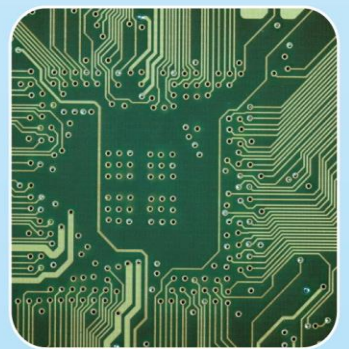


財團
法人

中技社

AI 智慧製造與數位轉型

CTCI FOUNDATION



財團法人中技社(CTCI Foundation)創立於 1959 年 10 月 12 日，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力」為宗旨。初期著力於石化廠之設計與監造，1979 年將工程業務外移轉投資成立中鼎工程後，業務轉型朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面再次轉型為智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；協助公共政策之規劃研擬，間接促成產業之升級，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

本著創社初衷，為求對我們所處的環境能有更多的貢獻，本社就國內前瞻性與急迫性的能源、環境、產業、社會及經濟等不同議題，邀集國內外專家進行全面的研究探討，為廣為周知，特將各議題研究成果發行專題報告，提供產官學研各界參考。

本專題報告係以本社 2023 年 3 月 30 日舉辦之「AI 智慧製造與數位轉型」研討會為本，將會中專家主講內容彙總而成，研討會由中研院陳力俊院士擔任總召集人，邀請清華大學簡禎富副校長協助策劃，力邀國立虎尾科技大學張禎元副校長、東台精機(股)公司嚴瑞雄董事長、創鑫智慧(股)公司林永隆董事長、耐能智慧科技(股)公司劉峻誠創辦人、友達數位科技(股)公司楊本豫董事長、宏遠興業(股)公司曾一正數位長，以及台達電子(股)公司蔡清雄副總經理等 7 位產學專家共同參與，進行深入淺出的專題論述，及分享業內的轉型歷程，極具參考價值，會後由本社將成果彙集成冊並編輯發行。研討會當天之簡報及相關資料請參見本社網站。

發行人：潘文炎

主編：陳綠蔚、陳力俊

作者：陳力俊、簡禎富、張禎元、嚴瑞雄、林永隆、劉峻誠、楊本豫、
曾一正、蔡清雄(依報告順序)

執行編輯：王鈺鎔、許湘琴、呂雨龍、鍾侑靜

發行單位：財團法人中技社

地址 / 106 臺北市敦化南路二段 97 號 8 樓

電話 / 886-2-2704-9805

傳真 / 886-2-2705-5044

網址 / www.ctci.org.tw

本社專題報告內容已同步發行於網站中，歡迎下載參考

發行日期：中華民國 112 年 7 月

ISBN：978-626-97025-2-7

序

近年來人工智慧(Artificial Intelligence, AI)已成為最受世人關注的科技領域，在各類領域的應用也愈加廣泛。例如 Chat-GPT 自去年問世以來，已在短短數個月的時間當中，吸引了所有人的目光，產生了廣泛的影響，加速了各行各業邁向數位轉型的進程。尤其在這股 AI 的驚天浪潮下，人工智慧在製造業的各領域應用，亦已越來越普及。其中最明顯的，就是為製造提高生產率、降低成本、提高品質和減少停機維修時間，再加上工業物聯網的應用，製程中所產生鉅細靡遺的數據皆可即時被記錄並累積下來，每天產生的大量數據，更讓人工智慧在製造業中具有多種潛在用途。如製造業者藉由日常的製造數據的累積，利用機器學習、深度學習，以及類神經網絡等人工智慧解決方案，可以達到更好地分析做出最佳決策。

臺灣製造業的實力聞名全球，亦是支撐臺灣經濟的重要命脈，2021 年名目生產總值已突破 23.45 兆新台幣，占整體經濟的比重達 50.6%。如何藉由 AI 科技的輔助，成為臺灣製造業持續成長的動能，應從不同視角審思臺灣應致力發展之 AI 技術，並促成產業間合作，包含各領域知識之延伸、資金與資源之挹注…等，整合各種產業價值創造機遇，將有助於發展健全多元的臺灣製造產業生態系統，繼續在未來全球新局勢中再創新猷。

本社秉持著「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力」的創社宗旨，自 2018 年起，在陳力俊院士大力協助下，以 AI 對「經濟、社會、政治、產業」、「社會、科學、文化、教育」、「日常生活」，以及「倫理與治理」為題，舉辦四場大型研討會，並出版四本專題報告，皆獲得相當大的迴響。而為了更進一步向社會大眾闡述 AI 在不同層面的應用與影響，從 2021 年度開始，以「AI 為善」為目標，逐年聚焦教育、製造、服務等不同領域，邀請相關專家共同研討，2022 年完成 AI 在教育領域之研討，並以舉辦研討會與出版專題報告作成果展現。

同時於 2022 年度，在中研院陳力俊院士指導與清華大學簡禎富副校長大力策畫下，開始針對「AI 在製造領域應用」議題進行研討，並聚焦在高科技產業、傳統產業和中小企業，以及新創產業，舉辦一系列座談會，邀請多位產業實務專

家做觀點分享，並與社科專家商討，篩選出 AI 在製造領域應用的關鍵議題，更進一步邀集已跨步邁入組織數位轉型與應用 AI 智慧於製造的產業先進，包括國內高科技產業、傳產與中小企業，以及創新產業專家領域，從 AI 演算法技術開發與應用、AI 邊緣運算運用與產業化、異質整合機制建置與誘因設計，以及智慧製造平台推展等面向做深入論述，並匯聚這些研究成果，於今(2023)年 3 月 30 日舉辦《AI 智慧製造與數位轉型》研討會，與各界賢達分享心得與成果。此研討會是以實體與視訊同步進行，超過 650 位報名，共有 170 位來賓實體與會，視訊會議最高峰有 232 位同時上線，先後有 336 位視訊參與，創下本社最多人報名也是最多人參與之紀錄，其中半數以上來自於產業領域人士，足以見得產業界對此議題的高度關切。後續由本社將重要論述彙集成冊出版，供各界人士參閱，望收引玉之效。

此研討會能圓滿完成，專題報告能順利出版，要特別感謝陳力俊院士的召集與統籌，簡禎富副校長的大力策劃，以及平日公務商務就相當繁忙的所有主講人，包含國立虎尾科技大學張禎元副校長、東台精機(股)公司嚴瑞雄董事長、創鑫智慧(股)公司林永隆董事長、耐能智慧科技(股)公司劉峻誠創辦人、友達數位科技(股)公司楊本豫董事長、宏遠興業(股)公司曾一正數位長，以及台達電子(股)公司蔡清雄副總經理，不但特別排開時間參與多次討論會議，更提供諸多協助；也要感謝所有專業學養及經驗俱豐之專家學者，撥冗參與會議提供許多寶貴意見，與毫無保留的經驗分享，讓一切順利完成，在此一併致上萬分謝意。

財團法人中技社 董事長
潘文炎
2023 年 7 月

目錄

序.....	I
目錄.....	III
圖目錄.....	V
執行摘要.....	1
第一章緒言	5
第二章智慧製造與數位轉型的現況與展望	11
一、現況與展望	11
二、臺灣的定位與未來	12
三、大國重回製造，新興國家需自強	13
四、工業 3.5 前傳—藍湖策略	13
五、摩爾定律的經濟意涵	14
六、工業 3.5—治病於未發與彈性決策	16
七、總結	16
參考文獻	18
第三章AI 對製造工程教育與研發的利與弊	19
一、前言	19
二、智慧製造與數位轉型	20
三、AI 衝擊下的工程教育與研發	27
四、結論與建議	31
參考文獻	34
第四章AI 智慧製造應用分享.....	35
一、前言	35
二、智慧製造新趨勢	36
三、工業 4.0 的意涵	38
四、以人機協作彈性決策的智慧製造為中期目標	41
五、AI 智慧製造應用	42
六、結論與建議	43
第五章適合邊緣佈署之類神經網路研發與應用	45
一、前言	45
二、CNN 架構的演進.....	46
三、新型類神經網路 HardNet	47
四、HardNet 效能	48
五、交通相關應用案例	50

六、醫療應用	52
七、結論與建議	54
參考資料	56
第六章 邊緣 AI 在智慧製造與工廠安全的應用	57
一、前言	57
二、簡介邊緣 AI	58
三、耐能 AI 晶片的優勢	59
四、耐能 AI 晶片的應用範疇	61
五、實際案例	63
六、未來展望與建議	64
參考文獻	66
第七章 從產業 AI 化到 AI 產業化	67
一、前言	67
二、AUO 智慧製造轉型	68
三、AI 產業落地化應用	70
四、攜手生態圈夥伴協助企業 AI 落地	73
五、結論與建議	73
第八章 智慧宏遠數位轉型之路分享	75
一、前言	76
二、推動組織與策略	76
三、數位轉型歷程	77
四、數位轉型案例分享	78
五、永續循環經濟	81
六、後續數位轉型規劃	82
七、結論與建議	83
第九章 整合物理模型與資料模型的 PdM 與 AI 電控設備平台	85
一、前言	85
二、分層運算架構	85
三、物理模型搭配資料模型運作	86
四、快速實現 AI 的電控平台	88
五、案例說明	90
六、結論與未來展望	91
第十章 結論與建議	93

圖目錄

圖 2.1 單位晶圓面積的元件數量與平均製造成本之關係圖	15
圖 3.1 (a)人類智慧化的演進-以 Apple 為例、(b)製造智慧化的演變-以工業 4.0-智慧製造為例	22
圖 3.2 模型驅動(Model-Based)和數據驅動(Data-Driven)方式的比較	25
圖 3.3 施振榮先生所提之產業微笑曲線圖	29
圖 4.1 冰山下的競爭.....	37
圖 4.2 重要的 OEE(衡量產能利用率的指標).....	38
圖 4.3 工業革命四個階段	39
圖 4.4 工業 4.0 – 3 大整合	40
圖 4.5 工業 4.0 – 5 個發展 Level	41
圖 4.6 ARIS 複判人力節省效益分析	43
圖 5.1 卷積類神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)演進	46
圖 5.2 HarDNet 架構圖	47
圖 5.3 各種 CNN 模型效能檢測	49
圖 5.4 道路損壞檢測(道路裂縫和侵蝕).....	50
圖 6.1 不同商業邊緣處理器效能比較	61
圖 8.1 大量國內外學習：智慧宏遠之旅，做中學/學中做	76
圖 8.2 工業 3.5 邁向工業 4.0 的混合策略	77
圖 8.3 宏遠數位轉型歷程	78
圖 8.4 與清華大學合作-先進排程	79
圖 8.5 染整廠產能負荷可視化管理看板	80
圖 8.6 宏遠的循環經濟模式	81
圖 8.7 宏遠的人工智慧工廠藍圖	83
圖 9.1 分層分散式運算電控架構	86
圖 9.2 物理模型與資料模型智慧運算	87
圖 9.3 智慧運算功能由軟體規畫	88
圖 9.4 PdM/AI 平台支援 ONNX AI 模型.....	89
圖 9.5 機械診斷(物理模型)：螺桿摩擦力自動建模與補償.....	90
圖 9.6 旋轉機械故障分類與程度判定(AI 資料模型)	91

執行摘要

一、問題及目標

臺灣的製造業是支撐臺灣經濟的重要命脈，實際產值在 2003 年破新台幣 10 兆之後，歷經 2009、2016 年兩次全球經濟衰退，2021 年不僅突破 20 兆元，一舉衝破 24 兆元，2022 年更快速上看 25 兆。這兩年的產值成長，創下製造業史上跳升最快速紀錄，拋開國際政經情勢變化因素，企業數位化轉型與人工智慧應用於製造領域的重視，逐步發酵展現效益。未來如何藉由 AI 科技的輔助，成為製造業持續成長創新的動能，並從不同視角審思臺灣應致力發展之 AI 技術，促成產業間合作，推展各領域知識之延伸與資金及資源之挹注，進而整合各種產業價值，以發展健全而多元的臺灣製造產業生態系統，創造機遇，應是可努力的方向。

本社於 2022 年度開始針對「AI 在製造領域應用」議題，召開多場會議，綜整高科技產業、傳統產業、中小企業、新創公司，以及社科等多位專家學者意見，篩選出臺灣製造業在 AI 技術應用與發展之關鍵議題，並進一步了解臺灣在 AI 演算法與 AI 晶片的技術含量、不同產業界導入 AI 技術之瓶頸與成功關鍵，以及如何藉由臺灣在既有強大且完整的半導體產業聚落基礎下，對臺灣製造業在 AI 產業化與產業 AI 化的進程中，發揮綜效助益，讓業界在面對美中貿易戰、COVID-19 疫情等諸多不確定的國際局勢中，能藉由 AI 科技，繼續在未來全球供應鏈中佔有一席之地，並且強化臺灣製造業的韌性，同時為臺灣的 AI 發展，達到為善的利益共享目標。

二、研究範圍及內容

本專題報告以強化 AI 演算法技術開發與應用、發展 AI 邊緣運算促進產業落地、建置異質整合的機制與誘因、推展智慧製造平台承接產業價值等關鍵議題為範疇，邀請多位長年致力推廣或執行 AI 製造導入之產學專家，分享豐富且珍貴之實務經驗，共分成十個章節，除首章的緒論與末章的結論與建議外，第二章以宏觀的角度，分析臺灣智慧製造與數位轉型的現況，點出臺灣製造業在全球供應鏈的定位，進而提出持續提供關鍵價值的可能方針與策略；第三章則探討 AI 化對製造工程教育與研發的利與弊，並提出一些共同為臺灣以智慧造價的建議。

接下來的六個章節分別從不同面向進行 AI 產業化與產業 AI 化的深入論述，第四章從工業革命四個階段、五個智慧化發展引出智慧製造新趨勢，同時進行三大整合延伸出的應用，提出邁向製造業桃花源的願景；第五章則介紹由國人自行創建的開源骨幹網路 HarDNet，實測後獲獎無數，更被讚譽為又快又準更省電更安全，無懈可擊地完勝既有各種網絡，並提出在許多國家不同領域應用之介紹；第六章也是由國人自行開發，推出專用於邊緣運算的可重構式 AI 晶片，在能耗

與神經網絡效率上表現出色，且還保有演算法的彈性，並已實際應用在多種領域；第七章是一個原先為製造業的業者，藉由內部智慧轉型產業 AI 化所累積的能量與經驗，進而轉化為多種解決方案，協助其他製造業者 AI 落地，形塑良善的生態圈夥伴，共同促進產業鏈升級；第八章是一個以數據為核心，將資料做整合中樞之業者，藉由 AI 技術分析與應用，讓營運決策自動化，成功驅動數位轉型，並與永續循環經營模式相結合，分享此實務歷程，同時提出轉型成功之關鍵；第九章則是在工業自動化領域耕耘數十年的業者，結合物理模型與資料模型所提出快速實現 AI 的電控平台，可以承接不同產業需求，透過經濟與容易維護的運算架構，提升產業價值。

三、研究結論

臺灣半導體業非常成熟與完整，對全球供應鏈舉足輕重，如晶圓代工及封測產業居全球第一，IC 設計及整體半導體業居全球第二，規模僅次美國。而且在許多垂直應用領域有很好的基礎，同時擁有大數據與應用場域，如精密機械製造、智慧醫療、智慧運輸等領域，若能借助臺灣在半導體的優勢，結合 AI 與 5G 通訊的發展契機，透過跨領域合作，建立生態鏈，把商務模式從代工或零組件供應，轉變為提供完整的系統整合與服務，可提高產品的商務價值與競爭優勢。也就是說，可將臺灣具有相當優勢的製造經驗和企業文化做進一步的整合，創建成一個全方位解決方案，不但能促進臺灣各產業的普遍升級，亦能輸出到其他國家的製造業，擴大系統生態鏈，其產生的效益是可被期待的。

而企業要成功導入 AI，符合需求是關鍵因素，且就算是同領域的企業，每家的需求皆不盡相同，每個製程所導入 AI 的成熟度跟困難度也都不一，故協助企業導入 AI 前一定要多做溝通，理解企業實際需求，才能有大效益。尤其在 AI 的導入過程中，落地並讓使用者馬上體驗到升級的感受是最困難的部分，一個完善的 AI 解決方案有四個條件，第一是融合領域知識(Domain Knowledge)；第二是資料的標準化取得與克服資料收集；第三是自動維運的管控，第四是硬體的標準化解決方案。AI 導入時序上，應先著重在數據驅動(Data Driven)文化的導入，讓員工願意分享數據，並用比較開放的角度去思考數據應用的各種可能性，不只是企業界，亦可延伸到學界，利用數據驅動的態度去面對 AI 的應用，同時提升自身的價值。

四、改善對策及建言

綜整專家論述，本專題報告提出下列建議供政府有關單位與正在發展 AI 技術或欲導入 AI 科技之業界參考。

(一) 培育人才善用 AI 工具

1. 針對工程教育進行革新

臺灣在工程領域的教育，不能只是偏重實作或是只是強調理論，應該要將理論與實務相互搭配。並以國家的高度來進行通盤考量與改進，如高等教育應該從如何培養能夠創造價值人才的方向來考慮，進而規劃未來的教育體制。

2. 把 AI 當輔助工具加以善用

應把 AI 當成輔助工具，且培育年輕一代，善於駕馭這些工具，不僅能應用在日常生活中，對研究、產業等工作也會有很大的幫助，如能與本身的專業能力相結合，更能提升自己的工作價值，且會對全人類帶來正面且革命性的改善。

3. 產業進行轉型，提高能創造價值工程人才的待遇

透過 AI 減少人力的使用，讓操作型的人才轉型成為以智慧創造價值且高薪水的工程師。且未來價值的創造是在於如何經由 AI 將專業領域知識與商業模式結合。而企業攬才模式也須進行調整，有賴經濟部以及勞動部研議如何透過這波 AI 的浪潮，讓臺灣製造業者行有效的轉型，共同邁入智慧製造。

(二) 促進產業 AI 化與 AI 產業化

1. 產業智慧化的目標應先解決產業痛點

產業要數位轉型智慧升級是要逐步解決產業痛點，才容易收到實效，實現智慧化。在智慧化的過程中，老舊設備是製造業的共同痛點，如何無痛的把老舊設備的關鍵數據擷取出來，是智慧化的第一步，老舊設備亦可透過升級將數據擷取出來，解決方案的性價比亦是業者是否願意智慧升級的考量重點。

2. 鼓勵研究往物理模型和數據模型融合

AI 以不同面向，從數據來建構學習模型，不管是物理模型或數據模型皆各有優缺點，兩者是相輔相成。因此在 AI 發展前期，鼓勵研究往物理模型和數據模型融合。

3. 發展 AI 邊緣運算促進產業應用

工業 AI 技術不同於商業 AI 技術，Edge 端的實踐可能比 Cloud 端的應用更為重要，臺灣可從 AI 晶片、軟硬體整合、工業電腦、AIoT 架構、5G，以及數據驅動(Data Driven)的解決方案和技術研發等各個維度，結合包括半導體產業、面板、電子製造業等臺灣競爭優勢的產業應用領域進行整合，藉以發展 AI 邊緣運算應用於各產業。

4. 建置跨產業異質整合的機制與誘因

在晶片的未來發展趨勢中，異質整合技術一直被寄予厚望，如果能再導入不同產業的領域知識，將各產業的解決方案整合起來，更能鞏固臺灣製造產業的競爭優勢，故建議有一套建立跨產業異質整合的機制和誘因，以臺灣高科技產業領域為 AI 應用的主場優勢，發展成臺灣製造的解決方案和可以輸出的管理系統。

5. 推展智慧製造平台承接產業價值。

臺灣的半導體產業因專業分工模式獨步全球，多年的積累，更發展成為舉世無匹且相當完整的半導體產業聚落，建議應進一步藉助模組化的水平分工和開放創新，建立堆積木的架構和參考設計，協助各個產業可以快速展開，將可促進產業價值典範移轉，故應致力發展智慧製造平台，以承接整合各種價值創造的機遇。

6. 整合臺灣產業經驗對外輸出服務

臺灣有很好的製造業，有很多 AI 落地場景，但這些場景非常碎片化，如何將這些碎片由點整合成面，進而對外輸出服務，且變成一個具競爭力並能賺錢的服務業，是一個很值得大家一起努力的方向。

(三) 創造 AI 往良善發展之環境

1. 建構可信任 AI(Trust AI)環境與機制

資料管理與安全性是產業界在智慧化過程中非常重要的一環，亟需建立一個完善的資料治理機制，加以工業 AI 技術強調安全穩定，導入具透明性與可解釋性的演算法，亦是智慧化過程中不可或缺的一部分，所以可解釋 AI、可信任 AI 是 AI 應用於智慧製造的必要進展。

2. 建議政府成立中央主責單位規劃以及規範製造產業使用 AI

AI 對各種產業皆會造成衝擊，尤其近年以製造創造經濟奇蹟的臺灣，其衝擊和影響勢必將加大且深遠，更攸關臺灣製造產業未來的競爭優勢。臺灣過往所累積的製造專業領域知識相當豐富，應首要防範引以自豪且賴以為生的製造 know-how 不會輕易地外流，其中資訊安全與防護則是特別重要。所以數據搭配 AI 更要從法規面來規劃讓 AI 資訊可追溯(traceable)，讓 AI 在智慧製造應用的過程透明化、有規範、可被相信。建議政府可以成立中央主責單位，從國家的高度來規劃、規範、甚至引領製造產業使用 AI 來替臺灣創造價值，並再造臺灣經濟的奇蹟。

第一章 緒言

陳力俊¹

財團法人中技社鑒於近年人工智慧的快速發展，帶來新一波的社會變遷，自 2018 年起，以 AI 對「經濟、社會、政治、產業」、「社會、科學、文化、教育」、「日常生活」，以及「倫理與治理」為題，舉辦四場大型研討會，獲得很大的迴響，會後並各出版一本專題報告，一方面推廣增進社會大眾的認知，一方面將研討結果與建議提供政府機構與民間單位做決策參考；從 2021 年度開始，更以「AI 為善」為目標，聚焦不同領域，做進一步之探討，前已完成「AI 在教育領域應用」之研討，並出版專題報告。

同時，中技社也連續舉辦四次 AI 創意競賽，2019 年以「AI 與教育」、「AI 與創新服務」與「AI 與藝術」為主題，2020、2021、2022 年分別聚焦於「AI 醫療防疫」、「AI 與農林漁牧」、「AI 與生活」，廣度與深度均有提升；今年則以「AI 與教學」為競賽主題，盛況可期。同時中技社也規劃在今年八月、在新北市、彰化縣與南投縣各舉辦為期兩天的「國中 AI 教師培訓營」，進一步深化擴大在 AI 領域之投入。

本專題報告為「AI 智慧製造與數位轉型」研討會內容整理文稿之集成。研討會在清華大學簡禎富副校長協助策劃下，針對不同規模與性質企業先邀請學者專家，舉辦「AI 於高科技製造產業與影響」（111 年 3 月 30 日）、「AI 於傳統產業與中小企業應用與影響」（111 年 7 月 29 日）與「AI 於新創產業的應用與影響」（111 年 8 月 24 日）座談會，再經「建構 AI 產業應用治理框架論壇」議題工作討論會議（111 年 11 月 23 日），並於 112 年 3 月 1 日召開本研討會會前會，歷經三次座談會，一次討論會以及一次座談會，務期研討會能在縝密規畫與順利進行下發揮最大功效。

簡副校長首先精闢的勾勒出研討會「AI 智慧製造與數位轉型」主題的現況與展望，由於大國重回製造和地緣政治對抗的賽局，全球化和供應鏈重組，半導體產業成為地緣政治與科技戰的最前線之一；其次談到臺灣自處之道，定位與未來。臺灣尋找半導體產業以外的戰略性產業，運用有限資源突圍，永續經營；再論及新冠肺炎疫情改變人類生活型態，AI 迫近奇異點，臺灣產業應該一方面強化基礎工業技術，另一方面加速導入 AI，而能回到過去榮景並改變未來，以臺灣高科技產業領先、中堅企業和隱形冠軍支撐，以及大多數中小企業協助的產業生態系統，厚植核心能耐普遍升級，推動數位轉型永續經營，以在重構中的全球產業鏈卡位，並在後全球化的國際製造網絡中提供關鍵價值，以超越紅海藍海的循環宿命。

¹ 中研院院士、臺灣聯合大學系統/系統校長、清華大學特聘講座教授

由於製造領域的競爭優勢將逐漸轉移成尖端設備和製造平台的競爭，勢必影響臺灣製造業在價值鏈的地位和分潤，因此臺灣應該要成為全球彈性製造中心，必須掌握數位轉型的契機，將智慧製造與聰明生產的核心能耐智慧化以擴大市占率和藍湖規模，並透過速度和彈性決策以在適當時機快速複製到其他藍湖市場，逐漸利用這些解決方案協助其他國家進行數位轉型，創造穩健生態系統。

接著張禎元副校長談「AI 對製造工程教育與研發的利與弊」，在智慧製造與數位轉型方面，闡明 (一) 智慧和知識的區分、(二) 工業 4.0-智慧製造、(三) 智慧化、(四) 整合模型驅動以及數位驅動尋求解答、(五) AI 化對製造工程教育與研發的好處，以及(六) AI 化對製造工程教育與研發帶來的缺點。

在 AI 衝擊下的工程教育與研發方面，認為 (一) 工程教育與研發應考慮「競爭優勢」、(二) 工程教育與研發應要「誠正精勤」、(三) 工程教育與研發應要「厚德載物」與 (四) 工程教育與研發應要「自強不息」。

張副校長建議 (一) 政府成立中央主責單位規劃以及規範製造產業使用 AI，(二) 教育針對工程教育進行革新以及 (三) 產業進行轉型，提高能創造價值工程人才的待遇。

「東台精機公司」嚴瑞雄董事長，與大家分享東台在「AI 智慧製造應用」的經驗，以工具機、自動化、半導體、面板、醫療等案例說明，並介紹 AI 智慧製造趨勢，如人機協作、可信任 AI 等。

嚴董事長先討論智慧製造的本質。認為第四次的工業革命的到來，是由於第一是市場需求的改變，從量產思維轉成強調少量多樣，或甚至客製化量產。第二是客戶評價設備投資報酬率(Return on Investment, ROI)的改變，從過去只注重冰山上的固定價格成本，轉為更注重冰山下的總體擁有成本 (Total Cost Ownership, TCO) 考量，也就是設備使用過程中的變動成本需整體加以考量，而這其中佔最多數的是造成設備總合效率(Overall Equipment Effectiveness, OEE) 降低的各式損失，AIoT 的使用有助 OEE 的提升。

在工業 4.0 的應用進程上，根據德國 Acatech 2017 年所提的資料，重新整理成五大層次 (Levels)，從最基本的聯網化、可視化、透明化、預測化到自優化，而 AI 的應用在後三個層次有很大的助益。

工業 4.0 或智慧製造的未來十年，工業化人工智慧 (Industrial AI) 所扮演的角色非常重要，從感知 AI、自動化 AI、分散式 AI (Edge AI) 到可信任 AI，利用 AI 技術的發展讓製造更智慧，也能讓大家可以共同邁向製造者的桃花源。

「創鑫智慧公司」林永隆董事長談「適合邊緣佈署之類神經網路研發與應用」，介紹 HarDNet (Harmonic Densely Connected Neural Network) 高效率 and 準確性卷積神經網絡架構的設計，強調經網路模型重要指標：準確度、速度、耗能、通用性。基本思維是 DRAM 存取速度較慢且能量消耗較大，而算術運算則快速且不昂貴。因此，應盡量減少 DRAM 存取。而 HarDNet 架構經過了速度和能源效率的優化，是各種應用的理想選擇，包括物件偵測、語義分割和醫學圖像分割等。此外，HarDNet 是開源的，這意味著任何人都可以使用和修改它。目前 HarDNet 已經在許多國家許多領域取得了巨大的成功，例如自動駕駛、工業自動化、車輛安全、環境監測、結腸鏡息肉分割和 MRI 影像等。

「耐能智慧科技公司」劉峻誠創辦人主講「智慧製造與安全措施」，介紹 AI 晶片在製造業扮演的角色與功用，分享案例，如製造檢驗、預防性維護…等，並說明耐能軟硬體整合解決方案。首先簡介邊緣 AI，自越來越多的製造業者正在導入 AI，尤其近年疫情也大力推動了 AI 的進一步落地談起，論及善用 AI 數據將是串連產線、廠務管理、物流、產品銷售供應鏈的關鍵。開始導入邊緣運算 AI，解釋其與一般 GPU 或是雲端應用差異。

接著說明目前製造業導入 AI 的應用範圍，主要有三個領域，第一個是工業機器人，當電腦視覺與機器學習技術開始被大量部署到產線上時，在工業與製造業場景上的人機協作與全自動化將會越來越普及；第二個是邊緣特徵分析，邊緣技術可以截取在終端產線現場數據、將資料回傳雲端或是做不同系統的資料交換，應用範疇則包含瑕疵檢測、動態良品率 (yield rate) 分析等等不同應用層面；第三個則是機器視覺技術檢測，從最初期的 AOI 光學檢測，到 AI 強化的 AOI，用於確保產品品質，提生產線良率。此外，機器視覺檢測還可以協助製造現場的工安管理，在人、機、物料貼近到危險區域時可以自動偵測發出警示。

劉創辦人進一步說明製造業在導入 AI 後，有很多效益可被預期，如檢測、模具品質及設備管理維護預測等，確實定期保養減少異常停機損失與品質失敗成本；又或製造生產設備稼動的即時監控，可掌握生產狀態，並記錄站別及成本，分析不良原因及所耗費成本，建立品質改善，尤其是導入工業機器，利用行人、物件辨識、人臉辨識的融合檢測，可以做安全區域管控，提高生產效率與工廠安全。並指出最近火熱的 ChatGPT 也顯示邊緣運算 AI 的功耗與模型在特徵萃取的重要性。

「友達數位科技公司」楊本豫董事長談「從產業 AI 化到 AI 產業化 - 友達光電從內場域應用走向外場域服務」 分享友達光電(AUO)智慧製造緣起以及轉型歷程，面對中國大陸面板同業的大肆規模擴張，AUO 啟動由規模競爭轉向價值競爭的「藍湖策略」，生產模式逐步由大量少樣轉變為少量多樣的型態。因應少量多樣的製造效率挑戰，公司於 2015 年推動智慧製造，以大數據蒐集生產過程關鍵數

AI 智慧製造與數位轉型

據，建構大數據平台並進一步導入 AI 應用，將內場域製造從自動化推展到智慧化。過去七年期間，AUO 透過主管讀書會、AI 人才培訓賦能及 OT /IT 部門專案協作等方式，循序漸進的執行智慧製造數位轉型推動產業 AI 化。截至目前 AUO 內場域已導入數千個 AI 模型，達到製程良率及生產力雙雙提升的效益。

近年 AUO 從內場域應用走向外場域服務，協助製造業者 AI 落地。基於所累積的深厚智慧製造能力與數位轉型經驗，AUO 於 2021 年成立友達數位 (AUO Digitech, ADT) 跨足到智慧製造服務領域，扮演數位轉型陪跑者。為達執行 AI 產業化的目標，ADT 致力於將 AUO 內場域的 AI 應用經驗輸出至外場域服務，提供 (1)智慧製造工廠整體解決方案及(2)以 AI 技術為核心的智慧解決方案。累積至今已經服務總計超過 30 個製造行業樣態及 700 個客戶，為其量身打造數位轉型落地方案，協助客戶循序漸進落實工廠自動化與智慧化。

「宏遠興業公司」曾一正數位長分享「智慧宏遠數位轉型之路」，介紹宏遠數位轉型契機與歷程，說明如何將數位轉型與永續發展相結合，並闡述傳統產業面對數位轉型的挑戰與成功因素。

宏遠從 2014 年底開始推動智慧化進行數位轉型，制定智慧宏遠策略地圖以明確化推動方向，並依四個層面進行展開。作業控制層 (CIM) 部分就是要將公司重要的機台及瓶頸機台，裝設感測設備進行資料蒐集並以 IoT 進行即時的資料傳輸，並且與上層的現場管理層 (MES) 系統結合，再與企業營運層 (ERP) 系統的整合，由下到上將所有資料串聯起來之後，再往上進行協同商務以 BI 商業智慧以及 AI 人工智慧的運用，提供相關的分析決策。

曾數位長定義智慧工廠五大特色，在互聯的部分就是必須要連線到相關的重要生產設備，做到即時的數據收集，優化部分就是進行設備自動化以及用最少的人力達到最高的生產效率，透明化是現場透過可視化看板工具提供即時資訊，來協助達成快速決策分析，在前瞻性的部分就是要做到預測變化與事前防範，應用機器學習與深度學習提升品質與良率，靈活性的部分就是要具備有彈性跟適應的排程調整能力，可進行動態排程與調動最佳化資源。

宏遠在後續要以數據為核心將資料做整合中樞，進行 AI 相關的數據的分析應用，包含 AIOT 的整合運用、引進 AI 虛擬資料科學家平台。目前已開始由各部門領域專家與 IT 合作建構專屬的資料湖，將資料整合成為有用的資訊於數位主線平台，再運用知識/工具/方法來進行 AI 大數據分析，將產銷人發財各面相驅動，讓營運流程決策自動化，朝人工智慧工廠的方向邁進。

在永續的部分，宏遠從 2007 年開始推動永續經營模式，現今臺灣廠區的用電及用水已經比 2006 年大為減少廠區有 2 座鑽石級綠建築及綠色工廠認證，且通過生態社區認證；從 2021 年開始規劃建設發電量 4088 KW 的新太陽能發電

系統，同時積極地尋找可替代性的燃料如生質燃料等。水回收部分則會將水回收比例大幅提高。同時為了呼應政府的淨零排放目標，也制定了減碳目標，以 2020 年為減碳基準年，以期於 2050 年達到淨零排放。

「台達電子公司」蔡清雄副總經理談「整合物理模型與資料模型的 PdM/AI 電控設備平台」，簡介物理模型與資料模型，介紹元件分散 (Device Edge) 新架構的好處與問題，分享如何加速導入 AI 於電控系統，並以「智慧型預測保養機制」(Predictive Maintenance/AI, PdM/AI) 開發平台應用案例說明。

台達提出一個新穎的營運技術 (OT) 層分散式裝置智慧運算架構，可以降低資料的傳輸量，簡化現場配線，提供更即時的運算，使用更低的成本實現機器設備診斷框架，可快速導入 PdM 與 AI 功能於電控產品，其關鍵元素為：(1) 軟體提供智慧運算編程功能、(2) 智慧運算功能塊封裝與運行環境、(3) 預先建立的 PdM/AI 功能函式庫、(4) 支援智慧運算的控制器、驅動器或感測器。這些元素實現了分散式運算與快速導入 AI 的方法。AI 運算準確性依賴資料數據的完整性，為了提高機械診斷的準確度，台達的機台設備 PdM/AI 診斷平台加入了物理模型的運算，透過知識或經驗建立的物理模型，在機台運作條件改變時更能保證預測的準確度。簡報說明了物理模型跟資料模型的不同與各自優點，而平台是一個同時支援 AI 資料模型跟物理模型的分散式智慧運算的架構，最後以實例作為說明，提供一個快速導入 PdM 與 AI 功能到工業自動化機器設備的方式給業界參考。

在接下來的論壇中，討論題綱包括：

- 一. AI 演算法與 AI 晶片的發展與產業化；
- 二. AI 科技應用於製造產業升級與異質整合機制；
- 三. AI 邊緣運算以及物理模型與資料模型之整合；
- 四. 智慧製造平台化、產業 AI 化與 AI 產業化；
- 五. 如何健全 AI 增能的產業生態系統。

與談學者專家都暢所欲言，並和來賓互動熱烈。

在研討會演講與論壇中，很明顯的訊息是現在產業以高科技、傳產與創新劃分，已不很恰當，尤其一般所謂的傳產，已有許多公司在經營運作有很實質的高科技成分，也許以後將所有積極利用 AI 的產業列為高科技產業，是一種較適當的分類法，如此可免許多「科技含金量」很高的傳產被誤認是「非高科技」產業，而在招募人才上遭遇困難。

最後則由工作團隊彙整與會專家學者的意見，做出結論，並提出具體建議：

AI 智慧製造與數位轉型

一、培育人才善用 AI 工具，包括 (一) 針對工程教育進行革新，(二) 以 AI 當輔助工具加以善用，(三) 產業進行轉型，提高能創造價值工程人才的待遇。

二、促進產業 AI 與 AI 產業化，(一) 產業智慧化的目標應先解決產業痛點，(二) 鼓勵研究往物理模型和數據模型融合，(三) 發展 AI 邊緣運算促進產業應用，(四) 建置跨產業異質整合的機制與誘因，(五) 推展智慧製造平台承接產業價值，以及 (六) 整合臺灣產業經驗對外輸出服務。

三、創造 AI 往良善發展之環境，(一) 建構可信任 AI (Trust AI) 環境與機制，(二) 建議政府成立中央主責單位規劃以及規範製造產業使用 AI。

本次研討會是中技社自 2018 年開始，主辦的第六次大型研討會，與前幾次不同的是，期間於去(2022)年 11 月 30 日由 OpenAI 推出的新型聊天機器人 ChatGPT，讓一般人得以與 AI 對話，也就是可給予指令，得到許多有用的資訊，像是一個博學多才個人隨身助理，深刻的改變大家學習與工作的方式，很快的席捲全球。

不久前，美國紐約時報專欄作家 Thomas Friedman 體驗過 ChatGPT 強大功能後，晚上難以成眠。他認為人類因此面臨「新普羅米修斯²時代」，ChatGPT 帶給人類能力的躍升，有如學會用火一樣重要。然而，AI 技術具有雙重用途，既可以作為工具，也可以成為武器。AI 正由私營公司為了盈利而開發。需要考慮如何在保留 AI 技術的好處的同時，對其進行有效治理，以防止它被濫用。被稱會 PC 之父的微軟創辦人之一的 Bill Gates 評論，ChatGPT 的發展與當年 PC 的推出一樣重要，應該並不誇張。在研討會的「會前會」上，我曾報告對 ChatGPT「AI 在製造業上的應用」提問，得到的部分答案高達四十項，面向廣泛，並且註解頭頭是道，也可預見 AI 未來對人類生活的衝擊會日益強大，是在致力了解與應用 AI 之時，必須警悟的背景。

本次研討會得以順利舉辦，要特別感謝中技社長期投入 AI 相關議題的探討，也要歸功於簡副校長的精心策畫，各位專題演講主講人與論壇與談人的盛情參與，尤其要感謝中技社團隊，包括陳綠蔚執行長、王鈺鎔主任與許湘琴組長等同仁盡心盡力，經歷三次座談會，一次討論會、一次座談會，以及多次工作會議，才完成研討會的規劃與執行，再精心編輯專題報告，備極辛勞，過程中務求盡善盡美，值得大家深深感謝與喝采。

² 普羅米修斯是希臘神話人物之一，為人類帶來火種，在現代，他是科技進步和人類日益主宰自然的象徵。

第二章 智慧製造與數位轉型的現況與展望

簡禎富¹

摘要

大國重回製造和地緣政治對抗的賽局，全球化和供應鏈重組中，「懷璧其罪？」半導體產業成為地緣政治與科技戰的最前線之一，臺灣如何自處？「福兮禍兮？」半導體產業是臺灣的矽盾或絆索？「群龍無首，吉？」臺灣能夠找到半導體產業以外的戰略性產業嗎？資源有限，各個產業搶人才的情況下，臺灣如何運用有限資源突圍，永續經營？新冠肺炎疫情改變人類生活型態，AI 的奇異點 (Singularity) 已經過了人類需要擔心的「天網時刻」？臺灣產業應該一方面強化基礎工業技術，另一方面加速導入 AI，而能回到過去改變未來？臺灣高科技產業領先、中堅企業和隱形冠軍支撐，以及大多數中小企業協助的產業生態系統，如何厚植核心能耐普遍升級，推動數位轉型永續經營，以在重構中的全球產業鏈卡位，並在後全球化的國際製造網絡中提供關鍵價值，以超越紅海藍海的循環宿命，值得大家一起深思。

一、現況與展望

臺灣半導體產業在全球舞台上扮演著越來越重要的角色。《晶片戰爭》更使得國內外政治人物和大眾意識到其重要性，先進國家重回製造並積極發展在地的半導體產業，邀請台積電到美國、日本和歐洲設廠，大幅增加資本支出與未來營運成本，影響台積電的獲利和成長。

1. 懷璧其罪：臺灣半導體和台積電如同「和氏璧」，列強皆想獲取，迫使臺灣佇立於地緣政治與美中科技戰的最前線。
2. 核心能耐：半導體產業與璧玉不同之處在於其為一種 IP (智慧財產)，因此他國亦可複製擁有，則我們需要關注的問題應為：臺灣半導體產業在全球賽局中有什麼競爭優勢與核心能耐，才不會被平庸化 (commoditized)？張忠謀創辦人演講時，說過臺灣半導體的優勢包括：
 - (1) 臺灣擁有大量優秀勤奮的理工人才。
 - (2) 臺灣地幅狹小，透過高鐵能夠擁有一日生活圈，因此自成一個完整的生態系統。
 - (3) 臺灣產業生態系統豐富完整，除竹科高科技產業之外，包含中科在內也有許多重要的工具機產業鏈。

¹ 國立清華大學清華講座教授兼執行副校長

3. 群龍無首：易經：「群龍無首，吉」。群龍無首為何是「吉」？在全世界都爭相想要發展半導體產業的現在，臺灣應思考如何把握契機和機會之窗，藉著半導體產業作為全球產業生態系統中的關鍵角色，推動臺灣其他產業切入半導體產業鏈，培養更多隱形冠軍和各個產業區塊的龍頭。
4. 禍兮福兮：半導體產業被稱為臺灣的「矽盾」，但隨著美中競合戰略發展和兵棋推演，半導體產業究竟是矽盾亦或是「絆索」？臺灣應該思考訂定如何趨吉避凶的整體戰略。
5. 天網時刻：AI 技術發展迅速，ChatGPT 等生成式人工智慧技術和大規模語言模型等強化學習技術，讓人類開始擔心 AI 是否已經發展到了電影《魔鬼終結者》的「天網時刻」？然而，臺灣是否可以停下來想清楚，還是應該吟嘯徐行迎頭趕上？
6. 千湖之藍：產業變遷的演化過程中，臺灣如何在禍福相依的地緣政治和列強環伺的夾縫中，推行工業 3.5 和數位轉型，逐步提升工業基礎建設，使各個產業普遍升級並健全產業生態體系，推動各個產業普遍升級邁向《藍湖策略》中的「千湖之藍」願景。

二、臺灣的定位與未來

隨著人類生活水準不斷提高，地球資源日益耗竭，一個地球已經無法負荷全世界的人都過一樣富足的生活。因此，大國間的衝突競合愈來愈激烈，永續發展與循環經濟才是王道，這也是臺灣未來應可發展與貢獻全球社會之處。

誠如先前提到的，懷璧其罪的臺灣應該盤點核心能耐和籌碼是什麼？台積電創辦人張董事長於 2008 年曾提到：「臺灣最需要的是管理技術和人才。」很多技術競爭者都已經掌握，若要在相同的技術基礎上做得比別人更好，必須具備在技術和設備之上的能力。換言之，管理科技和硬科技同等重要。孫子兵法曾言：「人皆知我所以勝知形，而莫知吾所以致勝之形。」當臺灣思考智慧製造和數位轉型時，應思考什麼是「致勝之形」，也就是我們可以掌握的核心能力？我們不應該被現有的相對競爭優勢所迷惑，而是應該再思考哪些能力是我們可以複製到其他產業中的「致勝之形」。

2018 年，《哈佛商業評論》文章曾提及供應鏈管理的終結，而 COVID-19 更進一步加速了不同產業生態的重組和斷鏈。第一次工業革命以來，製造業重視生產力和規模報酬，未來的工業 3.5/工業 4.0 更注重價值、彈性決策和智慧生產。供應鏈也變成短鏈與碎鏈，企業更考慮全面資源管理與卓越經營的挑戰。這些趨勢將影響並形塑臺灣的發展，以及在全球製造網絡中的定位。

三、大國重回製造，新興國家需自強

革命就是一種激烈競爭和重分配的過程，德國「工業 4.0」將工業革命分成四個階段。作者認為第一次工業革命和第三次工業革命有明確的驅動科技（Enabling Technology），讓人類進入機器時代和數位時代。德國推動工業 4.0 的說帖中，強調過去這幾十年全球 40% 的製造份額轉移到新興國家，其中西歐國家損失了 10%，工業 4.0 的策略目標是拿回損失的份額。因為全球製造百分比是此消彼長的零和競爭，臺灣作為新興國家，也會受到德國推動工業 4.0 的影響。因此，應該思考進行中的工業革命，臺灣如何才能抓住機遇，維持在價值鏈中的地位。

天下大勢「分久必合，合久必分」，全球產業鏈也是在水平分工和垂直整合中互相競爭且共同演化。在產業鏈重構時，上下游不同領域演進的速度快慢不同，造成產業鏈的差距，也是創新和創業的機會。以行動通訊為例，當 2G 市場逐漸飽和成為紅海市場，而 3G 市場正在起步時，聯發科採取 2.5G 以及 2.75G 的混合策略，在 2G 的基礎上開發出了 3G 的部分功能，用低階破壞性創新滿足部分需求，也成為聯發科大幅成長的契機。工業 3.5 是工業 3.0 和工業 4.0 之間的混合策略，以臺灣製造主場優勢，建立決策型組織以推動數位轉型，藉助人工智慧、大數據和數位決策等破壞性創新技術，搶先在先進製造價值鏈中卡位，提前「收割」產業升級的部分轉換利益，保持與先進國家的梯隊順序並持續拉開與新興國家的差距，再把臺灣更務實的工業 3.5 解決方案，賣給其他新興國家，擴大臺灣製造的影響力和在價值鏈分得的比率，「攔（先進大國重回製造）胡」。

四、工業 3.5 前傳—藍湖策略

《藍海策略》主張尋找像海一樣的新市場，因為新市場大又少有競爭，所以有高利潤。且認為「藍海」不是穩態，遲早會因為市場大又利潤高而吸引更多競爭者而殺成「紅海」。《藍湖策略》更適合臺灣水平分工為主的產業結構和中小企業占多數的產業生態系統。中小企業更應先建立穩固的藍湖市場，包括利基產品、關鍵或特殊零組件、智慧財產或服務，因為整體潛在市場規模小，不會吸引過多競爭而殺成紅海。藍湖市場不像藍海市場那樣龐大，但卻穩定而利潤豐厚。相較於取代國際大廠，我認為思考如何成為供應鏈中獲利比大廠本身還高的企業更加重要。如孟子所言：「盈科而後進」，臺灣可以逐一填滿每個藍湖市場，就像農民在缺水時儲存水源以避免所有田地乾涸一樣。疫情加速世界競合的變化，臺灣應該思考各個產業在每個藍湖市場的發展潛力，以發展健全的產業生態系統，分散風險以免國家興亡過度集中在某個產業市場。工業 3.5 和藍湖策略主張臺灣各個產業應該找到利基市場，並在先進國家重回製造之前先搶得先機。

《藍湖策略》引用明朝開國三計的「高築牆、廣積糧、緩稱王」。「高築牆」是自主研發與創新，以領先技術和卓越管理創造差異化，增強客製化以提高價值和客戶滿意度，集中資源提高某個藍湖或藍池塘的局部競爭優勢和進入門檻。「廣積糧」是透過全面資源管理，優化資源使用效能，並避免資源成為競爭者的糧草，讓公司能夠活得比競爭對手更好更久，管理能力強的企業不僅能活得久且能吸納剩餘市場。「緩稱王」是避免貿然挑戰產業生態系統的主宰大廠，而先作為其供應鏈的關鍵夥伴，成為藍湖市場市占率和獲利率第一名的廠商，先累積資源再徐圖霸業。就算國際大廠想扶持其他替代廠商時，已經有足夠能力承受競爭者的威脅。

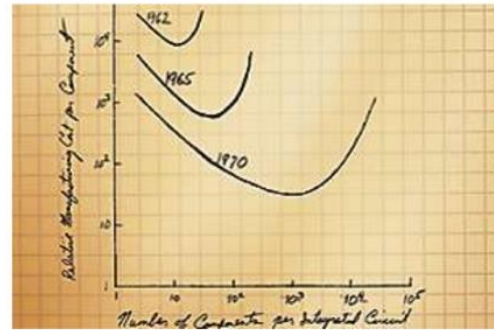
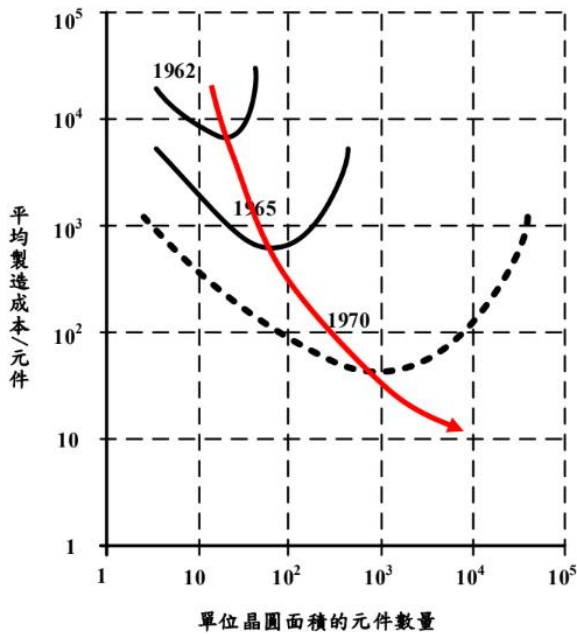
聯發科蔡明介董事長曾提到，一個新創產業發展遵循 S-curve 中，有一個轉折點，代表從新創階段轉變為藍湖市場。若能在 S 曲線轉折點時，應用「上駟對下駟」策略快速切入該市場，既能減少失敗機率，也能迅速掌握藍湖市場，成為第一。

臺灣的產業以水平分工為主，以 ICT 產業為例，因 ATX 標準的建立，所有 IBM 相容的個人電腦，各個模組製造商都能遵守此標準和介面，而加入供應鏈。臺灣 ICT 產業上下游公司，亦得益於 ATX 標準的模組化設計，才能夠切入這個產業鏈，形成水平分工。然而，當產業鏈進入門檻降低，競爭程度也隨之變高。在這競爭市場中，其實訂定標準讓其他元件模組化的 Intel 才是最大獲利者，因為顧客只關心產品的總價和價值，並不關注供應鏈如何分工和分配價值。Intel 將其其他元件變成「開放模組」加速其競爭，迫使他们追逐微利，而讓 CPU 變成了「隱藏模組」。「開放模組」的競爭廠商為了留在產業鏈中，競相降低毛利增加服務。因此當其他廠商競價愈激烈，則代表 Intel 能擁有更高的獲利和剩餘。《藍湖策略》也解釋為什麼 Intel 會生產 PCB 這種技術門檻和毛利遠低於 CPU 的產品，就是為了刺激其他 PCB 廠商們持續競爭殺價，透過在毛利較低的 PCB 市場的犧牲，讓自己在 CPU 市場上獲取更高的收益的戰略。現在很多競爭衝突的策略與之息息相關，因此在這個過程中我們更應該思考我們的藍湖與價值溪流的匯聚點。

五、摩爾定律的經濟意涵

Gordon Moore 提出的摩爾定律，同一單位面積中的電晶體數量，每隔一段時間會以等比級數增加，且成本會下降，如圖 2.1 所示。其中，摩爾定律的圖形以曲線表示，代表每一技術世代中都會有一個最適點，可以用最低單位成本生產最適的產品。因此，臺灣的半導體廠或代工廠，應該管理所有資源、工具和製程，透過全面資源管理和優化資源效益以降低成本。以台積電為例，台積電擁有一萬兩千多種產品、六百多個客戶、三百多項技術和十座晶圓廠，總共一千兩百多萬片晶圓。在這個過程中，重點是要全面資源管理，優化資源利用以滿足客戶需求，不僅要在製程上技術更精進，還要讓總成本下降，同時為客戶帶來最大的利益包

括達交率、產能和良率。台積電自 2000 年後就開始推動企業轉型，並導入各種資訊系統和數位科技來推動。2011 年《哈佛商業評論》曾提出建構決策型組織和數位轉型的六個步驟，包括：找出最重要的決策、確定決策應由組織的哪個層級負責、按價值來源規劃組織架構、了解決策者需要的許可權並賦予其相應的權限、調整組織中其他單位以支持決策者和執行者，以及讓管理者有能力快速做出決策。



(Gordon Moore, 1965)

The number of transistors fabricated in an area will be doubled every 12 (24) months. (Moore, 1965)

資料來源：簡禎富《藍湖策略》

圖 2.1 單位晶圓面積的元件數量與平均製造成本之關係圖

創新的 AI 技術驅動企業進一步轉型，我們需要挖掘善用 AI 技術以創新和改善產業結構的機會。如若將摩爾定律的分子分母進一步展開，可以細化出不同模塊，透過層級展開的方式便能夠找到機會所在。台積電進行企業轉型的概念可以運用在其他產業，可以發現很多公司很少去做系統性的盤點，去發現其實還有可創新及改善的機會。為了做到全面資源管理，我提出 PDCCCR(Pricing strategy, Demand planning, Capacity portfolio, Capital Expenditure, Cost structure, Return)的策略決策架構。每個公司都希望提高營收，要守住價格，必須確保產品和服務的整體價值。儘管臺灣廠商在成本控制方面的能力相當強，但如何調度資源在聰明生產的需求非常重要。當有許多不同客戶、技術和廠區時，就必須經常做出動態的調整，而很多習於量產以降低成本的臺灣公司，需要提升 PDCCCR 整合決策能力。

因此，我也將台積電的案例撰寫成 TSMC Way 的哈佛商業個案，就像生產管理的 Toyota Way 一樣，希望 TSMC Way 成為邁向工業 4.0 時新的全球標竿。

《晶片戰爭》讓臺灣受到重視，但應該讓世界重視的不僅是臺灣擁有什麼，更在於臺灣如何將它做好，期望「Made by Taiwan」的能力能夠得到全球產業的尊重，成為臺灣製造的核心能耐，才能跳脫「懷璧其罪」的宿命。

六、工業 3.5—治病於未發與彈性決策

半導體產業鏈隨著技術演進的過程中，產業分工逐步細化，也產生新的價值需求。大家應該注重的不是如何複製台積電，而是如何在這個產業系統中找到滿足這些新的需求的商業模式和創新創業的機會。以創意電子為例，創意電子為 IC 設計服務公司，由於 IC 設計越來越複雜，因此出現了 IC 設計服務（公司本身沒有產品，只是協助客戶加速解決 IC 設計的技術問題）。在台積電入主創意電子後，創意電子從原先的 IC 設計服務公司變成虛擬整合元件製造商，也因此創意電子從單純服務 IC 設計公司，演進成協助系統廠商進行 IC 設計，或是協助其他半導體廠做 IC 設計。

工業 3.5 的根本目標是要優先滿足「彈性決策」。臺灣有很多量產公司，它們的生產線必須先經過一段時間和設定成本，才能達到生產成本低且規模報酬高的階段。然而，像台積電生產一千兩百多萬片晶圓，產品種類就有一萬兩千多種，少量多樣的特性不可能花很長時間進行 Ramp-up。臺灣廠商擅長透過產量增加來達到規模報酬，但要如何在少量多樣的生產中維持規模報酬，這是未來面對產業升級的重要能力。如何實現快速量產和爬升非常重要，而現在 AI 大數據提供了實現這個目標的機會。Michael Porter 提出了差異化和成本策略，這原本是兩個策略，但若能實現快爬升，首先成本自然會比競爭對手低，其次能夠更快地提供高品質和有價值的產品，因此可以同時實現差異化和低成本，這對於面對全球製造挑戰的各個產業的臺灣廠商來說非常重要。

要達到這個目標，首先要能做到「治病於未發」，包括先進品質控制(Advanced Quality Control, AQC)、先進製程控制(Advanced Process Control, APC)和先進設備控制(Advanced Equipment Control, AEC)。傳統的統計品管需要收集足夠的數據才能透過管制圖發現異常，並找到問題的源頭。然而，先進品質控制透過降低源頭的變異以達到治病於未發，利用 AI 大數據和智慧製造的方法，在過去的經驗和供應鏈上下游的虛擬垂直整合基礎上，能夠預先發現並解決問題。換句話說，工業 3.5 是循序漸進，採用混合策略，一部分保留原有的管理能力，一部分採用 AI 大數據實現破壞性創新。

七、總結

藍湖策略並非劃地自限，而是更務實、進可攻退可守的策略，藍湖是複數(Blue Lakes)，臺灣蓬勃的中小企業是產業生態系統中很重要的基礎，如何維持

健全的產業結構並普遍升級，是關鍵的策略目標。配合產業 AI 化 AI 產業化的政策，但不可能每間中小企業都在內部發展智慧製造的能力和組織才能轉型升級，因此主張可以發展一種 AI 和大數據分析為核心技術的「分析服務業」，以協助中小企業轉型升級的商業模式，也具體衍生「紫式決策大數據」的新創企業。國科會補助的人工智慧製造系統研究中心（Artificial Intelligence for Intelligent Manufacturing Systems Research Center, AIMS），也是希望強化人的決策管理能力，針對不同產業特性發展「鋼鐵人」來增強人，而不是發展「機器人」來取代人；此外，在清華大學成立「智慧製造高階主管碩士在職專班」（AIMS Fellows），以協助智慧製造產業領袖人才的培育。

而製造領域的競爭優勢將逐漸轉移成尖端設備和製造平台的競爭，勢必影響臺灣製造業在價值鏈的地位和分潤，因此臺灣應該要成為全球彈性製造中心，必須掌握數位轉型的契機，將智慧製造與聰明生產的核心能耐智慧化以擴大市占率和藍湖規模，並透過速度和彈性決策以在適當時機快速複製到其他藍湖市場，逐漸利用這些解決方案協助其他國家進行數位轉型，創造「千湖之藍」的穩健生態系統。

參考文獻

1. 簡禎富 (2014)，《決策分析與管理：紫式決策分析以全面提升決策品質》(第二版)，雙葉書廊，台北。
2. 簡禎富 (2019)，《工業 3.5：臺灣企業邁向智慧製造與數位決策的戰略》，天下雜誌出版社，台北。
3. 簡禎富 (2022)，《藍湖策略：發展智慧化管理科技與數位決策，超越藍海紅海循環宿命》，天下雜誌出版社，台北。

第三章 AI 對製造工程教育與研發的利與弊

張禎元¹

摘要

面對市場快速變化，以及少量多樣的需求，全球製造業已逐步朝向更智慧化、更數位化的方向發展，這是邁向智慧製造，也就是德國所提出的工業 4.0 的必經過程。

臺灣雖然身為一個島國，自然資源有限，但是臺灣的機械設備業卻有著全球難得一見的特色，這也正是我們脫胎換骨的大好機會。這幾年智慧機械產業在政府各部會的推動之下，基於臺灣在精密機械、半導體、以及資通訊科技產業的雄厚基礎，現已逐步導入智慧化相關技術，使我們的精密機械能夠升級成智慧機械。

這波產業規劃與推動，除了能建構智慧機械產業，加上這幾年的 AI 技術，進一步將智慧機械用於製造上，以整廠整線輸出的方式，將臺灣製造工廠升級成智慧工廠。AI 相關軟硬體導入智慧機械以及製造產線，使得過往的經驗以及製造相關的理論模型得以數位化，並能將數位化的製造資訊在數位分身以及虛實整合系統中加以使用，除了能提高效率滿足需求之外，更能夠在海量的資訊中整合跨領域的專業知識。

由於在學習使用 AI 上相對容易，更是現在當紅的顯學，學生以及研發人員為求快以及能得到結果，往往忽略製造工程上的專業領域知識(Domain Know-how)，以及相關的基礎工程學理和素養，更遑論驗證 AI 產生的結果。AI 確實帶來不少好處，然而這在製造工程教育以及研發上也注入潛在的隱憂，使得製造業過去創造臺灣經濟奇蹟所賴以的製造相關經驗與學理的專業領域知識逐漸被忽略，甚至被 AI 解譯與取代。

本文將探討 AI 化對製造工程教育與研發的利與弊，並透過「競爭優勢」、「誠正精勤」、「厚德載物」、以及「自強不息」四大面向，提出如何透過製造 AI 化的過程，將臺灣製造工程教育與研發轉化；善用 AI，透過扎實到位的工程教育與研發來產生全新以及具進步性的專業知識，並搭配合適的商業模式將價值提昇，一起共同為臺灣以智慧造價！

一、前言

個人於 12 年前從擔任美國矽谷 IBM/HGST 研發工程師以及在美國和紐西蘭大學中任教，轉換跑道回臺灣擔任教職，在產業與學界體制以及東西方的體系之間的轉換，親身體驗與第一手觀察到 AI 業已推動各行業，邁向更智慧、更數位

¹ 現任國立虎尾科技大學副校長暨講座教授，原國立清華大學動力機械工程學系特聘教授

的發展，尤其是製造業面對市場快速變動，以及因應客戶客製化的需求，大量應用 AI 技術於智慧製造與數位轉型，以更經濟地使用資源、更有效率地生產更優質的產品。AI 的確是好工具，帶來了對製造工程教育與研發上的不少好處，然而另一方面亦隱含隱憂。當所教授的碩博士生拜 GPT 之賜，英文撰寫能力大幅提升節省批改報告時間之際，將實驗研究成果與 know-how 輸入 GPT 的當下，基本上相關資訊就已經被洩漏了。再者，研究生或研發人員因貪圖方便及快速，往往忽略思考製程上的專業領域知識及相關工程學理與素養，以及驗證應用 AI 工具所產生的結論是否正確，更可能逐漸養成依賴 AI 的習慣。綜上，製造業對 AI 浪潮的看法是一則以喜一則以憂，欣喜的是 AI 確實能提昇生產及工作效率，擔憂的是臺灣引以為傲的製造工程經驗、專業領域知識與學術上基本的理論知識恐將日漸被忽略。

二、智慧製造與數位轉型

(一) 智慧和知識的區分

人們常常把 AI 和智慧化畫上等號，但是什麼是智慧？若以人類對 Apple 的認知來類比人類文明的進展，Apple 1.0 的時代，就好比人類處在亞當與夏娃時代，因我知故我在，因此對周邊事物開始進行探究與思考；到了 Apple 2.0，這長期的探究與思考逐漸讓人類產生知識(Knowledge)；就如同牛頓長期對運動中物體之觀察、探究、理解，並佐證前人文獻後得出萬有引力的存在，最後產生牛頓運動定律的知識。所謂的知識並非由發明而產生，而是原本就存在，只是待人類去探索而瞭解，進而產生知識。在這個探索的過程裡面，人文實乃不可或缺，並必須與工程與科學相互結合。而智慧(Wisdom, Intelligence, Smartness)則是在於如何有效且聰明地運用知識來達到效果並創造價值。

我們現在所謂的智慧化，是透過數位化將知識聰明地運用。IBM 以及 Apple 等公司在 1970 年代造就了個人電腦的革命，將類比的知識、圖形以及資訊邁入數位化的新時代，亦即所謂的 Apple 3.0。數位化帶來諸多好處無須爭辯，例如讓運作速度加快、更有效率、能夠運算更加精確、提供更容易儲存與傳遞等功能；但同時也失去一些人文文化，例如從前使用毛筆字書與硬筆字書寫強調字跡工整與韻味，但隨著數位化，人們習慣用打字甚至語音輸入，字跡可能因缺乏練習而潦草不好看，漸漸地就慢慢不重視寫字了，又譬如有些藝術的想法亦隨之日漸消失。Apple 4.0 就如同近年來德國倡議的工業 4.0 一樣，將個人電腦進化到智慧手機，從數位化步入智慧化。

(二) 工業 4.0 智慧製造

工業製造的智慧化進程和上述人類文明的進展相當雷同，從瓦特改良蒸汽機以機器取代人力、獸力、風力或水力作為動力來源，推動了人類第一次工業革命

的發展，也就是所謂的工業 1.0。發明與運用機械化的生產趨勢，則是由英國開始並擴散到整個歐洲，也造就蒸汽驅動成為 18 世紀末的劃時代革新。

第二次工業革命，也就是所謂的工業 2.0，發生在二十世紀初。藉由勞動力的分工以及電氣化大量的應用，產品因而得以大量的生產，其中最具代表的是福特汽車以生產線的方式進行大量製造。七十年代初期，第三次工業革命又稱為數位化、資訊化與自動化的製造革命，此時工業 3.0 開始通過使用機電、營運技術 (Operational Technology - OT) 和資訊技術 (Information Technology - IT)，加速實現產品自動化的製造生產。在譬如很多數據的蒐集與運用，進而資訊數位化後，並用工業機器人代替人力作業。在自動化生產製造的過程當中，製造商與供應商資訊亦相互整合，以提升整個價值鏈的協作。

在工業 3.0 初期，AI 也逐漸發展，其基礎的理論模型架構稱為類神經網路 (Neural Network)，主要是模仿人類神經元以及其相互間傳導與判斷的方式，解決一些無法用過往知識所建構出的物理模型 (Physical Model) 的事情，這時的電腦計算能力仍屬於偏弱，因此大型類神經網路計算非常耗時且效率偏低。工業 4.0 智慧製造是由德國首先提出，是藉由大數據加上 AI 與數位轉型所共同驅動的第四次工業革命。此階段 AI 經由機器自主學習，並透過反饋持續地改進系統。由於電腦軟硬體技術和相關演算法的提升，讓大型與多層次的類神經網路計算能力大大地提升，進而能讓生產製造智慧化，全部過程更具自主性。上述所述從工業 1.0 到工業 4.0 的演進詳如圖 3.1 所示。至於未來 AI 演進的方向是否正確，值得密切注意及探討。

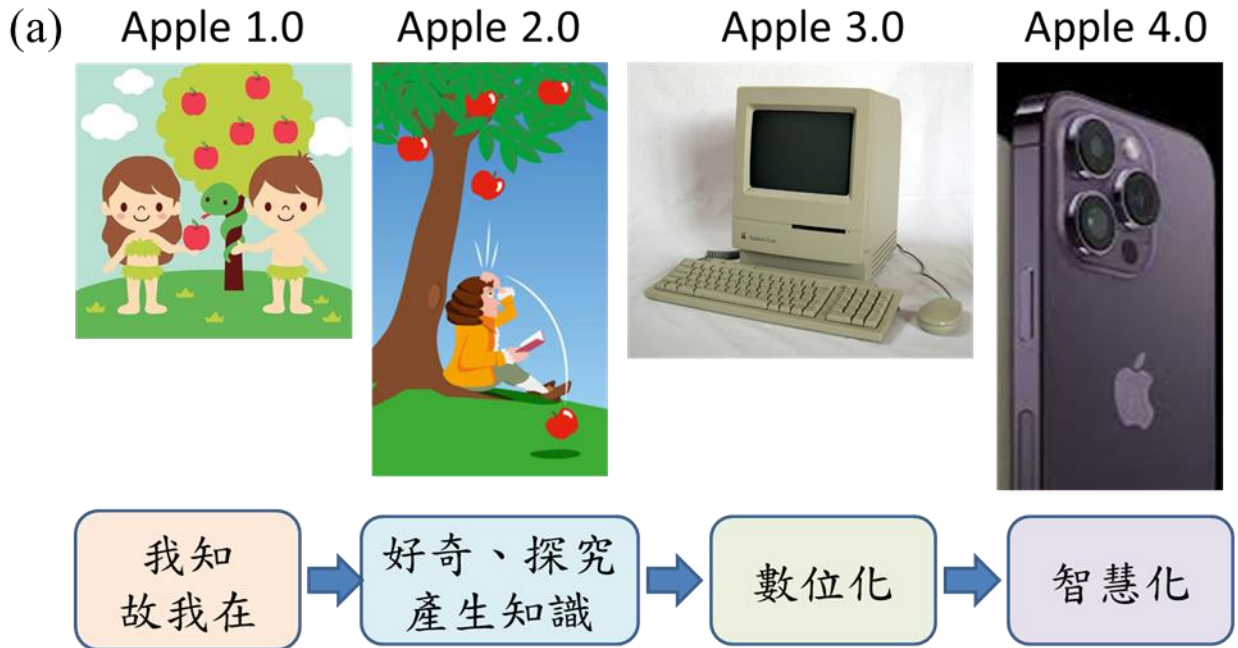


Photo source: 網路公開資訊

- (b)
- Integration of **manufacturers** and **suppliers** to enhance collaboration across the value chain
 - End-to-end **digital integration** of engineering covering the entire process from design to production.
 - Cyber Physical System/Digital Twins with **continuous improvement** by feedback control, autonomous of integrated production.

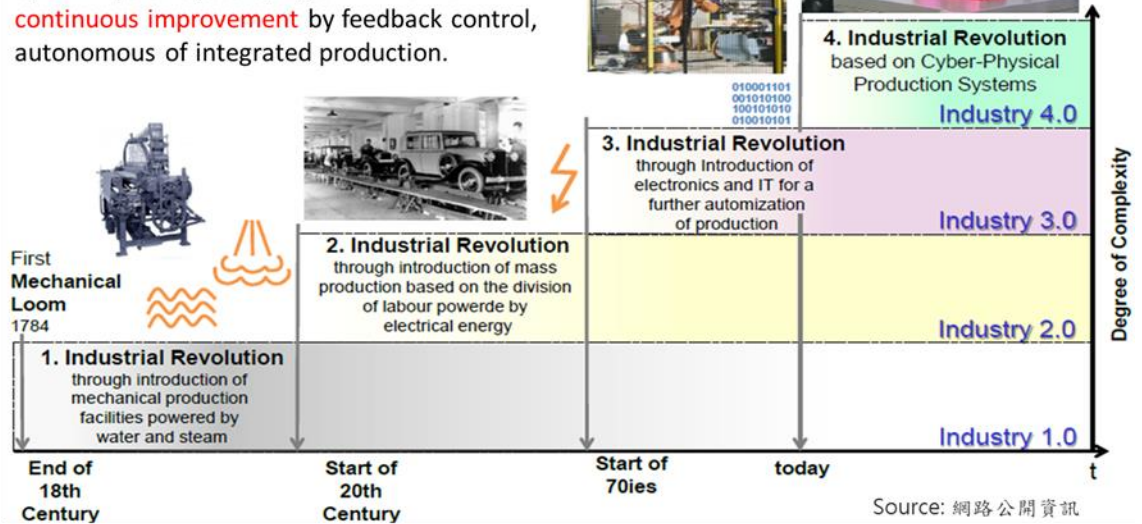


圖 3.1 (a)人類智慧化的演進-以 Apple 為例、(b)製造智慧化的演變-以工業 4.0-智慧製造為例

(三) 智慧化是什麼？是 AI？

經濟部為落實執行「智慧機械產業推動方案」，於 2017 年特設「智慧機械推動辦公室」，其中智慧化就是推動的主軸之一。眾所周知，精密機械是臺灣的強項，若再整合智慧技術，例如機器人、物聯網、大數據、精實管理、3D 列印、感測器或虛實整合系統(Cyber Physical System, CPS)等，以及資通訊科技與 AI，精密機械就能轉型成為智慧機械。換個角度來說，任何應用比如機器人、無人機、工具機、亦或是汽車等，若再輔以智慧技術，都可以是智慧 X，其中 X 則可以是任何事物。簡而言之，任何應用結合智慧技術都是智慧應用。

應用上述智慧技術於由多個智慧機械所組成的生產線，再加上市場需求、原物料資訊整合，則傳統的製造即可升級成為智慧製造，工廠則可智慧地生產製造出產品。智慧機械是否具有智慧，除了智慧技術本身之外，紮實的製造工程專業領域知識與合適的商業模式(Business Model)更是關鍵。為了達到智慧製造，數位轉型是必然而且必須的階段，因為知識與資訊必需先數位化而後才能智慧化。智慧化並不等於 AI 化，AI 應是串聯與整合(Integrate)上述智慧技術的關鍵工具。也就是說，上述的智慧技術必須先透過數位化產出共通的格式，也就是所謂的數位化資料或是數據(Data)，然後藉由 AI 加以運算來產出資訊(Information)，進而用資訊產出數位化的智慧。

但只要將智慧和應用領域直接疊加在一起就會產生智慧嗎？這並不盡然，在此再次強調，紮實的專業領域知識與合適的商業模式才是核心。前述所提紮實的專業領域知識，除了領域所需要的科學(Science)、技術(Technology)、工程(Engineering)、以及數學(Mathematics)也就是所謂的 STEM 領域基礎知識之外，更需具備企業所從事之行業內容或所提供服務之不同而有所不同的專業知識。譬如公司的定位是製造設備系統或是生產元件(Component)，又或是提供服務，公司定位不同其所專注以及具備的專業領域知識亦隨之不同。如果公司的業務是製造機台，不單需要有整合不同元件以製造機台所需的專業領域知識，重點反而是在將這些知識與技術整合製造出來的機台是否能夠滿足客戶以及客戶的顧客(最終使用者)之需求；為何如此說呢？原因很簡單，因為客戶的顧客才是機台最終使用者、才是定義機台價值的人。因此我們可以說，製造的最終目的無疑是產生價值，如果價值無法產生，亦或是無法平衡由專業領域知識產出之技術所需的成本，整個知識的獲得、技術的開發以及智慧的產出皆是枉然。也因為如此，專業領域知識絕對是必須結合合適的商業模式才能將價值做出，將價值放大。綜上所述，臺灣在製造工程的關鍵思維，除應用工程理論與技術之外，必需重視終端消費者及市場，並將智慧應用、AI、專業領域知識及合適的商業模式等融入到製造工程教育、技術研發、以及製造生產當中才行。

(四) 不管如何，都是在尋求解答！

回顧科技的發展，極大多數科學與技術皆建築在於穩固的理論模型。譬如製造上考慮的牛頓力學、材料力學、動力學、流體力學、熱力學等等皆倚賴並始於基礎物理模型的建立。任何模型的建立就必須先進行假設，然後提出假說，然後再經由一系列嚴謹的驗證過程(Validation Process)，得到結果並由結果證明模型的準確性，並利用數據與分析的方法，則可以將結果加以計算(Compute)以產生知識。這整個過程的，就是人類探索未知並尋求解答的過程，也就是人類自我回應這個「why」的問題。當這個物理模型與結果慢慢地數位化、經電腦模式運算後得出數值解(Numerical Solution)，包括如有限元素法(Finite Elements Method)²等不同計算的模型，其實沒有應用 AI 技術且在符合假設之下，基本上也能得出準確的結果。反而言之，由於物理模型是建構在假設上的，這根據學理以及驗證所推導出來的物理模型並不是萬靈藥，確實存有其限制，僅能解釋大約八成的現象。剩下二成的未知，過往是以經驗來加以補足。

當之前在美國矽谷 IBM 任職研發工作的期間，IBM 為提升電腦計算速度積極發展量子電腦，同時進行了許多雙模型計算(Bi-Model Computation)以及多重物理量(Multi-Physics)的計算，並獲致不錯的成果。但在工程研發的過程當中，有時研發人員常常存有漂亮好看的东西即是好的迷思，以至於忽略模型背後的假設，以及使用模型的正確性。相對於模型驅動(Model-Based)，也就是上述倚賴物理模型將數據解釋與演繹，這幾年常聽到的數據驅動(Data-Driven)方式，則是不依循前述物理模型建模的方式更不預設假設，直接以 AI 的模型，經數據加以處理。換句話說，數據驅動是另一種尋求問題解答的方式，從最初篩選後的數據經蒐集後進行信號預處理(Signal Preprocessing)，進一步將區域信號常態化，經由卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)不斷疊加後形成深度學習的模型。雖然數據驅動所倚賴的 AI 模型針對待解答的對象無法提供物理解釋，但任何 AI 模型演算法(Algorithm)的背後確實有數學科學的支撐。由於過去 10 年硬體技術(包含電腦、晶片等等)的大幅進步，大大提升大型的 AI 模型處理海量數據以及計算資料的效率，這也解釋為什麼近年經訓練之後的 AI 模型，可以廣泛應用於包含智慧製造的應用情境。由於數據驅動一定會有結果，其中如何融入、如何擇選、誰來做選擇、假設如何設定等等，皆是見仁見智，並沒有一定的對錯，因此容易形成各說各話的情況，更有時會有所謂垃圾進，垃圾出(Garbage in, Grabage out)的情況，也就是說，將錯誤或無意義的數據輸入 AI 模型，該模型自然也一定會輸出結果，而結果是否正確，是否有意義則不得而知。由於模型驅動以及數位驅動(詳圖 3.2 所示)皆是為了尋求解答，其實應該將二者整合而不是偏重一方，如此產生出的解答才具意義，才能解釋並進而將解答變成知識進而創造價值。

² 利用數學近似的方法對真實物理系統(幾何和載荷工況)進行模擬。利用簡單而又相互作用的元素(即單元)，就可以用有限數量的未知量去逼近無限未知量的真實系統。有限元分析是用較簡單的問題代替複雜問題後再求解。

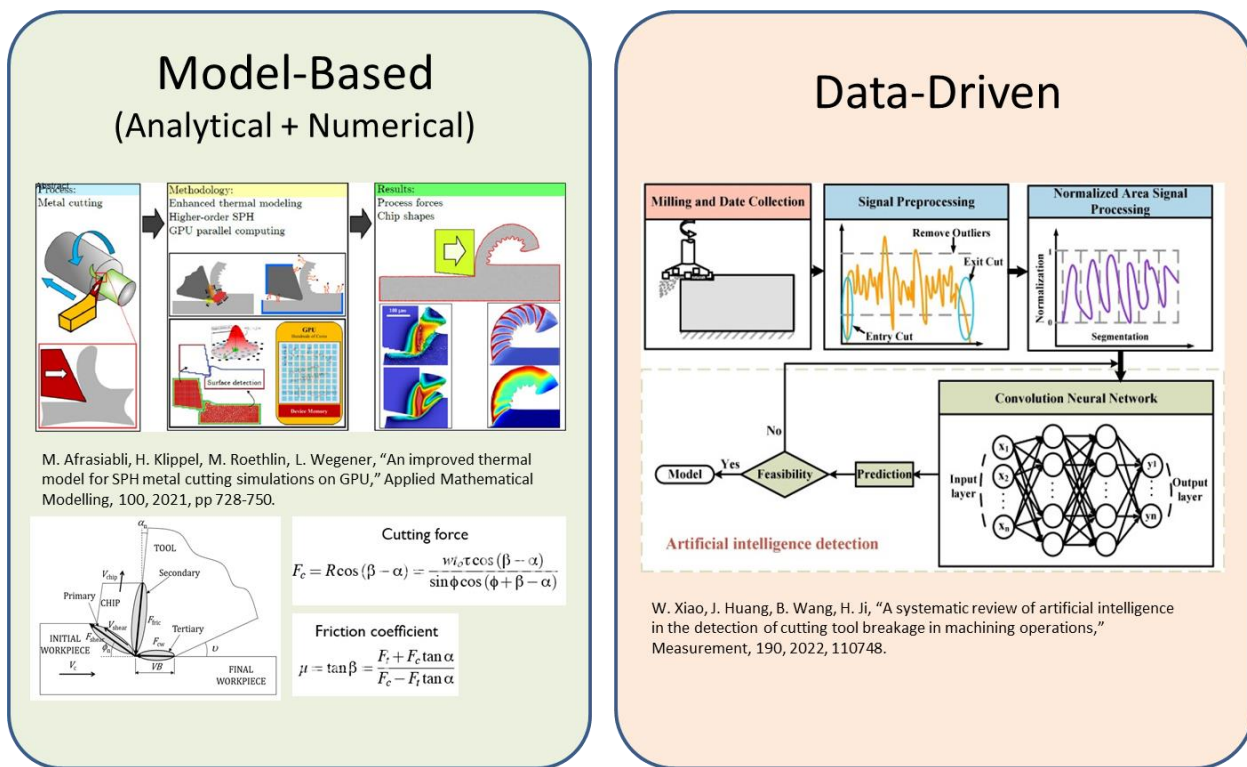


圖 3.2 模型驅動(Model-Based)和數據驅動(Data-Driven)方式的比較。

(五) AI 化對製造工程教育與研發的好處

雖然有其無法解釋的缺點，AI 化對製造工程教育與研發確實帶來不少的好處，其好處主要有三項。第一是數位化讓經驗變成數據，AI 化使得製造可以滿足多種需求；第二個好處是可以打破專業之間的藩籬；第三是得以整合跨領域的專業知識，進而產生新的知識或者改進現有的知識。

以前許多在工程方面的製造技術都是經由師傅傳授給徒弟，在教室老師傳授知識給學生，很多過去的製造經驗或知識基本上是透過類比的方式來傳輸或是傳承。製造經驗或知識如經數位化則可轉變成數位匯流，重要的數據或實用的資料都可以建立在資料庫裡。AI 則可依據使用者的需求於資料庫中搜尋相關的資訊並加以應用，這是第一個好處。

眾所周知，隔行如隔山，學習機械領域的，不一定瞭解電機領域，更遑論瞭解例如材料、化工等其他領域。不同領域除了基礎共通科目之外，很難馬上對其他領域的進階知識有更進一步的瞭解。當數據以上述類比的形式呈現是很難被使用，但是拜數位化之賜，數據可以以數位的形式獲得、儲存、以及使用。當數位化的數據經模型驅動或是數據驅動處理就能產出數位化的資訊。因為有共同數位化的數據和資訊，此時專業之間有共同的語言，過去的藩籬就可以被打破，這是第二個好處。個人從小在外公經營的工廠裡面長大，長大後研讀機械工程。機械工程的學生和從業人員在臺灣常被說是黑手。但是托 AI 的福，在 21 世紀能讓黑手也可以戴上所謂高科技的高帽，也可以講 AI。

說到高科技，臺灣有個有趣但根深蒂固的觀念，人們常常將東西與事物分判高低，職業和產業也分高低。例如說人們常常將半導體與資通訊產業歸屬於高科技產業，雖然沒有直接說成低科技，但機械工程等製造產業在臺灣是被認定是傳統產業。然而在歐美，產業只看最後產生價值的多寡，從來就沒有所謂的高低之分，只要有獲利，能夠將專業領域知識結合合適的商業模式產生價值並且獲利，就認定是高科技產業。而這裡所謂的「高」字，是代表高價值以及高獲利，並不是比較高尚、比較厲害的意思。倘若以產業的屬性而言，臺灣半導體產業基本上也是製造業，台積電公司的英文即是 Taiwan Semiconductor Manufacturing Company，而這 Manufacturing 也就是中文的製造。因此再次強調，任何產業如果能夠將專業領域知識結合合適的商業模式產生價值並且獲利，就是高科技產業！AI 所帶來的第三個好處是藉由應用 AI，人們以及產業得以整合不同領域經數位化的知識或技術，進而或許能產生新的知識與方法。若能善用 AI，相信能從中創造出更高的價值，這也是令人相當期待的。

(六) AI 化對製造工程教育與研發帶來的缺點

教育的宗旨以及研究的重心不外乎在於將過往的知識和智慧傳承，其目的有二點，其一是透過過往的知識與智慧來產生新的知識與智慧，並進一步創造價值。其二是對現有的知識以及智慧有所改進，透過技術研發來增加價值及降低成本。凡事都有一體兩面，AI 的浪潮帶來相當多的好處，但是同時也帶來缺點。是否能夠回應上述教育和研發的兩個目的，很值得人們省思。

當前幾年回美國 IBM 探望以前同事時，雖然他們大量使用 AI 以及數據驅動來處理數據，但是發現美國使用 AI 的還是偏向保守。研發人員會思考資料庫資料選項對不對、使用的方法對不對、使用的 AI 演算法合適不合適、使用者是誰、如何應用等等。為何如此？因為真正瞭解 AI 並應用 AI 的並不全然相信 AI 這個工具。AI 有可能會形成一個黑箱(Black Box)，如完全不知道結果是如何產生，則會開始擔心後續可能會引起大衝擊。但也不可否認 AI 是當紅炸子雞，是現今社會的顯學，且社會大眾上手很快。個人認為 AI 是需要用，而且可以應用在各個領域，但是要善用 AI，若 AI 不被善用將產生四大缺點，而這四大缺點其實就是建構在人類懶而不想流汗付出、貪求快速結果而不假思索的原罪之上。

首先如果把 AI 奉為圭臬，將弱化基礎工程教育。從教學上可知，學生們使用 AI 非常容易上手，但是目前的 AI 內含的資訊和演算法運作如同黑箱，很難從外部理解與瞭解為什麼數據透過 AI 演算法所產生的答案會如此。由於太容易得到答案，因此學生對於那些如物理、化學、數學等需要下功夫、蹲馬步打基礎的基礎科學越來越疏遠。由於缺乏基礎科學的素養與訓練來獲得解答並解釋答案，長期下來，人們將越來越不知其所以然。過去十數年來，業界工程師碰到問題可能會 Google 一下以尋找答案，或許現在以及未來將改為 AI 一下就可以馬上得到答案了。如此除了弱化基礎工程的知識之外，AI 不被善用同時也會讓老師與學生

忽略工程教育訓練與思維。因為 AI 實在太方便，產出結果亦很迅速，對 AI 如何規劃之背後思維、邏輯或參考資料亦無法深究。第三個缺點為缺少人與人之間的互動與團隊合作機會。因為 AI 是在數字與螢幕後進行做業，大部分的時候不用與其他工程師共同討論目標、期程、以及合作過程等，它不用分工合作就可以自己完成，甚至機器可以透過 AI 逐漸取代人類，這無疑將會是一個很大的隱憂。第四個缺點是 AI 是方便的工具但也是一個黑盒子，舉例來說學生或工程師學會應用 AI 工具，但卻對應用對象相關的科學與技術知識不甚瞭解，極可能對 AI 產出的內容認為一切都是理所當然，但是過程當中是不是正確卻無從得知。所以 AI 對參考資料解讀之正確性，以及對 AI 產出成果之可信賴性亦是個隱憂。

於 2020 年，陳良基時任科技部部長曾表示未來數個重要的 AI 發展趨勢，例如「AI 的升級版要能跟人類解釋原因，不只是一個黑盒子」；要提升人對 AI 的信任度，這時可解釋性就變得非常重要；「可解釋的人工智慧，無疑是國際上 AI 發展的重要目標」；「AI 將來怎麼跟人類協作，這才是將來的趨勢！」，以及「未來 AI 發展的重點須透過理解 AI 決策成因，來強化運作流程的透明度，讓普羅大眾對 AI 感到信賴。」(臺灣醒報，2020.05.11)。

三、AI 衝擊下的工程教育與研發

(一) 工程教育與研發應考慮「競爭優勢」

對於如何去預防前述所提的隱憂，以下有幾點淺見，第一是教育與研發應該考慮自身的競爭優勢(Comparative Advantages)，以及應在教育上教導莘莘學子，除了對內競爭之外，更重要的亦須對外競爭。

依據之前個人在美國矽谷工作與國外大學教書多年的經驗，美國學生或工程師的數理沒有臺灣或是亞洲的學生以及工程師強，常常一個簡單的公式，在臺灣學生馬上可以像機器人一樣地背出來回應，但在歐美學生卻背不出來，而且還要我花時間去解釋為什麼可以用這樣的公式，這公式後面的學理基礎是什麼，以及如何應用等。雖然當下會覺得歐美學生有些笨，但實際上其實是教育的本質、思維模式、以及教育目的的不同，說穿了就是透過教育，到底要教出怎麼樣的人才，而這樣的人才的價值面在哪裡。舉個親身的例子，以前我在美國矽谷 IBM 任職時，臺灣工程師稱 IC 為 Integrated Circuit，但是美國工程師則戲稱 IC 為 Indian & Chinese，因為 IC 是由印度人跟華人不眠不休努力工作建構製造出來的。在美國研究所以及矽谷所謂高科技的公司，印度人和華人真的很努力，下班後的晚間還在實驗室工作，而歐美的工程師以及研究員基本上在上班時間花很多時間討論、規劃以及運籌帷幄。這意思是指印度人跟華人是被用的人，而歐美人工作層次在於整體規劃以及找出能夠創造出價值的所在，因此對單位以及群體能產生的價值可以更高，是屬於上位階級的人。在歐美，工程教育與研發是從系統層次(System Level)上來思考，是強調如何產生並提升價值；而反觀在臺灣以及亞洲，

工程教育似乎是為了產出能夠快速、夠準而且能夠大量代工人才，所產出的人才比較不具思考力，因為代工只要好好聽歐美客戶的要求把事情做到好、做到便宜就行。這或許是個具歧視性的笑話，但是確實是一個值得思考的教育問題，因為不同教育本質、模式、以及目的會造就不同層次的人才，不同層次的人才所創造出來的價值一定會不同。

綜合在美國及臺灣兩地的觀察，美國教育和研發的強項在於設計(Design)、創新(Innovation)、領導(Leadership)與團隊合作(Collaboration)之能力，而臺灣過去在 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)的基礎教育則是相當地紮實，其實各有利弊但卻是互補。此外，臺灣在文化與態度上亦相對對位。舉例來說，臺灣積體電路製造創辦人張忠謀博士曾提到台、美工程師的不同工作態度，「若凌晨一點鐘，設備故障，在美國，隔天早上八時才會向主管報告及進行報修。在臺灣，凌晨二時就修好，因為工程技術人員即使在睡覺，接到電話就會換衣服出門，妻子問先生要去哪，他說要到公司修理設備，妻子就回去繼續睡覺了；而美國工程師會繼續睡覺。」，由此可顯現出台、美工程師不同的工作態度，臺灣的文化與臺灣工程人員的敬業態度，以及在製造技術上的競爭優勢，這點是多數國外工程人員無法做到的。然而隱憂來了，當歐美逐漸意識到臺灣一步一腳印所累積的製造專業領域知識能夠撼動歐美的優勢時，就提出 AI 化的智慧製造概念。這個 AI 化的智慧製造就像是木馬屠城記中巨大且美麗的木馬一樣。AI 不僅容易上手，AI 更可以複製並透過數位分身(Digital Twin)學習製造過程每一個細節的經驗、技術及專業領域知識，那麼我們是不是就會逐漸失去足以能夠撼動歐美並和其一爭長短的優勢？如何在善用 AI 之下，繼續保持我們國家的實力與本身的優勢則是個值得思考與檢討的關鍵課題。

(二) 工程教育與研發應要「誠正精勤」

臺灣的大學教育體系常常將工程(Engineering)視為科學(Science)，其實科學與工程這兩者之前有相當大的不同。科學是在於透過研究來發現新的現象，產生專業領域知識。工程在美國則是視為將科學加上經濟，而這裡所謂的經濟，也就是我們一直提到的合適的商業模式。有合適的商業模式，專業領域知識才能真正產生價值。這樣的科學加上經濟的工程教育的思維是需要導入我國的工程教育的，因為這不僅只是所謂教育的問題，更是一個人文的問題，是人才對應到最後價值創造與提升的問題。也就是在工程領域，不是說從理工專業領域思考要怎樣做都行，更要考量買單的顧客是誰、市場在哪、終端應用(End Application)是什麼！

如同國立虎尾科技大學秉持「誠正精勤」的校訓，要工程人才誠實地面對事情，正直地作為，尤其是工程上的精度、速度、溫度、亮度、強度等精益求精而且勤勉努力。其實這校訓所要求學子透過誠正精勤追求精度、速度、溫度、亮度、強度等的不斷突破，基本上也是需要配合商業模式，因為上述這些「度」字的後面，其實就是價值的所在，這些價值考量就應該融入在工程教育與研發的過程中。

國立清華大學梅貽琦校長曾說「大學者非謂有大樓之謂也，有大師之謂也」，也就是說大學蓋很多棟新穎的大樓，沒有大師是不行的。這裡的大師到底是指什麼？大師不僅是以教師的身分傳授過往所累積的知識和經驗，更是教導學生如何思考與判斷、如何領導與做人處事。在這個年代，獲取知識太簡單了，上網查就有，而且現代學生很聰明，其實不需要老師的教導，學生自學也可以獲得知識。然而大師就不一樣了，工程學系的大師則是在於傳授工程學生知識的同時，一併把做學問以及工程教育的素養培養起來。有學問後，可以將過往的知識進而轉變成新的專業領域知識，最後產出新的智慧，這新的智慧再加上適合的商業模式就能創造新的價值。如此一來，現在的大師將造就未來的大師-不僅傳授「知識」，更是傳授「學問」。紮實的 STEM 基礎教育加上合適的商業模式，將訓練未來的大師產生新知識、改進現有的知識並創造價值！

學問可以將知識變成智慧，將需求轉化成價值，加上 AI 的助益，這將是一個很大轉機，如此才能進行跨領域的整合，並把價值累積起來，且在「產業微笑曲線圖」中朝微笑曲線左右邊、往左上以及右上方邁進(詳圖 3.3)。製造常常被認為附加價值是最低的，但若是能好好應用專業領域知識和合適商業模式的話，將可產生更高的價值。基本上成本是有最低限度的，但是價值有無限可能，是沒有上限的。

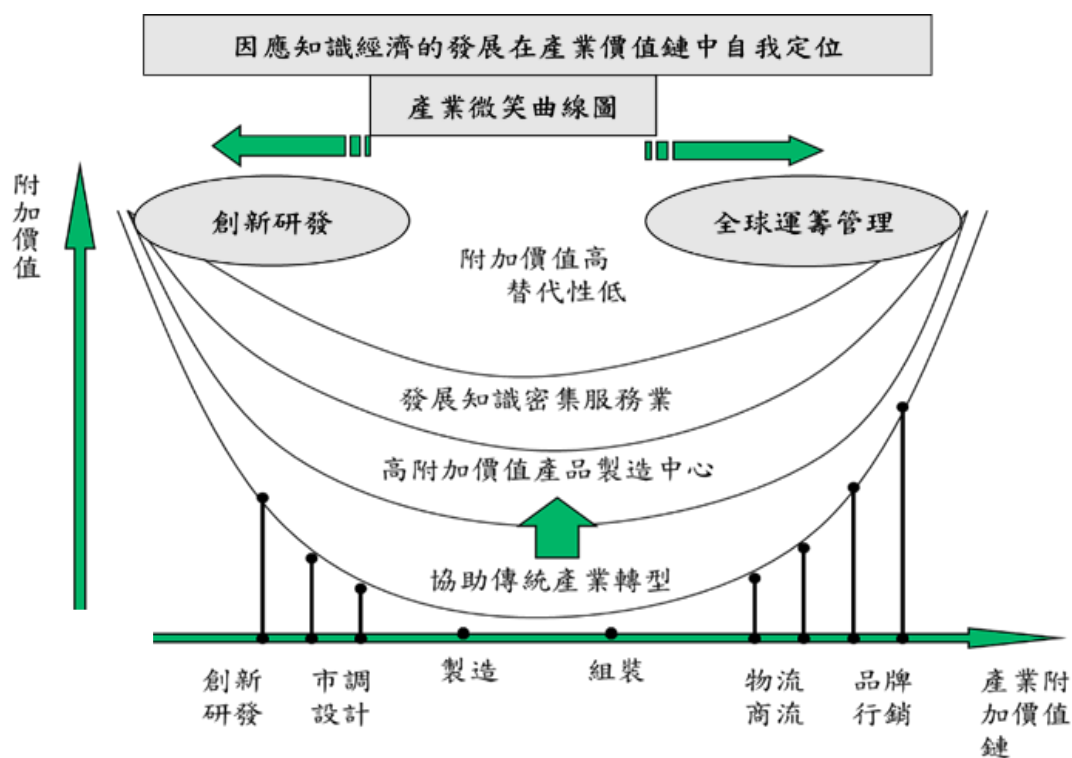


圖 3.3 施振榮先生所提之產業微笑曲線圖

(三) 工程教育與研發應要「厚德載物」

以音樂會為例，通常東方人喜歡獨奏，覺得自己最厲害，而西方人則非常習慣以樂團的型式進行演出，大家一起合奏，但該由誰單獨上場亦是當仁不讓。工程教育與研發的思維亦復如是，要合作，亦要厚德載物。誠如國立清華大學的校訓「自強不息，厚德載物」，雖然個人很厲害，但是要秉持開放的態度，如同海納百川，互相融合。也就是工程資料互相流動，技藝互相切磋，才能產生更多的火花與價值。工程師亦是要重視團隊合作，沒有誰是比較厲害、比較高尚，因為「None of us is as strong as all of us!」，工程領域唯有厚德載物、團隊合作才能將價值實實在在地做出來。

此外，厚德載物的真諦是對不同的領域予以尊重，因為聞道有先後術業有專攻，每幾年即會發展出一個新的科技，倘若可以秉持開放的心胸，拉拔相關的產業一起合作，大手牽小手，相輔相成，相信大家都能發展得更好。不論是高科技，亦或是傳統產業，只要是能夠將價值產生和提升就是「高」科技，而不是半導體才算是高科技。AI 是一個千載難逢讓產業轉型的機會，除了數位轉型，我們對事情的看法和想法也需要轉型，要如同厚實的大地一般可以乘載萬物。

(四) 工程教育與研發應要「自強不息」

很多厲害的企業或個人標榜自己是世界第一，並沉浸在過去的成就裡，然而過去的成就並不代表現在和未來的成就。科技進步日新月異，我們業已邁入全球競爭的世代，在工程教育與研發上，更要自強不息，因為你永遠不知道世界上任何一個角落有人一直努力，倘若自己無法自強不息，就會被超越。AI 的出現，說實在的已打破許多慣例，以前擁有的相對優勢，現在可能已經被別人超越或已不合時宜。

多年來臺灣教育之二分法思維根深蒂固，將高教與技職拆分成兩種體系、將產業分類成高科技與傳統產業等。反觀美國就不是如此定義的，譬如有一次到美國愛荷華州立大學(Iowa State University)進行訪問，以臺灣的認定，愛荷華州立大學屬於技職體系，除了重視技職面的實作與務實，更重視高教面的知識創新與研發。有趣的是，該校校園內除了有類似我國科技大學的務實工程設備，更有 Ames 國家實驗室以進行前瞻技術的研發。該校學生動手做以及理論訓練都非常強，且其材料科學與工程學系的 Dan Shechtman 教授於 2011 年更獲得諾貝爾！這在臺灣幾乎是不可能，因為我們會將大學分成頂尖大學、普通特色大學、技職科技大學等等，而不是以為造就能夠創造價值的人才來設計我們大學的體制。臺灣教育當局不妨開放心胸，融合高教與技職各自的優點，徹底摒除過時的二分法思維以及壁壘分明貼標籤的區分。美國愛荷華州立大學將高教與技職融合的做法非常好，可做為臺灣教育局的借鏡，其實就工程而言，我們大可以以同一方式來論述，將高教和技職兩相融合。

如何做到真正的自強不息？第一個自強不息的訣竅，則是三個 ION (Vision, Passion, Action)。在臺灣工程教育以及業界研發，通常比較著重 Action，也就是怎麼做、如何做這個面向。然而只知道怎麼做而不知為什麼而做就是前述的代工思維，也就是不知為何而戰、為誰而戰？因此願景，也就是英文的 Vision 才是關鍵，因為 Vision 定義清楚了，方向也就確定了。Vision 確定了，預估可以產生的價值也會大致確定。以軍人來比方，士兵是提供作戰的 Action，而軍官則是著重在確定作戰的 Vision，也就是作戰的戰略以及方向。在確定 Vision 的過程當中應該有把擬達到的價值訂定夠高，讓競爭對手不容易追上。當然鏈結 Vision 和 Action 則需要有 Passion，也就是熱情才能夠讓團隊自強不息地持續下去！先有對的願景以訂定預期達到的價值，團隊間有合作以及努力的熱情，再配合合適的 Action 將專業領域知識和商業模式結合，如此就能夠將知識與智慧作價，並把價值往上提升。

第二，就是由蘇評揮教授所提出的三個 C 層次 (Can Do, Can Win, Can Lead) 來不斷自我省思和改進。臺灣在研發計畫內容以及計畫審查當中絕大部分還尚屬於 Can Do，也就是我也可以做到的階段。很多提案執行者和評審委員都希望國內技術能夠接軌國際，可以跟國外廠商能做到的水準一樣，這很明顯是 Can Do 的基本層次。透過 AI 打破藩籬，將上述專業領域知識和商業模式結合，應該就可進階到 Can Win 層次，諸如贏取市占率或區域性壟斷等；以及最後達到 Can Lead，譬如自訂規格，引領國際產業發展與價值創造的方向和規模等等。從自強不息的角度來看，三個 ION 與三個 C 都是可以做到的。

四、結論與建議

透過 AI 與數位轉型，我們已看到臺灣過去與目前百萬的勞動者以及產業所經歷的苦勞經濟，可以從 Work hard 轉變成 Work smart，可以讓工作效率以及終端價值得到更大的提升。從前面章節的分享，我們知道 AI 對於製造工程教育以及研發確實帶來不少好處以及可讓臺灣突破現況的機會，然而隱憂也是存在的。為了克服 AI 對臺灣製造工程教育和研發所帶來的缺點，在此再次呼籲，應該善用 AI，並且要透過紮實到位的工程教育來強化專業領域知識的獲得、傳承、以及開創，並在教育以及研發的過程當中將合適的商業模式融入，如此 AI 才能為臺灣製造產業真正做到智慧化，並將過往知識產生全新以及具進步性的專業領域知識，落實智慧製造並且向上提升價值，使大家一起共同以智慧造價。以下幾點是個人對臺灣在擁抱 AI 進行數位轉型和智慧製造在工程教育和研發的建議。

(一) 建議政府成立中央主責單位規劃以及規範製造產業使用 AI

AI 畢竟會對各樣產業造成衝擊，對以製造起家創造經濟奇蹟的臺灣其衝擊和影響勢必將加大且深遠，甚至是會影響國家安全、並且攸關臺灣製造產業在現在以及未來的競爭力和競爭優勢。雖然這幾年政府各部會有在倡議與關心 AI，但

畢竟是以點而不是以全面的方式面對以及因應 AI。倘若政府可以成立中央主責單位，臺灣就可以從國家 vision 的高度來規劃、規範、甚至引領製造產業使用 AI 來替臺灣創造價值，並再造臺灣經濟的奇蹟。臺灣過往所累積的製造專業領域知識相當豐富，有些甚至獨霸全球。在使用 AI 時，首先應該防範我們引以自豪且賴以為生的製造 Domain Know-how 不至於輕易地外流，而其中資訊安全與防護則是特別重要。再者，數據搭配 AI 更要從法規面來規劃讓 AI 資訊可追溯(Traceable)，其中包含可以追溯是誰將何種數據輸入 AI、AI 模型以及演算法是誰在何時與何地選擇以及設計的、該模型設計以及選擇的理由是什麼、透過 AI 模型所得到的結果是如何被解釋以及應用的。也就是說要讓 AI 不是一個黑盒子，要讓 AI 在智慧製造應用的過程透明化、有規範、可被相信。

(二) 建議教育針對工程教育進行革新

教育是百年大計，臺灣過去二三十年進行過數次的教育改革，雖然把過去一試定終身以及唯有讀書高的情況大幅改善，然而在工程教育上尚有改進的空間。現在的大學體制是以高教以及技職來劃分，然而在工程領域的教育，其實不能只是偏重實作或是只是強調理論，而應該是要將理論與實務相互搭配。由於臺灣少子化的程度相當嚴重，以及人口紅利已不復存在。AI 的衝擊讓跨領域工程教育變為可能，建議我們高等教育應該從如何培養能夠創造價值人才的方向來考慮，到底我們所造就出的工程人才是能夠為臺灣產業以及經濟做出直接貢獻，還是出國留學被外國使用？我們培養的工程人才是否是產業可用且可以產生價值的工程師，還是只是便宜聽話的機器人？我想這兩點首先必須在國家的制高點上來考量、來規劃未來的教育體制的。在工程教育的作為上，除了應把理論與實務並重，更要把前述所提之誠正精勤、厚德載物、以及自強不息的工程素養融入在工程教學以及研究當中。最後，大學中的教授就是前述所謂的大師，大學工程教授是否能夠將專業領域知識加上合適商業模式的學問傳授給學生？而這些可以為臺灣創造出未來大師的工程教授如何被攬才、被尊重、被留才、甚至提升其教學、研究、以及服務的層次等等議題，再再需要以國家的高度來進行通盤考量與改進。如果現在的工程教授已被分高下，我相信很難驅使教授們為臺灣創造未來的大師。也就是說眼目的所在，心也隨之跟隨。

(三) 建議產業進行轉型，提高能創造價值工程人才的待遇

便宜又大碗基本上是臺灣業界的普世價值，但是隨著少子化以及 AI 的衝擊，企業確實也要重新思考對人才的鑑價。很明顯的，薪水給得高，人也就往那裏跑。由於 AI 帶來使用較少人的好處，建議製造業者可以考慮，看看能不能在不影響產值之下，透過 AI 減少人力的使用，讓操作型的人才轉型成為以智慧創造價值且高薪水的工程師，因為未來價值的創造不在於人多、不在於是否有累積多年的經驗，而是如何經由 AI 將專業領域知識與商業模式結合。企業進行模式的改

變這是個不容易的事情，建議經濟部以及勞動部可以研議如何透過這波 AI 的浪潮，讓我們臺灣製造業者行有效的轉型，共同邁入智慧製造。

年輕的朋友不免嚮往在國外或於外商公司任職，賺取高額的薪水，企業或許覺得臺灣在制度面上無法像歐美那樣友善。雖然個人的第一份工作是在美國矽谷 IBM，但是看過千千萬萬的風景，也經歷不同制度和文化的衝擊，不過如何也比不上回家的美麗。這原因無他，因為臺灣是我們的國家，是養我、育我的母親，我們應該將最好的回報給我們共同生長與成長的土地，而不是將最好的給他國甚至妨礙臺灣的發展。臺灣擁有充沛且優秀的人才，在 AI 的浪潮下透過誠正精勤、自強不息、厚德載物的跨領域工程教育與研發，相信臺灣將永續發展並不斷創新，必將創造無限機會與價值。

參考文獻

1. 虎尾科大副校長張禎元：AI 對工程教育的利與弊，Digitimes，
https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?CnId=1&id=0000660758_EGT69LZA6R9HHI7II76B0&ct=d，2023.03.31。
2. AI 決策若「可解釋」 陳良基：能提升信任，臺灣醒報，
<https://tw.news.yahoo.com/news/ai%E6%B1%BA%E7%AD%96%E8%8B%A5%E5%8F%AF%E8%A7%A3%E9%87%8B-%E9%99%B3%E8%89%AF%E5%9F%BA-%E5%8F%AF%E6%8F%90%E5%8D%87%E4%BF%A1%E4%BB%BB-095923515.html>，2020.05.11。

第四章 AI 智慧製造應用分享

嚴瑞雄¹

摘要

工業 4.0 的提出至今發展已達十個年頭，對製造業有重大影響，我們想先討論一下智慧製造的本質。為何會有第四次的工業革命，我們可以從兩點市場改變來說明，第一是市場需求的改變，從量產思維轉成強調少量多樣，或甚至客製化量產。第二是客戶評價設備投報率(ROI)的改變，從過去只注重冰山上的固定價格成本，轉為更注重冰山下的總體擁有成本(Total Cost Ownership, TCO)考量，也就是設備使用過程中的變動成本需整體加以考量，而這其中佔最多數的是造成設備總合效率(Overall Equipment Effectiveness, OEE)降低的各式損失，AIoT 的使用有助 OEE 的提升。

從 2011 德國 DFKI 說明的資料中強調工業 4.0 的核心精神是基於 CPS (Cyber Physical System)，針對實體系統建立相對的虛擬數位分身(Digital Twin)，以工業物聯網(Industrial Internet of Things)串起整個虛實系統。而工業 4.0 的應用進程上，根據德國 Acatech 2017 年所提的資料，我們重新整理成五大 Levels，從最基本的聯網化、可視化、透明化、預測化到自優化，而 AI 的應用在後三個 levels 有很大的助益。

東台集團與東捷集團在 AI 智慧製造的應用上，分別在工具機、自動化、半導體、面板及醫療方面。以 AI 補足 AOI 的不足在入料檢測上，或者是瑕疵檢測降低過檢率等為主要應用，實際應用後也有很好的效益。

工業 4.0 或智慧製造的未來十年，工業化人工智慧(Industrial AI) 所扮演的角色非常重要，從感知 AI、自動化 AI、分散式 AI(Edge AI)到可信任 AI，利用 AI 技術的發展讓製造更智慧，也能讓大家可以共同邁向製造者的桃花源。

一、前言

所謂的製造業，就是用人員、機械、原料、方法及環境去製造工業產品，這是整個製造業所涵蓋的部份，而東台精機成立於 1969 年，算是臺灣很早利用工具機加工的方式在製造業佔有一席之地。初成立時是在一個產業剛進入到工業 3.0，開始使用自動化大量製造的時代，當時公司的主力產品為單能機、平面研磨機、多軸鑽床及專用機等可以大量生產的產品。而發展至今，東台集團已是一家全球性的工具機集團，旗下擁有六個自主品牌，包含臺灣的東台精機、榮田精機、譚泰精機與亞太菁英，法國 PCISCEMM 以及奧地利 ANGER MACHINING

¹ 東台精機(股)公司董事長

GmbH。而在 1990 年代，臺灣 IC 產業開始茁壯，為了因應市場需求，在 1998 年成立東捷半導體，初期致力於 IC 封裝測試設備，1999 年起臺灣光電產業起飛，進而轉投入面板設備產業，研發及生產自動化、製程、檢測和雷射修補設備等。近年更佈局半導體封裝設備事業，於 2019 年再次打入封裝大廠檢測與自動化設備，並持續成長。

一直追求新的技術應就是工具機產業的宿命，隨時要準備各種十八般武藝，只要產業、客戶有需求，都得想方設法符合，才能在工具機業立足。常有人會把工具機、紡織等產業歸列為傳統產業，且誤認為技術層次不高，其實如要在業界存活下來，就得與時俱進，在專業領域精益求精才有可能，所以一個企業要能存活得夠久，才有資格被稱為傳統產業。

秉持著在專業領域的努力創新，東台集團自 2017 年起更進入集團整合、軟硬兼施的朝向數位轉型智慧升級新階段，並將自身定位為完整解決方案提供者，透過「智慧化、自動化、複合化、零碳化、服務化與新產業、新製程」等五化二新為概念，推出包括智慧製造解決方案（智慧化）、自動化解決方案（自動化）、工程集約解決方案（複合化）、碳管理解決方案（零碳化）、DR.TT 工業醫生平台（服務化）、新能源產業解決方案（新產業）及金屬積層製造解決方案（新製程）等七大解決方案，一起協助客戶邁向「數位轉型」與「零碳轉型」的雙軸轉型。

二、智慧製造新趨勢

臺灣製造業的總產值將近 25 兆新台幣，其中工具機產值占比小，約只有 1,000 多億新台幣，且有近 900 億新台幣是外銷，僅非常少部分是提供國內相關產業使用，但如果能利用工具機產業讓 25 兆的製造業提升 1%，就能替國家增加 2,500 億的產值。如同先前提及整個製造過程就是人機料法環的整合系統，而工具機更是串連人、料、法的核心，各個製造業如要透過智慧製造提升效率產能，工具機絕對是居關鍵角色，須好好善用。

而隨著時代的遷移，市場需求的轉變，製造業也面臨兩個大挑戰：

（一）變種變量且大量客製

過去的經營法則是要規模生產，只要量出來就能讓客戶賺錢，但現在講求的非但要能單件就能生產，且單件生產也要讓客戶能賺到錢，整個產業生態已轉變成大量客製、產品多樣化、交貨期短需頻繁更換產線作因應。

（二）冰山下的競爭

在競爭愈激烈的市場，決勝關鍵往往不是表面的設備價格，競爭優勢是隱藏在冰山下的多種成本，如安裝、管理、人力、財務、維護、耗品、維修等成本，也就是所謂的總體擁有成本(TCO)概念，需將設備購置成本與其整個生命營運週

期中發生的成本一起加總考量，此外，還需納入稼動、產能效率、不良品、能源等損失的控管，如圖 4.1 所示。



圖 4.1 冰山下的競爭

而面對這些挑戰，如果沒有導入 AIoT 技術智慧升級，光靠人工取數據根本無法因應，且耗力費時。以製造業很常用來衡量產能利用率的設備總合效率(OEE)指標來說，這個指標是指在計劃運行時間內，能以一個製造單元的實際表現與設計能力的比較，是由稼動率、產能效率及良品率相乘的結果，需要提供多種大量數據才能計算得出。如果要讓整個製程達到高 OEE 生產，就如同 TPS 豐田生產方式(Toyota Production System, TPS)所要求，需要消除浪費減少六大損失，而這些都需要擷取現場數據，隨時發現問題，馬上應變處理，藉由 AIoT 的導入，可更優化整個製程控管，提升整體效率，如圖 4.2 所示。

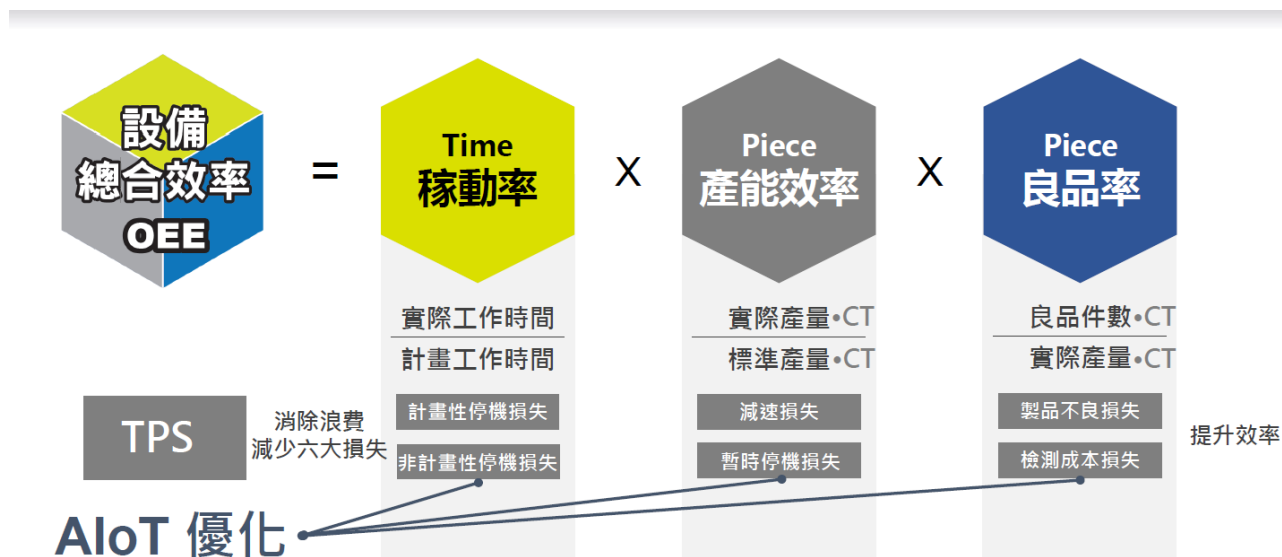


圖 4.2 重要的 OEE(衡量產能利用率的指標)

以東台為例，就是利用感測器與設備的整合，使得機台資訊被擷取出來，再藉由自行研發的整線管理系統(Tongtai Lone Management, TLM)，取得連網設備的數據進行運用、計算，並且透過友善的介面來呈現機台狀態、稼動率等即時統計資訊。透過 TLM，管理人員可有效掌握生產狀態及設備總和效率(OEE)，以數據協助產線優化，進而提升整體生產效率。

三、工業 4.0 的意涵

工業革命進展至今，共可分為四個階段，分別是 1.0 蒸汽機械化、2.0 電氣化、3.0 自動化，以及 4.0 智慧化，如圖 4.3 所示。

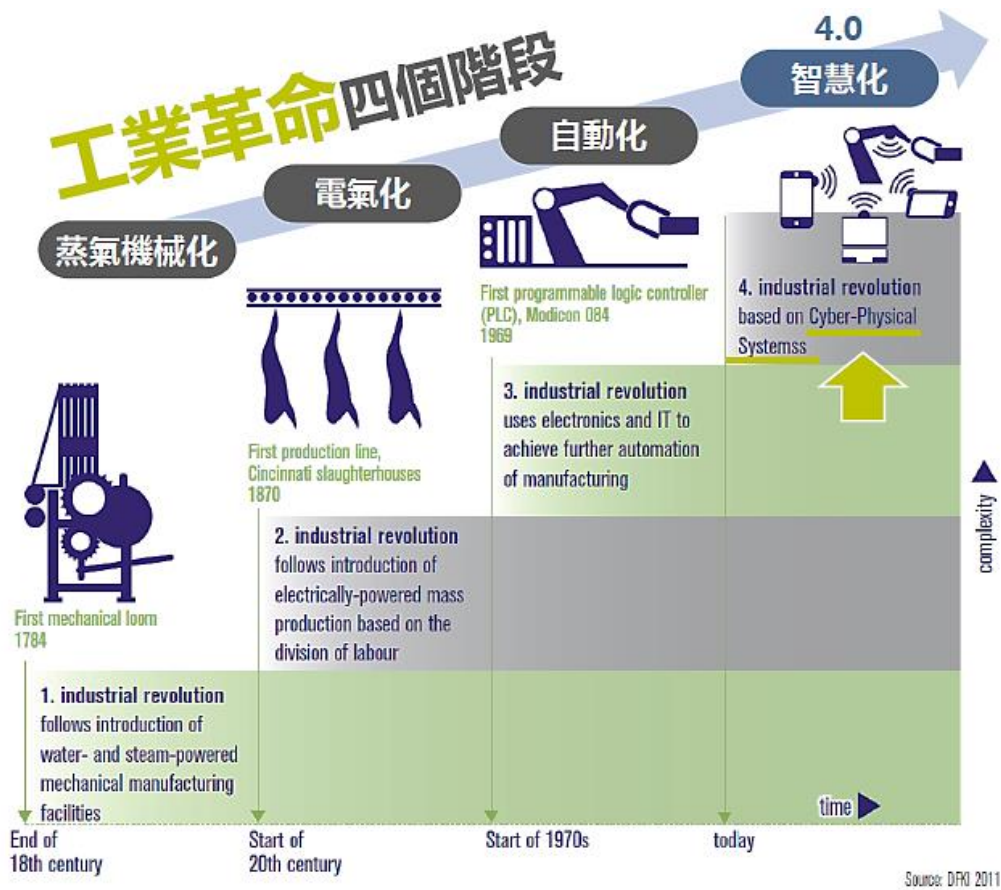


圖 4.3 工業革命四個階段

而工業 4.0 的特點是運用資料以透過更高的效率和生產力來製造商品。靈活性大幅提高讓製造商能夠使用大量客製化來進一步滿足客戶需求。這其中包含了一個核心、三大整合，以及五個發展階段，簡述如下：

(一) 以 CPS 為核心

工業 4.0 有一個很重要的核心，就是虛實整合系統(Cyber-Physical System, CPS)，這是一個結合實體與虛擬運算模型的整合系統。主要是透過實體設備所收集、感測到之大量數據，搭配電腦運算進而實現自我感知、決策與控制，來達到全面智慧化。也是因為這個核心系統，才有可能達到大量客製，即便單件亦可生產的目標。而東台就是利用 CPS 虛實整合技術，導入虛擬仿真，而且從專案概念設計開始，就建立「數位分身(Digital Twin)」，也就是在實體產線建置之前，先以電腦模擬各種設備的尺寸、擺設、動線，甚至精細到模具，嘗試不同作法，找出最佳配置與產線動作合理化調適，來降低實際完成後再更動的風險與成本。

(二) IT 與 OT 的三大整合

當核心 CPS 系統建置起來後，透過產品生命週期、價值鏈水平與製造垂直等三大整合貫穿實際產線(OT)與資訊系統(IT)，全貌如圖 4.4 所示。在製造垂直

整合中，從最底層的感測器(Sensor, IO)出發，連結數位控制機台(CNC Machine)，透過資料採集與監視系統(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)，進入到業者的製造執行系統(Manufacturing Execution System, MES)，並串聯到業者自身的企業資源規劃(Enterprise Resource Planning, ERP)和商業智慧(Business Intelligence, BI)兩個管理決策系統，同時與供應鏈管理(Supply Chain Management, SCM)到客戶關係管理(Customer Relationship Management, CRM)的價值鏈做水平整合，最終完成產品生命週期整合，此部分涵蓋了從產品最初構想、企劃、研發到製造，以及處置等完整旅程的策略性程序。尤其目前最受關注的減碳議題，更可透過機台的電源監控系統中的數位電表、實功率、視在功率與用電度數等項目，作為客戶在碳監控上的基礎，更容易找出問題與痛點所在，將設備零組件模組化與客戶製程優化，協助客戶在生產階段，完成相關碳盤查與碳減排，制定相關減碳對策，更易達成減碳目標。而東台目前從底層感測器、CNC 設備、SCADA 到 MES，均有完整方案，同時會密切與客戶溝通需求，要解決甚麼樣的問題，讓客戶靈活選擇最需要的方案解決客戶的痛點，而不是將整套系統置入。

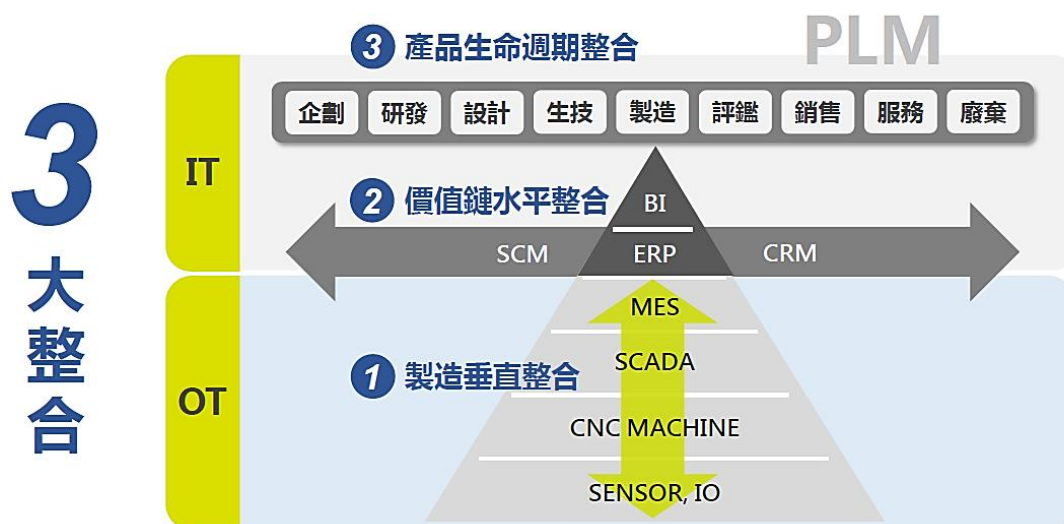


圖 4.4 工業 4.0 – 3 大整合

(三) 智慧化的五個發展階段

在工業 3.0 自動化中，有三個要項，分別是將製造的人、機、料、法、環各個環節進行盤點整合的標準化；將製造所需的工具、設備、儀器等盤點整合，建立模組共用依據的模組化；以及持續減少生產下必要的浪費，以最短工期創造價值的精實化。完成這三個要項，才能開展到工業 4.0，其中智慧化的發展，也可以像自駕車一樣，從 Level 1 到 Level 5 完全自駕，分成五個發展階段，如圖 4.5 所示，Level 1 就是為了取得數據的聯網化；Level 2 則是分析數據看到問題點所在的可視化；Level 3 是具備了解問題進而解決問題的透明化；Level 4 是可以預測問題提早因應準備的預測化；到了 Level 5 就可以讓各系統或機台自身，因

應內外環境的變動，自動調適持續自我優化。而透過 AI 的手段，可以協助達到 Level 3 到 Level 5 的目標。



圖 4.5 工業 4.0 – 5 個發展 Level

四、以人機協作彈性決策的智慧製造為中期目標

1980 年代的日本產業為了徹底消除浪費，推行比自動化更精進的自”働”化 (Jidoka)，在動作的動加了人字旁，當自動化生產的機台發現異常時，可以有跟人一樣的警覺馬上自動停線，也就是說生產線自主管理，生產線不但會規律自動生產所需的產品，也會在發現問題的時候自動停止，減少不良品的產生消除浪費。這個概念跟簡禎富副校長所提倡的工業 3.5，主張發展鋼鐵人來強化人的決策能力很相似，或許我們沒法一次到位到達 Level 5 的層次，但在整個製造人機料法環的過程中，先讓機器協助規律重複性或危險的工作，減輕人類的工作負擔，再藉由大數據與 AI 逐步的導入，讓機器有跟人一樣的判斷能力，進而結合各種決策分析方法，在人機互動並協作分工下增強人的能力，朝向彈性決策的鋼鐵人中期目標邁進。最後才有機會進階到真正智慧化的終極目標。

大家也要認知到，所有的數位轉型智慧升級都是有成本，付出改善與優化的成本要回饋多少利潤，這在付諸改善行動之前盤算過，值得了才去做。所以再次強調一定要先決定企業痛點，評估解決手段，考量藉由 AI 導入解決的效益。簡而言之，數位優化和數位轉型的目的，第一是先用數位化解決問題；第二是價值創造。並按部就班，循序漸進，每個投入都要評估產出效益，不能盲目投入，要有很明確的目標。且以目前趨勢，精實的導入 AI 是臺灣產業必走之路，就算中小企業缺乏資源還是要盡可能地跨出第一步，否則很容易就被競爭激烈的市場所淘汰，成為夕陽產業。

五、AI 智慧製造應用

東台是在 2008 年開始將紙本作業數位化，打下數位化的基礎，並在在 2016、17 年左右投入虛實整合技術研發，逐步讓自己智慧生產，現更以做出可智慧生產的設備，讓客戶達到智慧生產為目標，整個集團的 AI 應用領域也愈來愈廣泛，從工具機、自動化、半導體、面板，到醫療等領域，皆可看得到東台與東捷努力的成果，以下將分享幾個 AI 應用於智慧製造的實例。

(一) 工具機 AI 應用：3D 影像系統應用於刀盤加工自動化生產線入料

在客戶的自動化產線，應用 3D 影像系統來進行工件的入料辨識，而自動光學檢查 AOI 需辨識 14 種類的工件，且工件背景會因人員擺放而改變造成誤判，故決定應用 AI 分類技術來解決 AOI 遭遇的問題，導入初期因客戶無法提供大量的工件做測試，導致訓練樣本質量不好，模型不夠聰明，無法因應各場景，導致準確率低於 30%，影響自動化流程。後經由相機取得每一種類工件的照片，透過影像處理將每張照片任意縮放、旋轉、亮暗和對比，進而產生更多照片的樣品增量技術，讓 14 種類工件照片從 210 張增量到 42,000 張，順利將準確率提升到 100%，且辨識速度約提升 15 倍，同時使用樣本增量技術，降低樣本取得成本。

(二) 自動化 AI 應用：人體骨架辨識應用於虛擬圍籬(Virtual Fence)

一般協作機器人能夠直接和人類一起並肩工作而無需使用安全圍欄進行隔離。但為安全起見，通常協作型機器人速度較慢，為了能加快速度又能確保人員安全的前提下，利用 3D 影像與 AI 辨識人體骨架技術，便可在三度空間內，精準辨識人體位置，只要人員進入到指定範圍內，協作機器人的速度就會自動變慢降至為協作速度，確保人員安全，如沒有人員在指定範圍內，就可全速運行，這個技術可廣泛運用到自動化的虛擬圍籬任何場景。

(三) 半導體封裝 AI 應用：智慧複檢系統

為了確保品質，封裝廠客戶針對錫球橋接狀況，會先利用既有 AOI 設備進行高規格的品質檢查，故常會有將良品誤判為瑕疵品的狀況產生，為了提高良率，經 AOI 設備檢出的(過檢)瑕疵品，會再利用傳統方式，以顯微鏡進行人工檢驗，將良品救回提高良率，但此作業人力需求較高，且也會因人員疲勞導致失準，同時抽樣檢驗數量也無法提高，故在 AOI 與傳統人力複檢中間，新增智慧複檢(AI Review System, AIRS)作業，也就是利用拍照取像，並透過訓練好的深度學習分類器複判，如判為瑕疵品，直接處置，如判為良品，再經由人員再次確認救回誤檢的產品，藉此提高產品良率，此 AIRS 系統，可讓人員作業輕鬆有效率，人力節省效益分析如圖 4.6，同時提高準確度，且較易追蹤料件履歷並可圖表分析產能，成果相當令客戶滿意，不但滿足準確率>95%、漏檢率 0%、過檢率<5%的客戶期望，更以 99 高分通過客戶制訂的 AOI-AI 評鑑認證。

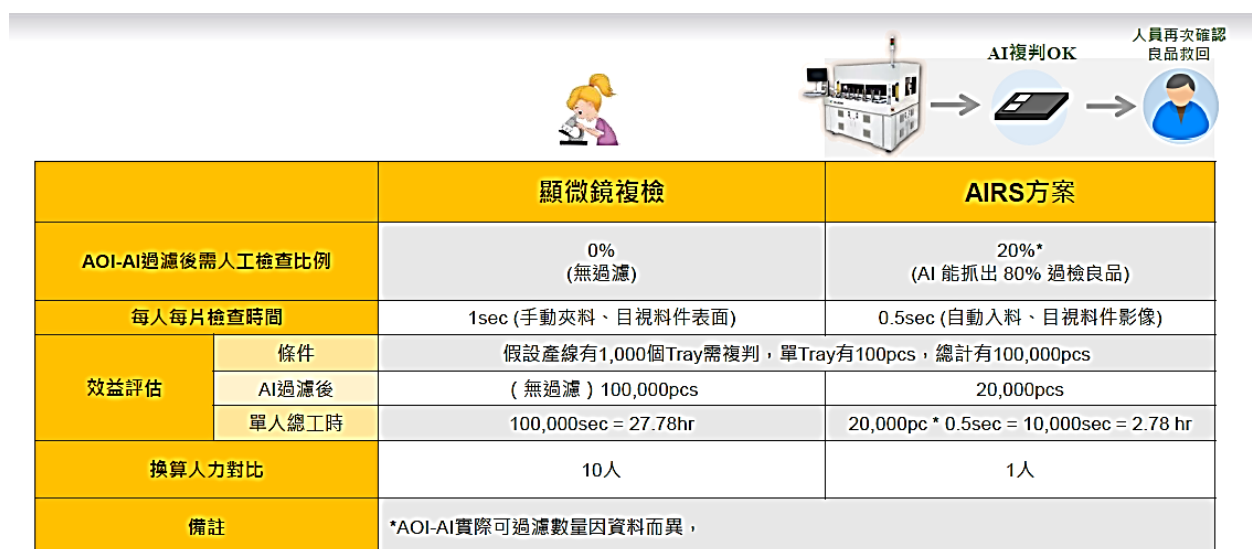


圖 4.6 ARIS 複判人力節省效益分析

(四) 面板 AI 應用：TFT 雷射線路修補

面板廠的無塵室最大敵人是小於 10 μm 的微粒，常會造成 TFT 線路各種缺陷，而缺陷型態就有 100-200 種，修補路徑更是超過數百種，過去都是由技術員來進行判斷，再利用介面上手繪路徑的手法進行修補，一個機台就要有一位技術員。導入 AI 後就可讓 AI 判斷，並自動配對提供修補路徑，經人員確認後，再透過雷射設備自動進行切割移除或焊接修補，將瑕疵品修成良品。導入 AI 後不但修補路徑的推薦率可達到 89%，更讓機台人力比提升到 8:1，精簡大量人力。

(五) 醫療 AI 應用：肺結節影像自動判讀

一般肺部病灶在小於 1 公分時，不容易被檢查出來，現透過 AI 演算法偵測疑似結節，在 CT 影像自動標記，就可協助提早找出病灶。又如在肺結節 2D CT-匹配追蹤中，手動找出不同日期的 CT 照片耗時又容易出錯，而透過 AI 自動匹配 CT，不但能減輕醫生負擔，增加效率，提高正確性。此外，也可應用在肺部復健療程中，藉由 3D 點雲偵測追蹤，確認復健動作並修正，再經由系統 AI 模型訓練，就可提供病患即時教育，避免日後呼吸不舒暢，並檢測居家康復療程動作正確性。

六、結論與建議

工業 4.0 是在 2011 年的漢諾威工業博覽會上，由 DFKI 的創始董事兼前首席執行長 Wolfgang Wahlster 首次提出，當時他就認知到如果要保持德國製造業中心的地位，就必須開展由互聯網驅動的第四次工業革命。讓物聯網在虛擬和實體之間架起了一座橋樑。這對工業製造而言，更意味著將進入到典範轉移的大改變。而 AI 技術到今天的發展，已實際感受到 AI 無所不在，更加確信未來十年，產業 AI 化將成為未來價值創造的手段。

在製造業整個人機料法環的範疇中，其實還缺少 IE 工程，因為需要有能力在整個製造流程中找出所有問題點，非常需要具備 IE 工程知識的人才，因藉由 IE 工程人員的判斷，才能夠在整個製造的人機料法過程中，找到關鍵問題點進而解決改善。以日本開展工業 4.0 為例，是由工業工程系的教授成立協會主導，與產業界從定義問題開始，然後找出問題點，再尋求如何解決。整個數位化智慧轉型是要一步一步，按部就班從 2.0、3.0 逐步進展到 4.0，就如同陶淵明的桃花源，每家公司都有屬於自己的 4.0 桃花源，要如何形塑自己的桃花源都可以先有個想像，或許有一些傳統產業，對要導入新科技有點遲疑與擔心，其實東台與東捷都很願意與大家一起努力，只要業界有心開始行動，向自己的桃花源邁出第一步，不管目前是在 2.0 或 3.0 階段，雙東都願意也能夠提供協助，一起設定目標與進程，從痛點著手解決關鍵問題，共同邁向製造者的桃花源。

第五章 適合邊緣佈署之類神經網路研發與應用

林永隆¹

摘要

本章將介紹 HarDNet 高效率和準確性卷積神經網路架構的設計。基本思維是 DRAM 存取速度較慢且能量消耗較大，而算術運算則快速且不昂貴。因此，應盡量減少 DRAM 存取。而 HarDNet 架構經過了速度和能源效率的優化，是各種應用的理想選擇，包括物件偵測、語義分割和醫學圖像分割等。此外，HarDNet 是開源的，這意味著任何人都可以使用和修改它。目前 HarDNet 已經在許多國家許多領域取得了巨大的成功，例如自動駕駛、工業自動化、車輛安全、環境監測、結腸鏡息肉分割和 MRI 影像等。

一、前言

AI 影像辨識技術近幾年發展快速，2000 年類神經網路在此領域的應用出現重大突破，放眼未來，此類 AI 模型將朝小體積、高強建、快速運算、低耗能等方向發展。在 AI 影像辨識發展的過程中，史丹佛大學李飛飛(Fei-Fei Li)教授扮演關鍵的角色，李教授團隊為了擴充和改進可用於訓練 AI 演算法的資料，在 2007 年開始建構 ImageNet 數據庫，全球研究人員可免費且非商業性地使用該資料庫，用來訓練計算機識別、理解圖像內容的算法，為人工智慧識別物體奠定重大基礎。後續更於 2010 年開始舉辦大規模視覺識別挑戰賽 (ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition, ILSVR)，吸引全球各知名 AI 企業如 AT&T、Google、Microsoft、Facebook... 等投入圖像辨識技術開發，引發了極大的回響，從一開始機器學習技術(Machine Learning, ML)到深度學習技術(Deep Learning, DL)的應用，電腦識別的冠軍錯誤率從第一年的 28%，逐年下降，在 2014 年的冠軍成績，已相當於人眼辨識度(錯誤率 5~10%)，到 2017 年最後一屆舉辦時，電腦的圖像辨識已遠優於人眼辨識，錯誤率降至 2.25%。這也使得卷積類神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)有非常大的進展。

我國科技部長期深耕基礎研究，為提昇國內元件、電路與系統整合技術層次，並配合「5+2 產業創新計畫」及「晶片設計與半導體產業」政策，於 2018 年起推動為期四年的「智慧終端半導體製程與晶片系統研發計畫(半導體射月計畫)」，由政府出資鼓勵民間投入智慧終端之前瞻半導體製程與晶片系統研發，共有 17 個研究團隊參與，經過四年的努力，衍生出 191 件產學合作研究計畫、獲准 71 件專利強化產品競爭力、41 件技術移轉促進產業研發精進價值等豐碩成果。而我所帶領的團隊也是其中之一，在科技部半導體射月計畫支持下開發出世界級的類神經網路，一個更快速、更準確、更省電與更安全的硬體加速器技術，同時在不同

¹ 創鑫智慧(股)公司董事長、創辦人暨執行長

的跨平台系統下皆可部署，可大量普及，這個新開發的高效率 CNN 網路的架構稱為 HarDNet (Harmonic Densely Connected Neural Network)，這個類神經網路在影像識別、物件偵測、影像分割等任務都獲得優異效果，在號稱 AI 所有領域最優資料搜尋神器 Papers-With-Code²平台上，兩度登上 State-Of-The-Art³排行榜，在語義分割項目和大腸鏡息肉分割項目被評比為最佳性能模型。目前已被全球 20 餘國研究機構與企業所運用，包含自駕車、無人飛機、船舶安全、無人火車、無人倉儲、交通管理、醫療影像、衛星影像環境監測、半導體製造、資訊安全與工地安全等眾多領域。

二、CNN 架構的演進

自 2010 年開辦的 ImageNet LSVRC 比賽，是促進電腦精進辨識圖像能力的重要推手，而在 2012 年奪冠的 AlexNet 更是奠定 CNN 主導地位，之後的冠軍都是以 CNN 架構為基礎進行改良，同時也開始 AI 深度學習的時代。從一開始 LeNet、AlexNet、VGG、GoogLeNet 等架構，都是以加深跟加寬網路結構來提升模型的準確度，但加到一個程度後就會發現，隨著網路層數增加與增寬，模型準確率會接近飽和且開始波動不穩定，所以有了第一個捷徑連接(Shortcut Connections)概念的 ResNet 架構，由微軟(Microsoft)公司開發出來，大大提升模型的準確率，將誤判率降至 3.6%，低於人眼的 5%，這個突破也讓電腦的影像識別開創新的里程碑。而近來由 Facebook 開發出來的 DenseNet，更是增加層與層連結的捷徑(Shortcut)，大大提升模型的效能，在影像辨識中已經可以做到比人類還精準的程度。整個 CNN 架構的演進如圖 5.1 所示。

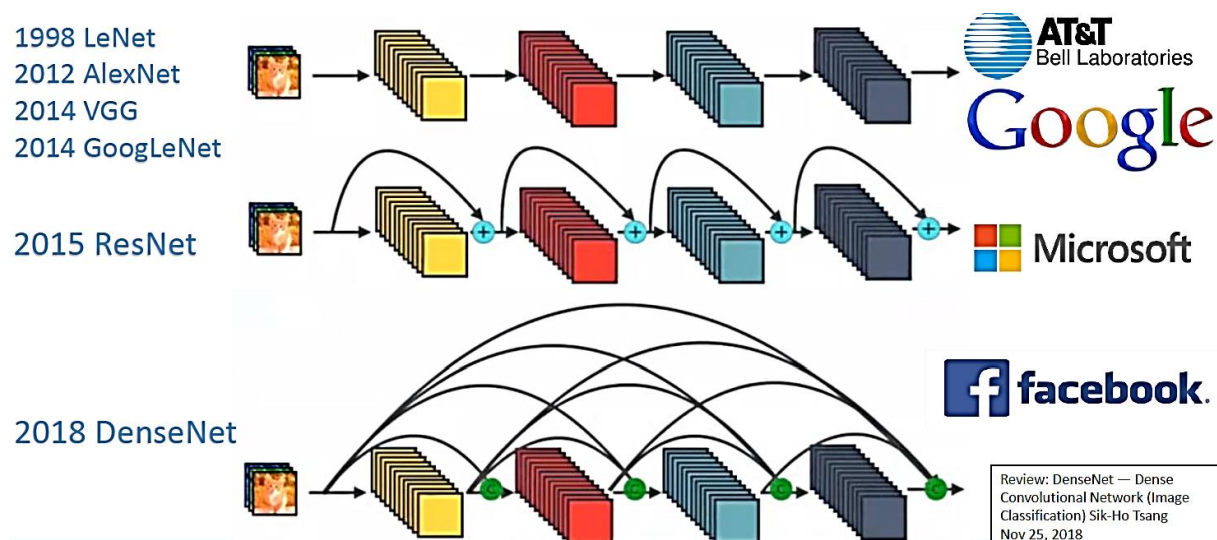


圖 5.1 卷積類神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)演進

² 旨在提供免費、開源的機器學習論文資料庫

³ 分別為 FC-HarDNet 在 Semantic Segmentation 語義分割項目，以及 HarDNet-MSEG 在 Polyp Segmentation 大腸鏡息肉分割項目

三、新型類神經網路 HarDNet

在 CNN 架構設計的考量上，大家都希望愈準愈好，算力愈小愈好，參數愈少愈好，所以一般都只考慮準確度、以參數計量的模型大小、操作次數這三項，但我的研究團隊真正關心的，除了準確度是最重要的，我們還會在意的是推論速度，而不是操作次數，因我們覺得花多少時間比次數更能衡量模型的效能，此外，我們也會考量能源消耗、模型大小、一般適用性、可訓練性，以及系統穩健性等因素，嘗試找出其最佳平衡點。

所以團隊以 DenseNet 為基礎，開發了一個低記憶體資料流 (Low Memory Traffic) 的 CNN 架構，記憶體資料流(Memory Traffic)是指資料進出記憶體의次數，以 DenseNet 為例，其設計會造成大量資料進出記憶體，原因為該架構中每一層都有捷徑 (Shortcut) 的連結，這也意味著，每一層擷取的特徵值 (Feature) 都會保留到最後一層來運算，而且保留下來的特徵值也會到下一層擷取更細節的特徵值，如此一來，造成資料搬運次數多，就會耗費許多運算時間。因此，研究團隊減少了 DenseNet 架構中層數 (Layer) 之間的捷徑，以降低資料搬運次數、加快運算時間，不過，捷徑減少後，由於擷取的特徵值變少，模型準確率也會下降。於是，研究團隊也改變了 DenseNet 每一層的權重數，也就是針對捷徑連結更多的 layer，來增加運算量、擷取更多的特徵值，藉此維持模型準確率。而這個改良版的 DenseNet 類神經網路架構，也被重新命名為 HarDNet。

這個架構有三大特色，第一個特色也是與 DenseNet 最大的不同，在於 DenseNet 是無所不連，而 HarDNet 則是像諧波(Harmonic Wave)一樣挑著連；第二個是中間結果很少，減少記憶體存取；第三是在其他 CNN 架構中每一層的卷積核(Kernel)數都一樣，但在 HarDNet 架構裡的 Kernel 數都是精算過，該多的地方多，該少的地方少，如圖 5.2 所示。

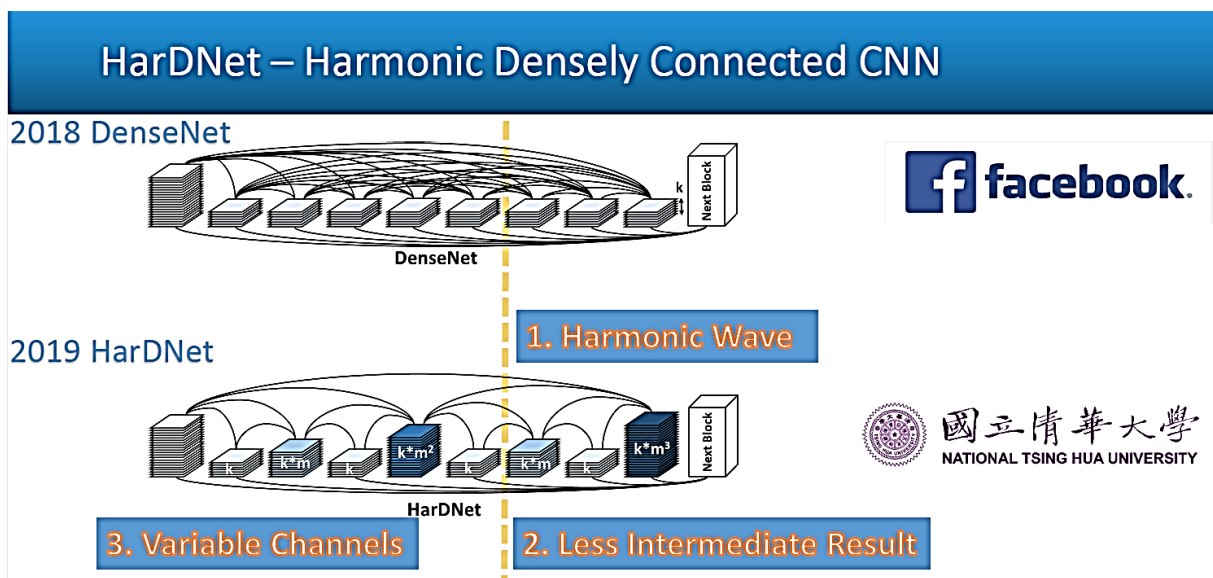


圖 5.2 HarDNet 架構圖

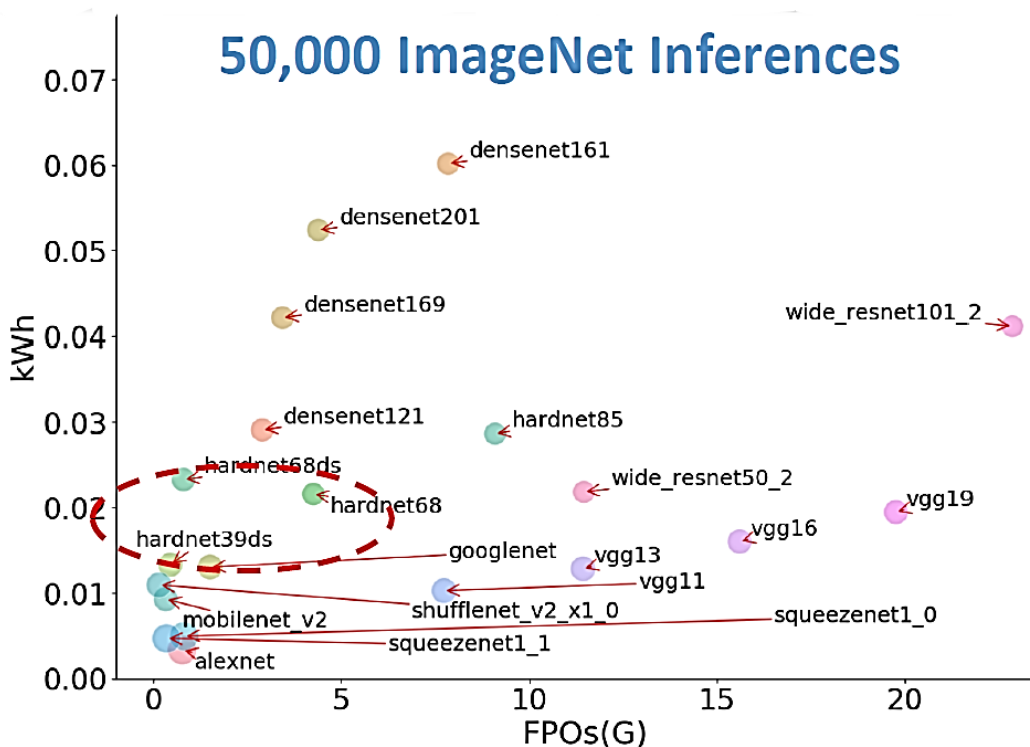
四、HarDNet 效能

HarDNet 是 CNN 骨幹網路之一，跟其他常見的 VGG、ResNet、DenseNet 骨幹網路一樣，有類似於通用引擎的角色，來驅動適用於不同場景的應用網路，比如適用於物件偵測的 SSD、YOLO，適用於圖像語義分割(Semantic Segmentation) 場景的 U-Net，或是適用於物件追蹤的 FairMOT，都是屬於應用網路的範疇。也就是說，HarDNet 並非應用在特定場景的網路架構，只要是影像資料的處理，都可以用 HarDNet 來執行。

所以在設計上，HarDNet 的基本架構可依照不同需求，進行疊加成 4 層、8 層或 16 層的網路層數，也可以根據不同的任務，進行調整設計不同的網路架構，如 HarDNet68 跟 HarDNet85 就是利用增強的局部特徵，應用於提取有利於小物體的檢測。在 2020 年全球低運算電腦視覺競賽 (Low-Power Computer Vision Challenge, LPCV) 中，團隊運用 HarDNet68 及 HarDNet39 分別訓練兩個影像分類模型，針對 ImageNet 的 1,000 種物件類別進行辨識，HarDNet68 因網路層數更多，辨識率達到 86.9%，但辨識速度較慢，而 HarDNet39 則相反，儘管辨識速度能快上三倍，但辨識率降至 73.5%。最後是 HarDNet68 的模型，獲得 LPCV 全球第二名的佳績。

另為了驗證 HarDNet 安全的特點，團隊同時將 SSD-HarDNet85 及 SSD-VGG 用來進行車牌辨識，在未進行對抗式攻擊 (Adversarial Attack) 前，兩者的辨識率相當，但團隊進一步將兩個模型訓練出對抗例，意圖同時干擾兩個模型的辨識率，實測後，SSD-HarDNet85 辨識率仍維持 71%，但 SSD-VGG 僅剩下 40%，若再對原模型進行對抗式訓練，前者辨識率可提升到 90%，後者卻僅為提升到 57%。由此可見，HarDNet 更能有效抵禦對抗式攻擊。

此外，在耗能部分，美國史丹佛大學、加拿大 Mila、McGill 大學、臉書聯合發表的一篇論文中指出，針對多種 CNN 網路進行耗電量評測，其中 HarDNet39ds 取得低耗電量的好成績。如圖 5.3 所示。



資料來源：Towards the Systematic Reporting of the Energy and Carbon Footprints of Machine Learning

圖 5.3 各種 CNN 模型效能檢測

HarDNet 在 GitHub 上開源後，已經被越來越多人使用與關注，也產生許多應用的成果，如運用 HarDNet 架構訓練的模型進行影像分類任務，推論時間比常用的 ResNet-50 架構縮短了 30%，若是進行物件偵測與識別的任務，則比 SSD-VGG 縮短了 45%，展現出 HarDNet 的實質效益，已超越知名的 DenseNet 或 ResNet 的網路架構，尤其搭配諸如 SSD、RFB、CenterNet 等演算法，能更快更準確地執行影像的圖像分類 (Image Classification)、圖像語義分割 (Semantic Segmentation)，以及物件偵測與追蹤 (Object Detection/Tracking) 等廣泛的應用與功能。目前技術團隊已成功將 HarDNet 應用於包括 GPU、智慧型手機 (CPU/DSP)、Raspberry Pi 與 FPGA 的運算平台上。雖然 HarDNet 開源後的使用量無法量化，但團隊不時也會收到使用者的回饋，與全球的 AI 專家進行技術交流。

如研究團隊將 HarDNet 在韓國首爾舉辦的 International Conference on Computer Vision (ICCV) 上發表，反應十分熱烈。會議主席就曾表示，HarDNet 展現了類神經網路架構的另一個可能設計，且 HarDNet 的設計面向較廣，是未來的趨勢。在會議中國際學者對於 HarDNet 抱持高度的興趣，積極索取資料並與團隊成員討論，討論度極高。

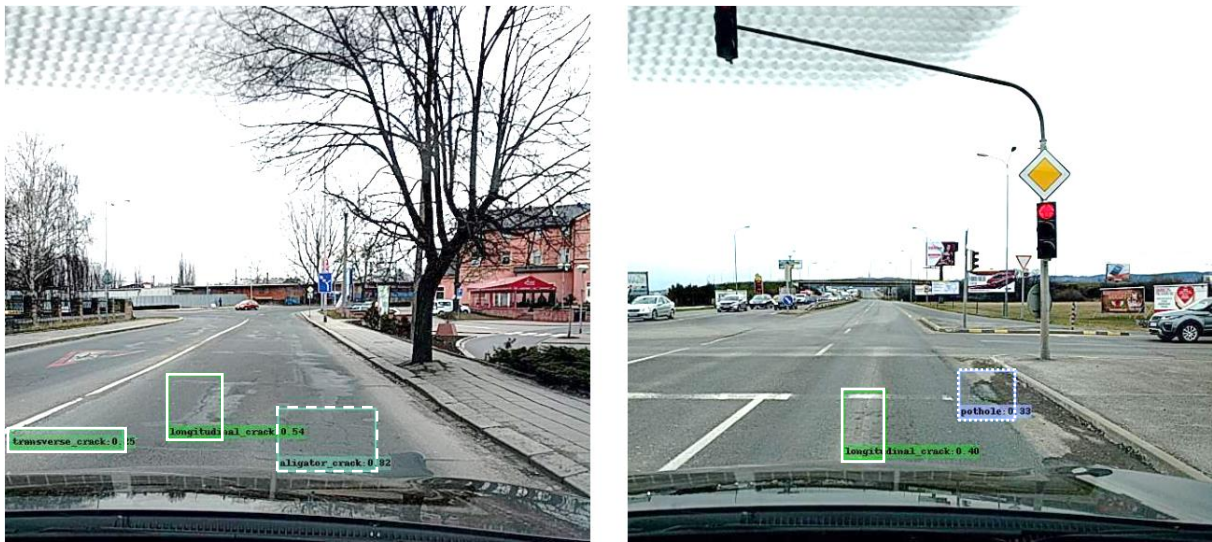
為了讓研究成果更加落實於產業應用，於 2019 年成立了創鑫智慧股份有限公司 (NEUCHIPS)，目前在信號處理、神經網路和電路設計方面擁有多項專利。開

發專用的 AI 解決方案，提供最節能和最具成本效益的深度學習推薦推論(Deep Learning Recommendation Inference)加速器，為數據中心提供最低的總體擁有成本(TCO)。

五、交通相關應用案例

(一) AI 驅動道路維護檢查(AI Driven Road Maintenance Inspection)

為確保所有道路使用者的安全，道路基礎設施維護檢查通常是一項勞動密集且維護成本高的重要任務。在這項工作中，可利用人工智慧和計算機視覺的最新技術，利用大量自動化的程序，以最快的速度找到損害點進行維修，並可大量降低勞動成本。例如 2021 所發表的研究"AI Driven Road Maintenance Inspection"，利用高精度版本的 HarDNet 作為特徵提取器，對公開可用的道路損壞數據集(RDD)進行訓練，並搭配使用強大的物體檢測頭(Single Shot Multibox Detector, SSD)所建構的模型，經過訓練的道路損壞檢測模型的結果場景，如圖 5.4 所示，在驗證集上達到了 60.11 mAP 的精度，並且在 Nvidia GTX 2080Ti 上的通過量為 85 FPS (Frames Per Second)。有非常好的成果，不但可檢測出路面、道路標記和交通標誌的損壞，並可以不同框形標明損壞的類型和程度，如鱷魚紋、橫向裂紋、縱向裂紋、缺失標記和坑洼都可清楚標示。



照片來源：AI Driven Road Maintenance Inspection

圖 5.4 道路損壞檢測(道路裂縫和侵蝕)

這個人工智慧模型不僅可以自動化和擴大對主要道路結構的維護檢查，使用 AI 實現自動化，還很容易地擴展到具有標記數據可用性的其他檢查任務中，與傳統的手動方法相比，這種自動化允許無縫擴展解決方案並導致更高的召回率，從而改進和有針對性的維護。

(二) 車輛辨識

HarDNet 可應用在車輛辨識上，提升對於車輛管理的效率，隨著車輛數的逐年增加，在車站、機場、風景區、商場等人流量與車流量大的公共場所周邊，需要制定合理的車輛管控措施，從而提高管理效率。如在重要的道路或交通繁忙的十字路口統計每個方向各類車流量，藉以分析交通狀況，以提供交通調度、路況優化精準參考依據。或者在機場航站、商場、風景區等交通繁忙地段，可以判斷是否有車輛於限時停車地段違規，以實現科技執法優化交通。

在上述車輛管控措施中，最重要的一步就是對車輛進行辨識與追蹤。應用 HarDNet 可以實現高空俯拍場景下的多類別車輛同步追蹤，幫助相關人員制定合理的智慧化管理方案。

(三) 自駕車

目前已經有一些自駕車採用 HarDNet 作為其影像辨識的模型，並且取得了良好的成果。例如 2020 年的研究 "Automated Lane Change Maneuver Using Deep Learning Techniques" 就是利用 HarDNet 來進行自駕車的自動換道操作。此文章探討使用深度學習技術實現自動車道換道操作，作者提出一種基於 CNN 的方法，該方法可以實時地檢測前方車輛並預測車道換道時應採取的最佳操作。為了實現這個目標，作者使用了 HarDNet 的深度神經網絡作為特徵提取器，該網絡可以提高模型的準確性。實驗結果顯示，這種基於深度學習技術的自動車道換道操作方法在準確性和即時性方面都取得了很好的效果，並且可以幫助駕駛員更加安全地進行車道換道操作。

2020 年另一篇文章 "Annotating Automotive Radar Efficiently: Semantic Radar Labeling Framework (SeRaLF)" 提出了一個稱為 "Semantic Radar Labeling Framework" (SeRaLF) 的框架，用於有效標記汽車雷達數據以進行自動駕駛。SeRaLF 框架可以協助標注汽車雷達數據，使其更適合於自動駕駛的訓練，從而實現更高的自動駕駛性能。

此篇文章提到了使用 HarDNet 作為雷達標注框架的一部分，以實現更快速和更高效的標注。作者指出，使用 HarDNet 的主要優勢在於其較小的模型和較快的速度，這使得它在自動駕駛場景下的應用更加實用。使用 HarDNet 作為 SERALF 框架的一部分，可以幫助加快標注汽車雷達數據的速度和效率，從而提高自動駕駛系統的性能。

(四) 韓國的停車場管理

HarDNet 的另一個應用是 CSP-Net+HarDNet(CSPHarDNet)，CSPHarDNet 是 HarDNet 的升級版，它引入了通道分離和重組(Channel Separation and Reassembly, CSR)模塊以提高模型的準確性和效率，使 CSPHarDNet 相較於 HarDNet 具有更好的精度和更高的效率。

然而，CSPHarDNet 相對於 HarDNet 的缺點是它需要更多的計算資源和更高的內存占用。另外，相比於其他目標檢測模型，CSPHarDNet 的速度可能較慢。最後，CSPHarDNet 的訓練需要更長的時間和更大的數據集。

總體而言，CSPHarDNet 是 HarDNet 的一個重要升級版，它在性能上有所提高，但也存在著一些限制。在選擇模型時，需要根據實際應用的要求來考慮使用哪種模型。

2022 年發表之 "Deep-Learning-Based Parking Area and Collision Risk Area Detection Using AVM in Autonomous Parking Situation"，用區域檢測和語義分割的深度學習算法，將 CSPHarDNet 應用於停車場和碰撞風險區域的停車情況。此文所描述的方法，其主要架構是基於一個密集連接網絡和一個交叉階段部分網絡。用於訓練的數據為四個 190 度廣角鏡頭的全景監控器圖像生成，並基於該數據集進行實驗。在實驗結果中，通過檢測全景監控器圖像中的停車線、停車區域和可行駕駛區域，以可視化方式呈現停車區域。根據提出的 CSPHarDNet 模型，實驗結果在 NVIDIA Xavier 環境中為 81.89% mIoU⁴和 18.36 FPS。此實驗的結果表明，該算法可以在停車情況下即時使用，並具有比傳統 HarDNet 更好的性能結果。

(五) 丹麥的船舶導航系統

2021 年發表之 "Safe Vessel Navigation Visually Aided by Autonomous Unmanned Aerial Vehicles in Congested Harbors and Waterways"，提出了一種安全的船舶導航系統，該系統使用了自主無人機和 HarDNet 對港口和航道進行即時監視。

該系統的核心是一個基於深度學習的視覺辨識系統，可以在即時監控下提供精確的位置和速度估計，以及障礙物和其他船舶的檢測和跟蹤。此外，系統還利用了自主無人機的高空視角，可以獲得更廣闊的視野，提高導航的精度和安全性。總體而言，此文基於深度學習架構提出了一個自主無人機的船舶導航系統，可以實現高精度、高效率和高安全性的船舶導航和運營。

HarDNet 作為視覺辨識系統的核心，可以對圖像進行高效處理，實現有效地處理自主無人機傳回的圖像信息，實現對港口和航道的即時監控和控制。

六、醫療應用

(一) HarDNet-MSEG

HarDNet-MSEG 是一種用於影像分割的神經網絡模型，基於 HarDNet 和 MSEG 兩種網絡架構，將兩者結合起來，形成了一個高效而準確的分割模型。架構可以有效地減少參數量和計算量，同時保持高分辨率的特點。

⁴ mIoU (mean intersection over union) 值是一個衡量圖像分割精度的重要指標，計算真實值和預測值兩個集合的交集和聯集之比

HarDNet-MSEG 在醫療有許多應用，如大腸息肉檢測神經網路技術，於 2021 年 3 月時準確率榮登世界第一。HarDNet-BTS 應用在腦瘤檢測神經網路技術，參加由 MICCAI 所舉辦的 BraTS 2021 競賽，進入前八強並受邀口頭報告，是唯一獲此殊榮的臺灣團隊。

HarDNet-MSEG 成功協助推動醫療領域的研究，贏得廣大國際聲譽，並落實到產業發揮巨大經濟效益，目前 HarDNet-MSEG 大腸息肉檢測技術，正申請 TFDA 智慧醫材認證；HarDNet-BTS 腦瘤檢測技術，申請 TFDA 認證中。

(二) HarDNet-MSEG 研究成果受到肯定

Xilinx 公司成立於 1984 年，是一家專注於可程式化邏輯器件 (FPGA) 的半導體公司。公司的願景是通過 FPGA 技術的發展，創造出能夠實現任何人類想像力的人工智慧系統。Xilinx AI Library 為開發人員提供了一個快速、高效、易於使用的工具集，可幫助其在 Xilinx FPGA 上實現高性能的機器學習和 AI 應用程序。Xilinx 公司提供了多個獎金高達 10,000 美元的比賽，研究團隊以 HarDNet-MSEG 為基礎，在只用一顆 PGA 的情況下，可以執行 8 個 channel 的 HarDNet-MSEG，Xilinx 對其結果表示肯定，並頒發 10,000 塊美元的獎金給團隊。

團隊亦將 HarDNet-MSEG 進行足部潰瘍的檢測，參加 2022 年在新加坡舉辦的 MICCA(International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention)研討會，該研討會為國際重要的會議，研究團隊得到第一名的成績。

(三) 實際應用案例

HarDNet 有許多在醫學上的應用，如透過醫療內視鏡或是 MRI 所拍攝的影像資料，使用稱為 Semantic Segmentation (圖像的意義分割)的影像處理技術，做為辨識異常細胞或腫瘤的利器，這對自動化診斷醫學帶來重要幫助，目前 HarDNet 團隊與醫院合作，已有兩個重要成果，首先是大腸內視鏡的瘰肉偵測，根據醫療小組的評估，這個成果已達 90 分的水準，具備專科醫生的辨識能力。

第二個成果是從大腦 3D MRI 影像掃描資料中，辨識腦部腫瘤，為了驗證成果，團隊報名參加 MICCAI 學會的 Brain Tumor Segmentation Challenge Competition，2021 年是第十年的比賽，共有 1,200 組的參賽團隊，是獲選前 9 隊上台簡報中的一隊，取得令人讚許的成果，獲選者中不乏 NVIDIA 支助的資源豐沛的參賽者。由於大腦掃描 3D MRI 影像資料量龐大，比賽規定是在 6 分鐘內要做出辨識，結果 HarDNet 用了 20 秒就完成辨識，其表現令人印象深刻。

七、結論與建議

(一) AI 晶片需求超越以往、高效率及防禦力的新型類神經網路 HarDNet 問世

晶片應用範圍從 PC (辦公室)、手機 (個人) 到 IOT (物聯網) 愈來愈廣泛，AI 晶片的需求將十倍甚至百倍於過往之總和，我國電子、半導體產業與研究有相當好的基礎，對於 AI 晶片爆發的世代，臺灣佔有關鍵的地位。善用 AI 晶片與系統之功能，就如上一代善用網際網路數位科技一樣，將大幅提升各行各業之生產力與國際競爭力，進而推動產業發展。

近年來深度學習技術在影像辨識、物件識別、特徵診斷、語音處理等廣泛應用展現了驚人的成效，為了使這些應用普及，開發高效率的半導體技術是最為關鍵的部分。在科技部半導體射月計畫支持下，來自清華大學、交通大學、中原大學三校六位教授所帶領共 30 位研究人員，共同開發出最適合硬體實現的世界級類神經網路架構，取名 HarDNet，比起知名的 ResNet，HarDNet 只需三分之二的運算時間便能達到相同的準確度。HarDNet 在影像辨識、物件識別、物件追蹤、視訊語意分割等應用都有優異表現，研究團隊將成果發表於最頂尖的國際電腦視覺會議 (ICCV-2019)，並透過 GitHub 開源網推廣至全球相關社群獲得廣大迴響。除了科技部的大力支持外，國研院國網中心亦給予大量運算資源的支援與協助，如團隊參加 Brain Tumor Segmentation Challenge 就是使用國網中心的服務平台，才能與 NVIDIA 所支持的競爭對手同場較勁，並開拓 HarDNet 進入醫療產業的 Edge AI 智慧型應用領域，期盼未來在更多的醫療應用上發揮更大的貢獻。

HarDNet 對惡意攻擊亦有較強的免疫力，已有研究指出對抗式攻擊 (Adversarial Attack) 可以使訓練完成的深度神經網路模型對人為刻意設計的輸入資料 (Adversarial Example) 做出誤判，進而對模型的安全性帶來威脅並造成使用上的疑慮。以車牌物件偵測為例進行安全性分析後發現：HarDNet 的應用網路 SSD-HarDNet85 比起其它神經網路模型 (如 SSD-VGG) 具有更強的攻擊免疫力，如再加入對抗式訓練 (Adversarial Training) 的防禦機制後，偵測率可達 90% 以上。

(二) 參加國際競賽大放異彩

研究團隊運用 HarDNet 技術參加 2020 年低功率電腦視覺 (LPCV) 國際競賽，獲得銀牌與銅牌的佳績。其中一項是在 FPGA 硬體平台快速辨識給定照片中的物體，評分原則兼顧辨識準確度及執行時間，由交大黃俊達教授所指導的團隊初試啼聲即奪得亞軍，致勝關鍵在於採用 HarDNet 作為神經網路模型骨幹，透過優化動態記憶體存取大幅縮減辨識時間，取得辨識率最高的成績。第二項挑戰在設計小而美的神經網路模型、將之執行於運算資源相對匱乏的行動裝置上，測試平台有 LG G8 與 Google Pixel 4 兩款智慧型手機，由交大吳凱強教授所指導交大、清大聯隊，與美國麻省理工學院團隊並列季軍。

電機電子工程師學會(IEEE)自 2015 年開始舉辦國際低功率電腦視覺比賽。參賽的隊伍來自世界各地，包含美國、加拿大、中國、臺灣、韓國以及俄羅斯等國。歷年來獲獎的公司和學校團隊包括阿里巴巴、高通(Qualcomm)、亞馬遜(Amazon)、美國麻省理工學院(MIT)、韓國首爾大學、中國科學院、中國清華大學以及臺灣交通大學。今年的比賽有兩家臺灣贊助廠商，分別是聯發科技和義隆電子，顯示該挑戰賽在國際上同時受到產、官、學、研的高度重視。

(三) 成立新創公司並獲知名大廠採用

研究成果發表多篇論文於頂尖會議 (ICCV, AAAI, ICML 等)，申請 13 項 (26 案) 臺灣與美國發明專利、部分先期研究人員技轉所開發之技術成立「創鑫智慧股份有限公司」，甫獲准進入新竹科學工業園區，所開發之神經網路加速器矽智財獲得知名大廠採用整合於高階智慧語音處理 SOC(單晶片系統)，已經完成 MPW(Multi-Project Wafer)驗證，即將進入量產。

並且於 2022 年 5 月成立戴克智慧 (Daikso) 公司，其研發的「隨插即用的 AI 行動平台 (Plug-and-Play Mobile AI Platform)」，有別於目前的醫療 AI 公司，專注在單科別的醫療 AI 應用開發，Daikso 則是以開發「泛用平台」以支援各種醫療 AI 為發展方向。隨插即用的 AI 行動平台可轉換臨床上 X-ray、超音波、MRI 以及 ECG 等醫療訊號，整合到一台 iPad 平板，再透過裝載進 iPad 內不同科別的 AI 演算法，協助醫師判讀，而核心的技術就是 HardNet，目前已與國內長庚醫院合作。

智慧計算需求幾無止盡，透過研究團隊全方位的最佳化研究，可以達到一般方法做不到的成果，同時藉由開源軟體的開放學習與自由開發以及參與國際競賽可以使學生提升為國際一流的人才。

參考資料

1. Ratnajit Mukherjee, Haris Iqbal, Shabbir Marzban, Ahmed Badar, Terence Brouns, Shruthi Gowda, Elahe Arani and Bahram Zonooz, " AI Driven Road Maintenance Inspection," 27th ITS World Congress, Hamburg, 11-15 October 2021, Germany.
2. Ping Chao and Youn-Long Lin, "An Elastic Software Cache with Fast Prefetching for Motion Compensation in Video Decoding," IEEE/ACM The International Conference on Hardware-Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS), October 2010, Scottsdale, AZ, USA.
3. Ho Huang and Youn-Long Lin, "Scheduling for Synthesizing Portable System with Energy Harvesting and Storage," Annual Conference of Asia Pacific Signal and Information Processing Association (APSIPA) , December 2010, Singapore.
4. Huang-Chih Kuo and Youn-Long Lin, "A simple and effective lossless compression algorithm for video display frames," IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME), July 2011, Barcelona, Spain.
5. P. Henderson, J. Hu, J. Romoff, E. Brunskill, D. Jurafsky, J. Pineau (2020)Towards the Systematic Reporting of the Energy and Carbon Footprints of Machine Learning J. Mach. Learn. Res. 21, 1–43
6. Jonas le Fevre Sejersen, R.P.d.F.; Kayacan, E. Safe Vessel Navigation Visually Aided by Autonomous Unmanned Aerial Vehicles in Congested Harbors and Waterways. In Proceedings of the IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Lyon, France, 23–27 August 2021; pp. 3431–3440
7. Liu W, Wang Z, Liu X, et al. A survey of deep neural network architectures and their applications. Neurocomputing. 2017;234:11–26.
8. S. Lee, D. Lee and S.-C. Kee, "Deep-learning-based parking area and collision risk area detection using AVM in autonomous parking situation", Sensors, vol. 22, no. 5, pp. 1986, Mar. 2022
9. S. T. Isele, M. P. Schilling, F. E. Klein and M. J. Zoellner, "Annotating Automotive Radar Efficiently: Semantic Radar labeling framework (ser-alf)", Conference on Neural Information Processing Systems, 2020.

第六章 邊緣 AI 在智慧製造與工廠安全的應用

一耐能智慧公司(Kneron)發展為例

劉峻誠¹

摘要

越來越多的製造業者正在導入 AI，根據 Capgemini 的研究調查，超過一半的歐洲製造商(51%)正在實施 AI 解決方案，日本(30%)和美國(28%)分列第二和第三。尤其近年疫情也大力推動了 AI 的進一步落地。善用 AI 數據將是串連產線、廠務管理、物流、產品銷售供應鏈的關鍵。開始導入邊緣運算 AI，跟一般 GPU 或是雲端應用差異在哪邊?另外，最近火熱的 ChatGPT 也帶出邊緣運算 AI 的功耗與模型在特徵萃取的重要性。

而目前製造業導入 AI 的應用範圍，主要有三個領域，第一個是工業機器人，當電腦視覺與機器學習技術開始被大量部署到產線上時，在工業與製造業場景上的人機協作與全自動化將會越來越普及；第二個是邊緣特徵分析，邊緣技術可以截取在終端產線現場數據、將資料回傳雲端或是做不同系統的資料交換，應用範疇則包含瑕疵檢測、動態 yield rate 分析等等不同應用層面；第三個則是機器視覺技術檢測，從最初期的 AOI 光學檢測，到 AI 強化的 AOI，用於確保產品品質，提升產線良率。此外，機器視覺檢測還可以協助製造現場的工安管理，在人、機、物料貼近到危險區域時可以自動偵測發出警示。

製造業在導入 AI 後，有很多效益可被預期，如檢測、模具品質及設備管理維護預測等，確實定期保養減少異常停機損失與品質失敗成本；又或製造生產設備稼動的即時監控，可掌握生產狀態，並記錄站別及成本，分析不良原因及所耗費成本，建立品質改善，尤其是導入工業機器，利用行人、物件辨識、人臉辨識的融合檢測，可以做安全區域管控，提高生產效率與工廠安全。

一、前言

耐能智慧公司(Kneron)是在國際上比較早開始投入 AI 領域的公司，剛踏進這個領域時，人工智慧還是個非常冷門的產業，然而現在已經熱門到人人談 AI 的時代，這也代表耐能智慧很早就看到 AI 產業的潛力與趨勢，及早投入研發與生產。耐能智慧科技是 2015 年在美國的聖地亞哥創立，專門開發邊緣 AI 晶片，目前已在台北、新竹、深圳、珠海、杭州等設有分支機構，全球員工有 250 多人，並擁有全球客戶和合作夥伴，營收已達數億。截至目前，耐能智慧獲得的融資累計超過 1.6 億美元，其投資者包括李嘉誠旗下的維港投資、阿里巴巴創業者基金、

¹ 耐能智慧(股)公司創辦人暨執行長

中華開發資本、奇景光電、高通、中科創達、紅杉資本子基金 Cloudata、鴻海集團、光寶、台達電、華邦電子等。

耐能智慧在 2017 年時，推出一個可重構 AI 晶片架構，這個架構不只在學界，在產業界也已經成為一個主流架構，是世界上第一個可以將可重構架構 AI 晶片真正量產的公司，在國際市場上，能夠做到邊緣運算 AI 晶片量產的公司很稀有。所謂量產，是指 AI 晶片真正導入某項產品後在市場上供應，在產業界若可以量產將取得較高的市場地位。回顧 2017 年只有兩家公司真的可將 AI 晶片做到量產，一家是耐能智慧，另一家是中國的寒武紀 (Cambricon)。而相較於中國政府主動給寒武紀等新創公司一大筆早期資金，創業初期的耐能智慧就好比是紅葉少棒隊，不僅內部缺乏充足的資金開發 AI 晶片，當時市場上也不太理解 AI 晶片的存在意義。但到目前為止，耐能智慧使用第一代可重構架構的神經網絡處理 (Neural-network Processing Unit, NPU) 的 AI 晶片，當初因缺資金已授權賣出，據悉至今已累計出貨 1.2 億顆，讓耐能智慧的能量被看見。

如今的耐能智慧團隊，有創辦人過去在韓國三星、美國高通、臺灣晨星半導體等公司累積的人脈與能量，有客戶 (如中國騰訊) 提供的上億等級數據資料庫來訓練算法，最近一年可以生產 300、400 萬顆 AI 晶片，營收主要來自美國、歐洲、日本與韓國市場。

二、簡介邊緣 AI

人工智慧是透過機器學習 (Machine Learning, ML) 而來，如果學習的數據量越大，經過越大量的運算處理，所得到的結果就會越精準，但產生的大量數據，要放在哪裡做處理便是一大關鍵，長期以來，大部分多是在雲端執行，稱為雲端 (Cloud) AI，但隨著應用越來越廣泛，有些應用場景需要在數據生成時馬上進行運算，且對回應時間有較高要求時，就會希望相關的數據處理能從雲端往設備端靠近，如轉移到網路邊緣的強大伺服器，例如辦公室、5G 基站，或靠近連接設備端點的位置，這就是所謂的邊緣 (Edge) AI，或者就直接在端點設備上，也就是所謂的終端 (Endpoint) AI。相較於雲端 AI，進行邊緣運算的邊緣 AI 或終端 AI，不但能縮短回應時間，更能保護隱私，提升運算速度並降低終端設備實現 AI 的成本。

邊緣運算的人工智慧，最大的優勢是可以得到即時的運算力，但也要兼顧下列幾點：

- (一) 智慧解析：反應快、精準識別、避免誤判。
- (二) 資訊安全：隱私安全、去識別化、裝置保護。
- (三) 彈性部署省費用：支持線上遠端更新模型。
- (四) 低功耗：考量裝置的可移動性，如裝置沒電就會導致資訊收集與分析中斷，失去邊緣運算意義，故低功耗是一大考量。

(五) 數據更新：邊緣運算首重即時反應，故須特別注意資訊來源與時間的更新機制。

近年 AI 邊緣運算的趨勢興起，為因應各種應用的不同需求，各大晶片廠商也積極投入專為 AI 演算法設計的 AI 晶片，AI 晶片大致上可區分為 CPU(中央處理器)、GPU(圖形處理器)、FPGA(現場可程式化邏輯陣列)、ASIC(客製化晶片)等不同架構。CPU 和 GPU 晶片在雲端運算較有優勢，而應用於影像與視覺的 FPGA/ASIC 晶片則較有機會發展 AI 邊緣運算。這也促使各大晶片廠商都在開發各自的 AI 邊緣運算晶片，將 AI 運算從雲端逐漸向終端轉移。一旦邊緣 AI、終端 AI 日益普及，將更促進 AI 無處不在的時代到來。

三、耐能 AI 晶片的優勢

耐能開發的 NPU 晶片則是一種 ASIC 晶片，相比 GPU 能耗更小，也比 FPGA 效能更佳，面積更小，在能耗與神經網絡效率上表現出色，但依舊保有演算法的彈性，耐能 AI 晶片有三大優勢，簡述如下：

(一) 功耗低

耐能所開發出的晶片用電池就可撐起整個系統的電源需求，如臺灣自來水智慧水錶裡有耐能 AI 晶片，四年才需更換電池。如前面提及耐能智慧的投資方，很多是製造商，包含鴻海、台達集團、光寶等，在工廠的生產鏈面積都非常有限，不能用很大的晶片模組，對功耗的要求也非常嚴苛，這些投資方的製造商將耐能晶片應用在生產鏈上，可以用非常低的功耗，執行很高的性能，是耐能晶片一個很強的獨特特色。

(二) 可擴充設計

耐能 AI 晶片與目前主流的 AI 框架，如 Pytorch, ONNX, TensorFlow 1.6, Tensorflow lite, Keras, Caffe 皆可兼容，而且可與多個設備做串聯，可滿足不同應用需求並適應各種計算體系架構，進而產生多種不一樣的市場應用，而且差異非常大，市場上很少看到一家公司可以把晶片賣給車廠，又把晶片賣給製造公司，如台達、光寶或鴻海，也可把晶片賣給家電廠，如 Panasonic，這就是耐能 AI 晶片一個很獨特的武器。也就是說，如果把晶片比喻成一堆樂高的積木，當需要支持語音 AI 的模型時，便通過指令集進行組合，而當需要支持圖像 AI 模型時，再重新組合，開展出各種不一樣的應用。同時耐能也花了很多心思製作一系列用於製作軟體程式的工具(Toolchain)，而且盡量簡單到即使沒有很豐富的經驗，或不太懂 AI，也可以用耐能的 AI 晶片去開發出很多不一樣的應用。再加上自行開發從而可以很好地支持多種神經網絡模型，並保持架構的精簡性，由此也就同時帶來了性能和功耗的優勢，進而可以在與級別產品性能相同的情況下，選用更加成熟的工藝製程，降低成本，最終實現高性能、低成本、低功耗、高兼容性的優勢。

(三) 高品質

光從目前的客戶多是國際一線大廠，就很能證明耐能 AI 晶片具備高品質，同時擁有領先的圖像信號處理器技術 (Image Signal Processor, ISP)，可以記錄具有可感知細節、真實色調層次和更低噪聲的圖像和視頻；同時能搭配高效的視頻流校正方法(Electric Image Stabilization, EIS)，穩定視頻晃動，提高圖像品質；更結合了高性能硬件加速魚眼去扭曲器，允許實時去扭曲過程以顯著節省 CPU 負載，並靈活支持各種魚眼的幾何校正/廣角鏡頭提供業界領先的全景視頻形成質量。

整體來說，耐能智慧專注邊緣 AI SoC 專用處理器的研發，致力於為終端邊緣 AI 運算提供解決方案。擁有 AI 晶片、算法等核心產業自主知識產權和實力強大的研發團隊，主要以「AI 晶片+邊緣運算+圖像算法」為核心全面賦能智慧物聯、自動駕駛、智慧安防等細分場景。同時，以 KNEO 共享開發平臺為依托，幫助各行業的開發者快速開發智慧產品，實現商業化落地，加速驅動智慧化時代的到來。

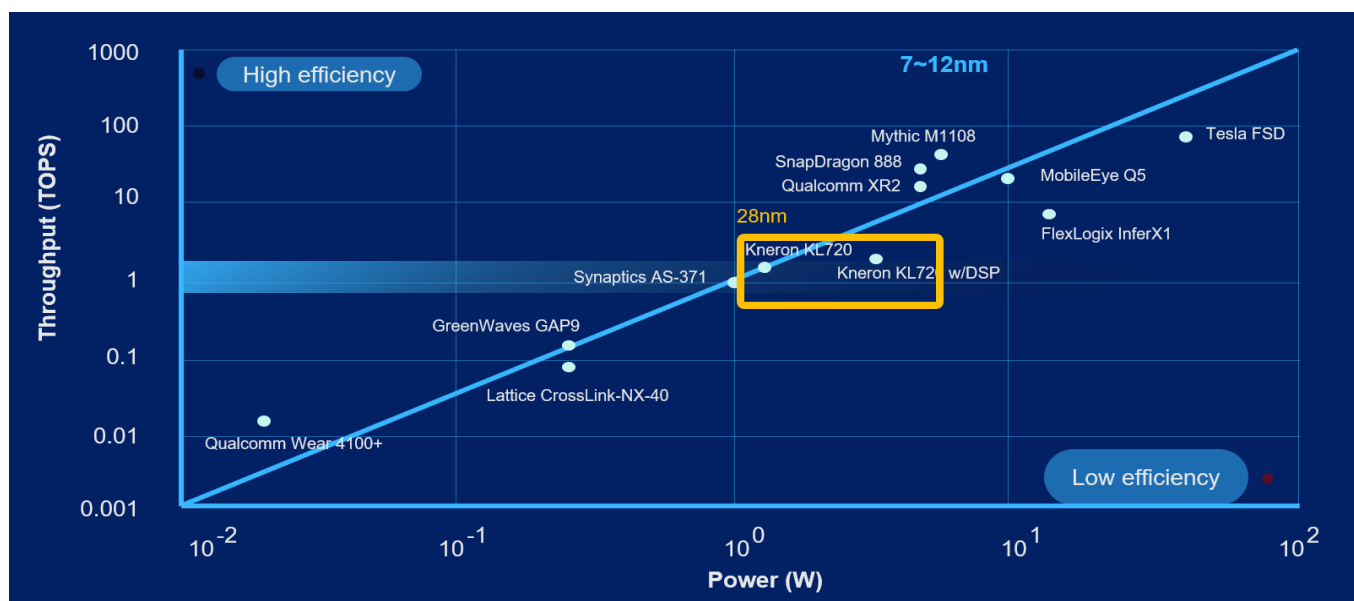
而耐能開發的可重構技術具體解決了存儲的問題，提升 MAC²的利用率。可重構技術實現了動態存儲 DMA³，當處理器對存儲沒有很高的需求時，就預先準備好，需要使用的時候就可以直接讀取，實現效率的提升。不僅如此，可重構技術還能動態支持同一個神經網絡的不同數據精度需求，最終的產品更可以根據客戶的需求，做不同選擇，其在性能、功耗、靈活性等晶片的關鍵指標之間具有更好的平衡。

以 2020 年發表的耐能智慧新一代 AI 晶片 KL720 為例，這款晶片具備強大性能、極低功耗、隱私保護以及安全性等特點，且多方支援 4K 圖像、1080p 高畫質影片和自然語言音頻處理，並可支持裝置抓取更多細節以進行精準臉部和語音識別，與其他同類型晶片競爭對手，KL720 將功耗降低超過 50%，以極低功耗為終端設備提供強大運算算力。

根據美國 Synopsys 前技術長、柏克萊大學教授庫特·柯澤 (Kurt Keutzer) 的研究報告，耐能智慧研發的 KL720 晶片運算效能，確實可以與國際大廠 Tesla、Mobileye、Synaptics 相提並論，如圖 6.1 所示。更有報導指出架構比較符合人腦，位居世界十大 AI 晶片之列，近年更是獲獎無數，於 2019 年的美國國家標準局公開競賽(NEST)輕量級 AI 數據的競賽，得到世界冠軍。

² MAC (Multiply Accumulate, 乘積累加運算) 是在數位信號處理器或一些微處理器中執行特殊運算的硬體電路單元。更多的 MAC 添加到加速器中是擴展神經網路性能的最簡單方式。

³ DMA(Direct Memory Access, 直接記憶體存取) 是所有現代電腦的重要特色，它允許不同速度的硬體裝置來溝通，而不需要依賴於 CPU 的大量中斷負載。否則，CPU 需要從來源把每一片段的資料複製到暫存器，然後把它們再次寫回到新的地方。在這個時間中，CPU 對於其他的工作來說就會中斷無法使用。



資料來源：A Survey of Quantization Methods for Efficient Neural Network Inference

圖 6.1 不同商業邊緣處理器效能比較

耐能智慧晶片的技術研究成果，也發表在國際最頂級的 Nature 期刊，透過整合記憶電阻(memristors)與互補式金屬氧化物半導體(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS)技術，可以創建一種計算-內存(computing-in-memory)架構，這種架構可以提供高效的深度神經網絡處理器，來提升人工智慧的效率。

四、耐能 AI 晶片的應用範疇

目前耐能 AI 晶片已逐步應用在五個領域，分別說明如下：

(一) 車用

耐能智慧是在 2021 年宣布進軍自動駕駛市場，自行研發的高性能低功耗 AI SoC，可賦能 L0-L2 智慧駕駛場景，搭載耐能智慧 AI 演算法可有效識別人、車、標誌及障礙物等，為用戶帶來卓越的駕駛體驗，助力安全駕駛。如搭配高達 500 萬像素、30FPS、120db 寬動態、星光級低照及硬體全景魚眼校正等，可以有效的適應行車過程中「過曝」或「過暗」等複雜光線場景，並可 360 度即時對駕駛場景的多目標進行辨識檢測，時間延遲低於 100 毫秒，輔助駕駛員進行盲點偵測、碰撞預警、駕駛行為偵測，降低駕駛風險，為智慧汽車帶來更敏銳的眼睛和更強大的大腦。另集成自研深度解析演算法、活體演算法和人臉辨識演算法，提供軟硬一體、端到端的車載 3D 人臉辨識方案，可應用在 B 柱人臉辨識開門、車內駕駛行為偵測系統(Driver Monitoring System, DMS)等應用場景。

目前已打入豐田汽車(Toyota)供應鏈，新合作對象包括歐系、中系、美系一

AI 智慧製造與數位轉型

線傳統車廠，已為多家汽車廠商商用，年出貨量約達 300 萬~400 萬顆晶片，2021 年營收達新台幣 5 億元，2022 年呈現倍數成長，並將進入車載先進駕駛輔助系統 (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) 應用。

(二) 終端伺服器

隨著數位化進程的加速，越來越多的設備 AI 化，更多的設備需求及流媒體數據的增加，耐能智慧 AI 晶片可讓邊緣伺服器，相較於雲端伺服器，更容易部署，費用更低，極高的安全性與保護隱私數據，讓私密性更強，不但可支援圖像及語音辨識，更可達到高頻寬，低延遲，回應迅速，更為可靠的用戶體驗。已廣泛應用於工業物聯網，智慧城市，智慧駕駛，智慧闖道等領域。伺服器端客戶含廣達、中華電信、美國康卡斯特 (Comcast Corporation)、韓國最大搜尋引擎 Naver 等。

(三) 安全監控

耐能智慧 AI 晶片可應用在包括城市安防、家用攝像頭、可視門鈴、電池攝像頭、180 度和 360 度全景攝像頭及機器人等領域。在一些超大廣角的安防監控場景中，耐能智慧 IPC 晶片通過專有的魚眼校正硬體模組，可對 180 度/360 度/720 度攝像頭圖像進行校正和拼接，相對傳統的魚眼校正處理方式佔用資源更少、效率更高，並且可對校正後的視頻畫面進行本地 AI 識別。在全球的安控市場上，過去因中國以國家力量支持，產品價格只需台廠 3-4 成，在全世界傾銷，所以目前市場主要是由中系大廠寡占。而除了中系大廠外，最大的國際安控廠就是韓國的韓華集團，目前韓華集團在市場上有 28-30 款產品，都是使用耐能智慧 AI 晶片。

(四) AIoT 智慧物聯網

AI 終端 IoT 裝置目前已經蠻廣泛地用在智慧城市、車用 ADAS、金融、智慧安控與智慧製造場景中，耐能智慧不只投入在 AI 系統晶片 (SoC) 的設計與模型壓縮上，而且還生產硬體，並借用 App Store 概念，推出可以讓開發者自由上架 AI 應用程式的 PaaS 平台「KNEO」，只要客戶購買耐能智慧的硬體產品，就能在商城裡購買人臉辨識、人形偵測、物件偵測等 AI 程式，且都可以用堆疊的方式購入晶片加強算力，自由地跟硬體搭配打造具備高效率的 AI 終端 IoT 裝置。

(五) 工業製造

AI 在工業製造領域的應用主要可分為分割 (Segmentation)、定位 (Localization)、分類 (Classifier)，以及偵測 (Detection) 這四種作用，衍生出五種應用型態：

1. 製造檢驗：包含品質管控、產率提升、缺陷預測。
2. 設備維修：維持生產、預測異常、及時回應。

3. 安全警示：存取控制、安全警報、資訊安全。
4. 供應鏈管理：改善供應鏈、減少浪費、節省成本。
5. 自動通訊：人機協同、改善溝通

五、實際案例

(一) 耐能 Kneron KL520 3D AI 臉部辨識之門禁系統方案

耐能智慧攜手漢芝電子(iMQ Technology)，共同開發了一款全新的輕量級 3D AI 臉部辨識門禁系統，此方案採用 3D 臉部辨識和 Silicon-to-System 技術，加速了其邊緣 AI 計算的應用。同時，該方案達到 BCTC 金融支付標準以及 FIPS Level3 的安全強度，從而把安全標準提升到了一個全新的層級。

3D AI 臉部辨識門禁系統採用耐能智慧 KL520 AI 晶片，具備強運算、低功耗以及低成本等特點，結合耐能智慧獨家研發可重組式 AI 模型以及自研的 NPU，從而可支援多種機器學習的框架與網絡模型，可廣泛應用於 AIoT 等各種設備。此外，採用 RGB+紅外鏡頭達到尺寸緊湊，而又可以靈活運用鏡頭，同時又具有高安全性和高精準度的臉部辨識方案，更為重要的是此系統成本僅為傳統識別系統的二分之一。面對日益嚴苛的臉部辨識系統安全標準，此系統臉部辨識算法不僅在 NIST 參與者中名列前茅，而且通過 3D 面具測試並通過 BCTC 支付等級的防偽認證，可有效防止因系統安全漏洞所產生的欺詐與身分盜用。

結合漢芝電子自有創新技術的安全加密晶片組 SQ7615 與 SQ7103，採用了 Root-of-Trust 與 Chain-of-Trust 技術的結合，達到了環環相扣的安全機制，從而進一步提升了系統安全層級。從系統運行開始，即馬上同步了「安全啟動」與「身分認證」，確保其在安全的環境中運行。通過加密保護，AI 演算法可防止被非法侵入，從而落實了系統完整的保護性。

安全加密晶片可將鑰匙、敏感數據、生物特徵(如：臉部特徵、指紋特徵)，儲存於具有高強度防篡改能力的信任區塊內，同時確保敏感的數據不被揭露或被非法第三方竄改。無論是點到點的資料傳輸，或是邊緣到雲端的身份認證，安全加密晶片都能保障數據的傳輸安全，並防止各類非法攻擊，將系統安全層級提高到全新層級。

(二) 耐能 KL720 晶片成功打入高通 (Qualcomm) 的產品線

2023 年耐能智慧自研的 AISoc 晶片 KL720 被高通技術公司所採用，用於機器人、無人機和工業 4.0 的高通機器人 RB1 平臺，以及高通機器人 RB2 平臺中，不但為智慧掃地機器人、服務機器人以及無人機部署了物體檢測等能力。在工業應用方面，則包括光學檢測、安防監控以及預測性維護。

從性能來看，耐能智慧的 AI 晶片導入高通產品線後，可以讓整體的 AI 運算

能力有效提升，平均導入每 2 顆耐能智慧的 AI 晶片，就能促使平台的 AI 運算能力提高 4 倍。耐能智慧的晶片就像樂高積木一樣，可以靈活堆疊，很適合平台方導入。導入的晶片越多，運算能力越好，而不會對性能及效率方面造成任何損失。

耐能智慧 KL720 作為一款低功耗晶片，有效計算能力高達 3eTOPS。經過高通公司廣泛而大量的測試及市場研究，該方案的每秒傳輸幀數（FPS）及每秒每瓦幀數（FPS/W）性能遠優於同級競爭對手。如此高的效率得益於耐能智慧高度精簡的硬體架構設計以及卓越的數據工作流組織能力。此番象徵著耐能智慧邁向下一個里程碑，不僅在商用領域有實績，其 AI 晶片實力也將會被更多人看見。

六、未來展望與建議

（一）ChatGPT 帶來 AI 晶片熱潮

面對 ChatGPT 熱潮，高速運算、高速傳輸等需求以快速上升。在可預見的未來，AI 晶片極有可能在伺服器供應鏈上被廣泛應用。歷史上只要有新的技術、新的趨勢出現，永遠都會伴隨新的領導廠商。遊戲圖像介面時代出現了 NVIDIA、搜索引擎出現 Google、社交網站出現 Facebook。

ChatGPT 由於採用 GPU 進行運算，導致營運成本居高不下，單是建構硬體須耗資 8 億美元，一年營運費用更高達 60 億美元。臺灣要發展自己的 ChatGPT 是可行的，使用比 GPU 便宜的 AI 晶片性價更高，耐能智慧 2021 年前便推出支援 Transformer 的 AI 晶片。ChatGPT 若採用耐能智慧的 AI 晶片解決方案，有機會將成本降至千分之一。

（二）車用 AI 晶片需求持續上升

日經亞洲（Nikkei Asia）2023 年 1 月報導指出，2022 年下半全球半導體市場出現供過於求的景況。智慧型手機晶片供應過剩，預估到 2023 年第 4 季才會緩解，PC 晶片過剩將於第 3 季達高峰，而後逐漸緩解，用於資料中心的晶片過剩，則可能延續超過第 1 季；相反地，車用市場仍見晶片短缺，可能維持一整年。

Tesla 對傳統汽車帶來很大衝擊，以前豐田等車廠還不想做電動車，但由於 Tesla 在 2021 和 2022 年的大成功，迫使傳統車企跟上趨勢。因此，雖然汽車銷售量在 2022 年成長趨緩，來自車用市場的 AI 需求仍相當強勁。

半導體業市況 2022 年下半轉冷，車用晶片需求則持續熱絡。開發邊緣 AI 晶片軟硬體的耐能智慧（Kneron）指出，車用晶片目前約佔耐能智慧出貨量 4 分之 1，以後裝市場為主，2023 年可望揭露打進前裝市場的消息，預計 5 年內車用晶片將成為主要營收來源。

（三）面對 AI 快速發展、AI 晶片公司的願景

MarketsandMarkets 報告指出，2022~2027 年全球邊緣 AI 硬體市場規模年均

第六章 邊緣 AI 在智慧製造與工廠安全的應用-耐能智慧公司(Kneron)發展為例

複合成長率(CAGR)達 20.8%，主要成長動能包括物聯網裝置、5G 應用、終端裝置影像分析等領域。到 2027 年前，智慧型手機仍是邊緣 AI 硬體應用的主場，亞太市場的成長動能最為強勁。此領域的主要玩家有蘋果 (Apple)、聯發科、高通 (Qualcomm)、華為、三星電子 (Samsung Electronics)、英特爾 (Intel)、NVIDIA、IBM、Google、微軟 (Microsoft) 等。

MarketsandMarkets 另一報告估計，2022~2027 年全球邊緣 AI 軟體市場規模 CAGR 達 28.9%，新興應用領域如自駕系統、智慧電表、預測性維護、安防監控、智慧城市為主要成長動能，尤以北美市場為主。報告顯示，邊緣 AI 軟體的主要玩家仍以美商居多，包括微軟、IBM、Google、亞馬遜網路服務 (AWS) 等，耐能智慧也以美國公司名列其中，其他上榜的則有大猩猩科技和中國的地平線機器人公司等。

回顧晶片發展史，過去的 CPU 是美國人定義，GPU 是 NVIDIA 黃仁勳定義，但以現在看來，很有可能邊緣運算的 AI 晶片將會是由耐能智慧來做定義。

參考文獻

1. Liu, O Law and I. Law, Understanding Artificial Intelligence: Fundamentals and Applications, Wiley, 2022.
2. Jiang, W., Xie, B., Liu, CC. et al. Integrating memristors and CMOS for better AI. Nat Electron 2, 376–377, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41928-019-0307-1>
3. 劉峻誠·陳宇春(2002)人工智慧應用在我家—使用 KNERON AI Dongle (耐能 AI 加速棒)，台科大
4. 耐能智慧官網：<https://www.kneron.com/tw/>

第七章 從產業 AI 化到 AI 產業化 - AUO 從內場域應用走向外場域服務

楊本豫¹

摘要

分享友達光電(以下稱友達或 AUO)智慧製造緣起以及轉型歷程，面對中國面板同業的大肆規模擴張，AUO 啟動由規模競爭轉向價值競爭的「藍湖策略」，生產模式逐步由大量少樣轉變為少量多樣的型態。因應少量多樣的製造效率挑戰，公司於 2015 年推動智慧製造，以大數據蒐集生產過程關鍵數據，建構大數據平台並進一步導入 AI 應用，將內場域製造從自動化推展到智慧化。過去七年期間，AUO 透過主管讀書會、AI 人才培訓賦能及 OT²/IT 部門專案協作等方式，循序漸進的執行智慧製造數位轉型推動產業 AI 化。截至目前 AUO 內場域已導入數千個 AI 模型，達到製程良率及生產力雙雙提升的效益。

近年 AUO 從內場域應用走向外場域服務，協助製造業者 AI 落地。基於所累積的深厚智慧製造能力與數位轉型經驗，AUO 於 2021 年成立友達數位(AUO Digitech, 以下稱 ADT)跨足到智慧製造服務領域，扮演數位轉型陪跑者。為達成執行 AI 產業化的目標，ADT 致力於將 AUO 內場域的 AI 應用經驗輸出至外場域服務，提供(1)智慧製造工廠整體解決方案及(2)以 AI 技術為核心的智慧解決方案。累積至今已經服務總計超過 30 個製造行業樣態及 700 個客戶，為其量身打造數位轉型落地方案，協助客戶循序漸進落實工廠自動化與智慧化。

一、前言

面對 AI 時代的來臨，臺灣所有的大企業都在談價值轉型、策略轉型，但轉型的目標是需要先被界定，方向明確後，所有的行動策略才能水到渠成。所以在轉型之初，友達內部也做了很多的討論，最後形成共識，定焦在把企業本身內場域所孕育的一些核心技能，商轉成可以對外服務的新創事業，亦可稱為場域經濟化。所以 ADT 就此誕生，肩負的任務就是把友達が在產業 AI 化過程中，所累積到的 know-how，轉化成對外的產品服務，內場域的產業 AI 化走向 AI 產業化外場域服務。

¹ 友達數位科技(股)公司董事長

² OT 為 Operational technology(營運技術)

二、AUO 智慧製造轉型

(一) 契機

從 2009 年開始，面板業就面臨來自中國大陸利用國家資本瘋狂擴張的產能規模，在這一個非常大的競爭威脅下，友達高層開始思考，臺灣的面板業起步早，已經走了二十多年，但相較於中國大陸在面板業才十多年，就已發展成已占全球面板產能一半以上的局面，從一個 2010 年初才開始發展面板產業的後進者，透過國家資本的擴張，成為全世界面板產能最大的國家。而面臨這樣的市場競爭，友達定調的策略就是必須從規模競爭走向價值競爭，也就是價值轉型。呼應簡禎富副校長所提的藍湖策略，就是要從過去應用在消費性電子的大量少樣生產的型態，轉換成少量多樣的客製化生產型態。

(二) 友達智慧製造

目標跟方向都有了，首先便要盤點友達の價值核心與競爭力，進入智慧化時代，友達發展出雙軸轉型，第一個是「Go Premium」，指的是透過智慧製造產生高附加價值，藉此避開規模競爭走向價值競爭，亦可稱為產業 AI 化的過程；第二個是「Go Vertical」，指的是面板是否有更多元、加值的智慧應用，也就是所謂的 AI 產業化，智慧製造是為了價值競爭、做少量多樣的數位轉型而準備，更是可以對外輸出的服務。

但過去都是習慣大量少樣的規模生產模式，要走向少量多樣的生產方向，第一個要面對的就是製造效率上的挑戰，如何將製程複雜週期長、改善速度慢、管理不易的製造流程，轉變成高彈性、高品質、精準生產的模式，以因應外部環境少量多樣、客製化、高規格高價值、短產品週期等要求，這就必須仰賴智慧製造的導入，才可能達到。

而智慧製造的導入又是甚麼樣的概念，簡單來說就是從 Reactive(反應性)到 Predictive(預測性)，再到 Proactive(主動性)的過程。比方說早期的工廠都是等機器設備壞掉了才去修理，這個就叫做 Reactive，隨著經驗累積之後，就會進一步知道這個機台可能用兩年哪些零件就會壞損，需要做更換，所以兩年快到時，就趕快換零件，這就是 Predictive，但不管是 Reactive 或 Predictive，都會造成額外的浪費，因壞掉才換，表示會造成生產線停頓，產能就會受到影響，而時間到就更換零組件，有可能零組件還能用並還沒損壞，提前做更換也是種浪費。而透過智慧製造導入 AI，才有機會做到 Proactive，就是在零組件壞掉的前一刻才做更換，並將產線停擺的時間縮到最短。

而在智慧製造導入決策中，絕不能為了智慧製造而智慧製造，而是要先設定好關鍵績效指標(Key Performance Indicators, KPI)，如要提高多少的良率?或是達到多少的投資報酬率(Return on Investment, ROI)，這才是有所本的智慧製造，才能夠達到想要追求的效果。

(三) 友達智慧製造轉型歷程

友達是在 2016 年開始依據德國工業 4.0 的構想，在主管群先成立讀書會，藉由一起閱讀很多有關 AI 製造的書並做分享，了解工業 4.0、大數據，來建立高層的策略共識，也認知到要從高層管理者的心態徹底做改變，才能真正驅動一家公司的轉變，不然就只會產出一堆洋洋灑灑但又執行不了的文案。所以高層主管一定要親自去理解智慧轉型的真正目的，能達到甚麼樣的效果，領導層的心態轉變是一個非常重要的起始點。

接著在 2017 年成立智慧管理辦公室，這是由外部專家顧問與內部資料團隊所組成，開始進行員工賦能，所以在 2018 年送了千餘位員工到臺灣人工智慧學校培訓，當時有六家公司贊助臺灣人工智慧學校，友達就是其中一家，這個意義不僅僅只是贊助，更重要的是讓友達の員工被賦能。當員工有些基礎後，就開始在廠內從專案試點做起，多是由工廠的產線工程師或 OT 人員主導，技術單位 IT 提供工具方式，建立專案組織執行，完成專案後也會以舉辦 workshop、參加智慧製造展，作成果展現，藉以形成內部良性競爭。例如 2020 年推出的「全流程數據中台智慧工業服務」專案，以及 2021 年的「資料治理雲地混合智慧場域服務」專案，讓數據治理做到最好效率，進而做到有品質的 AI。以上就是友達在智慧製造的整個轉型歷程。

(四) AI 人才培育是智慧製造轉型的關鍵

早在 2001 年，為了鼓勵每位友達人持續學習發展，依據專業核心能力發展與次世代人才培育需求，便針對內部員工訓練開設「友達大學」，此大學下轄 5 個學院，分別對應企業所需的專業，包括工學院(製程整合)、理學院(研發人才)、領導力學院(主管訓練)、通識教育(人文/科學課程)、與未來學院(未來技術人才)，另外還有一個教育訓練執行委員會(負責各部門專業養成)。而在友達整個智慧製造轉型過程中，更加體認到轉型的關鍵在於 AI 人才的培育，且深感除了內外部訓練之外，更重要的是場內實務應用經驗的累積，所以逐漸地讓有 AI 使用經驗的主管，帶領員工在公司內部成立一些搭配實作的課程，並時常舉辦學以致用的發表會，達到內部的教學相長。

所以累積到現在，整個友達有超過兩千多個 AI 使用經驗，同時培養了約 2,000 位相當有能力的 AI 工程師，並已累積 5,000 多個 AI 演算引擎，這也是推展員工賦能，所獲致很大的成果。

(五) 全員 AI 賦能的意涵與效益

在 AI 智慧製造中，有一個很大的指標關鍵，就是人工智慧(AI)加上物聯網(IoT)，也就是大家常提到的智慧聯網(AIoT)，在導入智慧製造時，常會碰到資訊單位(IT)與工廠單位(OT)，因各有各的專業，兩者間的溝通常常會有雞同鴨講，各說各話的場景發生，這會嚴重阻礙協作成效。為了跨越這個障礙，除了 IT 工程師

要接受 AI 教育的培訓，OT 工程師、RD 研究員、供應鏈控管者、甚至業務人員，都要接受 AI 相關知識的訓練，公司上下對 AI 智慧製造都要有一些基本的認知與概念，如此一來才會有 AI 的共同語言，IT 與 OT 間就能很容易進行協作與分工。如 IT 單位就可致力於打造平台，讓 AI 技術深化，OT 單位則能專注將平台與技術實際應用落地，並進行場域深化，透過跨部門間的合作並緊密協同，就會開始產生非常多的成果，成功將 AI 應用在提升製程管理、設備維護，以及生產線效率上，相關作法與成效簡述如下：

1. 精準製程控制

為了走向價值競爭，針對一些高階產品的產線開發，可利用 AI 技術，透過關鍵因子解析，並進行即時監控校準，讓製程產線做到最佳化，有個實際案例是將良率從 90% 提升至 98%。從事製造業的同業都知道，產線的良率要提高 2~3 個百分比都是很困難，能一次提升 8%，這個難度相當高，但透過 AI 確實達到了。

2. 設備預測維護

前文提及智慧製造的導入就是從 Reactive(反應性)到 Predictive(預測性)，再到 Proactive(主動性)的過程。而預測與健康管理(Prognostics and Health Management, PHM)平台就是一個設備健康管理的系統，先透過大量的數據採集建模，做到精準的預估，目前友達已發展出 2,000 多個模型，讓設備維持在一個很高的健康度，不但能降低當機次數，且能讓維護時間縮到最短時間。

3. 智動化生產

智動化生產可應用到智慧搬運、全自動生產，以及瑕疵檢測，其中瑕疵檢測是最具體，AI 導入的效果最彰顯。從事製造業的業者多會先導入自動光學檢查 (Automated Optical Inspection, AOI)，但有一個共同痛點，就是為了確保把瑕疵品擋下來維持高品質，通常都會把 AOI 的標準設定高一點，導致 Overkill(過殺)，降低良率提高成本，又或是一些未曾發現的瑕疵，因 AOI 是個預設的設計，在新的模式產生時，很多新形態的瑕疵品檢測不出來，造成 underkill(漏放)，但如導入 AI 後，瑕疵檢測就會變得非常有效率。以友達為例，將 AOI 全面 AI 化後，整個生產效率提升超過 30%。

三、AI 產業落地化應用

友達自身就是一個非常龐大的內部製造場域，多年來透過人工智慧與物聯網等技術累積許多製造經驗，優化產線與工廠，這些成功轉型經驗，除了能非常清楚瞭解業界導入 AI 的痛點外，更可以轉化為 ADT 對外部客戶提供的智慧製造服務方案。

(一) 開啟工廠數位化關鍵金鑰-SPIIDER³智助機上盒

很多製造業有心想讓公司數位轉型，但都面臨一些類似的難題，例如設備老舊無法取得數據、導入過程造成停線損失與設備異常，造成良率損失等等。友達雖位列高科技產業，但設備也不是最新穎的，以龍潭廠為例，已運行 20 多年，一台 PLC 機台動輒上億元，改機成本相當昂貴，且根本已找不到設備原始裝設廠商，將 20 年老舊機台升級 IoT，是老舊工廠智慧化的第一步。所以友達內部形成一個團隊，設法開發出一套軟硬體整合系統，也就是一個取名為 SPIIDER 的 IoT 機上盒裝置，讓老舊機台數據蒐集更容易，不只免停機就能安裝，避免設備停線損失，或者設備異常造成的良率損失，甚至可以做到隨插即用。累積到 2022 年，全公司 19 個半導體製程產線已部署超過 3,000 多套這樣的裝置到年資超過 15 年以上的設備中，且做到無痛連網，每天蒐集機台 22 萬筆 PLC 參數，並透過機器學習(Machine Learning)，導入 AI 用來監控設備健康狀態，實際執行的成果，讓停機降低 30%，維護成本降低 20%，品質良率提升 5%，也省下百萬美元的改機費用。

AI 的基礎就是數據，而透過 SPIIDER 智助機上盒可將老舊設備的資料擷取出來，再利用 WiFi 回傳到自行開發的精準保修平台，這樣才可利用 AI 技術，了解設備的健康度，並將分析結果以視覺化呈現，同時也將這些數據儲存到雲端資料庫，作為後續大數據分析使用，做到 Proactive 的預知保修，預知設備狀況也才能知道如何保養，確保停機維修時間降到最短時間。最後搭配友達 PHM 設備健康管理平台，平台上提供了許多可以選用的預警功能，包括有 AI 異常檢測、健康評估、異常診斷、壽命預估等預警功能。目前這整個解決方案已導入的產業，包括半導體矽晶圓廠、石化產業、水泥製造業...等等。也順利解決客戶設備不預期停機影響產能、產線上老舊機台無法收集 PLC 數據，以及改機費用昂貴等痛點，加快客戶智慧化的腳步，同時達到預期的投報率(ROI)。

此外，淨零碳排幾乎已變成所有製造業的剛性需求，如果不能把二氧化碳排放做有效的管理，並將相關數據做正確呈現，可能連訂單都接不到。製造業的製程通常比較長，每個製程的耗電量，以及哪個製程點可以節電，得要安裝感測器取得數據才能作分析，而安裝感測器通常要停機，停機本身就是一種效率的浪費。而友達提出的方案，可以做到不需停機，即插即用，甚至連佈線都不用，相當便利。主要是利用 SPIIDER 智助機上盒把所有設備上的電流數據擷取出來後，就可以透過 AI 去診斷哪個製程異常的耗電，或是哪個製程電流不穩定，以及造成良率漂浮的原因。這也為碳排管理邁出第一步，藉由用電分析，提供一個很好的進行改善著力點。所以在能源管理上，友達打造一套 Smart Grid 智慧能源管理平台，利用物聯網技術連結應用設備元件，進行設備數據收集，從機台設備蒐集的電流解析 IoT 機上盒等設備的資訊，並與相關資訊融合搭配，提供高可讀性的圖表，

³ SPIIDER: Super IIoT Digitization Expert

做到節源調控，成為用電管理精緻化的利器。友達導入後，一年減少碳排 4,745 噸，相當於 12 座大安森林公園碳吸附量。後續也有能耗較高的產業導入，成功解決客戶設備用電流向不清晰，不易分析個別差異，以及需停機安裝電表等痛點，在原有的電力系統架構下，可即插即用、免佈線，達到快速且精準耗電解析的專案效益。

(二) 人人都可以成為 AI 達人-Smart AI

除了數據的採集與分析外，更重要的是如何形成 AI，才有機會開展 Proactive 的階段。很多製造業的老闆對 AI 都有一種焦慮，要如何開啟 AI 轉型的第一步？需要大量專業的 AI 資料科學家？需要高階的伺服器、運算主機？其實這是大家共同的焦慮與困擾，而針對這樣的焦慮與困擾，友達開發出一個隨開即用的 No-Code 平台，當 SPIIDER 擷取到的數據，可以透過這個 No-Code 的零代碼平台賦予 AI 功能，友達內部就是利用這個 No-Code 平台，讓不懂演算法、但有好點子的同仁不需要寫程式，就有工具解決問題，在製造場域導入上千件 AI 專案和自動化專案，生產力提升 30% 以上。原先這套平台的使用者介面(UI)，其設計流程是提供給面板作業使用，但團隊重新設計了 UI 和操作流程，調整成其他行業也容易使用的 UI 和操作介面，整合成一個稱為 Smart AI 的解決方案。

Smart AI 可以降低客戶的 AI 落地門檻，將收集到的各種型態的資料，如數據、圖片、影像等，透過 Smart AI 內建豐富的演算法，進行圖像式、拖拉、點擊等 No-Code 引導式操作，進行資料標註(labeling)、模型訓練(modelling) 與模型使用(inferencing)，完成 AI 模型的建立再加以應用，目前已實際應用在作業安全監控、環境安全監控、人員動作監控、作業效能監控、最佳參數推薦、關聯式分析等多面向，從賦能員工擴展到賦能客戶，簡單的說，就是與其賣魚，不如賣釣竿，讓客戶釣到自己想吃的魚的概念，透過 No-Code 平台，讓客戶自己也能找出 AI 應用方案，並以“人人都能成為數據與影像 AI 應用的達人”為最終目標。這也是友達目前正積極推展的一個服務概念。

以一個位居全世界前三大 IC 載板之一的公司為例，導入 Smart AI 後，透過相關數據採集，就可以做到產線動作流程與手部動作的監控。當初這家客戶的痛點是發現瑕疵品很多，探究其原因主要有兩個，第一個是因為產線上的操作員很多，領班無法時時刻刻確認操作員是否遵循 SOP 標準流程，有時操作員為了便宜行事，沒有按照 SOP 標準流程，因而產生一些不應該產生的廢料，所以透過動作流程的監控，一但有操作員便宜行事，Smart Camera 就會馬上示警警告，操作員就必須回到標準的 SOP 生產製程。第二個則是發現很多瑕疵是人員在監控製程時，手不小心碰到載板所造成，而透過 Smart AI，用 No-Code 的平台引導這家公司工程師做出 AI 監控，減少人員接觸載板機會。完成這兩個 AI 導入專案後，整廠的產品報廢率降低了 20%，這對一個電子製造業來說，是很不容易的里程碑。

四、攜手生態圈夥伴協助企業 AI 落地

ADT 以成為跨業態全方位的智慧製造解決方案提供者為目標，一開始是由供應鏈開始切入，先與供應鏈形成一個共好的合作，不管是智慧製造、智慧轉型，都讓供應鏈先開始參與。所以與供應鏈有一個智慧虛擬平台，也希望跨入更多業態，產生最大的綜效。深信即便是不同業態，大家對於 ROI、ROE 的要求都相同，在技術導入、落地方面，一定有可以互相參考、援引的地方。在這個過程中，「共好」心態是核心，透過友達內場域驗證的方案，可以更事半功倍的達到智慧製造的成功。

智慧製造是一個應用落地場景非常多元的一個專業領域，所以 ADT 進一步透過開放平台生態，結合更多合作夥伴進一步實現科技共享與能力加持，共同創造製造業綜合性解決方案，攜手服務更多企業轉型，目前已有很多夥伴共同參與，如軟體夥伴 IBM、微軟；工業電腦夥伴有友通、研華、新漢、凌華；設備夥伴有做自動化的盟立、做機器手臂的 ABB 跟達明...等等，而依照不同產業屬性，組成很多夥伴生態圈，大家緊密合作，將產品跟服務相互結合，共同創造更好的解決方案。縱深行業垂直領域，共建行業平台，打造行業標竿，並致力於跨行業、跨領域的 AI 賦能，促進產業鏈升級。

五、結論與建議

企業轉型是個小到求取生存，大到如何帶領員工與公司、供應鏈、投資人一起往前的過程。友達管理階層一直致力於帶領公司做雙軸轉型，一步一腳印，在這個過程中，需要不斷的凝聚共識，滾動式調整，以快速、穩健的步伐前進。以前面板業常說十年磨一劍，現在是一年磨十劍，透過不斷的重新學習，往共同的目標邁進。

再者，從友達自身智慧製造轉型經驗中可以發現，永續與數位轉型都是一條永無止境的路，對企業來說不只是 ESG，更是未來的核心競爭力。這不僅是友達本來的責任，也是友達企業的 DNA，生態圈的共好，對整體企業長期發展至為重要。基於這樣的理念之下，友達將導入智慧製造進行產業 AI 化的過程中，內部積累的智慧製造、數位轉型及永續減碳等相關經驗，以及過程中所得到的 know-how 轉化成對外的服務能力，加速 AI 的產業化的進程，這也是成立 ADT 的起心動念。

ADT 目前服務對象可區分成兩大區塊，一個是從無到有做整廠規劃，從戰略諮詢、整廠規劃到數位化工廠及雲平台，提供智慧製造工廠整體解決方案；另一個是基於 AI 技術的智慧硬體與解決方案的服務，如 AIoT 解決方案、AOI 解決方案、大數據服務、Smart AI 平台...等等。然而，企業在進行智慧製造與數位轉型的過程，就好比是一場馬拉松，ADT 希望能夠扮演數位轉型的陪跑者，透過提供友達深厚的智慧製造與數位轉型能力，協助製造業者數位化與智慧化落地。

第八章 智慧宏遠數位轉型之路分享

曾一正¹

摘要

宏遠從 2014 年底開始推動智慧化進行數位轉型，制定智慧宏遠策略地圖以明確化推動方向，並依四個層面進行展開。作業控制層(CIM)部分就是要將公司重要的機台及瓶頸機台，裝設感測設備進行資料蒐集並以 IoT 進行即時的資料傳輸，並且與上層的現場管理層(MES)系統結合，再與企業營運層(ERP)系統的整合，由下到上將所有資料串聯起來之後，再往上進行協同商務以 BI 商業智慧以及 AI 人工智慧的運用，提供相關的分析決策。

定義智慧工廠五大特色，在互聯的部分就是必須要連線到相關的重要生產設備，做到即時的數據收集，優化部分就是進行設備自動化以及用最少的人力達到最高的生產效率，透明化是現場透過可視化看板工具提供即時資訊，來協助達成快速決策分析，在前瞻性的部分就是要做到預測變化與事前防範，應用機器學習與深度學習提升品質與良率，靈活性的部分就是要具備有彈性跟適應的排程調整能力，可進行動態排程與調動最佳化資源。

在後續我們要以數據為核心將資料做整合中樞，進行 AI 相關的數據分析應用，包含 AIoT 的整合運用、引進 AI 虛擬資料科學家平台。目前已開始由各部門領域專家與 IT 合作建構專屬的資料湖，將資料整合成為有用的資訊於數位主線平台，再運用知識/工具/方法來進行 AI 大數據分析，將產銷人發財各面向驅動，讓營運流程決策自動化，朝人工智慧工廠的方向邁進。

在永續的部分宏遠從 2007 年開始推動 ESM 永續經營模式，而循環經濟、環保永續、社會關懷，一向是宏遠所力倡的經營理念和使命。現今臺灣廠區的用電已經比 2006 年減少了 53%，用水也降低了 60%，廠區有 2 座鑽石級綠建築及綠色工廠認證，且通過生態社區認證；宏遠從 2021 年開始規劃建設發電量 4,088 Kw 的新太陽能發電系統，同時積極地尋找可替代性的燃料如生質燃料等。水回收部分則會將水回收比例提高至 50% 以上。同時為了呼應政府的淨零排放目標，宏遠也制定了減碳目標，以 2020 年為減碳基準年，2025 年之前要減少 25% 總碳排放量，2030 年要減少 51%，2050 年要達到淨零排放。

¹ 宏遠興業(股)公司數位長

一、前言

智慧宏遠的源起是葉清來總經理在 2014 年 10 月份出差到上海，在飯店看到一本福布斯的新製造革命，他發現工業 4.0 以及互聯網的魅力，於是回到臺灣之後就成立智慧宏遠全球推動組織，開始推動公司的數位改革，讓宏遠除了在創新與永續領先業界外，更要以智慧化來提升宏遠與競爭者之間差異化的核心競爭力。總經理開始大量閱讀有關工業 4.0 智慧製造數位轉型相關的文章書籍，並分享給主管和同仁，由總經理帶領各部門主管共同學習並以讀書會的方式相互交流分享且不斷的向外標竿學習，做中學/學中做，不斷累積數位轉型的知識與經驗。



圖 8.1 大量國內外學習：智慧宏遠之旅，做中學/學中做

二、推動組織與策略

成立智慧宏遠全球推動組織，由總經理擔任推行總主席，整合全球各廠共同推動。共分為人機整合自動化組、智能營運管理組、價值鏈協同組、以及智能技術組，為了推動智慧宏遠特別成立智能技術組，從外部找尋有關 ERP/MES/CIM 以及 AI 大數據機器學習的專家，並邀請外部的產學研專家擔任顧問，共同推動智慧化數位轉型。

宏遠推動智慧化的主要方向是依據清大簡禎富教授的工業 3.5 的概念，要從工業 3.0 的自動化到工業 4.0 的智慧化無法一次到位，我們要優先去發展自我的強項能讓智慧製造系統發揮效能的部分，包含在大數據分析及彈性決策等，也就是我們先要將公司裡老師傅的經驗進行數位化跟系統化建置成為數位大腦，如同鋼鐵人的人機協同，90%靠數位大腦提供大數據分析，10%由人進行最後的決策。

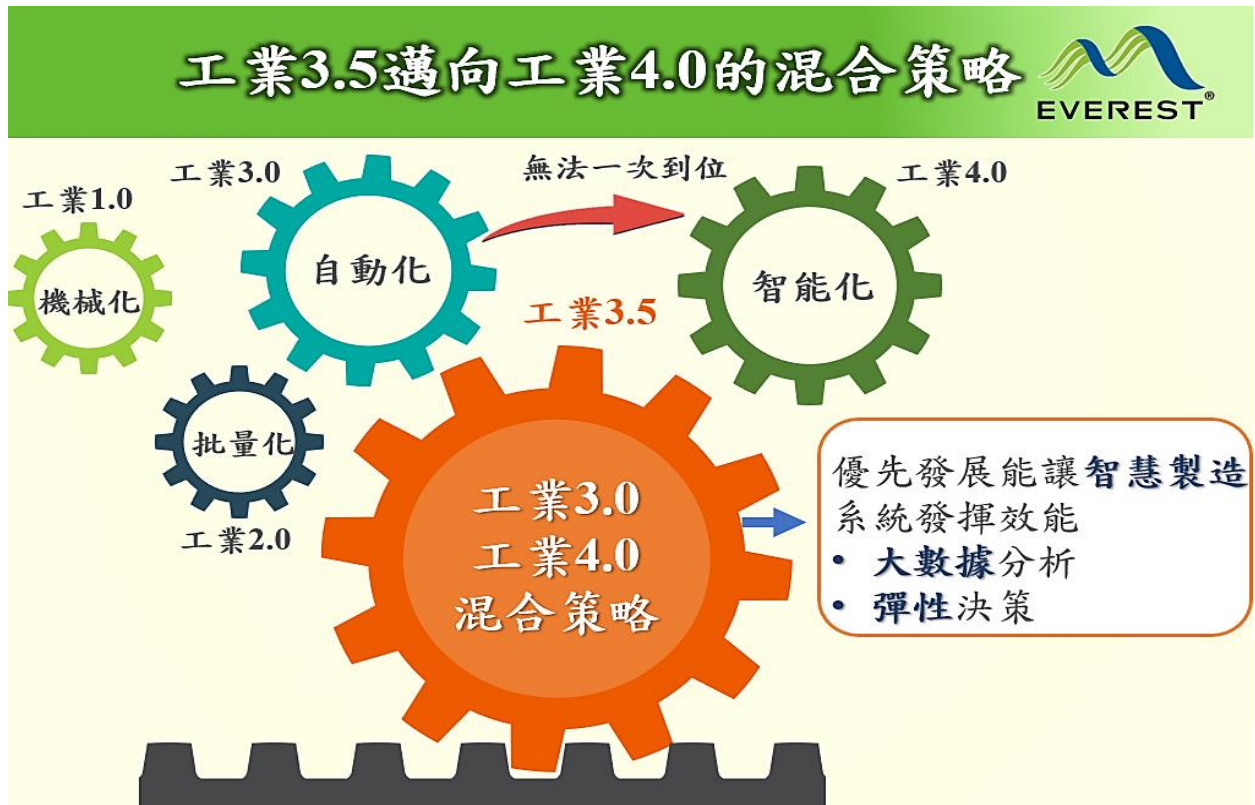


圖 8.2 工業 3.5 邁向工業 4.0 的混合策略

三、數位轉型歷程

宏遠數位轉型的歷程，我們依據智慧宏遠策略地圖及工業 3.5 的理念進行數位轉型策略展開推動，首先我們將現場的一些重要機台及瓶頸機台進行自動化及安裝感測器，進行即時的資料收集與中控，包含染色機自動秤藥系統、EVS AOI 智慧驗布系統，布車定位系統以及能源監控系統等，以 IoT 將相關的數據蒐集。將系統的核心 ERP 系統更新為 SAP 最新版本 S/4 HANA 系統，並將生產管理系統導入資通的 MES 系統，同時我們也將辦公室進行事務流程自動化，包含 EIP(Enterprise Information Portal) 辦公室的平台、BPM(Business Process Management)線上簽核系統、RPA(Robotic Process Automation)流程機器人等，同時與清華大學合作進行染機智慧排程，並且開始與外界合作進行 AI 的分析應用。在 2015 年到 2020 年之間是推動工業 3.5 以系統化+自動化+人機協同。後續將要以數據為核心，將資料做整合中樞，進行 AI 相關的數據分析應用。



圖 8.3 宏遠數位轉型歷程

四、數位轉型案例分享

以下進行數位轉型相關案例分享，首先引進土耳其 ENMOS 自動秤藥系統及流亞科技公司的自動秤助劑系統，將不同型號的染色機中控進行整合，並串聯 MES 系統。以前都要以人工的方式做秤藥作業，現在作業人員只需刷製程卡上的條碼，將布送進染缸關上染缸後，機台中控就會自動呼叫 MES 系統，將秤藥資料及染機機台參數資訊傳送給中控系統，進行後續的自動秤藥及自動染色統一作業，此人機協同自動化作業，可以節省人工 8 人、節省染料 10%、助劑 6%、同時也讓整個對色率提升及重修率下降、染色產能提升 20%，總投資費用 3,000 多萬，每個月可以節省 190 萬，大約 18 個月就可回收成本。

宏遠引進智慧能源監控系統是與工研院合作，將全廠區的用電資訊整合做智慧電網的監控。另外在空壓機的部分也整合空壓機和鍋爐的感測器資訊，並將廢水檢測的排放資訊整合進來做監視，同時將消防防災的監視也納入系統，將這幾個系統一起整合到 SCADA，讓人員有效地進行管理。

染整廠生產完後要由品保人工來進行驗布記錄瑕疵，非常耗費人力，且人的眼睛驗布久了容易疲勞而漏判，而造成客訴的風險。引進以色列的 EVS 智慧驗布系統，應用高速相機進行布面的 AOI 瑕疵拍攝檢測及定位瑕疵位置，並且應用分

光儀進行左右移動進行色差的分析，這樣可以將原本要大量應用人力驗布的部分用自動化驗布降低人力需求，共減少 22 人且整個生產力也提升 30%。

我們也與清華大學簡禎富教授及團隊合作，進行染機先進排程及動態排程，將調度室老師傅的經驗數位化、系統化，並將有關染機的限制條件包含訂單交期、機台限制、機台負荷、RGB 顏色等經驗，運用大數據與演算法進行自動排程，大幅降低人工排程的時間，由原本每天的 6 個小時變為 5 分鐘，整個提升達交率，減少作業時間，同時也讓機台可以平準化生產。並且藉由可視化看板進行靈活的調度，讓加工缸數及繳庫量提升。

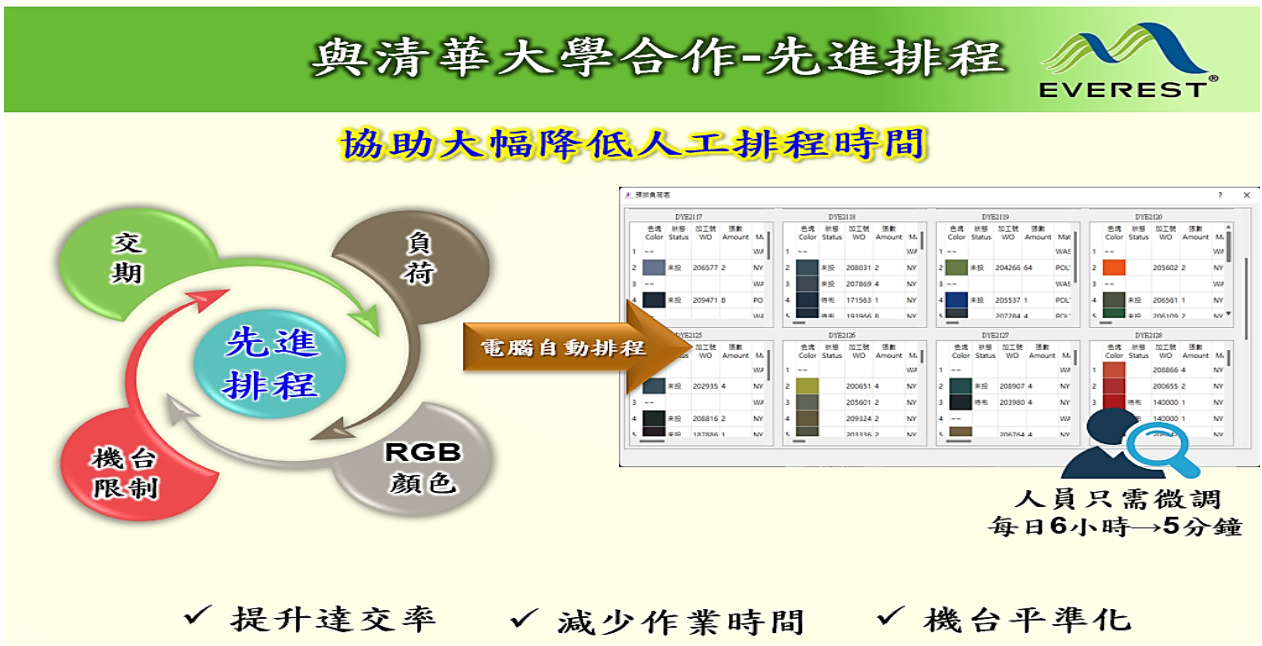


圖 8.4 與清華大學合作-先進排程

經與清華大學的合作，我們將此經驗延伸擴展到相關的可視化看板的應用，從原本描述型的看板，僅呈現實際數據的資訊，到先成為知識型的看板，將資料計算後顯示相關重點項目，直接指示人員去執行，現在是輔助決策性看板，可做到整合相關重要的資訊，提供主管做快速彈性的決策，以下介紹幾項應用很好的管理看板。

第一個是染色機智慧管理看板，主要是將分散在各地的資訊做一個整合，回饋現場，將染機的中控資訊、染機負荷、排缸、站點進出，以及清大的動態排程資訊做整合。原本光是從這幾個地方查詢的時間就要 3 到 4 個小時，現在可以直接在管理看板看到相關的即時資訊，依看板的指示行動，並且以顏色去做管理，綠色是代表正常運作，白色是代表停機，黃色是代表再 30 分鐘就完成了，紅色是代表已經完成尚未出缸，且結合排缸的數字管理，快要沒有布料可以生產，就會往前追蹤前面的生產來確保染機的生產稼動，提供一個快速決策且即時的超前部署，提前調度排程跟人力，藉此提升整個染色量達到 30%。

定型機智慧派工管理看板，原本都要人員到現場進行盤點，再由人工在白板抄寫進行機台調度，新作業將定型機資訊導入系統，免去人工盤點，快速調度排程，分派最佳機台，平準化機台負荷，將所有資訊整合到這個可視化即時看板，現場作業人員只須依看板派工指示即可進行生產，這樣即時的可視化看板管理讓定型機稼動率提升 12%。

染整廠產能負荷管理看板，將所有資訊匯整到此看板，提供給高階主管即時透明的掌握工廠各製程的生產狀況，並依設定的 KPI 目標管理，提升各製程的生產力以拉動繳庫量的成長，主管可以由此看板掌控全廠，提升事件的覺察能力，提早發現變異及生產瓶頸，快速彈性應變達到敏捷生產，整體產能提升了 38%。



圖 8.5 染整廠產能負荷可視化管理看板

宏遠的後加工高機能防水透濕膜智慧創新系統，主要結合 IOT、AI、AOI 的技術進行膜品黏性分析，從製膜機生產時使用的 70 個感測器收集生產參數，進行 AI 分析從中找出重要關鍵因子進行改善。在生產過程中若發現資料值超出範圍，即以看板燈號(紅燈)進行提示，同時現場播報語音警示及 Line 推播給有關人員，立即處理防水透濕膜智慧檢測系統。並架設檢測相機，利用 AOI 技術，準確檢測離型紙上黏附的蚊蟲分布與位置，進行即時監控即時排除，此確保生產的膜品良率維持在 90~99%，膜品瑕疵減少 90%，創造的效益，一年達 2,054 萬元。

除了現場的設備自動化之外，辦公室的相關事務流程最佳化也很重要，宏遠引進 RPA 流程機器人，取代規則性且重複的作業，以提升行政效率，包含財會系統：應收帳款自動沖帳、財會報表彙整、船務文件收發/海空運費、船運船次到港看板、採購詢價、相關網站訊息自動搜尋、結合 Line 推播等，提升人員效率，共可節省 23.5 個人力。

五、永續循環經濟

宏遠面對氣候變遷衝擊及淨零碳排的趨勢，以善為出發點，推動循環經濟，成效包含4大循環：生態設計循環、資源循環、事業廢棄物循環、碳循環。

- (一) 以永續低碳產品落實生態設計循環：寶特瓶與廢棄紗回收再利用、農漁業廢棄物再利用、素材生物可分解性。
- (二) 有效節電節水專案落實資源循環：民生廢水與雨水回收、製程水回收、回收水供應全廠廁所使用、廢熱回收、藥劑回收。
- (三) 污泥再次利用&環保磚落實事業廢棄物循環：以垃圾=食物的觀念，前一個製程的廢棄物=後一個製程的食物，廢水處理廠的汙泥含有熱值，將其烘乾後送至燃煤鍋爐與煤一起混燒，可省下清運汙泥費用以及10%燃煤費用。鍋爐產生的煤渣再送到宏遠的製磚廠與水泥混合後作成環保磚又可省下清運煤渣費用，落實廠內循環經濟。
- (四) 各項綠色工廠專案落實碳循環用更少資源創造更多價值，貫徹“搖籃到搖籃”精神。綠色窗簾、浮力通風、水簾負壓設備取代空調、鑽石級綠色建築+清潔生產=綠色工廠、太陽能綠電。



圖 8.6 宏遠的循環經濟模式

宏遠要建構碳排管理中心，將各項能源設備管理智慧化及掌握各部門排放源，系統化管理碳盤查、碳足跡及建構 ESG 資料庫，並以數位科技進行能源設備監測警示及能耗數據分析預測，多元系統整合，以智慧來促進永續績效管理。

六、後續數位轉型規劃

智慧驗布再升級以 AOI + AI 整合應用，引進智慧化雙面驗布瑕疵檢測，結合自動裁布包裝機，將 AOI 瑕疵辨識定位及 AI 自動分類，並以 AI 進行開疋位置最佳化，依開疋指示自動裁布及自動包裝，減少作業人力並提升產能。

宏遠要建構以數據為中心的營運模式，建置數位主線平台將全廠的資訊進行串聯，再整合有用的資料，包含各部門領域專家定義專屬資料，並將資料梳理成各類專屬資料湖，再依據各種不同管理主題模型的需求，統一數據服務，進行各專屬資料湖的串聯，如此可快速提供可視化看板，營運分析，戰情室等管理需求。之後善用 AI No code/Low code 技術進行數據分析，快速找出關鍵因子進行精準決策，善用大數據帶來的價值，以驅動創新的營運模式，來打造韌性企業。

公司要以藍湖策略的理念以 AEC 先進設備控制，APC 先進製程控制，AQC 先進品質控制，PHM 設備故障預測與健康管理等先進生產管理的技術，整合現場資訊並結合杰倫智能 AI 進行分析，建議最佳生產條件，提供主管精準決策。

宏遠從 2014 年底開始推動智慧宏遠進行數位轉型，到目前已有 8 年的時間，也累積相當完整的資料。目前已開始由各部門領域專家與 IT 合作建構專屬的資料湖，將資料整合成為有用的資訊於數位主線平台，再運用知識/工具/方法來進行 AI 大數據分析，將產銷人發財各面向驅動，讓營運流程決策自動化，朝人工智慧工廠的方向邁進。



圖 8.7 宏遠的人工智慧工廠藍圖

七、結論與建議

要取得最新的智慧科技與技術並不困難，而數位轉型要成功最重要的是先要有數位思維與建立團隊共識，大家有共同的知識、共同的語言、凝聚共識看往同一個方向，再由上到下跨部門專案協同合作規劃執行，如此才能讓公司數位轉型成功。

數位轉型推動過程一定要按部就班循序漸進，累積許多小專案的小勝利，建立推動的信心，才能逐步擴大為大勝利。並不需要很厲害才開始，只要開始做，就會變的很厲害。

數位轉型關鍵是內部要不斷培養優秀人才，外部則要找尋有共同理念志同道合的夥伴，在相關產學研的領域，與專家以及顧問組織一個好團隊，如此合作才能長久，也才能共同建立數位轉型共生共榮的生態系。

第九章 整合物理模型與資料模型的 PdM 與 AI 電控設備平台

蔡清雄¹

摘要

雲端運算跟邊緣運算是目前在工業自動化實現 AI 運算最普遍的方式，台達提出一個新穎的 OT 層分散式裝置智慧運算架構，可以降低資料的傳輸量，簡化現場配線，提供更即時的運算，使用更低的成本實現機器設備診斷框架，可快速導入 PdM(Predictive Maintenance)與 AI 功能於電控產品，其關鍵元素為：(1)軟體提供智慧運算編程功能、(2)智慧運算功能塊封裝與運行環境、(3)預先建立的 PdM/AI 功能函式庫、(4)支援智慧運算的控制器、驅動器或感測器。這些元素實現了分散式運算與快速導入 AI 的方法。AI 運算準確性依賴資料數據的完整性，為了提高機械診斷的準確度，台達的機台設備 PdM/AI 診斷平台加入了物理模型的運算，透過知識或經驗建立的物理模型，在機台運作條件改變時更能保證預測的準確度。本文說明了物理模型跟資料模型的不同與各自優點，本平台是一個同時支援 AI 資料模型跟物理模型的分散式智慧運算的架構，最後以實例作為說明，提供一個快速導入 PdM 與 AI 功能到工業自動化機器設備的方式給業界先進參考。

一、前言

工業 4.0 被提出後，智慧製造與數位化工廠成為大趨勢，智慧製造除了自動化的機器設備，更需要在機器運作時判定線上生產品質、優化製程參數、或是診斷設備的健康狀態。智慧製造過程需要感測器收集關鍵訊號，將資料訊息透過網路收集到運算器上，經演算法轉成智慧生產所需要的資訊。人工智慧演算法建模所產生的 AI 資料模型在近年各領域都有成功的案例，台達身為國內的工業自動化產品重要製造商之一，為協助客戶用更高效率、更高價值來實現智慧製造，提出一個分層運算架構，以減少資料量的傳遞且完成更即時的資料運算，由工業控制器或馬達驅動器電控元件的多核心運算器完成資料特徵轉換、物理模型與 AI 資料模型的運算。

二、分層運算架構

自動化機器設備需由多種自動化元件來組成，運作原理如下說明：機台運行需要馬達，馬達的精確定位需要高解析編碼器提供精細的旋轉角度，並透過馬達電流回授控制產生精細的轉矩完成精準定位，馬達驅動器的 CPU 收到馬達電流

¹ 台達電子工業(股)公司機電事業群副總經理

跟編碼器訊息後，才能進行馬達回授控制。一般機台由多軸的馬達組成，其運動命令是由機台的 PLC 控制器或是 CNC 控制器來產生運動軌跡，現今大多數馬達驅動器跟控制器間都是由運動網路傳遞命令與參數，在此架構下，台達為智慧機台提出一個新的分散式運算架構，透過原有網路進行智慧運算的資料收集，並且感測器的 CPU、馬達驅動器 CPU 與運動控制器 CPU 除了進行機器設備自動化任務外，也擔負 PdM 與 AI 智慧運算，電控元件 CPU 分別在各層進行運算，越底層的裝置資料運算收集頻度越高，越上層裝置的資料收集頻度越低，例如編碼器或是加速規可以用 20 kHz~50 kHz 收集資料與運算，馬達驅動器 1 kHz~20 kHz 收集資料並運算，控制器可以用 1 Hz~1000 Hz 收集資料與運算。每一層裝置與分工如下圖 9.1 所示。大家熟知的雲端運算是很難達到現場電控設備的高速資料更新率，而設備的健康狀態診斷或是加工的品质預測若在高取樣的現場資料收集與分析，可以做到更精準的預測，如 CNC 機台的精度跟螺桿預壓力有關，可透過馬達驅動器摩擦力偵測就可預測螺桿預壓力，這些精細的訊息轉換，由驅動器的 CPU 處理會比傳遞到雲端處理更加準確且能降低資料傳遞量，這是分散分層運算的優勢，如何把不同應用需求的 PdM 或是 AI 功能運算放入控制器或是馬達驅動器的 CPU 進行運算？於後面章節說明。

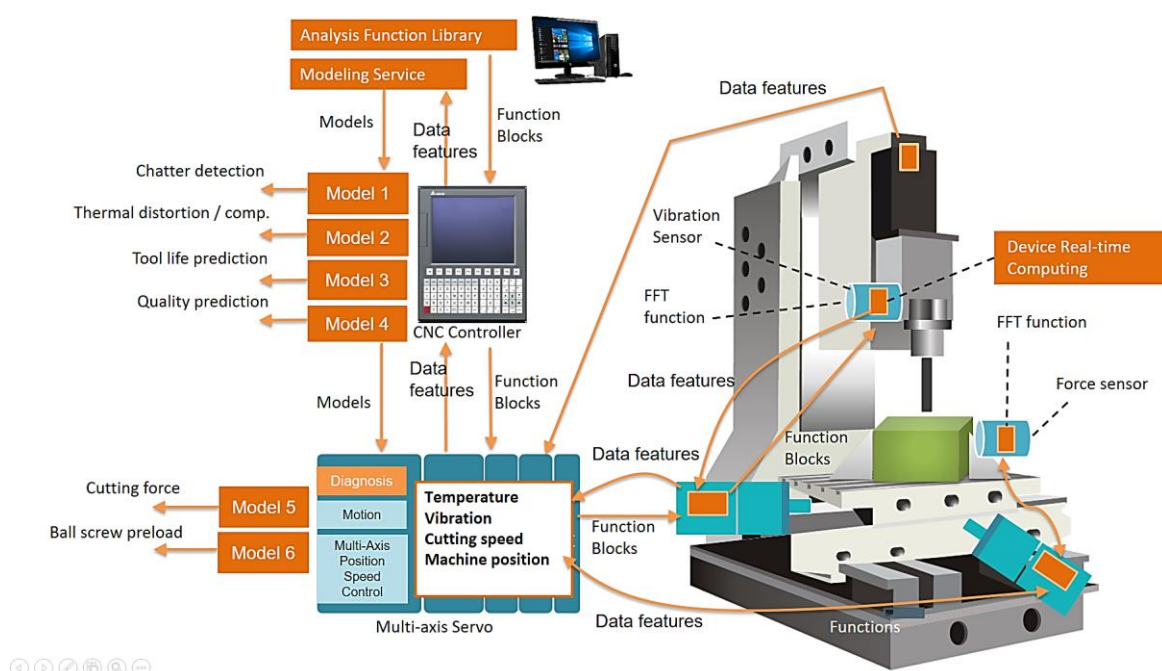


圖 9.1 分層分散式運算電控架構

三、物理模型搭配資料模型運作

智慧製造透過主動檢測與數據分析來提高品質和良率，減少停機時間，並提高整體設備效率。設備健康狀態診斷的演算法可以分成兩類：一類是基於物理模

型，另一類是基於資料模型。物理模型目前無法自動生成，需要由專家知識與經驗建立模型，且物理模型需透過特定程序完成模型參數鑑別，獲得正確參數的物理模型就能提供精確的結果預測。目前工程設計的模擬分析軟體都以物理模型為主，例如設計機器人結構應力分析以確保剛性與精度、馬達負載下的熱分析以確保溫度符合規範、機台運動的動態分析以確定馬達選用合宜。這些模擬分析都是以物理模型為基礎的軟體。然而，工廠製造生產現場的流程與設備的高複雜度跟多樣性，無法完全用物理模型來預測。因此，需由現場大數據透過人工智慧建模來建立資料模型。但資料模型預測的正確性與適用性依賴於大數據資料的完整度，如果數據不夠完整，所建構的資料模型只能適於小範圍，當作業條件改變時，資料模型就需要重新訓練。舉個例子說明，在機械系統會存在傳動背隙 (Backlash)，如何透過機器學習來建立背隙的預測模型呢？首先需要營造不同背隙的機械條件，並透過感測器收集在不同背隙條件下的數據，例如馬達電流、機台位置、機台運行速度和加速振動量。使用這些訊息當成模型的輸入數據，而背隙預估值當成模型的輸出數據。最後將這些輸入和輸出作為 AI 模型的訓練資料，得到一個能從馬達運作資訊就能預測機械傳動背隙的資料模型。資料模型是輸入和輸出關係的轉換，當資料收集足夠完整，涵蓋所有的操作狀況所建立的模型才能正確。若使用物理模型來建構背隙模型，則是基於人類對機械運作原理的理解，並利用數學式子來描述。這種模型是依據人類的知識和經驗，將模型參數收斂到少量且可解釋的參數，再透過少量的資料收集就能完成背隙模型的參數鑑別。

整體而言，資料模型具有通用性和標準的建模流程，適用於多樣且不需要經驗或知識的問題，因此需要以大數據為基礎。但物理模型有對象性，參數模型容易被解釋但無法自動建立，所以物理模型跟資料模型是互補且相輔相成的。台達的智慧運算平台同時包含物理模型與資料模型智慧運算，如下圖 9.2 所示。

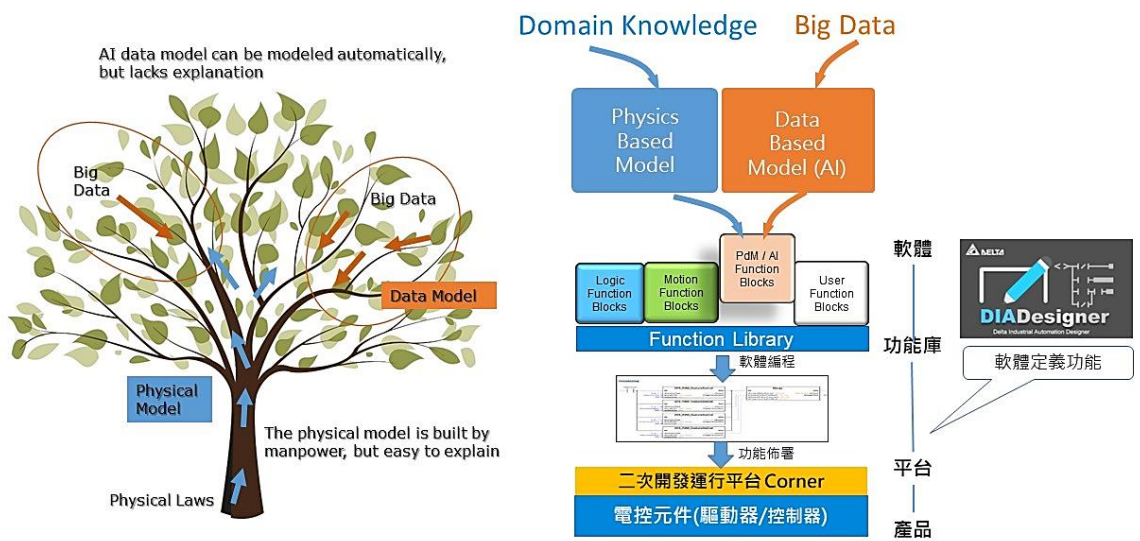


圖 9.2 物理模型與資料模型智慧運算

四、快速實現 AI 的電控平台

台達在工業自動化領域耕耘數十年，產品包含工業電腦、系統軟體、工業機器人，控制器與感測器、驅動器與馬達等。以下說明這些硬體組件與軟體如何進行搭配以提供智慧運算，協助系統整合商、設備製造商或是具有開發能力的設備用戶可以用更低成本且快速實現智慧 AI 運算，進行設備診斷、參數最佳化、生產品質預測，完成產業升級。

(一) 由軟體規畫智慧運算功能

因工業控制器需要面對多樣的應用，由軟體扮演控制器功能編排的工具，過去編排功能都以程序控制或運動控制為主，但為了滿足設備智慧化的升級需求，台達軟體除了提供 PLC 或是 Motion 功能外，後續也會提供智慧運算功能，讓控制器具備資料分析程序進行設備健康診斷等功能，如圖 9.3 所示。為了縮短客戶應用開發時間，台達提供 PdM/AI 功能庫，內含預先建立的智慧運算功能塊，可由軟體挑選運算功能、編排順序以及編輯資料處理流程，且為了讓電控人員可以快速的上手，智慧運算的資料處理編程跟 PLC 程序編程都採用 IEC 61131-3 標準當成介面，讓 PdM/AI 智慧運算的編程可以融合在現有電控設計流程與軟體工具，而不需資料分析專家協助編寫程式。

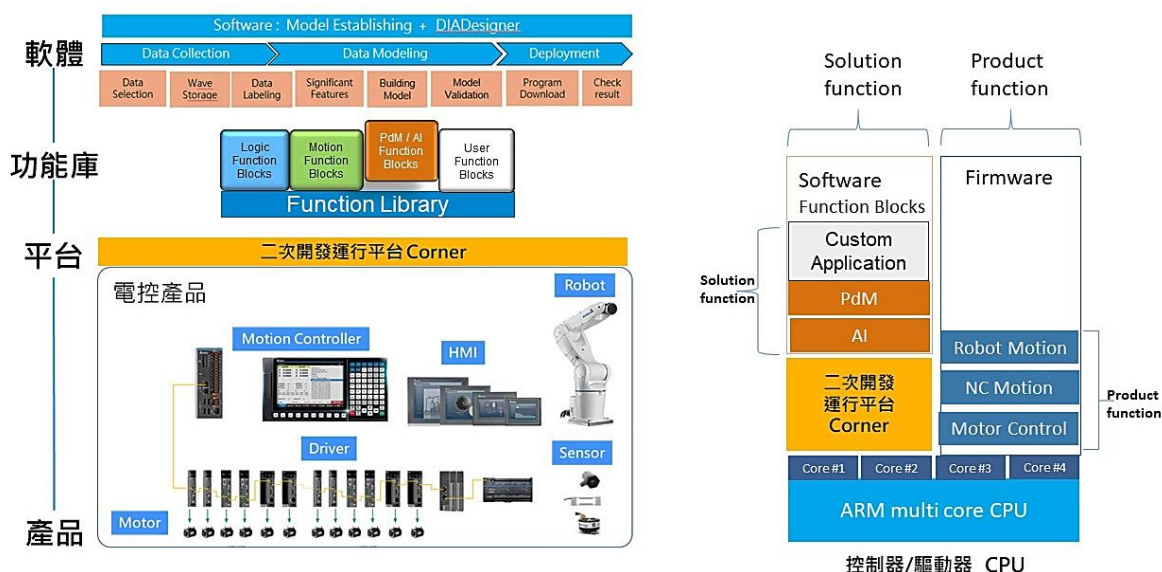


圖 9.3 智慧運算功能由軟體規畫

(二) 支援 ONNX 模型 AI 運算

現今 AI 資料建模工具逐漸完備，適當資料收集後，使用第三方 AI 建模工具如 TensorFlow、scikit-learn 建立 AI 模型，最後將 AI 模型轉換成 ONNX 格式，就能將模型下載到台達支援智慧運算的電控裝置上，如圖 9.4 所示。

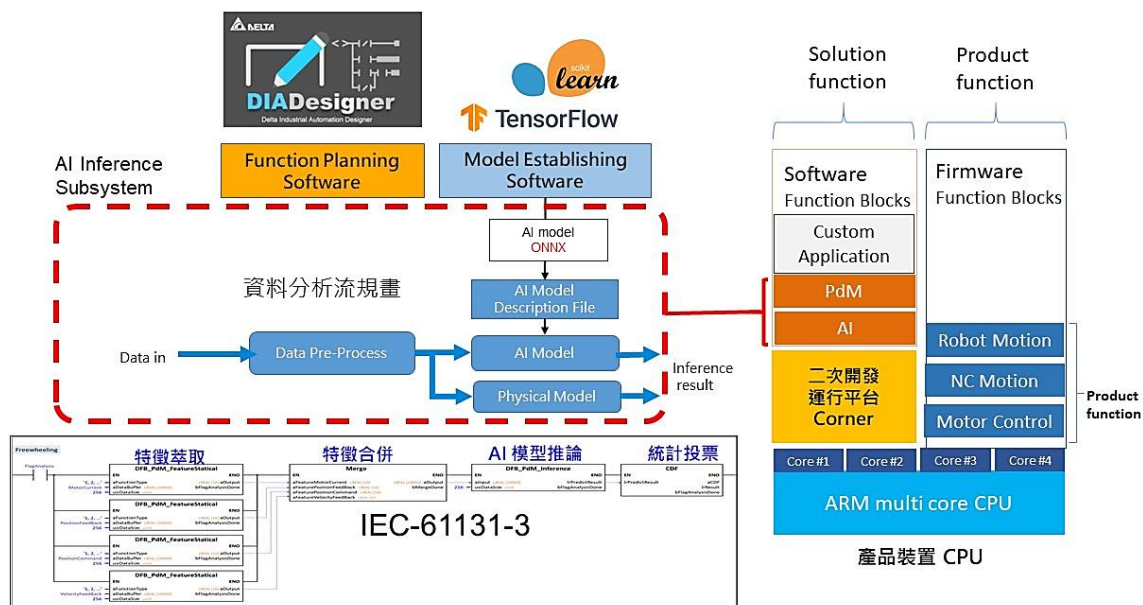


圖 9.4 PdM/AI 平台支援 ONNX AI 模型

(三) 馬達驅動器共同扮演智慧運算容器

上述智慧運算功能在軟體編排後即可下載到工業控制器，除此之外，在最新設計的台達高階型多軸交流伺服系統 ASDA-W3 系列也支援智慧運算功能的下載。驅動器不單只有驅動馬達的功能，也擔任智慧運算功能，馬達驅動的內部訊息如電流、馬達編碼器的位置、電壓輸出、馬達速度、控制器位置指令，都可當成智慧運算的原始資料。原始資料的取樣率高達 16 kHz，用來細緻觀察機台運行過程變化。透過智慧運算功能塊可算出摩擦力、機械負載慣性比、機械振動頻率、馬達主轉頻的倍率與機械傳動背隙，這些訊息有助於機械的健康狀態診斷。為了協助機械健康診斷功能快速導入設備，軟體上已經預先建立了摩擦力、傳動背隙與異常振動偵測等功能塊，透過軟體的編程即可下載這個功能到馬達驅動器，完成智慧 PdM 運算。

(四) 架構的優點

1. 低成本與高效能

在分層分散式智慧運算的架構，驅動器 CPU 或是控制器的 CPU 就可執行智慧運算，所以不需添購額外的運算裝置。馬達驅動器可以在不外加感測器下直接使用馬達帶動機台運動中電流的波動性、力矩大小、速度的平順性與機台位置進行機台的機械診斷分析，且資料都在最靠近資料源頭的裝置 CPU 完成處理，減少資料的傳遞量並提升處理的即時性，例如在馬達驅動器收集高取樣率的電流後，搭配馬達轉動慣量與馬達加速度的資料，可以精準運算出機械的摩擦力，所建構的摩擦力模型可以用來補償，提高 CNC 加工的精度，也可進行螺桿預壓力的異常偵測。

2. 易於實現

透過軟體可以彈性規畫資料處理流程，同時把資料處理編程與訓練完成的 AI ONNX 模型或是物理模型一起下載到電控裝置上，不用撰寫程式碼就能在裝置快速實現智慧運算。

3. 減少現場配線

馬達驅動器可以透過自身的電流、電壓、轉速與編碼器位置等數據進行機械設備的健康診斷，不用額外配線連接感測器，且驅動器運算產生的結果也可以透過運動控制網路回傳到控制器，而控制器也可透過現有乙太網路再回傳智慧運算結果到上位工業電腦。因不用額外配線，就可以降低維護成本與提高可靠度。

五、案例說明

(一) 物理模型應用：摩擦力建模與補償

機台摩擦力會造成 CNC 加工的精度誤差，也會在加工件留下刀痕，且摩擦力在加工進給率越高時，加工輪廓誤差越大，如果沒有依摩擦力特性進行補償，便無法得到良好的補償結果。過去學者分別提出許多摩擦力模型，而台達的摩擦力參數建模功能塊是以物理模型為基礎，在線上運行過程持續收集馬達的位置、速度與電流，透過迴歸分析找出摩擦力的各個參數值。所建構的模型與真實摩擦力相符合，即使改變加工的速度仍可以得到很好的補償效果，如下方圖 9.5 所示。

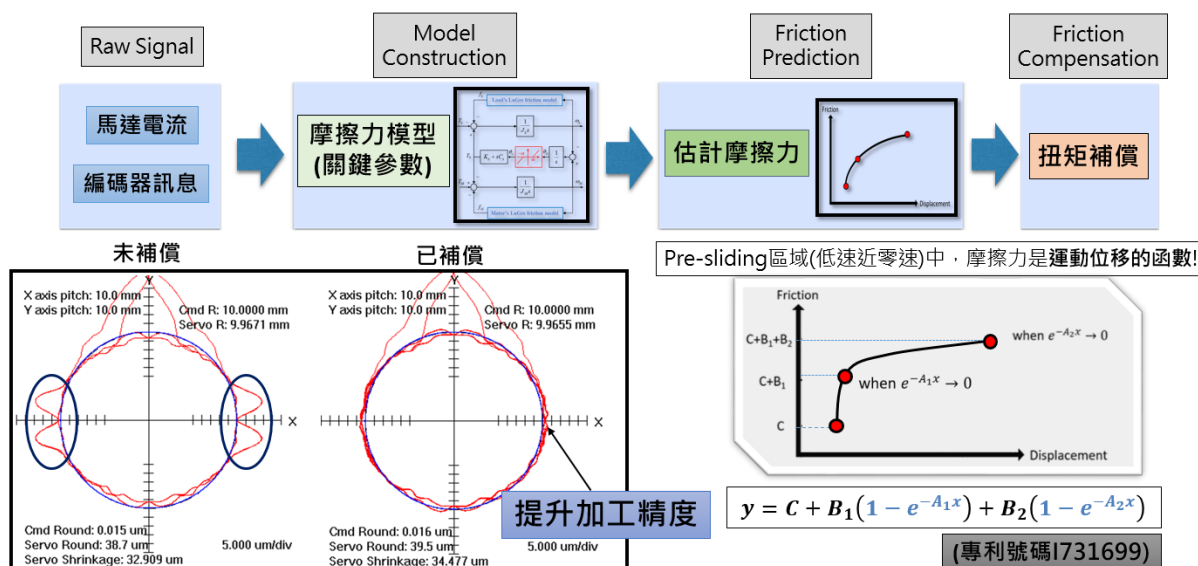


圖 9.5 機械診斷(物理模型)：螺桿摩擦力自動建模與補償

(二) AI 資料模型應用：旋轉機械故障類型診斷

本案例透過機器學習建構一個機械診斷模型，用來診斷旋轉機械軸心偏位問題

題。先收集不同軸心偏位程度的振動電流訊號，並對不同偏心程度進行數據標記，將多軸加速規各方向的振動訊號經過快速傅立葉轉換，取得轉動主頻與倍頻的振動量當成特徵，以類神經模型進行訓練，最後將模型轉成 ONNX 檔案格式，透過軟體下載到驅動器，快速地完成一個機械診斷智慧功能，如下方圖 9.6 所示。

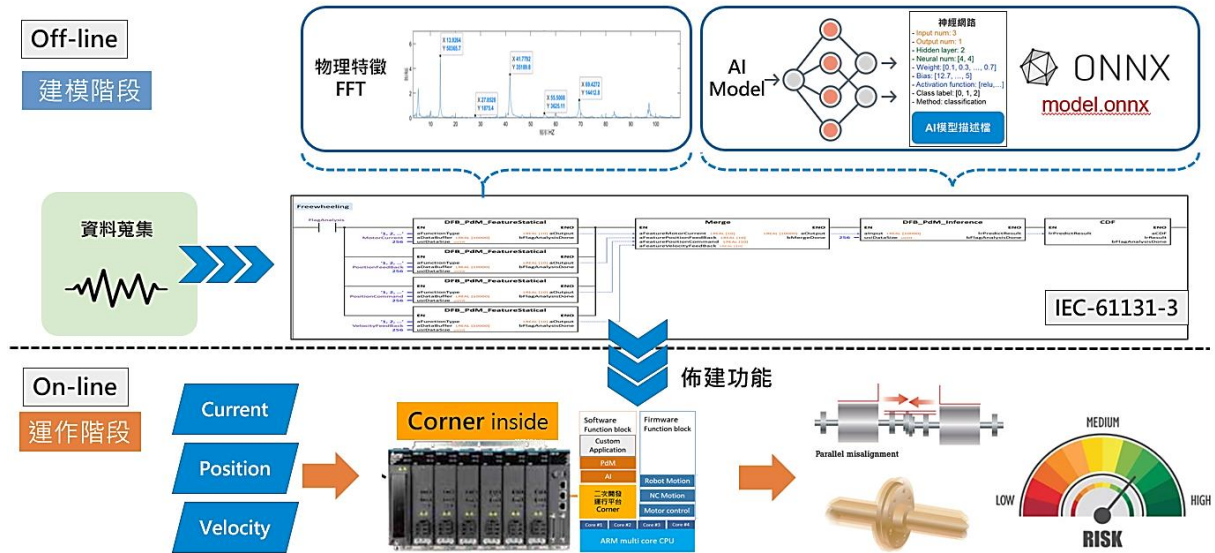


圖 9.6 旋轉機械故障分類與程度判定(AI 資料模型)

六、結論與未來展望

物理模型是知識經驗生成的特定問題分析工具，透過物理模型所建構的特定機械診斷功能如摩擦力診斷或背隙診斷，相較運用資料模型建立的診斷法則在工作條件變化時更能準確的診斷分析，這是物理模型的優勢，但因為物理模型需要知識經驗才能完成建構，不容易快速導入到複雜的生產系統，因此需要同時引入資料模型以降低導入門檻。資料模型因為具有通用性的框架與標準建模的工具，只要資料收集足夠完整，經過資料篩選與訓練，資料模型就能良好預測。加上目前市面已有 AutoML 的建模工具，即便沒有具備數據科學分析的專業知識，經由軟體的協助，生產現場的經驗或是人力的品質檢驗就能轉換成人工智慧模型。台達的 PdM/AI 電控平台可以讓物理模型跟資料模型在電控裝置上運算，這是一個經濟與容易維護的運算架構，透過軟體與硬體的整合，隨不同應用需求由軟體規畫對應的智慧運算於自動化設備上提升產業的價值。本文介紹 OT 設備層快速導入 AI 智慧運算的 PdM/AI 平台工具，後續會以此為基礎與 IT 層的服務軟體進行訊息串接，以提供更完整的智慧製造服務。

第十章 結論與建議

在 AI 技術的推動下，智慧製造的“新製造”生態正在逐步形成，如何引領和推動製造業進行智慧化的轉型升級，成為近年來關注的焦點。臺灣的製造業不管是在成本、效率，或是對客戶問題的反應速度上，都是舉世聞名，相當有競爭力。且從二、三十年前就開始積極推動自動化和電子化方案，將大量規模化生產的效益往極限推進。但面臨新興國家以更大資本更多人力加入到全球戰局，逐漸侵蝕市場的同時，臺灣的製造業也開始思考，往少量多樣的客製化聰明生產邁進，如何善用 AI 技術和數位決策工具，讓產業 AI 化、智慧化，已成為提升產業競爭力的關鍵。

在臺灣的產業結構中，中小型企業是很重要的基礎，但不可能每間公司都發展智慧製造的能力。因此可以發展一種「分析服務業」(Analytics as a Service)，藉由發展新的商業模式以協助中小企業轉型升級，並可衍生出「紫式決策大數據」等新創企業，達到 AI 產業化。此外，製造領域的競爭優勢將逐漸轉移至精密製造及尖端設備和製造平台的競爭，勢必影響臺灣製造業在價值鏈的地位和分潤，因此臺灣必須掌握數位轉型的契機，應該要成為全球彈性製造中心，將智慧製造與聰明生產的核心能耐智慧化，以擴大市占率和藍湖規模，並透過速度和彈性決策以在適當時機快速複製到其他藍湖市場，創造「千湖之藍」的穩健生態系統，並利用這些解決方案協助其他國家進行數位轉型，創造高價值的工作與高薪的就業機會。

AI 對於製造工程教育以及研發確實可帶來不少好處，以及可讓臺灣突破現況的機會，然而同時也存在著專業領域知識弱化的隱憂。為了克服生成式 AI 對臺灣製造工程教育和研發所帶來的潛在缺點，除了應該善用 AI 外，更要透過紮實到位的工程教育來強化專業與跨域衍生知識的獲得、傳承、以及開創，並在教育以及研發的過程當中將合適的商業模式融入，如此 AI 才能為臺灣製造產業從根基做到智慧化，並將過往累積知識經驗轉化為全新、具進步性的專業領域知識，進一步向上提升價值落實智慧製造，使大家一起共同以智慧造價。

針對 AI 產業三個大核心支柱：數據、算力，以及算法，臺灣在工業製造與醫療領域上，皆有非常完整且豐富的數據，是臺灣非常好的優勢，而半導體就是臺灣算力的硬實力，而算法方面，也就是演算法的軟實力，臺灣近年在類神經網絡架構設計，以及邊緣 AI 晶片的開發上，另闢蹊徑，走出一條與世界晶片大廠不同的道路，針對特定用途、在專精的領域上，開發出的 AI 系統或晶片，其運算能力更強、更快、更準，而且還可做到省電又兼顧成本。

企業轉型是個小到求取生存，大到如何帶領員工與公司、供應鏈、投資人一起往前的過程，在這個過程中，要取得最新的智慧科技與技術並不困難，而數位轉型要成功最重要的是先要有數位思維與建立團隊共識，大家有共同的知識、共

同的語言、凝聚共識看往同一個方向，再由上到下跨部門專案協同合作規劃執行，如此才能讓公司數位轉型成功。且數位轉型推動過程一定要按部就班循序漸進，累積許多小專案的小勝利，建立推動的信心，才能逐步擴大為大勝利。其中最主要的關鍵是內部要不斷培養優秀人才，外部則要找尋有共同理念志同道合的夥伴，在相關產學研的領域專家以及顧問，組織好團隊如此共同合作才能長久，建立數位轉型共生共榮的生態系。而永續與數位轉型都是一條永無止境的路，對企業來說不只是 ESG，更是未來的核心競爭力。就如同陶淵明的桃花源，每家公司都有屬於自己的桃花源願景，要如何形塑自己的桃花源都可以先有個想像，不管目前是在哪個階段，只要設定目標與進程，有心開始行動從痛點著手，解決關鍵問題，向自己的桃花源邁出第一步，就是一個成功的開始。

臺灣不管在產業 AI 化或是 AI 產業化，都有比其他國家有更厚實的基礎與機會，應如何在既有基礎上借助 AI 科技持續升級，繼續在全球供應鏈佔有一席之地，邀集已跨步邁入組織數位轉型與應用 AI 智慧於製造的產業先進，包括國內高科技產業、傳產與中小企業、創新產業，以及學研專家進行研討，經綜整一系列座談會與研討會中，產學研專家論述，彙整提出下列建議：

一、培育人才善用 AI 工具

(一) 針對工程教育進行革新

教育是百年大計，臺灣在工程領域的教育，不能只是偏重實作或是只是強調理論，而應該是要將理論與實務相互搭配。AI 的衝擊讓跨領域工程教育變為可能，建議高等教育應該從如何培養能夠創造價值人才的方向來考慮，且必須在國家的制高點上來考量、來規劃未來的教育體制。尤其大學中的工程教授是否能夠將專業領域知識加上合適商業模式的學問傳授給學生？而這些可以為臺灣創造出未來大師的工程教授如何被攬才、被尊重、被留才、甚至提升其教學、研究、以及服務的層次等等議題，再再需要以國家的高度來進行通盤考量與改進。

(二) 把 AI 當輔助工具加以善用

智慧製造下個 10 年，在聯網化、可視化的基礎下，將取得之數據發展成透明化、預測化及自優化的高階智慧製造，AI 將是重要的引領科技。應把 AI 當成輔助工具，且培育年輕一代，善於駕馭這些工具，不僅能應用在日常生活中，對研究、產業等工作也會有很大的幫助，如能與本身的專業能力相結合，更能提升自己的工作價值，且會對全人類帶來正面且革命性的改善。

(三) 產業升級轉型，提高能創造價值工程人才的待遇

隨著少子化以及 AI 的衝擊，企業需要重新思考對人才的鑑價。透過 AI 減少人力的使用，讓操作型的人才轉型成為以智慧創造價值且高薪水的工程師，因為未來價值的創造不在於人多、不在於是否有累積多年的經驗，而是如何經由 AI 將專業領域知識與商業模式結合。而企業攬才模式的改變仍有賴經濟部以及勞動部

研議如何透過這波 AI 的浪潮，讓臺灣製造業者行有效的轉型，共同邁入智慧製造。

二、促進產業 AI 化與 AI 產業化

(一) 產業智慧化的目標應先解決產業痛點

產業要數位轉型智慧升級並非一蹴可幾，一味花大錢買新設備無法收到實效，應該逐步解決產業痛點，從工業 3.5 邁向工業 4.0，才容易實現智慧化。在智慧化的過程中，老舊設備是製造業的共同痛點，如何無痛的把老舊設備的關鍵數據擷取出來，是智慧化的第一步，即使舊機械也可透過加裝相機等方式取得資料，將舊有設備智慧化需要逐步解決問題，可以透過升級設備，不需要大量的設備投資，解決方案的性價比亦是業者是否願意智慧升級的考量重點。

(二) 鼓勵研究往物理模型和數據模型融合

近年來 AI 已受到很大的關注，尤其用於工控應用，以擬人化的思考和數據庫的消化來輔助數據建模以及推演。長久以來，學術注重於從原理面以數學方程式來剖析實際受控體之間的物理作用。然而 AI 以不同面向，從數據來建構學習模型。物理模型和數據模型有各自的優缺點，兩者是相輔相成。物理模型負責原始物理感測訊息的有意義的特徵萃取，數據模型負責非線性的決策演算。這對於工控設備的預兆診斷，會有很大的品質成本優勢。因此，在 AI 發展前期，鼓勵研究往物理模型和數據模型融合。

(三) 發展 AI 邊緣運算促進產業應用

相對於雲端運算，邊緣運算不但能減輕網路和伺服器的負載，讓數據處理更為即時，更大大提升資料安全性。尤其在 AI 技術的推展下，AI 與邊緣運算的結合更誘發出更多的應用可能性，更被視為未來科技重要發展趨勢之一。工業 AI 技術不同於商業 AI 技術，Edge 端的實踐可能比 Cloud 端的應用更為重要，臺灣應運用半導體資源發展 Edge 端的高階硬體，更有助未來 AI 產業的發展。所以從 AI 晶片、軟硬體整合、工業電腦、AIoT 架構、5G，以及數據驅動(Data Driven)的解決方案和技術研發等各個維度，結合包括半導體產業、面板、電子製造業等臺灣競爭優勢的產業應用領域，亟應思考如何整合，藉以發展 AI 邊緣運算應用於各產業。

(四) 建置跨產業異質整合的機制與誘因

在晶片的未來發展趨勢中，除了先進製程被認為是半導體產業持續創新動能外，異質整合技術亦被寄予厚望，而異質整合是將不同晶片整合在一起，成為一個多功能、高整合度的單一封裝體，如能再導入不同產業的領域知識，將各個產業的解決方案一起整合，更能鞏固臺灣製造產業的競爭優勢。建議建立跨產業異質整合的機制和誘因，並以臺灣高科技產業領域為 AI 應用的主場優勢，發展成

臺灣製造的解決方案和可以輸出的管理系統，以擴大臺灣製造在全球產業價值鏈的占比和影響力。

(五) 推展智慧製造平台承接產業價值。

臺灣的半導體產業因專業分工模式獨步全球，多年的積累，更發展成為舉世無匹且相當完整的半導體產業聚落，如進一步藉助模組化的水平分工和開放創新，建立堆積木的架構和參考設計，將可協助各個產業快速展開，包括先進製程/設備/品質控制、虛擬量測、IC 設計工具的全面 AI 化、IC 設計的平民化等趨勢，皆可促進產業價值典範移轉，故應致力發展智慧製造平台，以承接整合各種價值創造的機遇。

(六) 整合臺灣產業經驗與 AI 技術對外輸出分析服務

臺灣有很好的製造業，有很多 AI 落地場景，但這些場景非常碎片化，應將這些碎片由點整合成面，成為完整的解決方案，進而對外輸出系統和配套的分析與諮詢服務，且變成一個具競爭力並能賺錢的分析服務業，讓臺灣年輕人出國不是去國外管工廠，而是擔任高值高薪的資料科學家、AI 工程師和管理顧問，是一個很值得大家一起努力的方向。

三、創造 AI 往良善發展之環境

(一) 建構可信任 AI(Trust AI)環境與 AI 產業化激勵機制

隨著 AI 科技日新月異，資料的管理與安全性更是產業界在智慧化過程中非常重要的一環，如何將企業相關資料封閉在自有的雲端系統，可很快地進行分析、比對等應用，且有很好的防護系統，需建立一個完善的資料治理機制，加以工業 AI 技術強調安全穩定，導入具透明性與可解釋性的演算法，亦是智慧化過程中不可或缺的一部分，所以可解釋 AI、可信任 AI 是 AI 應用於智慧製造的必要進展。

(二) 建議政府釐清中央主責單位整合及規劃製造產業 AI 化

AI 對各種產業皆會造成衝擊，尤其近年以製造創造經濟奇蹟的臺灣，其衝擊和影響勢必將加大且深遠，更攸關臺灣製造產業未來的競爭優勢。臺灣過往所累積的製造專業領域知識相當豐富，有些甚至獨霸全球。在使用 AI 時，首先應該防範引以自豪且賴以為生的製造 Know-how 不會輕易地外流，而其中資訊安全與防護則是特別重要。所以數據搭配 AI 更要從法規面來規劃讓 AI 資訊可追溯(Traceable)，讓 AI 在智慧製造應用的過程透明化、有規範、可被相信。這幾年政府各部會開始倡議與關心 AI 發展，但畢竟是以點而不是以全面的方式面對與因應，建議政府可以成立中央主責單位，從國家的高度來規劃、規範、甚至引領製造產業使用 AI 來替臺灣創造價值，並再造臺灣經濟的奇蹟。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

AI 智慧製造與數位轉型/陳力俊, 簡禎富, 張禎元, 嚴
瑞雄, 林永隆, 劉峻誠, 楊本豫, 曾一正, 蔡清
雄作. -- 臺北市 : 財團法人中技社, 民 112.07

102 面 ; 20*29.7 公分

ISBN 978-626-97025-2-7(平裝)

1. CST: 製造業 2. CST: 人工智慧 3. CST: 數位科技
4. CST: 產業發展

487

112011125

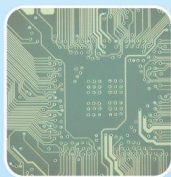
著作權聲明©財團法人中技社

本出版品的著作權屬於財團法人中技社（或其授權人）所享有，您得依著作權法規定引用本出版品內容，或於教育或非營利目的之範圍內利用本出版品全部或部分內容，惟須註明出處、作者。財團法人中技社感謝您提供給我們任何以本出版品作為資料來源出版的相關出版品。

未取得財團法人中技社書面同意，禁止改作、使用或轉售本手冊於任何其他商業用途。

免責聲明

本出版品並不代表財團法人中技社之立場、觀點或政策，僅為智庫研究成果之發表。財團法人中技社並不擔保本出版品內容之正確性、完整性、及時性或其他任何具體效益，您同意如因本出版品內容而為任何決策，相關風險及責任由您自行承擔，並不對財團法人中技社為任何主張。



財團
法人 **中技社**

CTCI FOUNDATION

106 台北市敦化南路2段97號8樓

Tel : 02-2704-9805~7 Fax : 02-2705-5044

<http://www.ctci.org.tw>