

## 產業研究報告

# 工業 4.0 發展重點與案例分析，以西門子、鴻海為例

## 前言

工業 4.0 發展進程未如預期快速，然的確是提升企業競爭力的手段。ICT 產品汰換週期加快、客製化需求只增不減、地緣政治角力與黑天鵝事件衝擊難以預料，再再影響生產模式需更具彈性、供應鏈更透明加以因應。而供應鏈碳排放的計算需求，與 ChatGPT 橫空出世帶來的 AI 熱潮，便是要求企業需達工業 4.0 的可連結乃至可視化的程度，方能基於此發展相關應用。企業也可以藉此機會，思考如何循序發展至更成熟的階段，以及利用既有數據基礎，串聯營運流程發展智慧化應用。

張家輔

Document Code: CDOC20230714003

Publication Date: Jul 2023

Check out MIC on the Internet!  
<https://mic.iii.org.tw/aisp>



# 目錄

工業 4.0 方法論	1
案例分析	10
發展盲區與建議	17
結論	20
附錄	21

## 圖目錄

圖一、工業 4.0 成熟度指數	2
圖二、工業 4.0 實施步驟方法論	3
圖三、公司結構與其指導原則	7

# 工業 4.0 方法論

## 工業4.0背景概述

工業 4.0 於 2011 年漢諾威工業博覽會提出，隨後即納入德國、美國、中國大陸等國政府發展高科技產業重要概念。工業 4.0 的定義眾多，觀察以世界經濟論壇 ( World Economic Forum, WEF ) 解釋較具體化，意指智慧與互聯的生產系統，旨在感知、預測物理世界並與之互動，以便即時做出支持生產的決策。

工業 4.0 重要性主要可從三層面的效益觀之。( 1 ) 產品及資產設備管理，產品問題得以追溯，掌握生產至出貨各階段品質及流程改善之處。以及掌握設備運作狀況及維護需求，進一步穩定生產作業；( 2 ) 生產及廠務管理，設備、生產機台、人員、工序、物料等資訊串聯，有助於管理人員掌握生產運作狀況、績效指標；( 3 ) 企業營運流程，將生產與採購、研發、工程、物流、銷售、服務等業務數據串聯，於產品生命週期創造企業價值，及增加對供應鏈韌性、客戶需求預測的掌握度。

在驅動力方面，工業 4.0 轉性效益一直以來是企業從 3.0 開始邁步轉型的拉力。而推力部分，一來近年製造業者受疫情或供應鏈造成產能不穩，地緣政治下重寫台廠在全球的生產據點布局及投資策略，在地化生產也帶來更多新技術、新設備的工業 4.0 投資需求。再者供應鏈韌性、淨零碳排和永續等議題，也更強調對供應商的供料狀況整合、內外部碳排數據管理，以及自身設備聯網需求。作為因應方式，企業為快速掌握環境因素對產業的影響，透過將眾多智慧科技如 5G、物聯網、大數據等技術導入製造及相關業務環節，提升內外部突發狀況之應變能力。近期 ChatGPT 之生成式 AI 應用浪潮，有望助力工業 4.0 邁向最後一個階段—自適應。

## 成熟度模型

然由於工業 4.0 涉及廣泛業務流程與技術，增加企業工業 4.0 執行難度。例如廠務面涉及 IT 與 OT 的整合；業務面，部門間系統需水平串聯共享數據；供應鏈部分，串聯上游供應商與下游客戶資料庫。由此涉及層面觀之，工業 4.0 不僅是廠長的責任，更需從高階管理者帶頭推動。工業 4.0 重點也不在於一味導入機器人、AR/VR/MR 等新興技術，而在於跨部門、跨系統、跨技術的整合能力，需要企業長年持續改造、優化，並非為一蹴可及的專案導入計畫。

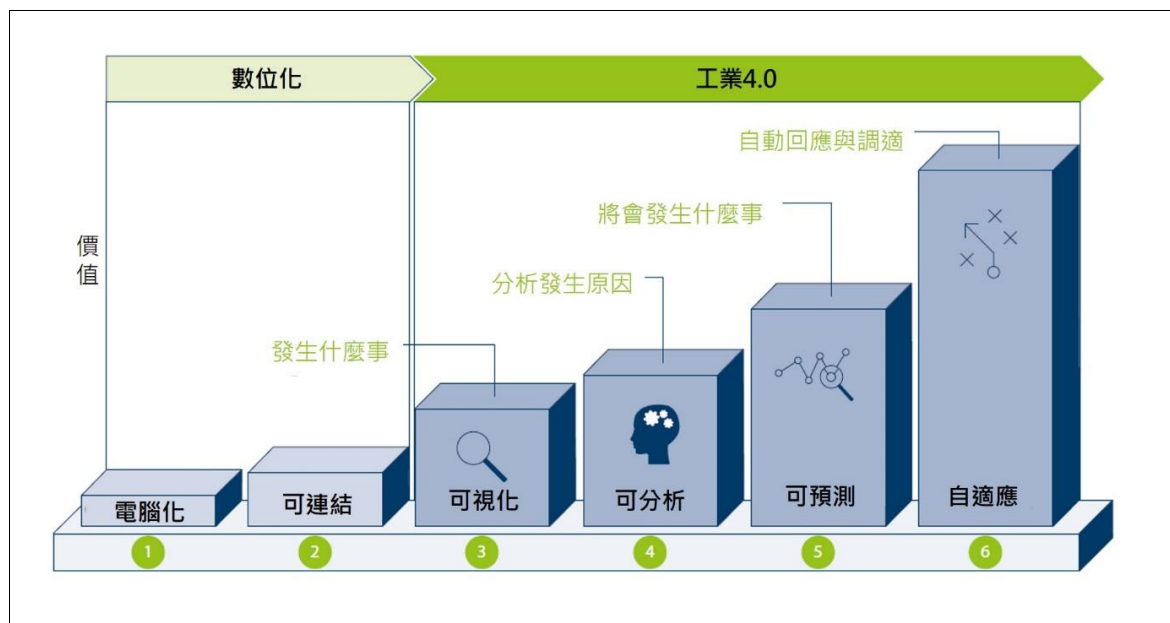
盤點可供企業評估所處工業 4.0 發展階段的分析架構，發現已有許多版本。工業 4.0 解決方案商如西門子、Rockwell 都有自己的方法論；另外，官方提出的「新加坡工業智慧指數」( Singapore Smart Industry Readiness Index, SIRI )，與德國國家工

程院 (Acatech) 的「工業 4.0 成熟度指數」也有完整評估架構，且後者更具影響性。工業 4.0 管顧公司 i4.0MC 也是基於此指數，展開更詳細的評估問項，作為其企業輔導方法論。因此本文以「工業 4.0 成熟度指數」舉例，說明其如何協助企業邁向工業 4.0。

2017 年德國國家工程院 (Acatech) 提出「工業 4.0 成熟度指數」後，陸續在 2020 年發行新版，以及發佈以案例研究為主的實戰篇報告。「工業 4.0 成熟度指數」最著名的即為從工業 3.0 邁向 4.0 的六步驟，將各階段按成熟度區分，使企業能評估目前的落點階段。

企業面臨事件發生，從釐清到做決策，都會有行動延遲、決策延遲、分析延遲、觀點延遲等幾種延遲因素，導致決策時間過晚。工業 4.0 的出現，目的即在使企業成為學習型、敏捷型的公司，遇到突發事件能快速掌握狀況，甚至已經做好問題分析，模擬未來發生的情境，最終選擇合適的決策。另外，此方法論亦提供評估構面，以及發展工業 4.0 的執行步驟，以下重點說明。

圖一、工業 4.0 成熟度指數



資料來源：德國國家工程院 (Acatech) · MIC 整理 · 2023 年 6 月

## 實施步驟

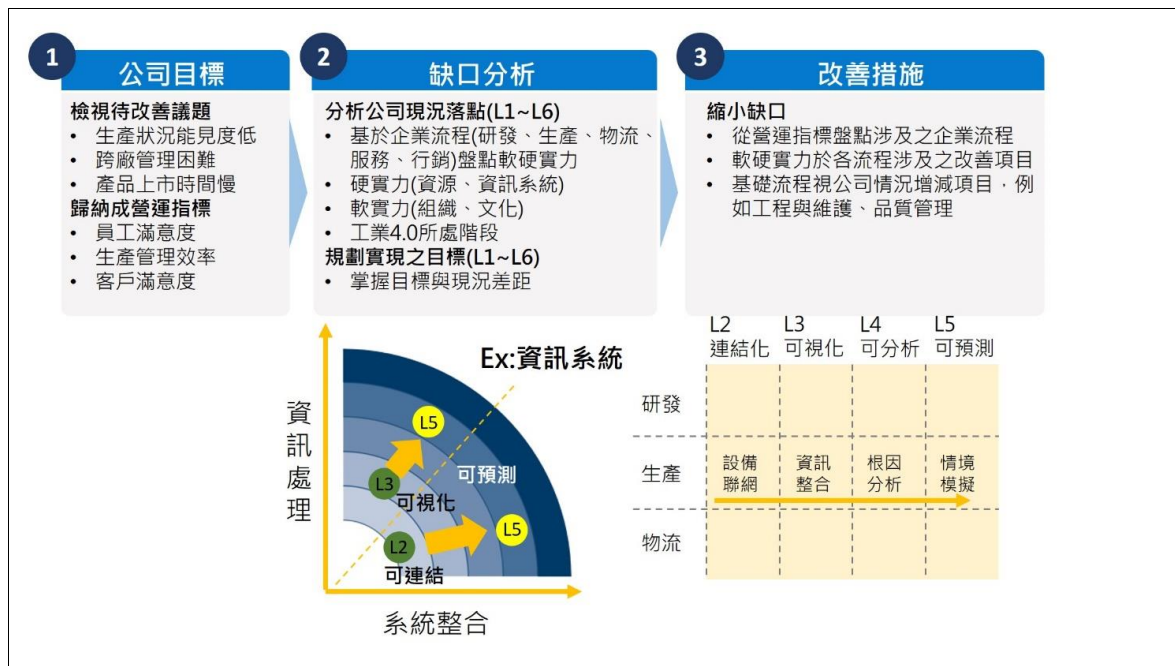
工業 4.0 實施第一步為盤點公司內部待改善問題，以及將其歸納成可追蹤成效的營運指標，此部分可能因工廠個體差異，而需以公司整體目標為主，規劃發展方向。

其次，分析現況與預期目標差異。分析「公司流程」在「公司結構」的「發展階段」，透過此縱、橫、深三維度，分析整體工業 4.0 發展落點。具體而言，需盤點研發、生產、物流、服務、行銷等「公司流程」，將各流程按照「公司結構」—資源、資訊系統、組織與文化，共四個與軟、硬實力相關的面向，衡量其所處在電腦化至自適應的「發展階段」落點。

此時，可以對比企業目標達成的「發展階段」，即能得出發展缺口。值得注意的是，目標未必是要達到最成熟的階段—自適應，企業可以按照業務需求、成本及效益評估，設立欲達成的階段。

最後，規劃具體要改善的業務流程路線圖。按照公司最初想改善的營運目的，為研發、生產、物流等企業流程擬定改善措施，這些措施按照軟硬實力到位程度，可能會有難易度差異，甚至每個工廠發展現況也不同。而為發揮公司創造的協同效應，此變革需跨越單個工廠層級，可設立指揮中心按規劃藍圖逐步推動，當各流程或各工廠需採取類似的改善措施時，可透過相關機制讓所有單位掌握轉型所需知識及資源。

圖二、工業 4.0 實施步驟方法論



資料來源：德國國家工程院，MIC 整理，2023 年 6 月

## 公司流程定義

公司流程為人員最熟悉的日常業務，以流程面思考工業 4.0 發展，最能貼近業務實際狀況。在後續擬定改善措施時，也是按照流程進行設計。值得注意的是，在分析現階段落點時，需搭配公司結構的四個要素進行檢視。

## 研發

在現今商業環境快速變化的背景下，已不能在產品研發初始階段，就完整掌握客戶需求並妥善解決。因此企業需發展一套支援彈性開發的系統、流程、組織文化，不管是在開發階段或產品已投入終端使用，都能隨時支應對產品提出的改良要求。

技術面而言，蒐集用戶實際使用產品的數據，做為後續產品改良基礎。在此流程，3D 列印技術與 PLM 皆為相關數位化工具，前者可以快速打造模型，開發出最小可行性產品 ( Minimum Viable Product, MVP )；後者則是產品生命週期管理工具，對於產品不同版本的變更需求與更動狀況進行完整紀錄。

## 生產

生產流程優化首先需透過工業物聯網，串聯生產環境數據，將作業流程透明化。掌握訂單、料件、生產設備、成品等狀況，以在生產要素發生問題時，分析實際與預期的差異，盡可能降低損失與優化製程、庫存管理。

## 物流

物流作業優化的目標為能配置合適的貨物數量，於合適的時間、地點進行物流運輸。技術面包含 WMS、機器人車隊管理系統、倉儲設施之間的系統整合，掌握廠內物流作業進度。以及透過即時定位系統 ( Real-time locating systems , RTLS ) 技術，監控搬運物料的車輛、機器人實際位置，掌握路線安全性及優化移動路徑等。

## 服務

此部分為商業模式創新。例如企業可思考從原先的銷售模式，轉變為「產品即服務」模式。意即根據客戶對產品的使用時間、次數或是其他指標進行收費。從原先提供維修保固服務，是基於年度進行收費，現在可以透過預測性維護，在設備需要進行維護的時候再提供服務。當然，為達成此創新商模，設備能被採集相關數據將是基礎。



## 行銷

使企業能系統性地理解和滿足客戶需求，保持高度靈活性地進行產品推廣。從顧客旅程 ( Customer Journey ) 端到端的接觸過程，透過數位化技術分析客戶需求。例如蒐集客戶對產品的使用數據分析使用狀況，一方面確保滿足客戶應用需求，一方面檢查產品是否正確使用。具體而言，可思考將 CRM、ERP 等與客戶相關的系統進行整合，並從公司內部數據、客戶歷史訂單，乃至外部環境因素進行數據分析，歸納客戶典型的行為模式，再依據此常規預測產品需求，動態調整產品定價。

## 公司結構定義

「工業 4.0 成熟度指數」指出，企業發展工業 4.0 由資源、資訊系統、組織結構、文化組成，因此也為成熟度評估需檢視的面向。過往分析工業 4.0 往往是在技術面也就是資源、資訊系統面的硬實力部分進行評估，然其實企業內部專責推動單位、對價值創造的想法、員工的認知與企業文化也是支撐企業轉型的關鍵，這些軟實力也需納入評估。以下說明「公司結構」應該評估之參考項目，以及提升成熟度的方法。

## 資源

指有形的物理資源，包括企業的人力資源、機械設備、工具或模具、材料與最終產品等，物件需以數據呈現其運作狀態，而人員則需能訪問相關數據、具有系統操作能力，並能判讀其中訊息。

提升資源成熟度之指導原則可以區分為結構性溝通、數位化能力兩者。

結構性溝通包含員工間有效溝通，員工於業務系統上的互動、編輯需能自動標記並紀錄，以在作業更新時便於追溯、遷核。另外，打造基於任務的系統界面設計，也是使作業順利進行的重點。例如在生產線上，透過產品識別標籤，可以追蹤每個產品的製造過程、品質檢測結果和出貨情況。利用圖形化界面呈現訊息給相關人員，並依據上下文訊息提出示警、製造操作指示，或故障排除提示等訊息，幫助操作員更高效地執行任務。

數位化能力則包含提供員工數位化競爭力，讓員工可訪問、分析數據，以便做出最終決定。數位化能力還涉及資安知識，當員工利用的系統越接觸到核心業務，對於資安防護意識、數據的使用安全度等觀念教育也更為重要。而在設備面，從感測器或設備本身，獲取運作數據也是建立虛擬工廠基礎，能反映生產、業務運作狀況。

## 資訊系統

是指由人、訊息、IT 系統構成的資訊系統，人員可以基於系統做出決策。提高成熟度有兩個主要面向，分別為自我學習資訊處理，以及資訊系統整合。

自我學習資訊處理部分，企業需利用數據，為實際作業帶來效益，例如分析設備故障對延遲交貨的影響程度。且資訊呈現需考量作業需求，呈現合適格式，例如圖形、表格、組裝圖、流程圖，乃至動畫或是支援 AR 的呈現方式。最後，數據儲存、分析、應用之背後可靠的 IT 基礎設施亦為關鍵，例如備份系統、數據重要性分類、儲存位置、IT 系統串聯、數據分析工具、AI 機器學習與模型優化等。

資訊系統整合方面，重點在於打破部門隔閡，因此需要水平、垂直的整合各式 IT 系統，將過往散在 ERP 的訂單數據、CRM 的客戶資料、MES 的生產資訊、現場設備資訊、PLM 的產品設計數據串聯；而為了在跨系統間使用數據，且能順利完成數據格式轉換，統一標準介面和數據交換格式成為重點，例如機器間數據交換採用的 OPC-UA 通訊協議；數據治理上，企業亦需透過數據清理，維護應用分析所需的數據品質。

## 組織結構

組織結構是指在公司部門或流程中，建立的硬性規定。提升此面向之成熟度有兩個重點，分別為建立適應性組織，以及價值網絡協作。

適應性組織部分，首先為創建靈活的社群。例如透過集合各單位專家，建立解決特定主題任務的團隊，目的在使不同部門的人員仍能基於共同目標合作；權責設計部分，集中式與分散式決策各有優缺，工廠應該在不同議題的管理決策權作出平衡，以提高決策效率；引導員工不將目標鎖定單一任務，例如產能。而是引入多維度的目標系統，鼓勵員工關注其他如流程效率優化、成本控制等面向，則團隊組成將更多元化。同時在目標達成的激勵物設計，除了薪資，也能將培訓機會、發展前景、作業自由度等納入；最後，打造敏捷開發、MVP，或是 Scrum 的方法，加速產品上市時間，增加企業處於不確定環境的適應力。

在價值網絡協作部分，主要需更關注客戶需求，例如滾子軸承製造商，因瞭解客戶需求即為設備能穩定運作。因此透過將滾子軸承數據上雲並加以分析，確保滾子軸承運作良好，使設備製造商的產品維持高效運轉；另外，供應鏈中不乏有數據共享機會，數位權限管理自然成為重要角色。例如汽車製造商和零組件業者合作共同開發料件，屬於機密的 CAD 模型便僅能在伙伴間共享，且僅為特定應用目的，以確保雙方合作不會衍生知識產權相關風險。

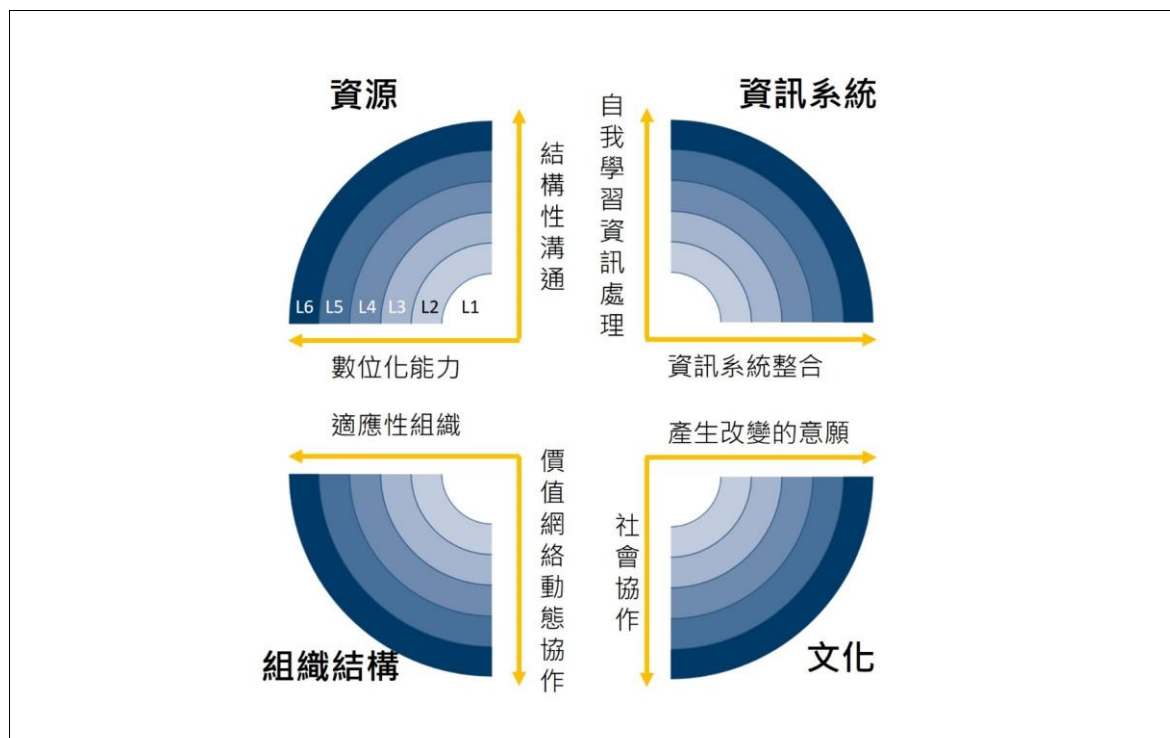
## 文化

文化為企業內部較為軟性的價值觀，會相當程度地影響員工是否支持轉型的行為、心態。此部分透過兩項指導原則——產生改變的意願、社會協作，打造發展工業 4.0 所需具備的文化。

有意願改變的部分，企業需建立從錯誤中學習的價值觀，公開討論錯誤發生過程，記錄並找出錯誤原因和解決方案，重點在於理解原因而不在追究責任；同時鼓勵員工採取新作法、終身學習，儘管不熟悉使用的新技术，但可以展現轉型帶來量化績效，使員工逐漸採用數位化方案，從直覺做決策，轉變為基於數據做決策；且在企業轉型中，部分員工具備轉型的專業知識，因此提供員工適當的決策權力，讓其自主有變革的機會，有助於推動轉型。

社會協作原則有助於加速組織內的知識共享。決策所需的資訊，有時未必能如實或完整的紀錄於系統，而是掌握在一線的工作人員，使員工信任、傳遞隱性知識，遂為開放性溝通的重點；另外，需讓員工對資訊系統產生信心，並讓越多人使用，且在系統進行作業記錄和分享資訊、知識，甚至能點出資訊系統需改進的地方，方能逐步優化系統產生的效益。

圖三、公司結構與其指導原則



資料來源：德國國家工程院（Acatech），MIC 整理，2023 年 6 月

## 發展階段定義

「工業 4.0 成熟度指數」最讓人熟知的，即為其發展路徑，劃分為電腦化、可連結、可視化、可分析、可預測、自適應共六個成熟度，前項為後項發展基礎。而儘管電腦化與可連結為數位化的發展階段，並非歸納為工業 4.0 的一部份，然仍是工業 4.0 所需基本要求。另外，公司也有可能在業務、工廠、產線、設備等層級之間，有不同的智慧化程度。此指數用意也並非要每個層級都維持一致性，企業可以考量成本、效益的平衡，以設立各層級所應達到的目標成熟度。

### 電腦化

開始使用計算機技術，人員不再手動操作機械，然機械仍未聯網，且各個 IT 系統仍各自獨立，資料尚未串聯。例如 ERP 與生產相關的系統獨立，訂單與產品品檢紀錄分散於兩套系統，因此訂單無法回溯出現品質問題的環節。

### 可連結

基於工業物聯網技術，部分 OT 系統開始互相連接，透過一致的通訊協議使 OT 具協作能力，企業的核心業務流程也透過 IT 系統或應用程式串聯，然此部分 IT 與 OT 尚未完全整合。

### 可視化

透過感測器以及機械設備的參數讀取，整合各產線作業數據，將工廠流程數位化。人員因此可以建立虛擬工廠，以戰情室反映工廠實際運作狀況。透過 IT、OT 整合，垂直面整合設備、產線、工廠乃至企業業務系統的數據，水平面橫跨人員、物料、設備、製程、環境等面向數據，數據皆被記錄與整合，可隨時隨地訪問。

此階段已打破數據孤島，也因此可以開始做到跨流程的數據應用，例如分析生產異常對於交貨期的影響，其實際狀況能利用儀表板或是即時 KPI 顯示與預期差異。且由於 PLM、MES、ERP 等系統已打通，生產狀況亦能發送訊息給研發單位、客戶或供應商協調後續作業。

## 可分析

由於前階段已經建構公司當下的數位分身，對於已發生的事情皆留下數據。此階段即可透過數據掌握事件之間的相關性，找出問題發生原因，建立知識管理。

此階段企業將具備一個平台，可將跨流程、跨系統的異構資料納入資料庫進行分析，並從中找出數據上下文關係，以查找事件發生的可能原因，以提高作業透明度，便於管理者掌握真實狀況，節省問題分析的決策時間。

## 可預測

此階段可模擬幾種未來將可能發生的場景，並透過匯入歷史數據模擬發展走向，以及各種情況可能發生的機率，因此人員可以預判未來事情的發生，預先進行準備作業，減少突發事件的數量、降低對營運造成的衝擊。

儘管能預測未來可能發生事件，例如設備預測性維護等相關應用。然此時期仍是人員做決策，企業在導入相關技術後，預測提示是否僅為示警，然人員仍按原先作業進行。抑或是人員支持判斷結果，按分析結論改變原有設備維護週期，採取因應措施。這些在技術面之外的決策流程轉變，皆需要有相關的組織規定或組織文化作為支撐。

## 自適應

此時期組織已將某些決策權交予系統，以便其自主判斷市場需求發生變化時，能夠快速、靈活地調整因應策略。實際面而言，自適應能解決的問題取決於問題複雜度，因此可從單個作業環節，且已有標準的作業流程著手，系統納入的參數完整性，將影響決策縝密度。

例如，當系統判斷未來將有設備故障，儘管進行生產排程調整，仍還是會導致訂單延遲交付。在這種情況下，系統是否有足夠的判斷能力，於關鍵客戶訂單與整體訂單達交率之間做出取舍，以達到接近人為判斷的決策。

## 案例分析

自 2018 年開始，世界經濟論壇 ( World Economic Forum, WEF ) 與管理諮詢公司麥肯錫合作，在全球發起評選「燈塔工廠」項目。旨在選出工業 4.0 技術應用與整合能力，並能實際在生產效率、效能等營運指標展現效益的代表業者。累積至 2023 年 1 月，全球現已有 132 家工廠獲選為燈塔工廠。我國業者如友達、群創皆入選，鴻海旗下更有 5 座燈塔工廠。以下挑選特色案例，頗析其工業 4.0 發展作法。

### 供給端作法-西門子

#### 背景

西門子一直以來都是工業 4.0 的推動者，也透過自家的產品與方案，打造智慧工廠。2018 年西門子提出的「公司願景 2020+」，正式將數位工業( Digital Industries, DI ) 相關業務獨立，成為公司三大營運主軸之一。

對外，西門子近年積極跨領域合作，推動智慧製造解決方案，如雲服務商、系統商等。另外 ERP 部分也與 SAP 進行整合，自己則專注於 IoT 領域。另外西門子也建立了物聯網服務事業部，為客戶提供從工業 4.0 策略擬定，到落地執行的一條龍服務。基於客戶當前的能力及提升需求，提出數位化戰略。再設計數位工廠原型，以及搭配 OT、IT 方案，與使用西門子 MindSphere 工業物聯網平台，發展數據可視化，以及數據分析相關應用。

對內，西門子自有工廠如何朝工業 4.0 發展，可參考其於中國大陸成都生產研發基地 ( 以下簡稱為 SEWC ) 的案例，特色在於其從研發、生產、訂單管理、供應商管理至物流作業，整條價值鏈的虛實整合。其於 2018 年就被 WEF 評為燈塔工廠，近年也不斷提高在配料、傳輸、檢測等流程自動化程度。

就西門子對廠內發展階段定義，SEWC 還不到工業 4.0 智慧化生產階段，但已經相當接近。可做到軟體間整合 ( 例如 PLM、ERP、MOM、WMS、Automation 五大系統 )、軟硬體整合，使數據互聯互通，並進一步利用模擬技術，優化工廠產能和資源分配。

SEWC 發展工業 4.0 痛點可回歸西門子成都廠日常作業，廠內管理 5,600 種原材料，每天將消耗超過 1,000 萬個電子零組件，生產出 38,000 件產品。而工廠總共能生產近 800 種產品，包含 SIMATIC 工業自動化系統系列產品，如 PLC、HMI、IPC 等。每年生產 PLC 達 400 萬台、HMI 達 50 萬台。



SEWC 目標在於提高廠內生產管理的透明度，能從即時數據加快決策速度。生產環節若出錯未能及時發現，一小時將影響上千件製成品。廠內平均一片主板有數百至數千個電子零件，如能將打件完的固件拆卸重新焊接，或能有限度地控制損失，然有些微小零件幾乎不能重工，將衍生重大成本。

另外，對於生產的即時控管，也衍生出知識服務的轉型需求。現場人員需要快速分析設備故障或生產問題原因，以及掌握設備操作和應對 SOP。尤其隨著工廠引進更多設備，機台組合日漸複雜，機台操作知識與故障排除方法也需系統化建構，保持知識傳遞。

## 作法

### 原材料管理、產品追溯

前述提及 SEWC 每日生產達 3.8 萬件成品，其中 50% 的產品，停留在工廠內不到 12 小時，每日有上千箱材料、成品進出廠，成品將運送至蘇州和德國紐倫堡，再轉銷世界各地。一般而言，越複雜的供應鏈，其問題可回溯性越低。例如產品未達到使用年限的責任歸屬上，往往在經過多年的使用，難以釐清是客戶端環境過度嚴苛，或是操作問題，亦或是製造商產品設計、生產製程問題，甚至是供應商材料耐用度的問題。

因此西門子在品質控管上，從原材料進行源頭管理。打造立體倉庫，在裝配有零件的箱子中貼有條碼，當客戶訂單轉成生產訂單後，將從 5,000 種的材料自動調度至產線。物料使用時，將利用自有 MES 系統—SIMATIC IT 關聯物料、生產站別、產品訊息。物料將依照代碼，分配至對應的生產線、生產工序，以及告知生產設備加工要求，也讓機器掌握加工對象屬於何種料件，以及將用於裝配成何種產品。

每個產品約能記載 200 條有關產品身分證的資訊，廠內 800 種產品每日約可創造 1,000 萬筆數據，最終將統一儲存於數據管理平台，供後續追蹤、分析使用。一旦發現原材料可能有問題，能立刻查詢該批原材料所處生產階段，以及用於哪些產品上，供人員判斷後續決策。

### 跨業務串聯

廠區內作業流暢度，有賴研發、生產、物料管理、廠內物流等各單位作業協調性。西門子從研發單位開始，利用自有產品設計軟體—NX，研發工程師可以透過軟體檢視不同設計版本之產品結構強度、重量、成本差異，並可利用系統直接模擬料件組合的可行性，減少生產實際樣本所耗資源。

設計完成後，透過自有 PLM 軟體—Teamcenter 整合產品設計數據，全廠將獲取最新產品設計及 BOM 組成，連動更新後續領料、生產作業。更新後的 CAD 模型也會透過 CAM 軟體，形成機械生產、組裝操作的指令集。此新產品數據也會同步與品管、採購、物流部門共享。

而廠內的 800 種產品，由於客戶訂單數量、訂單週期不同，訂單與生產製造、物流配送橫向間的管理，難以用人力進行跟蹤或調度。西門子將 IT 系統之間打通，廠內物流除了進貨仍需人力作業，從入庫之後到生產車間已達成自動化。

實際運作狀況，S 工廠端會有電子看板顯示工廠實際需要物料的狀況，結合前文提及 ERP 會串聯自動化倉儲系統至指定位置撿貨，準時、準料、準量、準點地供應物料，並按照物料入庫時間先進先出。後續 MES 系統再按照 PLM 系統之產品版本進行生產，並從 ERP 的訂單資訊安排生產排程，同時回報生產進度與用料狀況。跨部門、跨系統的整合，可為西門子對市場需求變化保持生產彈性，以及提高生產效率。

## 生產優化

相較於每年採購新生產設備，西門子更傾向於發展數據應用帶來的價值。由於工廠中設備都已經聯網，再加上 IT、OT 系統串聯，使西門子可以透過自有數位雙生軟體—Tecnomatix，打造虛擬工廠，模擬生產狀況或監控實際生產狀況。且由於數位化程度完整，SEWC 在產品面、生產設備、製程工序、工廠等不同層級都能做到 3D 模擬。

生產設備優化而言，SEWC 內有上千台掃描儀器可以追蹤生產步驟數據，例如焊接溫度、SMT 貼片數據、品檢測試結果等產品資訊。人員再利用紀錄的資訊，提出改善產能的建議。例如工廠曾發生某件產品組裝效率無法提升的問題，後來調閱數據發現為機械手臂抓取控制板時會產生晃動，導致裝箱效率不佳。西門子透過數位雙生技術，模擬不同機械手臂、長度、馬達轉速變化對生產的影響，大幅減少優化所需時間。

而在製程工序部分，由於在實際生產前，系統能模擬產品本身組成，與生產所經過的站別、用到的工具、夾具、物料，乃至人員配置等不同生產要素，進而優化生產流程，例如可製造性設計 ( Design for Manufacturability, DFM )、可裝配性設計 ( Design for Assembly, DFA )、人員於工作站作業需考量的人體工學，以及縮短生產線從設計、建置、調整時間等。

## 設備維護與知識管理

西門子另透過 OEE 系統，協助員工掌握設備知識。從設備蒐集的數據，系統可判定利用率、運行狀態、故障機台，再藉助自動化或人工處理故障問題。



OEE 系統中紀錄設備型號、零件、維修紀錄、故障類別等數據，然而由於不同廠商設備的故障模式、數據格式、設備結構皆有不同，此複雜性將更難判斷設備問題根因。因此西門子與 AWS 合作，透過其 Neptune 圖形資料庫託管服務，可以從複雜的設備維護資料庫數據轉化成圖形結構，分析此關聯式資料，從中建立各種機台發生故障的原因，以供一線人員快速掌握可能故障原因並進行排除。

## 效益

設備維護部分，原先當設備發生故障時，西門子需要透過技術專家組成團隊進行故障分析，例如生產設備嚴重拋料、貼片機貼頭的吸嘴堵塞，以及物料本身的問題等原因進行判斷。而 OEE 的系統出現，則加速人員故障問題認定、問題排除、維修紀錄彙整及再利用。

物料傳輸部分，受惠於 ERP、自動化物流系統、升降機、自動導引車之間的串聯，原先物料從倉庫至作業站大約要 30 分鐘，後續經過數據累積並優化後，現配送時間已可縮短至 9 分鐘。

產量部分，SEWC 在降低人員數的同時增加產量。透過數位雙生優化工廠設計、營運效率，工廠自 2013 年成立至今，年產能從 78 萬件成長至超過 1,100 萬件，增長幅度達 14 倍，及時交貨率達 99%。且由於工廠已將大部分設備聯網，產品與生產設備互相通訊，幾乎可處理生產工序 75% 的作業，人員僅需完成剩餘作業，其餘皆由機器自動化完成。

## 需求端作法-鴻海

### 背景

目前鴻海獲選燈塔工廠高達 5 座，以應用需求端的角色而言，轉型成績相當亮眼。鴻海自劉揚偉上任董事長以來，為集團訂下「F1.0 現況優化、F2.0 數位轉型、F3.0 轉型升級」的發展戰略。而與工業 4.0 高度相關的部分，則從 F2.0 開始，鴻海認為數位轉型不僅是在技術和管理系統層面，而是一種組織文化，需形成集團的 DNA。此觀點與 Acatech 將「工業 4.0 成熟度指數」納入組織文化，加以評估企業工業 4.0 成熟度不謀而合。而 F2.0 的數位轉型，則為鴻海發展 F3.0 的 3+3 重點產業與技術奠定基礎。

就轉型背景而言，EMS 產業有明顯淡旺季，下半年訂單優於上半年，旺季時的人員朝聘、訓練時間往往難與陡增的訂單需求與交期壓力互相搭配，另外物料供應管理、生產設備保養維護、穩定產能、平衡生產成本皆為鴻海數位轉型動機。

歸納鴻海數位轉型推動目標涵蓋三層面，其一為達成工廠智慧化決策，依數據做決策、並將決策自動化；再者為提升企業營運效率，將生產管理及績效管理數位化，掌握企業營運現況；最後為創造客戶數位化體驗，將資訊系統串聯，打造一站式供應鏈管理平台，提高訂單透明度。

## 作法

實際操作面，為協助集團內各工廠轉型，富士康自建內部的燈塔工廠評估機制，包含系統智慧化、智慧技術應用、智慧管理和組織等 3 大面向、18 個構面。並推動標準化生產管理平台、技術驗證與導入平台、標準績效指標體系等，為各園區工廠轉型升級提供參考依據，並把目標放在創造可以用於整個企業的單一營運系統。估計富士康現符合內部標準的燈塔工廠已超過數十間，當中深圳、成都、武漢、鄭州等地的工廠更被獲選為 WEF 全球燈塔工廠，歸納其轉型發展重點如下。

## 經驗複製

2018 年，工業富聯從富士康體系分拆並獨立上市，主推工業互聯網相關業務。2019 年即獲選 WEF 全球燈塔工廠，自此為鴻海數位轉型探明方向。對內，鴻海旗下 5 間全球燈塔工廠都是工業富聯打造；對外，輸出燈塔工廠整體解決方案，協助中信戴卡、敏實集團獲選燈塔工廠，證明其經驗得以成功複製。2021 年，工業富聯發起燈塔領航者計畫，與燈塔工廠成員相關技術業者合作，將已被驗證的數位化案例推廣到更多產業，大至推動企業打造成世界級燈塔工廠，小至讓企業完成數位轉型或數位化技術應用。

鴻海的 F2.0 數位轉型戰略，主要透過兩項戰術達成。(1) 平台建設：透過物聯網技術，將生產作業與管理相關數據串聯，打破原先僅在單一設備或產線的自動化應用，透過彙整各個 OT、IT 資料庫，進一步發展生產流程相關應用；(2) 組織及文化建設：成立數位轉型團隊、培育數位化技術人才。

## 平台建設

首先為建構串聯人流、物流、過程流、金流、訊息流、技術流的平台。客戶訂單管理部分，透過數據湖 ( Data Lake ) 搜尋各個相關資訊系統，動態掌握訂單缺料、交期、生產狀況；供應商管理部分，透過分析過往採購數據，建立物料管理方案，優化採購週期、安全庫存；庫存管理部分，改良物料編碼規則，減少一料多碼狀況，並從流程面減少出入庫環節，避免業務交接產生的人為錯誤；生產面，不僅是生產自動化，更從數位化掌握生產品質。例如富士康旗下用於生產電子產品的刀具廠，不僅是機器人自動作業與機台內刀具自動切削，產線上的一百多把刀具都加裝感測器，對於相關參數進行監控，能對品質變化進行預測，預防產品品質異常。

再者為建構產線智慧化應用方案。例如人機協作面，AR 設備遠程維護、SPI 錫膏印刷檢測、關鍵工站人臉辨識、協作機器人包裝應用；預測分析方面，如回焊爐溫度監控與異常檢測、SMT 吸嘴監控與預測性維護，以及透過追蹤生產流程，查找產品品質不良原因，是出自設備故障、設備操作瑕疵或是材料本身的問題；廠務營運面，包含智慧生產排程規劃、AMR 車隊調度、空壓機能耗優化、工廠安全維護等。

最後為工廠營運面的協作。透過導入工業富聯的 PaaS 平台，基於對 OT 設備以及流程蒐集的數據進行建模，利用平台的應用開發框架與相關工具，打造營運管理相關 APP 並進行管理，例如產品設計、生產應用、產品缺陷判別、資安、供應鏈可視化、商業分析等相關應用。

## 組織建設

鴻海成立工業互聯網辦公室，負責集團數位轉型和智慧製造戰略規劃，推動燈塔工廠、數位化平台，以及工業互聯網落地，為鴻海打造數十座內部燈塔工廠。例如在模具生產、CNC 加工、SMT、系統組裝等廠房中推動轉型，導入自動化、數位化乃至智慧化技術，提升生產管理及營運效率。除此技術小組，鴻海另有其他配套措施協助集團數位轉型。

對內，2020 年富士康設立數位長 ( Chief Digital Officer, CDO ) 一職，與資訊長 ( Chief Information Officer, CIO ) 差異點在於，CIO 目標在投入和維護 IT 基礎設施；CDO 則視 IT 為手段，目標在透過 IT 提升業務表現，例如提升工廠、供應鏈、採購相關單位的營運效率與效能。2020 年鴻海設立鴻雁獎，表揚數位轉型績優團隊與關鍵人物，樹立數位轉型團隊典範。

對外，2022 年富士康設立智慧製造加速營合作基地，結合 AWS、Nvidia、Microsoft、麥肯錫、投資機構、新創企業共計 80 家上下游企業形成產業聯盟。目的在加速智慧製造從構想到場域實踐，同時輸出燈塔工廠建設經驗與標準、技術人才培訓等。

## 效益

截止至 2023 年 1 月，鴻海集團已獲選 5 座全球燈塔工廠，以下盤點各工廠發展智慧製造成效。

2019 年，富士康深圳園區龍華工廠為集團首個獲選的燈塔工廠，主要從事智慧型手機金屬殼加工生產，入選原因為高度自動化生產。整個項目導入 108 台自動化設備，並完成設備聯網。人力需求更是大幅縮減 280 人、減幅達 88%，SMT 部分減少 96%、組裝人力減少 79%、測試人力減少 88%。另外導入自動化設備，也使生產效率提高 30%，庫存週期降低 15%。

2023 年富士康深圳園區二度獲獎，觀瀾工廠主要生產智慧型手機金屬機構件，獲選理由為可快速回應客戶新品發布需求，同時維持產品品質。透過大規模部署 37 個智慧製造應用，新品上市時間縮短 29%、產能提升 50%、品質不良率降低 56%，與生產成本減少 30%。

成都廠部分，主要生產筆記本型電腦、平板電腦與智慧手錶等消費性電子產品，入選理由為面對業務需求增長，同時員工技能不足時的因應方式值得業界參考，工廠透過混合實境（Mixed Reality, MR）、AI、物聯網技術，將生產效率提升 200%，整體設備效率（OEE）提高 17%。

武漢廠部分，主要生產桌上型電腦、伺服器，入選原因為在滿足客製化需求的同時，縮短產品訂單交期。產線作業員生產效率提高 86%，減少 38%由產品品質問題產生的損失，與訂單交貨週期縮短 29%。

鄭州廠部分，入選理由為在企業面對技術人員缺少、需求不確定下，仍能找到合適解決方案，與維持產品品質。廠區透過自動化、數位或智慧化技術，將勞動生產率提高 102%，品質缺陷率減少 38%，OEE 提高 27%。

# 發展盲區與建議

## 工業4.0適用性

企業是否要工業 4.0，需考量產業特性與其合適性。就中小企業而言，或許沒有 ERP、MES，僅有進銷存系統，要業者從頭開始大費周章導入 IT 系統，不符成本效益；或者業者生產節點或是流程單純，人員對於生產狀況、產品品質掌握度高，也不用大費周章導入工業 4.0；另外，有些市場成長性已經邁入成熟期乃至衰退期，在市場規模逐漸萎縮、獲利逐漸降低的同時，要業者投入大量資源升級工廠顯然已無必要。

而就適合投入工業 4.0 的業者而言，投入智慧製造是一個持續改進的進化，沒有完成的狀態，也並非要一步到位；企業也不用皆需按照「工業 4.0 成熟度指數」，發展至最成熟的自適應階段，可以按照業者投入成本與效益進行評估。就台灣發展工業 4.0 較為成熟的半導體產業，也多半僅發展到可預測階段；最後，智慧化成熟度在各個營運環節未必要求要一致，可以視作業難度、流程需求與業務特性進行調整。例如，電子製造流程普遍在 SMT、組裝、品質檢測三個環節，為組裝流程的自動化程度最低。若採全自動化作業，將因為產品設計多變，其組裝難度致使耗費大量時間調整產線與設備，人工作業反而具調整彈性。

最後，透過數據作決策方為智慧製造目的，最適解未必需採用最新設備。以蒐集機械設備數據為例，許多未聯網設備可以透過感測器擷取數據，或是利用光學字元辨識（OCR）技術辨別螢幕或儀表數據，再彙整至資料庫，並非需購買最先進的自動化設備或機器人方能蒐集數據；另外，在資料儲存與應用部分，可以依自身數據使用頻率、資料分析需求、數據儲存量與使用量等進行評估，選擇採用雲端訂閱制的方案，或建構地端資訊基礎設施。

## 發展關注重點

歸納上述應注意事項，可以發現大多數問題都與事先缺乏整體藍圖規劃相關。再者則為對於工業 4.0 核心概念的錯誤認知，導致誤把重點擺在技術面，認為導入 IT 系統，或是採用自動化設備與機器人即為工業 4.0。

在藍圖規劃方面，首先要先確認戰略面問題，企業有什麼問題待解決、涉及哪些業務單位與作業流程。採用工業 4.0 的方案，是否能全面改善，或是僅能局部優化，以及發展工業 4.0 需與哪些 KPI 營運績效連結並持續追蹤。戰術面，接著再評估不同種解決方案，其效益、成本、可行性、員工是否有能力接手或維護解決方案，以及經驗可複製性等。

另外，即使現階段作好了規劃，然發展工業 4.0 並沒有終止的狀態，而是一個持續優化的過程，因此保持方案的調整與擴張彈性就顯得相當重要。例如 IT 部分，過往導入的 ERP 框架與相關功能模組，在新應用需求提出後，若不支援或不夠全面地銜接內外部系統資訊流串接，使客製化調整的成本過高，不如重新導入 ERP，將導致資源浪費；OT 部分，或許當初已有明確應用需求是要確認設備運作狀態，進而外掛溫度感測器監控設備數據。然若後續有其他預測性維護或生產追溯應用需求，所分析的數據項目絕不僅止於溫度，屆時若為了更全面地蒐集設備參數，重新升級設備或採購設備，也屬資源重複投入。

工業 4.0 發展盲區再者為對工業 4.0 核心概念的錯誤認知。一想到工業 4.0 就是技術升級，其實不然。從「工業 4.0 成熟度指數」發展階段觀之，電腦化、可連結、可視化三階段可理解為打破數據孤島所需作的前置作業。至於可分析、可預測、自適應則為將前階段蒐集好的數據，利用統計方法、回歸分析乃至 AI 創造應用價值，三階段差別僅在智慧化程度。

由此可知，與其說導入 CRM、ERP、SCM、MES、邊緣裝置、雲端平台、機器人、3D 列印、AR 技術、AI 等技術就等於工業 4.0，其發展重點更貼近將各資訊系統、機械設備、人員之間的數據彙整後，能創造的應用價值。其應用目的也不是達成產線自動化，讓員工從一個產線換到另一個產線。而是賦能員工，使員工從直接參與製程的「生產者」角色，轉變為確保流程即便更替，仍能順暢作業的「管理者」。

## 生產以外的轉型效益

進一步拉高探討層級，高階主管所關注的企業競爭力，也可思考跨流程協作，突破單一部門營運瓶頸，例如不把生產績效相關的就歸咎於生產環節，而是透過產銷研一體化，思考跨部門協作是否為營運帶來綜效，帶來的效益也不會僅在工廠，而是整體業務的表現。舉例，現今少量多樣、頻繁換線的生產模式，容易發生設備稼動率低、發錯料的問題，若研發部門的新品 BOM 表、訂單的客製生產需求、生產排程與工序設計可以事先串連與模擬產線運作，即能降低少量多樣的生產的出錯率。

跳脫廠務層級，如系統串聯至上下游外部系統，更可創造供應鏈協作效益。例如，過往設備製造商在產品生產交付給客戶之後，將是被動的獲知客戶產品改良需求，且當客戶發現產品問題後，製造商也難以追溯產品問題主因，究竟是場域環境、客戶使用習慣、生產製程或是原料耐用度出問題。

在工業 4.0 技術支援下，透過追蹤客戶使用習慣、產品使用數據，能第一時間掌握發生產品問題的事件脈絡，便有可能限縮問題範圍。製造商可主動優化產品規格，透過研發單位重新設計產品，並同步通知採購單位，告知供應商用料規格與需求，以及通

知生產單位以利更新製程，並利用數位雙生進行生產可行性評估，減少新產線建置時間。從端到端的企業流程，創造工業 4.0 革新來的效益。

總而言之，工業 4.0 應為一套宏觀的戰略與戰術執行計畫，跳脫原先單點技術與製程升級，形成整條產線、整廠乃至企業營運面的統整。猶如鴻海的燈塔工廠，引領著集團內部數十家工廠依序升級，形成燈塔網絡之姿。創造出的企業競爭力，不將僅是生產良率與效率，而是企業對市場環境變化的適應能力。



## 結論

### 業者發展工業4.0作法，以技術面和制度面各具特色

近期在 ChatGPT 話題引領下，製造業成為生成式 AI 遍地開花的其中一個應用場域。AI 分析的數據基礎來自生產端機械設備，然 IT、OT 整合複雜度高，這便是工業 4.0 發展至今十年有餘，為何許多業者仍處於試點階段或是單點應用，或是看不出轉型效益的原因之一。

千里之行始於足下，追求高度成熟的智慧化應用需先做好基本功。觀察企業發展工業 4.0 相關的方法論，尤以德國國家工程院 (Acatech) 提出的「工業 4.0 成熟度指數」最具代表性。可歸納出企業需先分析「公司流程」在「公司結構」的「發展階段」，方能瞭解企業發展工業 4.0 的所處階段，再按照企業目標擬定改善措施。

而觀察全球燈塔工廠—西門子、鴻海兩者發展工業 4.0 的作法，也發現各有特色。屬於方案供給端的西門子，利用其自有的產品設計軟體、數位雙生技術，PLM 與 MES 系統作為基礎，橫向整合研發、物料、生產等多個作業流程；需求方的鴻海，儘管無自有解決方案，然其全球生產據點甚多，因此致力於將集團首座獲選全球燈塔工廠的經驗，複製到其他工廠。並設立數位長、工業互聯網辦公室、工廠評估機制，以及推動標準化生產管理平台、技術驗證與導入平台、標準績效指標體系，現已有數十家集團內部燈塔工廠。

### 掌握工業4.0核心概念，尋找自身最適發展階段

企業發展工業 4.0 有其適用性，需考量既有 IT、OT 基礎設施、業務複雜程度、市場規模成長性、產業競爭程度等因素，評估企業投入工業 4.0 的 ROI。另外「工業 4.0 成熟度指數」所列發展階段，企業可依自身業務需求擬定目標，發展到自適應未必符合成本效益。實務上，製造環節之間多少有智慧化程度差異，SMT 自動化難度相較於組裝作業更低，企業需按作業難度、流程需求、業務特性調整智慧化方案佈局。

企業需有長期的戰略與戰術規劃，採用機器人、AR/VR、自動化設備皆屬單點應用，然工業 4.0 效益在於數據產生的價值。宜思考跨技術、跨系統、跨業務流程的數據分析應用。關注焦點也需跳脫單一部門，從產能、良率相關的生產單位 KPI，轉至關注企業對商業環境快速變動的適應力。

另外，由於工業 4.0 是持續改進的過程，企業也需保有方案調整彈性。例如未來企業欲串聯核心業務相關的 IT 系統，若受限資訊系統既有框架，恐使客製化成本高於新導入成本，造成資源重複投入。



## 附錄

### 英文名詞縮寫對照表

MVP	Minimum Viable Product
CDO	Chief Digital Officer
CIO	Chief Information Officer

## 中英文名詞對照表

世界經濟論壇	World Economic Forum
德國國家工程院	Acatech
新加坡工業智慧指數	Singapore Smart Industry Readiness Index
可製造性設計	Design for Manufacturability
可裝配性設計	Design for Assembly
混合實境	Mixed Reality



發行所	財團法人資訊工業策進會 產業情報研究所 (MIC)
地址	106 台北市大安區敦化南路二段 216 號 19 樓
電話	(02) 6631-1200
傳真	(02) 2732-1353
全球資訊網	<a href="https://mic.iii.org.tw">https://mic.iii.org.tw</a>
會員服務專線	(02) 2378-2306
會員傳真專線	(02) 2732-8943
E-mail	<a href="mailto:members@iii.org.tw">members@iii.org.tw</a>
AISP 會員網站	<a href="https://mic.iii.org.tw/aisp">https://mic.iii.org.tw/aisp</a>

以上研究報告經 MIC 整理分析所得，由於產業變動快速，並不保證上述報告於未來仍維持正確與完整，引用時請注意發佈日期，及立論之假設或當時情境。  
著作權所有，非經 MIC 書面同意，不得翻印或轉載