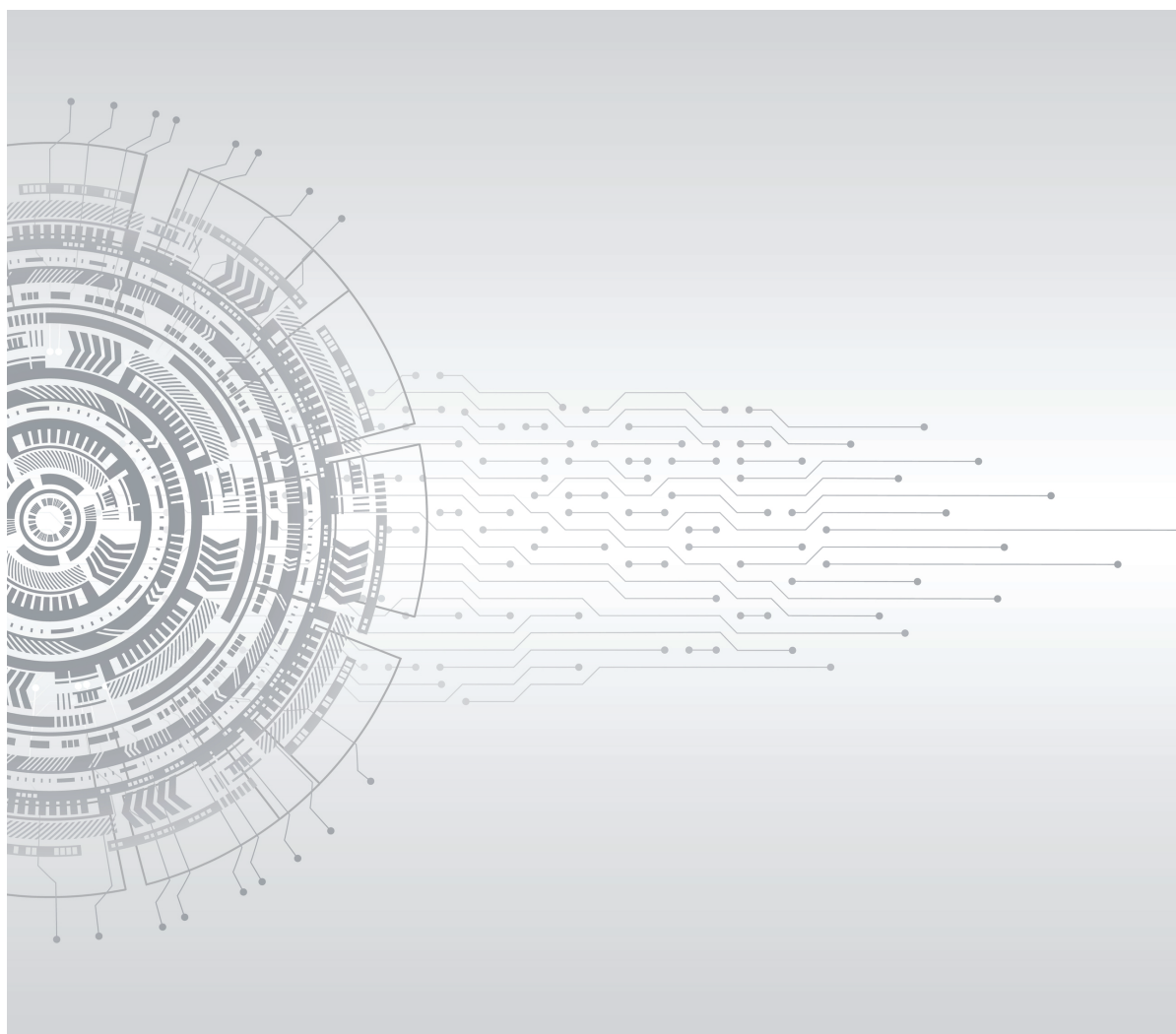


台灣電路板產業 智慧製造導入指引



目錄

壹、智慧製造的範疇與層次	3
貳、台灣電路板現況及智慧製造推動情形	8
一、台灣電路板環境情勢	8
二、台灣電路板產業智慧製造發展歷程與能量	10
三、台灣電路板智慧製造發展現況與瓶頸	17
參、台灣電路板產業導入智慧製造落實行動	21
一、智慧製造發展藍圖框架	21
二、藍圖各里程碑說明	22
三、如何運用藍圖發展智慧製造應用	29
四、PCB 產業智慧製造成果案例	31
肆、參考文獻	37

圖目錄

圖1 智慧設備架構與內涵	5
圖2 智慧生產架構與內涵	6
圖3 智慧營運架構與內涵	7
圖4 全球智慧型手機出貨量	9
圖5 全球穿戴型裝置出貨量	10
圖6 台灣PCB產業智慧製造發展歷程	11
圖7 單站設備資料收集比例	12
圖8 各站別設備聯網率大於40%的業者比例	13
圖9 產業導入智慧製造相關技術狀況	14
圖10 智慧製造改善工作項目優先度	15
圖11 智慧製造投資概況	16
圖12 工業4.0成熟度指標與PCB產業發展困境	17
圖13 PCB智慧製造藍圖(2019年版)	23
圖14 PCB A-TEAM計畫情境與架構圖	32
圖15 先進軟板智造聯盟架構圖	34
圖16 PCBECI設備聯網示範團隊架構圖	36

表目錄

表1 台灣電路板製造業國內產值	8
表2 PCB產業朝工業4.0各階段提升瓶頸	18
表3 2019年版PCB智慧製造藍圖工作項目名詞定義	24

壹、智慧製造的範疇與層次

智慧製造是以虛實整合、數據分析及物聯網技術為基礎，建立全連結的智慧製造工業體系，提升製造業附加價值及創新商業模式，為第四次工業革命的主要內涵。現今，全球製造業發展，面對市場快速變化、產業版圖重劃、環境資源有限、人口產值成長趨緩與勞動人力不足等議題。企業如想長期於市場中保持競爭力，快速且優質的決策與應變能力為企業所具備的條件。然而，現今企業在上述能力建構仍有不足，多數仍仰賴管理者藉由經驗和主觀意識進行決策。因此，工業4.0趨勢帶動的智慧製造應用，主要在加速企業決策能力和應變的過程。工業4.0對於企業不僅能在製造、服務、銷售與行銷方面提升效率，亦能改變整個企業部門運作與創造嶄新的商業模式。

另一方面，工業4.0將協助企業降低事件發生到採取適當的應對措施的時間。面對突發狀況的靈活性對於企業而言同樣重要。如企業能愈快適應環境的不確定性，將能於快速變化的市場中取得利益或減少損失。對企業而言，環境的不確定性從小至生產線發生問題，大至產品需求規格的更動。在高度競爭的市場中，若企業在發生任何異常管理者無法提前預知，將代表企業根據異常所做出因應決策亦將拖延。因此，如何有效整合企業內外部與生產資訊，協助高階主管進行決策，並持續優化管理流程，成為企業深化智慧製造應用的最終目標。國際上知名製造業為維持長期競爭力，紛紛推出智慧製造解決方案，作為企業內部或產業推動智慧製造時的參考，主要的方向為：

一、運用大數據做為企業改革基礎

隨著顧客需求走向多樣化，且製造環境越漸複雜的時代，未來工廠將以數據驅動為核心，資通訊技術在工廠自動化中將扮演相當重要的角色。生產策略需要連結所有開發、製造、運輸等設備，並收集其資料加以分析與最佳化，達到設備預診斷、最佳化生產對策與營運管理等效益，提供工廠最佳化經營解決方案。

另一方面，為提升數據運算效率，邊緣運算能力對於未來智慧工廠的應用將逐漸重要。未來邊緣運算可使資料在往IT系統傳送前，初步進行資料整理與壓縮，同時在近似現場的環境中進行資料處理，並將結果快速反應到現場中。

二、物聯網閘道(IoT Gateway)協助工廠全面導入工業4.0

面對廠房由不同廠牌、不同規格、不同通訊模組的設備組成，對於計畫發展智慧製造的業者，首當其衝面臨設備間難以互聯且收集到的數據格式不同，增加後續數據分析的難度。目前常見作法除針對產線設備進行修改，並設定設備使用共同的通訊標準外，另一種方式為安裝物聯網閘道。物聯網閘道功能為整合感測器傳來的數據，協助企業數位化其生產能力，並透過物聯網閘道中的功能進行數據預處理與可視化應用，方便管理者了解產線狀態，且無須額外編寫程式即可連接基礎設施、資訊科技和物聯網，適合企業做為發展智慧製造的起點。

三、製造業生態系統的變革

工業4.0的產品，推動了設計、生產、銷售與服務等各個環節以及相關價值鏈、生態系統的變革與重塑。IBM認為工業4.0轉型，不是3.0時代製造執行系統(Manufacturing Execution System, MES)、企業資源計畫(Enterprise Resource Planning, ERP)、供應鏈管理、產品生命週期、客戶關係管理等系統的簡單集成或更新換代，而是藉助新技術（物聯網、大數據等）在多個面向對企業及價值鏈的革命性整合、重塑與創新。工廠不再是“黑盒子”，而是清晰透明的服務提供方。不只是工廠，整個產業鏈的參與者（研發、供貨、銷售、服務等）的各種能力都用應用程式介面(Application Programming Interface, API)的方式來發布、被調用、接受監管，形成一個“Manufacturing as a Service”的開放、靈活、自主、優化的合作體系，這將使企業及其價值鏈具備核心競爭優勢。企業推動工業4.0轉型可分成下列三階段。

（一）第一階段-工廠自動化(M2M、M2B)

機器對機器(Machine to Machine, M2M)與機器對企業(Machine to Business, M2B)，指工廠內部垂直整合，工廠皆由設備與系統相互連結並提升生產力，建立巨量資料平台與雲端技術等智慧化連結打造智慧工廠。

（二）第二階段-企業間整合(B2B)

企業對企業(Business to Business, B2B)，指串聯跨企業間供應鏈，從接單、即時報價、淨變規劃、投入智慧生產、物流配送等。在全球製造業分工由長鏈逐步轉變為短鏈，如何快速因應市場需求，加速上中下游業者間協調的效率，將會是企業重要的挑戰。

（三）第三階段-軟體驅動之智慧製造(P2P)

點對點(Peer to Peer, P2P)，是指企業供應鏈中合作夥伴應用服務導向整合。以企業夥伴間透過雲端互聯形成價值網路，降低生產成本、加強創新能力，以獲得

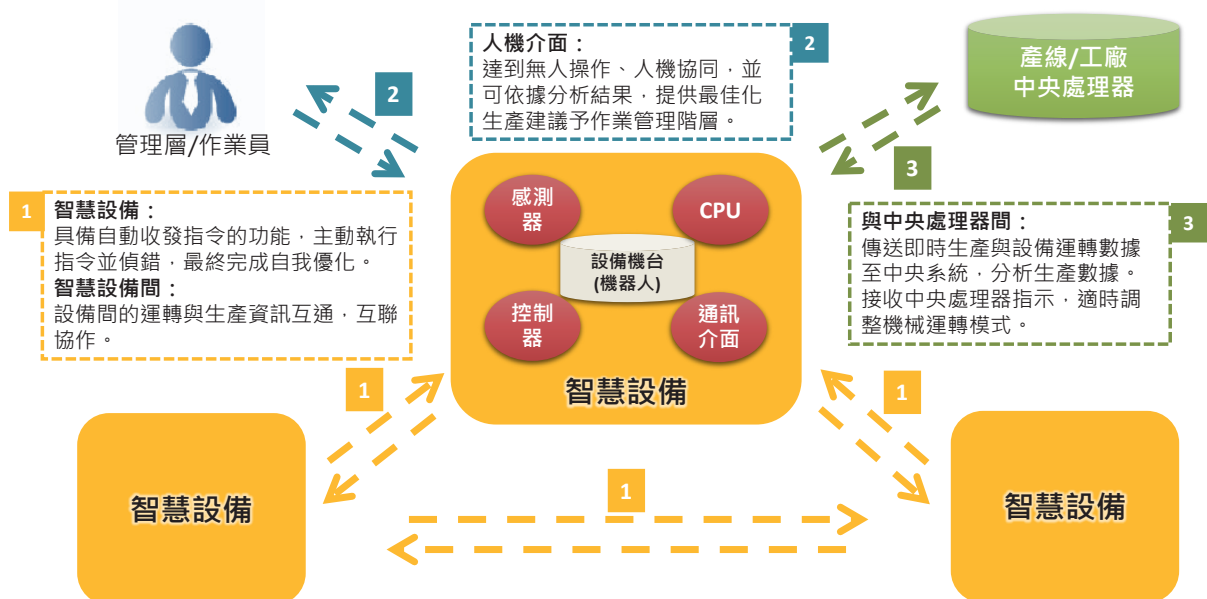
更大利益。透過主導者進行串聯，即使企業間使用不同的ERP系統、MES系統，都能透過應用程式介面(Application Programming Interface, API)建構彼此溝通連結，從而進行資料與服務的交換，形成互聯的價值網路並促成新的商業模式。

整體來說，企業在導入智慧製造應用的架構層次，共可分成智慧設備、智慧生產、智慧營運三大項目。

1. 智慧設備概念與運作模式

智慧設備是組成智慧生產工廠最基礎，也是最重要的角色。通常，重點的生產設備需要加裝各類的感測元件、監測裝置與對外界溝通時所需的通訊介面。更先進的設備會進一步配備較強的運算能力，以處理自我學習、控制調整等應用，使得智慧化的生產設備將可自動收發指令，並且主動執行命令與偵錯。透過設備與設備之間互聯，使其運轉與生產資訊能夠互通，工作人員與設備之間將轉變為對等協同合作的關係。另外，與工廠或產線設備間，則是能夠傳送即時稼動資訊與初步分析結果，並依據中央系統的指示靈活變化運作方式或時程。

圖1 智慧設備架構與內涵



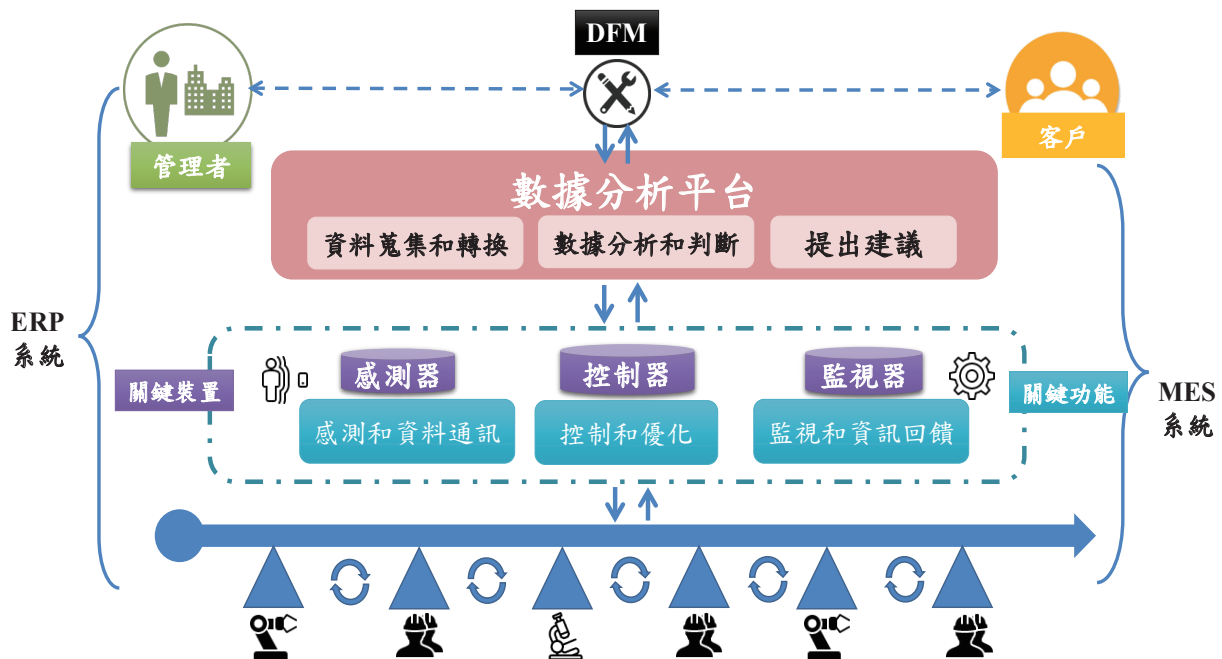
資料來源：台經院，2017

2. 智慧生產概念與運作模式

生產為製造業經營核心，智慧生產的重點在於結合數據應用科技與實際生產技術，透過整合資訊化與自動化，將生產設備、產線、工廠與外界之間相互連結，形成智慧自動化的工廠環境。

智慧生產運作將設備與人員整合協作，形成相互配合的智慧化產線。透過工廠環境、生產設備感測器、控制器，蒐集廠內設備、員工、環境的生產數據與即時狀態，可將相關資訊傳送至數據處理平台，進行儲存與分析，同時顯示在生產戰情室，回饋至生產設計端與工廠管理階層，使其可掌握工廠實際生產狀況。管理者亦可藉由戰情室將決策後的指令，傳送至廠內設施與員工。

圖2 智慧生產架構與內涵



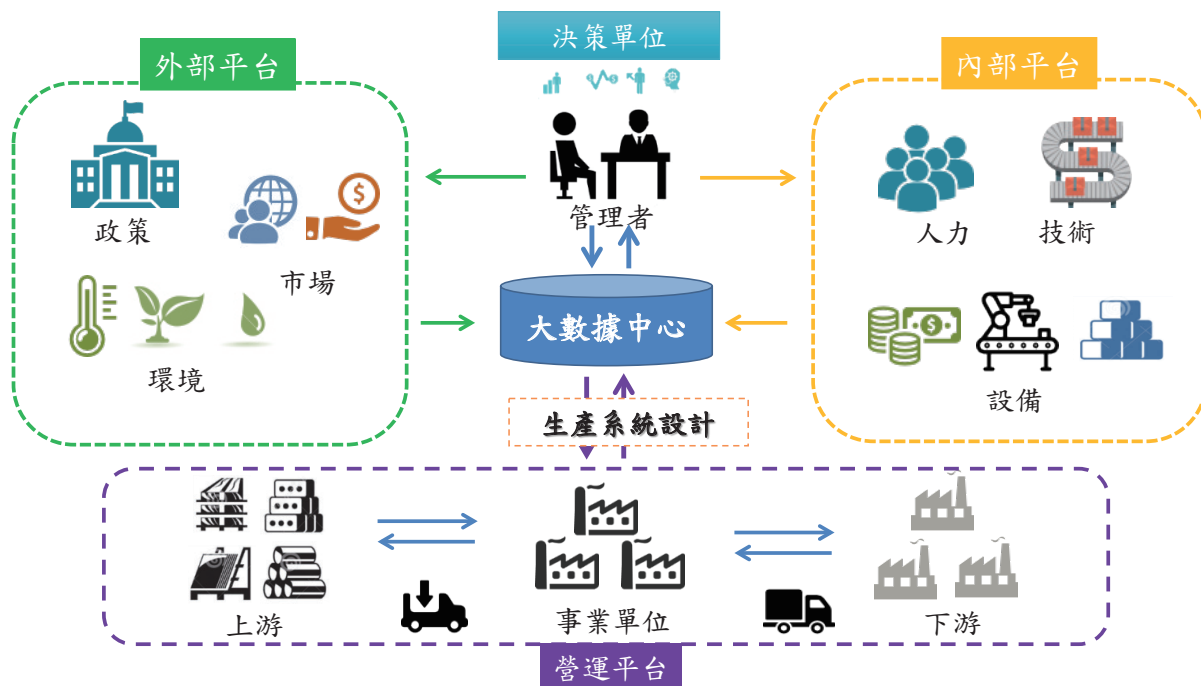
資料來源：台經院，2017

3. 智慧營運概念與運作模式

智慧營運概念是企業經由掌握生產、業務與經營等內部資訊，以及政府政策、環境因素、國際市場與客戶需求等外部訊息，透過結合大數據應用與自動化流程，迅速且靈活提供管理階層多種營運策略決策支援方案。管理階層則可依不同效益目標選擇最適方案執行，所下達的指令則透過相同系統，即時傳送至各企業單位，達到營運效率與利益最佳化。

在實際運作機制上，係由企業的各個業務部門將運轉該部門產生的資訊轉換並儲存至企業的數據平台，例如製造生產部門將大量與其直接相關的資訊，即時傳送至數據處理平台。數據處理平台則可綜合上述所有資訊，協助企業訂定營運目標並建立分析模式，並依不同的營運效益需求，利用已完成建模的應用程式進行策略分析，提供生產部門的營運者在供應鏈、訂單、生產規劃等最佳化經營建議。

圖3 智慧營運架構與內涵



資料來源：台經院，2017

貳、台灣電路板現況及智慧製造推動情形

一、台灣電路板環境情勢

根據台灣經濟研究院產經資料庫針對2020年台灣電路板製造業進行分析。自2019年以來，受到美中貿易戰效應，消費者對智慧型手機、汽車等終端消費力漸趨謹慎，加上蘋果iPhone XS及XS Max產品售價過高，銷售不如預期，導致我國PCB產業2019年上半年產值轉趨疲弱。但2019年下半年，隨著5G逐步進入商轉，可望帶動基地台、伺服器市場需求將逐步增溫，加上交換器規格可望隨之升級，將帶動網通、伺服器用板等出貨成長。除此之外，下半年蘋果新機iPhone 11銷售表現優於預期，各廠牌亦預計推出5G手機，將驅使PCB材料與天線軟板需求提升。再加上穿戴型裝置的興起，配戴智慧型手錶、藍芽無線耳機成為時下風潮，各大廠紛紛擴大投資穿戴型裝置的市場，2019年下半年我國電路板產業產值呈現微幅成長。

整體而言，2019年上半年產值呈現微幅衰退，下半年成長力道逐步回升，根據經濟部統計處資料顯示，我國2019年電路板製造業國內產值為新台幣2,916億元，年增率0.56%，表現呈現持平態勢。

表1 台灣電路板製造業國內產值

年	國內產值(百萬元)	年增率(%)
2017	285,195	7.28
2018	289,996	1.68
2019	291,631	0.56

資料來源：經濟部統計處、台經院整理，2020

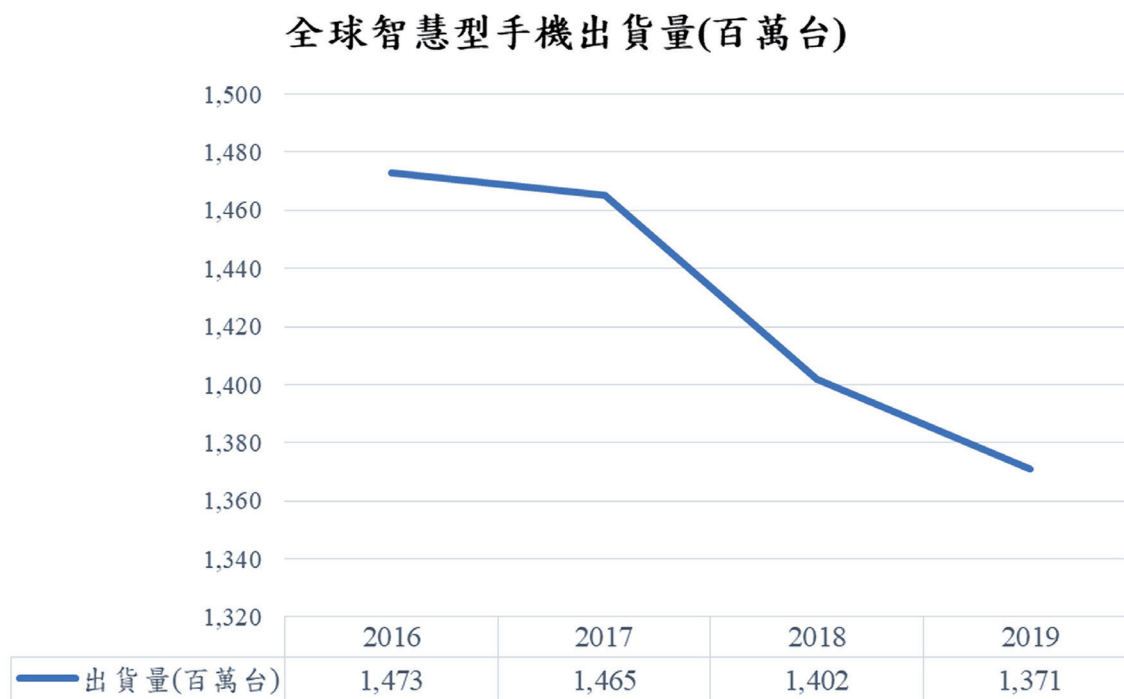
詳細市場概況與展望，將於下方進行分析：

（一）智慧型手機市場需求疲軟

觀察我國電路板製造業發展，可以發現台灣電路板產業與全球智慧型手機銷量息息相關。近年來，智慧型手機於主要市場漸趨普及且飽和，智慧型手機產品創新程度遭遇瓶頸，各廠牌旗艦機種售價昂貴，智慧型手機品質提升卻也延長了使用者換機週期，導致近年來智慧型手機出貨量持續減少，加上第五代行動通訊系統(5th Generation Networks, 5G)即將進入商轉，使得消費者對於換新機意願薄弱，普遍處

於觀望態度。根據IDC調查，全球智慧型手機出貨量連續3年呈現衰退，2019年全球智慧型手機出貨數為13.71億台，與2018年相比衰退2.3%。我國電路板產業在全球智慧型手機產業扮演重要角色，因此全球智慧型手機銷量的減少，不可避免的對台廠造成一定程度的影響。

圖4 全球智慧型手機出貨量

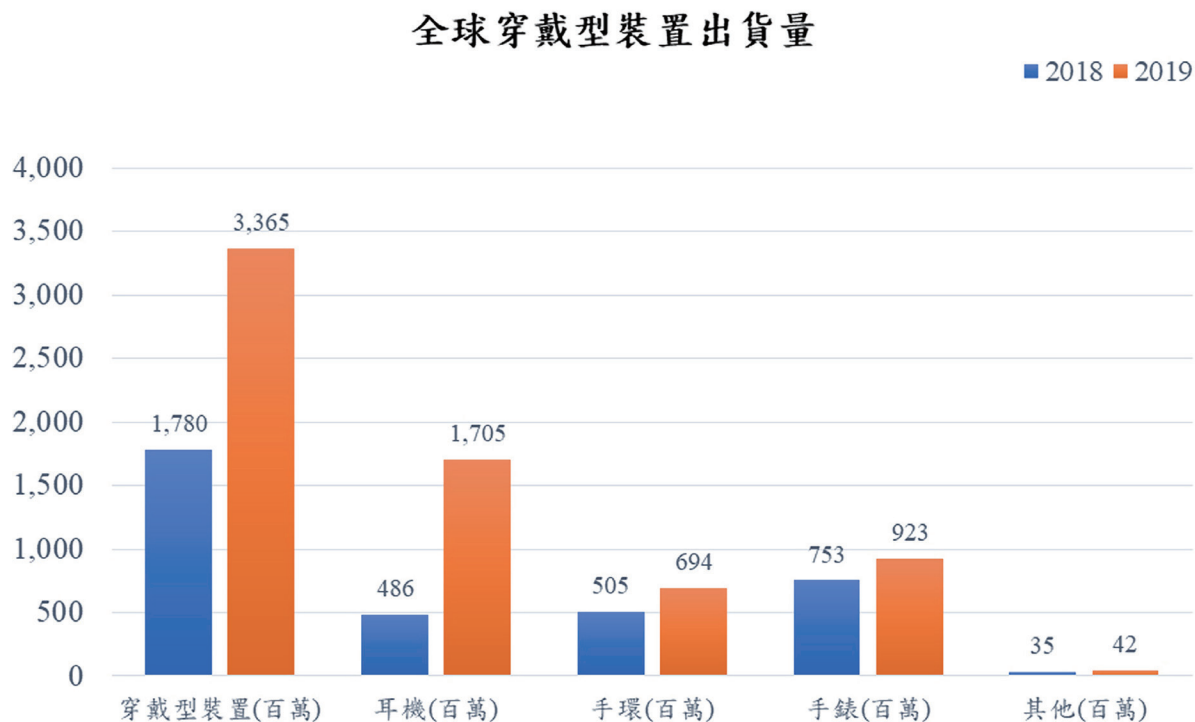


資料來源：IDC、台經院整理，2020

（二）穿戴式裝置銷售持續增溫

隨著智慧型手機銷量持續疲弱，穿戴式裝置成為各大廠牌兵家必爭之地，紛紛推出結合時尚造型與多用途功能的穿戴式裝置吸引消費者，故2019年可謂穿戴式裝置突飛猛進的一年。蘋果、Garmin、小米推出智慧型手錶、手環結合健身休閒、身體素質監測與各類應用程式，使智慧型手表與手環的銷售規模擴大。此外，蘋果的Airpods帶動真無線藍芽耳機(True Wireless Stereo, TWS)的風潮，影響傳統耳機業者亦紛紛推出各自廠牌的無線耳機。在智慧手錶、手環與無線耳機帶動下，全球穿戴式裝置市場呈現驚人的成長力道。根據IDC調查，2019年全球穿戴式裝置出貨量共計3.36億台，年增率高達89%。其中，無線耳機出貨為1.7億台，與2018年相較成長了250%；智慧型手環出貨量為6,900萬台，年成長率37.4%；智慧型手錶出貨量為9,200萬台，年增率為22.7%。穿戴型裝置的蓬勃發展將持續擴大軟硬結合板市場，有望成為許多台廠營運獲利成長不可或缺動能。

圖5 全球穿戴型裝置出貨量



資料來源：IDC、台經院整理，2020

（三）5G商轉應用

2020年，隨著各國陸續推動5G商轉，電信商將加速投入5G基地台布建，手機大廠亦將陸續推出5G機種，可望帶動網通、伺服器、5G天線軟板及相關材料的需求與應用，吸引我國PCB廠商積極布局。

就5G基地台而言，由於5G毫米波(mmWave)訊號特性，高頻、高速電路板需求將明顯提升。同時，5G基地台數目需達4G的5倍，方能達到與4G行動通訊網路相同的訊號覆蓋率，因此隨著各國電信商持續建置5G基地台，將為PCB業者帶來新一波商機。

就5G手機而言，隨著各廠牌陸續推出5G手機且各國5G進入商轉，將帶動消費者購買5G手機的需求與新一波換機潮。其中，5G手機對於天線軟板、射頻模組所需的SiP載板規格、製程與材料明顯提高，將成為引領PCB供應鏈成長的重要因素。

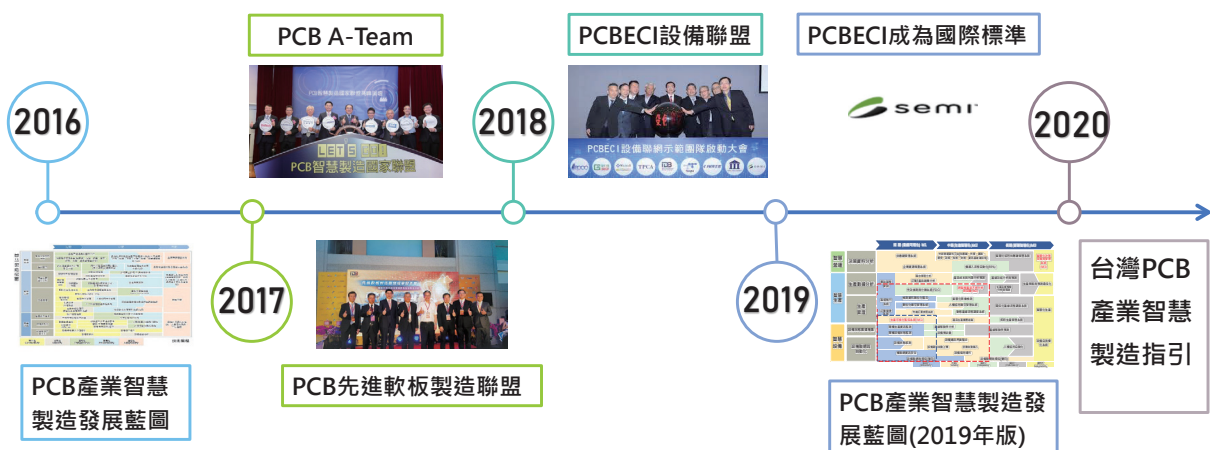
二、台灣電路板產業智慧製造發展歷程與能量

（一）台灣電路板智慧製造發展歷程

台灣電路板產業智慧製造發展規劃由台灣電路板協會與資策會合作，盤點PCB

產業發展智慧製造關鍵議題，於2016年在資策會、TPCA與台經院三方共同發表一份PCB智慧製造藍圖提供欲發展智慧製造之PCB廠商參考。根據藍圖應用，於2017年結合法人與業界能量，成立電路板產業智慧製造聯盟(PCB A-Team)，結合國內四間指標性電路板大廠做為PCB產業導入智慧製造技術之示範。在設備聯網逐漸普及與智慧製造應用漸趨成熟，資策會與TPCA更進一步於2018年與PCB設備業者合作，成立PCBECI設備聯盟，協助中小型電路板製造商完成設備聯網與共同通訊標準的使用，奠定我國PCB產業發展智慧製造良好基礎。隨著廠商實際導入的經驗漸增，在資策會規劃下，於2019年與台經院及TPCA根據訪談實際了解PCB廠商目前推行智慧製造經驗與反饋，彙整並更新智慧製造藍圖，修訂為2019年PCB產業智慧製造發展藍圖，做為業者未來發展智慧製造時的重要參考。

圖6 台灣PCB產業智慧製造發展歷程



資料來源：資策會服創所，2019

(二) 台灣電路板智慧製造發展能量

為了更深入且持續追蹤PCB產業導入智慧製造現況與未來發展能量，台灣經濟研究院自2018年起針對PCB產業進行智慧製造需求與聯網應用調查問卷發放，主要調查聚焦PCB廠商目前設備資料收集能力與導入智慧製造技術程度及應用，作為政府與法人未來智慧製造策略與政策時的重要依據。以下分析調查結果。

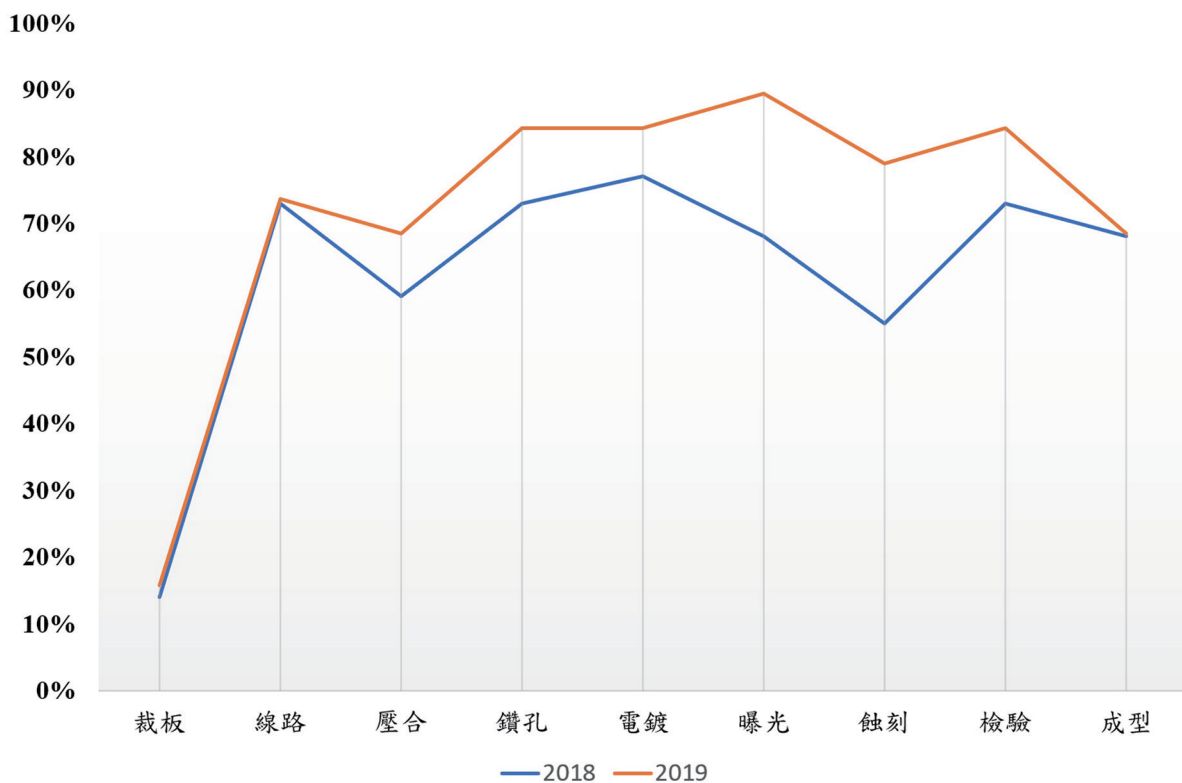
1. 設備聯網

製造業如欲推行智慧製造，首要步驟為進行資料收集。企業透過感測器所收集到的數據，藉由聯網設備拋轉至線上平台儲存，待將來進行數據分析。另一方面，

工廠內的生產設備可能來自不同業者，機台間彼此若無共通的設備通訊協定，從各機台上所收集到的數據將難以整合與分析，故共同通訊標準亦為設備聯網中不可或缺的條件。

本調查將電路板製程區分為9道主要工序，分別為裁板、線路、壓合、機器鑽孔、電鍍、曝光、蝕刻、檢驗與成型，根據不同製程，了解各工作站設備資料收集與聯網之現況。

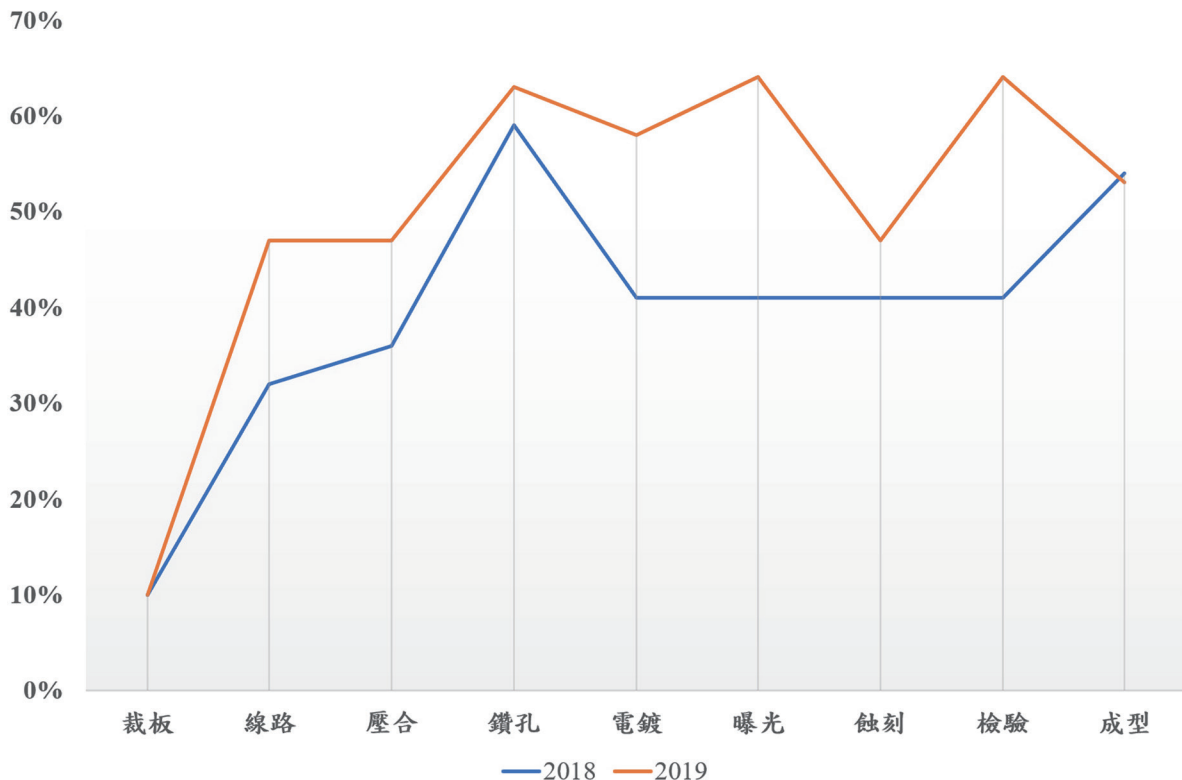
圖7 單站設備資料收集比例



資料來源：台經院整理，2020

根據2019年調查結果，在鑽孔、電鍍、曝光、蝕刻以及檢驗等五項製程中，超過8成的業者有進行資料收集，但能夠即時收集資料並應用的比重仍然偏低(約10%)。其結果也與TPCA於2018年初成立設備聯盟時所挑選的優先智慧化的製程(鑽孔、電鍍、曝光、蝕刻)相符，可見推行結果是顯著的。此外，與2018年調查結果相比，曝光與蝕刻為進行資料收集成長最為顯著的工作站。曝光為PCB製程中極為重要的一站，功能是要將產品的線路設計轉印到製品上，後續才能進行顯影、蝕刻與電鍍製程，亦可印證其為近兩年PCB產業發展智慧製造較為重視的製程。

圖8 各站別設備聯網率大於40%的業者比例



資料來源：台經院整理，2020

設備聯網協助設備將輸出的資料上傳中央控制系統，中央控制系統亦能夠與設備進行雙向互聯。根據調查結果，裁板工作站實行機台聯網比率最低，可見業者普遍認為針對裁板工作站進行聯網效益不顯著，且該工作站並非PCB產業關鍵製程，對於加工參數優化需求程度不高。

同時，在線路、壓合、蝕刻與成型四個工作站顯現出業界對於設備聯網功能較大之分歧，有進行設備聯網與無進行設備聯網的業者數相當，可推論線路、壓合、蝕刻、成型等四工作站對於PCB業者嘗試機台聯網時，並非首選之工作站，企業係根據自身規劃挑選先行聯網之工作站。

最終，鑽孔、電鍍、曝光與檢驗等四工作站皆有超過一半受訪業者表示幾乎都已進行聯網，可見上述四工作站機台聯網及收集資料能力對於大多數PCB業者而言是重要的。

如同之前所述，為使未來設備間資訊易於統一整合，並發展雙項操控，設備通訊標準的整合至關重要。雖根據2018與2019年調查結果，使用PCBECI(SECS/GEM)的業者比例仍偏少數，但隨著PCBECI於2019年通過國際半導體協會(SEMI)認證成為SEMI正式標準之一，未來採用PCBECI之業者可望逐步提升。

總結設備聯網調查結果，蝕刻與曝光是近兩年PCB業者推展智慧製造、設備聯網最為優先之製程，其成長幅度亦為所有製程之最，結果也符合台灣電路板協會(TPCA)所推廣的設備聯盟中的智慧製造優先製程。另一方面，通訊標準在列為SEMI正式標準後，使用的廠商數將會有逐漸增加趨勢，期待未來透過公協會與政府的支持，使用共同通訊標準能真正落實於PCB產業中，協助智慧製造於設備領域發展能更順暢。

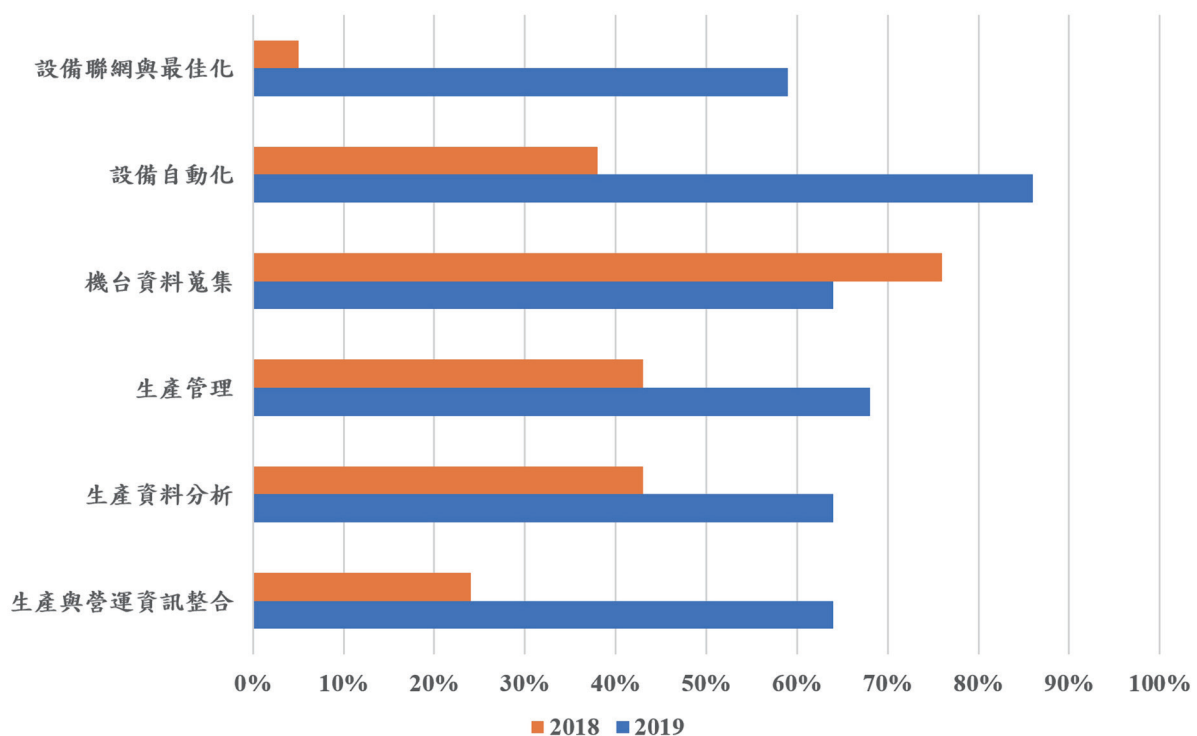
2. 智慧製造技術 應用程度

隨著全世界智慧製造浪潮風起雲湧，台灣PCB產業為因應下世代的電子製造業競爭，多已積極在工業4.0與智慧製造應用布局。本章節將說明台灣PCB產業導入智慧製造技術程度、PCB業者希望藉由導入智慧製造技術解決的問題，最後討論PCB業者導入智慧製造優先順序與投資概況。

(1) 產業導入智慧製造技術程度

統整智慧製造相關技術應用方向，可依據決策面、生產面以及設備面區分為7個領域，包含生產與營運資訊整合、生產資料分析、生產管理、機台資料蒐集、設備自動化、設備聯網與最佳化。根據統計結果顯示，大多數廠商皆已於各大領域導入智慧製造相關技術，但導入重點多在生產數據管理。

圖9 產業導入智慧製造相關技術狀況

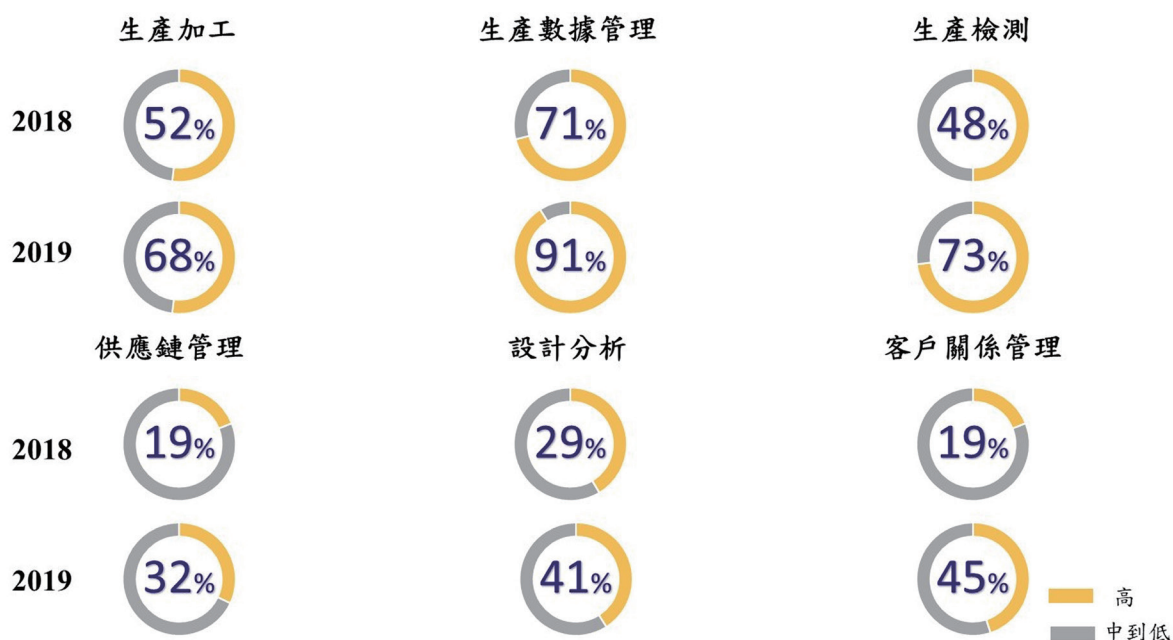


資料來源：台經院整理，2020

台灣PCB業者普遍從設備面的設備自動化著手，超過8成以上的業者於該領域已導入智慧製造技術。原因推論可能為自動化設備不論對於業者或客戶而言，最容易能感覺到智慧製造推動的工作項目。其餘領域皆有超過6成的PCB業者已導入智慧製造相關技術。然而，上述領域導入智慧製造技術比例相對較低的為設備面的設備聯網最佳化，原因可能在於設備機台老舊，或修改價格過高。另一方面，與2018年調查結果相比，各項領域已導入智慧製造皆有明顯增加趨勢，可見PCB產業對於智慧製造趨勢與接收度是顯著的。

(2) 智慧製造技術改善問題

圖10 智慧製造改善工作項目優先度



資料來源：台經院整理，2020

探討PCB業者欲採用智慧製造技術改善問題共可分為4大項目，包含產品設計、進貨管理、工廠製造與客戶服務。首先，產品設計工作項目，PCB產業較大之分歧，認為產品設計是具高優先性與非近期急需項目的分別占大多數。經過台經院分析，營業額較高的大廠擁有額外能力藉由智慧製造去提升產品設計的技術，營業額較低的廠商則聚焦於生產形式的提升。

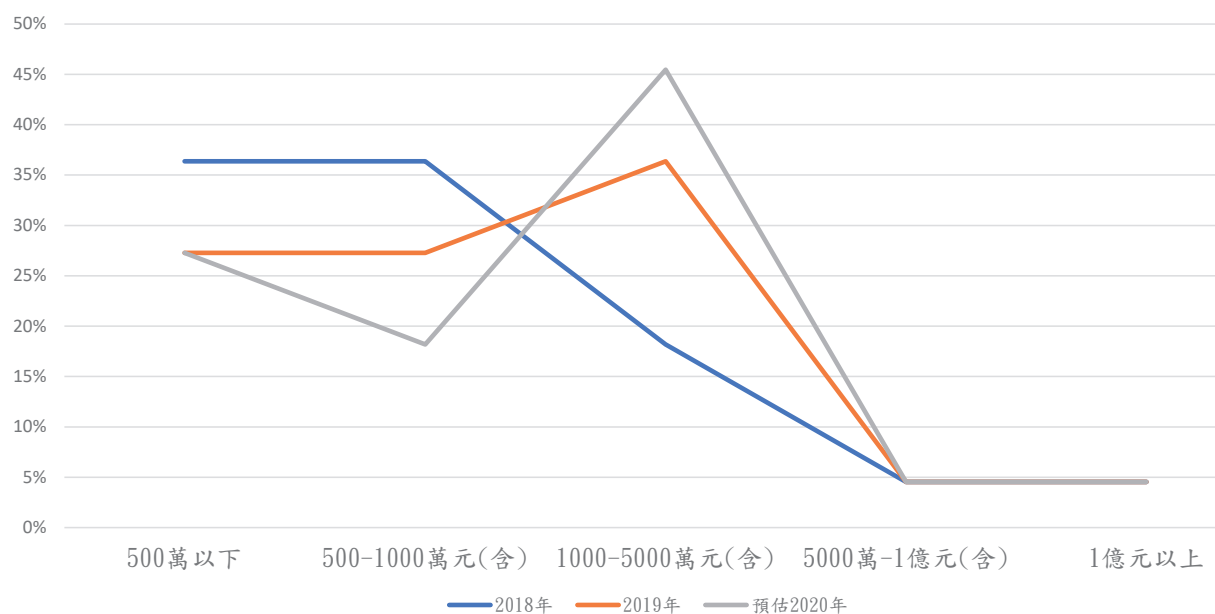
客戶關係管理於調查中同樣有較大分歧，結果顯示導入智慧製造於客戶服務是高優先性或低優先性的廠商占大多數。可解讀為達智慧製造所訴求的生產「少量多樣」目標，故藉由智慧製造數據分析預測技術，使製造商提早預測下游業者需求並做好供貨準備。

工廠製造項目中，上下料、加工、檢測、生產數據管理，是多數廠商認同的高優先性工作項目。特別是檢測，所有廠商皆列檢測為3年以內需導入智慧製造技術的項目。許多廠商亦提到對於光學檢測儀(Automated Optical Inspection, AOI)的研發與投入，可見PCB業者對於檢測能力的重視。

(3) 業者導入智慧製造優先順序與投資概況

最後探討PCB產業發展智慧製造優先順序與投資預算。推動智慧製造並非一蹴可幾，大多數業者認同在成本與效益的考量下，將舊有機台安裝感測器，使舊機台也能收集資料對廠商而言是最符合經濟效益的選擇，其次方為整廠亦或將整條產線升級新設備，其成本相較於建立全新智慧化工廠低。另一方面，根據PCB業者對於智慧製造投資預算，多數廠商於2018年智慧製造投資額約落於新台幣1000萬元以內，2019年多數廠商投資額提升至新台幣1000萬元至5000萬元階段，2020年智慧製造投資額預估則多為新台幣5000萬元以下。

圖11 智慧製造投資概況



資料來源：台經院整理，2020

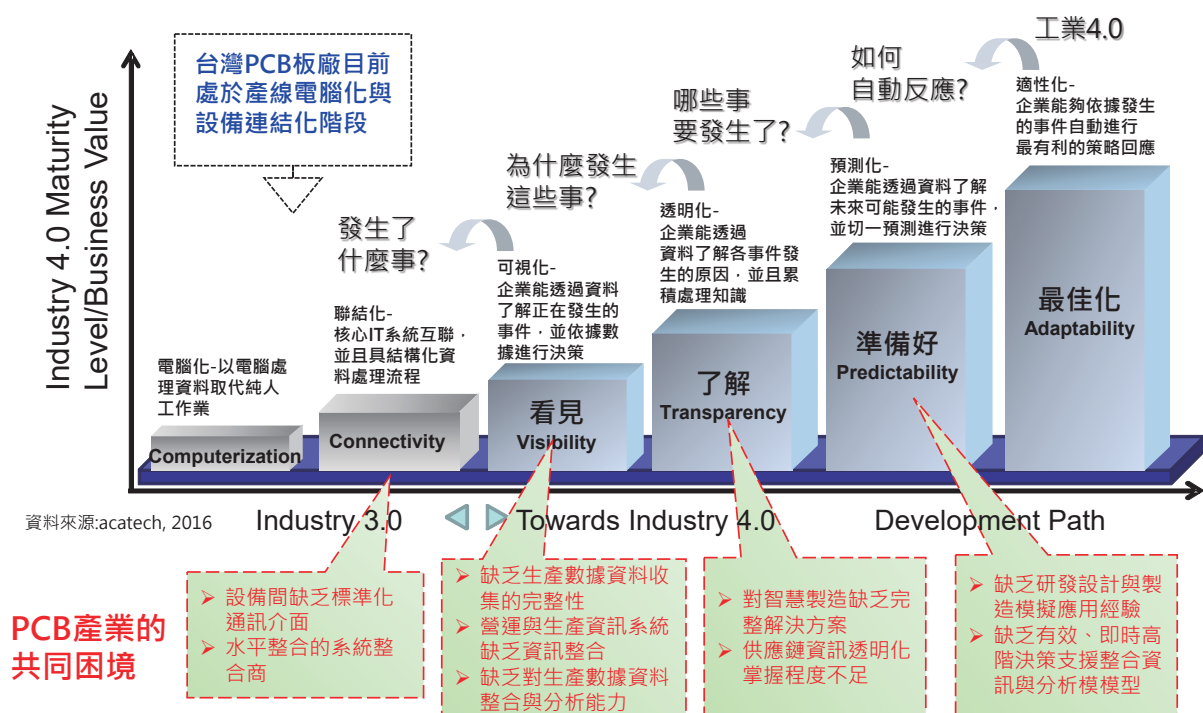
總結智慧製造應用調查結果，可以發現台灣PCB廠商大多認同智慧製造理念並積極於企業內部規劃導入智慧製造相關技術的工作項目與順序。誠如上段提及，推動智慧製造並非一蹴可幾，企業如何不流於外界對智慧製造期待做出不符合企業發展的智慧製造規劃，找出真正適合企業發展智慧製造策略與工作項目，走出屬於符合企業需求的智慧製造才是重要的。

三、台灣電路板智慧製造發展現況與瓶頸

(一) 我國PCB產業智慧製造程度

德國國家科學工程院(National Academy of Science and Engineering, acatech)定義了工業4.0成熟度指數，此指數協助企業了解本身工業化程度外，亦幫助企業有計劃的引入工業4.0。

圖12 工業4.0成熟度指標與PCB產業發展困境



模型來源: acatech, 2016
資料來源: 資策會服創所, 2017、2019

由上述PCB產業朝工業4.0發展的各階段瓶頸可以發現，企業在整合不同面向的數據與資訊系統的能力，將顯著影響企業發展智慧製造的難易程度。例如，當企業欲從工業2.5階段提升至3.0時，企業因缺乏統一不同資訊系統或各部門數據的能力，導致管理者無法透過整合後的資訊發現與診斷問題，並迅速作出營運改善計畫。

台灣PCB產業如計劃提升至工業3.0以上的程度。首先，企業容易面臨缺乏專業的數據分析人才與能力，使得無法更進一步藉由數據模型預測提升生產與設備效率。其次，企業缺乏整合企業內部流程與外部供應鏈系統資料能力，導致無法達成工業4.0智慧營運中，企業與上下游業者搭建完善互聯系統並有效的互通協作。最後，市場中仍缺乏能提供整體智慧製造規劃與系統整合服務的業者，為目標邁向工業4.0的PCB業者提供諮詢服務。

台經院於2019年密集與PCB軟板、硬板與載板廠商進行深入訪談，歸納台灣PCB板廠推行智慧製造的現況與未來短中長期的規劃。短期為1-2年完成的規劃，中期為3-5年，而長期為5年後的发展策略。多數PCB業者短期發展計畫為機台聯網普及與收集資料，為日後發展自動化與AI奠定基礎。中長期聚焦在半自動化、自動化的生產及AI能力拓展及研究。

從工業2.0升級到4.0共有6個階段，分別為電腦化、聯結化、可視化、透明化、預測化與適應化，每一步都建立在前一階段上，亦代表企業轉型需按部就班並持之以恆。工業4.0成熟度同時可解釋為一個系統性指導方針，其支持企業組織再造並持續升級資訊技術與通訊系統。如過去傳統製造業部門各司其職，各單位系統分別由不同部門規劃與使用，在系統缺乏統一整合的情況下，資訊難以流動並做最有效的運用。如何透過IT系統進行資料互聯(聯結化)，使企業能透過資料了解正在發生的事件(可視化)，甚至了解事件發生原因(透明化)，並在未來系統能夠依據發生事件自動進行最有利策略(適性化)，此將為工業4.0完美典範。

資策會數位服務創新研究所於2017年時曾盤點我國PCB產業朝工業4.0各階段提升瓶頸，整理如表所示。當企業欲從工業2.0提升至2.5時，最容易面臨經營者無動機針對設備或生產數據進行收機，或當企業著手收集數據卻發現缺乏設備通訊標準導致收集到的數據格式不一，需耗費額外時間轉譯方能進行後續分析。

表2 PCB產業朝工業4.0各階段提升瓶頸

2.0-2.5	缺乏導入設備或生產資料收集應用動機 缺乏標準化、經濟的設備資料收集或通訊界面
2.5-3.0	缺乏生產與營運資訊系統整合、設備與生產資料整合能力 缺乏提供系統整合服務廠商
3.0+	缺乏提供整體策略規劃與系統整合服務廠商 缺乏數據模型建立、分析與預測之能力 缺乏企業流程、外部供應鏈系統資料與流程整合

資料來源：資策會服創所，2016

(二) 我國PCB產業智慧製造現況

觀察台灣PCB產業現況，整體產值僅次於半導體與面板產業，為台灣第三大電子零組件產業，且台灣擁有全球最完整PCB產業供應鏈，上下游達800家企業，台商總產值全球居冠(市佔31.4%，2019)，但由於PCB產業於台灣發展歷史較為悠久，許

多舊有機台並不具聯網與資料收集功能，多仍需仰賴人工進行抄寫。再加上電路板產品多樣化，生產程序繁瑣，多數的電路板業者在完成自動化的導入後，並無太多投入於從事設備資料和生產資料的整合，以致在後續推動智慧製造應用時，產生許多瓶頸。總結根據工業4.0成熟度指標，台灣PCB產業整體智慧化程度約在2.5-3.0間左右，前10大PCB業者的工業4.0程度較高，約在2.5到3.0。

原則上，製造業業者導入智慧製造可分為設備面、生產面與營運面進行。以下就上述三構面進行說明台灣PCB產業導入智慧製造的現況。

1. 設備面

設備面是組成智慧生產工廠的主要角色，為智慧製造體系的基礎，PCB板廠亦普遍從設備面導入智慧製造。主要概念為安裝感測器針對設備狀態數據進行收集，並將收集到的數據連網上傳至平台，業者透過數據分析技術與演算法所得之結果，用以提升設備狀態。

現階段台灣PCB板廠在生產設備允許的前提下，多已有針對廠內設備安裝感測器進行數據收集並連網上傳至雲端數據庫進行儲存。此外，為使設備間資訊易於統一整合，設備通訊標準整合至關重要，台灣電路板協會(TPCA)所推動PCBECI於2019年9月通過國際半導體協會(SEMI)認證成為SEMI正式標準之一。共同的設備通訊標準將有效解決眾多PCB設備與製造端通訊不統一的問題，加速PCB產業智慧製造的進展。另一方面，因應資料上傳雲端後的安全性，資訊安全重要性亦逐漸成為廠商不可忽視的重點。但目前多數業者礙於仍處於收集數據初期，資料量仍在擴充階段，故根據數據建立模型並提高準確率仍有努力空間。

2. 生產面

生產面重點在於結合數據應用科技與實際生產技術，透過整合資訊化與自動化，將生產設備、產線、工廠與外界之間相互連結，形成智慧自動化的工廠環境。

工廠生產面包含了產線數據管理與分析、生產排程、庫存管理與品質管理。隨著台灣PCB業者逐漸重視產線數據的收集並搭配設備聯網率的普及，將感測器所收集的數據上傳至資料平台以協助業者方便管理與了解產線狀態。

而由於台灣PCB製造商大多為接單生產模式，排程部分目前多數業者仍依據訂單需求採用傳統人工進行排程，僅少數廠商採用集團原有管理資訊系統(Management Information System, MIS)或先進規劃與排程(Advanced Planning and Scheduling, APS)系統進行排程。

在庫存管理方面，台灣PCB板廠目前多已轉成數位化，並有智慧型裝置能夠協助管理者即時了解庫存狀態。其中亦有業者已採用新生產技術(New Productions Skills, NPS)與物料需求計劃(material Requirement Planning, MRP)進行庫存運算以維持最佳庫存量，但亦有業者認為數位化庫存非公司發展智慧製造首選。

PCB的品質檢驗仍是台灣電路板產業耗費最多人力的工作項目之一，由於現階段檢驗設備Aol仍處於AI成熟度不足，檢測速度慢且使用Aol檢測所得的Defect mode過多，設備系統無法有效針對瑕疵進行學習，故多數板廠對PCB檢測時，仍多採取人工方式進行。

3. 營運面

智慧製造最後一階段為協助營運管理者做最有效率的決策。透過企業系統結合內外部生產、環境、營運資訊，整合供應鏈訊息透過大數據應用與結合自動化流程，提供管理階層多種營運策略方案，管理階層可依不同效益目標選擇最適方案執行，提升營運效率與達到利益最佳化。

然而，現階段僅少數台灣PCB板廠能做到整合上下游廠商訂單資訊，如何在保護公司know how前提，又能連接上下游供應鏈數據，並結合設備、生產與營運使公司效益產出最大化，是未來需要努力的方向。

總結，觀察台灣電路板產業智慧製造現況，企業多已逐步於內部推動智慧製造，許多業者於廠區已有單條產線或示範線採用智慧製造策略運行，但如何在設備與成本效益及產出效率間找到平衡，有效率的將機台聯網與智慧製造成果擴展至全場域為目前許多業者短期努力之方向。

詳細電路板產業於短期里程碑、中期里程碑、長期里程碑推動智慧製造策略將於後段講述「2019年PCB產業智慧製造推動藍圖」一併說明。

參、台灣電路板產業導入智慧製造落實行動

經濟部工業局自106年起推動「智慧機械創新產業推動計畫」，聚焦國內具高附加價值性及具優勢之產業，導入智慧化相關技術。我國電路板(PCB)產業因應產業競爭需求，近年來逐步導入智慧製造相關工作項目。面對電路板產業導入智慧製造的需求，台灣電路板協會(TPCA)、資策會與台灣經濟研究院三方共同合作，於2016年底共同發表「台灣電路板產業智慧製造藍圖」，提供欲發展智慧製造之電路板製造業者參考。

隨智慧製造相關技術日漸成熟以及廠商實際導入的經驗漸增，以及TPCA和資策會合作推動PCB智慧製造聯盟發展成果。TPCA、資策會與台經院基於過去三年PCB產業智慧製造導入經驗及考量未來挑戰，調整「台灣電路板產業智慧製造藍圖」，協助台灣電路板產業持續務實地朝「智慧製造」邁進。

一、智慧製造發展藍圖框架

智慧製造是以虛實整合及物聯網技術為基礎，建立全連結的智慧製造工業體系，藉以提升製造業附加價值及創新商業模式。台灣電路板產業智慧製造發展藍圖框架，是以圖的最左邊縱軸的應用層次，和最上方橫軸的發展里程為基底，建構中間部分各智慧製造應用發展進程。在縱軸部分的應用層次架構，依序可分為智慧設備、智慧生產與智慧營運三大面向。每個應用層架構中，依應用的發展進程，參考德國科學與工程學院對工業4.0發展的應用框架，分為聯結化(數據擷取與整合)、可視化(數據呈現)、透明化(數據建模與分析)、預測化(數據預測)與適性化(決策支援輔助)五類應用。

橫軸部分為新版智慧製造規劃的三個里程碑，短期達到產線可視化(M1)、中期發展生產智慧化(M2)及長期目標營運智慧化(M3)。短期里程碑的產線可視化(M1)著重於設企業透過安裝感測器收集數據與設備聯網，藉以了解製造現場設備狀態與生產狀態，並為未來發展智慧製造奠定基礎。中期的生產智慧化(M2)，增加透明化的應用，企業運用大數據資料分析技術提升產能效率，並了解各項製造現場事件之根因，累積處理知識庫，快速回應未來類似狀況。長期的營運智慧化(M3)，透過預測化與適性化應用，企業資訊系統能夠依據發生的事件自動進行最有利的策略回應。

企業參考藍圖規劃智慧製造應用時，建議可先參考藍圖的里程碑，設定應用目標，盤點目前已導入應用項目現況，了解自身企業所處之智慧製造程度，再決定未來需要導入的應用項目。

以下針對2019年版PCB智慧製造藍圖，依M1產線可視化、M2生產智慧化與M3營運智慧化，各里程碑所規劃的策略與達成各階段目標所需的重點工作項目進行概述。

二、藍圖各里程碑說明

（一）短期里程碑(產線可視化)

短期里程碑的產線可視化，主要有連結化和可視化的基礎應用。作為企業導入智慧製造的基礎階段，策略將著重於設備面，目標是將企業的設備資訊與生產資訊進行整合，連網上傳到平台以利業者做後續應用。整體來說，企業於短期里程碑(產線可視化)的重點工作為機台安裝感測器以利管理者能夠藉由監測數據了解監測設備與生產狀態，並使機台聯網，確保設備能輸出資料並定期自動拋轉至中央控制系統管理。而隨著數據拋轉至雲端資料庫，資訊安全的維護將顯得格外重要，針對資訊安全軟體的升級亦為短期里程碑發展的重要工作。

（二）中期里程碑(生產智慧化)

中期里程碑的生產智慧化，目標是企業整合產線軟體與設備，並運用大數據分析技術，使產線效能達最佳化效率，管理者亦能透過數據快速反應生產現場實際情況，進行最佳化調度和調整，可謂推動智慧製造最重要的一環節。

企業於中期里程碑(生產智慧化)的重點工作涵蓋設備面與生產面。首先，為使未來設備與人及設備與設備間資訊能統一整合且更易於交流協作，設備通訊標準的整合將尤為重要。此外，應用感測及監測到的設備及生產數據，透過大數據分析技術分析稼動率變動之原因及預測機台保養時程，目的皆是希望機台生產狀態及產線稼動率皆能維持在最佳狀態，管理者亦能藉由數據了解產線設備狀態並下達各項決策。

另一方面，生產面管理包含生產排程、庫存與品質管理等工作項目。如何降低換線所造成的損失、減少存貨成本及達到大量客製化始終為製造業所面臨的難題，當系統能統一管理訂單及記錄庫存量，生產部門產品便能依據生產模式與各項限制因素進行更符合經濟效益的產能規劃與排程。如廠商能藉由數據分析應用所形成的模型，應用於產線做最即時的調度使生產效率極大化，倉儲亦能透過模型探討如何規劃自動化設備與人力的協同，使發料及庫存運作更有效率。

電路板的品質檢驗仍是台灣電路板產亦耗費最多人力的工作項目之一，如何精進自動光學檢測儀(Automated Optical Inspection, Aol)仍為許多板廠研究重點。未

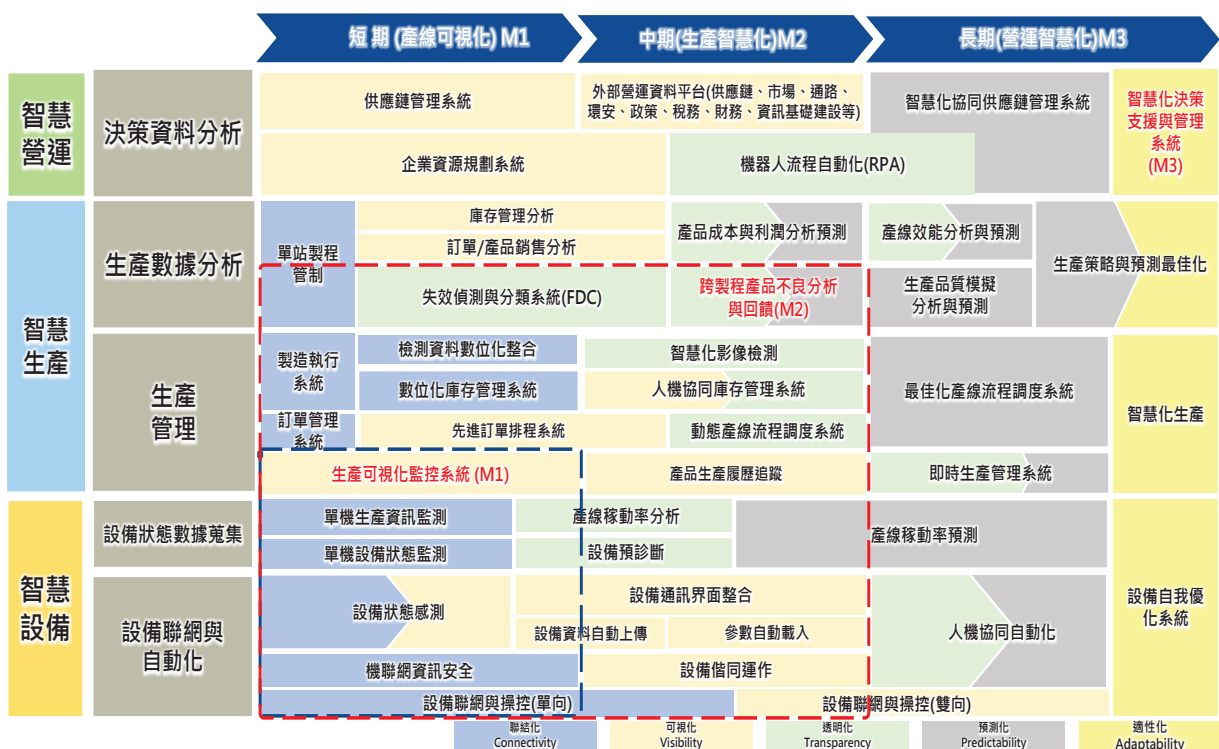
來可透過數位化機台檢測資料並統一格式及檢測要點以利檢測儀於未來進行深度學習，並能針對檢測出的瑕疵進行分類以達未來智慧化檢測。

中期里程碑最後重點工作項目為生產數據分析。企業分析生產所收集到的數據，逐步導入各種數據分析方法，將結果應用於生產製程、品質或承接到營運智慧化的庫存與產業管理等領域。例如：安裝失效偵測與分類系統(Fault Detection Classification, FDC)或升級成跨製程不良分析等。透過設備面與生產面的提升，逐步使產線運作效能達最佳化。

(三) 長期里程碑(營運智慧化)

長期里程碑的營運智慧化，目標是建立整合內外部資訊的資訊系統，系統能根據所發生的事情進行分析並做最有利的策略回應。整體而言，企業於長期的里程碑(營運智慧化)的主要工作之一為運用短期與中期里程碑所整合的數據、模型進行包含產線稼動率、生產流程、生產品質模擬與產線效能的分析與預測應用，朝生產最佳化邁進。另外，企業應在智慧營運的發展上，結合內外部生產、環境、營運資訊，整合供應鏈訊息，並透過大數據應用與結合自動化流程，提供管理層多種營運策略外，並協助主管做出更好、更快的決策。

圖13 PCB智慧製造藍圖(2019年版)



資料來源：資策會服創所，2019

表3 PCB智慧製造藍圖工作項目名詞定義

名詞-里程碑	說明
M1- 產線可視化	<p>定義: 為PCB製造業智慧製造發展里程碑第一階段，企業已針對生產設備安裝設備機聯網，收集機台相關資訊，並開始與生產管理相關系統進行資料整合，對管理階層呈現整體產線數據。</p> <p>階段重點: 為對既有機台與生產資料進行關聯與整合，將可視化管理工具與生產流程整合，加速產線管理者了解產線狀況。</p> <p>進階M2重點: 培養企業導入數據分析概念，將數據資料分析納入處理各項設備與生產狀況，將是進階到下一階段的重要工作。</p>
M2- 產線智慧化	<p>定義: 為PCB製造業智慧製造發展里程碑第二階段，企業已累積一定程度的生產、設備等各類資料，並可整合資料發展資料分析模式，用以發掘生產或設備異常狀況根因。</p> <p>階段重點: 發展各類生產相關的數據資料分析應用，提升數據資料的品質和種類，並讓資料分析結果回饋至製程控制、研發與其他相關企業流程。</p> <p>進階M3重點: 擴展智慧製造應用範疇，由產線應用逐步拓展至整廠和企業其他營運流程應用。</p>
M3- 營運智慧化	<p>定義: 為PCB製造業智慧製造發展里程碑第三階段，企業已可於營運平台，完整串聯顧客、生產與供應鏈管理所需資訊，並發展分析工具，協助各層級主管進行管理決策。</p> <p>階段重點: 整合企業核心營運管理流程資料，發展企業高階主管決策支援應用工具，提升企業決策效率與品質。</p>

名詞-成熟度階段	說明
聯結化	企業生產相關資訊系統能與製造設備連線，並收集設備相關資料。
可視化	企業可整合設備與生產資訊系統相關資料，並運用看板或行動裝置呈現產線資訊，使製造現場了解產線正在發生的事件。
透明化	企業能夠運用累計數據資料，導入數據分析技術，了解各項製造現場事件之根因。並且累積處理知識庫，快速回應未來類似狀況。
預測化	企業能夠運用成熟的資料分析模型，進一步預測、發掘生產製造現場可能即將發生的事件。管理人員能夠依據預測結果進行決策。
適性化	企業已將營運與製造系統高度整合，高階主管能夠運用企業決策支援系統，依據發生事件進行最有利的策略回應。

名詞-藍圖應用	說明
設備聯網與操控(單向)	設備機台具聯網功能，機台能單向輸出資料。
設備聯網與操控(雙向)	設備機台具機聯網功能，且機台能與中央控制系統能夠雙向互聯，包含資料輸出與設備的控制。
機聯網資訊安全	設備機台聯網符合工控網路安全標準的資訊安全管理規範。
設備偕同運作	設備機台間可透過機聯網資訊傳遞，相互配合進行生產作業。例如：AGV/AMR與倉儲系統或生產設備連動，進行物料搬運與上機。
設備狀態感測	設備機台內建或外掛必須之感測裝置，監測設備生產狀態，取得所需要的數據資料。

設備資料 自動上傳	設備機台輸出之資料，可定期自動傳輸到上層資料平台或控制平台。
參數 自動載入	設備機台能夠依據生產產品，自動載入合適配方參數，避免人為操作失誤。
設備通訊 界面整合	設備機台導入PCBECI標準通訊介面，不同設備間的資料格式可透過標準通訊協定進行互通。
單機生產 資訊監測	機台管理者能夠藉由監測數據了解機台所生產之成品/半成品的生產資訊。
單機設備 狀態監測	機台管理者能夠藉由監測數據了解機台設備即時的狀態。
設備預診斷	根據設備機台數據資料進行分析，包含外部環境影響因子以及機台內部參數，預測機台可能發生故障的狀況或需要保養的時間。
產線 稼動率分析	根據設備機台數據，統計與分析產線機台設備稼動率，以搭配後續產線調度系統，進行產線設備機台排程優化。
產線 稼動率預測	依據產線機台稼動率分析模型，搭配後續產線調度系統，預測未來機台設備的稼動率，進行產線設備機台排程優化。
人機協同 自動化	自動化生產線導入工業型/服務型機器人應用，可透過設備機連網傳遞指令，並安全的與產線員工共同進行生產作業。
設備自我 優化系統	設備機台與機器人協同合作，依累積之生產經驗，自我學習優化生產參數與生產流程。
生產可視化 監控系統	M1的主要目標，運用看板或行動裝置屏幕，顯示各項已收集之設備機台數據，監控產線生產系統，包含生產狀況、機台運作情形、人員與廠內環境。

產品生產履歷追蹤	整合產品於機台、工單、物料、檢測、人員等相關生產資訊紀錄，並數位化儲存於資料庫系統。
訂單管理系統	對顧客所下的訂單進行追蹤與管理。
先進訂單排程系統	即時依據產品生產模式與各項限制因素，進行物料與產能規劃與排程。
動態產線流程調度系統	依據訂單排程，以及臨時狀況，在盡量滿足各類限制條件下，提供產線生產調度規劃方案。
數位化庫存管理系統	以電子資訊系統取代人工填單庫存管理。
人機協同庫存管理系統	導入AGV/AMR等機器人或自動化設備，與人力配合，進行發料及庫存管理等工作。
檢測資料數位化整合	將各類檢測機台的檢測資料數位化，並統一格式標準。
智慧化影像檢測	檢測設備或系統，可輸入數位化檢測資料，進行產品瑕疵分類，並結合人工智慧、機器學習等繼續持續改善誤判。
最佳化產線流程調度系統	根據機台設備稼動、訂單規劃、人力調配、料件供應與生產良率等因素，以中控系統動態調度產線，配置各項產品生產線最佳化生產流程。
即時生產管理系統	於企業總部中央戰情室，即時收集各廠各產線於各製程中各項生產、環境與檢測資訊，提供後續分析預測。
智慧化生產	由企業中央戰情室完整整合各工廠生產、物料與機台設備管理，使各工廠運作效能可動態進行最佳化控制。
單站製程管制	在產線單一站點，蒐集機台設備與產品數據資料，進行檢測數據的統計分析。

失效偵測與分類系統(FDC)	蒐集機台資料，運用統計方法或更先進技術進行資料分析，並針對異常狀態發出警訊，以監控制程異常，避免異常狀態持續發生。
訂單／產品銷售分析	分析各客戶訂單，其產品的出貨量、料件與毛利等因素的關聯。
庫存管理分析	根據庫存料況與過去歷史數據，分析原物料及產品的庫存量、消耗與對應的持有成本。
跨製程產品不良分析與回饋	在一個產品線中，整合各製程生產相關資料，運用各類數據分析技術，追溯產品產生不良的關鍵製程根因，並回饋研發程序。
產品成本與利潤分析預測	根據人工、物料成本、生產良率等數據，分析與預測產品可能利潤區間，供業務與管理單位參考。
生產品質模擬、分析與預測	運用數位設計、模擬、分析等技術，在產品設計、試產或量產階段，分析或預測產品生產可能發生的問題，以盡早回饋研發與工程人員調整。
產線效能分析與預測	根據生產排程、設備稼動與製程良率等因素分析，預測產線運作效率與產能，作為成本、品質與排程管理參考。
生產策略與預測最佳化	針對各工廠生產，提供整體性最佳化生產策略，涵蓋料件控管、生產排程、產品製程、設備保養、人力配置、生產成本、品質等全面性生產策略。
供應鏈管理系統	企業與上游供應商、下游客戶於生產、庫存等資訊系統整合平台。
企業資源規劃系統	整合企業營運流程所產出資料的管理資訊系統，用以協助企業於業務經營作業所需資源進行整合規劃。

外部營運 資料平台	整合各項外在環境因素(包含供應鏈、市場、通路、環安、政策、稅務、財務、資訊基礎建設)、國際市場與客戶需求的資訊平台。
機器人流程 自動化	以人工智慧或軟體自動化技術，取代人力處理重複性高/單調性強的工作流程，以提高企業生產力與效率。
智慧化協同 供應鏈管理系統	整合內部營運、各工廠生產製造與供應鏈資訊，導入人工智慧與自動化技術，提供供應鏈管理所需決策支援分析資訊，協助高階主管於生產、採購、訂單管理等各種企業營運流程決策輔助。
智慧化決策支援 與管理系統	輔助高階主管透過企業整合性的資料分析與累積知識庫，透過各類決策模型，以人機介面為決策者分析營運問題，模擬決策過程和方案的環境，幫助決策者提升決策品質。

資料來源：資策會服創所、台灣電路板協會、台經院，2020

三、如何運用藍圖發展智慧製造應用

我國電路板產業居全球龍頭地位，近年來積極導入智慧製造相關應用，已具有相當成效。PCB智慧製造藍圖發展目標之一為作為企業發展智慧製造時的參考資料，協助企業在目標設定與應用發展的規劃。對於企業在運用藍圖進行智慧製造策略規劃與發展時，建議可根據下列步驟操作：

(一) 設定目標

智慧製造名稱雖包含製造，帶來的革新卻不僅於生產製造端，而是擴散到企業整體。小至生產部門的單一站點，大至整體企業營運管理，皆能感受到智慧製造所創造出的的嶄新商業營運模式。雖然根據智慧製造發展藍圖，導入智慧製造多由設備面著手，並向上提升到生產端與營運端，然而企業整體智慧製造目標卻是由最頂層營運端設定發展目標後，向下帶領生產面與設備面依照設定的目標、規劃策略與建立內部目標共識，齊力朝導入智慧製造邁進。

通常，企業在設定智慧製造導入主要目標時，主要會考量四點，即發展策略、客戶需求、獲利能力與企業資源。在實際執行上，首先可針對企業在產業的競爭態

勢進行分析，並思考智慧製造應用對於企業營運重點項目，和顧客需求改善的影響。例如：改善策略性產品的生產良率、成本控制能力、提升產線效率；或者是降低整體生產人力成本等。

根據設定的目標，企業也可較容易評估智慧製造應用導入後續的策略規劃，包含後續要投入的資源、範圍並為目標規劃短中長期所要達成的目標。

（二）現況盤點

在訂定目標後，企業可進行製造流程現況盤點，詳細了解企業本身發展智慧製造的能力，並根據現況，訂定更為細緻的推動規劃。比方說，若是透過建立產線可視化應用來提高產線管理效率，就需要了解在生產管理過程中，那些資料是必須取得的？這些資料分散在那些資訊系統或是設備？在設備的資料有無機聯網可以取出？資料解析度與頻率是否可符合管理需求等問題。透過展開生產與設備層級的資料現況，與需求目標進行對比，來建立應用導入的細部規劃。

（三）導入驗證

企業導入智慧製造多由底層示範點開始，再逐步導入技術與擴散規模。企業可在設定智慧製造目標並評估目前導入現況後，逐步往其他製程或產品發展。智慧製造專案導入驗證階段，是培養企業智慧製造能量的重要過程。

企業在發展智慧製造應用同時，伴隨著如何建立智慧製造團隊，企業內各部門相互交流，在生產、營運與管理流程上，找出最適合企業本身的智慧製造發展策略。

（四）成果擴散

企業推動智慧製造多由能為企業帶來最多效益的站點開始著手，或是能藉由推動智慧製造解決最多問題的地方。從單一站點實行智慧製造出發，是企業逐步將管理流程搭配智慧製造應用導入調整的策略之一。後續將可根據企業不同的需求，推展到整條產線或全廠域的智慧化。同時，隨著企業發展智慧化發展至一定程度，勢必需要上下游業者的配合，方能使智慧製造概念發揮最大效用。從企業本身智慧製造發展帶動整條供應鏈的智慧化，再由供應鏈擴散至整個相關產業，使整個電路板產業務實地朝「智慧製造」邁進。

四、PCB產業智慧製造成果案例

自2016年起，經濟部工業局推動智慧製造導入我國電路板產業。在這三年中，工業局與台灣電路板協會和資策會緊密合作，於PCB領域推行了「PCB智慧製造共通平台研發與應用發展計畫」、「卷軸式細線寬雙層軟板智慧製造技術開發」等計畫，協助台灣PCB廠商逐步朝智慧製造邁進且成果斐然。

PCB智慧製造依循「PCB智慧製造發展藍圖」脈絡、從設備聯網標準統一、公版資訊平台、生產數據分析應用、及上下游等議題，組織三大聯盟，並運用PCB智慧製造藍圖中所規劃的M1(產線可視化)、M2(生產智慧化)與M3(營運智慧化)等級的應用，其中分別為PCB A-Team(2017)、先進軟板製造聯盟(2017)、PCBECI設備聯網示範團隊(2018)，使藍圖規劃能逐步落實於產業中。

(一) PCB A-Team

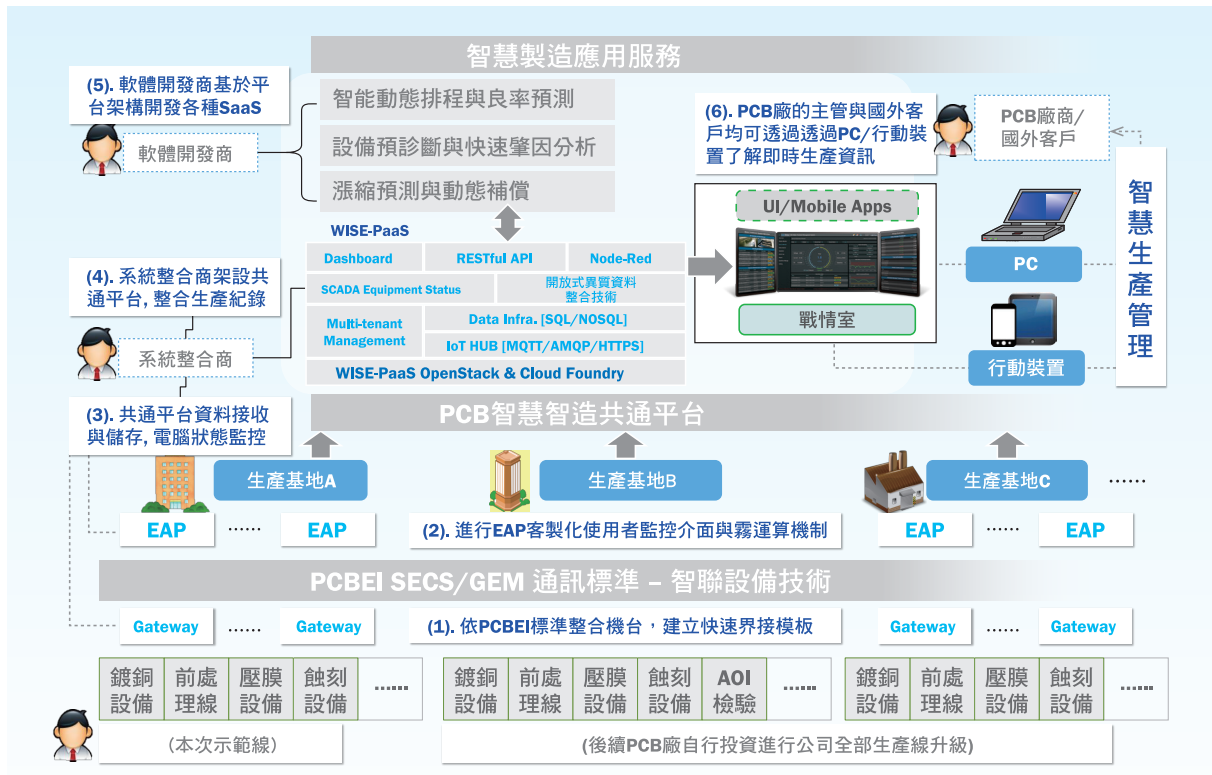
PCB生產線長且設備種類眾多，當企業計劃導入智慧製造容易面臨設備間缺乏標準化通訊界面，生產設備無法有效輸出資料，連帶影響整體產線資訊整合程度與完整性，且現階段多數板廠缺乏資料整合與分析能力。為補足上述企業發展智慧製造缺口，在TPCA與資策會的主導下，成立了PCB A-Team。

PCB A-Team為我國PCB產業第一個大型智慧製造示範團隊，整合物聯網廠商研華公司與系統整合商迅得機械及國內3家大型PCB製造商欣興電子、敬鵬工業、耀華電子，致力打造完整的PCB智慧製造生態系。

A-Team的核心建立在「一個標準、兩個平台」為主的架構，目標發展成為台灣PCB產業智慧製造完整的解決方案。一個標準指的是設備通訊標準，也就是以PCBECI串聯機台設備與系統。至於兩個平台，則分別以技術為主的智慧製造平台，以及集結法人、系統整合商、設備商及PCB廠等業者跨領域合作的解決方案平台。

A-Team整體運作架構導入M2等級(生產智慧化)的應用，運用設備與生產數據，進行生產參數和生產管理的回饋或最佳化，藉以達到優化生產製程並了解各項製造現場事件之根因，進而累積處理知識庫。

圖14 PCB A-TEAM計畫情境與架構圖



資料來源：TPCA，2017

完整PCB A-Team 智慧製造示範團隊應用發展架構如圖 14。在PCB A-Team規劃中，PCB生產設備透過共同通訊標準PCBEI，將數據上傳到共通資料平台，於可視化管理平台呈現數據，協助產線管理人員快速了解生產狀態。系統整合商創建共通平台整合企業原有之ERP、MES系統，對下可承接EAP霧運算上拋之生產資料與生產狀態，對上則提供各類Web service介面，提供資料存取之能力。本次聯盟將藉由數據整合分析能力應用於「智能動態排程與良率預測技術」、「設備預診斷與快速肇因分析」、「即時製造預測與動態補償」三種應用情境，改善生產效能。以下將介紹上述服務情境應用案例。

1. 智能動態排程與良率分析

問題：PCB生產線長，設備多，目前公司多以人員藉由紙本工單進行生產排程及派工，除導致生管單位排程時間長且難以判斷何為最佳流程外，生產資訊由人工獲取，生產效率及正確率堪憂。例如以業者進行電鍍製程為例，不同產品型態與尺寸、材料影響排程切換，且進行生產線轉換時平均皆耗時30分鐘，無形中增添隱形成本，此外，生產履歷透過人工進行追蹤不但耗時且容易出錯。

解決方法：以PCBECI機聯網協定為基礎，快速收集各種機台感測器資料，利用大數據分析技術預測設備良率，進行良率最佳化生產流程。並藉由智能動態排程模組，自動安排生產計劃建議，計算物料齊料套點、快速模擬抽差單影響，減少產線突發不確定性，使得生產計劃得以順利完成。

2. 設備預診斷與快速肇因分析

問題：由於PCB產線生產設備種類眾多，資料收集整合不易。同時，缺乏整合性設備資料分析模式，難以監測設備異常。導致當產品或設備異常時，需仰賴大量人工收集機台資料找出異常原因，除無系統性的耗時分析，也相對的嚴重影響產能。

解決方法：藉由PCBECI機聯網協定為基礎，快速收集機台感測器資料加以分析與學習，發展出製程失效分析(FDC)模組，縮短不良品原因確認時間(30天縮短至15天)；設備失效分析(PHM)模組，透過系統監控設備運作，並針對設備進行預診斷發出警示(提前5天)，使業者能夠提前進行設備零組件的備料並維修，達到設備運作零停機的目標。

3. 漲縮預測與即時動態補償

問題：多層車用板在壓合製程時，上下層材料因為問度壓力產生漲縮偏差，導致上下層線路無法連結，影響後續鑽孔製程良率。目前廠商多透過人工打靶與漲縮量測方法進行板件定位，完成打靶後之板件持續仰賴人工進行運送及分類。由於PCB壓合漲縮程度發散，需耗費大量品管人力且產品報廢率高達50%。

解決方法：導入製程動態補償模組與壓合漲縮預測模組，透過X ray量測PCB漲縮程度，判斷車用板漲縮偏移程度，並透過機械手臂自動分群使誤差值集中分群收斂。採用分類後的PCB進行鑽孔製程能夠縮短因更換程式所耗費的時間，且系統內建程式能夠即時回饋鑽孔狀態，動態調整鑽孔後製程。

(二) 先進軟板製造聯盟

隨著穿戴式電子產品的崛起與第五代通訊商轉在即，軟板需求量預期將大幅提升。同時，細線寬雙層板將成為主流，如何提高良率，並降低能源耗損及生產成本為未來軟板業者的推展智慧製造的重點。

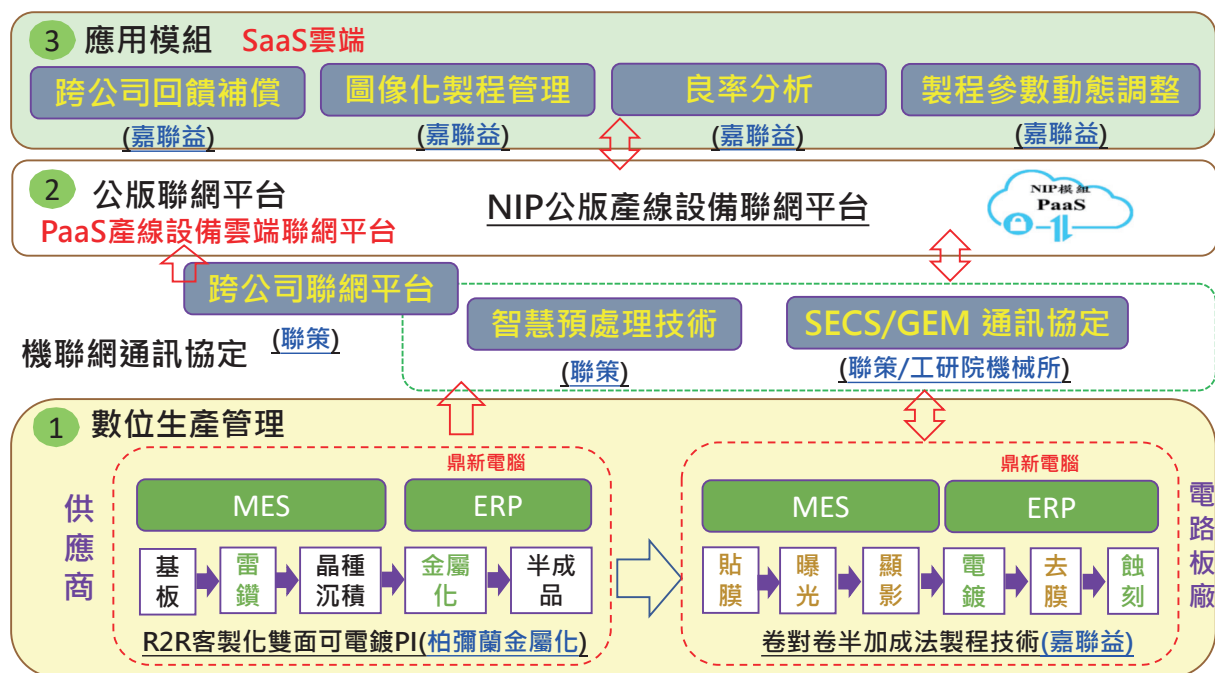
先進軟板製造聯盟聚焦提升台灣高階軟板研發實力，並由嘉聯益科技、聯策科技、柏彌蘭金屬化研究等業者組成。先進軟板製造聯盟以垂直產業鏈的概念，透過

智慧平台以儲存運算分析，開發跨供應鏈的聯網智造系統，實現高良率高階軟板的生產。

先進軟板製造聯盟成果將分為兩重點，其一為整合開發新材料及新製程等技術，建立全球首創之卷對卷半加成雙層軟板生產製造技術(線寬15/15um，通孔直徑25um)。其次，開發智慧預處理(減少訊息流)、跨公司聯網平台(橫向)及製程參數即時動態調整(縱向)等智慧平台技術，提升產品良率及縮短不良率排除時間。

先進軟板製造聯盟導入M3等級(營運智慧化)的應用，供應鏈管理系統，建立跨公司聯網平台軟體及技術，包含：資料存入、取出及處理等，使材料商在生產過程中即可透過跨公司聯網技術將材料數據(如銅厚、孔寬…)傳送至製程端，提前進行光罩設計及設備調教，解決製程端需等材料送達並完成檢驗後，才進行生產預準備之困境，目標達到縮短收到材料後之生產前預準備時間(5天縮短為0.5天)。

圖15 先進軟板智造聯盟架構圖



資料來源：工研院機械所，2017

(三) PCBECI設備聯網示範團隊

台灣PCB產業導入智慧製造已成為產業共識，中小型板廠雖也有意投入智慧製造，卻不知從何做起。同時，電路板製程複雜且各站設備聯網規格不同，導致生產及設備資料無法整合，然而如企業僅針對單點設備資料分析無法顯現智慧製造價值。

除此之外，板廠委託設備商針對通訊標準修改成本高且國內現階段設備商與系統整合商能力有限，故成立PCBECI設備聯網示範團隊，以共同PCBECI協助台灣中小型板廠做智慧製造升級，強化本土設備商技術研發能力，穩固台灣在全球PCB產業領頭羊的地位。

PCBECI設備聯盟首要目標針對曝光、蝕刻、烘烤與鑽孔等四項重要製程站別，協助20家中小型電路板廠100台設備，進行設備聯網升級，並擷取重要參數，達到數據收集目的，整體板廠聯網普及率達20%。其次，建立PCB產業可視化介面樣板，包含機台稼動率、設備異常即時顯示、設備狀況遠端監控、數據整合等四大功能，縮短設備及生產資訊擷取及分析的時間。第三，建構電路板產業標準化聯網及資料整合系統，將低板廠進入智慧製造門檻。最後，發展PCB四大關鍵製程，曝光、蝕刻、烘烤、鑽孔，設備智慧化功能，包含關鍵零件監測、預兆診斷、製程參數控制等。

PCBECI聯盟導入M1等級(產線可視化)的應用，主要提升業者設備聯網可視化的應用。現階段板廠於生產面多仰賴人工設定排程與換線，設備稼動率低於50%，且生產資料靠人工抄寫，異常分析困難，無法確保正確性。設備面則為機台異常時無法第一時間發現，唯有等產品檢測後方能針對問題進行回溯分析，停線時間至少一天以上，影響整體產能規劃。

然而，當導入M1(產線可視化應用)後，生產面的生產資料可即時監控並記錄，誤報率降低到0%。設備智慧化後，可監控生產狀態並提升稼動率至少10%，產線最高24小時不間斷生產。設備面能透過系統監控設備運行狀態，並運用數據分析預測結果，對曝光、蝕刻、烘烤與鑽孔設備進行預兆診斷，主要防止外在環境影響生產良率、系統能提前告知設備維修保養時間點並提供設備生產資訊與分析圖表，使管理者能夠即時了解設備運轉狀態。

圖16 PCBECI設備聯網示範團隊架構圖



資料來源：資策會服創所，2018

根據台經院歷年追蹤調查，PCB產業於智慧製造的投資額逐年提高，2018年多數業者智慧製造投資額約新台幣1000萬元以內，但2020年預估投資額達新台幣5000萬元以下的業者為多數。可見台灣PCB產業對於智慧製造投資意願提升，發展智慧製造亦成為產業共識。隨著三大聯盟與示範線成果豐碩，將可望帶動PCB產業鏈更多相關業者的加入，透過團體戰的方式，持續鞏固台灣於世界電路板產業龍頭的地位。

肆、參考文獻

Andrew, M., Mike, L., Paul, S., A practical roadmap for the implementation of Industry 4.0, Rexroth Bosch Group, 2017。

IBM, IBM Analytics 工業4.0與物聯網白皮書，2013。

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier J., ten Hompel, M., Wahlster, W. (Eds.): Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY), 2017.

TPCA，PCBECI與智慧製造三大聯盟攜手實現PCB智慧製造願景，TPCA季刊，第86期，2019。

三菱電機，e-F@ctory 台灣的推進活動，2019年。

吳禹濤、黃詩文、左峻德、吳清沂、謝沛宏、陳彥豪，台灣推動智慧製造作法建議與實踐藍圖初探，台經院，2017。

邱昱芳，電路板製造業訪談報導--5G應用為我國PCB廠商2020年布局重點，台經院產經資料庫，2019。

邱昱芳，2020年我國電路板製造業分析，台經院產經資料庫，2019。

邱昱芳，電路板製造業訪談報導—2020年PCB產品以IC載板訂單能見度相對高，台經院產經資料庫，2020。

張啟原、陳繼賓、謝沛宏、TPCA市場資訊部，智慧製造概論—通往PCB高值化轉型之路，2014。

謝沛宏、徐恩仲、陳彥霖、陳彥豪、吳清沂，台灣電路板產業智慧製造發展藍圖介紹，TPCA季刊，第85期，2019。



台灣電路板產業智慧製造導入指引

發行人：李長明

發行單位：台灣電路板協會(TPCA)

指導單位：台灣電路板協會自動化委員會

研究單位：資訊工業策進會、台灣經濟研究院

電話：+886-3-381-5659

傳真：+886-3-381-5150

地址：337桃園市大園區高鐵北路二段147號

E-mail：service@tpca.org.tw

出版日期：2020年9月

著作權所有 請勿擅自轉載或翻印