

工業 4.0 (Industry 4.0) 11

本章學習重點

- 工業 4.0 之定義與核心價值
- 智慧製造
- 日本的工業智慧化構想
- 美國的軟性服務和德國的硬性製造
- 6C vs 6M
- iGDP 在工業 4.0 之意涵
- 創新 2.0 vs 工業 4.0

11-1 工業 4.0 之定義與核心價值

隨著物聯網（Internet of Things，IoT）的蓬勃發展暨製造業服務化的浪潮推波助瀾，德國工業界明顯意識到未來之生產方式，將以智慧製造（Smart Manufacturing）為核心主軸，它將會是一個革命性的變化，全世界的製造業也會以此為標準，工業 4.0 的概念應運而生。工業 4.0 意謂著以智慧製造為導向之第四次工業革命，工業 4.0 時代的來臨，人類將以網宇實體系統（Cyber Physical System）為根基，進而構建包含智慧製造、數位化工廠（Digitalization Factory）、物聯網、服務網路的整合式產業物聯網，藉由資訊通訊技術（Information Communication Technology, ICT）達成虛擬模擬技術及機器生產得以相互輝映，實踐智慧工廠（Smart Factory），最後達成整個生產價值鏈（Value Chain）都緊密扣合在一起。工業 4.0 將如先前之網路環境，將徹底改變人類生活的各種面向。綜觀工業歷史的演進，工業 1.0 以蒸汽動力為代表；工業 2.0 以電氣動力為代表；工業 3.0 以數位控制為代表；工業 4.0 則以智慧製造為代表。

而工業 4.0 此一名詞，最早出現在 2011 年德國漢諾威（Hannover）工業博覽會。2012 年底由 Bosch 為首的推動小組向德國政府提出發展建言，並在 2013 年 4 月在漢諾威工業博覽會上正式對外發表，工業 4.0 正式進入人類工業歷程，

全世界第四次工業革命也如火如荼地推展。因此，2013 年可謂工業 4.0 元年。如圖 11-1、11-2 所示，即為德國漢諾威工業博覽會。



圖 11-1 德國漢諾威工業博覽會現場
(資料來源：www.boschrexroth.com)



圖 11-2 德國漢諾威工業博覽會現場
(資料來源：www.siemens.com)

德國政府將工業 4.0 列入該國高科技策略 2020 (High-tech Strategy 2020) 綱領中，並列為十大發展專案計劃之一，投入超過 2 億歐元之研究發展經費。網宇實體系統、數位化工廠、智慧製造、物聯網也將成為工業 4.0 發展的關鍵成功因素。未來製造業也將傾全力研發上述三面向之相關技術，藉以大幅下降製造成本、生產效率與效能則明顯提升，進而輕鬆達成生產線產品之多樣化與客製化。

工業 4.0 之核心價值為物聯網之完美演繹，達成萬物互聯之境界，無論是終端消費者、供應商、智慧工廠、生產線、機器、產品等，都將被一個巨大的智慧型網路，環環相連，扣成一體。原則上，此一巨大的智慧型網路將涵蓋網宇實體系統、通訊設施、智慧控制系統、無所不在的感知器、嵌入式終端系統，如圖 11-3 所示。工業 4.0 的到來意謂著物聯網與服務網路將徹底地觸及到工業體系的各個部份，將傳統之生產方式改變為具備高度客製化、智慧化、服務化之全新生產製造模式。

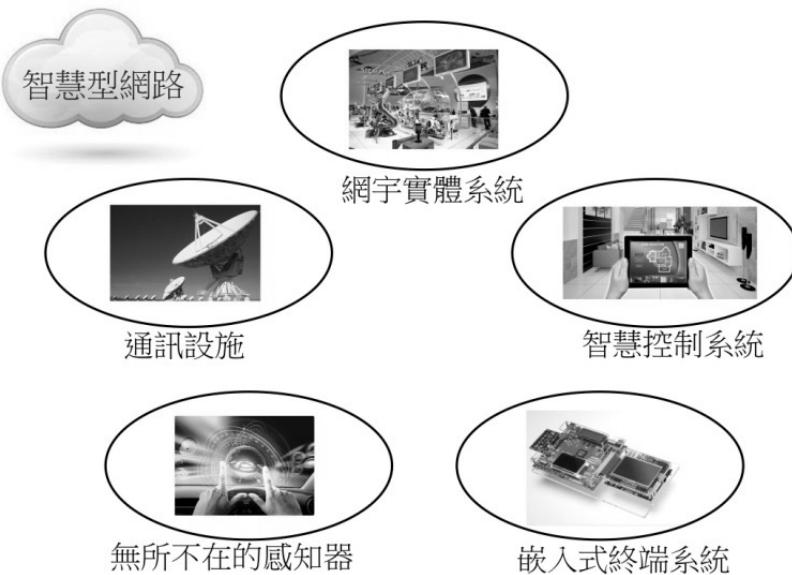


圖 11-3 智慧型網路將涵蓋之範疇

在不久之未來，人類、機器、資訊將會被網宇實體系統無縫連結在一起。換言之，工業 4.0 就是智慧化生產的時代。實體世界與數位世界逐漸結合成一個無所不包的物聯網，而製造業從生產製造轉型為服務製造，進而快速創造出多種的混合型產品，以滿足不同客戶之需求。

自工業 3.0 切入分析，在同一條生產線上，傳統製造業是透過大量標準化生產，藉以降低成本並滿足消費者的需求，但是這種生產方式的最大缺點，就是缺乏靈活度（Flexibility），原則上，只能提供單一標準的產品，無法滿足人們多樣化的實際需求。智慧工廠卻可以生產出千變萬化的客製化產品，近幾年來，隨著網路經濟的發展，製造業又出現客製化產品的生產模式，此一模式雖然可以滿足消費者的需求，但卻因成本高居不下而難以形成規模經濟效應，而智慧工廠卻可以能夠讓一條生產線產出多元化的產品，不僅可快速達成市場佔有率，也將成本大幅降低。

在工業 4.0 的情境下，現場的操作人員，根據不同的客製化需求，輸入至每個產品晶片中，再由生產線上的機器設備，以感應裝置讀取相關的數據，並且根據事先設計好的程式，將生產線自動調整出該產品的製造程序，這樣的方式，大大的解決了上述大量生產與客製化之間的不協調。

在工業 4.0 時代的數位經濟，不是僅靠智慧化的工業生產線即可，還必須要藉由大數據（Big Data）的技術，來讓企業與客戶之間的一切資訊進行最佳化的整合。換言之，誰能掌握客戶和產業的大數據，誰就能夠贏得更多的市場佔有率，也就可以將智慧工廠的技術轉化成現實的經濟地位。換言之，跨領域企業的巨頭結合勢必成為一個趨勢，例如：掌握大數據的 Google 和亞馬遜（Amazon）等美國的網路巨頭，和以智慧型技術見長的西門子（Siemens）企業，可以進行跨領域結合，相得益彰。

工業 4.0 更穿越現實世界與虛擬世界之間的界線，將兩個世界徹底結合為一。德國的專家認為第四次工業革命，最主要的驅動力，是一個高度智慧化的產業物聯網，這種產業物聯網靠大數據即時分析技術，以物聯網為核心，舉凡工廠的製造流程、產品協同設計（Collaborative Design）、技術升級、使用者服務等各個環節，都被這個智慧型網路所環抱。

在工業 3.0 的時代，實體經濟與虛擬經濟在發展過程出現了不和諧的現象。網路技術快速的發展，超越了實體經濟的進步，而且虛擬經濟累積的大量的財富，實體經濟難以競爭，因此某些先進國家去工業化的政策，面臨重新檢討，尤其是在 2008 年全球金融全融風暴之時。而去工業化發展模式，無法與網路經濟發展相抗衡，終究需要以智慧製造為根基之無人化、數位化生產模式所取代，換言之，工業 4.0 的思維，不必再將工廠或生產線外移到海外開發中國家，真正解決之道，是將工業 4.0 的智慧生產線留在經濟條件、工業體系更加完善之本國，如此概念與去工業化發展模式，是有相當大的差別。一個工業 4.0 之工廠具有以下面向之總和：智慧化製造、自動化生產、數位化生產、資訊整合，如圖 11-4 所示。

2008 年的全球金融海嘯襲擊，世界各國都紛紛陷入經濟不景氣的困境，但是德國卻仍然保持一定的經濟發展。在先進的國家紛紛將製造業外移之際，德國依然堅持要發展本國的實體經濟，換言之，以先進的製造業跟高科技的相輔相成，來支持德國走向燦爛的未來。因為德國的製造業若不能即時進行新的工業革命，美國的 Google、蘋果、微軟等網路巨擘正不斷地以現有虛擬經濟之強大優勢，拓展企業版圖，當它們一旦演進成為工業製造國的新巨頭，德國不僅會揹負在網路經濟上落後於世界強國的原罪，還可能因工業製造國的新巨頭的崛起，而失去了昔日引以為傲的工業科技。

工業4.0之工廠

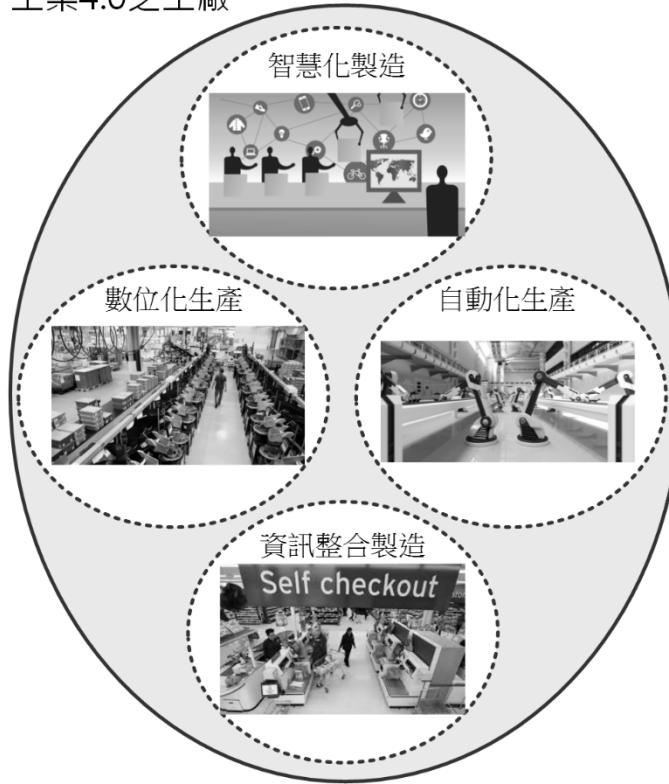


圖 11-4 一個工業 4.0 之工廠具有之面向

11-2 智慧製造 (Smart Manufacturing)

智慧製造是一個複雜的系統工程，原則上，包含下面幾大元素：製造執行系統（Manufacturing Execution System，MES）、融合虛擬生產與現實生產的物聯網系統、使用智慧型機器人取代傳統工人的自動化生產線、高度智慧化的生產線控制系統等，如圖 11-5 所示，為智慧製造涵蓋之範疇。如果沒有以軟體系統貫穿上述元素，就無法達到整體智慧製造之管理暨決策之最佳化，也就無法打造一個真正的智慧製造系統。智慧製造此一概念，在美國，就是所謂的工業網際網路和先進製造；在日本，就是所謂的工業智慧化。智慧製造不僅是更新原有之生產線，同時還要在資訊通信技術、物聯網、服務網路，加強力道，以期對製造業進行高階整合和全面性的智慧化改造，目標為涵蓋整個產業價值鏈的系統工程。

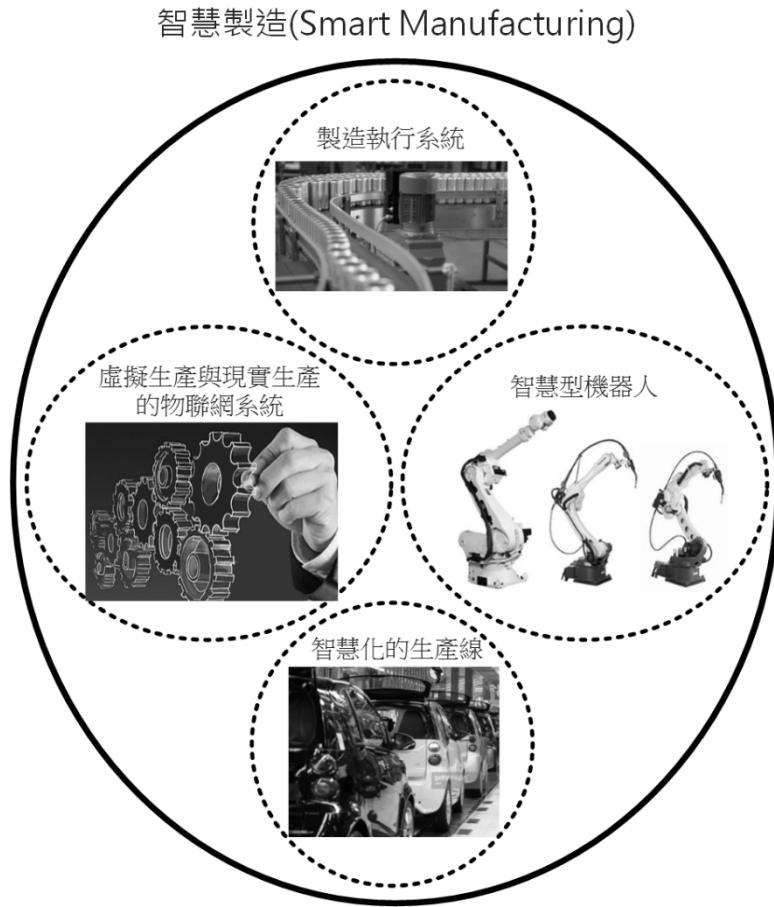


圖 11-5 智慧製造涵蓋之範疇

11-3 日本的工業智慧化構想

根據相關的統計資料顯示，在日本工廠中，平均每 10,000 名的工人，有 306 個機器人；在韓國工廠則為 287 個；在德國工廠則為 253 個；在美國工廠則為 130 個；而目前在中國，只有大概 21 個。而日本的工業 4.0 構想則有別於德國、美國之規劃。日本的工業智慧化構想則延伸了以往對於無人工廠之憧憬，很明顯地，這和日本高齡化社會有密切之關係。日本要打造的工業 4.0 無人工廠，需要多種先進技術之整合，而這些技術則涵蓋了彈性製造以達客製化之需求、智慧型機器人即時控制技術、生產安全即時監控技術、機器設備與各零組件即時運作狀況之監控技術等。

根據相關資料顯示，美國製造業在 2010 年的產出稍高過中國一些，但比日本高出三分之二。而德國的製造業的產出在當年只有美國的三分之一，儘管如此，製造業並沒有為美國的民眾帶來更多的就業機會，在 2012 年，美國人民參與製

造業的比例約 9%。2016 年美國 3 月製造業產能，意外下降 0.3%。美國 3 月工業產出環比下降 0.6%，是過去 7 個月內第 6 次下降，創 2015 年 2 月以來最大降幅，顯示美國製造業仍然因為海外需求的疲軟，而面臨相當之壓力。

11-4 美國的軟性服務和德國的硬性製造

相對照下，美國的軟性服務和德國的硬性製造，相互輝映。儘管美國採用工業網際網路的概念來詮釋工業 4.0，但這和德國的基本理念是一致的，也就是把虛擬的網路經濟和實體的製造業整合為一，並推動製造業的智慧化升級與商業模式革命性的改變。不難看出，德國工業 4.0 的策略更著重在硬性製造，並以智慧製造與智慧工廠為核心，在此基礎上發展出物聯網、服務網路、智慧城市等相關計畫。自客觀條件分析，美國的製造業在技術上並不亞於德國，但美國主要的問題是工廠因為本土勞動成本的上升而必須將工廠外移到海外，導致製造業難以增加本土的就業機會。相對的，德國並沒有像美國，有出現製造業空心化的現象。不容諱言，貫穿虛擬、現實世界之關鍵技術在於網路科技，而美國的矽谷正擁有獨步全球的相關技術，這是美國在邁向工業 4.0 時一個很大的競爭優勢。

在工業 4.0 環境下，每項產品從原始設計、量產、彈性化生產組裝、智慧型配送、服務銷售等環節中，產生之所有數據，均會被忠實的記錄下來，儲存在雲端大數據資料庫中，這些資訊最終會回饋到企業的相關單位，再透過雲端大數據資料庫中心挖掘出使用者潛在的消費傾向，以修正產品生命週期中各階段可以改良的部份，並調整生產過程之決策製訂。德國的智慧生產線的優勢是智慧型機器人與植入產品標籤的智慧晶片整合運作，而美國智慧生產線的優勢則是工業大數據和相關配套資訊系統之整合。

11-5 6C vs 6M

工業 4.0 所延伸的新商業模式有幾個特徵，涵蓋有虛擬生產與現實生產、一體兩面的網路化製造、藉由物聯網與智慧工廠直接連結的自我組織適應性強的物流系統、終端消費者可以全程參與生產線的全方位客戶製造工程。工業 4.0 所延伸的新型的商業模式，不僅會單單影響一個公司的發展，還會推動整個商業網路價值鏈的重新組合，這就意味著每一家工業 4.0 企業，都必須重新思考新商業模式所帶來的衝擊，進行最優質的產業佈局。

相關研究也指出，工業 4.0 包括大數據的 6C 系統及製造業的 6M 系統。大數據的 6C 系統包含：Cloud（雲端）、Connection（物聯網連結）、Cyber（虛擬網路）、Community（社群）、Content（內容）、Customization（客製化）。而製造業的 6M 系統包含：Material（材料）、Method（方法）、Machine（機器）、Measurement（測量）、Model（模型）、Maintenance（維護）。

由於 6C 與 6M 之結合，可實現智慧工廠內部的水平、垂直資訊之整合、供應鏈與客戶的端的資訊無縫連結。製造業的 6M 系統，是製造生產過程的資訊化與自動化，透過系統整合，將整體生產製造流程，達到自動化與最佳化。

► 6C 之範疇

- Cloud（雲端）：雲端運算的普及配合大數據的運作，透過雲端運算，可以達成企業快速回應機制。
- Connection（連結）：在物聯網的時代裡，萬物相連、互相牽制。
- Cyber（虛擬網路）：在虛擬世界的環境裡，虛擬環境所產生的經濟規模可能遠大於實體產業。
- Community（社群）：透過社群網路、網路 2.0/3.0 的方式，可匯集群眾的力量，來達到預知潮流的趨勢。
- Content（內容）：豐富的內容，透過物聯網連結，資訊更加透明。
- Customization（客製化）：客製化的方式是讓顧客滿意的最佳方式之一，在工業 4.0 的環境裡，可以使用彈性製造方式，以少量的生產線，生產多樣化的客製化產品。

► 6M 之範疇

- Material（材料）：根據物料需求規劃（Material Requirement Planning，MRP），而產生產品所需要的最小耗材，並透過智慧供應鏈管理達到生產流程運作最佳化。
- Method（方法）：針對所欲開發之產品，以自動化產生製程，並進行最佳化。
- Machine（機器）：機器與機器（Machine to Machine，M2M）透過物聯網，可以直接溝通，而不需要透過人為力量的介入，藉以提升效能與效率。
- Measurement（測量）：全面品質管制（Total Quality Control，TQC）的落實與即時生產過程的監控，以確保高品質產品。
- Model（模型）：根據所要生產的產品，產生電腦化的模擬系統，可進行生產流程微調。

本達成上述之目標與縮短產品上市時間。消費者可以大量參與並享受個性化訂購之樂趣，並可與相關機器互動，真正感受到整個產品生命週期與生產流程。

參考資料：

- 韋康博，工業 4.0 從製造業到製造業，下一波產業革命如何顛覆全世界？
(商周出版，2016)
- IDC：2015 年中國製造業十大預測
(<http://www.idc.com.cn/about/press.jsp?id=ODc2>)



學習評量

1. 何謂工業 4.0？
2. 何謂創新 2.0？
3. 何謂工業 4.0 之 6C 與 6M？
4. 何謂網宇實體系統？
5. 一個工業 4.0 之工廠具有之面向為何？
6. 何謂智慧製造？
7. 美國的軟性服務和德國的硬性製造有何差異？
8. iGDP 在工業 4.0 之意涵為何？