導致的事務數據分散、無法就事故所採取的行動進行反饋等（Hamed & Konstantinidis, 2021）。集中化也可能是目前 IRS 的嚴重障礙，可能造成數據外洩和單點故障。為了滿足通報系統的實際需求，可以利用區塊鏈技術及其獨特功能，例如可支持參與者之間的可追溯性、透明度和協調溝通，以及保證數據隱私、不變性和安全性，確保從各利害關係人收集事故資料，即使在非完全可信的環境中也能保持高度效率（Marbough et al., 2021）。

雖然過去區塊鏈技術的去中心化、透明度、身份驗證、自治、隱私和安全等特性，已廣泛應用於醫療保健系統與管理（Ratta et al., 2021），但仍然極少關注於病人安全與醫療

實務領域 (Xie et al., 2021)。以上三個建議的潛在可行方向，或許可以讓區塊鏈在醫療應用的價值更深更廣，當然還是要提出目前遭遇的障礙與挑戰，包括互操作性的困難、缺乏立法、可擴展性，以及網絡攻擊問題等。此外，資料擁有權與醫療系統的本位主義等，也是推動時需要考量的重點。

7.3.3 智慧農業

農業為最古老的產業，雖然歷史悠久，但其發展仍偏重在品種改良、耕作技術與機具及病蟲害防治等。以台灣目前的現況而言，種植過程仍然依靠經驗，是看天吃飯的行業。又因極端氣候的影響，農產品的產量並不穩定，產銷供需的失衡常造成價格的波動；外在因素之變動，也讓產品之品質處於不一致的狀態。除此之外，從農產品的生產源頭到加工製品，亦不時存在著食品安全的議題。而從事農業之人口老化，所得偏低，導致缺工的問題普遍存在。因此，以工業工程應用的智慧農業領域，從根本改善農業的生產力與競爭力，是可以嘗試的解決方案。

農業供應鏈的未來方向無非包含科技技術的導入。物聯網、區塊鏈、大數據、機器學習，乃至雲端計算 (Cloud Computing)、霧運算 (Fog Computing)、邊緣運算 (Edge Computing) 等技術，在日前的研究中證實其潛力 (Kalyani & Collier, 2021)，未來也將更廣泛、深入地融入農業的供應鏈管理中。Marchesi et al. (2021) 便提出一套使用區塊鏈技術的系統，其不同於傳統區塊鏈技術適用於單一作物生產流程，而能夠更泛用於多類型的農業供應鏈管理上，並實際展示驗證系統實用性於橄欖油的生產過程中。Marchesi et al. (2022) 更提出自動化生成農產追蹤系統所需、以太坊為本的智慧合約，以更高的效率客製及管理系統與使用者介面。

聚焦在生產源頭，智慧農業可透過感測器的佈建，進行環境監控，蒐集包括土壤溫度、微量元素、濕度、導電度、氮磷鉀肥分、照度、空氣溫度、濕度、雨量、風速等大量數據，將環境監控之數據與農產品之數量、品質進行分析，尋找影響之關鍵指標，除可以進行水資源管理 (Xiang et al., 2021) 外，亦可以精準管理來提升農業的生產效率與品質，並為未來養殖 (Iaksch et al., 2021)、種植優化 (Alwis et al., 2022) 提供可能性。Visconti et al. (2020a) 便設計以低成本的藍牙低功耗感測標籤 (Bluetooth Low Energy Sensor Tag) 收集農產品數據，監控參數並控管影響供應的元素，達成遠端管理農場的目的。而透過蒐集而來的數據，還可進一步建造農產品病變資料庫 (Pang et al., 2021)，協助農民即使在氣候變遷、作物病變的風險下，能有效找到應對處方。方法如結合植物醫師之專業，建置重要作物之病變影像資料庫，並結合人工智慧與機器學習進行遠距診斷治療等。

在養殖、種植生產階段告一段落後，配送物流系統與產銷平台建構、食安資訊揭露，仍是必要的發展重點。如 Praveen et al. (2021) 提出以區塊鏈去中心化的技術，結合物聯網的即時性，協助農民直接向消費者傳遞資訊，建立互信關係，以防止中間人 (Middle Men) 的不當剝削。而隨著數據與機器學習被頻繁運用在食安風險評估上，Sapienza and Vedder (2021) 提出 P-SAFETY 模型，其中 SAFETY 指的是安全 (Safety)、可信 (Accountability)、公平 (Fairness)、可解釋 (Explainability) 與透明 (Transparency)，為食安風險評估的數據治理 (Data Governance) 層面拓展討論面向。

7.3.4 元宇宙/擴增/虛擬實境與使用者體驗

後疫情時代，線上虛擬世界成為現實世界的平行世界，人類加速從現實世界向虛擬世界遷移，行走於現實與虛擬之間。5G/6G、WiFi6、AI、大數據、物聯網、區塊鏈、XR (VR/AR/MR) 等新一代數字技術發展迅速。未來元宇宙相關研究方向與議題整理如下：

1. 硬體搭配：

一般會搭配頭戴顯示器等硬設備進入元宇宙的世界，然而設備需長時間穿戴，且設備重量不輕，長時間佩戴 XR 等設備會讓人感覺不舒服，無論是視覺、肩頸壓力、甚至是美觀等，因此設備小型化、便攜化以及低成本化，未來都需要創新與突破。

2. 技術搭配：

由於元宇宙的離不開強大的技術支持（王文喜 et al., 2022），技術問題包括網路及運算技術（5G、6G、物聯網及邊緣計算）、虛實對象連接、建模與管理技術（身份建模、社會計算、去中心化管理技術）和虛實空間互動與融合技術等都是重要的議題。

3. 資安議題：

加密貨幣詐騙事件頻傳，虛擬資產沒有足夠的安全保障。確保 App 帳號及存取安全將會是元宇宙相關應用服務的第一優先事項，畢竟實體世界 App 常見的身分盜用及帳號劫持問題，一樣會在元宇宙中出現。

4. 法規議題：

當 Meta、微軟創造出超越國界的元宇宙時，該世界的規範就是由遊戲製造商訂定，而這些遊戲規定卻不一定符合現行的法律規範。數位經濟模式與私法交易必然衝擊現行以「有體物」為規範標的的法律制度。歐盟於 2019 年即推出的「數位產品及服務指令」，原是為數位經濟而建置的立法框架，似乎成了研議元宇宙法的超前部署。而線上交易不免牽涉到賦稅的問題，稅制的目標之一在於維持社會平衡與提供普遍性的福利，美國國家稅務局正考慮向 NFT 交易課稅等議題。

此外，Dionisio et al. (2013) 亦指出元宇宙的四個議題需特別關注：(1) 現實主義，虛擬空間是否足夠逼真，可以讓用戶在心理和情感上沉浸在虛擬空間領域？(2) 無處不在，構成元宇宙的虛擬空間是否可以透過現有的數字設備（從桌上型電腦到平板電腦再到移動設備 XR (VR/AR/MR) 等）達成，並且用戶的虛擬身份或角色在元宇宙內的整個串流設備能保持不變？(3) 互操作性 (Interoperability)，虛擬空間是否採用標準，以使用於重建或渲染虛擬環境的數字資產在特定實施中保持可互換性，以及用戶可以在不同位置之間無縫移動，而不會中斷其身臨其境的體驗？(4) 可擴展性。伺服器架構是否能夠提供足夠的能力讓大量用戶在不影響系統效率和用戶體驗的情況下登陸元宇宙等相關議題。

隨著數位科技的進步及便利，人們轉往線上購物的比例逐年增加，AR 技術在商業也更加普及化。許多知名品牌都使用 AR 技術推出創新的應用來提升消費者的體驗，例如 Amazon 與 IKEA 推出手機應用程式，消費者可透過手機操作，體驗將 IKEA 的家具實際擺放在家中的樣子 (Romano et al., 2021)，另外虛擬試穿也是常見的一大應用，Ray-Ban 讓消費者穿戴太陽眼鏡，不需要親自到門市也可以挑選到合適的太陽眼鏡 (Poushneh, 2018) 和 Sephora 的試妝服務，因為消費者在線上購買化妝品時，往往不曉得顏色適不適合自己，藉由此服務可以提高消費者選購時的效率，也能降低消費者由於不滿意色號的退貨率 (Smink et al., 2019)。為何現今的零售業會導入 AR 技術，是因為它能夠克服消費者在線上與線下購物當中的不足之處 (Javornik, 2016)，線上購物最為不足的地方在於消費者缺乏直接的產品體驗，所以許多消費者仍會傾向線下購買，但有了 AR 技術後，消費者即便不出門也能看到產品真實的模樣，且不少研究顯示，AR 能提供消費者更愉快和更有效率的購買體驗 (Huang & Liao, 2015)。

根據經濟部產業經濟統計簡訊《363》報告顯示，2020 年上半年因 COVID-19 新冠肺炎疫情之影響，限縮民眾的經濟活動，同時大幅減少人們的外出意願，但為了採購民生必需品、防疫物資，甚至是一日三餐，人們為避免實體通路的接觸，促使了轉而使用線上購物的人數持續上升。零售業網路銷售額 1,587 億元，年增 17.5%，優於實體零售業之年減 4.8%，其中非店面零售業之網路銷售額年增 16.8%，綜合商品零售業亦受影

響，經強化網路銷售管道後，年增 45.1%，故此可以見得網路購物的銷售額持續攀升，造就 AR 技術在此塊仍有相當大的發揮空間及市場（藍芳華，2020）。由於新冠疫情的影響，再加上網路購物人數不斷增加，因此線上零售業的產值仍舊相當可觀，況且網路購物風潮競爭激烈，更會激發彼此不斷地推陳出新，不論是產品、服務或是行銷方式，所以 AR 在商業上的技術應用範圍是勢必為之擴大。

然而 AR 眼鏡推出已有些時日，目前零售業者普遍運用到 AR 技術的平台依然是行動裝置（手機）為最大宗，較少有業者將 AR 眼鏡導入在電子商務平台。現有的研究文獻普遍為探討 AR 與消費者行為的關係，如探討消費者對於電子商務中 AR 的消費認知與行為（Kowalczyk et al., 2021），或運用 AR 能否協助提高品牌價值（van Esch et al., 2019），可是大多研究中所採用的裝置皆採用電腦、手機或其他行動裝置，並未針對 AR 眼鏡及其他穿戴式裝置進行詳細研究與實驗。AR 眼鏡除了提供使用者視覺外也有聽覺的感受，比起行動裝置而言，AR 眼鏡其實更能結合並融入於現實環境，給予使用者相當豐富的體驗。

7.3.5 人本人工智慧科技

人本人工智慧強調 AI 的發展除了技術層面的精進，更需囊括人性以及道德倫理的考量在內（Shneiderman, 2020b），揭示了使用者中心設計（User-Centered Design）對於 AI 系統應用於人類社會的重要及迫切性，尤其在高風險或具後果性的應用情境中尤受重視（Richards et al., 2020；Veale et al., 2018；Zhang et al., 2020）。以 AI 應用在司法領域為例，不僅因演算法本身的公平性與準確性受到質疑（Liu et al., 2019），也源自於人們仍不清楚這樣的智慧輔助決策工具所帶來的效應（Liu, 2021）。因此如何讓使用者意識到人工智慧的限制，並能夠人與 AI 的共同合作來讓人與 AI 系統遞迴趨於完善，達到人機共同目標是目前急迫的議題。

以可解釋性為目標的研究方向，開啟了許多 AI 系統的設計空間，如個人化（Naiseh et al., 2020）與互動性（Katsis et al., 2022；Schmidt, 2020）等選擇。Al-Thani, et al. (2021) 的研究聚焦在 AI 應用於協同決策（Collaborative Decision-Making）的工具，與醫療領域的專家進行協同設計（Co-Design）以制定解釋對信任校正（Trust Calibration）的設計原則及可行方法。Naiseh, Cemiloglu, et al. (2021) 進一步提出使用者在與 AI 解釋互動時可能出現的系統性錯誤，強調更多針對人類認知上的設計考量。除了透明化 AI 技術的解釋機制，Ehsan et al. (2021) 認為科技的使用需顧及社會脈絡與組織文化等整體性的影響，提出「社會透明度（Social Transparency）」的概念擴充可解釋性的意涵。

AI 驅動的介入科技也涉及道德倫理與政策規範面向，過往研究指出人類可能過度仰賴演算法（Logg et al., 2019），相信 AI 的預估、建議較人類決策更客觀公正。近來研究更進一步比較在不同的任務情境下，人類會展現對人工智慧不同的接受度（Lee, 2018）。Christin (2017) 也強調為了促進演算法與 AI 技術的倫理考量，研究應該注重觀察 AI 運用在真實場域中的實際影響。以司法領域為例，Araujo et al. (2020) 發現智慧決策工具被視為比人類專家更公平。在 AI 技術引進法律實務的實例中，「量刑」是國內外都積極嘗試的項目。以美國為例，法院廣泛採用風險預測工具—COMPAS 作為量刑的依據來協助法官評估被告的再犯風險。然而，風險評估的結果被證實可能會有嚴重的系統偏見，例如，帶有種族的群體偏見（Angwin, 2016）。為解決 AI 系統性偏誤可能造成的影響，系統開發者多採用透明化演算法的運算邏輯、與使用者解釋系統可能的偏誤（Abdul et al., 2018），但是這些作為的效果非常有限（Liu et al., 2019）。

Glikson and Woolley (2020) 統整過去二十年探討人類與 AI 的近兩百個實證研究，發現「透明性（Transparency）」是提升人類對機器信任的關鍵因素之一，並且互動性有助於促進人類對 AI 正面的情緒、情感上的信任以及滿意度。Green & Chen (2019) 的

研究首先以人機互動設計的觀點出發，探討設計是否可作為落實可解釋性的方式，將有意義、人能夠了解的資訊提供給 AI 的使用者，讓使用者了解演算法衍生的黑箱爭議與不公平結果。針對以介面設計打開演算發之黑盒子的研究，Cheng et al. (2019) 則發現透過互動式介面的解釋機制能夠提升使用者對於技術的理解性，但是對於信任無顯著的影響。因此，欲發展具「可解釋性」(Explainability) 與可信任的 AI 系統，需要更多著重在實務工作者與實際互動之實證研究。

綜合上述，為落實人本人工智慧的內涵，設計適切的介入措施及服務仍有可持續發展的空間。首先，除了以設計提升人類對人工智慧系統的控制，亦可使系統根據輸入的資訊理解人類的需求，透過自適性調整互動策略進而達到雙向學習的效果。另一方面，互動功能與更多設計考量影響使用者體驗與信任，亦對混合智慧的夥伴關係至關重要。這些衍伸的前瞻研究與議題得仰賴工業工程與管理、各專業領域與設計等等的專家，進行跨領域的交流與無間合作來實踐。將研究核心放在探索人與 AI 的互動與合作中可能與最佳化，以及如何透過 AI 驅動的溝通與合作媒介來幫助人們創造與追求自身與群體更好的生活與未來。

7.3.6 遠距合作與工作科技

結合新興科技，如人工智慧、物聯網科技、與穿戴科技的發展，近年遠距合作與工作科技較熱門的研究大方向涵蓋行動與穿戴裝置 (Mobile and Wearable Technology)、物聯網 (Internet of Things)、情境與活動偵測辨識 (Context and Activity Recognition)、使用者的安適度 (Well-Being)、智慧環境 (Smart Environment)、車內互動 (In-Vehicle Interaction)、行動社群媒體 (Mobile Social Media)、行動直播 (Mobile Streaming)、適地性社群媒體 (Location-Based Social Media)、資訊接收與干擾度 (Interruptibility And Receptivity)、行動群眾外包 (Mobile Crowdsourcing)、市民科學 (Citizen Science) 等 (Hung et al., 2022; Yang et al., 2019; Yuan et al., 2017; 袁千雯, 2021)。另外，近年來 AI 的發展，有越來越多的學者們從人與人的合作延伸探討人智協同合作 (Human-AI Collaboration) (Jiang et al., 2021; Wang et al., 2020)。

在科技業，智慧環境在近年的重要性跟趨勢已經不用言喻，科技大廠 Google、Amazon、IBM、Microsoft、Apple 等都極力開發與建立智慧家庭的環境與科技，以及更輕薄但運算能力更好的穿戴科技。相繼而來的就會是幫助這些科技的人機互動學者們。而當這些科技普及化、讓人們都可以無時無刻透過網路與彼此傳遞資訊與交流時，我們可以預見未來 CSCW 的重要性越趨提升。

7.3.7 國際合作

在國科會 (原科技部) 111 年度施政報告中 (<https://www.nstc.gov.tw/nstc/attachments/7198f16a-555c-491d-b8a2-45c3e23c9ab3?>) 特別在國際合作方向指出「積極強化科技外交，發展跨團隊、跨領域、跨國家的多邊及區域合作模式，加強與國際科研組織之互動，鼓勵國內科技人員積極從事國際科技交流合作，期提升國內研發水準，厚植國家基礎創新能量，提升國際影響力。順應全球化趨勢以及基礎學科的成熟，跨地域、跨領域的學術合作，已成為現代學術研究不可或缺的一環。在這個全球化的時代，國際合作已成為促進學術科技發展的重要途徑，也是提升研究國際可見度的一大關鍵。國際合作的效益包括：(1) 參與國際團隊研究合作共同發展最新科技。例如人工智慧、5G、大數據分析技術等；(2) 進行國際產學合作。例如與東協、東歐的台商進行產學合作，協助其進行產業升級。與國外頂尖大學共同培養頂尖研究人才，厚積學術實力。如設置雙聯學位學程，可讓雙方教授針對同個主題指導學生，並共同合作研究；(3) 與國外頂尖大學進行大學部、碩士班或博士班學生交換計

畫（修課或雙方、多方團隊共同進行專題合作），讓國內教授對於對方的學術環境有更進一步了解，並有跨國組成研究團隊進行合作之經驗；(4)延攬國內外優秀科研人士來臺參與研究及教學，透過合作充實學門科研人力，可以建立具國際競爭力之人材與學研網絡。

國際合作的相關作法及建議如下：

1. 成為台商後盾

在東南亞各國成立台商學校，定期派國內教師前往授課，也讓台商與國內教授連結。鼓勵台商聘請台灣工工教授擔任產業顧問，以半年為一期。國科會補助部分經費。

2. 與學術界連結

與東南亞各國國科會建立雙邊合作計畫。若該國科技仍未上軌道，可以產學計畫形式進行。鼓勵台灣教師前往東南亞重點大學短期講學，

3. 鼓勵前進該國大學育成中心

將台灣的產品與技術透過進入大學育成中心的方式根植該國，拓展我國的市場邊界。將台灣的產品與技術透過進入大學育成中心的方式根植該國，拓展我國的市場邊界。

4. 延攬國內外優秀科研人士來臺參與研究及教學

利用國科會各項長短期人才及國際交流獎補助措施，邀請國內外優秀科研人士長短期來台灣參與共同研究與教學，可以連結台灣與國際學群的前言研究與人才培育方法。培育具國際學術聲望團隊及研究人員；強化我國研究人員國際合作經驗與創新思維，達成鏈結及整合國際研發能量之綜效。

近年來國科會針對國際合作亦提出多個管道，例如：

1. 雙邊研究人員交流計畫

為培養國內年輕研究人員國際合作經驗，累積國際學術人脈及增進國際移動力，國科會與各國重要科技機構或研究單位透過簽署合作協定及備忘錄，搭建重點領域國際合作橋梁，推動研究人員交流互訪，並透過辦理雙邊學術研討會協助媒合雙邊研究計畫。目前國科會已與42國及3個國際組織簽署125項有效之合作協定、備忘錄或其他合作文件，以進行雙邊或多邊國際合作。工業工程與管理學門應積極協助國科會與國際組織簽署有效的工業工程與管理學門領域的合作協定，並藉由團隊提出國際合作。

2. 補助任務導向型團隊赴國外研習計畫（龍門計畫）

龍門計畫為國科會補助國內優秀人才赴本部審定之國外世界級公私立研究機構，研習關鍵性科技與人文社會研究項目，以培育我國未來發展所需之研發人才，並掌握自主研發能力，進而促成我國科研創新水準之躍升。工業工程與管理學門應積極鼓勵學門研究人員與國外研習機構與國外合作對象洽定合作計畫。

3. 補助學者提昇國際影響力計畫（拋光計畫）

拋光計畫為國科會推動學術研究國際化，鼓勵國內學者專家爭取在重要國際學術組織及期刊的發言權，並進入國際學術領導圈，以提昇國內相關學術社群之國際影響力。

4. 團隊參與國際學術組織會議

國科會為強化台灣在特定專業領域之影響力，補助團隊參與國際學術組織主辦之會議，進而爭取成為國際學術組織理監事會或委員會等重要成員，以提升我國在該領域研究成效及學術研究之國際地位。

5. 國際合作加值（Most Add-on Grant For International Cooperation, MAGIC）方案

國科會為增進國內學研界之國際化能量，提升臺灣科研成就之能見度，並妥適運用有限之國際合作資源，以鼓勵更多學研團隊參與國際合作，國科會推動國際合作擴充加值方案，雙邊協議國際合作研究計畫改以「擴充加值」方式辦理，台灣計畫主持人

現正執行中之研究計畫的基礎上，增核國際合作擴充增值（Add-on）經費。

6. 科學與技術人員國外短期研究

國科會為因應國家科技發展，培育研究人才，提升科技研究發展能力，加強國際雙邊科技合作與人才交流，補助科學與技術人員赴國外機構從事專題研究或研習特定學科、技術等短期研究。

7. 赴國外從事博士後研究

國科會為配合國家長期發展，鼓勵我國年輕優秀博士赴國外從事博士後研究以提升國際研究能力，汲取先進國家研發經驗。

8. 博士生赴國外研究

國科會為配合國家長期科技發展所需人力，鼓勵國內公、私立大學校院培育在校優秀博士生國際研究經驗。

9. 邀請國際科技人士短期訪問

國科會為促進國際科技及學術交流，補助大專校院及學術研究機構邀請海外學者專家演講或指導科學技術或諮議科技政策，以引進科技新知。邀請對象實際來臺者，應於在臺期間至少提供二次公開演講。

10. 2030 跨世代年輕學者方案

為培育我國下世代科研人才，整合相關政策與研究資源，擘劃年輕科研人才養成策略作法，透過穩定之研究資源投入，促使具潛力之年輕優秀學者於研究職涯初期能專注於新興議題、或跨領域研究、或接軌國際科研計畫等重點研究方向，鼓勵突破科學之既定思維，提升科學技術研發能量，為臺灣布局 2030 年跨世代優秀科研人才。

計畫類別包括「新秀學者」、「優秀年輕學者」及「國際年輕傑出學者」三類別：(1)「新秀學者」為國內外擔任教學、研究專任職務在 5 年以內或獲博士學位後 5 年以內者。此計畫為國科會為鼓勵並培植初入研究職涯且具研究潛力之新世代年輕學者勇於進行新興議題的探索，嘗試具前瞻跳躍的各種發想，為國內學術研發領域吸引優秀人才；(2)「優秀年輕學者」為培植年齡在 45 歲以下，已任職於我國科研機構之優秀年輕學者，在既有的研究基礎上進一步地深化其研究實力，達到科學突破與實務應用；(3) 國際年輕傑出學者，為國科會支持年齡在 45 歲以下之年輕學者長期投入創新構想，引領並鏈結國際學術社群，促進臺灣與國外學術機構交流合作，以提升研究之國際水準及學術影響力。

工業工程與管理學門有非常優秀的年輕學者，應積極鼓勵並協助年輕學者爭取此計畫。特別是國際年輕傑出學者將可為工業工程與管理學門帶進臺灣與國外學術機構交流合作，提升工業工程與管理學門國際能見度與合作機會。

備註：此方案前身為 (1) 哥倫布計畫：鼓勵年輕研究學者長期投入有潛力的重大創新構想，同時到國外的研究機構進行研究與交流，建立國際合作團隊，以拓展國際視野及影響力；(2) 愛因斯坦培植計畫：鼓勵年輕研究學者多方面大膽嘗試、勇於創新，並跨越科學領域的疆界，不受既定框架的限制，以培植科研新世代。

第八章 未來展望

針對台灣工業工程的未來發展與展望，首先 Buzacott 對於工業工程的定位與特色 (Buzacott, 1984) 曾提出四點建言：專注於從事生產工作的正式組織、關注於管理與工程間的交互作用、承諾於持續改善與有興趣於新技術的廣泛影響。根據工業工程早期的定位與特色，Ordieres 與 Minovski (Ordieres, 2009; Minovski, 2011) 進一步定位四種到未來工業工程應有的轉型與未來特色：

1. 創造虛擬的價值鏈。企業應專注於兩個面向：一為對於實體組織的真實價值鏈，透過管理人力資源，進行資源、管理者、產品或服務的規劃與優化。另一為對於虛擬資訊流的價值鏈，透過管理數據，來創造新的流程與商業模式。
2. 整合不同領域知識來創造新服務，尤其是透過新技術與新服務的整合產生高附加價值的產品。
3. 方法論開發與設計需要更強的數理基礎。
4. 更集中於人工智慧與資訊科技的使用率。

在工業工程的轉型過程中，由於不同系統的資料蒐集與計算，需要平台、軟體、硬體等要素加以整合並將資訊傳遞達到決策者手中。「工業工程」透過系統觀的思維，將資訊層層串接，以進行流程、生產、服務、人因、設計等的決策優化。早期的人類採用手工製造時，製程的複雜程度較低，生產過程的數據是有限的，基本上以經驗為主，製程的關鍵資訊與知識體系也不容易保存。然而到了現在，彙總許多新技術包含大數據與人工智慧的發展，對各產業產生深遠的影響，使不同的產業開始意識到數據與資訊所形成虛擬價值鏈的重要性。為此，工工學門在近幾年邀集年輕優秀學者們共同探討「工業工程 2032」的願景。圖 8.1 說明了工業工程的定位、方法與應用方向之建議。隨著新技術與人工智慧的演進，工業工程未來可專注於可產生高附加價值的應用，例如循環經濟與永續、擴增/虛擬實境與使用者體驗、智慧農業、醫療、共享經濟、3D 列印等 (李家岩, 2019)。

Focus

- 工程與管理的跨領域整合
- 系統觀、流程、最佳化、生產、服務、人因、設計等

Methodologies

- 複雜、動態、隨機、高度非線性、精確、速度、風險、資安、即時處理等
- 大數據方法與架構、平行運算、雲計算、邊緣計算等技術來解決複雜的問題

Applications

- 人工智慧
- 循環經濟與永續
- 擴增/虛擬實境與使用者體驗
- 智慧農業
- 醫療
- 共享經濟
- 3D 列印

圖 8.1 工業工程的定位、方法與應用方向 (李家岩, 2019)

未來工業工程需要跨領域的整合，並發展高度複雜、動態、隨機、非線性的方法論，配合數據方法與各平行運算技術來解決複雜的問題。學門未來推動重點方向，乃邀集學門各領域的專家學者，構思工業工程與管理學門各子學門間之關聯架構，新增具前瞻性與符合社會脈動的子學門研究議題，藉由五大子學門召集人尋找適合的規劃委員，共同擬定重點發展規劃之方向，期能為學門學者帶來創新且關鍵研究議題，強化學門之研發效能與產業創新之連結，建立良好產學合作與創新發展模式。表 8.1 精簡彙集工業工程與管理五大子學門及前瞻議題與新興科技之未來推動重點方向。

在此架構下，學門未來推動重點方向有下列幾點：

1. 研擬學門發展方向與研究重點，並規劃創新研究領域。
2. 加強學門橫向整合及跨領域及跨學門之研究。
3. 鼓勵學門之同仁積極參與國際學術社團及活動，強化台灣之學術地位。
4. 加強產學合作及產學研究，以促成研究成果對產業界之重要具體貢獻。
5. 促成本學門與國際知名學府及研究機構之交流與合作。

工業工程的精神是精益求精 (There is always a better way)，新科技與新變化雖然不斷推陳出新，藉由了解、優化的過程善用這些創新來造福社會。因應人工智慧製造時代來臨，學門未來將以增進社會福祉與反映經濟脈動為研究核心，並融合資訊技術、先進的前瞻科技、創新思維與系統化方法，推展工工學門以人為本之重點，加速台灣產業轉型升級。

表 8.1 五大子學門及前瞻議題與新興科技未來推動重點方向

子學門	未來推動重點方向
人因工程與設計	<ol style="list-style-type: none"> 1.人為本的人工智慧 2.智慧生活環境與空間 3.大數據為基的生活體驗 4.安全與健康科技 5.高齡社會的人因議題 6.國際接軌與產業發展
大數據分析與資訊系統	<ol style="list-style-type: none"> 1.物聯網於工業之應用 2.虛實整合與智慧製造 3.能源配置與管理 4.大數據分析 5.行動運算 6.數位金融發展與應用 7.社群分析與群眾智慧應用
生產系統與智慧製造	<ol style="list-style-type: none"> 1.永續供應鏈 2.智能物流 3.共享經濟 4.大數據分析與應用 5.物聯網
作業研究與決策科學	<ol style="list-style-type: none"> 1.隨機動態規劃 2.預測性維修 3.智慧運輸系統 4.智能化無人載具之研究 5.行為作業管理/行為作業研究 6.作業研究於醫療與健康照護之應用 7.作業研究於能源永續系統之應用

子學門	未來推動重點方向
服務系統與科技管理	<ol style="list-style-type: none"> 1.服務系統與人因科技整合 2.療癒環境分析與設計 3.醫療院所的服務科學 4.適地性服務系統 5.共享經濟中的創新服務模式 6.製造業服務化 7.永續經營創新服務系統 8.虛擬社群互動知識擷取與服務 9.擴增實境於資訊服務之應用 10.智慧型綠色運輸服務系統
前瞻議題與新興科技	<ol style="list-style-type: none"> 1.循環經濟與永續 2.醫療產學同盟與合作 3.智慧農業 4.擴增/虛擬實境與使用者體驗 5.智慧科技 6.國際合作

第九章 結論：產業維新與台灣企業智能化

世界大國重回製造，紛紛提出典範移轉、企業智慧化、多元製造戰略，爭奪成為下一階段工業革命勝出的契機，美國提出「先進製造夥伴」(AMP)重回先進製造領導地位；德國提出「工業4.0」發展虛實整合系統為製造平台；中國大陸提出「中國製造2025」從製造大國升級製造強國，全球製造競合賽局已增加先進製造技術和設備的輸出限制和不同貿易聯盟之間的壁壘。隨著製造平台化、短鏈革命和製造網絡的改變，必定對專注供應鏈中段的水平分工台灣企業產生劇烈衝擊，台灣企業擅長使用量產的規模報酬和供應鏈整合以降低生產成本的商業模式，必會受到「去中間化」和產業生態系統變遷的影響，「平行供應長鏈」的型態轉變為「緊密袖珍型垂直短鏈」逐漸浮出檯面，以快速回應全球產業即時需求。「工業工程與管理學門」應引領前瞻思維，深耕基礎研究理論，培育產業領導和研發人才，創造具體產業價值並協助政策規劃。

德國提出「工業4.0」，將工業革命分成四個階段，第一次工業革命是從十七世紀瓦特 (James von Breda Watt) 改良蒸汽機，開創以機械化生產代替人工獸力的「機器時代」；第二次工業革命則是十八世紀包括發電機的發明、內燃機和煉鋼技術的改良，福特汽車的組裝線等一系列技術變革；第三次工業革命則是由1947年電晶體 (Transistor)、1958年積體電路 (Integrated Circuit, IC) 和1968年可程式化邏輯控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 等驅動科技發明而開創的「數位時代」。換言之，工業1.0和工業3.0都有明確的驅動技術 (Enabling Technologies) 和發明而展開的機器時代和數位時代。

然而，工業2.0則是在第一次工業革命「機器時代」的基礎上，從1840年代至第一次世界大戰結束，近八十年的持續變革，工業2.0的代表也是工業工程 (Industrial Engineering) 的先驅之一，泰勒 (Frederick Taylor) 1911年發表的《科學管理之原則》 (The Principles of Scientific Management)：一是以科學方法代替人為判斷和經驗法則；二是以科學方法選擇並訓練員工，分析考核所適宜的工作衡量標準；三是發展管理者與員工之間的熱忱合作精神，以保障工作可依科學化程序完成；四是管理者與員工應各盡所能，分掌最適宜的工作。工業2.0對時間研究、量產、組裝線、人因工程、精實管理和生產力等的研究和實證，經過不斷改革至今仍然適用。換言之，工業革命就是我們推動「New Industrialization」與「Social Civilization」的DNA。

生產方式與商業模式推動產業革命和社會變遷，第二次工業革命正值清末民初，先進工業國家形成帝國主義，爭奪世界各地的資源和市場，終於引爆第一次世界大戰。工業2.0開始時發生鴉片戰爭等一系列不平等條約，面臨列強入侵，從早期的洋槍大炮、船堅炮利、西學中用的救亡圖存，直到因為1919年巴黎和會，列強將德國在山東的權益轉讓給日本，而引發「五四運動」的覺醒。工業2.0結束於第一次世界大戰，但我們才急起直追的漫漫革新復興之路；而台灣工業工程的理論發展、產業應用和人才培育，也隨著台灣經濟起飛、生產力和品質全面提升而蓬勃發展，並形成完整的工業工程與管理學門 (王國明、簡禎富，2003；簡禎富、林國義、許鉅秉、吳政鴻，2016)。

《詩經·大雅·文王》「周雖舊邦，其命維新。」進行中的工業4.0應該不用花八十年，但也不會一步到位，「工業工程與管理學門」應該把握工業革命的契機協助台灣企業推動數位轉型 (Digital Transformation) 作為企業維新，以及「新五四運動」：德先生是組

織共治和決策；賽先生是科學管理和分析（簡禎富，2019a；簡禎富，2019b；簡禎富，2019d）。德先生是建立企業決策型組織，使每個人都是決策參與者，讓產品研發、設計、生產、銷售到服務的整個供應鏈和完整生命週期的所有資訊，都能在數位決策平台上共享並求解優化，每一個部門可以依其權限管理相關大數據，提升公司治理效能和決策品質（簡禎富，2019c）。賽先生包括核心技術的研發，以及科學方法為基礎和以人為本的管理，把員工內隱的智慧和經驗轉化為科學模式，成為企業數位大腦（簡禎富，2019e），以因應工業4.0生產模式所需的即時決策和動態調整的彈性管理效能」（Chien et al., 2016; Chien et al., 2017; Khakifirooz et al., 2018）。

數位轉型不僅是將大數據、人工智慧、資訊系統等數位科技整合應用到各個營運功能的企業數位化（Digital Transformation）；更是藉由導入資訊科技驅動企業維新（Transformation Driven by Digital Technologies），包括改變企業流程以創新產品服務、經營決策、資源調度及商業模式，利用大數據以更智能的方式了解客戶、大量個人化服務的商業模式創新、決策品質和速度因授權和員工更自主而提升，以及組織效能因為以人為本的人工智慧和人機協作而強化（Chien et al., 2014; Chien & Chuang, 2014; Kuo et al., 2011; Lee & Chien, 2014; Wang et al., 2015）。換言之，「智能化」數位科技滲透的範圍和深度，已經從企業流程、營運方式、供應鏈整合、商業模式，一直深化到組織決策和產業生態系統（Wu & Chien, 2008）。故工業工程學科應考量由傳統流程轉換（Process Transformation）基礎下如何晉升至人工智慧轉換（Artificial Intelligence Transformation）的現代思維，其中數位化（Digitization）與數位加值化（Digitalization）更是朝向企業智慧化（Enterprise Intelligentization）道路上的必經過程（范書愷，2021）。然而，不同企業數位化程度、需求差異並涉及領導決策、科學管理、組織再造、人才培育及商業模式等不同層面，數位轉型的路徑也應對症下藥，因此需要更多「工業工程與管理學門」跨領域跨學門的整合和研究。

台灣必須在先進國家的主宰和新興國家的替代，上下夾擊之前，發展適合台灣產業結構和核心能耐的製造戰略（簡禎富，2017；簡禎富、王宏鏞、傅文翰，2018）。儘管新科技帶來新的就業機會和商機，隨著越來越多被 AI 和自動化系統取代而失業的藍領勞工和白領階級，更將造成社會貧富不均，若台灣未能提前有更完整的整體策略和以人為本的系統性改革，將面臨更日益嚴峻的挑戰而治絲益棼。面對全球製造典範移轉，「工業工程與管理學門」應協助台灣各個產業先評估盤點自己的強弱項，以及短中長期的精進策略，一方面，跟進先進國家的前瞻發展，並持續拉開與其他新興國家的差距；另一方面，可以把台灣產業升級經驗和「工廠醫生」（Dr. Fab）解決方案，發展成為完整的工廠健康醫療體系，推廣給其他新興國家，擴大台灣製造平台的影響力和產業競爭力。

「工業工程與管理學門」更須回歸自第二次工業革命以來的理念和推進台灣產業升級的使命（簡禎富、王國明、陳茂生、廖慶榮、江行全、張瑞芬、蔡篤銘、王茂駿、吳建璋，2018），因應工業革命的需求和挑戰，健全產業生態系統、提升台灣企業競爭力、決策治理品質，以及科學管理與分析，一方面研發前瞻技術，並透過產學合作協助台灣企業升級提高競爭力，培養未來產業所需的人才；另一方面，因應少子化、工工相關系所縮減，以及科技日新月異和產業急切需求，「工業工程與管理學門」與各大學系所應合作發展成為虛實融合、跨界整合和共享經濟的科技研發、人才培育和產學合作的開放創新平台（簡禎富、侯建良、吳建璋、林國義、胡益芬、朱珮君，2017），進而將工業工程的優化決策、智慧製造、創新思維、服務系統、科技管理、系統整合、設計思考和人本理念等理論研發與產業實證，從問題點解決的方法論落實整合成為系統面

的解決方案，隨著引領台灣產業革命而外溢，以協助各個產業升級轉型，進而驅動台灣社會整體維新，讓全民共享進步的果實和福祉。

最後借太史公序(司馬遷)的三句話感謝學門所有先進、學者、教授於後學擔任召集人任內對學門無私無我的奉獻，不斷提升學門高度，將學門帶入國際，引領學門走出活路。讓我們繼續發揚聖人之道，觸發生機，點染萬物，盛事太平的精神。其三句話如下：【究臺灣產業之際】、【通工業革命之變】、【成工業工程之言】。

參考文獻

- Daniel, C. (2022)。2022年將是物聯網發展的轉捩點！摘自：
<https://www.eettaiwan.com/20220413nt71-2022-marks-an-inflection-point-for-the-internet-of-things/>。
- Howie S. (2022)。雲端化勢在必行 2022 工業物聯網生態再進化，新電子，取自：
<https://www.mem.com.tw/arti.php?sn=2201280011>。
- MBA 智庫百科 (2016)，「預測性維修」，取自 <https://wiki.mbalib.com/wiki/%E9%A2%84%E6%B5%8B%E6%80%A7%E7%BB%B4%E4%BF%AE>。
- OOSGA 策略顧問公司 (2022)，「2022 轉變製造業的 6 大趨勢」，取自：
<https://zh.oosga.com/manufacturing-trends/#1>。
- Pan, M. (2012)，「工業4.0下的預測性維護」，取自 http://synergytek.com.tw/blog/2016/01/04/predictive_maintenance_robotics/?variant=zh-t。
- Wu, H. (2019)。MLOps—機器學習的開發流程與軟體開發 DevOps 流程的結合。取自
<https://hermanwu.medium.com/ml-ops-機器學習的開發流程與軟體開發 DevOps 流程的結合-588014202c0a>。
- 中央社 (2010)，「台灣醫療開銷佔GDP 6.6% 比重高」，經濟學人，取自
<https://forum.doctorvoice.org/viewtopic.php?f=24&t=43701>。
- 中央銀行統計資訊網 (2022)，「國際收支依期間」，取自 <https://cpx.cbc.gov.tw/Range/RangeSelect?pxfilename=BPP2Y01.px>。
- 中華民國人因工程學會組織委員會 (2017)，「中華民國人因工程學會永久會員之專長分布情形」，摘自 <http://www.est.org.tw/>。
- 今周刊-廣告企劃製作 (2022)，強化智慧電網韌性，迎向淨零大未來，取自
<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183015/post/202203250013>。
- 日本能率協會顧問公司生產工程創新中心 (2022)，《從製造到智造的藍圖規劃》活用工業4.0、IoT的智造新商模，取自：<https://mymkc.com/article/content/24677>。
- 王文喜、周芳、萬月亮、寧煥生 (2022)，元宇宙技術綜，工程科學學報。
- 王宏仁 (2019)，顛覆傳統REST網頁設計架構，GraphQL讓前後端API說同樣的語言，取自 <https://www.ithome.com.tw/news/128334>。
- 王宜倫 (2015)，「資料流 (Streaming Data) 技術於大數據 (Big Data) 之應用淺析」，電腦科技電子報，第209期。
- 王國明、郭人介、陳啟光、詹前隆、翁紹仁、黃怡詔、王熙哲、宋佩芳 (2018)，「工業工程應用於健康事業與醫療照護之回顧與展望」，管理與系統，第25卷第3期，413-456頁。
- 台電電力交易平台 (2022)，電力交易平台，取自 <https://etp.taipower.com.tw/>。
- 台灣智慧城市發展現況 (2018)，取自 <http://economists-pick-research.hktcdc.com/>。
- 巨量資料專輯 (2013)，取自 http://www.digitimes.com.tw/edm/E_PAPER_20130227.htm。

- 石裕川、紀佳芬、林瑞豐、林榮泰 (2018)，臺灣人因工程與設計的回顧與發展，管理與系統，第 25 卷第 3 期，321-365 頁。
- 行政院主計總處 (2022)，「國民所得與經濟成長」，取自 <https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37407&CtNode=3564&mp=4>。
- 行政院主計總處 (2022)，「就業失業統計」，取自 <https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=17166&CtNode=517&mp=4>。
- 行政院科技部工程技術發展司工業與工程管理學門研究發展及推動小組 (2013)，「科技部工業工程與管理學門一百零二年度學門規劃報告」。
- 行政院科技部工程技術發展司工業與工程管理學門研究發展及推動小組 (2016)，「科技部工業工程與管理學門一百零五年度學門規劃報告」。
- 行政院科技部工程技術發展司工業與工程管理學門研究發展及推動小組 (2019)，「科技部工業工程與管理學門一百零八年度學門規劃報告」。
- 行政院科技會報辦公室 (2015)，「行政院生產力 4.0 發展方案」，台灣經濟論衡，2015 秋季號。
- 行政院經貿談判辦公室 (2016)，「五大旗艦及三大潛力領域計畫」，取自：<https://www.ey.gov.tw/achievement/A1FDBAFD2F9CBD02>。
- 吳碧娥 (2019)，「智慧運輸啟動：新科技如何改善台灣三大交通問題」，北美智權報，取自 http://www.naipo.com/Portals/1/web_tw/Knowledge_Center/Industry_Economy/IPNC_190410_0703.htm。
- 李再長、王智杰 (2000)，我國人因工程之現況與展望之研究，人因工程學刊，第 2 卷第 1 期，1-9 頁。
- 李家岩、洪佑鑫 (2022)，製造數據科學，新北市：前程文化事業有限公司。
- 李傑、倪軍、王安正、余日新、廖宜椿、蔡璞、呂俊德 (2017)，從大數據到智慧生產與服務創新，台北：前程文化。
- 杜珮君、陳協慶 (2020)，關鍵指標法適用性分析研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所研究報告 (ILOSH110-H319)，ISBN 9786267125236。
- 周至宏 (2022)，碳中和的盤查服務及技術研發。經濟部技術處演講講義。
- 周旺暉 (2012)，雲端運算將如何改變網路服務。臺北市終身學習網通訊，第 59 卷，19-23 頁。
- 林妍臻 (2021)，Amazon 傳以 AI 為送貨員進行績效考核，<https://www.ithome.com.tw/news/145341>。
- 林榮泰、陳一郎、邱文科、陳安哲、陳建志、余銘倫 (2004)，國內大學部人因工程課程實施現況與建議，明志學報，第 35 卷第 2 期，21-31 頁。
- 科技部工程技術研究發展司，「2017-2019 工業工程與管理學門規劃報告」。
- 美國經濟分析局 (2020)，「國際數據」，取自 <https://apps.bea.gov/iTable/iTable.cfm?reqid=62&step=9&isuri=1&6210=4>。
- 胡世忠 (2013)，「雲端時代的殺手級應用: Big Data 海量資料分析」。
- 范書愷 (2021)，AI 就是要解放工程師的領域知識，取自 <https://edge.aif.tw/release-engineer-domain-knowledge>。
- 袁千雯 (2021)，人機互動、社群運算與科技輔助協同合作研究發展與趨勢，圖書資訊學研究回顧與前瞻 2.0，444-467 頁。
- 國家中山科院研究院 (2019)，「國機國造/解析飛行員身體密碼-人體計測」計畫。
- 國家發展委員會 (2017)，「設計翻轉地方創生計畫作業指引」。
- 國家發展委員會 (2018)，「國家發展委員會推動「設計翻轉、地方創生」示範計畫」，摘自 https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=4A000EF83D724A25。
- 國家發展委員會 (2019)，「地方創生國家戰略計畫 (行政院 1080103 核定本)」，摘自

- https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=78EEEF1D5A43877&upn=C4DB8C419A82AA5E。
- 堀切俊雄 (2020)，寫給經營者的全方位 TPS：從零開始打造世界最強製造現場，財團法人中衛發展中心。
- 張平昇 (2021)，AI 技術於機械設備故障預測與診斷之應用，機械新刊。
- 莫力全 (2021)，微服務很夯，那你有聽過微前端嗎？初探 Micro Frontends 程式架構。
<https://medium.com/starbugs/微服務很夯-那你有聽過微前端嗎-初探-Micro-Frontends-架構-e0a8469be601>。Accessed by May, 2022。
- 陳大正 (2021)，應用多渠道 Mask R-CNN 於燒傷傷口影像自動分割與分類之研究，111 年度科技部專題研究計畫（服務系統與科技管理子學門）。
- 陳侑成 (2022)，AIoT 結合智慧製造技術發展現況與展望。機械工業雜誌，第 466 卷，23-29 頁。
- 陳怡如、林玉圓 (2022)，「眺望 2022 年產業大趨勢」，取自：<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183015/post/202202110003/>。
- 陳俊良 (2017)，「文創旅店的服務創新「創意×設計×科技」：以桃城茶樣子為例」，產業與管理論壇，第 19 卷第 3 期。
- 陳映璇 (2022)，停電凸顯儲能是剛性需求！東元搶綠能商機，將加入電力交易平台，取自 <https://www.bnext.com.tw/article/68215/teco-bess>。
- 陳銘田 (2019)，高齡健康照護，科學發展，2019 年 2 月號，554 期。
- 陳曉曦 (2022)，「這四大趨勢值得所有物流人關注」，取自：<http://www.soft808.com/news/detail/id/135673.html>。
- 勞動部 (2013)，「中華民國職業安全衛生法」，摘自 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=n0060001>。
- 勞動部職業安全衛生署 (2015)，人因性危害預防計畫指引，摘自 <https://www.osha.gov.tw/1106/1251/10159/10173/10309/>。
- 華藝線上圖書館 (2019)，摘自 <https://www.airitilibrary.com/>。
- 黃旭愉 (2005)，「專題論述：淺談資料倉儲 (Data Warehouse)」，取自 <http://campaign.hncb.com.tw/intranet/monthly/mon028/02801.pdf>。
- 黃雪玲 (1993)，我國人因工程現況之調查，管理與系統，第 25 卷第 3 期，321-365 頁。
- 經濟部能源局，(2019)，取自 <https://www.smartgrid.org.tw/About/qa>。
- 遠見雜誌整合傳播部企劃製作 (2021)，產科國際所建議四大方向 鏈結國際 讓世界看見台灣的力量，工研院《鏈國際：強韌協創 永續共榮》專刊，取自：<https://www.gvm.com.tw/article/82911>。
- 劉仁傑 (2022)，精實水準與智慧製造，MA 雜誌，第 138 期。
- 劉彥伯、張宇信 (2022)。彈性供應鏈有助雙重轉型，KPMG《2022 全球製造業展望》調查報告，取自：<https://home.kpmg/tw/zh/home/media/press-releases/2022/02/kpmg-released-global-manufacturing-prospects-2022.html>。
- 蔡明學 (2022)，AI 進行校務評鑑的未來圖像，國家教育研究院電子報，第 218 期。
- 蔡淑芬 (2022)，「六大關鍵左右 2022 全球供應鏈」，取自：<https://www.chinatimes.com/newspapers/20220127000725-260210?chdtv>。
- 衛生福利部食品藥物管理署 (2020)，醫療器材人因可用性工程評估指引，摘自 <https://www.fda.gov.tw/TC/siteListContent.aspx?sid=3787&id=32987>。
- 衛福部 (2014)，「2025 衛生福利政策白皮書」，取自 <https://www.mohw.gov.tw/cp-26-42978-1.html>。
- 鄭朝陽、吳姿賢、黃有容、林海、馬瑞璿 (2022)，推動淨零智慧電網、儲能做太慢，

取自 <https://sdgs.udn.com/sdgs/story/122690/6196111>

- 簡禎富 (2019), 「工業 3.5: 台灣企業邁向智慧製造與數位決策的戰略」, 天下雜誌。
- 簡禎富、許嘉裕 (2019), 資料挖礦與大數據分析, 第二版, 新北市: 前程文化事業有限公司。
- 藍芳華 (2020), 「宅經濟」發酵, 帶動網路銷售額成長。
- Abdellatif, A. A., Samara, L., Mohamed, A., Erbad, A., Chiasserini, C. F., Guizani, M., O'Connor, M. D., & Laughton, J. (2021). MEdge-Chain: Leveraging Edge Computing and Blockchain for Efficient Medical Data Exchange. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(21), 15762–15775.
- Abdin, A. F., Fang, Y. P., Caunhye, A., Alem, D., Barros, A., & Zio, E. (2021). An optimization model for planning testing and control strategies to limit the spread of a pandemic-The case of COVID-19. *European Journal of Operational Research*.
- Abdul, A., Vermeulen, J., Wang, D., Lim, B. Y., & Kankanhalli, M. (2018). Trends and trajectories for explainable, accountable and intelligible systems: An hci research agenda. In *2018 CHI conference on human factors in computing systems*.
- Abdul-Hamid, A. Q., Ali, M. H., Tseng, M. L., Lan, S., & Kumar, M. (2020). Impeding Challenges on Industry 4.0 in Circular Economy: Palm oil industry in Malaysia. *Computers and Operations Research*, 123, 105052.
- Abdullah, F. M., Saleh, M., Al-Ahmari, A. M., & Anwar, S. (2022). The Impact of Industry 4.0 Technologies on Manufacturing Strategies: Proposition of Technology-Integrated Selection. *IEEE Access*, 10, 21574–21583.
- Abe, K., Komiyama, J., & Iwasaki, A. (2022). Anytime Capacity Expansion in Medical Residency Match by Monte Carlo Tree Search. *arXiv:2202.06570*.
- Abe, T. (2005). What is service science. In FRI Research Report No. 246, Fujitsu Research Institute.
- Abraham, P., Augey, L., Duclos, A., Michel, P., & Piriou, V. (2021). Descriptive Analysis of Patient Misidentification From Incident Report System Data in a Large Academic Hospital Federation. *Journal of Patient Safety*, 17(7).
- Abu, M. H. D., Dipa, R., Magfura, P., Chakraborty, R. K., Pervin, M., & Tseng, M. L. (2022). An optimum balance among the reduction in ordering cost, product deterioration and carbon emission: a sustainable greenhouse farm. *Environmental Science and Pollution Research* (Article in Press).
- Achterberg, T., Bixby, R. E., Gu, Z., Rothberg, E., & Weninger, D. (2020). Presolve reductions in mixed integer programming. *INFORMS Journal on Computing*, 32(2), 473–506.
- Adebayo, J., Gilmer, J., Muelly, M., Goodfellow, I., Hardt, M., & Kim, B. (2018). Sanity checks for saliency maps. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31.
- Adida, E., & Perakis, G. (2006). A robust optimization approach to dynamic pricing and inventory control with no backorders. *Mathematical Programming*, 107(1–2), 97–129.
- Aditya, C., Anirban, S., Abhishek, D., & Prantik, H. (2018). Grad-CAM++: Improved Visual Explanations for Deep Convolutional Networks. *arXiv preprint arXiv:1710.11063*.
- Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value Creation in Innovation Ecosystems: How the Structure of Technological Interdependence Affects Firm Performance in New Technology Generations. *Strategic Management Journal*, 31(3), 306–333.
- Adner, R., Chen, J. Q., & Zhu, F. (2020). Frenemies in Platform Markets: Heterogeneous Profit Foci as Drivers of Compatibility Decisions. *Management Science*, 66(6), 2432–2451.
- Aerts, K., Matthyssens, P., & Vandenbempt, K. (2007). Critical role and screening practices of European business incubators. *Technovation*, 27(5), 254–267.
- Afèche, P., & Ata, B. (2013). Bayesian dynamic pricing in queueing systems with unknown delay cost characteristics. *Manufacturing & Service Operations Management*, 15(2), 292–304.
- Aggarwal, C. C., & Reddy, C. K. (2014). Data Clustering : Algorithms and Applications. 1st edition, Chapman and Hall/CRC, New York.

- Aghil, T., Nagajayanthi, B., Kumaar, S. B., & Sanjay, G. (2022). Smart Logistics for Quality Food During Pandemic Crisis. *Futuristic Communication and Network Technologies*, 865–873.
- Aghsami, A., & Jolai, F. (2020). Equilibrium threshold strategies and social benefits in the fully observable Markovian queues with partial breakdowns and interruptible setup/closedown policy. *Quality Technology & Quantitative Management*, 17, 685–722.
- Ahmad, S., Wong, K. Y., Tseng, M. L., & Wong, W. P. (2018). Sustainable product design and development: A review of tools, applications and research prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 49–61.
- Ahmeda, S., Qamara, F., & Soomro, S. A. (2022). Ergonomic work from home and occupational health problems amid COVID-19. *Human Systems Management* (pre-press).
- Ahsan, M. M., & Siddique, Z. (2022). Industry 4.0 in Health care: A systematic review. *arXiv:2201.06999*.
- Akamatsu, M., Green, P., & Bengler, K. (2013). Automotive technology and human factors research: past, present, and future. *International journal of Vehicular Technology*, 526180.
- Akata, Z., Balliet, D., Rijke, M. d., Dignum, F., Dignum, V., Eiben, G., Fokkens, A., Grossi, D., Hindriks, K., Hoos, H., Hung, H., Jonker, C., Monz, C., Neerincx, M., Oliehoek, F., Prakken, H., Schlobach, S., Gaag, L. v. d., Harmelen, F. v., Hoof, H. v., Riemsdijk, B. v., Wynsberghe, A. v., Verbrugge, R., Verheij, B., Vossen, P., & Welling, M. (2020). A Research Agenda for Hybrid Intelligence: Augmenting Human Intellect With Collaborative, Adaptive, Responsible, and Explainable Artificial Intelligence. *Computer*, 53(8), 18–28.
- Akbaş, H., Bilgen, B., & Turhan, A. M. (2015). An integrated prediction and optimization model of biogas production system at a wastewater treatment facility. *Bioresource Technology*, 196, 566–576.
- Akter, S., Wamba, S. F., Gunasekaran, A., Dubey, R., & Childe, S. J. (2016). How to Improve Firm Performance Using Big Data Analytics Capability and Business Strategy Alignment? *International Journal of Production Economics*, 182, 113–131.
- Alam, A., Besselink, B., Turri, V., Mårtensson, J., & Johansson, K. H. (2015). Heavy-duty vehicle platooning for sustainable freight transportation: A cooperative method to enhance safety and efficiency. *IEEE Control Systems Magazine*, 35(6), 34–56.
- Alam, S. S., Masukujjaman, M., Susmit, S., Susmit, S., & Abd Aziz, H. (2022). Augmented reality adoption intention among travel and tour operators in Malaysia: mediation effect of value alignment. *Journal of Tourism Futures*.
- Alejandrino, C., Mercante, I., & Bovea, M. D. (2021). Life cycle sustainability assessment: Lessons learned from case studies. *Environmental Impact Assessment Review*, 87, 106517.
- Alexopoulos, C. (1995). A note on state-space decomposition methods for analyzing stochastic flow networks. *IEEE Transactions on Reliability*, 44, 354–357.
- Alhichri, H., Alswayed, A. S., Bazi, Y., Ammour, N., & Alajlan, N. A. (2021). Classification of remote sensing images using EfficientNet-B3 CNN model with attention. *IEEE Access*, 9, 14078–14094.
- Ali, A., Shamsuddin, S. M., & Ralescu, A. L. (2015). Classification with class imbalance problem: a review. *International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications*, 7(3), 176–204.
- Alimujiang, A., & Jiang, P. (2020). Synergy and cobenefits of reducing CO₂ and air pollutant emissions by promoting electric vehicles—A case of shanghai. *Energy for Sustainable Development*, 55, 181189.
- Al-Jawad, J. Y., Alsaffar, H. M., Bertram, D., & Kalin, R. M. (2019). A comprehensive optimum integrated water resources management approach for multidisciplinary water

- resources management problems. *Journal of environmental management*, 239, 211–224.
- Al-Karaghoul, W., Ghoneim, A., Sharif, A., & Dwivedi, Y. K. (2013). The effect of knowledge management in enhancing the procurement process in the UK healthcare supply chain. *Information Systems Management*, 30(1), 35–49.
- Allen, F., X. Gu, & J. Jagtiani (2021). A survey of Fintech research and policy discussion. *Review of Corporate Finance*, 1, 259–339,
- Alonso, J. M., Alvarruiz, F., Desantes, J. M., Hernández, L., Hernández, V., & Molto, G. (2007). Combining neural networks and genetic algorithms to predict and reduce diesel engine emissions. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11(1), 46–55.
- Alqahtani, H., & Kavakli-Thorne, M. (2020). Design and evaluation of an augmented reality game for cybersecurity awareness (cybar). *Information*, 11(2), 121.
- Alrbai, M., Abubaker, A. M., Ahmad, A. D., Al-Dahidi, S., Ayadi, O., Hjouj, D., & Al-Ghussain, L. (2022). Optimization of energy production from biogas fuel in a closed landfill using artificial neural networks: A case study of Al Ghabawi Landfill, Jordan. *Waste Management*, 150, 218–226.
- Alsalemi, A., Himeur, Y., Bensaali, F., & Amira, A. (2022). An innovative edge-based Internet of Energy solution for promoting energy saving in buildings. *Sustainable Cities and Society*, 78, 103571.
- Alwis, S. D., Hou, Z., Zhang, Y., Na, M. H., Ofoghi, B., & Sajjanhar, A. (2022). A survey on smart farming data, applications and techniques. *Computers in Industry*, 138, 103624.
- Alyamani, R., & Long, S. (2020). The application of fuzzy Analytic Hierarchy Process in sustainable project selection. *Sustainability*, 12(20), 8314.
- Alyass, A., Turcotte, M., & Meyre, D. (2015). From big data analysis to personalized medicine for all: challenges and opportunities. *BMC Medical Genomics*, 8(33).
- Alzoubi, H. M., Elrehail, H., Hanaysha, J. R., Al-Gasaymeh, A., & Al-Adaileh, R. (2022). The Role of Supply Chain Integration and Agile Practices in Improving Lead Time During the COVID-19 Crisis. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology (IJSSMET)*, 13(1), 1–11.
- Ameur, L., & Berdjoudj, L. (2021). Finite Queueing Model under Uncertainty: Application on the Corona-Virus (COVID-19) Patients. *Asian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 72–82.
- Amir Latif, R. M., Hussain, K., Jhanjhi, N., Nayyar, A., & Rizwan, O. (2020). A remix IDE: smart contract-based framework for the healthcare sector by using Blockchain technology. *Multimedia Tools and Applications*, 1–24.
- An, S., Li, B., Song, D., & Chen, X. (2021). Green credit financing versus trade credit financing in a supply chain with carbon emission limits. *European Journal of Operational Research*, 292(1), 125–142.
- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J., & Ruiz, A. (2014). Relief distribution networks: A systematic review. *Annals of Operations Research*, 223(1), 53–79.
- Ancarani, A., Di Mauro, C., & D'Urso, D. (2013). A human experiment on inventory decisions under supply uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 142(1), 61–73.
- Andriole, K. P., Wolfe, J. M., Khorasani, R., Treves, S. T., Getty, D. J., Jacobson, F. L., Steigner, M. L., Pan, J. J., Sitek, A. & Seltzer, S. E. (2011). Optimizing analysis, visualization, and navigation of large image data sets: One 5000-section CT scan can ruin your whole day. *Radiology*, 259(2), 346–362.
- Angwin J., L. J., Mattu S., Kirchner L. (2016). *Machine Bias*. <https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing>
- Anna Thompson (2021). Delivery and Logistics Trends for 2022, DHL Discover , Retrieved from <https://www.dhltaiwanconnects.com/blog/delivery-and-logistics-trends-2022>.
- Anshari, M., Almunawar, M. N., Lim, S. A., & Al-Mudimigh, A. (2019). Customer Relationship Management and Big Data Enabled: Personalization & Customization of Services. *Applied Computing and Informatics*, 15, 94–101.

- Anthony Jnr, B. (2021). Distributed ledger and decentralised technology adoption for smart digital transition in collaborative enterprise. *Enterprise Information Systems*, 1–34.
- Apostolopoulos, P. A., Tsiropoulou, E. E., & Papavassiliou, S. (2021). Demand response management in smart grid networks: A two-stage game-theoretic learning-based approach. *Mobile Networks and Applications*, 26(2), 548–561.
- Araba, A. M., Memon, Z. A., Alhawat, M., Ali, M., & Milad, A. (2021). Estimation at Completion in Civil Engineering Projects: Review of Regression and Soft Computing Models. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 2(2), 1–12.
- Araujo, T., Helberger, N., Kruikemeier, S., & de Vreese, C. H. (2020). In AI we trust? Perceptions about automated decision-making by artificial intelligence. *AI & SOCIETY*, 35(3), 611–623.
- Archana, N., & Vidhyapriya, R. (2016). A bibliographic survey on power system optimization using soft computing techniques. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 7(1), 327–333.
- Archetti, C., Guastaroba, G., & Speranza, M. G. (2014). An ILP-refined tabu search for the Directed Profitable Rural Postman Problem. *Discrete Applied Mathematics*, 163(1), 3–16.
- Arias, M. B., & Bae, S. (2016). Electric Vehicle Charging Demand Forecasting Model Based On Big Data Technologies. *Applied Energy*, 183, 327–339.
- Armistead, C. (1990). Service operations strategy: framework for matching the service operations task and the service delivery system. *International Journal of Service Industry Management*, 1(2), 6–16.
- Aromaa, S., & Väänänen, K. (2016). Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. *Applied Ergonomics*, 56, 11–18.
- Arora, N., Robinson, K., Charm, T., Grimmelt, A., Ortega, M., Staack, Y., & Yamakawa, N. (2020). Consumer Sentiment and Behavior Continue to Reflect the Uncertainty of the COVID-19 Crisis. McKinsey & Company.
- Arroyo, J. M., & Conejo, A. J. (2000). Optimal response of a thermal unit to an electricity spot market. *IEEE Transaction on Power Systems*, 15(3), 1098–1104.
- Arslanian, H., & Fischer, F. (2019). *The future of finance: The impact of FinTech, AI, and crypto on financial services*. Palgrave Macmillan Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-14533-0>
- Aryal, A., Liao, Y., Nattuthurai, P., & Li, B. (2018). The Emerging Big Data Analytics and IoT in Supply Chain Management: A Systematic Review. *Supply Chain Management*, 25(2), 141–156.
- Asgarian, A., Sobhani, P., Zhang, J. C., Mihailescu, M., Sibilia, A., Ashraf, A. B., & Taati, B. (2018). Hybrid Instance-based Transfer Learning Method. Machine Learning for Health (ML4H) Workshop at Neural Information Processing Systems.
- Aslam, N. (2022). Explainable Artificial Intelligence Approach for the Early Prediction of Ventilator Support and Mortality in COVID-19 Patients. *Computation*, 10(3).
- Atila, Ü., Uçar, M., Akyol, K., & Uçar, E. (2021). Plant leaf disease classification using EfficientNet deep learning model. *Ecological Informatics*, 61, 101182.
- Auernhammer, J. (2020). Human-centered AI: The role of Human-centered Design Research in the development of AI, In *Design Research Society 2020 International Conference, 11–14 August 2020*, Held online.
- Aven, T. (1985). Reliability evaluation of multistate systems with multistate components. *IEEE Transactions on Reliability*, 34(5), 473–479.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13.
- Aven, T., & Zio, E. (2014). Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risk Analysis*, 34(7), 1164–1172.
- Bach, S., Binder, A., Montavon, G., Klauschen, F., Müller, K. R., & Samek, W. (2015). On

- pixel-wise explanations for non-linear classifier decisions by layer-wise relevance propagation. *PloS One*, *10*(7), e0130140.
- Bachofner, M., Lemardel, C., Estrada, M., & Pagès, L. (2022). City logistics: Challenges and opportunities for technology providers. *Journal of Urban Mobility*, *2*, 100020.
- Backe, S., Ahang, M., & Tomasgard, A. (2021). Stable stochastic capacity expansion with variable renewables: Comparing moment matching and stratified scenario generation sampling. *Applied Energy*, *302*, 117538.
- Baehrens, D., Schroeter, T., Harmeling, S., Kawanabe, M., Hansen, K., & Müller, K. R. (2010). How to explain individual classification decisions. *The Journal of Machine Learning Research*, *11*, 1803–1831.
- Bahdanau, D., Chorowski, J., Serdyuk, D., Brakel, P., & Bengio, Y. (2016). End-to-end attention-based large vocabulary speech recognition. *IEEE ICASSP*.
- Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-physical Systems. *The impact of control technology*, *12*(1), 161–166.
- Bai, C., Kusi-Sarpong, S., Badri Ahmadi, H., & Sarkis, J. (2019). Social sustainable supplier evaluation and selection: a group decision-support approach. *International Journal of Production Research*, *57*(22), 7046–7067.
- Bai, C., Quayson, M., & Sarkis, J. (2022). Analysis of Blockchain's Enablers for Improving Sustainable Supply Chain Transparency in Africa Cocoa Industry. *Journal of Cleaner Production*, *358*, 131896.
- Bai, G., Xu, B., Chen, X., Zhang, Y. A., & Tao, J. (2020). Searching for d-MPs for all level d in multistate two-terminal networks without duplicates. *IEEE Transactions on Reliability*, *70*(1), 319–330.
- Bai, G., Zuo, M. J., & Tian, Z. (2015). Ordering heuristics for reliability evaluation of multistate networks. *IEEE Transactions on Reliability*, *64*(3), 1015–1023.
- Bai, X., Chin, K.S., & Zhou, Z. (2019). A biobjective model for location planning of electric vehicle charging stations with GPS trajectory data. *Computers & Industrial Engineering*, *128*, 591604.
- Bai, X., Wang, Z., Zou, L., Liu, H., Sun, Q., & Alsaadi, F. E. (2022). Electric vehicle charging station planning with dynamic prediction of elastic charging demand: a hybrid particle swarm optimization algorithm. *Complex & Intelligent Systems*, *8*(2), 1035–1046.
- Bai, Y., Wang, C., Lou Y., Liu, J., & Duan, L. Y. (2021). Hierarchical connectivity-centered clustering for unsupervised domain adaptation on person re-identification. *IEEE Transactions on Image Processing*, *30*, 6715–6729.
- Bailey, N. T. (1952). A study of queues and appointment systems in hospital out-patient departments, with special reference to waiting-times. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, *14*, 185–199.
- Bailey, N. T. (1954). Queueing for medical care. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, *3*, 137–145.
- Baltea-Lugojan, R., Misener, R., Bonami, P., & Tramontani, A. (2018). Strong sparse cut selection via trained neural networks. Technical Report. Imperial College, London.
- Baltezarevic, R., Baltezarevic, B., Kwiatek, P., & Baltezarevic, V. (2019). The impact of virtual communities on cultural identity. *Symposium*, *6*(1), 7–22.
- Balvers, R. J., & Mitchell, D. W. (1997). Autocorrelated returns and optimal intertemporal portfolio choice. *Management Science*, *43*(11), 1537–1551.
- Bansal, G., Nushi, B., Kamar, E., Lasecki, W., Weld, D., & Horvitz, E. (2019). *Beyond Accuracy: The Role of Mental Models in Human-AI Team Performance*.
- Barhorst, J. B., McLean, G., Shah, E., & Mack, R. (2021). Blending the real world and the virtual world: Exploring the role of flow in augmented reality experiences. *Journal of Business Research*, *122*, 423–436.
- Baron, J. (1998). *Thinking and Deciding*, Cambridge University Press, New York barriers. *International Journal of Production Research*, *52*(18), 5255–5272.

- Baroroh, D. K., Chu, C. H., & Wang, L. (2021). Systematic literature review on augmented reality in smart manufacturing: Collaboration between human and computational intelligence. *Journal of Manufacturing Systems*, *61*, 696–711.
- Barravecchia, F., Franceschini, F., Mastrogiacomo, L., & Zaki, M. (2021). Research on product-service systems: topic landscape and future trends. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *32*(9), 208–238.
- Bartholdi, J. J., III, Eisenstein, D. D., & Lim, Y. F. (2010). Self-organizing Logistics Systems. *Annual Reviews in Control*, *34*(1), 111–117.
- Barua, S., Islam, M. M., Yao, X., & Murase, K. (2012). MWMOTE--majority weighted minority oversampling technique for imbalanced data set learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *26*(2), 405–425.
- Basanta, H., Huang, Y. P., & Lee, T. T. (2017). Assistive design for elderly living ambient using Voice and gesture recognition system. In *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 5-8 October 2017, Banff, Canada*.
- Basu, A. K., Lal, R., Srinivasan, V., & Staelin, R. (1985). Salesforce compensation plans: An agency theoretic perspective. *Marketing Science*, *4*(4), 267–291.
- Battenberg, E., Chen, J., Child, R., Coates, A., Gaur, Y., Li, Y., Liu, H., Satheesh, S., Seetapun, D., Sriram, A., & Zhu, Z. (2017). Exploring neural transducers for end-to-end speech recognition. *Proc. ASRU*.
- Battineni, G., Sagaro, G. G., Chinatalapudi, N., & Amenta, F. (2020). Applications of machine learning predictive models in the chronic disease diagnosis. *Journal of Personalized Medicine*, *10*(2), 21.
- Battisti, S., Agarwal, N., & Brem, A. (2022). Creating new tech entrepreneurs with digital platforms: Meta-organizations for shared value in data-driven retail ecosystems. *Technological Forecasting and Social Change*, *175*, 121392.
- Bauer, J., Hoffmann, H., Feld, T., Runge, M., Hinz, O., Mayr, A., Förster, K., Teske, F., Schäfer, F., Konrad, C., & Franke, J. (2019). ForeSight - platform approach for enabling ai-based services for smart living. In *17th International Conference On Smart Living and Public Health, 14–16 October 2019, New York, USA*, 204–211.
- Bauer, J., Kettschau, A., Michl, M., Bürner, J., & Franke, J. (2014). Die intelligente Wohnung als Baustein im Internet der Dinge. *Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, 298–307.
- Bayrak, T. (2015). A review of business analytics: A business enabler or another passing fad. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *195*, 230–239.
- Beale, E. M. L. (1955). On Minimizing a Convex Function Subject to Linear Inequalities. *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Methodological)*, *17*(2), 173–184.
- Becker, K. H. (2016). An outlook on behavioural OR-Three tasks, three pitfalls, one definition. *European Journal of Operational Research*, *249*(3), 806–815.
- Becker, T., Steenweg, P. M., & Werners, B. (2018). Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services. *Health Care Management Science*, *22*(4), 676–690.
- Begum, H., Abbas, K., Alam, A. F., Song, H., Chowdhury, M. T., & Ghani, A. B. A. (2022). Impact of the COVID-19 pandemic on the environment and socioeconomic viability: a sustainable production chain alternative. *Roresight*.
- Bekker, R., uit het Broek, M., & Koole, G. (2022). Modeling COVID-19 hospital admissions and occupancy in the Netherlands. *European Journal of Operational Research*, In Press.
- Bellman, R. (1953). *An Introduction to the Theory of Dynamic Programming* (245). RAND CORP SANTA MONICA CA.
- Bello, I., Pham, H., Le, Q. V., Norouzi, M., & Bengio, S. (2017). Neural combinatorial optimization with reinforcement learning. International conference on learning representations. Retrieved from <https://openreview.net/forum?id=Bk9mxlSFx>.
- Belobaba, P. P. (1989). OR practice—application of a probabilistic decision model to airline seat inventory control. *Operations Research*, *37*(2), 183–197.

- Benalcazar, P. (2021). Optimal sizing of thermal energy storage systems for CHP plants considering specific investment costs: A case study. *Energy*, 234, 121323.
- Benavent, E., Carrotta, A., Corberán, A., Sanchis, J. M., & Vigo, D. (2007). Lower bounds and heuristics for the windy rural postman problem. *European journal of operational research*, 176(2), 855–869.
- Benavent, E., Corberán, Á., & Sanchis, J. M. (2010). A metaheuristic for the min-max windy rural postman problem with K vehicles. *Computational Management Science*, 7(3), 269–287.
- Benavent, E., Corberán, A., Plana, I., & Sanchis, J. M. (2009). Min-Max K-vehicles windy rural postman problem. *Networks*, 54(4), 216–226.
- Benbunan-Fich, R., Desouza, K. C., & Andersen, K. N. (2020). IT-enabled innovation in the public sector: Introduction to the special issue. *European Journal of Information Systems*, 29(4), 323–328.
- Bendoly, E., & Cotteleer M. (2008). Understanding behavioral sources of process variation following enterprise system deployment. *Journal of Operations Management*, 26, 23–44.
- Bendoly, E., & Hur, D. (2007). Bipolarity in reactions to operational ‘constraints’: OM bugs under an OB lens. *Journal of Operations Management*, 25(1), 1–13.
- Bendoly, E., & Swink, M. (2007). Moderating effects of information access on project management behavior, performance and perceptions. *Journal of Operations Management*, 25, 604–622.
- Bendoly, E., Croson, R., Goncalves, P., & Schultz, K. (2010). Bodies of knowledge for research in behavioral operations. *Production and Operations Management*, 19(4), 434–452.
- Bendoly, E., Donohue, K., & Schultz, K. L. (2006). Behavior in operations management: Assessing recent findings and revisiting old assumptions. *Journal of Operations Management*, 24(6), 737–752.
- Bengio, Y., Lodi, A., & Prouvost, A. (2021). Machine learning for combinatorial optimization: a methodological tour d’horizon. *European Journal of Operational Research*, 290(2), 405–421.
- Benjaafar, S., & Hu, M. (2020). Operations management in the age of the sharing economy: What is old and what is new? *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 93–101.
- Bennett, P., Crosbie, J., & Dick, P. (2012). Use of OR by government to inform health policy in England: Examples and reflections. *Operations Research for Health Care*, 1(1), 1–5.
- Ben-Tail, A. & Nemirovski, A. (2002). Robust optimization - methodology and applications. *Math Programming*, 92(3), 453–480.
- Ben-Tail, A., & Nemirovski A. (1998). Robust convex optimization. *Mathematics of Operations Research*, 23(4), 769–805.
- Ben-Tail, A., & Nemirovski, A. (1999). Robust solutions of uncertain linear programs. *Operation Research Letters*, 25(1), 1–13.
- Ben-Tail, A., Boyd, S., & Nemirovski, A. (2006a). Extending scope of robust optimization: Comprehensive robust counterparts of uncertain problems. *Math Programming*, 107(1–2), 63–89.
- Ben-Tail, A., El-Ghaoui, L., & Nemirovski, A. (2006b). Foreword: Special issue on robust optimization. *Math Programming*, 107(1), 1–3.
- Bentley, T., Green, N., Tappin, D., & Haslam, R. (2021). State of science: the future of work – ergonomics and human factors contributions to the field, *Ergonomics*, 64(4), 427–439.
- Berger, J., & Lo, N. (2015). An innovative multi-agent search-and-rescue path planning approach. *Computers & Operations Research*, 53, 24–31.
- Berthold, T. (2006). *Primal heuristics for mixed integer programs* (Doctoral dissertation, Zuse Institute Berlin (ZIB)).

- Berthold, T. (2013). Measuring the impact of primal heuristics. *Operations Research Letters*, 41(6), 611–614.
- Bertolotti, F., Mattarelli, E., Vignoli, M., & Macri, D. M. (2015). Exploring the relationship between multiple team membership and team performance: The role of social networks and collaborative technology. *Research Policy*, 44(4), 911–924.
- Bertsekas, D. P., & Tsitsiklis, J. N. (1995, December). Neuro-dynamic programming: an overview. In *1995 34th IEEE Conference on Decision and Control*, 1, 560–564.
- Bertsimas, D., & Brown, D. B. (2009). Constructing uncertainty sets for robust linear optimization. *Operations research*, 57(6), 1483–1495.
- Bertsimas, D., & Stellato, B. (2021). The voice of optimization. *Machine Learning*, 110(2), 249–277.
- Bertsimas, D., & Stellato, B. (2022). Online mixed-integer optimization in milliseconds. *INFORMS Journal on Computing*.
- Bertsimas, D., & Thiele, A. (2006). A Robust Optimization Approach to Inventory Theory. *Operations Research*, 54, 150–168.
- Bertsimas, D., Brown, D. B., & Caramanis, C. (2011). Theory and Applications of Robust Optimization. *Society for Industrial and Applied Mathematics Review*, 53(3), 464–501.
- Bertsimas, D., Ivanhoe, J., Jacquillat, A., Li, M., Previero, A., Lami, O. S., & Bouardi, H. T. (2020). Optimizing vaccine allocation to combat the covid-19 pandemic. *medRxiv*.
- Bharati, S., Podder, P., Mondal, M. R. H., & Paul, P. K. (2021). Applications and Challenges of Cloud Integrated IoMT. In *Cognitive Internet of Medical Things for Smart Healthcare: Services and Applications*, 67–85.
- Bhargava, H. K. (2021). The Creator Economy: Managing Ecosystem Supply, Revenue Sharing, and Platform Design. *Management Science*. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.4126>
- Bhat, U. N. (1969). Sixty years of queueing theory. *Management Science*, 15(6), B–280.
- Bhatia, V., Jaglan, V., Kumawat, S., & Kaswan, K.S. (2022). Real-Life Applications of Soft Computing in Cyber-Physical System: A Compressive Review. A Compressive Review. *Soft Computing: Theories and Applications*, 501–514.
- Bhise, V. D. (2012). *Ergonomics in the automotive design process*. CRC Press.
- Bhoopalam, A. K., Agatz, N., & Zuidwijk, R. (2018). Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research. *Transportation Research Part B: Methodological*, 107, 212–228.
- Bi, W., Cai, M., Liu, M., & Li, G. (2016). A big data clustering algorithm for mitigating the risk of customer churn. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 12(3), 1270–1281.
- Bi, Z., Da Xu, L., & Wang, C. (2014). Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(2), 1537–1546.
- Bianchi, E., & Malki-Epshtein, L. (2021). Evaluating the risk to Bangladeshi coastal infrastructure from tropical cyclones under climate change. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 57, 102147.
- Bin, S., Masood, S., & Jung, Y. (2020). Virtual and augmented reality in medicine. *Biomedical Information Technology*, 673–686
- Blanc, J. P. C. (2009). Bad luck when joining the shortest queue. *European Journal of Operational Research*, 195(1), 167–173.
- Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 4.0 shipyard. *Ieee Access*, 6, 8201–8218.
- Blau, I., Shamir-Inbal, T., & Avdiel, O. (2020). How does the pedagogical design of a technology-enhanced collaborative academic course promote digital literacies, self-regulation, and perceived learning of students? *The internet and higher education*, 45, 100722.
- Bloom, N., Garicano, L., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2014). The Distinct Effects of

- Information Technology and Communication Technology on Firm Organization. *Management Science*, 60(12), 2859–2885.
- Bokde, N., Feijóo, A., Villanueva, D., & Kulat, K. (2019). A review on hybrid empirical mode decomposition models for wind speed and wind power prediction. *Energies*, 12(2), 254.
- Bolla, J. V., & Chakravarthy, S. L. (2018). Applications of soft computing techniques for social network analysis: A survey, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 120(6), 4237–4258.
- Bolourian, N., & Hammad, A. (2020). LiDAR-equipped UAV path planning considering potential locations of defects for bridge inspection. *Automation in Construction*, 117, 103250.
- Bolton, G. E., & Katok, E. (2008). Learning by doing in the newsvendor problem: A laboratory investigation of the role of experience and feedback. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(3), 519–538.
- Bonami, P., Lodi, A., & Zarpellon, G. (2018). Learning a classification of mixed-integer quadratic programming problems. Integration of constraint programming, artificial intelligence, and operations research, 595–604.
- Bond, R. R., Mulvenna, M. D., Wan, H., Finlay, D. D., Wong, A., Koene, A. R., Brisk, R., Boger, J., & Adel, T. (2019). Human Centered Artificial Intelligence: Weaving UX into Algorithmic Decision Making. RoCHI.
- Bonidia, R. P., Rodrigues, L. A. L., Avila-Santos, A. P., Sanches, D. S., & Brahcher, J. D. (2018). Computational intelligence in sports: A systematic literature review. *Advances in Human-Computer Interaction*, 13.
- Bonnet, C., & Fritz, H. (2000). Fuel consumption reduction in a platoon: Experimental results with two electronically coupled trucks at close spacing. *SAE Technical Paper*.
- Botsman, R., & Rogers, R. (2010). What's Mine is Yours. *The rise of collaborative consumption*, 1.
- Bouguerra, S., & Layeb, S. B. (2019). Determining optimal deployment of electric vehicles charging stations: Case of Tunis City, tunisia. *Case Studies on Transport Policy*, 7(3), 628642.
- Bouktif, S., Fiaz, A. Ouni, A., & Serhani, M. A. (2020). Multi-sequence lstm-rnn deep learning and metaheuristics for electric load forecasting. *Energies*, 13(2), 391.
- Bowen, H. R. (2013). *Social responsibilities of the businessman*. University of Iowa Press.
- Bowman, E. H. (1963). Consistency and optimality in managerial decision making. *Management Science*, 9(2), 310–331.
- Boysen, N., Briskorn, D., & Schwerdfeger, S. (2018). The identical-path truck platooning problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 109, 26–39.
- Boysen, N., Schwerdfeger, S., & Weidinger, F. (2018). Scheduling last-mile deliveries with truck-based autonomous robots. *European Journal of Operational Research*, 271(3), 1085–1099.
- Bradley, B. D., Jung, T., Tandon-Verma, A., Khoury, B., Chan, T. C. Y., & Cheng, Y. L. (2017). Operations research in global health: a scoping review with a focus on the themes of health equity and impact. *Health Research Policy and Systems*, 15(32).
- Brand, O., Petrak, L., Sturzebecher, D., & Zitterbart, M. (2000). Supporting tele-teaching: visualization aspects. *Journal of Network and Computer Applications*, 23(4), 339–355.
- Brandt, J., & Lanzén, E. (2021). A comparative review of SMOTE and ADASYN in imbalanced data classification.
- Brendel, W., & Bethge, M. (2019). Approximating cnns with bag-of-local-features models works surprisingly well on imagenet. *arXiv preprint arXiv:1904.00760*.
- Briganti, G., & Le Moine, O. (2020). Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. *Frontiers in medicine*, 7, 27.
- Brocklesby, J. (2016). The what, the why and the how of behavioural operational research—an invitation to potential sceptics. *European Journal of Operational Research*, 249(3),

- Brutschin, E., Pianta, S., Tavoni, M., Riahi, K., Bosetti, V., Marangoni, G., & van Ruijven, B. J. (2021). A multidimensional feasibility evaluation of low-carbon scenarios. *Environmental Research Letters*, *16*(6), 064069.
- Bryman, A. (2014). June 1989 and beyond: Julia Brannen's Contribution to Mixed Methods Research. *International Journal of Social Research Methodology*, *17*(2), 121–131.
- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M. L., Tan, R. R., Yu, K. D. S., & Lim, M. K. (2021). Sustainable supply chain management towards disruption and organizational ambidexterity: a data driven bibliometric analysis. *Sustainable Production and Consumption*, *26*, 373–410.
- Bui, T. D., Tseng, J. W., Tran, T. P. T., Ha, H. M., Tseng, M. L., & Lim, M. K. (2022). The circular business strategy challenges and opportunities for Industry 4.0: A social media data-driven analysis. *Business Strategy and the environment* (Article in Press).
- Business Standard (2020). Covid-19: Supply of Essentials Hit due to Worker Shortage, transport issues. Business Standard. Retrieved from https://www.business-standard.com/article/economy-policy/covid-19-supply-of-essentials-hit-due-to-worker-shortage-transport-issue-s-120032301405_1.html.
- Cabral, L., & Pacheco-de-Almeida, G. (2019). Alliance Formation and Firm Value. *Management Science*, *65*(2), 879–895
- Cachon, G. P., & Lariviere, M. A. (2005). Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management Science*, *51*(1), 30–44.
- Cai, H., Xu, B., Jiang, L., & Vasilakos, A.V. (2017). IoT-based Big Data storage systems in cloud computing: Perspectives and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, *4*(1), 75–87.
- Cai, Y., Wang, Y., & Burnett, M. (2020). Using augmented reality to build digital twin for reconfigurable additive manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, *56*, 598–604.
- Caldeira, C., RB de Souza, C., Machado, L., Perin, M., & Bjørn, P. (2022). Crisis Readiness: Revisiting the Distance Framework During the COVID-19 Pandemic. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 1–37.
- Cao, J., Dai, H., Li, S., Guo, C., Ho, M., Cai, W., He, J., Huang, H., Li, J., Liu, Y., Qian, H., Wang, C., Wu, L., & Zhang, X. (2021). The general equilibrium impacts of carbon tax policy in China: A multi-model comparison. *Energy Economics*, *99*, 105284.
- Cao, L. (2022). AI in Finance: Challenges, Techniques, and Opportunities. *ACM Comput. Surv.*, *55*(3), 64.
- Cao, P., Zhao, D., & Zaiane, O. (2013). An optimized cost-sensitive SVM for imbalanced data learning. In *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Berlin, Heidelberg*, 280–292,
- Capar, I., Kuby, M., Leon, V., Jorge, & Tsai, Y. J. (2013). An arc cover-path-cover formulation and strategic analysis of alternative-fuel station locations. *European Journal of Operational Research*, *227*(1), 142–151.
- Care (2022). Retrieved from <https://www.care.com/>.
- Carnevale, J. B., & Hatak, I. (2020). Employee Adjustment and Well-being in the era of COVID-19: Implications for Human Resource Management. *Journal of Business Research*, *116*, 183–187.
- Carroll, A. (1979). A Three-Dimensional Conceptual Model of Social Performance. *Academy of Management Review*, *4*, 497–505.
- Carroll, A. (1999). Corporate social responsibility: Evolution of a definitional construct. *Business & Society*, *38*, 268–295.
- Carroll, A. (1991). The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders. *Business Horizons*, *34*(4), 39–48.
- Castañeda, J. A., Brennan, M., & Goentzel, J. (2019). A behavioral investigation of supply chain contracts for a newsvendor problem in a developing economy. *International*

- Journal of Production Economics*, 210, 72–83.
- Caunhye, A. M., Nie, X., & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4–13.
- Cerdan, C., Gazulla, C., Raugei, M., Martinez, E., & Fullana-i-Palmer, P. (2009). Proposal for new quantitative eco-design indicators: a first case study. *Journal of Cleaner Production*, 17, 1638–1643.
- Chan, C. L., Lin, W., Yang, N. P., Lai, K., & Huang, H. T. (2015). Pre-Emergency Department Care-Seeking Patterns Are Associated with the Severity of Presenting
- Chan, K. Y., Kwong, C. K., Dillon, T. S., & Fung, K. Y. (2011). An intelligent fuzzy regression approach for affective product design that captures nonlinearity and fuzziness. *Journal of Engineering Design*, 22(8), 523–542.
- Chang, I. C., Li, Y. C., Wu, T. Y., & Yen, D. C. (2012). Electronic medical record quality and its impact on user satisfaction-Healthcare providers' point of view. *Government Information Quarterly*, 29(2), 235–242.
- Chang, K. H. (2012). Stochastic Nelder-Mead Simplex Method - A new globally convergent direct search method for simulation optimization. *European Journal of Operational Research*, 220(3), 684–694.
- Chang, K. H. (2016). Risk-controlled product mix planning in semiconductor manufacturing using simulation optimization. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 29(4), 411–418.
- Chang, K. H., Cuckler, R., & Chen, C. H. (2021). An efficient direct search method for simulation optimization with conditional-expectation-based objectives. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, In Press.
- Chang, K. H., Cuckler, R., Lee, S. L., & Lee, L. H. (2022a). Discrete conditional-expectation-based simulation optimization: Methodology and applications. *European Journal of Operational Research*, 298(1), 213–228.
- Chang, K. H., Hsiung, T. Y., & Chang, T. Y. (2022b). Multi-commodity distribution under uncertainty in disaster response phase: Model, solution method, and an empirical Study. *European Journal of Operational Research*, In Press.
- Chang, P. C. (2022). MC-based simulation approach for two-terminal multi-state network reliability evaluation without knowing d -MCs. *Reliability Engineering & System Safety*, 220, 108289.
- Chapman, J. (2006). Anxiety and defective decision making: An elaboration of the groupthink model. *Management Decision*, 44(10), 1391–1404
- Chatterjee, S., Chaudhuri, R., Vrontis, D., Thrassou, A., & Ghosh, S. K. (2021). Adoption of artificial intelligence-integrated CRM systems in agile organizations in India. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120783.
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321–357.
- Chawla, N. V., Lazarevic, A., Hall, L. O., & Bowyer, K. W. (2003). SMOTEBoost: Improving prediction of the minority class in boosting. *European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery, Berlin, Heidelberg*, 107–119.
- Chen L. W., Zuo Z., Medoff D., Holcomb H. H., Lahti A. C., & Tamminga C. A. (1997). How many subjects? A Monte Carlo bootstrap simulation for functional imaging. *Schizophrenia Research*, 24, 164–164.
- Chen, B., Wan, J., Lan, Y., Imran, M., Li, D., & Guizani, N. (2019). Improving cognitive ability of edge intelligent IIoT through machine learning. *IEEE network*, 33(5), 61–67.
- Chen, D. (2017). Research on traffic flow prediction in the Big Data environment based on the improved RBF neural network. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(1), 2000–2008.
- Chen, F. (2005). Salesforce incentives, market information, and production/inventory planning.

- Management Science*, 51(1), 60–75.
- Chen, L., Li, T., & Zhang, T. (2021). Supply Chain Leadership and Firm Performance: A Meta-analysis. *International Journal of Production Economics*, 235, 108082.
- Chen, L., Yi, J., Li, S., & Tong, T. W. (2022). Platform governance design in platform ecosystems: implications for complementors' multihoming decision. *Journal of Management*, 48(3), 630–656.
- Chen, S., Campbell, M., Che, C., & Chen, S. (2020). Inside the Dystopian Post-lockdown World of Wuhan. *Bloomberg Businessweek*.
- Chen, T. L., & Wang, C. C. (2016) Multi-objective simulation optimization for medical capacity allocation in emergency department, *Journal of Simulation*, 10(1), 50–68.
- Chen, X., & Lin, B. (2021). Towards carbon neutrality by implementing carbon emissions trading scheme: Policy evaluation in China. *Energy Policy*, 157, 112510.
- Chen, X., Jia, S., & Xiang, Y. (2020). A review: knowledge reasoning over knowledge graph. *Expert Systems with Applications*, 141, 112948.
- Chen, X., Sim, M., & Sun, P. (2007). A Robust Optimization Perspective on Stochastic Programming. *Operations Research*, 55(6), 1058–1071.
- Chen, Y. F., Lin, Y. K., & Huang, C. F. (2021). Using Deep Neural Networks to Evaluate the System Reliability of Manufacturing Networks. *International Journal of Performability Engineering*, 17(7).
- Chen, Y. H., Sijm, J., Hobbs, B. F., & Lise, W. (2008). Implications of CO2 emissions trading for short-run electricity market outcomes in northwest Europe. *Journal of Regulatory Economics*, 34(3), 251–281.
- Chen, Y., Hobbs, B. F., Leyffer, S., & Munson, T. S. (2006). Leader-follower equilibria for electric power and NO x allowances markets. *Computational Management Science*, 3(4), 307–330.
- Chen, Z., Gong, Z., Yang, S., Ma, Q., & Kan, C. (2020). Impact of extreme weather events on urban human flow: A perspective from location-based service data. *Computers. Environment and Urban Systems*, 83, 101520.
- Cheng, H. F., Wang, R., Zhang, Z., O'Connell, F., Gray, T., Harper, F. M., & Zhu, H. (2019). Explaining decision-making algorithms through UI: Strategies to help non-expert stakeholders. In *2019 chi conference on human factors in computing systems*.
- Cheng, Y., Zhang, Y., Ji, P., Xu, W., Zhou, Z., & Tao, F. (2018). Cyber-physical Integration for Moving Digital Factories Forward Towards Smart Manufacturing: a survey. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1), 1209–1221.
- Cherrington, M., Lu, Z., Xu, Q., Thabtah, F., Airehrour, D., & Madanian, S. (2020). Digital asset management: new opportunities from high dimensional data—a new zealand perspective. *Advances in Asset Management and Condition Monitoring. Smart Innovation, Systems and Technologies*, 166.
- Chesbrough, H., & Spohrer, J. (2006). A research manifesto for services science. *Communications of the ACM*, 49(7), 35–40.
- Chesterman, S. (2019). Artificial Intelligence and the Problem of Autonomy. *SSRN Electronic Journal*.
- Chiu, M., Zinchenko, Y., Henderson, S. G. & Sharpe, M. B. (2005). Robust optimization for intensity modulated radiation therapy treatment planning under uncertainty. *Physics in Medicine and Biology*, 50(23), 5463–5477.
- Chkanikova, O., & Sroufe, R. (2021). Third-party sustainability certifications in food retailing: Certification design from a sustainable supply chain management perspective. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124344.
- Cho, Y. S., Jung, J. Y., & Linderman, K. (2017). The QM evolution: Behavioral quality management as a firm's strategic resource. *International Journal of Production Economics*, 191, 233–249.
- Chod, J., Trichakis, N., Tsoukalas, G., Aspegren, H., & Weber, M. (2020). On the financing

- benefits of supply chain transparency and blockchain adoption. *Management Science*, 66(10), 4378–4396.
- Choi, T. M. (2021). Fighting against COVID-19: What operations research can help and the sense-and-respond framework. *Annals of Operations Research*, 1–17.
- Choi, T. M., Taleizadeh, A. A., & Yue, X. (2020). Game theory applications in production research in the sharing and circular economy era. *International Journal of Production Research*, 58(1), 118–127.
- Choi, T. M., Chan, H. K., & Yue, X. (2017). Recent development in Big Data analytics for business operations and risk management. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 47(1), 81–92.
- Chou, C. A., Cao, Q., Weng, S. J., & Tsai, C. H. (2020). Mixed-integer optimization approach to learning association rules for unplanned ICU transfer. *Artificial Intelligence in Medicine*, 103, 101806.
- Christin, A. (2017). Algorithms in practice: Comparing web journalism and criminal justice. *Big Data & Society*, 4(2), 2053951717718855.
- Chuah, H. W., Tseng, M. L., Wu, K. J., & Cheng, C. F. (2021). Factors influencing the adoption of sharing economy in B2B context in China: Findings from PLS-SEM and fsQCA. *Resources, Conservation & Recycling*, 175, 105892.
- Ciani, O., Tarricone, R., & Torbica, A. (2012). Diffusion and use of health technology assessment in policy making: What lessons for decentralised healthcare systems? *Health Policy*, 108(2–3), 194–202.
- Claxton, K., Paulden, M., Gravelle, H., Brouwer, W., & Culyer, A. J. (2011). Discounting and decision making in the economic evaluation of health-care technologies. *Health Economics*, 20(1), 2–15.
- Cobanoglu, C., Terrah, A., Hsu, M. J., Corte, V. D., & Gaudio, G. D. (2022). A systematic review of big data: research approaches and future prospects. *Journal of Smart Tourism*, 2(1), 21–31.
- Coelho, T. M., Castro, R., & Gobbo Jr, J. A. (2011). PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, conservation and recycling*, 55(3), 291–299.
- Cohen, M. C., Lobel, R., & Perakis, G. (2016). The impact of demand uncertainty on consumer subsidies for green technology adoption. *Management Science*, 62(5), 1235–1258.
- Colak, I., Sagiroglu, S., & Yesilbudak, M. (2012). Data mining and wind power prediction: A literature review. *Renewable Energy*, 46, 241–247.
- Colbourn, C. J. (1987). The combinatorics of network reliability. *Oxford University Press*, NY.
- Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(4), 469–483.
- Colin, M., Galindo, R., & Hernández, O. (2015). Information and communication technology as a key strategy for efficient supply chain management in manufacturing SMEs. *Procedia Computer Science*, 55, 833–842.
- Columbus, L. (2015). Ten Ways Big Data Is Revolutionizing Supply Chain Management. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2015/07/13/ten-ways-big-data-isrevolutionizing-supply-chain-management/#20ffb01269f5>.
- Condition for Emergency Department Visit and Subsequent Adverse Events: A Tim eframe Episode Analysis. *PLOS ONE*, 10(6), e0127793.
- Cong, J. J., & Zhou, W. (2020). Inflexible Repositioning: Commitment in Competition and Uncertainty. *Management Science*, 66(9), 4207–4225.
- Cook, D. J., Augusto, J. C., & Jakkula, V. R. (2009). Ambient intelligence: technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 5(4), 277–298.
- Cooper, R. G. (2019). The drivers of success in new-product development. *Industrial Marketing Management*, 76, 36–47.

- Cranmer, E. E., Urquhart, C., tom Dieck, M. C., & Jung, T. (2021). Developing augmented reality business models for SMEs in tourism. *Information & Management*, 58(8), 103551.
- Cranmer, E., & Dieck, T. M. C., & Fountoulaki, P. (2020). Exploring the value of augmented reality for tourism. *Tourism Management Perspectives*, 35, 100672.
- Creswell, A., White, T., Dumoulin, V., Arulkumaran, K., Sengupta, B., & Bharath, A. A. (2018). Generative adversarial networks: An overview. *IEEE signal processing magazine*, 35(1), 53–65.
- Croson, D., Croson, R., & Ren, Y. (2008). How to manage an overconfident agent, Working Paper, *UT Dallas*.
- Cuda, R., Guastaroba, G., & Speranza, M. G. (2015). A survey on two-echelon routing problems. *Computers & Operations Research*, 55, 185–199.
- Curtis, C., Liu, C., Bollerman, T. J., & Pinykh, O. S. (2018). Machine learning for predicting patient wait times and appointment delays. *Journal of the American College of Radiology*, 15, 1310–1316.
- Daddi, T., Heras-Saizarbitoria, I., Marrucci, L., Rizzi, F., & Testa, F. (202). The effects of green supply chain management capability on the internalisation of environmental management systems and organisation performance. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 28(4), 1241–1253.
- Dahl, G., Yu, D., Deng, L., & Acero, A. (2012). Context-dependent pre-trained deep neural networks for large-vocabulary speech recognition. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20(1), 30–42.
- D'amato, D., & Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*, 188, 107143.
- Dantzig, G. B. (1955). Linear Programming under Uncertainty. *Management Science*, 1(3-4), 197–206.
- Darmanayagam, S. E., Harichandran, K. N., Cyril, S. R. R. & Arputharaj, K. (2013). A novel supervised approach for segmentation of lung parenchyma from chest CT for computer-aided diagnosis. *Journal of Digital Imaging*, 26(3), 496–509.
- Das, C., & Jharkharia, S. (2018). Low carbon supply chain: A state-of-the-art literature review. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(2), 398–428.
- Davardoost, F., Babazadeh Sangar, A., & Majidzadeh, K. (2020). Extracting OLAP cubes from document-oriented NoSQL database based on parallel similarity algorithms. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 43(2), 111–118.
- Davila-Frias, A., & Yadav, O. P. (2020). All-terminal network reliability estimation using convolutional neural networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 1748006X20969465.
- Dawood, S., Crosbie, T., Dawood, N., & Lord, R. (2013). Designing low carbon buildings: A framework to reduce energy consumption and embed the use of renewables. *Sustainable Cities and Society*, 8, 63–71.
- De Blok, C., Meijboom, B., Luijkx, K., & Schols, J. (2013). The human dimension of modular care provision: opportunities for personalization and customization. *International Journal of Production Economics*, 142(1), 16–26.
- De Silva, L.C.; Morikawa, C., & Petra, I.M. (2012). State of the art of smart homes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25, 1313–1321.
- De Souza, E. D., Kerber, J. C., Bouzon, M., & Rodriguez, C. M. T. (2022). Performance evaluation of green logistics: Paving the way towards circular economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100019.
- Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics-An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671–679.
- Delage, E., & Ye, Y. (2010). Distributionally Robust Optimization Under Moment Uncertainty with Application to Data-Driven Problems. *Operations Research*, 58(3),

595–612.

- Dellarocas, C., Katona, Z., & Rand, W. (2013). Media, Aggregators, and the Link Economy: Strategic Hyperlink Formation in Content Networks. *Management Science*, 59(10), 2360–2379.
- Demirbilek, O., & Demirkan, H. (2004). Universal product design involving elderly users: a participatory design model. *Applied Ergonomics*, 35(4), 361–370.
- Demirkan, H. (2007). Housing for the aging population. *European Review of Aging and Physical Activity*, 4, 33–38.
- Deng, X., & Jiang, W. (2019). Evaluating green supply chain management practices under fuzzy environment: a novel method based on D number theory. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(5), 1389–1402.
- Dey, S. S., Dubey, Y., Molinaro, M., & Shah, P. (2021). A theoretical and computational analysis of full strong-branching. *arXiv preprint arXiv:2110.10754*.
- Déziel, J. L., Merriaux, P., Tremblay, F., Lessard, D., Plourde, D., Stanguennec, J., Goulet, P., & Olivier, P. (2021). PixSet: an opportunity for 3D computer vision to go beyond point clouds with a full-waveform LiDAR dataset. In *24th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 19–22 September 2012, Indianapolis, USA*, 2987–2993.
- DHL Trend Research. (2015). Omni-channel logistics - ADHL perspective on implications and use cases for the logistics industry. Retrieved from http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_omnichannel.pdf, accessed 2019/9/5.
- DHL. (2015). Omni-channel logistics. Retrieved from http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_omnichannel.pdf.
- Diehl, E., & Sterman, J. D. (1995). Effects of feedback complexity on dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 62(2), 198–215.
- Dinar, A., & Hogarth, M. (2015). Game theory and water resources: Critical review of its contributions, progress and remaining challenges. *Foundations and Trends in Microeconomics*, 11, 1–139.
- Ding, K., Chan, F. T., Zhang, X., Zhou, G., & Zhang, F. (2019). Defining a digital twin-based cyber-physical production system for autonomous manufacturing in smart shop floors. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6315–6334.
- Ding, Y., Jin, M., Li, S., & Feng, D. (2020). Smart logistics based on the internet of things technology: An overview. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(4), 323–345.
- Dionisio, J. D. N., III, W. G. B., & Gilbert, R. (2013). 3D virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 45(3), 1–38.
- Dirkse, S. P., & Ferris, M. C. (1995). The PATH solver: a nonmonotone stabilization scheme for mixed complementarity problems. *Optimization Methods Software*, 5(2), 123–156.
- Doerr, K. H., Mitchell, T. R., Schriesheim, C. A., Freed, T., & Zhou, X. (2002). Note: Heterogeneity and variability in the context of flow lines. *Academy of Management Review*, 27(4), 594–607.
- Doğan, B., Chu, L. K., Ghosh, S., Diep Truong, H. H., & Balsalobre-Lorente, D. (2022). How environmental taxes and carbon emissions are related in the G7 economies? *Renewable Energy*, 187, 645–656.
- Dong, J. Q. (2021). Technological choices under uncertainty: Does organizational aspiration matter? *Strategic Management Journal*, 42(5), 898–916.
- Donnelly, K., Beckett-Furnell, Z., Traeger, S., Okrasinski, T., & Holman, S. (2006). Eco-design implemented through a product-based environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1357–1367.
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., & Hounsby, N. (2021). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. doi: 10.48550/arxiv.2010.11929.

- Du, H., Ma, B., Niyato, D., & Kang, J. (2022). Rethinking Quality of Experience for Metaverse Services: A Consumer-based Economics Perspective. *arXiv:2208.01076*.
- Duan, L., Xu, D., & Chang, S. F. (2012). Exploiting web images for event recognition in consumer videos: A multiple source domain adaptation approach. In *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1338–1345.
- Duan, L., Xu, D., & Tsang, I. (2012). Learning with augmented features for heterogeneous domain adaptation. *arXiv preprint arXiv:1206.4660*.
- Dubois, A., & Gadde, L. E. (2002). Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of business research*, 55(7), 553–560.
- Dües, C. M., Tan, K. H., & Lim, M. (2013). Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93–100.
- Duong, L. T., Nguyen, P. T., Di Sipio, C., & Di Ruscio, D. (2020). Automated fruit recognition using EfficientNet and MixNet. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105326.
- Eckhardt, J., Aarts, L., van Vliet, A., & Alkim, T. (2016). European truck platooning challenge 2016. The Hague, Delta3.
- Efron B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction of the Bootstrap*, Chapman & Hall, Inc. New York.
- Egger, J., & Masood, T. (2020). Augmented reality in support of intelligent manufacturing—a systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106195.
- Ehsan, U., Liao, Q. V., Muller, M. J., Riedl, M. O., & Weisz, J. D. (2021). Expanding Explainability: Towards Social Transparency in AI systems. In *2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Ejimogu, O.H., & Basaran, S. (2017). A systematic mapping study on soft computing techniques to cloud environment, *Procedia Computer Science*, 120, 31–38.
- Elalouf, A., & Wachtel, G. (2022). Queueing Problems in Emergency Departments: A Review of Practical Approaches and Research Methodologies. *Operations Research Forum*, 3(1), 1–46.
- Eltamaly, A. M., Alotaibi, M. A., Alolah, A. I., & Ahmed, M. A. (2021). A novel demand response strategy for sizing of hybrid energy system with smart grid concepts. *IEEE Access*, 9, 20277–20294.
- Erera, A. L., Morales, J. C., & Savelsbergh, M. (2009). Robust Optimization for Empty Repositioning Problems. *Operations Research*, 57(2), 468–483.
- Erlang, A. K. (1909). The theory of probabilities and telephone conversations. *Nyt Tidsskrift for Matematik B*, 20, 33–39.
- Eskandarpour, M., Dejax, P., Miemczyk, J., & Péton. O. (2015). Sustainable supply chain network design: an optimization-oriented review. *Omega*, 54, 11–32.
- Espíndola, O. R., Albores, P., & Brewster, C. (2018). Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 978–993.
- Esposito Amideo, A., Scaparra, M. P., & Kotiadis, K. (2019). Optimising shelter location and evacuation routing operations: The critical issues. *European Journal of Operational Research*, 279(2), 279–295.
- Falavigna, G., Ippoliti, R. & Manello, A. (2013). Hospital organization and performance: A directional distance function approach. *Health Care Management Science*, 16(2), 139–151.
- Fan, X., Chen, K., & Chen, Y. J. (2022). Is Price Commitment a Better Solution to Control Carbon Emissions and Promote Technology Investment? *Management Science*, <https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.4365>.
- Fan, Z. P., Wu, X. Y., & Cao, B. B. (2020). Considering the traceability awareness of consumers: should the supply chain adopt the blockchain technology? *Annals of Operations Research*, 309, 837–860.
- Fang, T. P., Wu, A., & Clough, D. R. (2021). Platform diffusion at temporary gatherings: Social

- coordination and ecosystem emergence. *Strategic Management Journal*, 42(2), 233–272.
- Farahani, R. Z., Lotfi, M. M., Baghaian, A., Ruiz, R., & Rezapour, S. (2020). Mass casualty management in disaster scene: A systematic review of OR&MS research in humanitarian operations. *European Journal of Operational Research*, 287(3), 787–819.
- Faruk, M. J. H., Shahriar, H., Valero, M., Sneha, S., Ahamed, S. I., & Rahman, M. (2021). Towards Blockchain-Based Secure Data Management for Remote Patient Monitoring. In *2021 IEEE International Conference on Digital Health (ICDH), 5–10 September, 2021*.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications* (No. 006.3). Prentice-Hall,
- Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA) (2019). Risk assessment with the key indicator methods (KIM), Retrieved from https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/Key-indicator-method_node
- Fehr, E., & Schmidt, K. M. (1999). A theory of fairness, competition, and cooperation. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 817–868.
- Fernández, A., Garcia, S., Herrera, F., & Chawla, N. V. (2018). SMOTE for learning from imbalanced data: progress and challenges, marking the 15-year anniversary. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 61, 863–905.
- Fernando, Y., Tseng, M. L., Nur, G. M., & Ikhsan, R. B. (2022a). Practicing circular economy performance in Malaysia: Managing supply chain disruption and technological innovation capability under Industry 4.0. *International Journal of Logistics-Research and Applications* (Article in Press).
- Fernando, Y., Tseng, M. L., Wahyuni-TD, I. S., Sroufe, R., & Mohd-Zailani, N. I. A. (2022b). Blockchain Technology Adoption for Carbon Trading and Energy Efficiency: ISO Manufacturing Firms in Malaysia. *International Journal of Logistics Research and Application* (Article in Press).
- Ferris, M. C., & Pang, J. S. (1997). Complementarity and variational problems: state of the art. SIAM Publications. *Philadelphia*, 92, 40–61.
- Fesenfeld, L. P., Sun, Y., Wicki, M., & Bernauer, T. (2021, 2021/05/01/). The role and limits of strategic framing for promoting sustainable consumption and policy. *Global Environmental Change*, 68, 102266.
- Fetterolf, E. (2022). It's Crowded at the Bottom: Trust, Visibility, and Search Algorithms on Care.com. *Journal of Digital Social Research*, 4, 49–72.
- Feuz, K. D., & Cook, D. J. (2015). Transfer learning across feature-rich heterogeneous feature spaces via feature-space remapping (FSR). *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 6(1), 3.
- Filliger, R., & Hongler, M. O. (2005). Cooperative flow dynamics in production lines with buffer level dependent production rates. *European Journal of Operational Research*, 167(1), 116–128.
- Fitzgerald, K., Pelletier, L., & Reznek, M. A. (2017). A queue-based Monte Carlo analysis to support decision making for implementation of an emergency department fast track. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 6536523.
- Flage R., & Aven T. (2015). Emerging risk - conceptual definition and a relation to black swan types of events. *Reliability Engineering and System Safety*, 144, 61–67.
- Følstad, A., Nordheim, C. B., & Bjørkli, C. A. (2018). What makes users trust a chatbot for customer service? An exploratory interview study. In *International Conference on Internet Science*, 194–208.
- Ford, L. R., & Fulkerson, D. R. (1962). *Flows in networks*, Princeton University, NJ.
- Forghani-elahabad, M., & Kagan, N. (2019). Reliability evaluation of a stochastic-flow network in terms of minimal paths with budget constraint. *IISE Transactions*, 51(5), 547–558.
- Formentini, M., & Taticchi, P. (2016). Corporate sustainability approaches and governance mechanisms in sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner*

- Production, 112*, 1920–1933.
- Fox, R. R., Brogmus, G. E., & Maynard, W. S. (2015). Aging workers & ergonomics: a fresh perspective, *Professional Safety, 60*(1), 33–41.
- Freeman, R.E. (1983). Strategic management: a stakeholder approach, *Advances in Strategic Management, 1*(1), 31–60.
- Friendly, M., & Wainer, H. (2021). *A history of data visualization and graphic communication*. Harvard University Press.
- Frolovicheva, K. (2006). The emergence of service science: towards systematic service innovations to accelerate the coproduction of value. *Journal of Global Business and Technology, 2*(2), 39–55.
- Fry, J., & Binner, J. M. (2016). Elementary modelling and behavioural analysis for emergency evacuations using social media. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 1014–1023.
- Fu, C., Lv, Q., Tseng, M. L., Wu, X., & Lim, M. K. (2022). A polynomial scale transformation and improved wiener process for a novel lithium-ion battery performance degradation model: Remaining useful life performance. *Journal of Ambient Intelligent and Humanized Computing, 1*–10.
- Fu, J., Zhong, P. A., Zhu, F., Chen, J., Wu, Y. N., & Xu, B. (2018). Water Resources Allocation in Transboundary River Based on Asymmetric Nash-Harsanyi Leader-Follower Game Model. *Water, 10*, 270.
- Fu, M. C. (2002). Optimization for simulation: Theory vs. practice. *INFORMS Journal on Computing, 14*(3), 192–215.
- Gabriel, S. A., Conejo, A. J., Hobbs, B. F., Fuller, D., & Ruiz, C. (2013). *Complementarity Modeling in Energy Markets*. Springer, New York.
- Gaiardelli, P., Pezzotta, G., Rondini, A., Romero, D., Jarrahi, F., Bertoni, M., Wiesner, S., Wuest, T., Larsson, T., Zaki, M., Jussen, P., Boucher, X., Bigdeli, A.Z., & Cavalieri, S. (2021). Product-service systems evolution in the era of Industry 4.0. *Service Business, 15*(1), 177–207.
- Gallego, G., & van Ryzin, G. (1994). Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons. *Management Science, 40*(8), 999–1020.
- Galli, B. J. (2018). Application of system engineering to project management: How to view their relationship. *International Journal of System Dynamics Applications, 7*(4), 76–97.
- Gams, M., Gu, I. Y. H., Härmä, A., Muñoz, A., & Tam, V. (2019). Artificial intelligence and ambient intelligence, *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 11*(1), 71–86.
- Gan, S., Liang, S., Li, K., Deng, J., & Cheng, T. (2018). Trajectory length prediction for intelligent traffic signaling: A data-driven approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19*(2), 426–435.
- Gandomi, A. H., Chen, F., & Abualigah, L. (2022). Machine learning technologies for big data analytics. *Electronics, 11*(3), 421.
- Gao, F., & Souza, G. C. (2022). Carbon offsetting with eco-conscious consumers. *Management Science*, <https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.4293>.
- Gao, X., Hewings, G. J., & Yang, C. (2022). Offshore, re-shore, re-offshore: what happened to global manufacturing location between 2007 and 2014? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*.
- Gao, X., Huang, G., Zhao, Q., Cao, C., & Jiang, H. (2022). Robust optimization model for medical staff rebalancing problem with data contamination during COVID-19 pandemic. *International Journal of Production Research, 60*(5), 1737–1766.
- Garla, V. N., & Brandt, C. (2012). Ontology-guided feature engineering for clinical text classification. *Journal of Biomedical Informatics, 45*(5), 992–998.
- Gartner (2021). Gartner Identifies the Top Strategic Technology Trends for 2022. Analysts Explore Industry Trends at Gartner IT Symposium/Xpo 2021, Americas. Retrieved from

- <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-10-18-gartner-identifies-the-top-strategic-technology-trends-for-2022>.
- Gartner. (2019). Gartner Says Worldwide Customer Experience and Relationship Management Software Market Grew 15.6% In 2018, Retrived from: <https://www.Gartner.Com/En/Newsroom/Press-Releases/2019-06-17-Gartner-Says-Woldwide-Customer-Experience-And-Relati>.
- Garzón, J. (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7), 37.
- Garzón, J., Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100334.
- Gauthier, J., Vincent, A. T., Charette, S. J., & Derome, N. (2019). A brief history of bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics*, 20(6), 1981–1996.
- Gawusu, S., Zhang, X., Jamatutu, S. A., Ahmed, A., Amadu, A. A., & Djam Miensah, E. (2022). The dynamics of green supply chain management within the framework of renewable energy. *International Journal of Energy Research*, 46(2), 684–711.
- Gelper, S., van der Lans, R., & van Bruggen, G. (2021). Competition for Attention in Online Social Networks: Implications for Seeding Strategies. *Management Science*, 67(2).
- Geng, S., Vrakopoulou, M., & Hiskens, I. A. (2020). Optimal capacity design and operation of energy hub systems. *Proceedings of the IEEE*, 108(9), 1475–1495.
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 12(1), 78–104.
- Ghadimi, P., Wang, C., & Lim, M. K. (2019). Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 72–84.
- Ghahramani, M., Qiao, Y., Zhou, M., O’Hagan, A., & Sweeney, J. (2020). AI-Based Modeling and Data-Driven Evaluation for Smart Manufacturing Processes. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(4), 1026.
- Ghamizi, S., Rwemalika, R., Veiber, L., Cordy, M., Bissyandé, T. F., Papadakis, M., Klein, J., & Le Traon, Y. (2020). Data-driven simulation and optimization for covid-19 exit strategies. In *26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 6-10 July 2020, CA USA*, 3434–3442.
- Ghavamzadeh, M., Mannor, S., Pineau, J., & Tamar, A. (2015). Bayesian reinforcement learning: A survey. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 8(5–6), 359–483.
- Ghiasi, G., Lin, T. Y., & Le, Q.V. (2019). NAS-FPN: Learning scalable feature pyramid architecture for object detection. In *2019 IEEE/CVF Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 15–20 June 2019, Long Beach, USA*, 7029–7038.
- Ghorbani, A., Wexler, J., Zou, J. Y., & Kim, B. (2019). Towards automatic concept-based explanations. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32.
- Gibney, E. (2022). Open-source language AI challenges big tech’s models. *Nature*, 606, 850–851.
- Gim, B., & Yoon, W.L. (2012). Analysis of the economy of scale and estimation of the future hydrogen production costs at on-site hydrogen refueling stations in Korea. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(24), 19138–19145.
- Gimenez, C., & Sierra, V. (2013). Sustainable supply chains: Governance mechanisms to greening suppliers. *Journal of Business Ethics*, 116(1), 189–203.
- Gimenez, C., & Tachizawa, E. M. (2012). Extending sustainability to suppliers: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(5), 531–543.
- Gino, F., & Pisano, G. (2008). Toward a theory of behavioral operations. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(4), 676–691.
- Glazer, H. (1958). Jockeying in queues. *Operations Research*, 6, 145.

- Glikson, E., & Woolley, A. W. (2020). Human trust in artificial intelligence: Review of empirical research. *Academy of Management Annals*, *14*(2), 627–660.
- Gogas, P., & Papadimitriou, T. (2021). Machine Learning in Economics and Finance. *Computational Economics*, *57*(1), 1–4.
- Goh, J., & Sim, M. (2010). Distributionally Robust Optimization and Its Tractable Approximations. *Operations Research*, *58*(4), 902–917.
- Goldstein, D. G., McAfee, R. P., Suri, S., & Wright, J. R. (2019). Learning When to Stop Searching. *Management Science*.
- Göllei, A., Görbe, P., & Magyar, A. (2012). Modeling and optimization of electrical vehicle batteries in complex clean energy systems. *Journal of Cleaner Production*, *34*, 138–145.
- González-Mora, C., Barros, C., Garrigós, I., Zubcoff, J., Lloret, E., & Mazón, J. N. (2023). Improving open data web API documentation through interactivity and natural language generation. *Computer Standards & Interfaces*, *83*, 103657.
- Gopalakrishnan, S., Granot, D., Granot, F., Sošić, G., & Cui, H. (2021). Incentives and emission responsibility allocation in supply chains. *Management Science*, *67*(7), 4172–4190.
- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zühlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 27-30 July 2014, Porto Alegre, Brazil*.
- GoShare (2022). Retrieved from <https://www.ridegoshare.com/>.
- Gottberg, A., Morris, J., Pollard S., Mark-Herbert, C., & Cook, M. (2006). Producer responsibility, waste minimisation and the WEEE Directive: Case studies in eco-design from the European lighting sector, *Science of the Total Environment*, *359*(1–3), 38–56.
- Goulart, C., Valadão, C., Delisle-Rodriguez, D., Tavares, D., Caldeira, E., & Bastos-Filho, T. (2019). Emotional state analysis through infrared thermal imaging. *XXVI Brazilian Congress on Biomedical Engineering*, 199–203.
- Govindan, K., Cheng, T. E., Mishra, N., & Shukla, N. (2018). Big data analytics and application for logistics and supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *114*, 343–349.
- Govindarajan, P., & Raichandran, K. S. (2016). Comparative study of soft-computing methodologies and its medical applications, *Biomedical Research*, *27*(2), 364–367.
- Green, B., & Chen, Y. (2019). Disparate interactions: An algorithm-in-the-loop analysis of fairness in risk assessments. In *Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*.
- Gregor, T., Krajčovič, M., & Więcek, D. (2017). Smart connected logistics. *Procedia Engineering*, *192*, 265–270.
- Griffin, J., Xia, S., Peng, S., & Keskinocak, P. (2012). Improving patient flow in an obstetric unit. *Health Care Management Science*, *15*(1), 1–14.
- Grigoroudis, E., Orfanoudaki, E., & Zopounidis, C. (2012). Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. *Omega*, *40*(1), 104–119.
- Grimm, J. H., Hofstetter, J. S., & Sarkis, J. (2016). Exploring sub-suppliers' compliance with corporate sustainability standards. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 1971–1984.
- Gronroos, C. (1990). Service management: a management focus for service competition. *International Journal of Service Industry Management*, *1*(1), 6–14.
- Grudin, J. (1994). Computer-supported cooperative work: History and focus. *Computer*, *27*(5), 19–26.
- Guerola-Navarro, V., Gil-Gomez, H., Oltra-Badenes, R., & Sendra-García, J. (2021). Customer relationship management and its impact on innovation: a literature review. *Journal of Business Research*, *129*, 83–87.
- Gul, M. J. J., & Paul, A. (2023). IoT Geography Chain: Blockchain-Based Solution for Logistics Ecosystem. *The Fifth International Conference on Safety and Security with IoT*,

191–194.

- Gulati, K., Boddu, R. S. K., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., & Saravanan, G. (2022). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings*, 51(1), 161–165.
- Gunasekera, M. Y., & Edwards, D. W. (2006). Assessing the inherent atmospheric environmental friendliness of chemical process routes: An unsteady state distribution approach for a catastrophic release. *Computers and Chemical Engineering*, 30, 744–757.
- Gundu, V., & Simon, S. P. (2021). PSO-LSTM for short term forecast of heterogeneous time series electricity price signals. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12 (2), 2375–2385.
- Gunning, D. (2017). Explainable artificial intelligence (xai). *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Nd Web*, 2.
- Gunning, D., & Aha, D. (2019). DARPA's explainable artificial intelligence (XAI) program. *AI magazine*, 40(2), 44–58.
- Guo, H., Gu, H., Zhou, Y. & Peng, J., (2022) A data-driven multi-fidelity simulation optimization for medical staff configuration at an emergency department in Hong Kong, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 34, 238–262.
- Guo, H., Wang, R., Garfin, G. M., Zhang, A., Lin, D., Liang, Q. O., & Wang, J. A. (2021). Rice drought risk assessment under climate change: Based on physical vulnerability a quantitative assessment method. *Science of The Total Environment*, 751, 141481.
- Guo, Z., Zhang, Y., Zhao, X., & Song, X. (2020). Cps-based self-adaptive collaborative control for smart production-logistics systems. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 51(1), 188–198.
- Gupta, D. (2013). Queueing models for healthcare operations. *Handbook of Healthcare Operations Management*, 19–44.
- Hagl, R., & Duane, A. (2020). Exploring how augmented reality and virtual reality technologies impact business model innovation in technology companies in Germany. In *Augmented Reality and Virtual Reality*, 75-84.
- Haitao Cui, T., Raju, J. S., & Zhang, Z. J. (2007). Fairness and channel coordination. *Management Science*, 53(8), 1303–1314.
- Haiyun, C., Zhixiong, H., Yüksel, S., & Dinçer, H. (2021). Analysis of the innovation strategies for green supply chain management in the energy industry using the QFD-based hybrid interval valued intuitionistic fuzzy decision approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110844.
- Halat, K., & Hafezalkotob, A. (2019). Modeling carbon regulation policies in inventory decisions of a multi-stage green supply chain: A game theory approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 807–830.
- Hämäläinen, R. P., Luoma, J., & Saarinen, E. (2013). On the importance of behavioral operational research: The case of understanding and communicating about dynamic systems. *European Journal of Operational Research*, 228(3), 623–634.
- Hamborg, K. C., Hülsmann, J., & Kaspar, K. (2014). The Interplay between Usability and Aesthetics: More Evidence for the “What Is Usable Is Beautiful” Notio. *Advances in Human-Computer Interaction*.
- Hamed, M. M. M., & Konstantinidis, S. (2021). Barriers to Incident Reporting among Nurses: A Qualitative Systematic Review. *Western Journal of Nursing Research*, 44(5), 506–523.
- Han, Z, Hu, B., & Dawande, M. (2022). Curbing Emissions: Environmental Regulations and Product Offerings Across Markets. *Manufacturing & Service Operations Management*, forthcoming.
- Hannah, E. P. (2020). India becomes country with second highest number of covid cases. Retrieved from <https://www.theguardian.com/world/2020/sep/07/india-becomes-country-with-second-highest-number-of-covid-cases>.
- Hao, F., Park, D. S., & Pei, Z. (2018). When social computing meets soft computing:

- opportunities and insights. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 8(1), 8.
- Hariharan, U., Rajkumar, K., Akilan, T., & Jeyavel, J. (2021). Smart Wearable Devices for Remote Patient Monitoring in Healthcare 4.0. In D. J. Hemanth, J. Anitha, & G. A. Tsihrintzis, *Internet of Medical Things: Remote Healthcare Systems and Applications*, 117–135.
- Harley, J. M., Lajoie, S. P., Tressel, T., & Jarrell, A. (2020). Fostering positive emotions and history knowledge with location-based augmented reality and tour-guide prompts. *Learning and Instruction*, 70, 101163.
- Harsanyi, J. C. (1967). Games with incomplete information played by “Bayesian” players, I–III Part I. The basic model. *Management Science*, 14(3), 159–182.
- Hartmann, J., & Moeller, S. (2014). Chain liability in multitier supply chains? Responsibility attributions for unsustainable supplier behavior. *Journal of Operations Management*, 32(5), 281–294.
- Hartmann, M., Hashmi, U. S., & Imran, A. (2022). Edge computing in smart health care systems: Review, challenges, and research directions. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 33(3), e3710.
- Hartono, M., Chuan, T. K., & Peacock, J. B. (2012). Cultural differences in applying Kansei Engineering to services. In *2012 Southeast Asian Network of Ergonomics Societies Conference (SEANES), 9–12 July 2012, Langkawi, Malaysia*.
- Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Information systems*, 47, 98–115.
- Hashim, J. (2015). Information communication technology (ICT) adoption among SME owners in Malaysia. *International Journal of Business and Information*, 2(2), 221–240.
- Hassin, R., & Haviv, M. (2003). *To queue or not to queue: Equilibrium behavior in queueing systems*, 59.
- He, H., Bai, Y., Garcia, E. A., & Li, S. (2008). ADASYN: Adaptive synthetic sampling approach for imbalanced learning. In *2008 IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Rio de Janeiro, Brazil*, 1322–1328.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *2016 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 27–30 June 2016, Las Vegas, USA*, 770–778.
- He, W., Tan, E. L., Lee, E. W., & Li, T. Y. (2009). A solution for integrated track and trace in supply chain based on RFID & GPS. In *2009 IEEE conference on emerging technologies & factory automation, 20–25 September 2009, Miami, FL, Unite State*.
- He, Y., & Wang, Y. (2021). Short-term wind power prediction based on EEMD–LASSO–QRNN model. *Applied Soft Computing*, 105, 107288.
- Healy, P. J., & Moore, D. A. (2007). *The Trouble with Overconfidence*, Working Paper, Carnegie-Mellon University.
- Heinermann, J., & Kramer, O. (2016). Machine learning ensembles for wind power prediction. *Renewable Energy*, 89, 671–679.
- Heinrichs, B., & Eickhoff, S. B. (2020). Your evidence? Machine learning algorithms for medical diagnosis and prediction. *Human Brain Mapping*, 41(6), 1435–1444.
- Hellmann, T., & Thiele, V. (2019). Fostering Entrepreneurship: Promoting Founding or Funding? *Management Science*, 65(6), 2502–2521.
- Helm, J. E., AhmadBeygi, S., & Van Oyen, M.P. (2012). Design and analysis of hospital admission control for operational effectiveness. *Production and Operations Management*, 20(3), 359–374.
- Hendershott, T., Zhang, X., Zhao, J. L., & Zheng, Z. (2021) FinTech as a game changer: overview of research frontiers. *Information Systems Research*, 32(1), 1–17.
- Hietanen, A., Pieters, R., Lanz, M., Latokartano, L., & Kämäräinen, J. K. (2020). AR-based interaction for human-robot collaborative manufacturing. *Robotics and Computer-*

Integrated Manufacturing, 63.

- Hill, C. A., Zhang, G. P., & Miller, K. E. (2018). Collaborative planning, forecasting, and replenishment & firm performance: an empirical evaluation. *International Journal of Production Economics*, 196, 12–23.
- Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S., & Dhir, A. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130049.
- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313(5786), 504–507.
- Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Computation*, 18(7), 1527–1554.
- Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Computation*, 18(7), 1527–1554.
- Hippold, S. (2020). Coronavirus: How to secure your supply chain. Retrieved from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/coronavirus-how-to-secure-your-supply-chain>.
- Ho, T. H., & Su, X. (2009). Peer-induced fairness in games. *American Economic Review*, 99(5), 2022–49.
- Hobbs, B. F., & Helman, U. (2004). Complementarity-based equilibrium modeling for Electric power markets. *Modeling prices in competitive electricity markets*. Wiley Series in Financial Economics, London.
- Hobbs, B. F., Metzler, C. B., & Pang, J. S. (2000). Strategic gaming analysis for electric power networks: an MPEC approach. *IEEE Transaction on Power Systems*, 15(2), 638–645.
- Hofmann, E., & Rutschmann, E. (2018). Big Data Analytics And Demand Forecasting In Supply Chains: A Conceptual Analysis. *The International Journal of Logistics Management*, 29, 739–766.
- Holden, R. J., Rivera, A. J., & Carayon, P. (2015). Occupational Macroergonomics: Principles, Scope, Value, and Methods. *IIE transactions on occupational ergonomics and human factors*, 3(1), 1–8.
- Holm, L.B., Luras, H. & Dahl, F.A. (2013). Improving hospital bed utilisation through simulation and optimization. *International Journal of Medical Informatics*, 82(2), 80–89.
- Holmquist, L. E. (2017). Intelligence on tap: artificial intelligence as a new design material. *Interactions*, 24(4), 28–33.
- Hong, I. H., & Ke, J. S. (2011). Determining advanced recycling fees and subsidies in “E-scrap” reverse supply chains. *Journal of Environmental Management*, 92(6), 1495–1502.
- Hong, L. J., & Liu, G. (2009). Simulating sensitivities of conditional value-at-risk. *Management Science*, 55(2), 281–293.
- Hong, Z., Wang, H., & Gong, Y. (2019). Green product design considering functional-product reference. *International Journal of Production Economics*, 210, 155–168.
- Hottung, A., Tanaka, S., & Tierney, K. (2017). Deep learning assisted heuristic tree search for the container pre-marshalling problem. arXiv: 1709.09972.
- Hou, H. T., Fang, Y. S., & Tang, J. T. (2021). Designing an alternate reality board game with augmented reality and multi-dimensional scaffolding for promoting spatial and logical ability. *Interactive Learning Environments*, 1–21.
- Housni, K. (2019). An efficient algorithm for enumerating all minimal paths of a graph. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(1), 450–460.
- Hoyer, W. D., Chandy, R., Dorotic, M., Krafft, M., & Singh, S. S. (2010). Consumer cocreation in new product development. *Journal of Service Research*, 13(3), 283–296.
- Hsu, C. H., Wang, F. K., & Tzeng, G. H. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 95–111.

- Hu, J., Liu, Y. L., Yuen, T. W. W., Lim, M. K., & Hu, J. (2019). Do green practices really attract customers? The sharing economy from the sustainable supply chain management perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 177–187.
- Hu, M. (2021). From the classics to new tunes: A neoclassical view on sharing economy and innovative marketplaces. *Production and Operations Management*, *30*(6), 1668–1685.
- Hu, M., Liu, W., Peng, K., Ma, X., Cheng, W., Liu, J., & Li, B. (2018). Joint routing and scheduling for vehicle-assisted multi-drone surveillance. *IEEE Internet of Things Journal*, *6*(2), 1781–1790.
- Hu, X., & Ralph, D. (2007). Using EPECs to model bilevel games in restructured electricity markets with locational prices. *Operations Research*, *55*(5), 809–827.
- Hu, X., Barnes, S., & Golden, B. (2018). Applying queueing theory to the study of emergency department operations: a survey and a discussion of comparable simulation studies. *International Transactions in Operational Research*, *25*, 7–49.
- Hu, Y., Huang, Y., Tang, J., Gao, B., Yang, M., Meng, F., & Cui, S. (2018). Evaluating agricultural grey water footprint with modeled nitrogen emission data. *Resources, Conservation and Recycling*, *138*, 64–73.
- Huang C. F., & Y. Leung. (1999). Estimating the relationship between isoseismal area and earthquake magnitude by a hybrid fuzzy-neural-network method. *Fuzzy Sets and Systems*, *107*(2), 131–146.
- Huang, A. J., Wang, H. C., & Yuan, C. W. (2014). De-virtualizing social events: understanding the gap between online and offline participation for event invitations. In *17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing*.
- Huang, C. C., Lin, C. N., Chung, C. H., Hwang, J. S., Tsai, S. T. & Wang, J. D. (2019) Cost-effectiveness analysis of the oral cancer screening program in Taiwan. *Oral Oncology*, *89*, 59–65.
- Huang, C. F., & Lin, Y. K. (2012). A stochastic node-failure network with individual tolerable error rate at multiple sinks. *International Journal of Systems Science*, *45*(5), 935–946.
- Huang, C. F., Huang, D. H., & Lin, Y. K. (2022). System reliability analysis for a cloud-based network under edge server capacity and budget constraints. *Annals of Operations Research*, *312*, 217–234.
- Huang, H. H., Wang, M. H., & Johnson, M. R. (2000). Disassembly sequence generation using a neural network approach. *Journal of Manufacturing Systems*, *19*(2), 73–82.
- Huang, H., Gartner, G., Krisp, J. M., Raubal, M., & Van de Weghe, N. (2018). Location based services: ongoing evolution and research agenda. *Journal of Location Based Services*, *12*(2), 63–93.
- Huang, H., Yao, X. A., Krisp, J. M., & Jiang, B. (2021). Analytics of location-based big data for smart cities: Opportunities, challenges, and future directions. *Computers, Environment and Urban Systems*, *90*, 101712.
- Huang, J., Chen, Y., Pan, J., Liu, W., Yang, G., Xiao, X., Zheng, H., Tang, W., Tang, H., & Zhou, L. (2019). Carbon footprint of different agricultural systems in China estimated by different evaluation metrics. *Journal of Cleaner Production*, *225*, 939–948.
- Huang, L., Cooke, N.J., Gutzwiller, R.S., Berman, S., Chiou, E.K., Demir, M., & Zhang, W. (2021). Distributed dynamic team trust in human, artificial intelligence, and robot teaming. *Trust in Human-Robot Interaction*, 301–319.
- Huang, P., Lyu, G. Y., & Xu, Y. (2021). Quality Regulation on Two-Sided Platforms: Exclusion, Subsidization, and First-Party Applications. *Management Science* *68*(6), 4415–4434.
- Huang, P., Ma, Z., Xiao, L., & Sun, Y. (2019). Geographic Information Systemassisted optimal design of renewable powered electric vehicle charging stations in highdensity cities. *Applied Energy*, *255*, 113855.
- Huang, S.L., Kuo, M.Y. (2020). Critical success factors in the sharing economy: a customer perspective. *Service Business*, *14*, 553–576.
- Huang, T. L., & Liao, S. (2015). A model of acceptance of augmented-reality interactive

- technology: the moderating role of cognitive innovativeness. *Electronic Commerce Research*, 15(2), 269–295.
- Huang, X., Lin, Y., Lim, M. K., Tseng, M. L., & Zhou, F. (2021). The influence of knowledge management on adoption intention of electric vehicles: perspective on technological knowledge. *Industrial Management & Data Systems*.
- Huang, X., Zhong, W., Nie, J., Hu, Q., Xiong, Z., Kang, J., & Quek, T. Q. (2022). Joint User Association and Resource Pricing for Metaverse: Distributed and Centralized Approaches. *arXiv:2208.06770*.
- Huang, Y. C. (2022). How marketing strategy, perceived value and brand image influence WOM outcomes—The sharing economy perspective. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 68, 103071.
- Huber, S., Demetz, L., & Felderer, M. (2022). A comparative study on the energy consumption of Progressive Web Apps. *Information Systems*, 108, 102017.
- Hudson, J. C., & Kapur, K. C. (1985). Reliability bounds for multistate systems with multistate components. *Operations Research*, 33(1), 153–160.
- Hui, H., Ding, Y., Shi, Q., Li, F., Song, Y., & Yan, J. (2020). 5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential. *Applied Energy*, 257, 113972.
- Hulshof, P.J.H., Boucherie, R.J., Hans, E.W., & Hurink J.L. (2013). Tactical resource allocation and elective patient admission planning in care processes. *Health Care Management Science*, 16(2), 152–166.
- Hung, M. W., Yuan, C. W., Bi, N., Chen, Y. C., Lee, W. C., Huang, M. C., & You, C. W. (2022). To Use or Abuse: Opportunities and Difficulties in the Use of Multi-channel Support to Reduce Technology Abuse by Adolescents. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 6(CSCW1), 1–27.
- Hwang, J. S., & Wang, J. D. (2004). Integrating health profile with survival for quality of life assessment. *Quality of Life Research*, 13(1), 1–10.
- Iaksch, J., Fernandes, E., & Borsato, M. (2021, 2021/04/03). Digitalization and Big data in smart farming – a review. *Journal of Management Analytics*, 8(2), 333–349.
- Ibidapo, I., Adebisi, A., & Okesola, O. (2017). Soft computing techniques for stock market prediction: A literature survey, *Covenant Journal of Informatics & Communication Technology*, 5(2), 1–28.
- Ibrahim, I., & Abdulazeez, A. (2021). The role of machine learning algorithms for diagnosing diseases. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(1), 10–19.
- Ifebanjo, T. M., Ogunleye, O. M., Abiodun, T. N., & Adebisi, A. A. (2017). Soft computing approaches to stock forecasting: A survey, *Global Journal of Engineering Science and Research Management*, 4(5), 107–131.
- Iftikhar, A., Musa, S., Alam, M., Su'ud, M. M., & Ali, S. M. (2018). A survey of soft computing applications in global software development, In *2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), 11–12 May 2018, Bangkok, Thailand*.
- IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering, Aim and Scopes. (2019). Retrieved from <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?show=aimsScope&journalCode=uhse21>.
- Ijsselstein, W., Nap, H. H., de Kort, Y., & Poels, K. (2007) *Digital game design for elderly users*. In *2007 conference on future play, 14–17 November 2007, Toronto Canada*, 17–22.
- Ilgın, M. A., & Gupta, S. M. (2011). Performance improvement potential of sensor embedded products in environmental supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 580–592.
- Imran, A., Posokhova, I., Qureshi, H. N., Masood, U., Riaz, M. S., Ali, K., John, C. N., Hussain,

- M. I., & Nabeel, M. (2020). AI4COVID-19: AI enabled preliminary diagnosis for COVID-19 from cough samples via an app. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 100378.
- INFORMS Annual Meeting (2009), *INFORMing the globe*, San Diego, California, U.S.A.
- INFORMS Optimization Society Conference (2006), *Optimization and HealthCare*, San Antonio, U.S.A.
- Institute of Medicine of the National Academies (IOM). Retrieved from <http://www.iom.edu/>
- IPCC. (2018). Annex I: Glossary. In J. B. R. e. Matthews (Ed.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, 541–562. Cambridge University Press.
- iRent (2022). Retrieved from: <https://www.easyrent.com.tw/UPLOAD/event/108event/1917/index.html>
- Irtija, N., Sangoleye, F., & Tsiropoulou, E. E. (2020). Contract-theoretic demand response management in smart grid systems. *IEEE Access*, 8, 184976–184987.
- Ishikawa, S., Hoshiya, S., Hinata, T., Hishinuma, T., & Morita, S. (2006). Evaluation of a biogas plant from life cycle assessment (LCA). *International Congress Series*, 1293, 230–233.
- ISO 10218-1 (2011). *Robots and robotic devices- Safety requirements for industrial robots–Part 1: Robots*. Geneva, Switzerland.
- ISO 9241-210 (2010). *Ergonomics of Human-System Interaction-Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems*, ISO, Geneva, Switzerland.
- ISO TR 12295 (2014). *Ergonomics- Application document for International Standards on manual handling (ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and evaluation of static working postures (ISO 11226)*, ISO, Geneva, Switzerland.
- Itti, L., Koch, C., & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11), 1254–1259.
- Ivanov, D. (2020). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of operations research*, 1–21.
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829–846.
- Iyengar, G., & Ma, A. K. C. (2013). Fast gradient descent method for mean-CVaR optimization. *Annals of Operations Research*, 205(1), 203–212.
- Iyer, G., & Katona, Z. (2016). Competing for Attention in Social Communication Markets. *Management Science*, 62(8), 2304–2320.
- Jabbarpour, M. R., Zarrabi, H., Khokhar, R. H., Shamshirband, S., & Choo, K.-K. R. (2017). Applications of computational intelligence in vehicle traffic congestion problem, *Soft Computing*, 22(7), 2299–2320.
- Jacobides, M. G., Sundararajan, A., & Alstytne, M. V. (2019). *Platforms and Ecosystems: Enabling the Digital Economy*. World Economic Forum: Switzerland.
- Jacobs, M. L., He, J., Pradier, M. F., Lam, B., Ahn, A. C., McCoy, T. H., Perlis, R. H., Doshi-Velez, F., & Gajos, K. Z. (2021). Designing AI for Trust and Collaboration in Time-Constrained Medical Decisions: A Sociotechnical Lens. In *2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Jamil, F., Ahmad, S., Iqbal, N., & Kim, D. H. (2020). Towards a remote monitoring of patient vital signs based on IoT-based blockchain integrity management platforms in smart hospitals. *Sensors*, 20(8), 2195.
- Janahi, N. A., Durugbo, C. M., & Al-Jayyousi, O. R. (2021). Eco-innovation strategy in

- manufacturing: A systematic review. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100343.
- Jane, C. C., & Laih, Y. W. (2008). A practical algorithm for computing multi-state two-terminal reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, 57(2), 295–302.
- Jane, C. C., Lin, J. S., & Yuan, J. (1993). On reliability evaluation of a limited-flow network in terms of minimal cutsets. *IEEE Transactions on Reliability*, 42(3), 354–361.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2022) Exploring impact and features of machine vision for progressive Industry 4.0 culture. *Sensors International*, 3, 100132.
- Javornik, A. (2016). Augmented reality: Research agenda for studying the impact of its media characteristics on consumer behaviour. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 30, 252–261.
- Jbair, M., Ahmad, B., Maple, C., & Harrison, R. (2022). Threat modelling for industrial cyber physical systems in the era of smart manufacturing. *Computers in Industry*, 137, 103611.
- Jeng, S. Y., Lin, C. W., Tseng, M. L., Jantarakolica, K., & Tan, R. R. (2021). Resource efficiency improvement: zero waste discharge planning in a pulp-and-paper manufacturing firm under uncertainty. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 32(3), 646–664.
- Jenkins, S., Brown, R., & Rutterford, N. (2009). Comparing thermographic, EEG, and subjective measures of affective experience during simulated product interactions. *International Journal of Design*, 3.
- Jennifer, H. (2018). The Evolution of Today’s Next-Generation Sharing Economy Businesses. *Digitalist Magazine*.
- Jeong, D., Han, J., Park, E., Choi, E. B., & Pack, S. (2022). 5G and User Experience: A Bibliometric Approach. In *2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 6–8 July 2022, Taipei, Taiwan*.
- Jiang, F., Zheng, X., Fan, D., Zhang, P., & Li, S. (2021). The Sharing Economy and Business Model Design: A Configurational Approach. *Journal of Management Studies*, 58, 949–976.
- Jiang, H., Li, J., Zhao, P., Zeng, F., Xiao, Z., & Iyengar, A. (2021). Location privacy-preserving mechanisms in location-based services: A comprehensive survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(1), 1–36.
- Jiang, J. A., Wade, K., Fiesler, C., & Brubaker, J. R. (2021). Supporting serendipity: Opportunities and challenges for Human-AI Collaboration in qualitative analysis. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CSCW1), 1–23.
- Jiang, J., Huang, Z., Qian, W., Zhang, Y., & Liu, Y. (2019). Registration technology of augmented reality in oral medicine: a review. *IEEE Access*, 7, 53566–53584.
- Jiang, Y., Fan, J., Chai, T., & Lewis, F. L. (2018). Dual-rate operational optimal control for flotation industrial process with unknown operational model. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(6), 4587–4599.
- Jiang, Y., Fan, J., Chai, T., Li, J., & Lewis, F. L. (2017). Data-driven flotation industrial process operational optimal control based on reinforcement learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(5), 1974–1989.
- Jing, L., & Tian, Y. (2021). Self-supervised visual feature learning with deep neural networks: a survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(11), 4037–4058.
- Johnston, R. (1994). Operations: from factory to service management. *International Journal of Service Industry Management*, 5(1), 49–63.
- Johnston, R. (1999). Service transaction analysis: assessing and improving the customer’s experience. *Managing Service Quality: An International Journal*, 9(2), 102–109.
- Johnston, R. (2005). Service operations management: from the roots up. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), 1298–1308.
- Johnston, R., & Clark, G. (2005). Service Operations Management: Improving Service

- Delivery. Pearson Education.
- Jones, S. L., Leiponen, A., & Vasudeva, G. (2021). The evolution of cooperation in the face of conflict: Evidence from the innovation ecosystem for mobile telecom standards development. *Strategic Management Journal*, 42(4), 710–740.
- Jordan, E., Shin, D. E., Leekha, S., & Azarm, S. (2021). Optimization in the context of covid-19 prediction and control: A literature review. *IEEE Access*.
- Jotshi, A., & Batta, R. (2008). Search for an immobile entity on a network. *European Journal of Operational Research*, 191(2), 347–359.
- Jullien, B., & Sand-Zantman, W. (2021). The economics of platforms: a theory guide for competition policy. *Information Economics and Policy*, 54, 100880.
- Jung, J., Chow, Y.J., Jayakrishnan, R., & Park, J.Y. (2014). Stochastic dynamic itinerary interception refueling location problem with queue delay for electric taxi charging stations. *Transportation Research Part C*, 40, 123–142.
- Kadir, B. A., Broberg, O., & daConceição, C. S. (2019). Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 137.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263–291.
- Kahneman, D., Diener, E., & Schwarz, N. (1999). *Well-being: Foundations of Hedonic Psychology*. Russell Sage Foundation.
- Kahneman, D., Knetsch, J. L., & Thaler, R. H. (1986). Fairness as a constraint on profit seeking: Entitlements in the market. *The American Economic Review*, 76, 728–741.
- Kahneman, D., Wakker, P. P., & Sarin, R. (1997). Back to Bentham? Explorations of experienced utility. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2), 375–406.
- Kahraman, C., Oztaysi, B., & Onar, S. C. (2016). A comprehensive literature review of 50 years of fuzzy set theory, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(1), 3–24.
- Kalkanci, B., & Plambeck, E. L. (2020). Managing supplier social and environmental impacts with voluntary versus mandatory disclosure to investors. *Management Science*, 66(8), 3311–3328.
- Kalyani, Y., & Collier, R. (2021). A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*, 21(17), 5922.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2020). Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 219, 179–194.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., Mani, V., Belhadi, A., & Sharma, R. (2022). Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121448.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355–367.
- Kara, A. (2013). A low quality-high cost-low satisfaction trap in public health care: a model and an efficiency-quality-welfare improving stochastic resolution. *Quality & Quantity*, 47(4), 2081–2093.
- Karhu, K., Gustafsson, R., & Lyytinen, K. (2018). Exploiting and Defending Open Digital Platforms with Boundary Resources: Android's Five Platform Forks. *Information Systems Research*, 29(2), 479–497.
- Karmitsa, N. (2016). Numerical methods for large-scale nonsmooth optimization. *Big Data*

- Optimization: Recent Developments and Challenges*, 18. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30265-2_18.
- Kässi, O., & Lehdonvirta, V. (2018). Online labour index: Measuring the online gig economy for policy and research. *Technological Forecasting and Social Change*, 137, 241–248.
- Katok, E., Thomas, D., & Davis, A. (2008). Inventory service-level agreements as coordination mechanisms: The effect of review periods. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(4), 609–624.
- Katsis, Y., Hanafi, M. F., Santillán Cooper, M., & Li, Y. (2022). InteractEva: A Simulation-Based Evaluation Framework for Interactive AI Systems. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36(11), 13182–13184.
- Kauffman, R.J., & Naldi, M. (2020). Research directions for sharing economy issues. *Electronic Commerce Research and Applications*, 43, 100973.
- Kaushal, M., Khehra, B. S., & Sharma, A. (2018). Soft Computing based object detection and tracking approaches: State-of-the-Art survey. *Applied Soft Computing*, 70, 423–464.
- Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations Research for Health Care*, 1(2–3), 54–63.
- Keltner, D. & Cordaro, D. T. (2015). *Understanding multimodal emotional expressions: Recent advances in basic emotion theory*. Retrieved from socrates.berkeley.edu/~keltner/publications/keltner&Cordaro%202016.pdf.
- Keltner, D., Tracy, J., Sauter, D. A., Cordaro, D. C., & McNeil, G. (2016). *Expression of emotion. Handbook of Emotions*, Guilford, 4th e/d, New York, 467–482.
- Kent, C. B., Wirth, S. A., & Halgamuge, S. K. (2012). Decision tree ensembles for online operation of large smart grids. *Energy Conversion and Management*, 59, 9–18.
- Keshta, I., & Odeh, A. (2021). Security and privacy of electronic health records: Concerns and challenges. *Egyptian Informatics Journal*, 22(2), 177–183.
- Khan, F., Rathnayaka, S., & Ahmed, S. (2015). Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. *Process Safety and Environmental Protection*, 98, 116–147.
- Khan, S. A. R., Yu, Z., Golpira, H., Sharif, A., & Mardani, A. (2021). A state-of-the-art review and meta-analysis on sustainable supply chain management: Future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123357.
- Khanagha, S., Ansari, S., Paroutis, S., & Oviedo, L. (2022). Mutualism and the dynamics of new platform creation: A study of cisco and fog computing. *Strategic Management Journal*, 43(3), 476–506.
- Khavul, S., Markoczy, L., Croson, R., & Yitishaki, R. (2008). *The Moderating Effect of Goal Sensitivity on Escalation of Commitment in Entrepreneurial Firm Exit*, Working Paper, UT Dallas.
- Khoei, A. A., Süral, H., & Tural, M. K. (2020). Multifacility green Weber problem. *Computers & Operations Research*, 113, 104780.
- Khor, K. S., & Udin, Z. M. (2013). Reverse logistics in Malaysia: Investigating the effect of green product design and resource commitment. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, 71–80.
- Kilpatrick, J., & Barter, L. (2020). COVID-19: managing supply chain risk and disruption. *Deloitte: Toronto, ON, Canada*. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/risk/cyber-strategic-risk/articles/covid-19-managing-supply-chain-risk-and-disruption.html>
- Kim, B., Wattenberg, M., Gilmer, J., Cai, C., Wexler, J., & Viegas, F. (2018). Interpretability beyond feature attribution: Quantitative testing with concept activation vectors (tcav). In *International conference on machine learning, 10–15 July 2018 Stockholm, Sweden*, 2668–2677.
- Kim, D. W., Trimi, S., Hong, S. G., & Lim, S. (2020). Effects of co-creation on organizational

- performance of small and medium manufacturers. *Journal of Business Research*, 109, 574–584.
- Kim, H. M., Sabri, S., & Kent, A. (2021). Chapter 2 - Smart cities as a platform for technological and social innovation in productivity, sustainability, and livability: A conceptual framework. *Smart Cities for Technological and Social Innovation: Case Studies, Current Trends, and Future Steps*, 9–28.
- Kim, S. K. (2019). Blockchain governance game. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 373–380.
- Kim, T. Y., Son, J., & Kim, K. G. (2011). The recent progress in quantitative medical image analysis for computer aided diagnosis systems. *Health Information Research*, 17(3), 143–149.
- Kim, Y. (2001). A comparative study of the “Abilene Paradox” and “Groupthink.” *Public Administration Quarterly*, 25, 168–191.
- Kindermans, P. J., Schütt, K. T., Alber, M., Müller, K. R., Erhan, D., Kim, B., & Dähne, S. (2017). Learning how to explain neural networks: Patternnet and patternattribution. *arXiv preprint arXiv:1705.05598*.
- Kistan, K., Gardi, A., & Sabatini, R. (2018). Machine learning and cognitive ergonomics in air traffic management: recent developments and considerations for certification. *Aerospace*, 5(4), 103.
- Kitsios, F., & Kamariotou, M. (2021). Artificial intelligence and business strategy towards digital transformation: A research agenda. *Sustainability*, 13(4), 2025.
- Klarin, A., & Suseno, Y. (2021). A state-of-the-art review of the sharing economy: Scientometric mapping of the scholarship. *Journal of Business Research*, 126, 250–262.
- Klassen, R. D., & Vachon, S. (2003). Collaboration and evaluation in the supply chain: The impact on plant-level environmental investment. *Production and Operations Management*, 12(3), 336–352.
- Kliestik, T., Kovalova, E., & Lăzăroiu, G. (2022). Cognitive Decision-Making Algorithms in Data-driven Retail Intelligence: Consumer Sentiments, Choices, and Shopping Behaviors. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 10(1), 30–42.
- Kluza, K., Ziolo, M., & Spoz, A. (2021). Innovation and environmental, social, and governance factors influencing sustainable business models-Meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127015.
- Knapčíková, L., Behúnová, A., & Behún, M. (2021). The strategic impact of e-business on competitiveness of the enterprise. *Mobile Networks and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01787-5>.
- Knight P., & Jenkins, J. O. (2009). Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*, 17(5), 549–558.
- Knoop, V. L., Wang, M., Wilmink, I., Hoedemaeker, D. M., Maaskant, M., & Van der Meer, E. J. (2019). Platoon of SAE Level-2 Automated Vehicles on Public Roads: Setup, Traffic Interactions, and Stability. *Journal of the Transportation Research Board*, 2673(9), 311–322.
- Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of cleaner production*, 207, 1084–1098.
- Koenigsberg, E. (1966). On jockeying in queues. *Management Science*, 12(5), 412–436.
- Kompella, V., Capobianco, R., Jong, S., Browne, J., Fox, S., Meyers, L., Wurman, P., & Stone, P. (2020). Reinforcement learning for optimization of COVID-19 mitigation policies. *arXiv preprint arXiv:2010.10560*.
- Kong, K., & Xu, Z.-H. (2009). On methods of water rights original allocation and re-allocation. In *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 4–5 July 2009, Wuhan, China*, 312–315.
- Kool, W. W. M., & Welling, M. (2018). Attention solves your TSP, approximately. *arXiv:1803.08475*.

- Kotsiopoulos, T., Sarigiannidis, P., Ioannidis, D., & Tzovaras, D. (2021). Machine learning and deep learning in smart manufacturing: the smart grid paradigm. *Computer Science Review, 40*, 100341.
- Koul, S., Jasrotia, S. S., & Mishra, H. G. (2022, 2022/03/01). Value Co-creation in Sharing Economy: Indian Experience. *Journal of the Knowledge Economy, 13*(1), 387–405.
- Kouwenberg, R., & Zenios, S. (2006). Stochastic programming models for asset liability management. *Handbook of Asset and Liability Management, 253–304*. Elsevier, Amsterdam.
- Kowalczyk, P., Siepmann, C., & Adler, J. (2021). Cognitive, affective, and behavioral consumer responses to augmented reality in e-commerce: A comparative study. *Journal of Business Research, 124*, 357–373.
- Kowatsch, T., Schachner, T., Harperink, S., Barata, F., Dittler, U., Xiao, G., Stanger, C., Wangenheim, F. V., Fleisch, E., Oswald, H., & Moller, A. (2021). Conversational Agents as Mediating Social Actors in Chronic Disease Management Involving Health Care Professionals, Patients, and Family Members: Multisite Single-Arm Feasibility Study. *Journal of Medical Internet Research, 23*(2).
- Kowatsch, T., Volland, D., Shih, I., Rügger, D., Künzler, F., Barata, F., Filler, A., Büchter, D., Brogle, B., & Heldt, K. (2017). Design and evaluation of a mobile chat app for the open source behavioral health intervention platform MobileCoach. In *International Conference on Design Science Research in Information System and Technology*.
- Krawczyk, J., & Tidball, M. (2006). A discrete-time dynamic game of seasonal water, Allocation. *Journal of Optimization Theory and Applications, 128*, 411–429.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems, 25*.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM, 60*(6), 84–90.
- Kruber, M., Lübbecke, M. E., & Parmentier, A. (2017). Learning when to use a decomposition. *Integration of AI and OR techniques in constraint programming, 202–210*.
- Kruk, M. E., Myers, M., Varpilah, S. T., & Dahn, B. T. (2015). What is a resilient health system? Lessons from Ebola. *The Lancet, 385*(9980), 1910–1912.
- Krummenacher, G., Ong, C. S., Koller, S., Kobayashi, S., & Buhmann, J. M. (2018). Wheel defect detection with machine learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19*(4), 1176–1187.
- Krus, D. J., & Fuller, E. A. (1982). Computer assisted multicrossvalidation in regression analysis. *Educational and Psychological Measurement, 42*(1), 187–193.
- Kucukyazici, B., & Verter, V. (2013). Managing community-based care for chronic diseases: The quantitative approach. *International Series in Operations Research & Management Science, 190*, 71–90.
- Kuepper, L. E., Teichgraeber, H., Baumgärtner, N., Bardow, A., & Brandt, A. R. (2022). Wind data introduce error in time-series reduction for capacity expansion modelling. *Energy, 256*, 124467.
- Kumar, D. T., Palaniappan, M., Kannan, D., & Shankar, K. M. (2014). Analyzing the CSR issues behind the supplier selection process using ISM approach. *Resources, Conservation and Recycling, 92*, 268–278.
- Kumar, P., Singh, R. K., & Kumar, V. (2021). Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers. *Resources, Conservation and Recycling, 164*, 105215.
- Kumar, R. L., Khan, F., Kadry, S., & Rho, S. (2022). A Survey on blockchain for industrial Internet of Things. *Alexandria Engineering Journal, 61*(8), 6001–6022.
- Kumar, S., & Yadav, R. (2021). The impact of shopping motivation on sustainable consumption: A study in the context of green apparel. *Journal of Cleaner Production, 295*, 126239.

- Kumar, S., Teichman S., & Timpernagel, T. (2012). A green supply chain is a requirement for profitability. *International Journal of Production Research*, 50(5), 1278–1296.
- Kuo, T. C. (2013). The construction of a collaborative framework in support of low carbon product design. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 29(4), 174–183.
- Kuo, T. C. (2013). Waste electronics and electrical equipment disassembly and recycling using Petri net analysis: considering the economic value and environmental impacts. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 54–64.
- Kuo, T. C., Chiu, M. C., Hsu, C. W., Tseng, M. L. (2019). Supporting sustainable product service systems: A product selling and leasing design model. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 384–394.
- Kuo, T. C., Tseng, M. L., Lin, C. H., Wang, R.W., & Lee, C. H. (2018). Identifying sustainable behavior of energy consumers as a driver of design solutions: the missing link in eco-design. *Journal of Cleaner Production*, 192, 486–495.
- Kurtz, A. K. (1948). A research test of Rorschach test. *Personnel Psychology*, 1, 41–53.
- Kusiak, A. (2019). Intelligent manufacturing: bridging two centuries. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(1), 1–2.
- Kwak, M., & Kim, S. B. (2021). Unsupervised abnormal sensor signal detection with channelwise reconstruction errors. *IEEE Access*, 9, 39995–40007.
- Kyritsis, A. I., & Deriaz, M. (2019). A machine learning approach to waiting time prediction in queueing scenarios. In *2019 Second International Conference on Artificial Intelligence for Industries, 25–27 September 2019, Laguna Hills, CA, USA*, 17–21.
- Lai, K. H., Lun, V. Y., Wong, C. W., & Cheng, T. C. E. (2011). Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 631–638.
- Lai, V., & Tan, C. (2018). *On Human Predictions with Explanations and Predictions of Machine Learning Models: A Case Study on Deception Detection*.
- Lai, Y., Sun, H., & Ren, J. (2018). Understanding the determinants of big data analytics (BDA) adoption in logistics and supply chain management. *The International Journal of Logistics Management*, 29(2), 676–703.
- Lai, Z. H., Tao, W., Leu, M. C., & Yin, Z. (2020). Smart augmented reality instructional system for mechanical assembly towards worker-centered intelligent manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 55, 69–81.
- Lal, R., & Srinivasan, V. (1993). Compensation plans for single-and multi-product salesforces: An application of the Holmstrom-Milgrom model. *Management Science*, 39(7), 777–793.
- Lam, H. L., Varbanov, P., & Klemeš, J. (2010). Minimising carbon footprint of regional biomass supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(5), 303–309.
- Larsen, R., Rich, J., & Rasmussen, T. K. (2019). Hub-based truck platooning: Potentials and profitability. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 127, 249–264.
- Larson, D., & Chang, V. (2016). A review and future direction of agile, business intelligence, analytics and data science. *International Journal of Information Management*, 36(5), 700–710.
- Larson, R. C. (1987). OR forum—perspectives on queues: Social justice and the psychology of queueing. *Operations Research*, 35(6), 895–905.
- Lasry, A., Washington, M. L., Smalley, H. K., Engineer, F., Keskinocak, P., & Pickering, L. (2013). Public health modeling at the centers for disease control and prevention. *Operations Research and Health Care Policy*, 190, 3–16.
- Lee, C. H., Chen, P. C., & Ma, H. W. (2012). Direct and indirect lead-containing waste discharge in the electrical and electronic supply chain. *Resources, conservation and recycling*, 68, 29–35.
- Lee, C. Y. (2018). Mixed-strategy Nash equilibrium in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 266(3), 1013–1024.

- Lee, J. (2020). Problem-based gaming via an augmented reality mobile game and a printed game in foreign language education. *Education and Information Technologies*, 1–29.
- Lee, M. K. (2018). Understanding perception of algorithmic decisions: Fairness, trust, and emotion in response to algorithmic management. *Big Data & Society*, 5(1), 2053951718756684.
- Lee, M. K., Jain, A., Cha, H. J., Ojha, S., & Kusbit, D. (2019). Procedural justice in algorithmic fairness: Leveraging transparency and outcome control for fair algorithmic mediation. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(CSCW), 1–26.
- Lee, P. K., To, W. M., & Billy, T. W. (2013). Team attributes and performance of operational service teams: An empirical taxonomy development. *International Journal of Production Economics*, 142(1), 51–60.
- Lee, S., Liu, L., Radwin, R., & Li, J. (2021). Machine learning in manufacturing ergonomics: recent advances, challenges, and opportunities. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(3), 5745–5752.
- Leema, A. A., & Hemalatha, M. (2013). Proposed prediction algorithms based on hybrid approach to deal with anomalies of RFID data in healthcare. *Egyptian Informatics Journal*, 14(2), 135–145.
- Legros, B., Jouini, O., & Koole, G. (2018). A Uniformization Approach for the Dynamic Control of Queueing Systems with Abandonments. *Operations Research*, 66(1), 200–209.
- Lei, K., Zhao W., Wang Y., Qian L., Meng X., & Tang L. (2022). A multi-action deep reinforcement learning framework for flexible Job-shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 205, 117796.
- Lematta, G. J., Corral, C. C., Buchanan, V., Johnson, C. J., Mudigonda, A., Scholcover, F., & Wong, M. E. (2021). Remote research methods for Human–AI–Robot Teamin. *Human factors and ergonomics methods*, 32(1), 133–150.
- Lemke, C. E. (1965). Bimatrix equilibrium points and mathematical programming. *Management Science*, 11(7), 681–689.
- Levine, D. K., & Zame, W. R. (2002). Does market incompleteness matter? *Econometrica*, 70(5), 1805–1839.
- Li D. C., & Lin Y. S. (2006). Using virtual sample generation to build up management knowledge in the early manufacturing stages. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 413–434.
- Li, A. Q., Kumar, M., Claes, B., & Found, P. (2020). The state-of-the-art of the theory on Product-Service Systems. *International Journal of Production Economics*, 222, 107491.
- Li, C. Z., Chen, Z., Xue, F., Kong, X. T. R., Xiao, B., Lai, X., & Zhao, Y. (2021). A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125391.
- Li, F., & Li, T. (2022). Intelligent logistics Enterprise management based on the Internet of things. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1621082.
- Li, F., Pan, S. J., Jin, O., Yang, Q., & Zhu, X. (2012). Cross-domain co-extraction of sentiment and topic lexicons. In *50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 8–14 July 2012, Jeju Island, Korea*, 410–419.
- Li, H., Zhou, C., Lee, B. K., Lee, L. H., Chew, E. P., & Goh, R. S. M., (2017). Capacity planning for mega container terminals with multi-objective and multi-fidelity simulation optimization. *IIEE Transactions*, 49(9), 849–862.
- Li, K., Qiu, J., & Wang, J. (2019). Technology Conglomeration, Strategic Alliances, and Corporate Innovation. *Management Science*, 65(11), 5065–5090.
- Li, L. L., Xiong, J. L., Tseng, M. L., Yan, Z., & Lim, M. K. (2022). Using multi-objective sparrow search algorithm to establish active distribution network dynamic reconfiguration integrated optimization. *Expert Systems with Applications*, 193, 116445.

- Li, M., Guo, P., Singh, V. P., & Zhao, J. (2016). Irrigation Water Allocation Using an Inexact Two-Stage Quadratic Programming with Fuzzy Input under Climate Change. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(3), 667–684.
- Li, P., Chen, Z., Yang, L.T., Zhang, Q., & Deen, M.J. (2018). Deep convolutional computation model for feature learning on Big Data in internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(2), 790–798.
- Li, Q., Guan, X., Shi, T., & Jiao, W. (2020). Green product design with competition and fairness concerns in the circular economy era. *International Journal of Production Research*, 58(1), 165–179.
- Li, X., Cottam, A., Wu, Y.J., & Khani, A. (2021). Can a bikesharing system reduce fuel consumption? Case study in Tucson, Arizona. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 89, 102604.
- Li, X., Lai, T., Wang, S., Chen, Q., Yang, C., & Chen, R. (2019). Weighted feature pyramid networks for object detection. In *2019 IEEE Intl Conf on Parallel and Distributed Processing with Applications, Big Data and Cloud Computing, Sustainable Computing and Communications, Social Computing and Networking*, 1500–1504.
- Li, Y. P., Huang, G. H., Yang, Z. F., Nie, S. L. (2008). IFMP: Interval-fuzzy multistage programming for water resources management under uncertainty. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(5), 800–812.
- Li, Y. T., Kuo, P., & Guo, J. I. (2021). Automatic industry PCB board DIP process defect detection system based on deep ensemble self-adaption method. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 11(2), 312–323
- Li, Y., Huang, C., Ding, L., Li, Z., Pan, Y., & Gao, X. (2019). Deep learning in bioinformatics: Introduction, application, and perspective in the big data era. *Methods*, 166, 4–21.
- Li, Z. X., & Agarwal, A. (2017). Platform Integration and Demand Spillovers in Complementary Markets: Evidence from Facebook's Integration of Instagram. *Management Science*, 63(10), 3438–3458.
- Liang, K. Y., Mårtensson, J., & Johansson, K. H. (2015). Heavy-duty vehicle platoon formation for fuel efficiency. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), 1051–1061.
- Liang, L., Ye, H., Yu, G., & Li, G. Y. (2020). Deep-learning-based wireless resource allocation with application to vehicular networks. *Proceedings of the IEEE*, 108, 341–356.
- Lianhui Li, Bingbing Lei, Chunlei Mao. (2022). Digital twin in smart manufacturing. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100289.
- Libert, K., Mosconi, E., & Cadieux, N. (2020). Human-machine interaction and human resource management perspective for collaborative robotics implementation and adoption. In *53rd Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Libin A. V. & Libin, E. V. (2004). Person–Robot Interactions From the Robopsychologists' Point of View: The Robotic Psychology and Rotherapy Approach. *Proceedings of the IEEE*, 92(11), 1789–1803.
- Liddy, E. D. (2001). *Natural Language Processing*. 2nd ed., Marcel Decker: Encyclopedia of Library and Information Science, New York, NY, USA.
- Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., Sliver, D., & Wierstra, D. (2015). Continuous control with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1509.02971*.
- Lim, C., Sherali, H. D., & Uryasev, S. (2010). Portfolio optimization by minimizing conditional value-at-risk via nondifferentiable optimization. *Computational Optimization and Applications*, 46(3), 391–415.
- Lim, S., & Kuby, M. (2010). Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the flow-refueling location model. *European Journal of Operational Research*, 204(1), 51–61.

- Lin, C. C., Wu, Y. F., & Liu, W. Y. (2021). Optimal sharing energy of a complex of houses through energy trading in the internet of energy. *Energy*, 220, 119613.
- Lin, C. L. (2015). A trend analysis of ergonomic research themes in Taiwan. *Ergonomics*, 58(11), 1910–1923.
- Lin, C. W. R., Jeng, S. Y., Tseng, M. L. (2019). Sustainable development on a zero-wastewater-discharge reproduction planning under quantitative and qualitative information. *Management for Environmental Quality: An International Journal*, 30(5), 1114–1131.
- Lin, F., Fang, X., & Gao, Z. (2022). Distributionally Robust Optimization: A review on theory and applications. *Numerical Algebra, Control & Optimization*, 12(1), 159.
- Lin, J. S., Jane, C. C., & Yuan, J. (1995). On reliability evaluation of a capacitated-flow network in terms of minimal pathsets. *Network*, 25(3), 131–138.
- Lin, J. T., Chiu, C. C., Huang, E., & Chen, H. M., (2018). A Multi-Fidelity Model Approach for Simultaneous Scheduling of Machines and Vehicles in Flexible Manufacturing Systems. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 35(1), 1850005.
- Lin, J., Cai, B., & Wang, L. (2021). Prognostic and health management through collaborative maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 712–713.
- Lin, Q., Wang, H., Pei, X., & Wang, J. (2019). Food Safety Traceability System Based on Blockchain and EPCIS. *IEEE Access*, 7, 20698–20707.
- Lin, Y. K. (2003). Extend the quickest path problem to the system reliability evaluation for a stochastic-flow network. *Computers and Operations Research*, 30(4), 567–575.
- Lin, Y. K. (2007). System reliability of a limited-flow network in multicommodity case. *IEEE Transactions on Reliability*, 56(1), 17–25.
- Lin, Y. K., & Chang, P. C. (2012). Evaluation of system reliabilities for a maintainable stochastic-flow network. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(2), 398–409.
- Lin, Y. K., & Yeh, C. T. (2012). Multi-objective optimization for stochastic computer networks using NSGA-II and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 218(3), 735–746.
- Lin, Y. K., Chang, P. C., & Fiondella, L. (2012). A study of correlated failures on the network reliability of power transmission systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 954–960.
- Lin, Y. K., Chang, P. C., Yeng, L. C. L., & Huang, S. F. (2019). Bi-objective optimization for a multistate job-shop production network using NSGA-II and TOPSIS. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 43–54.
- Lin, Y. K., Fiondella, L., & Chang, P. C. (2013). Quantifying the impact of correlated failures on system reliability by a simulation approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 109, 32–41.
- Lin, Y. K., Kuo, P. H., & Chang, C. C. (2012). System reliability for a multistate flow network with multiple joint minimal paths under time constraint. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 29, 78–92.
- Lin, Y., Zhong, S., Yang, W., Hao, X., & Li, C. Q. (2021). Multi-objective design optimization on building integrated photovoltaic with Trombe wall and phase change material based on life cycle cost and thermal comfort. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101277.
- Ling, Z., Liu, R., Zhang, Y., & Chen, X. (2021). Can Deep Learning Solve Parametric Mathematical Programming? An Application to 0-1 Linear Programming Through Image Representation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*.
- Lipton, Z. C. (2018). The Mythos of Model Interpretability: In machine learning, the concept of interpretability is both important and slippery. *Queue*, 16(3), 31–57.
- Liu, B. (2021). In AI We Trust? Effects of Agency Locus and Transparency on Uncertainty Reduction in Human–AI Interaction. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 26(6), 384–402.

- Liu, C.H., Lin, S. J., & Lewis, C. (2010). Life cycle assessment of DRAM in Taiwan's semiconductor industry. *Journal of Cleaner Production*, 18(5), 419–425.
- Liu, H. W., Lin, C. F., & Chen, Y. J. (2019). Beyond State v Loomis: artificial intelligence, government algorithmization and accountability. *International Journal of Aaw and Information Technology*, 27(2), 122–141.
- Liu, H., Chen, W., Kang, Z., Ngai, T., & Li, Y. (2005). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making for Evaluating Aggregate Risk in Green Manufacturing. *Tsinghua Science & Technology*, 10(5), 627–632.
- Liu, K., Peng, Q., Sun, H., Fei, M., Ma, H., & Hu, T. (2022). A transferred recurrent neural network for battery calendar health prognostics of energy-transportation systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- Liu, K., Wei, Z., Zhang, C., Shang, Y., Teodorescu, R., & Han, Q. L. (2022). Towards Long Lifetime Battery: AI-Based Manufacturing and Management. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9(7), 1139.
- Liu, L., Ouyang, W., Wang, X., Fieguth, P., Chen, J. Liu, X., & Pietikäinen, M. (2020). Deep learning for generic object detection: a survey. *International Journal of Computer Vision*, 128, 261–318.
- Liu, S., Mallol-Ragolta, A., Parada-Cabeleiro, E., Qian, K., Jing, X., Kathan, A., Hu, B., & Schuller, B. W. (2022). Audio self-supervised learning: A survey. arXiv preprint arXiv:2203.01205.
- Liu, W., Liang, Y., Wei, S., & Wu, P. (2021). The organizational collaboration framework of smart logistics ecological chain: A multi-case study in China. *Industrial Management & Data Systems*, 121(9), 2026–2047.
- Liu, W., Wang, D., Zhao, X., Si, C., & Tang, O. (2019). The framework for designing new logistics service product: A multi-case investigation in China. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 31(4), 898–924.
- Liu, Y. W., Li, L. L., Tseng, M. L., Lim, M. K., & Helmi Ali, M. (2021). Optimal scheduling of combined cooling, heating, and power microgrid based on a hybrid gray wolf optimizer. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 1–16.
- Liu, Y., & Li, X. (2013). Game Theory Analysis on the Generation Process of Transfer of Rural Construction Land Transfer. *IERI Procedia*, 5, 59–64.
- Liu, Y., Gupta, H., Springer, E., & Wagene, T. (2008). Linking science with environmental decision making: Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management. *Environmental Modelling & Software*, 23(7), 846–858.
- Liu, Y., Sun, P., Wergeles, N., & Shang, Y. (2021). A survey and performance evaluation of deep learning methods for small object detection. *Expert Systems with Applications*, 172, 114602.
- Liu, Z., Li, K. W., Li, B. Y., Huang, J., & Tang, J. (2019). Impact of product-design strategies on the operations of a closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 124, 75–91.
- Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., & Guo, B. (2021). Swin Transformer: hierarchical vision transformer using shifted windows. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 9992–10002.
- Liu, Z., Luong, N. C., Wang, W., Niyato, D., Wang, P., Liang, Y. C., & Kim, D. I. (2019). A survey on blockchain: A game theoretical perspective. *IEEE Access*, 7, 47615–47643.
- Liu, Z., Wang, S., Lim, M. Q., Kraft, M., & Wang, X. (2021). Game theory-based renewable multi-energy system design and subsidy strategy optimization. *Advances in Applied Energy*, 2, 100024.
- Livotov, P., Sekaran, A. P. C., Law, R., Reay, D., Sarsenova, A., & Sayyareh, S. (2019). Eco-innovation in process engineering: contradictions, inventive principles and methods. *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 52–65.

- Loaiciga, H. (2004). Analytic game - theoretic approach to groundwater extraction. *Journal of Hydrology*, 297, 22–33.
- Loch, C. H., & Wu, Y. (2007). Behavioral operations management. *Foundations and Trends® in Technology, Information and Operations Management*, 1(3), 121–232.
- Loch, C. H., & Wu, Y. (2008). Social preferences and supply chain performance: An experimental study. *Management Science*, 54(11), 1835–1849.
- Lock, S. (2022). Company Value of Airbnb from 2016 to 2021. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/339845/company-value-and-equity-funding-of-airbnb/>
- Lodree, E. J., Altay, N., & Cook, R. A. (2017). Staff assignment policies for a mass casualty event queuing network. *Annals of Operations Research*, 283, 411–442.
- Logg, J. M., Minson, J. A., & Moore, D. A. (2019). Algorithm appreciation: People prefer algorithmic to human judgment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 151, 90–103.
- Long, M., Wang, J., Ding, G., Pan, S. J., & Philip, S. Y. (2014). Adaptation regularization: A general framework for transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 26(5), 1076–1089.
- Long, M., Wang, J., Ding, G., Sun, J., & Yu, P. S. (2013). Transfer feature learning with joint distribution adaptation. In *2013 IEEE international conference on computer vision, 1–8 December 2013, Sydney, Australia*, 2200–2207.
- Lota, P. S., Vijayashree, T. M., & Dave, B. (2022). Streamlining production management in construction projects with ICT. *CSI Transactions on ICT*, 1–12.
- Lu, H. W., & Lee, C. Y. (2022). Kernel-based dynamic ensemble technique for remaining useful life prediction. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(2), 1142–1149.
- Lu, L. T., Wernick, I. K., Hsiao, T. Y., Yu, Y. H., Yang, Y. M., & Ma, H. W. (2006). Balancing the life cycle impacts of notebook computers: Taiwan's experience, *Resources. Conservation and Recycling*, 48(1), 13–25.
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Luo, C., Lan, Y., Luo, X. R., & Li, H. (2021). The effect of commitment on knowledge sharing: an empirical study of virtual communities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120438.
- Luo, J., Yang, Z., Li, S., & Wu, Y. (2021). FPCB surface defect detection: a decoupled two-stage object detection framework. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1–11.
- Luo, Q., Weightman, R., McQuade, S. T., Díaz, M., Trélat, E., Barbour, W., Work, D., Samaranyake, S., & Piccoli, B. (2022). Optimization of vaccination for COVID-19 in the midst of a pandemic. *arXiv preprint arXiv:2203.09502*.
- Luo, Z., Fang, Z., Zheng, S., Wang, Y., & Fu, Y. (2021). NMS-Loss: Learning with non-maximum suppression for crowded pedestrian detection. In *2021 International Conference on Multimedia Retrieval*, 481–485.
- Luo, Z., Liu, Z., & Shi, J. (2017). A two-echelon cooperated routing problem for a ground vehicle and its carried unmanned aerial vehicle. *Sensors*, 17(5), 1144.
- Lusch, R., & Vargo, S. L. (2009). Service-dominant logic: What it is, what it is not, what it might be. *The Service Dominant Logic of Marketing: Dialog, Debate, and Directions*, 43–56.
- Lyneis, J. M., Cooper, K. G., & Els, S. A. (2001). Strategic management of complex projects: a case study using system dynamics. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 17(3), 237–260.
- Ma, G., & Demeulemeester, E. (2013). A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning. *Computers & Operations Research*, 40(9), 2198–2207.
- Ma, X., Zhang, J., Du, B., Ding, C., & Sun, L. (2019). Parallel architecture of convolutional

- bi-directional LSTM neural networks for network-wide metro ridership prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(6), 2278–2288.
- Maenhouta, B., & Vanhouckea, M. (2013). An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems. *Omega*, 41(2), 485–499.
- Maglio, P. P., Srinivasan, S., Kreulen, J. T., & Spohrer, J. (2006). Service systems, service scientists, SSME, and innovation. *Communications of the ACM*, 49(7), 81–85.
- Mahanta, G. B., Deepak, B. B. V. L., & Biswal, B. B. (2022). Application of soft computing methods in robotic grasping: A state-of-the-art survey. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 236(2), 712–726.
- Mahato, A. C., & Ghoshal, S. K. (2020, 2021/02/01). Energy-saving strategies on power hydraulic system: An overview. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 235(2), 147–169.
- Mahmud, T., & Hasan, M. (2021). Vision-Based Human Activity Recognition. *Contactless Human Activity Analysis*, 1–42.
- Majnarić, L. T., Babič, F., O’Sullivan, S., & Holzinger, A. (2021). AI and big data in healthcare: towards a more comprehensive research framework for multimorbidity. *Journal of Clinical Medicine*, 10(4), 766.
- Makino, Y., Furuta, K., Kanno, T., Yoshihara, S., & Mase, T. (2009). Interactive method for service design using computer simulation. *Service Science*, 1(2), 121 – 134.
- Makridis, C. A., & Mishra, S. (2022). Artificial Intelligence as a Service, Economic Growth, and Well-Being. *Journal of Service Research*, 10946705221120218.
- Makrini, I. El, Merckaert, K., Winter, J. De., Lefeber, D., & Vanderborght, B. (2019). Task allocation for improved ergonomics in human-robot collaborative assembly. *Interaction Studies* 20(1), 102–133.
- Malekhouyan, S., Aghsami, A., & Rabbani, M. (2021). An integrated multi-stage vehicle routing and mixed-model job-shop-type robotic disassembly sequence scheduling problem for e-waste management system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(11), 1237–1262.
- Malik, M., Tariq, M. I., Kamran, M., & Naqvi, M. R. (2021). Artificial intelligence in medicine. In *Advances in Smart Vehicular Technology, Transportation, Communication and Applications*, 159–170.
- Manal, H., David, T., Abderrahman, E. M., Parisa, G., Alexandre D., & Abdellah A. (2022). Applying integrated Blockchain and Big Data technologies to improve supply chain traceability and information sharing in the textile sector. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100345.
- Mangla, S. K., & Luthra, S. (2022). When challenges need an evaluation: for operational excellence and sustainability orientation in humanitarian supply and logistics management. *Production Planning & Control*, 33(6–7), 539–557.
- Mantovani, A., & Ruiz-Aliseda, F. (2016). Equilibrium Innovation Ecosystems: The Dark Side of Collaborating with Complementors. *Management Science*, 62(2), 534–549.
- Mao, Q. C., Sun, H. M., Zuo, L. Q., & Jia, R. S. (2020). Finding every car: a traffic surveillance multi-scale vehicle object detection method. *Applied Intelligence*, 50(10), 3125–3136.
- Marbough, D., Simsekler, M. C. E., Salah, K., Jayaraman, R., & Ellahham, S. (2021). Blockchain-based Incident Reporting System for Patient Safety and Quality in Healthcare. *Trust Models for Next-Generation Blockchain Ecosystems*, 167–190.
- Marchesi, L., Mannaro, K., & Porcu, R. (2021). Automatic Generation of Blockchain Agri-food Traceability Systems. In *2021 IEEE/ACM 4th International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB)*, 31-31 May 2021.
- Marchesi, L., Mannaro, K., Marchesi, M., & Tonelli, R. (2022). Automatic Generation of Ethereum-Based Smart Contracts for Agri-Food Traceability System. *IEEE Access*, 10, 50363–50383.

- Marchiori, C. (2010). Concern for fairness and incentives in water negotiations. *Environmental & Resource Economics*, 45, 553–571.
- Marousi, A., & Kokossis, A. (2022). On the acceleration of global optimization algorithms by coupling cutting plane decomposition algorithms with machine learning and advanced data analytics. *Computers & Chemical Engineering*, 163, 107820.
- Marques, G., Agarwal, D., de la Torre Diez, I. (2020). Automated medical diagnosis of COVID-19 through EfficientNet convolutional neural network. *Applied Soft Computing*, 96, 106691.
- Martinho, G., Pires, A., Portela, G., & Fonseca, M. (2015). Factors affecting consumers' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 58–68.
- Mashud, A. H. M., Ray, D., Daryanto, Y., Mishra, U., & Tseng, M. L. (2022). Sustainable production lot sizing problem: a sensitivity analysis on controlling carbon emissions through green investment. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 10814.
- Mashud, A. H. M., Roy, D., Chakraborty, R. K., Tseng, M. L., & Pervin, M. (2022). An optimum balance among the reduction in ordering cost, product deterioration and carbon emissions: a sustainable green warehouse. *Environmental Science and Pollution Research International*.
- Mason, K., & Grijalva, S. (2019). A review of reinforcement learning for autonomous building energy management. *Computers & Electrical Engineering*, 78, 300–312.
- Mazyavkina, N., Sviridov, S., Ivanov, S., & Burnaev, E. (2021). Reinforcement learning for combinatorial optimization: A survey. *Computers & Operations Research*, 134, 105400.
- McCoy, J.H., & Lee, H.L. (2014). Using fairness models to improve equity in health delivery fleet management. *Production and Operations Management*, 23(6), 965–77.
- McFarlane, D., Giannikas, V., Wong, A. C., & Harrison, M. (2013). Product intelligence in industrial control: Theory and practice. *Annual Reviews in Control*, 37(1), 69–88.
- McGuire, T. W., & Staelin, R. (1983). An industry equilibrium analysis of downstream vertical integration. *Marketing Science*, 2(2), 161–191.
- McKinsey. (2020). Has pushed companies over the technology tipping point—and transformed business forever. McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/how-covid-19-has-pushed-companies-over-the-technology-tipping-point-and-transformed-business-forever>.
- McLoughlin, C., Patel, K. D., O'Callaghan, T., & Reeves, S. (2018). The use of virtual communities of practice to improve interprofessional collaboration and education: findings from an integrated review. *Journal of Interprofessional Care*, 32(2), 136–142.
- Meares, H. D., & Jones, M. P. (2020). When a system breaks: queueing theory model of intensive care bed needs during the COVID-19 pandemic. *The Medical Journal of Australia*, 212, 470.
- Mehrjerdi, H. (2020). Dynamic and multi-stage capacity expansion planning in microgrid integrated with electric vehicle charging station. *Journal of Energy Storage*, 29, 101351.
- Meisel, S., & Mattfeld, D. (2010). Synergies of operations research and data mining. *European Journal of Operational Research*, 26(1), 1–10.
- Meixell, M. J., & Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6), 531–550.
- Mena, C., Humphries, A., & Choi, T. Y. (2013). Toward a theory of multi-tier supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 49(2), 58–77.
- Meng, A., Chen, S., Ou, Z., Ding, W., Zhou, H., Fan, J., & Yin, H. (2022). A hybrid deep learning architecture for wind power prediction based on bi-attention mechanism and crisscross optimization. *Energy*, 238, 121795.
- Menon, V. G., Jacob, S., Joseph, S., Sehdev, P., Khosravi, M. R., & Al-Turjman, F. (2022). An

- IoT-enabled intelligent automobile system for smart cities. *Internet of Things*, 18, 100213.
- Meratizaman, M., Monadizadeh, S., & Amidpour, M. (2014). Simulation, economic and environmental evaluations of green solar parking (refueling station) for fuel cell vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(5), 2359–2373.
- Merigo, J. M., Cobo, M. J., Laengle, S., Rivas, D., & Herrera-Viedma, E. (2019). Twenty years of soft computing: A bibliometric overview, *Soft Computing*, 23(5), 1477–1497.
- Micro Strategy (2020). The 2020 global state of enterprise analytics. Retrieved from <https://www.microstrategy.com/en/resources/research-and-reports/the-2020-global-state-of-enterprise-analytics>
- Miller, G., Daly, M., & Roehrig, C. (2013). Tradeoffs in cardiovascular disease prevention, treatment, and research. *Health Care Management Science*, 16(2), 87–100.
- Minh, D., Wang, H. X., Li, Y. F., & Nguyen, T. N. (2022). Explainable artificial intelligence: a comprehensive review. *Artificial Intelligence Review*, 55, 3503–3568.
- Mintz, Y., & Brodie, R. (2019). Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 28(2), 73–81.
- Mirkouei, A., & Haapala, K. R. (2014). Integration of machine learning and mathematical programming methods into the biomass feedstock supplier selection process. *24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM), 20–23 May 2014, San Antonio, Texas*.
- Mirzaee, H., Samarghandi, H., & Willoughby, K. (2022). A three-player game theory model for carbon cap-and-trade mechanism with stochastic parameters. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108285.
- Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J., Baboli, A., & Sazvar, Z. (2013). A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions. *European Journal of Operational Research*, 230(1), 26–41.
- Mitaritonna, A., Abásolo, M. J., & Montero, F. (2020). An augmented reality-based software architecture to support military situational awareness. In *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 1–6.
- Mnih, V., Badia, A. P., Mirza, M., Graves, A., Lillicrap, T., Harley, T., Silver, D., & Kavukcuoglu, K. (2016). Asynchronous methods for deep reinforcement learning. In *International conference on machine learning, 19-26 June 2016, New York, USA*, 1928–1937.
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D., & Riedmiller, M. (2013). Playing atari with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1312.5602*.
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., Graves, A., Riedmiller, M., Fidjeland, A. K., Ostrovski, G., Petersen, S., Beattie, C., Sadik, A., Antonoglou, I., King, H., Kumaran, D., Wierstra, D., Legg, S., & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529–533.
- Mohakud, R., & Dash, R. (2022). Skin cancer image segmentation utilizing a novel EN-GWO based hyper-parameter optimized FCEDN. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Mohseni, S., Brent, A. C., & Burmester, D. (2020). A comparison of metaheuristics for the optimal capacity planning of an isolated, battery-less, hydrogen-based micro-grid. *Applied Energy*, 259, 114224.
- Monica, S., Neha, S. (2022). Systems approach to environment, social and governance (ESG): Case of Reliance industries. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 103–117.
- Mont, O. K. (2004). Product-service systems: panacea or myth? The International Institute for Industrial Environmental Economics. Lund University, Sweden.
- Montavon, G., Samek, W., & Müller, K. R. (2018). Methods for interpreting and understanding

- deep neural networks. *Digital Signal Processing*, 73, 1–15.
- Montreuil, B. (2011). Toward a physical internet: Meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, 3(2), 71–87.
- Moraes, L. A., & Faria, L. F. (2016). A stochastic programming approach to liquefied natural gas planning. *Pesquisa Operacional*, 36, 151–165.
- Morales-Mora, M.A., Rosa-Dominguez, E., Suppen-Reynagac, N., & Martinez-Delgadillod, S.A. (2012). Environmental and eco-costs life cycle assessment of an acrylonitrile process by capacity enlargement in Mexico. *Process Safety and Environmental Protection*, 90(1), 27–37.
- Moshood, T. D., Nawansir, G., Mahmud, F., Sorooshian, S., & Adeleke, A. Q. (2021). Green and low carbon matters: A systematic review of the past, today, and future on sustainability supply chain management practices among manufacturing industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100144.
- Mosier, C. I. (1951). Problems and designs of cross-validation. *Educational and Psychological Measurement*, 11(1), 5–11.
- Motto, A. L., Galiana, F. D., Conejo, A. J., & Arroyo, J. M. (2002). Network-constrained multi-period auction for a pool-based electricity market. *IEEE Transaction on Power Systems*, 17(3), 646–653.
- Mouzenidis, P., Louros, A., Konstantinidis, D., Dimitropoulos, K., Daras, P., & Mastos, T. (2021). Multi-modal variational faster R-CNN for improved visual object detection in manufacturing. In *IEEE International Conference on Computer Vision*, 2587–2594.
- Moxnes, E. (1998). Overexploitation of renewable resources: The role of misperceptions. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 37(1), 107–127.
- Mu, L., & Ma, J. (2007). Game theory of price decision in real estate industry. *International Journal of Nonlinear Science*, 3, 155–160.
- Muehlematter, U. J., Daniore, P., & Vokinger, K. N. (2021, 2021/03/01). Approval of artificial intelligence and machine learning-based medical devices in the USA and Europe (2015–20): a comparative analysis. *The Lancet Digital Health*, 3(3), e195–e203.
- Muharemagic, E. (2015). Deep learning applications and challenges in big data analytics. *Journal of Big Data*, 2(1), 1–21.
- Muñoz, A., Martí, A., Mahiques, X., Gracia, L., Solanes, J. E., & Tornero, J. (2020). Camera 3D positioning mixed reality-based interface to improve worker safety, ergonomics and productivity. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 28, 24–37.
- Murali, E., & Gopi, V. (2018). A survey paper on applications of soft computing techniques in agriculture, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 8(4), 180–183.
- Murali, S., Paul, K. D., McGwin, G., & Ponce, B. A. (2021). Updates to the current landscape of augmented reality in medicine. *Cureus*, 13(5).
- Murray, C. C., & Chu, A. G. (2015). The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54, 86–109.
- Muselli, M. (2004). Empirical models based on machine learning techniques for determining approximate reliability expressions. *Reliability Engineering & System Safety*, 83(3), 301–309.
- Yeh, W. C. (2018). Fast Algorithm for Searching d -MPs for all Possible d . *IEEE Transactions on Reliability*, 67(1), 308–315.
- Mushtaq, S., Maraseni, T., Maroulis, J., & Hafeez, M. (2009). Energy and water tradeoffs in enhancing food security: a selective international assessment. *Energy Policy*, 37, 3635–3644.
- Nair, V., Bartunov, S., Gimeno, F., von Glehn, I., Lichocki, P., Lobov, I., O'Donoghue, B., Sonnerat, N., Tjandraatmadja, C., Wang, P., Addanki, R., Hapuarachchi, T., Keck, T., Keeling, J., Kohli, P., Ktena, I., Li, Y., Vinyals, O., & Zwols, Y. (2020). Solving mixed integer programs using neural networks. *arXiv preprint arXiv:2012.13349*.

- Naiseh, M., Al-Thani, D., Jiang, N., & Ali, R. (2021). Explainable recommendation: when design meets trust calibration. *World Wide Web*, 24(5), 1857–1884.
- Naiseh, M., Cemiloglu, D., Al Thani, D., Jiang, N., & Ali, R. (2021). Explainable Recommendations and Calibrated Trust: Two Systematic User Errors. *Computer*, 54(10), 28–37.
- Naiseh, M., Jiang, N., Ma, J., & Ali, R. (2020). Personalising Explainable Recommendations: Literature and Conceptualisation. 518–533.
- Nakaishi, T., Takayabu, H., & Eguchi, S. (2021, 2021/10/01/). Environmental efficiency analysis of China's coal-fired power plants considering heterogeneity in power generation company groups. *Energy Economics*, 102, 105511.
- Nam, D., Lee, J., & Lee, H. (2019). Business analytics use in CRM: a nomological net from it competence to CRM performance. *International Journal of Information Management*, 45, 233–245.
- Naor, P. (1969). The regulation of queue size by levying tolls. *Econometrica*, 37, 15–24.
- Nash Jr, J. F. (1950). Equilibrium points in n-person games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 36(1), 48–49.
- Negri, M., Cagno, E., Colicchia, C., & Sarkis, J. (2021). Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda. *Business Strategy and the environment*, 30(7), 2858–2886.
- Nguyen, A., Yosinski, J., & Clune, J. (2016). Multifaceted feature visualization: Uncovering the different types of features learned by each neuron in deep neural networks. *arXiv preprint arXiv:1602.03616*.
- Nguyen, T. N., Zeadally, S., & Vuduthala, A. B. (2021). Cyber-Physical Cloud Manufacturing Systems With Digital Twins. *IEEE Internet Computing*, 26(3), 15–21.
- Nguyen, T., Zhou, L., Spiegler, V., Ieromonachou, P., & Lin, Y. (2018). Big Data Analytics In Supply Chain Management: A State-Of-The-Art Literature Review. *Computers & Operations Research*, 98, 254–264.
- Niccolai, A., Bettini, L., & Zich, R. (2021). Optimization of electric vehicles charging station deployment by means of evolutionary algorithms. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(9), 5359–5383.
- Niculescu, M. F., Wu, D. J., & Xu, L. Z. (2018). Strategic Intellectual Property Sharing: Competition on an Open Technology Platform Under Network Effects. *Information Systems Research*, 29(2), 498–519
- Nie, R., He, B., Hodges, D. H., & Ma, X. (2019). Form finding and design optimization of cable network structures with flexible frames. *Computers & Structures*, 220, 81–91.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*, Academic Press. Boston.
- Ning, C., & You, F. (2019). Optimization under uncertainty in the era of big data and deep learning: When machine learning meets mathematical programming. *Computers & Chemical Engineering*, 125, 434–448.
- Nissinen, A., Grönroos, J., Heiskanen, E., Honkanen, A., Katajajuuri, J. M., Kurppa, S., Mäkinen, T., Mäenpää, I., Seppälä, J., Timonen, P., Usva, K., Virtanen, Y., & Voutilainen, P. (2007). Developing benchmarks for consumer-oriented life cycle assessment-based environmental information on products, services and consumption patterns. *Journal of Cleaner Production*, 15(6), 538–549.
- Niu, W. J., & Feng, Z. K. (2021). Evaluating the performances of several artificial intelligence methods in forecasting daily streamflow time series for sustainable water resources management. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102562.
- Norman, D. A. (1988) *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books.
- Norman, D. A. (2002). Emotion & design: Attractive things work better. *Interactions Magazine*, ix(4), 36–42.

- Norris, S., Hagenbeck, J., & Schaltegger, S. (2021). Linking sustainable business models and supply chains—Toward an integrated value creation framework. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3960–3974.
- Nowakowski, P. (2018). A novel, cost efficient identification method for disassembly planning of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2695–2707.
- Nti, I. K., Adekoya, A. F., Weyori, B. A., & Nyarko-Boateng, O. (2021). Applications of artificial intelligence in engineering and manufacturing: A systematic review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1–21.
- Nuzzolo, A., & Comi, A. (2014). Exploring the Relationships Between e-shopping Attitudes and Urban Freight Transport. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 125, 239–250.
- Nuzzolo, A., & Comi, A. (2014). Urban freight demand forecasting: a mixed quantity/delivery/vehicle-based model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 65, 84–98.
- Nylén, P., Favero, F., Glimne, S., Teär Fahnehjelm, K., & Eklund, J. (2014). Vision, light and aging: A literature overview on older-age workers. *Work*, 47(3), 399–412.
- O'Neill, E. G., & Maravelias, C. T. (2021). Towards integrated landscape design and biofuel supply chain optimization. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 31, 100666.
- Ogawa, K., Kaneko, M., Kajihara, C., Sano, M., & Munechika, M. (2016). Systematization of countermeasures to improve business continuity of regional healthcare in a disaster. *Total Quality Science*, 2(2), 60–69.
- Oliva, R., & Sterman, J. (2001). Cutting corners and working overtime: Quality erosion in the service industry. *Management Science*, 47(7), 894–914.
- Oliveira, M. D., Rodrigues, T. C., Bana e Costa, C. A., & Brito de Sá, A. (2012). Prioritizing health care interventions: A multicriteria resource allocation model to inform the choice of community care programmes. *Advanced Decision Making Methods Applied to Health Care*, 173, 141–154.
- Olson, M. (1965). *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Omolaye, P. O., Mo, J. M., & Igwe, G. A. (2017). A holistic review of soft computing techniques, *Applied and Computational Mathematics*, 6(2), 93–110.
- Oquab, M., Bottou, L., Laptev, I., & Sivic, J. (2014). Learning and transferring mid-level image representations using convolutional neural networks. *In IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 23–28 June 2014, Columbus, USA*, 1717–1724.
- Ourahou, M., Ayrir, W., Hassouni, B. E., & Haddi, A. (2020). Review on smart grid control and reliability in presence of renewable energies: Challenges and prospects. *Mathematics and computers in simulation*, 167, 19–31.
- Ozbilge, A., Hassini, E., & Parlar, M. (2022). A review of bricks-and-clicks dual-channels literature: trends and opportunities. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 1–37.
- Özdamar, L., & Ertem, M. A. (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 244(1), 55–65.
- Ozen, A., & Balasubramanian, H. (2013). The impact of case mix on timely access to appointments in a primary care group practice. *Health Care Management Science*, 16(2), 101–118.
- Ozkaynak, M., Novak, L. L., Choi, Y. K., & Khot, R. A. (2021). *Emerging methods for patient ergonomics*. The Patient Factor. CRC Press.
- Oztemel E., & Gursev, S. (2020) Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182.
- Ozturk, I. (2015). Sustainability in the food-energy-water nexus: evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) countries. *Energy*, 93, 999–1010.

- Paich, M., & Sterman, J. D. (1993). Boom, bust, and failures to learn in experimental markets. *Management Science*, 39(12), 1439–1458.
- Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A Survey on Transfer Learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22(10), 1345–1359.
- Pan, S. J., Tsang, I. W., Kwok, J. T., & Yang, Q. (2011). Domain adaptation via transfer component analysis. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 22(2), 199–210.
- Panda, G., & Goswami, V. (2021). Equilibrium joining strategies of positive customers in a Markovian queue with negative arrivals and working vacations. *Methodology and Computing in Applied Probability*, In Press.
- Pandey, V., Pant, M., & Snasel, V. (2022). Blockchain technology in food supply chains: Review and bibliometric analysis. *Technology in Society*, 69, 101954.
- Pang, H., Zheng, Z., Zhen, T., & Sharma, A. (2021). Smart Farming: An Approach for Disease Detection Implementing IoT and Image Processing. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 12(1), 55–67.
- Panico, C., & Cennamo, C. (2022). User preferences and strategic interactions in platform ecosystems. *Strategic Management Journal*, 43(3), 507–529.
- Panzer, M., & Bender, B. (2022). Deep reinforcement learning in production systems: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 60(13), 4316–4341.
- Parekh, P., Patel, S., Patel, N., & Shah, M. (2020). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in medicine, retail, and games. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, 3(1), 1–20.
- Parhi, S., Joshi, K., & Akarte, M. (2021). Smart manufacturing: a framework for managing performance. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(3), 227–256.
- Parida, V., & Jovanovic, M. (2022). Servitization in global markets: role alignment in global service networks for advanced service provision. *R&D Management*, 52(3), 577–592.
- Park, H., & Baldick, R. (2020). Optimal capacity planning of generation system integrating uncertain solar and wind energy with seasonal variability. *Electric Power Systems Research*, 180, 106072.
- Park, J., Chun, J., Kim, S. H., Kim, Y., & Park, J. (2021). Learning to schedule job-shop problems: representation and policy learning using graph neural network and reinforcement learning. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3360–3377.
- Park, J., Lee, S., Lee, J., & Um, J. (2020). GadgetArm—Automatic Grasp Generation and Manipulation of 4-DOF Robot Arm for Arbitrary Objects Through Reinforcement Learning. *Sensors*, 20(21), 6183.
- Parker, G., & Van Alstyne, M. (2018). Innovation, Openness, and Platform Control. *Management Science*, 64(7), 3015–3032.
- Pasman H., & Reniers G. (2014). Past, present and future of quantitative risk assessment (QRA) and the incentive it obtained from land-use planning (LUP). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 28, 2–9.
- Pasternack, B. A. (1985). Optimal pricing and return policies for perishable commodities. *Marketing Science*, 4(2), 166–176.
- Patrick, J. (2012). A Markov decision model for determining optimal outpatient scheduling. *Health Care Management Science*, 15(2), 91–102.
- Patten, J., McAuliffe, B., Mayda, W., & Tanguay, B. (2012). Review of aerodynamic drag reduction devices for heavy trucks and buses. *National Research Council Canada NRC Technical Report CSTT-HVC-TR*, 205, 3.
- Pavlov, V., & Katok, E. (2011). Fairness and coordination failures in supply chain contracts. *Production and Operations Management*, 23(11), 2002–2022.
- Pazirandeh, A., & Maghsoudi, A. (2018). Improved coordination during disaster relief

- operations through sharing of resources. *Journal of the Operational Research Society*, 69(8), 1227–1241.
- Pelletier, C., & Wortmann, J.C. (2009). A risk analysis for gas transport network planning expansion under regulatory uncertainty in Western Europe. *Energy Policy*, 37(2), 721–732.
- Peng, J., Xie, R., & Lai, M. (2018). Energy-related CO₂ emissions in the China's iron and steel industry: a global supply chain analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 392–401.
- Perakis, G., & Sood, A. (2006). Competitive Multi-period Pricing for Perishable Products: A Robust Optimization Approach. *Mathematical Programming*, 107(B), 295–335.
- Perez, E., Huang, S., Song, F., Cai, T., Ring, R., Aslanides, J., Glaese, A., McAleese, N., & Irving, G. (2022). Red teaming language models with language models. arXiv preprint arXiv:2202.03286.
- Peternel, L., Kim, W., Babič, J., & Ajoudani, A. (2017). *Towards ergonomic control of human-robot co-manipulation and handover*, In *2017 IEEE-RAS 17th International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids)*, 15–17 November 2017, Birmingham, UK, 55–60.
- Peternel, L., Tsagarakis, N., Caldwell, D., & Ajoudani, A. (2018). Robot adaptation to human physical fatigue in human–robot co-manipulation, *Autonomous Robots*, 42, 1011–1021
- Pham, T. D., Nguyen, T. T., & Dinh, B. H. (2021). Find optimal capacity and location of distributed generation units in radial distribution networks by using enhanced coyote optimization algorithm. *Neural Computing and Applications*, 33(9), 4343–4371.
- Phonsa, G., & Bansal, K. K. (2018). A comprehensive review of soft computing techniques, *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(11), 9881–9886.
- Pieroni, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2021, 2021/03/01/). Circular economy business model innovation: Sectorial patterns within manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124921.
- Pirola, F., Boucher, X., Wiesner, S., & Pezzotta, G. (2020). Digital technologies in product-service systems: a literature review and a research agenda. *Computers in Industry*, 123, 103301.
- Pivo, G., & Environment Programme Finance Initiative, U. (2008). Responsible property investing: what the leaders are doing. *Journal of Property Investment & Finance*, 26 (6), 562–576.
- Pivoto, D. G., de Almeida, L. F., da Rosa Righi, R., Rodrigues, J. J., Lugli, A. B., & Alberti, A. M. (2021). Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. *Journal of manufacturing systems*, 58, 176–192.
- Plakas, G., Ponis, S. T., Agalinos, K., Aretoulaki, E., & Gayialis, S. P. (2020). Augmented reality in manufacturing and logistics: lessons learnt from a real-life industrial application. *Procedia Manufacturing*, 51, 1629–1635.
- Plous, S. (1993). *The Psychology of Judgment and Decision Making*. Temple University Press, Philadelphia.
- Poeschl, M., Ward, S., & Owende, P. (2012). Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. *Journal of Cleaner Production*, 24, 168–183.
- Popescu, G. H., Valaskova, K., & Horak, J. (2022). Augmented Reality Shopping Experiences, Retail Business Analytics, and Machine Vision Algorithms in the Virtual Economy of the Metaverse. *Journal of Self-Governance & Management Economics*, 10(2).
- Poupart, P., Vlassis, N., Hoey, J., & Regan, K. (2006). An analytic solution to discrete Bayesian reinforcement learning. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*, 25-29 June 2006, Pittsburgh Pennsylvania USA, 697–704.
- Poushneh, A. (2018). Augmented reality in retail: A trade-off between user's control of access to personal information and augmentation quality. *Journal of Retailing and Consumer*

- Services*, 41, 169–176.
- Powell, S. G., & Schultz, K. L. (2004). Throughput in serial lines with state-dependent behavior. *Management Science*, 50(8), 1095–1105.
- Pradipta, G. A., Wardoyo, R., Musdholifah, A., Sanjaya, I. N. H., & Ismail, M. (2021). SMOTE for Handling Imbalanced Data Problem: A Review. In *2021 Sixth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 3–4 November 2021, Jakarta, Indonesia, 1–8.
- Praveen, P., Shaik, M. A., Kumar, T. S., & Choudhury, T. (2021). Smart Farming: Securing Farmers Using Block Chain Technology and IOT. *Blockchain Applications in IoT Ecosystem*, 225–238.
- Price, S., & Rogers, Y. (2004). Let's get physical: The learning benefits of interacting in digitally augmented physical spaces. *Computers & Education*, 43(1–2), 137–151.
- Pudukotai Dinakarrao, S. M. (2021). Self-aware power management for multi-core microprocessors. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 29, 100480.
- Pujawan, I. N., & Bah, A. U. (2022). Supply chains under COVID-19 disruptions: literature review and research agenda. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 23(1), 81–95.
- Qadir, J., Islam, M. Q., & Al-Fuqaha, A. (2022). Toward accountable human-centered AI: rationale and promising directions, *Journal of Information, Communication and Ethics in Society*, 20(2): 329–342.
- Qi, Q., & Tao, F. (2019). A smart manufacturing service system based on edge computing, fog computing, and cloud computing. *IEEE Access*, 7, 86769–86777.
- Qian, L., Wu, J. Y., DiMaio, S. P., Navab, N., & Kazanzides, P. (2019). A review of augmented reality in robotic-assisted surgery. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 2(1), 1–16.
- Qin, J., Curmi, E., Kopec, G., Allwood, J., & Richards, K. (2015). China's energy - water nexus - assessment of the energy sector's compliance with the "3 Red Lines" industrial water policy. *Energy Policy*, 83, 131–143.
- Qin, J., Fu, X., Peng, S., Xu, Y., Huang, J., & Huang, S. (2019). Asymmetric Bargaining Model for Water Resource Allocation over Transboundary Rivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 1733.
- Qin, Z., & Lu, Y. (2021). Self-organizing manufacturing network: A paradigm towards smart manufacturing in mass personalization. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 35–47.
- Qiu, S., Zhao, H., Jiang, N., Wang, Z., Liu, L., An, Y., Zhao, H., Miao, X., Liu, R., & Fortino, G. (2022). Multi-sensor information fusion based on machine learning for real applications in human activity recognition: State-of-the-art and research challenges. *Information Fusion*, 80, 241–265.
- Qiu, Y., Song, J., & Liu, Z., (2016). A simulation optimisation on the hierarchical health care delivery system patient flow based on multi-fidelity models. *International Journal of Production Research*, 54(21), 6478–6493.
- Qureshi, M. J., & Siddiqui, D. A. (2020). The effect of intangible assets on financial performance, financial policies, and market value of technology firms: a global comparative analysis. *Asian Journal of Finance and Accounting*, 12(1), 26–57.
- Rahimian, H., & Mehrotra, S., (2019). Distributionally robust optimization: A review. *arXiv preprint arXiv:1908.05659*.
- Rai, R., Tiwari, M. K., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4773–4778.
- Raj, A., Mukherjee, A. A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Srivastava, S. K. (2022). Supply chain management during and post-COVID-19 pandemic: Mitigation strategies and practical lessons learned. *Journal of Business Research*, 142, 1125–1139.
- Rajabion, L., Nazari, N., Bandarchi, M., Farashiani, A., & Haddad, S. (2019). Knowledge

- sharing mechanisms in virtual communities: A review of the current literature and recommendations for future research. *Human Systems Management*, 38(4), 365–384.
- Rajnoha, R., & Hadač, J. (2021). Strategic Key Elements in Big Data Analytics as Driving Forces of IoT Manufacturing Value Creation: A Challenge for Research Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1-16.
- Ralbovsky, N. M., & Lednev, I. K. (2020). Towards development of a novel universal medical diagnostic method: Raman spectroscopy and machine learning. *Chemical Society Reviews*, 49(20), 7428–7453.
- Ramachandran, D., & Amir, E. (2007). Bayesian inverse reinforcement learning. in *The 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 51(61801), 1–4.
- Ramakrishnan, N., & Kumar, R. (2016). Big Data, *Computer*, 49(4), 20–22.
- Ramirez-Marquez, J. E., & Coit, D. W. (2005). A Monte-Carlo simulation approach for approximating multi-state two-terminal reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, 87, 253–264.
- Ramirez-Marquez, J. E., & Coit, D. W. (2007). Multistate component criticality analysis for reliability improvement in multistate systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 92(12), 1608–1619
- Rao, K., Sak, H., & Prabhavalkar, R. (2017). Exploring architectures, data and units for streaming end-to-end speech recognition with RNN-transducer. in *Proc. ASRU*.
- Rao, R. C. (1990). Compensating heterogeneous salesforces: Some explicit solutions. *Marketing Science*, 9(4), 319–341.
- Rarasimha P.T., Jena P. R., & Majhi, R. (2021). Impact of COVID-19 on the Indian seaport transportation and maritime supply chain. *Transport Policy*, 110, 191–203.
- Rastogi, N., Rastogi, S., Darbari, M. (2018). Survey on software reliability prediction using soft computing, *International Journal of Computer Engineering & Technology*, 9(4), 212–216.
- Ratta, P., Kaur, A., Sharma, S., Shabaz, M., & Dhiman, G. (2021). Application of Blockchain and Internet of Things in Healthcare and Medical Sector: Applications, Challenges, and Future Perspectives. *Journal of Food Quality*, 2021, 7608296.
- Ravi, D., Wong, C., Deligianni, F., Berthelot, M., Andreu-Perez, J., Lo, B., & Yang, G. Z. (2017). Deep learning for health informatics. *Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1), 4–21.
- Ray, K. S. (2015). *Soft Computing and Its Applications*, CRC Press, 1, 1–28.
- Razdan, H., & Kumar, A. (2020). Ramping up the supply chain post Covid-19. KPMG in India.
- Razzaq, A., Sharif, A., Najmi, A., Tseng, M. L., & Lim, M. K. (2021). Dynamic and causality interrelationships from municipal solid waste recycling to economic growth, carbon emissions and energy efficiency using a novel bootstrapping autoregressive distributed lag. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105372.
- Regenbrecht, H., & Schubert, T. (2021). Measuring presence in augmented reality environments: design and a first test of a questionnaire. *arXiv:2103.02831*.
- Rehman, A., Naz, S., & Razzak, I. (2022). Leveraging big data analytics in healthcare enhancement: trends, challenges and opportunities. *Multimedia Systems*, 28(4), 1339–1371.
- Reim, W., Parida, V., & Örtqvist, D. (2015). Product–Service Systems (PSS) business models and tactics—a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 97, 61–75.
- Reiner, A. J., Vasquez, H. M., Jamieson, G. A., & Hollands, J. G. (2022). Comparing an augmented reality navigation display to an electronic map for military reconnaissance. *Ergonomics*, 65(1), 78–90.
- Ren, S. D., Zhao, Y. D., Lou, J. J., Hong, H. H., & Wang, H. W. (2018). Multifactor correlation analysis and modeling for product low-carbon design. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(7), 432–443.

- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017) Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(6), 1137–1149.
- Repenning, N. P., & Sterman, J. D. (2002). Capability traps and self-confirming attribution errors in the dynamics of process improvement. *Administrative Science Quarterly*, 47(2), 265–295.
- Restubog, S. L. D., Ocampo, A. C. G., & Wang, L. (2020). Taking control amidst the chaos: Emotion regulation during the COVID-19 pandemic. *Journal of Vocational Behavior*, 119, 103440.
- Rezaeianjouybari, M., & Shang, Y. (2020). Deep learning for prognostics and health management: State of the art, challenges, and opportunities. *Measurement*, 163, 107929.
- Rheingans, R., Atherly, D., & Anderson, J. (2012). Distributional impact of rotavirus vaccination in 25 GAVI countries: estimating disparities in benefits and cost-effectiveness. *Vaccine*, 30, A15–A23.
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should I trust you?" Explaining the predictions of any classifier. In *22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining, 13–17 August 2016, California USA*, 1135–1144.
- Richards, J. T., Piorkowski, D., Hind, M., Houde, S., & Mojsilović, A. (2020). A Methodology for Creating AI FactSheets. *ArXiv, abs/2006.13796*.
- Richens, J. G., Lee, C. M., & Johri, S. (2020). Improving the accuracy of medical diagnosis with causal machine learning. *Nature Communications*, 11(1), 1–9.
- Richter, F. (2020). These Are the Top 10 Manufacturing Countries in the World. *World Economic Forum*.
- Rietveld, J., & Ploog, J. N. (2022). On top of the game? The double-edged sword of incorporating social features into freemium products. *Strategic Management Journal*, 43(6), 1182–1207
- Rietveld, J., Ploog, J. N., Nieborg, D. (2020). The coevolution of platform dominance and governance strategies: effects on complementor performance outcomes. *Academy of Management Discoveries*, 6(3), 488–513.
- Rocchetta, R., Bellani, L., Compare, M., Zio, E., & Patelli, E. (2019). A reinforcement learning framework for optimal operation and maintenance of power grids. *Applied Energy*, 241, 291–301.
- Rocha Filho, T. M., Mendes, J. F., Murari, T. B., Nascimento Filho, A. S., Cordeiro, A. J., Ramalho, W. M., Scorza, F. A., Almeida, A. C. G., & Moret, M. A. (2022). Optimization of COVID-19 vaccination and the role of individuals with a high number of contacts: A model based approach. *PloS One*, 17(3), e0262433.
- Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of Risk*, 2, 21–41.
- Rodríguez-Sanz, Á., de Marcos, A. F., Pérez-Castán, J. A., Comendador, F. G., Valdés, R. A., & Loreiro, Á. P. (2021). Queue behavioural patterns for passengers at airport terminals: A machine learning approach. *Journal of Air Transport Management*, 90, 101940.
- Rojanakit, P., de Oliveira, R. T., & Dulleck, U. (2022). The sharing economy: A critical review and research agenda. *Journal of Business Research*, 139, 1317–1334.
- Rokni, S. G. M., Radmehr, M., & Zakariazadeh, A. (2018). Optimum energy resource scheduling in a microgrid using a distributed algorithm framework. *Sustainable cities and society*, 37, 222–231.
- Romano, B., Sands, S., & Pallant, J. I. (2021). Augmented reality and the customer journey: An exploratory study. *Australasian Marketing Journal*, 29(4), 354–363.
- Rosebraugh, M. R., Widness J. A., & Veng-Pedersen, P. (2012). Multidose optimization simulation of erythropoietin treatment in preterm infants. *Pediatric Research*, 71(4–1), 332–337.
- Roth, A. V., & Menor, L. J. (2003). Insights into service operations management: a research

- agenda. *Production and Operations management*, 12(2), 145–164.
- Routroy, S., & Behera, A. (2017). Agriculture supply chain. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 7(3), 275–302.
- Ruiz, C., Conejo, A. J., Fuller, J. D., Gabriel, S. A., & Hobbs, B. F. (2014). A tutorial review of complementarity models for decision-making in energy markets. *EURO Journal on Decision Processes*, 2(1–2), 91–120.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533–536.
- Runji, J. M., Lee, Y. J. & Chu, C. H. (2022). Systematic literature review on augmented reality-based maintenance applications in manufacturing centered on operator needs. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, <https://doi.org/10.1007/s40684-022-00444-w>.
- Ryall, M. D., & Sampson, R. C. (2017). Contract Structure for Joint Production: Risk and Ambiguity Under Compensatory Damages. *Management Science*, 63(4), 1232–1253.
- Ryzhov, I. O., Mes, M. R., Powell, W. B., & van den Berg, G. (2019). Bayesian exploration for approximate dynamic programming. *Operations Research*, 67(1), 198–214.
- Saari, U. A., Damberg, S., Frömbling, L., & Ringle, C. M. (2021). Sustainable consumption behavior of Europeans: The influence of environmental knowledge and risk perception on environmental concern and behavioral intention. *Ecological Economics*, 189, 107155.
- Sabbaghtorkan, M., Batta, R., & He, Q. (2020). Prepositioning of assets and supplies in disaster operations management: Review and research gap identification. *European Journal of Operational Research*, 284(1), 1–19.
- SAE. (2018). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles, J3016_201806.
- Sağiroğlu, Ş., and Sinanc, D. (2013). Big data: A review. In *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), 20–24 May 2013, San Diego, USA* 42–47.
- Sahu, C. K., Young, C., & Rai, R. (2021). Artificial intelligence (AI) in augmented reality (AR)-assisted manufacturing applications: a review. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4903–4959.
- Sak, H., Senior, A., Rao, K., Beaufays, F., & Schalkwyk, J. (2015). Google voice search: faster and more accurate. Google Research Blog.
- Samat, A., Persello, C., Gamba, P., Liu, S., Abuduwaili, J., & Li, E. (2017). Supervised and semi-supervised multi-view canonical correlation analysis ensemble for heterogeneous domain adaptation in remote sensing image classification. *Remote sensing*, 9(4), 337.
- Samek, W., Wiegand, T., & Müller, K. R. (2017). Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models. *arXiv preprint arXiv:1708.08296*.
- Samii, A., Pibernik, R., Yadav, P., & Vereecke, A. (2012). Reservation and allocation policies for influenza vaccines. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 495–507.
- Samsura, D., van der Krabben, E., & van Deemen, A. (2010). A game theory approach to the analysis of land and property development processes. *Land Use Policy*, 27, 564–578.
- Sánchez, P., & Bellogín, A. (2022). Point-of-interest recommender systems based on location-based social networks: a survey from an experimental perspective. *ACM Computing Surveys (CSUR)*.
- Santhosh, A., Farid, A., & Youcef-Toumi, K. (2014). Real-time economic dispatch for the supply side of the energy-water nexus. *Applied Energy*, 122, 42–52.
- Sapienza, S., & Vedder, A. (2021). Principle-based recommendations for big data and machine learning in food safety: the P-SAFETY model. *AI & SOCIETY*.
- Sarkar, B., Sarkar, M., Ganguly, B., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2021). Combined effects of carbon emission and production quality improvement for fixed lifetime products in a

- sustainable supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 231, 107867.
- Sarkar, S., & Kumar, S. (2015). A behavioral experiment on inventory management with supply chain disruption. *International Journal of Production Economics*, 169, 169–178.
- Sarker, B. R., Wu, B., & Paudel, K. P. (2019). Modeling and optimization of a supply chain of renewable biomass and biogas: Processing plant location. *Applied energy*, 239, 343–355.
- Sarkis, J., & Zhu, Q. (2018). Environmental sustainability and production: taking the road less travelled. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 743–759.
- Savelsbergh, M., & Van Woensel, T. (2016). 50th anniversary invited article—city logistics: Challenges and opportunities. *Transportation Science*, 50(2), 579–590.
- Sazvar, Z., Zokaee, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Salari, S. A. S., & Nayeri, S. (2021). Designing a sustainable closed-loop pharmaceutical supply chain in a competitive market considering demand uncertainty, manufacturer’s brand and waste management. *Annals of Operations Research*, 1–32.
- Schein, K. E., & Rauschnabel, P. A. (2021). Augmented reality in manufacturing: exploring workers’ perceptions of barriers. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Schmidt, A. (2020). *Interactive Human Centered Artificial Intelligence: A Definition and Research Challenges*.
- Schmidt, K., & Bannon, L. (1992). Taking CSCW seriously. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 1(1), 7–40.
- Schmitt, R., Köhler, M., Durá, J.V., & Diaz-Pineda, J. (2014). Objectifying user attention and emotion evoked by relevant perceived product components. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 3(2), 315–324.
- Schor, J. (2016). Debating the sharing economy. *Journal of self-governance and management economics*, 4(3), 7–22.
- Schorsch, T., Wallenburg, C. M., & Wieland, A. (2017). The human factor in SCM: introducing a meta-theory of behavioral supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(4), 238–262.
- Schroll, R., Schnurr, B., & Grewal, D. (2018). Humanizing products with handwritten typefaces. *Journal of Consumer Research*, 45(3), 648–672.
- Schulman, J., Levine, S., Abbeel, P., Jordan, M., & Moritz, P. (2015). Trust region policy optimization. In *International conference on machine learning, 6–11 July 2015, Lille, France*, 1889–1897.
- Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). Proximal policy optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1707.06347*.
- Schultz, K. L., Juran, D. C., & Boudreau, J. W. (1999). The effects of low inventory on the development of productivity norms. *Management Science*, 45(12), 1664–1678.
- Schweitzer, M. E., & Cachon, G. P. (2000). Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence. *Management Science*, 46(3), 404–420.
- Schwendicke, F., Walsh, T., Lamont, T., Al-Yaseen, W., Bjørndal, L., Clarkson, J. E., Fontana, M., Gomez Rossi, J., Göstemeyer, G., Levey, C., Müller, A., Ricketts, D., Robertson, M., Santamaria, R. M., & Innes, N. P. (2021). Interventions for treating cavitated or dentine carious lesions. *Cochrane Database Syst Rev*, 7(7), Cd013039.
- Seide, F., Li, G., & Yu, D. (2011). Feature engineering in context-dependent deep neural networks for conversational speech transcription. In *2011 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition & Understanding, 11–15 December 2011, Waikoloa, HI, USA*, 24–29.
- Seifert, R. W., Thonemann, U. W., & Sieke, M. A. (2006). Integrating direct and indirect sales channels under decentralized decision-making. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 209–229.

- Selten, R. (1965). Spieltheoretische behandlung eines oligopolmodells mit nachfrageträgheit: Teil i: Bestimmung des dynamischen preisgleichgewichts. *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft/Journal of Institutional and Theoretical Economics*, *H(2)*, 301–324.
- Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017). Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, 22–29 October 2017, Venice, Italy*, 618–626.
- Senyo, P. K., & Osabutey, E. L. (2021). Transdisciplinary perspective on sustainable multi-tier supply chains: a triple bottom line inspired framework and future research directions. *International Journal of Production Research*, 1–16.
- Seo, S., Kim, J., Yum, K. K., & McGregor, J. (2015). Embodied carbon of building products during their supply chains: Case study of aluminium window in Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, *105*, 160–166.
- Sevier, A. J. (1992). Managing employee resistance to JIT: Creating an atmosphere that facilitates implementation. *Production and Inventory Management Journal*, *33(1)*, 83–87.
- Shafqat, S., Kishwer, S., Rasool, R. U., Qadir, J., Amjad, T., & Ahmad, H. F. (2020). Big data analytics enhanced healthcare systems: a review. *The Journal of Supercomputing*, *76*, 1754–1799.
- Shah, K. J., Pan, S. Y., Lee, I., Kim, H., You, Z., Zheng, J. M., & Chiang, P. C. (2021). Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies. *Journal of Cleaner Production*, *326*, 129392.
- Shah, K. J., Pan, S. Y., Lee, I., Kim, H., You, Z., Zheng, J. M., & Chiang, P. C. (2021). Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies. *Journal of Cleaner Production*, *326*, 129392.
- Shaheen, S., & Cohen, A. (2020). Innovative Mobility: Carsharing Outlook Carsharing Market Overview, Analysis, And Trends. *UC Berkeley: Transportation Sustainability Research Center*. Retrieved from: <https://escholarship.org/uc/item/9jh432pm>.
- Sharma, G. V. S. S., Prasad, C. L. V. R. S. V., & Srinivasa Rao, M. (2021). Industrial engineering into healthcare—A comprehensive review. *International Journal of Healthcare Management*, *14(4)*, 1288–1302.
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, *119*, 104926.
- Shaw, L., Jazayeri, D., Kiegaldie, D., & Morris, M. E. (2022). Implementation of Virtual Communities of Practice in Healthcare to Improve Capability and Capacity: A 10-Year Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19(13)*, 7994.
- Shaw, S., Grant, D. B., & Mangan, J. (2021, 2021/04/04). A supply chain practice-based view of enablers, inhibitors and benefits for environmental supply chain performance measurement. *Production Planning & Control*, *32(5)*, 382–396.
- Shcherbakov, V., & Silkina, G. (2021). Supply Chain Management Open Innovation: Virtual Integration in the Network Logistics System. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *7*, 54.
- Sheffield, J., Wood, E. F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A., & Verbist, K. (2018). Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data-poor regions. *Water Resources Research*, *54(12)*, 9724–9758.
- Shehadeh, K. S., & Padman, R. (2021). A Distributionally Robust Optimization Approach for Stochastic Elective Surgery Scheduling with Limited Intensive Care Unit Capacity. *European Journal of Operational Research*, *290(3)*, 901–913.
- Shen, L., Olfat, L., Govindan, K., Khodaverdi, R., & Diabat, A. (2013). A fuzzy multi criteria

- approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 170–179.
- Shen, T., Hua, K., & Liu, J. (2019). Optimized public parking location modelling for green intelligent transportation system using genetic algorithms. *IEEE Access*, 7, 176870–176883.
- Shen, Y. (1995). A new simple algorithm for enumerating all minimal paths and cuts of a graph. *Microelectronics Reliability*, 35(6), 973–976.
- Shi, H., Xu, M., & Li, R. (2018). Deep learning for household load forecasting—A novel pooling deep RNN. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(5), 5271–5280.
- Shi, J., Zhang, G., & Sha, J. (2011). Optimal production and pricing policy for a closed loop system. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 639–647.
- Shi, Q., Li, F., Olama, M., Dong, J., Xue, Y., Starke, M., Winstead, C., & Kuruganti, T. (2021). Network reconfiguration and distributed energy resource scheduling for improved distribution system resilience. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 124, 106355.
- Shimada, K., Tanaka, Y., Gomi, K., & Matsuoka, Y. (2007). Developing a long-term local society design methodology towards a low-carbon economy: An application to Shiga Prefecture in Japan. *Energy Policy*, 35(9), 4688–4703.
- Shin, H., Bunosso, I., & Levine, L. R. (2022). The Influence of Chatbot Humor on Consumer Evaluations of Services. *International Journal of Consumer Studies*.
- Shin, K. Y., & Park, H. C. (2019). Smart Manufacturing Systems Engineering for Designing Smart Product-Quality Monitoring System in the Industry 4.0. In *2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 15–18 October 2019, Jeju, Korea*, 1693–1698.
- Shladover, S. E., Su, D., & Lu, X. Y. (2012). Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow. *Transportation Research Record*, 2324(1), 63–70.
- Shneiderman, B. (2020a). Human-Centered Artificial Intelligence: Reliable, Safe & Trustworthy. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 36(6), 495–504.
- Shneiderman, B. (2020b). Human-Centered Artificial Intelligence: Three Fresh Ideas.
- Shrikumar, A., Greenside, P., & Kundaje, A. (2017). Learning important features through propagating activation differences. In *International conference on machine learning, 6–11 August 2017, Sydney Australia*, 3145–3153.
- Sicari, S., Rizzardi, A., & Coen-Porisini, A. (2022). Security&privacy issues and challenges in NoSQL databases. *Computer Networks*, 206, 108828.
- Silva, M., Morais, H., & Vale, Z. (2012). An integrated approach for distributed energy resource short-term scheduling in smart grids considering realistic power system simulation. *Energy Conversion and Management*, 64, 273–288.
- Silver, D., Lever, G., Heess, N., Degris, T., Wierstra, D., & Riedmiller, M. (2014). Deterministic policy gradient algorithms. In *31st International Conference on Machine Learning, 21–June 26 2014, Beijing, China*.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., & Shankar, R. (2008). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*. Tata McGraw-Hill Education.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. doi: 10.48550/arxiv.1409.1556.
- Simonyan, K., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2014). Deep inside convolutional networks: Visualising image classification models and saliency maps. In *Workshop at International Conference on Learning Representations, 14–16 April 2014, Banff, AB, Canada*.
- Sirola, A., Savela, N., Savolainen, I., Kaakinen, M., & Oksanen, A. (2021). The role of virtual communities in gambling and gaming behaviors: A systematic review. *Journal of Gambling Studies*, 37(1), 165–187.
- Smink, A. R., Frowijn, S., van Reijmersdal, E. A., van Noort, G., & Neijens, P. C. (2019). Try

- online before you buy: How does shopping with augmented reality affect brand responses and personal data disclosure. *Electronic Commerce Research and Applications*, 35, 100854.
- Smith, S. S., & Chen, W. H. (2011). Rule-based recursive selective disassembly sequence planning for green design. *Advanced Engineering Informatics*, 25(1), 77–87.
- Smiti, A. (2020). When machine learning meets medical world: Current status and future challenges. *Computer Science Review*, 37, 100280.
- Snapp, S. (2021). Is Big Data the Silver Bullet for Supply-Chain Forecasting? *Business Forecasting: The Emerging Role of Artificial Intelligence and Machine Learning*, 136.
- Snyder, L. V., & Shen, Z. J. M. (2006). Supply and demand uncertainty in multi-echelon supply chains. *Submitted for publication, Lehigh University*, 15.
- Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2019). Research opportunities in supply chain transparency. *Production and Operations Management*, 28(12), 2946–2959.
- Sodhi, M. S., Tang, C. S., & Willenson, E. T. (2021). Research opportunities in preparing supply chains of essential goods for future pandemics. *International Journal of Production Research*, 1–16.
- Soleimani, H., Chhetri, P., Fathollahi-Fard, A. M., Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J., & Shahparvari, S. (2022). Sustainable closed-loop supply chain with energy efficiency: Lagrangian relaxation, reformulations and heuristics. *Annals of Operations Research*, 1–26.
- Son, Y. H., Kim, G. Y., Kim, H. C., Jun, C., & Noh, S. D. (2022). Past, present, and future research of digital twin for smart manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 9(1), 1–23.
- Song L., Zhan X., Zhang H., Xu M., Liu J., & Zheng C. (2022). How much is global business sectors contributing to sustainable development goals? *Sustainable Horizons*. 1, 100012.
- Song, J. S., & Lee, K. M. (2010). Development of a low-carbon product design system based on embedded GHG emissions, Resources. *Conservation and Recycling*, 54(9), 547–556.
- Song, W., Chen, J. Q., & Li, W. L. (2021). Spillover Effect of Consumer Awareness on Third Parties' Selling Strategies and Retailers' Platform Openness. *Information Systems Research*, 32(1), 172–193.
- Sönmez, E., Kekre, S., Scheller-Wolf, A., & Secomandi, N. (2013) Strategic analysis of technology and capacity investments in the liquefied natural gas industry. *European Journal of Operational Research*, 226(1), 100–114.
- Southard, P. B., Chandra, C., & Kumar, S. (2012). RFID in healthcare: a Six Sigma DMAIC and simulation case study. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 25(4), 291–321.
- Sovacool, B., & Sovacool, K. (2009). Identifying future electricity-water tradeoffs in the United States. *Energy Policy*, 37, 2763–2773.
- Spath, D. (2007). *Advances in services innovations*. K. P. Fähnrich. New York: Springer.
- Spielberger, C. D., & Reheiser, E. C. (2009). Assessment of Emotions: Anxiety, Anger, Depression, and Curiosity. *Health and Well-Being*, 1(3), 271–302.
- Springenberg, J. T., Dosovitskiy, A., Brox, T., & Riedmiller, M. (2014). Striving for simplicity: The all convolutional net. *arXiv preprint arXiv:1412.6806*.
- Srivastava, S., Vaddadi, S., Kumar, P., & Sadistap, S. (2018). Design and development of reverse osmosis (RO) plant status monitoring system for early fault prediction and predictive maintenance. *Applied Water Science*, 8(6), 159.
- Stathopoulos, C., Kaperoni, A., Galanis, G., & Kallos, G. (2013). Wind power prediction based on numerical and statistical models. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 112, 25–38.
- Sterman, J. D. (1989a). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35, 321–339.
- Sterman, J. D. (1989b). Misperceptions of feedback in dynamic decision making.

- Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43(3), 301–335.
- Steuer, B., Ramusch, R., Part, F., & Salhofer, S. (2017). Analysis of the value chain and network structure of informal waste recycling in Beijing, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 137–150.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.
- Stonig, J., Schmid, T., & Muller-Stewens, G. (2022). From product system to ecosystem: How firms adapt to provide an integrated value proposition. *Strategic Management Journal*.
- Storey, A. (2002). Performance Management in Schools: could the Balanced Scorecard help? *School Leadership & Management*, 22(3), 321–338.
- Strasser, H. (2017). The “Art of Aging” from an ergonomics viewpoint – Wisdoms on age. *Occupational Ergonomics*, 13(S1), 1–24.
- Strens, M. (2000). A Bayesian framework for reinforcement learning. In *The 7th International Conference on Machine Learning, 29 June–2 July 2000, San Francisco, USA*, 943–950.
- Styles, D., Schoenberger, H., & Galvez-Martos, J. L. (2012). Environmental improvement of product supply chains: A review of European retailers’ performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 65, 57–78.
- Su, X. (2007). Intertemporal pricing with strategic customer behavior. *Management Science*, 53(5), 726–741.
- Subhashini, P., Siddiqua, R., Keerthana, A., & Pavani, P. (2020). Augmented reality in education. *Journal of Information Technology*, 2(4), 221–227.
- Sukhija, S., Krishnan, N. C., & Singh, G. (2016). Supervised Heterogeneous Domain Adaptation via Random Forests. In *25th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 9–15 July 2016, New York, USA*, 2039–2045.
- Sun, C., & Ji, Y. (2021). For Better or For Worse: Impacts of IoT Technology in e-Commerce Channel. *Production and Operations Management*, 31(3), 1353–1371.
- Sun, K., & Wang, J. (2022). Game-theoretic analysis of the single vacation queue with negative customers. *Quality Technology & Quantitative Management*, 19, 403–427.
- Sun, S., & Huang, C. (2021). Energy structure evaluation and optimization in BRICS: A dynamic analysis based on a slack based measurement DEA with undesirable outputs. *Energy*, 216, 119251.
- Sunar, N., & Plambeck, E. (2016). Allocating emissions among co-products: Implications for procurement and climate policy. *Manufacturing & Service Operations Management*, 18(3), 414–428.
- Sundararajan, M., Taly, A., & Yan, Q. (2017). Axiomatic attribution for deep networks. In *International conference on machine learning, 6–11 August 2017, Sydney Australia*, 3319–3328.
- Sungur, I., Ordonez, F., & Dessouky, M. (2008). A robust optimization approach for the capacitated vehicle routing problem with demand uncertainty. *IIE Transactions*, 40(5), 509–523.
- Suryawanshi, P., & Dutta, P. (2022). Optimization models for supply chains under risk, uncertainty, and resilience: A state-of-the-art review and future research directions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102553.
- Sutton, R. S., McAllester, D., Singh, S., & Mansour, Y. (1999). Policy gradient methods for reinforcement learning with function approximation. *Advances in neural information processing systems*, 12.
- Swann, W. H. (1972). Direct search methods. *Numerical methods for Unconstrained Optimization*, 13–28.
- Szarski, M., & Chauhan, S. (2021). Composite temperature profile and tooling optimization

- via Deep Reinforcement Learning. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 142, 106235.
- Szegedy, C., Wei, L., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1–9.
- Szmukler, G. (2009). Service users in research and a ‘well ordered science’. *Journal of Mental Health*, 18(2), 87–90.
- Tachizawa, E. M., & Wong, C. Y. (2014). Towards a theory of multitier sustainable supply chains: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5–6), 643–663.
- Tamura, H. (2005). Behavioral models for complex decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 166(3), 655–665.
- Tan, A. H. (1999). Text mining: The state of the art and the challenges. In *Proceedings of the pakdd 1999 workshop on knowledge discovery from advanced databases*, 8, 65–70.
- Tan, K. M., Babu, T. S., Ramachandramurthy, V. K., Kasinathan, P., Solanki, S. G., & Raveendran, S. K. (2021). Empowering smart grid: A comprehensive review of energy storage technology and application with renewable energy integration. *Journal of Energy Storage*, 39, 102591.
- Tan, M., & Le, Q.V. (2019). EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *36th International Conference on Machine Learning*, 10691–10700.
- Tan, M., Pang, R., & Le, Q.V. (2020). EfficientDet: scalable and efficient object detection. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 10778–10787.
- Tang, L., Li, J., Du, H., Li, L., Wu, J., & Wang S. (2022). Big Data in Forecasting Research: A Literature Review. *Big Data Research*, 27, 100289.
- Tao, G. Zhao, K., Gift, T., Qiu, F., & Chen, G. (2012). Using a resource allocation model to guide better local sexually transmitted disease control and prevention programs. *Operations Research for Health Care*, 1(2–3), 23–29.
- Tapuria, A., Porat, T., Kalra, D., Dsouza, G., Xiaohui, S., & Curcin, V. (2021, 2021/06/02). Impact of patient access to their electronic health record: systematic review. *Informatics for Health and Social Care*, 46(2), 194–206.
- Taras, D. G. (1991). Breaking the silence: Differentiating crises of agreements. *Public Administration Quarterly*, 14, 401–418.
- Tay, B. T., Low, S. C., Ko, K. H., & Park, T. (2016). Types of humor that robots can play. *Computers in Human Behavior*, 60, 19–28.
- Taylor, S. E., & Fiske, S. T. (1975). Point of view and perceptions of causality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 32(3), 439.
- Taylor, T. A. (2002). Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. *Management Science*, 48(8), 992–1007.
- Teodoridis, F. (2018). Understanding Team Knowledge Production: The Interrelated Roles of Technology and Expertise. *Management Science*, 64(8), 3625–3648.
- The World Bank (2020). World Bank Open Data. Retrieved from <https://data.worldbank.org/>
- Thies, C., Kieckhäfer, K., Spengler, T. S., & Sodhi, M. S. (2019). Operations research for sustainability assessment of products: A review. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 1–21.
- Thoben, K. D., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). Industrie 4.0 and smart manufacturing—a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, 11(1), 4–16.
- Thorin, E., Lindmark, J. Nordlander, E., Odlare, M., Dahlquist, E., Kastensson, J., Leksell, N., & Pettersson, C. M. (2012). Performance optimization of the Växtkraft biogas production plant. *Applied Energy*, 97, 503–508.
- Thüring, M., & Mahlke, S. (2007), Usability, aesthetics and emotions in human–technology

- interaction. *International Journal of Psychology*, 42(4), 253–264.
- Tian, R., & Wang, Y. (2020). Optimal strategies and pricing analysis in M/M/1 queues with a single working vacation and multiple vacations. *RAIRO-Operations Research*, 54, 1593–1612.
- Tic, W. J., & Guziałowska-Tic, J. (2021). The Cost-Efficiency Analysis of a System for Improving Fine-Coal Combustion Efficiency of Power Plant Boilers. *Energies*, 14(14).
- Tietze, F., Vimalnath, P., Aristodemou, L., & Molloy, J., (2020). Crisis-critical intellectual property: findings from the COVID-19 pandemic. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(5), 2039–2056.
- Ting, S. L., See-To, E. W. K., & Tse, Y. K. (2013). Web information retrieval for health professionals. *Journal of Medical Systems*, 37(3), 9946.
- Tippong, D., Petrovic, S., & Akbari, V. (2021). A review of applications of operational research in healthcare coordination in disaster management. *European Journal of Operational Research*.
- Tizzoni, M., Bajardi, P., Poletto, C., Ramasco, J. J., Balcan, D., Gonçalves, B., Perra, N., Colizza, V., & Vespignani, A. (2012). Real-time numerical forecast of global epidemic spreading: Case study of 2009 A/H1N1pdm. *BMC Medicine*, 10(1), 165.
- Toktaş-Palut, P. (2022). Analyzing the effects of Industry 4.0 technologies and coordination on the sustainability of supply chains. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 341–358.
- Tomlin, B., & Wang, Y. (2008). Pricing and operational recourse in coproduction systems. *Management Science*, 54(3), 522–537.
- Trading Economics (2020). Retrieved from <https://tradingeconomics.com/>
- Trail, G. T., & McCullough, B. P. (2021). A longitudinal study of sustainability attitudes, intentions, and behaviors. *Sustainability Science*, 16(5), 1503–1518.
- Trott, P. (2017). Innovation management and new product development. Pearson.
- Tsai, F. M., Bui, T. D., Tseng, M. L., Lim, M. K., Wu, K. J., & Mashud, A. H. M. (2021). Assessing a hierarchical sustainable solid waste management structure with qualitative information: Policy and regulations drive social impacts and stakeholder participation. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105285.
- Tsai, J. C., Weng, S. J., Liu, S. C., Tsai, Y. T., Gotcher, D. F., Chen, C. H., Chou, C. A., & Kim, S. H. (2020). Adjusting Daily Inpatient Bed Allocation to Smooth Emergency Department Occupancy Variation. *Healthcare*, 8(2).
- Tsai, S. C., Chen, H., Wang, H., & Zhang, Z. G., (2022). Simulation optimization in security screening systems subject to budget and waiting time constraints. *Naval Research Logistics*, 68(7), 920–936.
- Tsai, S. C., Lin, W. H., Wu, C. C., Weng, S. J., & Tang, C. F. (2022). Decision support algorithms for optimizing surgery start times considering the performance variation. *Health Care Management Science*, 25(2), 208–221.
- Tsai, S. C., Yeh, Y., & Kuo, C. Y., (2021). Efficient optimization algorithms for surgical scheduling under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 293(2), 579–593.
- Tsang, Y. P., Wu, C. H., Lam, H. Y., Choy, K. L., & Ho, G. T. S. (2021). Integrating Internet of Things and multi-temperature delivery planning for perishable food E-commerce logistics: a model and application. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1534–1556.
- Tsay, A. A. (1999). The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives. *Management Science*, 45(10), 1339–1358.
- Tseng M. L. (2013). Modeling the sustainable production indicators in linguistic preferences. *Journal of Cleaner Production*, 40, 46–56.
- Tseng, M. L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation*

- and Recycling*, 141, 145–162.
- Tseng, M. L., Jeng, S. Y., Lin, C. W., & Lim, M. K. (2021). Recycled construction and demolition waste material: a cost–benefit analysis under uncertainty. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.
- Tseng, M. L., Lim, M. K., Ali, M. H., Christianti, G., & Juladacha, P. (2022). Assessing the sustainable food system under uncertainties: production assessment and distribution and storage lead the technological innovation. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 39(1), 1–18.
- Tseng, M. L., Tan, R. R., Chiu, A., Chien, C. F., & Kuo, T. C. (2018). Circular Economy Meets Industry 4.0: Can Big Data Drive Industrial Symbiosis? *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 146–147.
- Tseng, M. L., Tran, T. P. T., Fujii, M., Lin, M. K., & Tamirat, Y. (2021). Modelling hierarchical circular supply chain management enablers in the seafood processing industry in Vietnam under uncertainties. *International Journal of Logistics Research and Application*, 1–29.
- Tsoukalas, G., & Falk, B. H. (2020). Token-weighted crowdsourcing. *Management Science*, 66(9), 3843–3859.
- Tsunoda, Y., & Zenny, Y. (2021). Platform Information Transparency and Effects on Third-Party Suppliers and Offline Retailers. *Production and Operations Management*, 30(11), 4219–4235.
- Tukey, J. W. (1958). Bias and confidence in not quite large samples. *Annals of Mathematical Statistics*, 29, 614.
- Turay T., & Vladimirova, T. (2022). Toward performing image classification and object detection with convolutional neural networks in autonomous driving systems: a survey. *IEEE Access*, 10, 14076–14119.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131.
- Uddin, M. Z., Khaksar, W., & Torresen, J. (2018). Ambient sensors for elderly care and independent living: a survey. *Sensors*, 18(7), 2027.
- Uihlein, A., Ehrenberger, S., & Schebek, L. (2008). Utilisation options of renewable resources: a life cycle assessment of selected products. *Journal of Cleaner Production*, 16(12), 1306–1320.
- Ulmer, M. W., Goodson, J. C., Mattfeld, D. C., & Hennig, M. (2019). Offline-Online Approximate Dynamic Programming for Dynamic Vehicle Routing with Stochastic Requests. *Transportation Science*, 53(1), 185–202.
- USPACE (2022). Retrieved from: <https://uspace.city/>.
- Üstüntaş, T., & Şahin A. D. (2008). Wind turbine power curve estimation based on cluster center fuzzy logic modeling. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(5), 611–620.
- Vahab, A., Naik, M. S., Raikar, P. G., & Prasad, S. R. (2019). Applications of object detection system. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(4), 4186–4192.
- Valaskova, K., Ward, P., & Svabova, L. (2021). Deep Learning-assisted Smart Process Planning, Cognitive Automation, and Industrial Big Data Analytics in Sustainable Cyber-Physical Production Systems. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 9(2), 9–20.
- Van De Hoef, S., Johansson, K. H., & Dimarogonas, D. V. (2017). Fuel-efficient en route formation of truck platoons. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(1), 102–112.
- Van der Togt, R., Bakker, P. J. M., & Jaspers, M. W. M. (2011). A framework for performance and data quality assessment of Radio Frequency Identification (RFID) systems in health care settings. *Journal of Biomedical Informatics*, 44(2), 372–383.
- Van Esch, P., Arli, D., Gheshlaghi, M. H., Andonopoulos, V., von der Heide, T., & Northey, G.

- (2019). Anthropomorphism and augmented reality in the retail environment. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 49, 35–42.
- Vassilakopoulou, P. (2020). *Sociotechnical approach for accountability by design in AI systems*.
- Vassilakopoulou, P., Haug, A., Salvesen, L. M., & O. Pappas, I. (2022). Developing human/AI interactions for chat-based customer services: lessons learned from the Norwegian government. *European Journal of Information Systems*, 1–13.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L. and Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *In Advances in Neural Information Processing Systems*, 5998–6008.
- Veale, M., Kleek, M. V., & Binns, R. (2018). *Fairness and Accountability Design Needs for Algorithmic Support in High-Stakes Public Sector Decision-Making*. In *2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Montreal QC, Canada*.
- Venkatasubramanian V. (2011). Systemic failures: Challenges and opportunities in risk management in complex systems. *AIChE Journal*, 57(1), 2–9.
- Ventura, J.A.; Hwang, S.W., & Kweon, S.Jin. (2015). A continuous network location problem for a single refueling station on a tree. *Computers and Operations Research*, 62, 257–265.
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144.
- Vidal, R., Salmeron, J. L., Mena, A., & Chulvi, V. (2015). Fuzzy Cognitive Map-based selection of TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) trends for eco-innovation of ceramic industry products. *Journal of Cleaner Production*, 107, 202–214.
- Vieira, A., Dias L., Santos, M. Y., Pereira G. A. B., & Oliveira J. (2020). Supply Chain Risk Management: an Interactive Simulation Model in a Big Data Context. *Procedia Manufacturin*, 42, 140–145.
- Vigerske, S., & Gleixner, A. (2018). SCIP: Global optimization of mixed-integer nonlinear programs in a branch-and-cut framework. *Optimization Methods and Software*, 33(3), 563–593.
- Villarouco, V., Raquel, S. P. N., Monique, B. P. M., & Francis, C. S. S. T. (2016). An ergonomics focus on built environments for the elderly. *Ergonomics in Design Methods & Techniques*, 145–167
- Vinyals, O., Fortunato, M. , & Jaitly, N. (2015). Pointer networks. *arXiv:1506.03134*.
- Visconti, P., de Fazio, R., Velázquez, R., Del-Valle-Soto, C., & Giannoccaro, N. I. (2020). Development of Sensors-Based Agri-Food Traceability System Remotely Managed by a Software Platform for Optimized Farm Management. *Sensors*, 20(13), 3632.
- Vojtek, N. (2018). Managing business processes using soft computing techniques - A literature review, *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 23(1), 63–71.
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1934). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press.
- Wahyudi, R. D., Singgih, M. L., & Suf, M. (2022) The Impact of Servitization on Manufacturing Industry: A Literature Review and Prospects for Future Research. In *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 7–10 March 2022, Istanbul, Turkey*.
- Walker, G. H., & Stanton, N. A. (2017). *Human factors in automotive engineering and technology*. CRC Press, London.
- Walker, K. H. S. (2011). Conflict analysis in environmental management. *Environmetrics*, 22, 279–293.
- Wallemacq, P. (2018). Economic losses, poverty & disasters: 1998-2017. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35610.08643>.
- Walsh, S. T., & Linton, J. D. (2009). The strategy-technology firm fit audit. In *PICMET'09-*

- 2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, 132–142.
- Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How ‘big data’ can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234–246.
- Wan, Z., Yang, R., Huang, M., Zeng, N., & Liu, X. (2021). A review on transfer learning in EEG signal analysis. *Neurocomputing*, 421, 1–14.
- Wang H. F., & Huang C. J. (2010b). Data Construction Method to Small Sample Sets: Theory and Applications, Lambert Academic Publisher (LAP), Germany.
- Wang X., & Chan H. K. (2013). A hierarchical fuzzy TOPSIS approach to assess improvement areas when implementing green supply chain initiatives. *International Journal of Production Research*, 51(10), 3117–3130.
- Wang, C. N., Chou, C. C., Hsu, H. P., & Nguyen, V. T. (2021). Optimization model for selecting temporary hospital locations during COVID-19 pandemic. *Computers, Materials and Continua*, 397–412.
- Wang, C., & Chen, S., (2020). A distributionally robust optimization for blood supply network considering disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 134, 101840.
- Wang, D., Churchill, E., Maes, P., Fan, X., Shneiderman, B., Shi, Y., & Wang, Q. (2020). From human-human collaboration to Human-AI collaboration: Designing AI systems that can work together with people. In *2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Wang, D., Wang, X., & Lv, S. (2019). An overview of end-to-end automatic speech recognition. *Symmetry*, 11(8), 1018.
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2016b). Big Data Analytics In Logistics And Supply Chain Management: Certain Investigations For Research And Applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110.
- Wang, H. F. (2008). Intelligent Data Analysis: Developing New Methodologies Through Pattern Discovery and Recovery. *Information Science Reference*, New York.
- Wang, H. F., & Huang, C. J. (2010a). Multi-Dimensional Data Construction Method with is Application to Learning from Small-Sample-Sets. *Intelligent Data Analysis*, 14(1), 121–141.
- Wang, H., Xu, X., & Wang, S. (2019). Equilibrium customers strategies in the Markovian working vacation queue with setup times. *International Journal of Computing Science and Mathematics*, 10, 443–458.
- Wang, H. F., & Kao, W. L. (2012). Green Vendor Selection with Risk Analysis. *International Journal of Operations Research*, 9(2), 76–86.
- Wang, J. F., Wu, C. L., Tsai, Y. T., Weng, S. J., & Hsu, Y. C. (2022). The Effects of Safety Climate on Psychosocial Factors: An Empirical Study in Healthcare Workplaces. *Journal of Patient Safety*, 18(2).
- Wang, J., Lim, M. K., Tseng, M. L., & Yang, Y. (2019) Promoting Low Carbon Agenda in the Urban Logistics Network Distribution System. *Journal of Cleaner Production*, 211, 146–160.
- Wang, J., Xu, C., Zhang, J., & Zhong, R. (2021). Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 738–752.
- Wang, J., Zhang, Y., & Zhang, Z. G. (2021). Strategic joining in an M/M/K queue with asynchronous and synchronous multiple vacations. *Journal of the Operational Research Society*, 72, 161–179.
- Wang, Q., Zhang, W., Tseng, C. P. M. L., Sun, Y., & Zhang, Y. (2021). Intention in use recyclable express packaging in consumers’ behavior: An empirical study. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105115.
- Wang, S., & Huang, G. H. (2011). Interactive two-stage stochastic fuzzy programming for

- water resources management. *Journal of Environmental Management*, 92(8), 1986–1995.
- Wang, S., & Xu, X. (2021). Equilibrium strategies of the fluid queue with working vacation. *Operational Research*, 21, 1211–1228.
- Wang, S., & Yao, X. (2009). Diversity analysis on imbalanced data sets by using ensemble models. In *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining, 30 March–April 2009, Nashville, TN, USA*, 324–331.
- Wang, S., Wang, J., & Yang, F. (2020). From willingness to action: Do push-pull-mooring factors matter for shifting to green transportation? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102242.
- Wang, T., Li, J., Kong, Z., Liu, X., Snoussi, H., & Lv, H. (2021). Digital twin improved via visual question answering for vision-language interactive mode in human-machine collaboration. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 261–269.
- Wang, W., Lei, S., Liu, H., Li, T., Qu, J., & Qiu, A. (2020). Augmented reality in maintenance training for military equipment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1626(1), 012184.
- Wang, X., Cho, S. H., & Scheller-Wolf, A. (2021). Green technology development and adoption: competition, regulation, and uncertainty—a global game approach. *Management Science*, 67(1), 201–219.
- Wang, Y., Peng, S., Zhou, X., Mahmoudi, M., & Zhen, L. (2020). Green logistics location-routing problem with eco-packages. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 143, 102118.
- Wang, Y., Zhang, Y., & Tang, J., (2019). A distributionally robust optimization approach for surgery block allocation. *European Journal of Operational Research*, 273(2), 740–753.
- Wangsa, I. D., Vanany, I., & Siswanto, N. (2022) An optimization model for fresh-food electronic commerce supply chain with carbon emissions and food waste, *Journal of Industrial and Production Engineering* (Article in Press).
- Watkins, C. J., & Dayan, P. (1992). Q-learning. *Machine Learning*, 8(3–4), 279–292.
- WCED, S. W. S. (1987). World commission on environment and development. *Our Common Future*, 17(1), 1–91.
- WCED, S. W. S. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- Wei, C., Asian, S., Ertek, G., & Hu, Z. H. (2020). Location-based pricing and channel selection in a supply chain: a case study from the food retail industry. *Annals of Operations Research*, 291(1), 959–984.
- Weidinger, L., Mellor, J., Rauh, M., Griffin, C., Uesato, J., Huang, P., Cheng, M., Glaese, M., Balle, B., Kasirzadeh, A., Kenton, Z., Brown, S., Hawkins, W., Stepleton, T., Biles, C., Birhane, A., Haas, J., Rimell, L., Hendricks, L. A., Isaac, W. S., Legassick, S., Irving, G., & Gabriel, I. (2021). Ethical and social risks of harm from language models. <https://arxiv.org/abs/2112.04359>.
- Weiss, K., Khoshgoftaar, T. M., & Wang, D. (2016). A survey of transfer learning. *Journal of Big Data*, 3(1).
- We Mo Scooter (2022). Retrieved from: <https://www.wemoscooter.com/>.
- Wen, L., Li, X., Gao, L., & Zhang, Y. (2018). A new convolutional neural network-based data-driven fault diagnosis method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65 (7), 5990–5998.
- Weng, S. J., Tsai, M. C., Tsai, Y. T., Gotcher, D. F., Chen, C. H., Liu, S. C., Xu, Y. Y., & Kim, S. H. (2019). Improving the Efficiency of an Emergency Department Based on Activity-Relationship Diagram and Radio Frequency Identification Technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22).
- Weng, S. J., Wu, C. L., Gotcher, D. F., Liu, S. C., Yang, K. F., & Kim, S. H. (2022). Impact on Patient Safety Culture by the Intervention of Multidisciplinary Medical Teams. *Journal of Patient Safety*, 18(3).
- Werbos, P. (1977). Advanced forecasting methods for global crisis warning and models of intelligence. *General System Yearbook*, 25–38.

- Wang, S. (2014). Demand uncertainty and the Bayesian effect in markdown pricing with strategic customers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 17(2), 66–77.
- White, A. L., Stoughton, M., & Feng, L. (1999). Servicizing: the quiet transition to extended product responsibility. *Tellus Institute, Boston*, 97.
- White, D. L., Froehle, C. M. & Klassen, K. J. (2011). The Effect of Integrated Scheduling and Capacity Policies on Clinical Efficiency. *Production and Operations Management*, 20(3), 442–455.
- Wiler, J. L., Bolandifar, E., Griffey, R. T., Poirier, R. F., & Olsen, T. (2013). An emergency department patient flow model based on queueing theory principles. *Academic Emergency Medicine*, 20, 939–946.
- Wilhelm, M. M., Blome, C., Bhakoo, V., & Paulraj, A. (2016). Sustainability in multi-tier supply chains: Understanding the double agency role of the first-tier supplier. *Journal of Operations Management*, 41, 42–60.
- Windt, K., & Hülsmann, M. (2007). Changing paradigms in logistics—Understanding the shift from conventional control to autonomous cooperation and control. *Understanding autonomous cooperation and control in logistics*, 1–16.
- Wohn, D. Y., Yuan, C. W., & Siri Jr, J. S. (2021). The Many Facets of Me: Multiple Account Management on Reddit. HICSS,
- Wolsey, L. A. (2020). *Integer Programming*. John Wiley & Sons.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). The machine that changed the world, Rawson Associates. *New York*, 323, 273–287.
- Wong, W. C., Batten, J. A., Mohamed-Arshad, S. B., Nordin, S., & Adzis, A. A. (2021). Does ESG certification add firm value? *Finance Research Letters*, 39, 101593.
- World Economic Forum, (2017). Impact of the fourth industrial revolution on supply chains: system initiative on shaping the future of production. World Econ. Forum (WEF), Key Fourth Ind. Revolut. Technol. 1, 1–22.
- Worthington, D. (2009). Reflections on queue modelling from the last 50 years. *Journal of the Operational Research Society*, 60, S83–S92.
- Wu, B., Dai, X., Zhang, P., Wang, Y., Sun, F., Wu, Y., Tian, Y., Vajda, P., Jia, Y., & Keutzer, K. (2019). FBNET: Hardware-aware efficient convnet design via differentiable neural architecture search. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 10726–10734.
- Wu, C. H., Yao, Y. C., Dauzère-Pérès, S., & Yu, C. J. (2020). Dynamic dispatching and preventive maintenance for parallel machines with dispatching-dependent deterioration. *Computers & Operations Research*, 113, 104779.
- Wu, H., Shen, G. Q., Lin, X., Li, M. & Li, C. Z. (2021). A transformer-based deep learning model for recognizing communication-oriented entities from patents of ICT in construction. *Automation in Construction*, 125, 103608.
- Wu, J., Chen, J., & Dou, W. (2017). The Internet of Things and interaction style: the effect of smart interaction on brand attachment. *Journal of Marketing Management*, 33, 61–75.
- Wu, X., Sahoo, D., & Hoi, S. C. H. (2020a). Recent advances in deep learning for object detection. *Neurocomputing*, 396, 39–64.
- Wu, Z., Tang, H., Feng, Z., Wang, W., He, S., Gao, J., Chen, X., He, Y., & Chen, X. (2020b). A novel self-feedback intelligent vision measure for fast and accurate alignment in flip-chip packaging. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(3), 1776–1787.
- Xanthopoulos, A. S., Kiatipis A., Koulouriotis, D. E., & Stieger, S. (2017). Reinforcement Learning-Based and Parametric Production-Maintenance Control Policies for a Deteriorating Manufacturing System. *IEEE Access*, 6, 576–588.
- Xia, J., Xu, F., & Huang, G. (2020). Research on power grid resilience and power supply restoration during disasters-A review. *Flood Impact Mitigation and Resilience Enhancement*.
- Xia, R., Zong, C., Hu, X., & Cambria, E. (2013). Feature ensemble plus sample selection:

- domain adaptation for sentiment classification. *IEEE Intelligent Systems*, 28(3), 10–18.
- Xiang, X., Li, Q., Khan, S., & Khalaf, O. I. (2021). Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106515.
- Xiang, Y., & Zhuang, J. (2016). A medical resource allocation model for serving emergency victims with deteriorating health conditions. *Annals of Operations Research*, 236(1), 177–196.
- Xie, Y., Zhang, J., Wang, H., Liu, P., Liu, S., Huo, T., Duan, Y. Y., Dong, Z., Lu, L., & Ye, Z. (2021). Applications of Blockchain in the Medical Field: Narrative Review. *J Med Internet Res*, 23(10), e28613.
- Xu, H., Hipel, K., Kilgour, D., & Fang, L. (2018). *Conflict Resolution Using the Graph Model: Strategic Interactions in Competition and Cooperation*, New York, NY: Springer.
- Xu, J., Zhang, S., Huang, E., Chen, C. H., & Lee, L. H., (2016). MO²TO: Multi-Fidelity Optimization with Ordinal Transformation and Optimal Sampling. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 33(3), 1650017.
- Xu, M., Niyato, D., Kang, J., Xiong, Z., Miao, C., & Kim, D. I. (2022). Wireless edge-empowered metaverse: A learning-based incentive mechanism for virtual reality. In *ICC 2022-IEEE International Conference on Communications*, 5220–5225.
- Xu, N., & Wang, K. J. (2019). Adopting robot lawyer? The extending artificial intelligence robot lawyer technology acceptance model for legal industry by an exploratory study. *Journal of Management & Organization*, 1–19.
- Xu, Q., Lu, Y., Hwang, B.-G., & Kua, H. W. (2021). Reducing residential energy consumption through a marketized behavioral intervention: The approach of Household Energy Saving Option (HESO). *Energy and Buildings*, 232, 110621.
- Xu, W. (2019). Toward human-centered AI: A perspective from humancomputer interaction, *Interactions*, 26(4), 42–46.
- Xu, W., Dainoff, M. J., Ge, L., & Gao, Z. (2022). Transitioning to Human Interaction with AI Systems: New Challenges and Opportunities for HCI Professionals to Enable Human-Centered AI. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1–25.
- Xu, X., Xie, H., & Shi, J. (2020). Iterative learning control (ILC) guided reinforcement learning control (RLC) scheme for batch processes. In *2020 IEEE 9th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS), 20–22 November 2020, Liuzhou, China*, 241–246.
- Xu, Y., Clemente, R. D., & González, M. C. (2021). Understanding vehicular routing behavior with location-based service data. *EPJ Data Science*, 10(1), 1–17.
- Xu, Z., & Yang, X. (2022). Three-parameter interval number theory and its application in power system reliability evaluation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 142, 108352.
- Xu, Z., Elomri, A., Kerbache, L., & El Omri, A. (2020). Impacts of COVID-19 on global supply chains: Facts and perspectives. *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 153–166.
- Xue, J. (1985). On multistate system analysis. *IEEE Transactions on Reliability*, 34, 329–337.
- Yan, C., Zhu, H., Korolko, N., & Woodard, D. (2020). Dynamic pricing and matching in ride-hailing platforms. *Naval Research Logistics*, 67(8), 705–724.
- Yan, S., Xiong, Y., & Lin, D. (2018). Spatial temporal graph convolutional networks for skeleton-based action recognition. In *32th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 7444–7452.
- Yan, X., Liu, W., Lim, M. K., Lin, Y., & Wei, W. (2022.) Exploring the factors to promote circular supply chain implementation in the smart logistics ecological chain. *Industrial Marketing Management*, 101, 57–70.
- Yan, Z., Li, M., & Li, Z. (2021). Efficient and Economical Allocation of Irrigation Water under a Changing Environment: a Stochastic Multi-Objective Nonlinear Programming

- Model. *Irrigation and Drainage*, 70(1), 103–116.
- Yang C. J., & Chen J. L. (2011). Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates, case-based reasoning and TRIZ method. *Journal of Cleaner Production*, 19(9–10), 998–1006.
- Yang, C. L., Yuan, C. W., & Wang, H. C. (2019). When knowledge network is social network: Understanding collaborative knowledge transfer in workplace. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(CSCW), 1–23.
- Yang, J., Li, S., Wang, Z., & Yang, G. (2019). Real-time tiny part defect detection system in manufacturing using deep learning. *IEEE Access*, 7, 89278–89291.
- Yang, L., Hu, Y., & Huang, L. (2020). Collecting mode selection in a remanufacturing supply chain under cap-and-trade regulation. *European Journal of Operational Research*, 287(2), 480–496.
- Yang, L., Yu, K., Yang, S. X., Chakraborty, C., Lu, Y., & Guo, T. (2021). An Intelligent Trust Cloud Management Method for Secure Clustering in 5G enabled Internet of Medical Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1–1.
- Yang, S. J. H., Ogata, H., Matsui, T., & Chen, N. S. (2021). Human-centered artificial intelligence in education: Seeing the invisible through the visible. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100008.
- Yang, X. S., Cui, Z., Xiao, R., Gandomi, A. H., & Karamanoglu, M. (2013). *Swarm intelligence and bio-inspired computation: theory and applications*. Newnes.
- Yang, X., Gao, L., Zheng, J., & Wei, W. (2020). Location privacy preservation mechanism for location-based service with incomplete location data. *IEEE Access*, 8, 95843–95854.
- Yang, Z., Dhingra, B., He, K., Cohen, W. W., Salakhutdinov, R., & LeCun, Y. (2018). Glomo: Unsupervisedly learned relational graphs as transferable representations. *arXiv preprint arXiv:1806.05662*.
- Yao, Y., & Doretto, G. (2010). Boosting for transfer learning with multiple sources. In *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 13–18 June 2010, San Francisco, CA, USA*.
- Yarlagadda, R., & Hershey, J. (1991). Fast algorithm for computing the reliability of communication network. *International Journal of Electronics*, 70(3), 549–564.
- Ye, F., Li, Y., & Yang, Q. (2018). Designing coordination contract for biofuel supply chain in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 306–314.
- Ye, F., Liu, K., Li, L., Lai, K. H., Zhan, Y., & Kumar, A. (2022). Digital supply chain management in the COVID-19 crisis: An asset orchestration perspective. *International Journal of Production Economics*, 245, 108396.
- Yeh, C. T. (2019). An improved NSGA2 to solve a bi-objective optimization problem of multi-state electronic transaction network. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 106578.
- Yeh, C. T., & Fiondella, L. (2017). Optimal redundancy allocation to maximize multi-state computer network reliability subject to correlated failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 166, 138–150.
- Yeh, W. C. (2006). A simple algorithm to search for all MCs in networks. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1694–1705.
- Yeh, W. C. (2007). A simple heuristic algorithm for generating all minimal paths. *IEEE Transactions on Reliability*, 56(3), 488–494.
- Yeh, W. C. (2008). A fast algorithm for searching all multi-state minimal cuts. *IEEE Transactions on Reliability*, 57(4), 581–588.
- Yeh, W. C., Zhu, W., Tan, S. Y., Wang, G. G., & Yeh, Y. H. (2022). Novel general active reliability redundancy allocation problems and algorithm. *Reliability Engineering & System Safety*, 218, 108167.
- Yeung, A. W. K., Tosevska, A., Klager, E., Eibensteiner, F., Laxar, D., Stoyanov, J., Glisic, M., Zeiner, S., Kulnik, S. T., Crutzen, R., Kimberger, K., Kletecka-Pulker, M., Atanasov, A.

- G., & Willschke, H. (2021). Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2), e25499.
- Yi, X., Walia, E., & Babyn, P. (2019). Generative adversarial network in medical imaging: A review. *Medical image analysis*, 58, 101552.
- Yi, Z., Liu, X. C., & Wei, R. (2022). Electric vehicle demand estimation and charging station allocation using urban informatics. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 106, 103264.
- Yigitbas, E., Sauer, S., & Engels, G. (2021). Using augmented reality for enhancing planning and measurements in the scaffolding business. In *Companion of the 2021 ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, 32–37.
- Yin, W., Kann, K., Yu, M., & Schütze, H. (2017). Comparative study of CNN and RNN for natural language processing. *arXiv:1702.01923*.
- Yin, X., Wu, D., Shang, Y., Jiang, B., & Song, H. (2020). Using an EfficientNet-LSTM for the recognition of single Cow's motion behaviours in a complicated environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105707.
- Yojee (2022). Retrieved from: <https://yojee.com/>.
- Young, T., Hazarika, D., Poria, S., & Cambria, E. (2018). Recent trends in deep learning based natural language processing. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 13(3), 55–75.
- Yu, W., Zhao, G., Liu, Q., & Song, Y. (2021). Role of big data analytics capability in developing integrated hospital supply chains and operational flexibility: An organizational information processing theory perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120417.
- Yu, Z., & Khan, S. A. R. (2022). Green supply chain network optimization under random and fuzzy environment. *International Journal of Fuzzy Systems*, 24(2), 1170–1181.
- Yuan, C. W., Hanrahan, B. V., Lee, S., Rosson, M. B., & Carroll, J. M. (2017). I didn't know that you knew I knew: Collaborative shopping practices between people with visual impairment and people with vision. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 1(CSCW), 1–18.
- Yuan, H. P., Shen, L. Y., Hao, J. J., & Lu, W. S. (2011). A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 604–612.
- Yue, Q., Zhang, F., Zhang, C., Zhu, H., Tang, Y., & Guo, P. (2020). A full fuzzy-interval credibility-constrained nonlinear programming approach for irrigation water allocation under uncertainty. *Agricultural Water Management*, 230, 105961.
- Yusuf, M., Atal, I., Li, J., Smith, P., Ravaud, P., Fergie, M., Callaghan, M., & Selfe, J. (2020). Reporting quality of studies using machine learning models for medical diagnosis: a systematic review. *BMJ Open*, 10(3), e034568.
- Zafeiriou, S., Zhang, C., & Zhang, Z. (2015). A survey on face detection in the wild: Past, present and future. *Computer Vision and Image Understanding*, 138, 1–24.
- Zahedi, R., Ahmadi, A., & Dashti, R. (2021). Energy, exergy, exergoeconomic and exergoenvironmental analysis and optimization of quadruple combined solar, biogas, SRC and ORC cycles with methane system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111420.
- Zaheri, M. M., Ghanbari, R., & Afshar, M. H. (2019). A two-phase simulation–optimization cellular automata method for sewer network design optimization. *Engineering Optimization*.
- Zarraonandia, T., Díaz, P., Montero, Á., Aedo, I., & Onorati, T. (2019). Using a Google Glass-based Classroom Feedback System to improve students to teacher communication. *IEEE Access*, 7, 16837–16846.
- Zasa, F. P., Patrucco, A., & Pellizzoni, E. (2020). Managing the hybrid organization: How can agile and traditional project management coexist?. *Research-Technology Management*, 64(1), 54–63.

- Zeba, G., Dabić, M., Čičak, M., Daim, T., & Yalcin, H. (2021). Technology mining: Artificial intelligence in manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, *171*, 120971.
- Zeiler, M. D., & Fergus, R. (2014). Visualizing and understanding convolutional networks. In *European Conference on Computer Vision, 6–12 September 2014, Zurich, Switzerland*, 818–833.
- Zerbino, P., Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2018). Big Data-Enabled Customer Relationship Management: A Holistic Approach. *Information Processing & Management*, *54*(5), 818–846.
- Zhang, C., Song, W., Cao, Z., Zhang, J., Tan, P. S., & Chi, X. (2020). Learning to dispatch for job shop scheduling via deep reinforcement learning. In *Conference on Neural Information Processing Systems, 6–12 December 2020*.
- Zhang, F., Song, J., Dai, Y., & Xu, J. (2020). Semiconductor wafer fabrication production planning using multi-fidelity simulation optimisation. *International Journal of Production Research*, *58*(21), 6585–6600.
- Zhang, H. (2021). The impact of COVID-19 on global production networks: Evidence from Japanese multinational firms.
- Zhang, H., & Li, H. (2004). Simulation-based optimization for dynamic resource allocation. *Automation in Construction*, *13*(3), 409–420.
- Zhang, H., Li, D., Ji, Y., Zhou, H., Wu, W., & Liu, K. (2020). Toward new retail: a benchmark dataset for smart unmanned vending machines. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *16*(12), 7722–7731.
- Zhang, H., Li, X., Zhong, H., Yang, Y., Wu, Q. M., Ge, J., & Wang, Y. (2018) Automated machine vision system for liquid particle inspection of pharmaceutical injection. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *67*(6), 1278–1297.
- Zhang, J., Li, Y., & Lai, K. K. (2021). Salesforce contracting under model uncertainty. *Operations Research Letters*, *49*(4), 496–500.
- Zhang, K., & Howard, D. H. (2015). Hospital and skilled nursing facility patient flows during Hurricane Katrina and the Midwest floods of 2008. *Health Systems*, *4*(1), 29–40.
- Zhang, K., Liu, X., Shen, J., Li, Z., Sang, Y., Wu, X., Zha, Y., Liang, W., Wang, C., Wang, K., Ye, L., Gao, M., Zhou, Z., Li, L., Wang, J., Yang, Z., Cai, H., Xu, J., Yang, L., Cai, W., Xu, W., Wu, S., Zhang, W., Jiang, S., Zheng, L., Zhang, X., Wang, L., Lu, L., Li, J., Yin, H., Wang, W., Li, O., Zhang, C., Liang, L., Wu, T., Deng, R., Wei, K., Zhou, Y., Chen, T., Lau, J. Y., Fok, M., He, J., Lin, T., Li, W., & Wang, G. (2020). Clinically Applicable AI System for Accurate Diagnosis, Quantitative Measurements, and Prognosis of COVID-19 Pneumonia Using Computed Tomography. *Cell*, *181*(6), 1423–1433.
- Zhang, L., Lin, L., Liang, X., & He, K. (2016). Is faster R-CNN doing well for pedestrian detection? In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 443–457.
- Zhang, M., Tse, Y. K., Doherty, B., Li, S., & Akhtar, P. (2018). Sustainable supply chain management: Confirmation of a higher-order model. *Resources, Conservation and Recycling*, *128*, 206–221.
- Zhang, X., Han, Y., Xu, W., & Wang, Q. (2021). HOBA: A novel feature engineering methodology for credit card fraud detection with a deep learning architecture. *Information Sciences*, *557*, 302–316.
- Zhang, Y. A., Chen, Z. E., & Wang, Y. D. (2021). Which patents to use as loan collaterals? The role of newness of patents' external technology linkage. *Strategic Management Journal*, *42*(10), 1822–1849.
- Zhang, Y. C., Li, J. J., & Tong, T. W. (2022). Platform governance matters: How platform gatekeeping affects knowledge sharing among complementors. *Strategic Management Journal*, *43*(3), 599–626.
- Zhang, Y., & Puterman, M. L. (2013). Developing an adaptive policy for long-term care

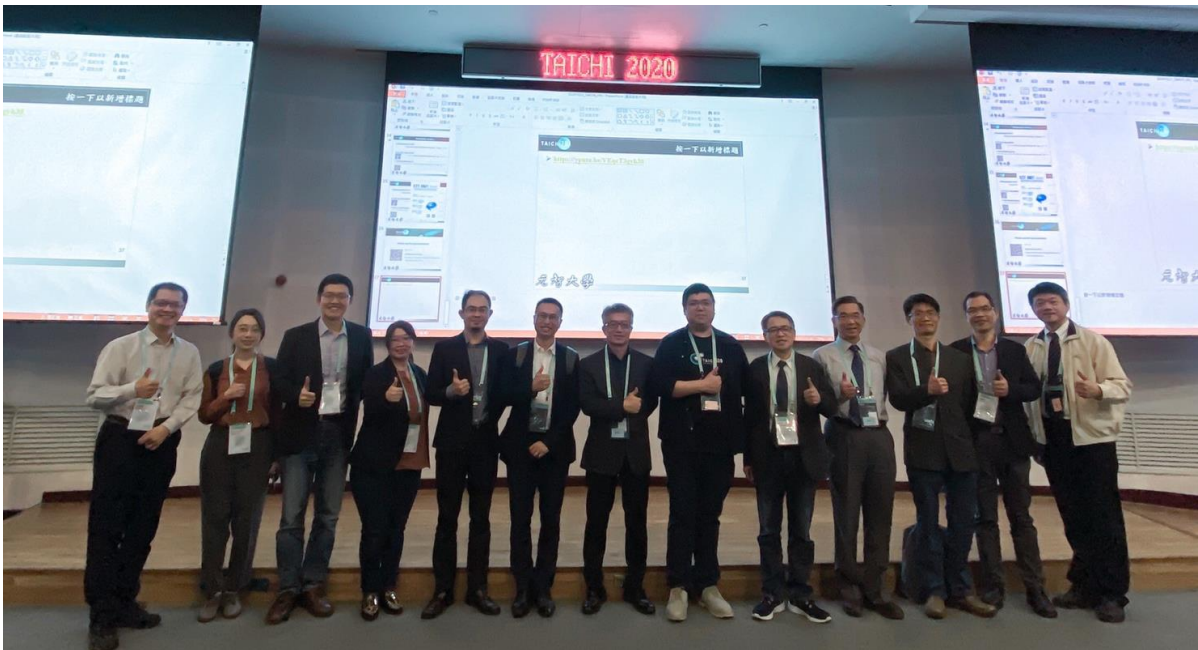
- capacity planning. *Health Care Management Science*, 16(3), 271–279.
- Zhang, Y., Bellamy, R. K. E., & Varshney, K. R. (2020). Joint Optimization of AI Fairness and Utility: A Human-Centered Approach. In *Proceedings of the AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society*.
- Zhang, Y., Puterman, M. L., Nelson, M., & Atkins, D. (2012). A Simulation optimization approach to long-term care capacity planning. *Operations Research*, 60(2), 249–261.
- Zhang, Y., Qiu, M., Tsai, C. W., Hassan, M. M., & Alamri, A. (2017). Health-CPS: Healthcare Cyber-Physical System Assisted by Cloud and Big Data. *IEEE Systems Journal*, 11(1), 88–95.
- Zhang, Y., Zhu, H., Tang, D., Zhou, T., & Gui, Y. (2022). Dynamic job shop scheduling based on deep reinforcement learning for multi-agent manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 78, 102412.
- Zhang, Z., Guan, D., Wang, R., Meng, J., Zheng, H., Zhu, K., & Du, H. (2020). Embodied carbon emissions in the supply chains of multinational enterprises. *Nature Climate Change*, 10(12), 1096–1101.
- Zhang, Z., Guan, Z., Gong, Y., Luo, D., & Yue, L., (2022). Improved multi-fidelity simulation-based optimisation: application in a digital twin shop floor. *International Journal of Production Research*, 60(3), 1016–1035.
- Zhao Y., Li L., Liu Y., Fan Y., Lin K. (2022). Communication-Efficient Federated Learning for Digital Twin Systems of Industrial Internet of Things. *IFAC-PapersOnLine*, 55(2), 433–438.
- Zhao, Y., & Grassmann, W. K. (1990). The shortest queue model with jockeying. *Naval Research Logistics*, 37(5), 773–787.
- Zhavoronkov, A., Mamoshina, P., Vanhaelen, A., Knudsen, M.S., Moskalev, A., & Aliper, A. (2019). Artificial intelligence for aging and longevity research: Recent advances and perspectives. *Ageing Research Reviews*, 49, 49–66
- Zheng X., Ogunseitan O.A., Nakamura S., Suh S., Kral U., Li J., & Geng, Y. (2022). Reshaping global policies for circular economy. *Circular Economy*, 1(1), 100003.
- Zheng, A., & Casari, A. (2018). *Feature engineering for machine learning: principles and techniques for data scientists*. O'Reilly Media, Inc.
- Zheng, G., Zhu, N., Tian, Z., Chen, Y., & Sun, B. (2012). Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. *Safety Science*, 50(2), 228–239.
- Zheng, J., Sun, X., Jia, L., & Zhou, Y. (2020). Electric passenger vehicles sales and carbon dioxide emission reduction potential in China's leading markets. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118607.
- Zheng, J., Zhao, L., Ou, K., Guo, J. Xu, P. Zhao, Y., & Zhang, L. (2014). Queuing-based approach for optimal dispenser allocation to hydrogen refueling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(15), 8055–8062.
- Zheng, Z., Wang, P., Liu, J., & Sun, S. (2015). Real-Time Big Data Processing Framework: Challenges And Solutions. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 9(6), 3169–3190.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), 616–630.
- Zhou, B., Khosla, A., Lapedriza, A., Oliva, A., & Torralba, A. (2016). Learning deep features for discriminative localization. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 27–30 June 2016, Las Vegas, USA, 2921–2929.
- Zhou, C., Stephen, A., Cao, X., & Wang, S. (2021). A data-driven business intelligence system for large-scale semi-automated logistics facilities. *International Journal of Production Research*, 59(8), 2250–2268.
- Zhou, J., Xiahou, T., & Liu, Y. (2021). Multi-objective optimization-based TOPSIS method for sustainable product design under epistemic uncertainty. *Applied Soft Computing*, 98,

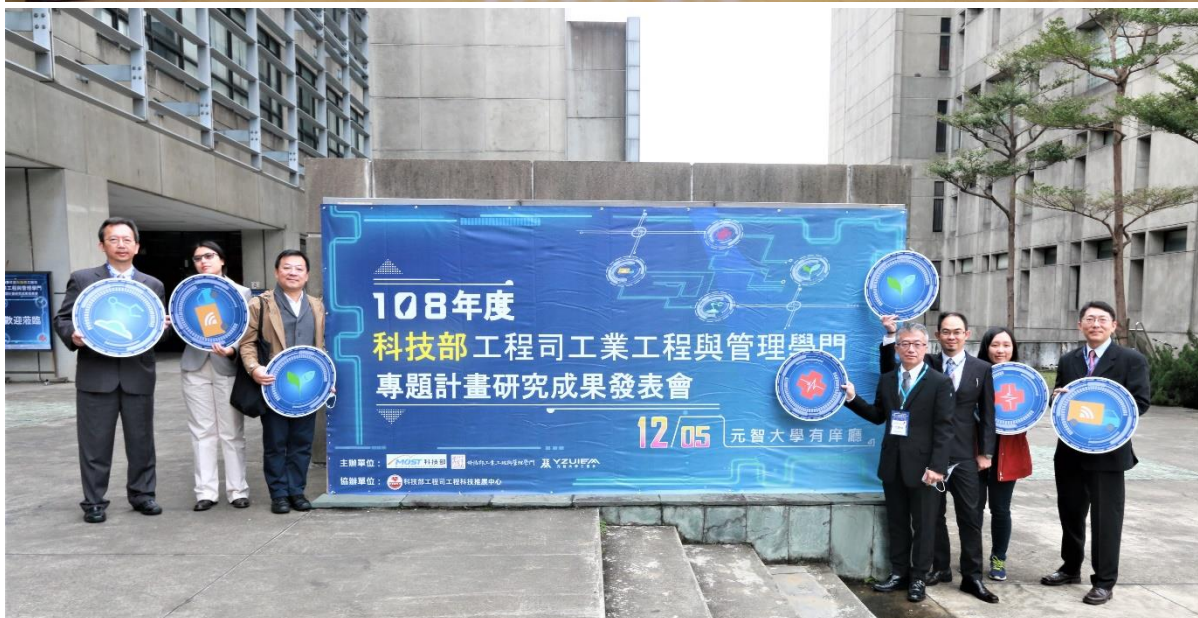
106850.

- Zhou, L., Jiang, Z., Geng, N., Niu, Y., Cui, F., Liu, K., & Qi, N. (2022). Production and operations management for intelligent manufacturing: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 60(2), 808–846.
- Zhou, L., Wang, F. (2021). Edge computing and machinery automation application for intelligent manufacturing equipment. *Microprocessors and Microsystems*, 87, 104389.
- Zhou, L., Zhang, L., & Horn, B. K. (2020). Deep reinforcement learning-based dynamic scheduling in smart manufacturing. *Procedia Cirp*, 93, 383–388.
- Zhou, T., Droguett, E. L., & Mosleh, A. (2022). Physics-informed deep learning: a promising technique for system reliability assessment. *Applied Soft Computing*, 126, 109217.
- Zhou, Z., & Wan, X. (2021). Does the Sharing Economy Technology Disrupt Incumbents? Exploring the Influences of Mobile Digital Freight Matching Platforms on Road Freight Logistics Firms. *Production and Operations Management*, 31(1), 117–137.
- Zhu, S., Wang, J., & Liu, B. (2020). Equilibrium joining strategies in the Mn/G/1 queue with server breakdowns and repairs. *Operational Research*, 20, 2163–2187.
- Zhu, X., & Liu, K. (2021). A systematic review and future directions of the sharing economy: business models, operational insights and environment-based utilities. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125209.
- Zhu, Z., Hen, B.H., & Teow, K.L. (2012). Estimating ICU bed capacity using discrete event simulation. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 25(2), 134–144.
- Zhu, Z. H., Gao, Z. Y., Zheng, J. F., & Du, H. M. (2016). Charging station location problem of plugin electric vehicles. *Journal of Transport Geography*, 52, 1122.
- Zhuang, F., Qi, Z., Duan, K., Xi, D., Zhu, Y., Zhu, H., Xiong, H., & He, Q. (2020). A comprehensive survey on transfer learning. *Proceedings of the IEEE*, 109(1), 43–76.
- Ziemba, W. T. (2003). *The stochastic programming approach to asset, liability, and wealth management*. Research Foundation of AIMR, Scorpion Publications.
- Zigart, T., & Schlund, S. (2020). Evaluation of augmented reality technologies in manufacturing—A literature review. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 75–82.
- Zijm, H., Klumpp, M., Regattieri, A., & Heragu, S. (2019). *Operations, Logistics and Supply Chain Management*. Springer.
- Zikopoulos, P., Deroos, D., Parasurama, K., Deutsch, T., Giles, J., & Corrigan, D. (2012). *Harness The Power Of Big Data The Ibm Big Data Platform*. , New York, Ny, Mcgraw Hill.
- Zimmerman, J., Oh, C., Yildirim, N., Kass, A., Tung, T., & Forlizzi, J. (2020). UX designers pushing AI in the enterprise: a case for adaptive UIs. *Interactions*, 28(1), 72–77.
- Zipcar (2022). Retrieved from: <https://zipcar.com.tw/>.
- Zou, Z., Shi, Z., Guo, Y., & Ye, J. (2019). Object detection in 20 years: A survey. doi: 10.48550/arxiv.1905.05055.
- Zubairu, N., Dinwoodie, J., Govindan, K., Hunter, L., & Roh, S. (2021). Supply chain strategies as drivers of financial performance in liquefied natural gas networks. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Zuo, M. J., Tian, Z., & Huang, H. Z. (2007). An efficient method for reliability evaluation of multistate networks given all minimal path vectors. *IIE Transactions*, 39(8), 811–817.











國科會 工程技術研究發展處 工業工程與管理學門規劃報告

指導單位 國科會 工程技術研究發展處

出版單位 國科會 工業工程與管理學門

諮議委員 王國明 陳茂生 廖慶榮 張保隆 江行全 張瑞芬 蔡篤銘 王茂駿

簡禎富

主編 范書愷

規劃委員暨編輯委員(依姓氏筆劃順序)

王敏 王姿惠 王逸琦 王孔政 王宏鏜 王逸琳 孔令傑 王建智
石裕川 江育民 車振華 李家岩 吳政鴻 吳政翰 吳吉政 李曉惠
邱敏綺 林漢裕 林志隆 林瑞豐 林春成 林希偉 林真如 邱銘傳
林仁彥 林伯鴻 洪一薰 孫天龍 唐硯漁 翁紹仁 袁千雯 陳協慶
陳宗輝 陳子立 陳勝一 陳世彬 陳文智 陳一郎 陳敏生 梁曉帆
郭人介 郭財吉 曹譽鐘 梁韻嘉 曾誰我 曾明朗 曾元琦 楊大和
楊朝龍 楊東育 張永佳 張國浩 張秉宸 葉承達 黃誠甫 黃欽印
蔡佩芳 鄭家年 劉建良 盧俊銘 鍾毓驥 謝益智 藍俊宏 蘇國璋

執行編輯 林國平 (總編輯)

黃澄瑛 黃誠甫 任志宏 王怡然 鄭錦燦

助理編輯 陳思儀

地址 台北市大安區忠孝東路三段1號國立臺北科技大學工業工程與管理學系

電話 02-2771-2717

印刷 優美印刷有限公司

出版日期 2022年12月 出版一

©2022國科會工業工程與管理學門
版權所有 翻印必究

諮議委員：王國明 陳茂生 廖慶榮 張保隆 江行全 張瑞芬 蔡篤銘 王茂駿
簡禎富
主 編：范書愷
編輯委員：王 敏 王姿惠 王逸琦 王孔政 王宏鍇 王逸琳 孔令傑 王建智
石裕川 江育民 車振華 李家岩 吳政鴻 吳政翰 吳吉政 李曉惠
邱敏綺 林漢裕 林志隆 林瑞豐 林春成 林希偉 林真如 邱銘傳
林仁彥 林伯鴻 洪一薰 孫天龍 唐硯漁 翁紹仁 袁千雯 陳協慶
陳宗輝 陳子立 陳勝一 陳世彬 陳文智 陳一郎 陳敏生 梁曉帆
郭人介 郭財吉 曹譽鐘 梁韵嘉 曾誰我 曾明朗 曾元琦 楊大和
楊朝龍 楊東育 張永佳 張國浩 張秉宸 葉承達 黃誠甫 黃欽印
蔡佩芳 鄭家年 劉建良 盧俊銘 鍾毓驥 謝益智 藍俊宏 蘇國璋
執行編輯：林國平(總編輯)
黃澄瑛 黃誠甫 任志宏 王怡然 鄭錦燦
助理編輯：陳思儀

出版單位：國科會工業工程與管理學門

學門官網：<http://www.etop.org.tw/dsp/E50.php?c=dsp13211>

學門粉專：<https://www.facebook.com/Taiwan.NSTC.IEM>