



# 產業競爭力提升與生產力4.0

呂正華 著

財團法人孫運璿學術基金會 獎助



## 謝 詞

獲得財團法人孫運璿基金會表揚為傑出公務人員，並獲得總統親自頒獎，是公務生涯中相當值得一書的榮譽事項，它不僅是肯定筆者過去經濟與產業發展的表現，更是鼓勵筆者未來在工業局肩負更大責任與承擔，盡心盡力讓這個國家發展得更具國際競爭力。

筆者要感謝孫運璿學術基金會的徐立德董事長、史欽泰執行長，還有台達電子公司的鄭崇華董事長，以及歷屆得獎人，包括施顏祥董事長、張家祝董事長、胡仲英副主委、謝燕儒局長等人，因為看到他們在政府各個部門的優異表現，見賢思齊，個人也希望向這些優秀的學長們看齊。其次，我要感謝我在經濟部技術處服務時的黃重球處長、杜紫軍處長、工業局陳昭義局長，以及在104年經濟部鄧振中部長與工業局吳明機局長的推薦，才能夠讓我申請到這個獎項；此外，我的太太蔣錦繡女士對於兒子宗翰、女兒彥禎的教導與無微不至的照料，才能夠讓筆者可以無後顧之憂地在公務上全力投入。

筆者出身在宜蘭縣員山鄉的農家子弟，父親國小畢業，母親不識字，雖然種田收入微薄，但是我的父母親省吃節用、撙節開支，讓大姊、二個哥哥和我都能夠完成大學或研究所學業。筆者在宜蘭高中畢業後，考進台大物理系、台大電機研究所求學，其後經由高考進入交通部民航局飛航服務總台，由最基層的幫工程司做起，積極學習並不斷累積本職學能，經過交通部航政司航權談判與空運

管理的淬鍊；以及在經濟部技術處主辦科專計畫策略規劃與績效考評等扎實的基層歷練，都對於日後擔任工業局電子資訊組組長與副局長的職務有正面助益，對於參與多項國家層級重要產業發展方案之規劃與執行，也更能得心應手。此外，在法國巴黎國家行政學院(ENA)、英國倫敦政經學院(LSE)、美國西雅圖華盛頓大學(UW)國外進修研習的課程，讓我增長英文能力並累積國際產業視野。

105年新政府上任後的五加二產業創新計畫，其中【智慧機械產業發展方案】由經濟部主辦，此一主題與本書息息相關，我也要一併表達對於工業局同事、以及辦公室吳世鈴秘書、葉信好技士在公務上協助之最高謝意。



謹誌

106.1.18

## 序 言

【產業競爭力提升與生產力4.0】是因應工業4.0的國際發展趨勢，以及台灣產業在高齡化、少子化的危機、勞動力日漸缺乏情況下，企業應該如何參考國際間先進國家的發展作法，以提升產業的智慧化水準，將是未來十年產業發展相當重要的課題之一。

由於工業4.0是德國政府的一個高科技戰略計畫，筆者參訪了友嘉集團的工業4.0應用之經典案例公司（義大利JOBS公司，瑞士Pfiffner公司，及德國MAG公司），以及訪問德國Fraunhofer IPK，瞭解Fraunhofer IPK是德國【工業4.0】的倡導與實踐機構之一，在工業4.0領域上，積極針對智慧工廠、智慧人機整合、雲端控制平台均有創新研究案。此外經由中衛中心安排參訪美國，是因為中衛發展中心與美國國家科學基金會（NSF）智慧維護系統產學合作中心（Center for Intelligent Maintenance Systems；IMS）已經有多年合作經驗，爰安排波音（BOEING）、馬扎克（MAZAK）、奇異數位（GE Digital）、豐田汽車製造肯塔基廠（Toyota Motor Manufacturing, Kentucky）等企業參訪實地瞭解美國在工業自動化的發展最新進度與趨勢。在日本方面，訪視株式會社CEC、日產自動車株式會社（NISSAN）追濱工廠、參觀日本具有先進應用技術的帝人、Asprova、Broadleaf及Qualica等4家業者，瞭解其相關智慧製造解決方案發展狀況，以及橫河Solution Service株式會社、雅瑪多運輸株式會社、株式會社CORE、三菱電機株式會社(名古屋製作所)等。

經過德國、美國、日本的廠商或研究機構參訪，讓筆者對於掌握工業4.0國際發展趨勢與做法有更多的體會，也在這一年期間將舊政府核定的「生產力4.0發展方案」，和工業局同仁一起調整為新政府的「五大產業創新研發計畫-智慧機械產業推動方案」，相關規劃在第二章與第三章有具體的說明，這也是「三力（規劃力、執行力與溝通力）」的有效落實，對於我國在未來發展智慧機械以及智慧製造，經過良好的、跨部會的、長遠的規劃，期望在兼具效率與效能的執行能力，以及有效的溝通能力之後，我國未來的產業發展與競爭力的提升應該是指日可待。

## 目 錄

<b>第一章 工業4.0</b> .....	<b>1</b>
第一節 前 言 .....	1
第二節 工業4.0簡介 .....	3
<b>第二章 我國智慧械產業發展</b> .....	<b>11</b>
第一節 機械為工業之母 .....	11
第二節 產業與技術發展現況 .....	14
第三節 智慧機械產業發展問題評析 .....	26
<b>第三章 我國智慧械產業發展策略與做法</b> .....	<b>31</b>
第一節 建構智慧機械生態體系 .....	31
第二節 智慧機械政策願景 .....	32
第三節 智慧機械推動目標 .....	33
第四節 智慧機械預期效益 .....	33
第五節 智慧機械推動策略及作法 .....	34
<b>第四章 德國工業4.0</b> .....	<b>47</b>
第一節 德國工業4.0 .....	47
第二節 從德國工業4.0看我國發展建議 .....	50
第三節 臺德經濟合作會議參訪的工業4.0廠商 .....	53
<b>第五章 美國工業4.0</b> .....	<b>61</b>
第一節 赴美國參訪工業4.0 .....	61

<b>第六章 日本工業4.0</b> .....	<b>83</b>
第一節 赴日本參訪工業4.0 .....	83
第二節 日本智慧製造標竿案例－三菱電機.....	129
<b>第七章 結 語</b> .....	<b>143</b>
<b>參考文獻</b> .....	<b>147</b>
<b>附錄一參訪資料</b> .....	<b>149</b>



## 第一章 工業4.0

### 第一節 前言

面對台灣產業在高齡化、少子化的危機，而且因為勞動力日漸缺乏，勢必要進行產業升級轉型與調整產業結構；因此，行政院在2015年6月4日、5日舉辦生產力4.0科技發展策略(SRB)會議，希望以生產力4.0作為臺灣下一階段科技發展的主軸，而推動「生產力4.0」政策，重點是製造業導入雲端、大數據（Big Data）等進行智慧自動化生產，減少對勞工的依賴，其後，各部會「生產力4.0發展方案」經彙整後於同年9月奉行政院核定，至2016年新政府上任後，又審酌外部環境與政策調整，將「生產力4.0發展方案」再加上連結在地、連結國際、連結未來等規劃，於2016年7月21日行政院會通過「智慧機械產業推動方案」。

由於工業4.0是德國政府的一個高科技戰略計畫，旨在支援工業領域新一代革命性技術的研發與創業。台灣的企業該如何參考國際發展作法，以生產力4.0提升產業的智慧化水準，將是未來十年產業發展相當重要的課題之一。轉型為「智慧機械產業推動方案」也可以有效推動我國產業競爭力提升，而產業競爭力提升正是我國經濟成長的重要動力。因此，在考察行程安排中於2016年5月、7月、9月分別赴美國、日本、德國等國家進行深度參訪與探討學習，選擇的公司或研究單位都是一時之選，所謂「讀萬卷書、行萬里路」，確實因為這樣的參訪行程之後，個人對於工業4.0、生產力4.0，與智慧機械相關的國際發展，都有了更深層次的理解與心得，經過蒐集相關資料與彙整後，我們國家除了可以師法先進國家之作法之外，也可以有效融入與落實到我國產業政策與措施之中。

此一規劃與原提案預期成效相較，除了因為新政府於2016年5

月20日交接而無法安排實地參與「2016漢諾威工業展」，未能與國內參展廠商共同與國外富有經驗的產業界或是研究機構，進行實質交流或促進合作機會，甚為可惜之外。其餘之規劃與成果可以藉此機會，親自至重要案例公司的智慧工廠，學習國外在生產力4.0議題的發展方式與對策，尤其是實務上的經驗與制度，回國後納入工業局業務推動重要參考，確實能夠有效提升我國產業競爭力。此外，參考國外有關生產力4.0與產學合作之機制，實地至美國大學訪談產學合作機制與成效，瞭解實務課程規劃、教材編定內容等，對於強化我國在國家創新體系發展中，產學研深化互動與產學合作加強的標竿學習方式，也有正面助益。

另外，在2016年也適逢新總統就任後，國家的產業政策隨著政權轉轉而有更聚焦的規劃，蔡英文總統提出的「五大產業創新研發計畫」，原本希望以「創新、就業、分配」為核心的經濟發展新模式，去帶動產業的競爭力、改善企業的利潤，並同時提高勞工的薪資、增加新的工作機會，目前正積極透過「五大產業創新研發計畫」，從北到南打造五個產業創新生態系，利用創新來帶動台灣產業的升級與轉型，希望能夠因此提高企業的利潤與競爭力，也能創造大量且優質的就業機會，並進一步提高勞工的薪資和待遇。「五大產業創新研發計畫」中與生產力4.0息息相關的「智慧機械產業推動方案」，正是由經濟部作為主要推動機關，但是在政策上已經不再使用「生產力4.0」的用語，因此，本報告也將使用智慧機械為主要用語，但是在報告名稱的選擇上，基於當初申請傑出人士的題目係以「產業競爭力提升與生產力4.0」，爰仍沿用原申請題目為報告名稱。

## 第二節 工業4.0簡介

工業4.0往往因為解讀的方式或角度不同，而有各式各樣的定義；德國學術界和產業界認為，前三次工業革命的發生，分別源於機械化、電力和資訊技術，他們將18世紀引入機械製造設備定義為工業1.0，20世紀初的電氣化當成是工業2.0，始於20世紀70年代的生產工藝自動化定義為工業3.0，而物聯網和製造業服務化迎來了以智慧製造為主的第四次工業革命，或革命性的生產方法，即“工業4.0”。

簡單的說，工業4.0就是運用所謂的自動化機器人、感測器物聯網、供應鏈互聯網、銷售及生產大數據分析，以人機協作方式提升全製造價值鏈之生產力及品質。如果以德國西門子在Amberg先進實驗工廠經驗推估，工業4.0化後之生產鏈，可提高其生產價值至原先十倍以上，一般認為是下一代工業革命之濫觴。其實，工業4.0的核心是「連接」，要把設備、生產線、工廠、供應商、產品、客戶緊密地連接在一起。工業4.0讓萬物互聯的發展趨勢有了具體的展現場域，將無處不在的感測器、嵌入式終端系統、智慧控制系統、通信設施通過網宇實體系統(Cyber-Physical System；CPS)，形成一個智慧型網路，使得產品與生產設備之間、不同的生產設備之間以及數位世界和物理世界之間能夠互聯，使得機器、工作場合的零組件、系統以及人類，均會透過網路持續地保持數位資訊的交流。

德國聯邦政府曾經頒布實施的「高科技戰略行動計畫」，其中一項訂定的未來計畫「工業4.0」(Industrie 4.0)。此計畫之重點為：

一、在軟體密集嵌入系統的領域，德國已居於領先地位，特別像是在汽車與機械製造業。而越來越有重要地位的則是整合所有

ICT 系統、並應用網路上的「智慧整合感控系統」。為強化工業自動化發展，達到引導及優化企業與整體價值創造網絡的目的，對於發展智慧型的監控與自動決定生產過程意義重大。

二、第四次工業革命的機會不僅是在企業生產過程的優化、更在於開啟了多項應用領域的服務商機。整合感控系統於德國未來生產業的競爭力扮演著決定性的角色。建置德國在2020年時成為整合感控系統全球市場主要供應商為首要目標。

三、推動未來的就業機會與服務：在所謂的「Smart Factory」以及「Smart Production」裡人機互動的新形式將扮演重要地位，這樣的改變過程不僅會帶來全新的服務模式、亦會帶動就業機會的增加。

因此，工研院在工業局的研究計畫中，整理出德國“工業4.0”戰略的要點可以歸納為以下幾點：

(一) 建構虛實整合的網路，包括能自主交換資訊的智慧機器、存儲系統和生產設施，它們能獨立運行和相互控制。CPS 可以將資源、資訊、物體以及人緊密聯繫在一起，從而創建物體、資料以及服務（物聯網、資料網和服務互聯網）等無縫連接的網路，將生產工廠轉變為一個智慧環境，這是實現工業 4.0 的基礎。

(二) 研究主題

1. 智慧工廠：重點研究智慧化生產系統及過程，以及網路化分散式生產設施的實現。

2. 智慧生產：主要涉及整個企業的生產物流管理、人機互動以及 3D 技術在工業生產過程中的應用等。以形成高度彈性化、客製化、網路化的產業鏈，生產流程智慧化是實現工業 4.0的關鍵。

(三) 實現端點對端點整合、垂直整合與水平整合。工業 4.0的關

鍵技術是資訊通信技術（ICT），具體包括聯網設備之間自動協調工作的 M2M（Machine to Machine），即端點對端點的整合；垂直整合是基於未來智慧工廠中網路化的製造系統或生產系統，實現客製化生產，替代傳統的連續式生產流程；水平整合是企業之間透過價值鏈以及資訊網路所實現的一種資源整合，透過網路獲得的大量資料運用、與生產系統以外的開發／銷售／企業資源計畫（ERP）／產品生命週期管理（PLM）／供應鏈管理（SCM）等業務系統聯繫與互動。

(四) 具體的計畫，以確保實現工業4.0的目標：

1. 標準化和參考架構：需要開發出一套單一的共同標準，才能連結不同公司間的網路和整合。
2. 管理複雜系統：適當的計畫和解釋性模型可以為管理日趨複雜的產品和製造系統提供基礎。
3. 可靠的工業寬頻基礎設施。可靠、全面、高品質的通訊網路是工業4.0的關鍵要求。
4. 安全和防禦。在確保生產設施和產品本身不能對人和環境構成威脅的同時，要防止生產設施和產品濫用及未經授權的獲取。
5. 工作的組織和設計。隨著工作內容、流程和環境的變化，產生新的管理工作的挑戰。
6. 培訓和持續的職業發展。需建立終身學習和持續職業發展計畫，協助勞動力因應未來工作和技能的新需求。
7. 監管框架。創新帶來的諸如企業資料、責任、個人資料以及貿易限制等新問題，需要包括準則、示範合約、協議、審計等適當手段加以監管。
8. 資源利用效率。需要考慮和權衡在原材料及能源上的大量

消耗帶給環境和安全供應諸多風險。

綜合而言，工業 4.0策略的核心是透過 CPS 網絡實現人、設備與產品的即時連通、相互識別和有效交流，從而構建一個高度靈活的個性化和數位化的智慧製造模式。在這種模式下，生產從集中朝分散轉變，規模效應不再是工業生產的關鍵因素；產品由同質化朝向客製化與個人化轉變，未來產品都將可完全按照個人意願進行生產，極端情況即是為自動化、個性化的單件產品製造；使用者將由部分參與朝向全程參與，使用者不僅出現在生產流程的兩端，而且廣泛、即時地參與生產和價值創造的全部過程。

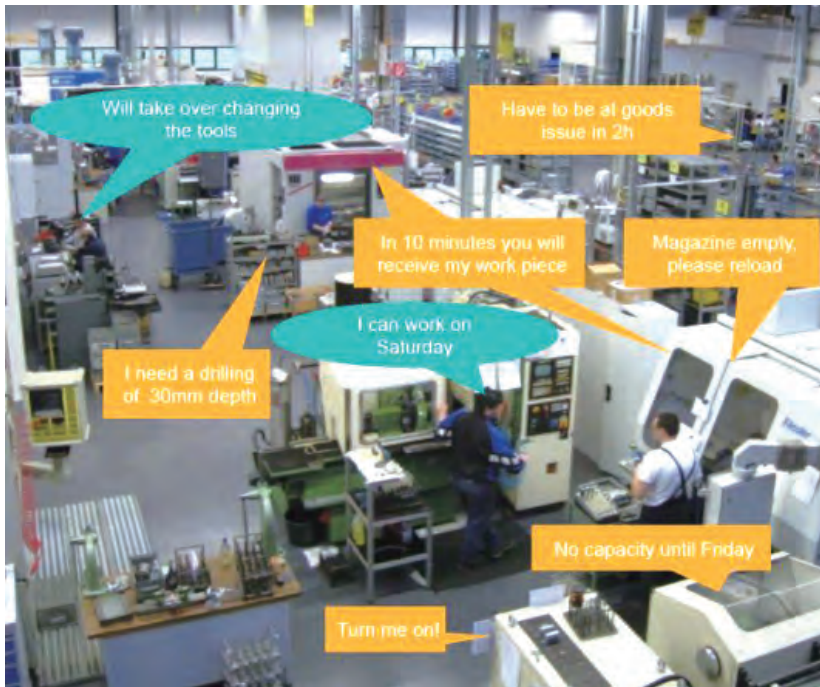


圖 1-1 CPS 促進未來工廠即時溝通與決策。資料來源：Accenture (2013)

德國工業重要廠商 Bosch 集團旗下生產電力傳動與控制零組件

和系統的Bosch Rexroth AG，該公司在德國洪堡(Homburg)設置一條液壓閥智慧生產線，用來驗證該發展的工業 4.0 相關技術與系統應用。原先的液壓閥生產線是單一生產線，缺乏彈性的生產流程耗費許多規格調整的設定時間，有時裝配線上還會堆積庫存影響組裝，此外工作人員需要較長的訓練時間。

原先的生產線配置是200多種液壓閥在三個平行的裝配線上進行生產製造。由於生產批次數量相當小，必須在短時間內調整不同規格生產線，因此現場有超過2000多種不同規格訂單的庫存。此外工作人員必須根據紙張的說明來確定正在生產各種類型的閥門，此確認過程不僅緩慢也容易出錯。

為了解決上述的問題，Bosch Rexroth採取三項生產4.0的相關技術，包括：(1)整合射頻識別(RFID)、工作指引同步和個別化裝配步驟等技術之精確產品識別系統；(2)彈性自主工作台、虛擬使用者特定工作空間型態；(3)了解生產線／產品狀態的訊息看板(Active Cockpit)。

整合射頻識別(RFID)和雲端伺服器儲存和管理的技術連結工作人員、產品和機器，提供工作人員與顯示相對應的適當資料，適時根據需要調整零部件的重新排序，提升生產效率和減少必須保持在現場的庫存量；可適應性的工作台透過藍芽通訊技術連結工作人員和工作台的資料，依據工作人員的特徵(國籍、身高、年齡)調整工作台的語言、高度和字型大小，提升工作效率和工作安全性；訊息看板則是呈現生產線與產品狀態、促進資料，生產線人員可依據看板資訊進行調節。

經導入工業4.0相關技術與系統後，產生多種效益。可適應需求調整的液壓閥組裝線提高彈性和產品的多樣化，單一產線能處理的產品規格從原來3-5種增加到 25種；原先需要6條生產線完成的產品可由1條完成；線上庫存量降低五成；無須調整生產線時間的

情況下整體產能提高20%；每條生產線節約50萬歐元成本。



圖1-2 Bosch Rexroth導入工業4.0彈性化生產線。資料來源：Bosch Rexroth (2015)

鑑於智慧機械產業已是全球發展趨勢，特別是美國、德國及日本等製造業先進國家，透過智慧機器人、智慧聯網及大數據分析等資訊應用技術，導入智慧工廠解決方案，提升工業技術與服務價值，在生產力的提升與產業附加價值增長中，都有具體成果。誠如



李傑教授所說：工業4.0的概念有三個支撐點：一是製造本身的價值化，不僅僅是做好一個產品，而且是把產品生產製造過程做到浪費最少、製造過程與設計者配合；二是製造過程中，根據加工產品的差異、加工狀況的改變能自動作出調整，達到具有所謂的“自省”能力，也就是整個系統，包括設備機器本身，在設計製造過程中能根據變化的情況，及時作出調整；三是在整個製造過程中達到零故障、零憂慮、零意外、零污染，至少要低憂慮、低污染，使製造過程達到最小憂慮化，這就是製造業的最高境界。我國的產業競爭力要有所提升，這三個支撐點要能夠確實掌握，一步一腳印，踏踏實實去完成，個別廠商雖然有個別差異性，政府部門正可以依據不同產業特性、不同廠商的策略群組，從政策面透過相關輔導措施，幾年後肯定可以看到不一樣的成果。

一般而言，創新可以分為三種：企業經常性地改進產品，把產品改得更受使用者喜歡，這是第一種連續性的產品創新；第二種是非連續性的產品創新，目前大部分產業研究院都在做這種事情。一種新技術使用之後引出多項發明，改變了整個產品。這個就是所謂的研發；第三種是主控式創新（Dominant Innovation）。此種創新不直接面對消費者的需求，而是以情境類比的方式，思考該賦予新產品哪些功能，並以突破性的創新研發技術完成該項新產品雛型，接著才將之推至消費市場。這三種類型的創新，在智慧機械產業發展過程中，都會遇到不同的挑戰，也都會有不同的解決方案。如果以蛋黃與蛋白的理論來看，我們應該追求更大的蛋黃當然是很重要，但是從衍生的蛋白之中，也就是智慧機械衍生出潛在的、週邊的東西，不論是從智慧製造，或是製造業服務化所產出的智慧服務角度，都可以透過資通訊加值機械產業，讓我國的製造生態系有了創新的模式。例如在4.0時代的輪胎，那些一直在接貨送貨的輪胎，哪個輪胎變化特別大，哪個輪胎的健康在衰退，什麼時候應該

翻胎，都是可以分析預知的。這時候有別於傳統的製造，製造商需要一個可快速擴充且安全性高的系統，以便支援各地的設計團隊和外部供應商，並充分利用供應鏈傾洩而來的數據資料。

隨著越來越多的M2M通訊等技術被運用在製造流程中，由製造商及其合作夥伴所產出、被分析和取得的資料量勢必大幅增加。而這些新挑戰的解決之道在於雲端運算，其能夠為一個可擴充環境提供多功且龐大的運算、儲存和分析效能，帶來的好處不僅是更有效率的營運模式，還有更進步的客製化服務。正確的決策將能夠讓製造商有機會擁抱新的科技平台和應用，揮別過去大量製造的舊習慣，開啟新的商業模式，而真的走向智慧製造之路。

## 第二章 我國智慧械產業發展

### 第一節 機械為工業之母

「機械為工業之母」，是國家競爭力的象徵，舉凡全球具備高度國際競爭力的工業大國，例如德國、日本、美國等，均具備了精密機械製造技術的基礎，及發展智慧化機械設備之能量。因此，能夠支持國內汽機車、航太、運輸、資訊、光電、通訊、國防武器與能源等產業的發展。

目前全球主要國家均積極尋求產業升級轉型以因應未來產業環境變化。除最受矚目的德國工業4.0相關產業政策推動，尚包含美國的「推動先進製造合作夥伴(AMP)計畫」，韓國「製造業創新3.0策略」及中國大陸「中國製造2025」規劃等，均積極強化其機械產業之基礎，進而帶動其後端製造業之發展。

政府從回顧與分析全球所有國家等級的規劃中找出國際發展趨勢，並衡酌我國產學研的國際競爭態勢與國內各行政區域的發展條件與定位後，將該發展趨勢內化為適合我國推動的產業政策，使其具有進步性、可操作性和國際性，並於2016年總統提出「智慧機械產業創新」政策，其中包含中部「智慧精密機械聚落」，旨在帶動以大臺中地區為主的機械產業轉型升級成智慧機械產業，並連結機械產業在地、未來與國際等發展策略，藉由政府政策的推動，為經濟發展注入新成長動能。期望由政府帶領產業加速產業創新轉型與增值，實現臺灣成為國際市場嶄新生產與服務提供者的兩大目標，以創造臺灣智慧機械產業具備Total Solution技術自主能量，並建立差異化的國際競爭優勢。

我國機械產業一直扮演著中流砥柱的角色，在全球機械出口排名為第19名，其中工具機(如圖2-1所示)與木工機皆為全球出口排

名第4名。特別是擁有產品交貨快速與在相同規格產品下之價格優勢，使得我國產品具備不可取代性。然而近年先進國家如德、日等以優勢品牌作高功能低價化的競爭，中國大陸與韓國等又進行低階產品殺價競爭，我國機械產業備受挑戰。要突破目前的困境，必須依賴整體產業自有技術的提升以及相關產業的相互合作與整合，方能在未來的全球化競爭中脫穎而出。



圖2-1 2015年全球工具機出口排名

資料來源：ITC(International Trade Centre; 國際貿易中心)；經濟部工業局整理

我國機械產業結構以中小企業為主(中小企業家數占總家數97%)，零組件產品完整且具群聚優勢，上下游緊密串連，衛星體系健全，具備快速、彈性而有效率的供應網路。藉由業界長期累積的製造技術，加上綿密的協力網路，掌握市場分工的利基，已發展成具有成本領導優勢與高度出口導向的產業型態，使機械產業在全球大環境瞬息萬變的局勢中仍能穩定發展。從近5年臺灣機械產業觀察(如圖2-2所示)，產值皆達新臺幣9,300億元以上，期能透過政府引領，並整合跨部會資源與關鍵技術自主，建立我國機械產業差異化競爭優勢，擴大機械產業產值躍升。

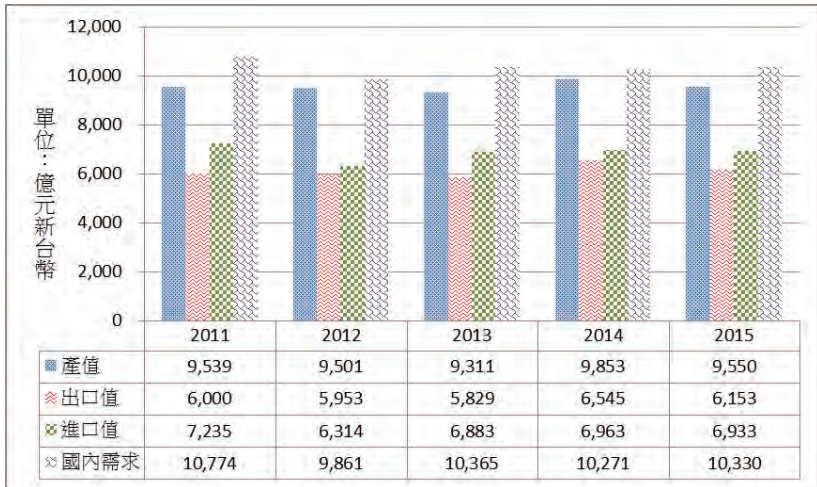


圖2-2 臺灣近5年機械產業概況。資料來源：機械公會、臺灣關務署；經濟部工業局整理

面對德、日等技術領先者與中國大陸、韓國等技術追隨者的競合態勢，我國機械產業應朝向高效率、高精度、高客製化、智慧化及整廠整線整合邁進，除了發展關鍵技術與關鍵產品外，亦將導入物聯網、智慧機器人、大數據分析等智慧技術，同時強化國產控制器應用、結合航太、半導體、機械設備、金屬運具、電子資訊、能源、3C、食品及紡織等產業應用需求，推動智慧機械、智慧製造系統、整廠整線應用及智慧工廠等智慧機械設備與智慧製造應用解決方案，建立符合終端產業需求的技術應用服務能量，進而使我國機械產業能以少量多樣、彈性製造、大量客製化生產搶占市場，強化產業競爭力。

## 第二節 產業與技術發展現況

### 一、機械產業聚落

中部地區素有機械產業大本營之稱，2011年商業週刊更以「大肚山下的黃金縱谷」美譽，詳細報導臺中地區綿密的產業群聚供應鏈體系對全球製造業的重大影響，凸顯出臺中在我國機械產業領域上無可或缺的地位與角色。

根據經濟部統計處全國產業廠商調查統計資料顯示，在機械設備業部分，坐落在臺中地區的廠家數約占全國的33.7%，在工具機產業部分則占47.2%。除此之外，工具機、木工機等群聚為臺中重要次產業，在外銷出口的表現更是令全球為之驚豔。

以2015年 ITC (International Trade Centre ;國際貿易中心) 出口資料顯示，我國木工機及工具機出口皆名列於全球第4位，如此亮眼、傲視全球的表現，展現出中部地區機械產業群聚效應的競爭優勢。

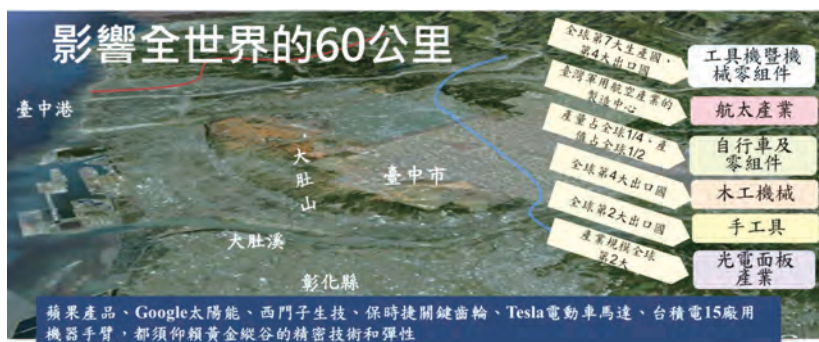


圖2-3 中臺灣產業聚落。資料來源：臺中市政府

## 二、物聯網(Internet of Things, IoT)與感測器

在智慧製造應用上，聯網應用是實現智慧製造的重要基礎，而製造業使用物聯網之架構，可包含感知層、網路層與應用層等三個層面。感知層主要包括動作方位感測(如：動態力、振動與安全防護/位移與磁電感測等)、光學影像感測(如：3D視覺/光學定位/IR感知等)及環境監測(如：精微壓力、流量、溫度等)等感測資訊之擷取，感測資訊透過網路層的雲端平台及聯網環境，進行儲存與資料分析，以供應用層進行決策判斷與作動控制使用。

依據工研院產業經濟與趨勢研究中心(IEK)資料顯示，2015年全球製造領域物聯網市場(含硬體與軟體)規模約為美金529億元，預估到2020年，會成長到美金1,332億元，年複合成長率(CAGR)約為20.3%。而依據資策會產業情報研究所(MIC)資料顯示，我國物聯網整體產值2011年約美金44.05億元，預估至2016年達美金147.47億元，平均年成長率約47%，顯示物聯網市場在臺灣正迅速發展。

另外，在工業感測器技術的發展，我國尚處於起步階段，國產設備所需的感測器(包含力學、熱學、光學、磁學、電學、聲學及化學等感測器)大部分皆需仰賴進口。因此，臺灣製造業在邁向智慧機械與智慧製造應用的同時，亦應加速工業感測器技術自主開發，透過整合產(示範)、學(人才)、研(平台)共同合作，突破工業感測器技術瓶頸，並結合智慧機械應用驗證感測器性能與可靠度，以奠定我國智慧機械產業發展之基石。

### 三、大數據(Big Data)

隨著生產製造的自動化，控制系統、感測器等產生了大量的資料，伴隨著製造流程與商業活動日趨複雜，都促使大數據分析技術在工業領域中的興起。發展大數據分析技術，可使企業透過多種衡量瞭解工廠績效，並對生產製造提供即時預警，使企業對產品與生產做更佳預測，以提供更快的客戶服務與支援。其架構大致可分為基礎設施服務(Infrastructure as a service, IaaS)、軟體服務(Software as a service, SaaS)及平台服務(Platform as a service, PaaS)。

依據英國TechNavio調查資料顯示，2015年全球大數據在製造領域的市場規模為美金56.1億元，其中基礎設施服務(Infrastructure as a service, IaaS)、軟體服務(Software as a service, SaaS)及平台服務(Platform as a service, PaaS)占比分別為42.2%、27.3%與30.5%；預估到2020年將會成長到美金122.3億元。同時，依據國際數據資訊(IDC)資料顯示，2019年全球大數據市場規模將達到美金486億元。由此可以瞭解，未來大數據市場將因全球朝智慧化生產發展而快速拓展。

### 四、網宇實體系統(Cyber-Physical System；CPS)

2011年德國提出「工業4.0」，推動以CPS為核心建構「智慧工廠」，以維持其在全球製造領域的領先優勢。CPS是一種虛擬網路與實體物件整合之系統，即透過實體物件、環境變異、運作等訊號的擷取、儲存、分析，並與實體物件的設計、測試、運作等特徵相結合，產生虛擬網路與實體物件的深度整合。不論是德國工業4.0、美國的再工業化政策、日本的人機共存未來工廠及韓國的下世代智慧型工廠，還是中國製造2025計畫，均是積極運用CPS以帶動生產製造朝向數位化、預



測化及人機協作化發展，以建構網實智能化製造、生產、銷售系統，並快速反應或預測市場需求。

CPS系統的本質就是人、機、物的融合計算，一個完整的CPS被設計成一個實體裝置的互動網路。未來，隨著科技的進步將會使得計算和物理實體能夠更緊密的互相結合，以大幅提升CPS的適應性、自動化、效率、功能、可靠性、安全性和可用性，進而達成機械設備的自我感知、自我記憶、自我認知、自我決策、自我學習等功能，以促進工業資產的全面智慧化。

## 五、精實管理

精實管理主要目標在於減少生產過程中的無益浪費。在邁向智慧製造的同時，面對隨時變動的訂單、越來越短的前置時間及不斷衍生的服務需求，精實管理乃是未來生產製造者的基本要件，惟有先追求精實管理才能打造高品質及滿足客戶需求之精實化工廠。

我國機械產業在精實管理的推動上，自2006年台中精機與永進機械2家工具機廠與21家協力廠商，即共同籌組M-Team聯盟，積極推動精實管理，其中永進機械於2011年成為全亞洲第一家工具機廠商榮獲日本JIPM設備維護協會「TPM優秀賞A類」合格通過殊榮。2014年經濟部工業局有鑑於我國工具機產業多屬中小企業，在營運及生產管理普遍缺乏相關知識及人力，因此，結合國瑞汽車TPS能量，透過持續不斷的改善、貫徹自動化與即時(Just In Time)的基本原則，配合人性化管理及看板工具等方法，協助廠商達到平準化、少量多樣及保證品質的精實生產模式，提升其營運效能之目標。

## 六、3D列印

3D列印亦稱積層製造(Additive Manufacturing, AM),為快速成型的一種技術。以數位模型檔案為基礎,運用粉末狀金屬或塑料等可黏合材料,透過逐層堆疊列印的方式來建構物體的技術。傳統的加工方式是採用大塊材料慢慢切削雕琢的減法方式製作,常會造成材料的浪費。3D列印技術則採用層層堆疊的加法方式製作,避免了不必要的材料浪費。

3D列印主要應用領域包含消費產品產業、汽車產業、醫療服務業、教育產業、航太業、工業機械領域等。因為應用領域的不同,使用3D列印技術的方式也不一樣。塑膠成品部分主要運用於產品的打樣,而金屬成品主要運用在航太、機械、汽車工業中設計複雜的零件。依據英國Frost & Sullivan調查資料顯示,全球3D列印市場預估在2020年到達美金86億元,年均成長值達20.6%,其中歐洲預估達美金35億元,將為全球最高產值。

在2008年以前,3D列印設備技術主要都掌握在美國Stratasys和3D System這兩家業者手中。2008年後因關鍵專利到期,國內開始有業者進入3D列印設備製造領域,主要以低價位3D列印機搶攻市場。在高階金屬3D列印設備方面,經濟部技術處已投入資源進行相關設備的開發,國內工具機大廠東台精機亦與上游金屬材料業者合作,成功研發出臺灣首部金屬粉末式積層製造設備。

## 七、機器人產業

根據國際機器人聯盟(IFR)最新資料統計,全球工業機器人市場需求呈現穩定成長趨勢。2014年全球工業機器人新增數量較2013年增加29%,達229,261台,並以亞洲地區為主要市

場，占全球市場的60.76%。預估2016-2018年全球工業機器人將以每年15%的速度成長，2018年新增數量超過40萬台，總裝置數超過230萬台，未來全球市場前景樂觀。

我國機器人產業受國內外產業自動化、製造業升級轉型需求帶動下，2014年工業機器人新增數量達6,912台，全球排名位居前10大國家。且因為國內電子資訊產業興盛，有助於帶動我國工業機器人應用在電子產業，占國內裝置量70%以上。而國內較具規模之業者為上銀和台達電子，其中上銀的工業機器人產品種類較齊全，具備六軸、並聯式、水平式和晶圓搬運用機器人，台達電子目前產品僅水平式機器人一型，於2016年8月量產六軸關節型機器人，兩家業者之工業機器人年產能合計約1,000台以上，我國機器人產業已具基礎供應能力。

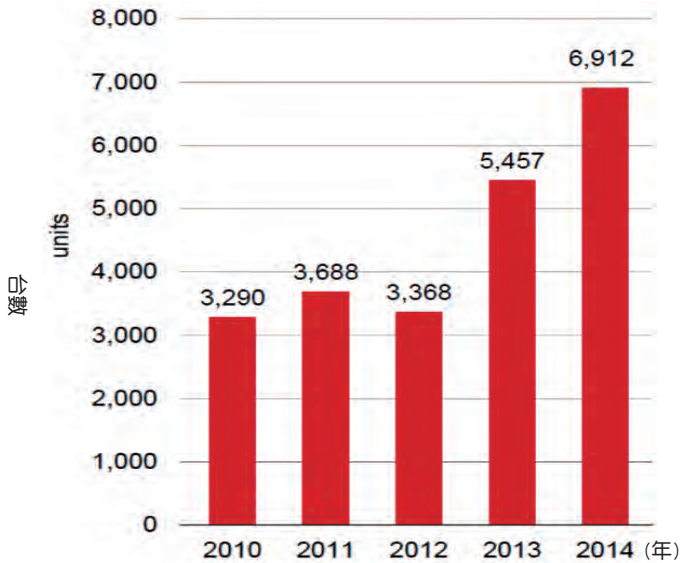


圖2-4 臺灣工業機器人裝置量統計

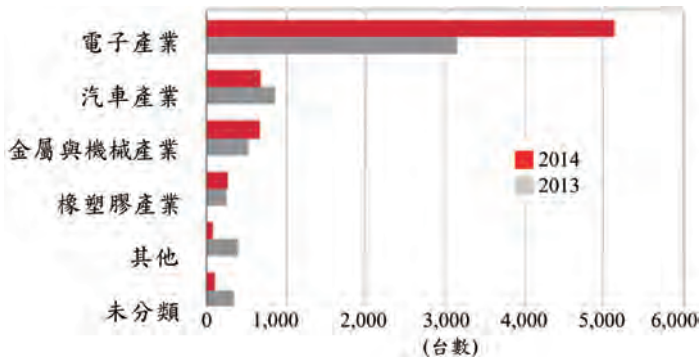


圖2-5 臺灣工業機器人應用產業統計

## 八、控制器產業

全球2015年控制系統銷售約50萬套，第1大為日本發那科(FANUC)約21萬套，第2大為德國西門子(SIEMENS)約5萬套。2015年國產控制系統產值約新臺幣129.3億元，控制系統進口值達新臺幣206.66億元。國產工具機(以綜合加工機、數控車、銑、磨床、放電加工機為主)的控制器需求數量約4.25萬套，採用國產控制器約1.35萬套(占32%)，主要廠商為新代、研華寶元、台達電子、舜鵬等。我國為全球工具機第4大出口國，國內業者已能生產大型化、複合化的精密機台，但高階控制系統目前仍需外購，自主能力仍有待提升。採用日本、德國廠牌控制器約2.87萬套，主要由日本發那科(63%)、日本三菱(Mitsubishi, 28%)、德國西門子(5%)及德國海德漢(Heidenhain, 4%)供應。

國內工具機廠及控制器廠近2年已投入控制器開發超過新臺幣15億元。進行包括：產品開發與導入驗證、場域試鍊、強化售服能力等工作。國產控制器在3軸應用已具自主研发能量，產品品質已能滿足國內業者需求且已有部分應用實績，

3軸以上同動機種等高階控制系統採用國產控制器比例仍待提升。國內主要控制器廠商：新代、研華寶元、台達電子、舜鵬、智研等。

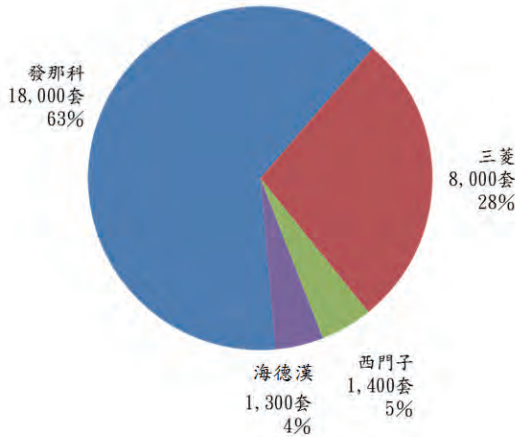


圖2-6 2015年國外控制器品牌在臺灣之市占率

## 九、航太產業

在新興市場需求增加、全球節能減碳趨勢及航線分散之效應下，國際飛機製造商均積極推出新型的省油機種，航空器需求量穩定持續成長。美國飛機製造商波音公司2015年航空市場預測報告指出，未來20年間，全球經濟年平均成長率約達3.1%，航空客運量及航空貨運量的年成長率分別達4.9%和4.7%，波音公司亦預估未來20年全球將需約38,050架新機，總產值達美金5.6兆元。受到中國大陸、印度以及其他新興經濟體大幅度成長的刺激，亞太地區將占新飛機產值市場的三分之一以上，新機市場需求量為14,330架，總產值美金2.2兆元。

國內航空產業在經濟部推動下，已切入機體結構、發動機、內裝、電子等領域之製造與維修，並取得波音、空中巴士、奇異(GE)、勞斯萊斯(Rolls-Royce)、史奈格瑪(SNECMA)等國際航太大廠認證，成為合格供應商。並因品質和交期符合外商要求且表現優異，國內機體結構及發動機零組件領域之供應商，已紛紛獲得3-5年以上的中長期訂單。我國航空產業總產值至2015年底已達新臺幣914億元，較前一年成長約5.1%。目前我國航空產業之廠商家數大約有140家，從業人數已經達到13,995人。我國航太製造與維修產業大致可分為五大部分，包括：機體結構、航電、內裝、發動機、維修等。

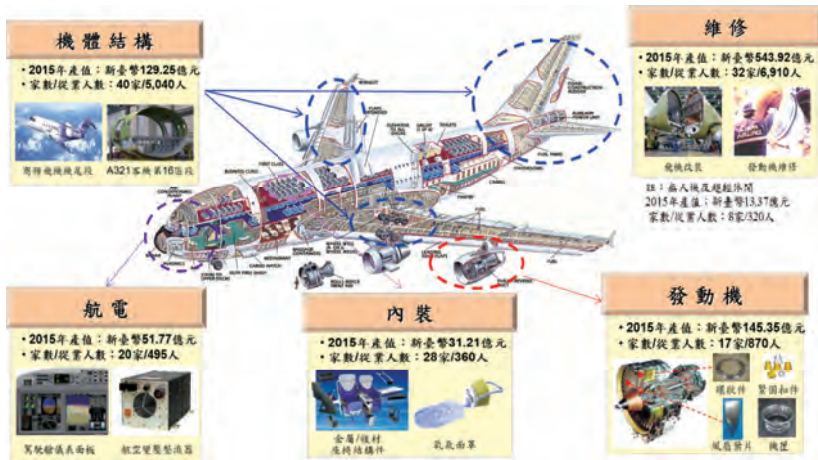


圖2-7 我國航太製造與維修產業現況

國內為因應航太產業未來發展需求，由產官學研組成「AIM Team」，集結國內航空製造業者漢翔、長榮航空等供應鏈體系組成的「A Team」(Aerospace Team)，工研院機械與系統研究所和工具機中心技研團隊組成的「I Team(Intelligent Team)」，與台中精機、百德機械、永進機械、麗馳科技、德

大機械、台灣引興等工具機與零組件廠商組成的「M Team」(Machine Team)，共同為臺灣航太工具機產業整合而努力。

## 十、半導體設備產業

臺灣半導體設備產業發展始於1980年代，最初是由半導體後段製程的封裝設備與模具開始切入，發展至今已有30餘年。且封裝製程大部分皆屬於成熟技術層次，因此，相較於前段製程與後段測試設備，臺灣封裝設備的自製率較高。

在半導體線路微縮趨勢進入16奈米以下，台積電等前段晶圓廠對於先進封裝之需求日益殷切，甚至自行建構專屬製程(如整合扇外型封裝製程InFO)之封測廠，未來於先進封裝設備中，此項利基型產品之爆炸性發展趨勢可期。

依據市調公司法國Yole調查資料顯示，2015年全球先進封裝設備需求為新臺幣1,200億元，其中臺灣設備需求約為360億元。預估2018年全球先進封裝設備需求將成長至新臺幣1,700億元，臺灣設備需求也將來到新臺幣525億元之規模。近期，台積電發布其InFO製程已通過蘋果A10晶片驗證，設備需求將以InFO為主，占45%以上。2016年台積電將投入約新臺幣300億元建置InFO製程產線，約占資本支出10%。

國內電子設備產業已切入半導體領域，並在後段的封裝設備方面，逐步建立基本的研發量能。截至2015年底，國內半導體設備廠商約120家，從業人員約7,000餘人，產值約新臺幣801億元。

值此台積電等終端使用廠殷切需求先進封裝設備之利基點上，臺灣設備業者在既有技術基礎上，若能結合在地終端使用廠，順勢切入發展較高階之封裝設備，對於整體半導體產業之國際競爭力，具有相當大的助益。

## 十一、紡織產業

紡織產業涵蓋了紡織纖維製造、紡紗、織布、染整及紡織成品等各次產業，是一個價值鏈很長的產業。受到貿易自由化、勞動力成本上升、東南亞新興市場崛起等影響，已由過去依靠大量勞力生產的成衣代工出口，轉型到主力發展技術差異化的機能性纖維及布料生產出口，在全球占有舉足輕重的角色。惟國人人口老化及設備自動化比率不足等問題，造成勞動力不足以及生產品質及效率無法有效提升，故應積極導入智慧機械應用，提高生產效率並且降低人工成本，並加速產業結構轉型至機能性纖維產品。

## 十二、運具產業

運具產業包含汽車、機車、自行車、電動汽車與電動機車等，總產值持續成長，2014年達新臺幣6,637億元，為歷史最高峰，2015年為新臺幣6,607億元，2016年1-6月為新臺幣3,127億元，占臺灣製造業總產值約5.31%，係臺灣極為重要之工業。為因應氣候變遷，各國政府藉推動綠能產業，以降低電動汽車與電動機車對能源依賴並達節能減碳之效果，而我國推動電動車、電動機車產業，各車廠皆積極尋求關鍵技術及生產製程之突破，強化智慧電動車輛競爭力。

## 十三、食品產業

我國食品產業2015年產值為新臺幣0.64兆元，占製造業產值的4.9%，在製造業中排名維持第8位。產品主要供應國內市場所需，出口金額新臺幣887億元，占產值比率為13.9%；進口金額為新臺幣2,375億元，占國內食品市場規模30.2%。

食品產業共分有21個次領域，其發展差異極大，故須視各



次領域發展階段進行，從工廠實際需求展開，進行客製化量身訂做，設計最佳解決方案，才能有效協助食品工業進行智能化生產。讓食品業者從現有傳統作業管理升級為智能化的工廠管理模式。

再者、解決我國食品業廠商缺乏嚴謹的供應商產品及生產管理技術，導致食安問題頻頻發生問題。需建立產品生產線履歷追蹤，提升消費者食安信心；透過資訊追溯私有雲，可強化供應鏈控管機制。再導入智慧機械相關技術建立生產履歷，可縮短生產紀錄查詢時間。納入原料生產、製程異常與售後品質管理，提高生產效率。

#### 十四、電子資訊與3C產業

電子資訊製造業相關產值在2015年達到新臺幣4.31兆元，以擁有半導體兆元產業的電子產業(新臺幣2.1兆元)和LCD兆元產業的光電產業(新臺幣1.5兆元)為大宗，通訊與資訊產業則約在新臺幣3,000億元左右之規模。在生產地方面，根據經濟部統計資料，我國電子產品有48.3%在國內生產，而資訊與通訊產品有僅有9.1%在國內生產。我國半導體與面板產業已有完整的供應鏈聚落，PCB產業處於產業整合階段，通訊設備和資訊硬體則受到3C和行動通訊市場景氣影響，積極往中、高階或利基市場切入。

電子資訊產業，將以「高產值提升潛力」與「高新興應用潛力」兩大面向，推動導入智慧機械之次產業。可運用廠商諮詢診斷、案例輔導、商機媒合和帶動擴散等方式，促進產業產值提升及新產品、服務及商業模式的開發。並透過旗艦廠商引領夥伴型中堅企業成為國際優勢供應鏈之方式，推動次產業智慧機械的導入，整合智慧製造設備單元，發展智慧機械的核心

技術，輔以產業公協會的能量，及跨部會帶動的跨領域人才培育，推動電子資訊製造業導入智慧機械。

## 十五、整廠輸出

全球系統整合商機龐大，未來包括ETC等10大應用領域，在2020年全球將達美金3,180億元的市場商機。藉由推動系統整合/整廠輸出的建置，經濟部與外交部、財政部、金管會等跨部會協調合作，同心致力解決廠商出口可能面臨的障礙，鏈結重點市場，推動作法主要是透過輸出整體解決方案，以帶動軟、硬體商機及供應鏈產品出口，短期是挑選已有出口實績與潛力者，包含如10大關鍵系統(ETC電子收費、U-Bike、智慧校園系統、醫療管理系統、綠能電廠、石化製程系統、植物工廠等)解決方案協助出口拓展；中長期則是要建構前瞻性應用解決方案之孵育平台，整合方案育成與本土大規模場域試鍊，並藉由輸出方案進行全球擴散，帶動服務輸出擴大產業綜效。

透過整廠整線系統整合旗艦出口(軟體+硬體+應用+服務等)，2016年可帶動我國出口值約新臺幣590億元，至2020年可帶動出口值約逾新臺幣980億元。

### 第三節 智慧機械產業發展問題評析

台灣如果不推動工業4.0將會如何？因為現今的製造業國際競爭相當激烈，已經由過去的成本、品質、交期、推展至最低採購數量與客製化服務滿意度。台灣產業如果不積極從事工業4.0轉型努力，極可能改變台灣企業在全球供應鏈中之角色與價值，甚至在下一波工業革命浪潮中，完全被淘汰。這也是有些產業以品質與成本為重，例如機械加工，競爭對手藉由連結與優化維持品質、同時還能降低成本，如果台灣停留原地或是進步緩慢，將不易保持現有產

業供應鏈的優勢地位。

此外，有些產業在競爭者間成本與品質差異不大，如果能夠以「快速交貨，訂單量少也能接」的企業便具有較大優勢。台灣現有之產業結構，以中小企業居多，以往以靈活接單、彈性生產、快速回應能力取勝，未來這方面的優勢維繫，必須仰賴工業4.0以及智慧製造才能夠有效提升產業競爭能耐。先進國家如德、日等以優勢品牌作高功能低價化的競爭、中國大陸與韓國等又進行低階產品殺價競爭，使我國機械產業備受挑戰。加上由德國掀起的工業4.0改革風潮，更是襲捲了全球製造業的生產體系與銷售模式。未來，我國推動智慧機械的發展除善用既有的產業群聚優勢，應進行通盤性的規劃與相關跨領域整合，說明如下：

### 一、智慧機械發展涉及層面廣，需中央與地方跨領域合作

智慧機械的發展具有高度跨專業領域及產業鏈上、中、下游相互整合之特性，除可以與未來國際機械設備趨勢接軌，更可進一步帶動我國機械業升級，惟推動智慧機械全面性的發展極需結合中央的產業發展政策與地方的都市開發計畫，透過中央與地方資源整合，強化我國機械產業聚落，提升全球競爭力。

### 二、以尖端製造能量推升智慧機械產品品級

在全球市場中，雖然我國在航太零組件、汽車零組件、醫療器械等機械加工體系及在工具機、產業機械等設備製造上享譽盛名，但在推動智慧機械的過程中，則需進行應用領域與機械設備製造之跨產業的橫向鏈結，才能使我國在智慧機械推動上更緊密結合終端需求，以創造客戶最大價值。

### 三、推動智慧機械亟需強化專業人才供給

近幾年來，政府為決解機械業專業人才不足的缺口，積極推動人才培訓、產學合作與在職職業訓練等措施，已逐步縮小產業專業人才不足的缺口，惟智慧機械所涉及之專業領域較過去機械產品更加多元，對機械、電機、軟體、管理、行銷等專業人才需求將更為迫切。

### 四、智慧機器人尚需加強關鍵技術及整合應用

國內已具備工業機器人基礎供應能力，視覺與力量感測模組也在民生領域獲得成功應用，惟在工業感測技術尚待政府及民間持續投入資源，以滿足未來產業製程多樣化、彈性化及智慧化之需求。同時人機協同產線之建構也需積極投入，以強化國內產業建立自主智慧機器人關鍵組件技術能量，並提升國產機器人之附加價值。

### 五、國產控制器尚待加強自主研發能量

國產控制器已能提供3軸工具機之完整控制系統，惟應用實績仍需持續發展及建構完整的產品線。此外，在高階控制技術方面與歐、日等國仍有差距，極需資源投注加強自主研發能量，以提高終端使用者對於產品品質及售後服務滿意度。

### 六、航太領域機械設備技術與服務能量有待提升

國內工具機設備多用於粗加工製程，高精度加工仍以國外設備為主；另外國內缺乏新一代航太化學製程技術，尚無法滿足國際航太認證及環保要求，國內業者可參考國外模式建立相關應用服務能量，建構各種服務應用規劃能力，連結客戶建立最佳化製程條件，方能符合航太產業終端客戶需求，提供整體

解決方案。

## 七、半導體先進封裝設備自製率有待提升

製造業的基礎在「設備」，臺灣半導體產業之設備高達80%為外商提供，導致國內業者缺乏製程技術之主導性，更不利我國整體半導體產業之國際競爭力。

然而，國內設備廠商多係中小企業，無法投入巨額之研發經費、欠缺曝光/蝕刻/研磨等高階製程設備之關鍵技術，且受到外國原廠專利箝制、缺乏品質試煉場域，不易確認品質及可靠度，致使導入終端時程過久等問題，仍有賴政策大力支持予以克服，相信在產官學研整合推動下，臺灣設備業者亦能與國外設備大廠，一起競逐龐大的半導體設備市場。

## 八、提升產業生產力以因應複雜多元的市場需求

我國未來將面臨就業人力不足之問題，製造業未來勞動力不足情況最為明顯。政府需協助勞工提升工作品質及效率，營運模式創新更是重要。



## 第三章 我國智慧械產業發展策略與做法

### 第一節 建構智慧機械生態體系

為使臺灣從精密機械升級為智慧機械，促進國家整體產業轉型升級，本方案將以精密機械產業為基礎，並結合資通訊技術及相關智慧化技術等，推動智慧機械產業化，藉由整合智慧技術元素，使機械設備具備故障預測、精度補償、自動參數設定與自動排程等智慧化功能，包含強化整機設備、零組件、機器人、物聯網、大數據、CPS、感測器等產業競爭力，建構智慧機械產業生態系(如圖3-1所示)及Domain Know-How應用，使我國機械設備業者具備提供Total Solution及建立差異化競爭優勢之功能。同時推動重點產業(包含航太、半導體、機械設備、金屬運具、電子資訊、能源、3C、食品及紡織等)引進智慧機械，建構智慧生產線(具高效率、高品質、高彈性特徵)，透過雲端及網路與消費者快速連結，提供創新、品牌、客製化、智慧化之產品或服務。

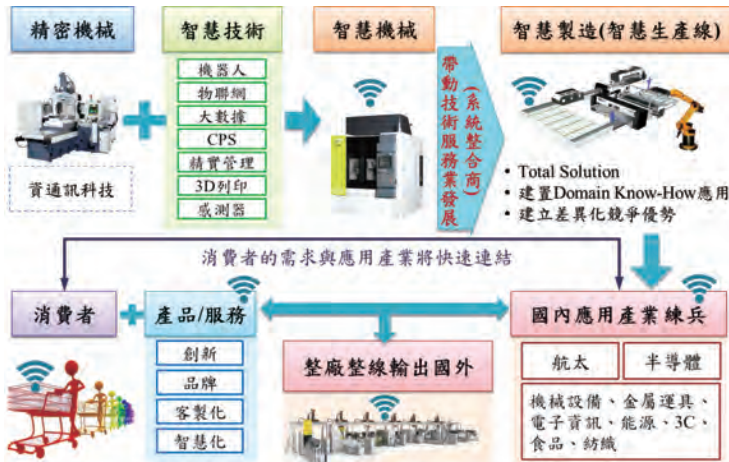


圖3-1 建構智慧機械生態體系

未來全球製造業生產方式將從集中式大量生產，轉為客製化及產品開發快速的市場需求，同時將會透過資料分析及應用的加值服務，建構產業創新價值。未來之產業結構也會從以往較封閉的垂直供應鏈，透過開放式合作平台，形成較具彈性的開放性產業生態體系。而我國正面臨就業人口縮減及產業受國際競爭之雙重挑戰，故有效調整產業結構並跳脫傳統勞力密集的純粹硬體製造思維，將製造業融入服務思維並促進產業創新轉型，是我國機械產業未來發展之重要方向。

因此，本方案除了掌握關鍵技術自主能力外，為因應全球製造業及工業4.0發展，將加速推動我國機械產業由精密機械朝向智慧機械發展，建立符合客戶需求的技術應用服務能量，成為提供客戶整體解決方案的最佳選擇。

## 第二節 智慧機械政策願景

以精密機械之推動成果及我國資通訊科技能量為基礎，導入智慧化相關技術，建構智慧機械產業生態體系。使我國成為全球智慧機械研發製造基地及終端應用領域整體解決方案提供者。

### 一、「智機」產業化：建立智機產業生態體系

1. 深化智機自主技術中長期布局與產品創新
2. 發展解決方案為基礎之智機產品

### 二、產業「智機」化：推動產業導入智機化

1. 減緩勞動人口結構變遷壓力，加速人力資本累積
2. 創新產業生產流程並大幅提高生產力
3. 善用電資通訊產業優勢加速產業供應鏈智能化與合理化



### 第三節 智慧機械推動目標

我們可以臺中市為核心，串連彰化、雲林、嘉義等地區，打造中臺灣成為全球智慧機械之都，推動我國成為全球智慧機械研發製造基地及高階設備關鍵零組件研發製造中心，成為航太、半導體、機械設備、金屬運具、電子資訊、能源、3C、食品及紡織等終端應用領域整體解決方案提供者。推動方向及預期達成目標如下：

- 一、積極配合產業需求，打造智慧機械之都，成為亞洲最重要之示範場域。
- 二、廣泛運用各種政策工具，鼓勵投資與開發智慧機械，形成多元鼓勵效果。
- 三、籌組國家級產學研團隊，突破產業技術前緣，追求全球頂尖價值。
- 四、提升工業物聯科技，形塑上、中、下游緊密結合之產業生態鏈。
- 五、強化航太等產業之系統整合輸出整體銷售方案，以拓展國際市場。

### 第四節 智慧機械預期效益

- 一、建構「全球智慧機械之都」：跨部會建構中央與地方資源平台，促成國內機械設備納入國內先進製程應用，以達進口替代效益。
- 二、發展核心及應用技術：協助業者開發智慧機械關鍵零組件，以控制器為例，4年(106~109年)內將協助中高階控制器出口占比由目前約10%，上升至約18%，8年(110~113年)後則以30%為目標。
- 三、智機產業化及產業智機化：發展高階感測技術、IoT雲端技

術，建立智慧化系統解決方案，4年建構6個典範智慧產業生態體系。

- 四、整合上、中、下游建立服務輸出模式：組成跨域合作結盟，4年建立4個區域服務輸出模式，8年後則以10個區域服務輸出模式為目標。
- 五、培育跨域人才，優化輸出融資環境：設置產學人才鑑定中心與人才培訓，提供智慧化人才，以及企業出口融資及併購之相關協助。
- 六、透過場域試煉，驗證其可操作性，再系統整合輸出：由航空製造廠商提出工具機規格，解決航空工具機在機台剛性、振動抑制、排水、排污、排屑及防水之高度要求。同時，發展半導體先進封裝整機設備，提升高階零組件製造技術。

### 第五節 智慧機械推動策略及作法

策略規劃的推動架構如圖3-2所示，主要推動策略包括「連結在地」、「連結未來」與「連結國際」3大部分。相關推動作法說明如下：

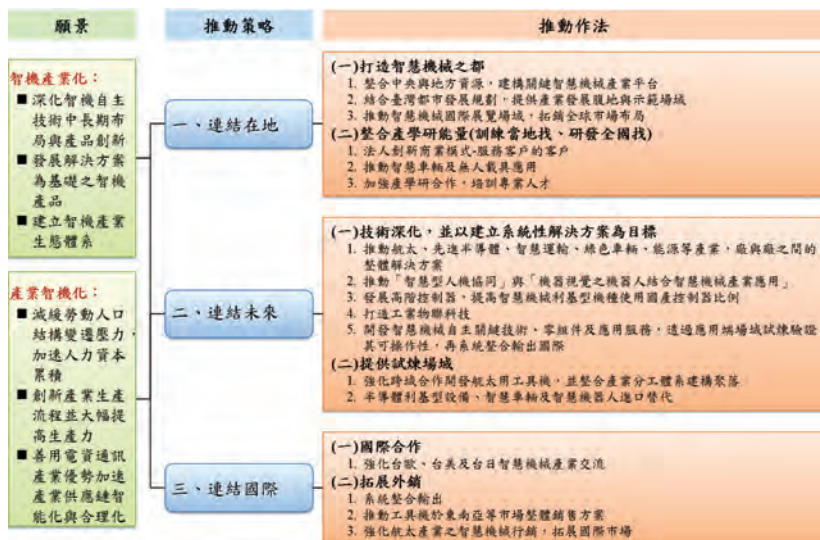


圖3-2 智慧機械產業推動方案架構

## 一、連結在地

利用中部地區機械產業群聚優勢，以臺中市為核心，串連彰化、雲林、嘉義等地區，透過整合中央與地方資源，建構關鍵智慧機械產業平台，有效結合臺灣都市發展規劃，提供產業發展腹地與示範場域。將智慧機械納入國際合作與併購關鍵項目，並整合產學研三方能量，以訓練當地找、研發全國找的方式，強化產學研合作與培訓專業人才。同時運用國際展覽等方式拓銷全球市場，打造中臺灣成為全球智慧機械之都。

### (一) 打造智慧機械之都

#### 1. 整合中央與地方資源，建構關鍵智慧機械產業平台

(1) 以臺中市為核心，串連彰化、雲林、嘉義等地區，透過整合中央與地方資源，建構關鍵智慧機械產業平台。

(2) 將智慧機械納入國際合作與併購關鍵項目，聚焦關鍵領

域，展開跨國與在地整合的產官學研創新網絡。(如：上銀科技為布局線性傳動技術，併購以色列Mega-F(驅動控制)、英國MATRIX(螺桿磨床)等公司，可望挑戰全球前2大滾珠導螺桿廠(日本THK、NSK)；東台併購法國PCI-SCEMM成功切入歐洲汽車加工機市場。)

2. 結合臺灣都市發展規劃，提供產業發展腹地與示範場域
  - (1) 航太試驗場域
  - (2) 智慧車輛及相關載具試驗場域
  - (3) 建置航太零組件共同檢測中心
  - (4) 智慧機械試驗場域
3. 推動智慧機械國際展覽場域，拓銷全球市場布局
  - (1) 運用國際展覽等方式拓銷全球市場，打造中臺灣成為全球智慧機械之都。
  - (2) 由政府協助業者合組聯盟，參加國際展覽並拓展國際市場。

(二) 整合產學研能量(訓練當地找、研發全國找)

1. 法人創新商業模式-服務客戶的客戶
  - (1) 為滿足終端客戶需求，由法人結合學校研發能量，輔導業者之上下游廠商，以服務客戶的客戶為作法，提升航太、半導體等系統工程技術及機械業整線整合能力。

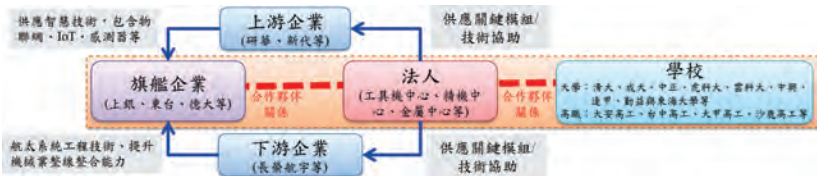


圖3-3 法人創新服務模式

2. 推動智慧車輛及無人載具應用

(1) 智慧電動車輛：物聯網、光學相關技術應用至車聯網。



圖3-4 車聯網應用

(2) 無人機：關鍵零組件導入智慧自動化製程。

### 3. 加強產學研合作，培訓專業人才

(1) 發展前瞻技術與人才培訓，提供技術前瞻指引，以及充沛的跨域人才。

- 鼓勵大專校院與研究法人共同從事研究活動。
- 鼓勵大專校院教師與機械產業共同進行核心技術開發。
- 鼓勵大專校院與機械產業共同進行專業人才培育，為產業儲備未來人才。
- 訓練機構所聘僱講師，應增聘企業界具有實務經驗人員。

(2) 精機中心鑄花人才培訓、金工中心鑄造人才培訓。

(3) 鼓勵廠商引進外籍學生來臺受訓，作為拓展海外市場之開路先鋒。

(4) 鼓勵高職畢業先就業再升學，由政府撥款成立青年教育與就業儲蓄帳戶，藉此鼓勵高中職的應屆畢業生，可以先就業當學徒，學成後再用教育帳戶的錢重返校園或創

業。

## 二、連結未來

可以聚焦資源於「長與新的關鍵領域」，即長產品生命週期與新數位經濟商業模式。未來將打造工業物聯科技，建立工業4.0製造模式，逐步推動人、機、物、供需的資訊流智慧化。並推動航太、先進半導體、智慧運輸、綠色車輛、能源、機械設備、電子資訊、金屬運具、食品及紡織等產業，建立廠與廠之間的整體解決方案。在核心技術面，將持續建立機械自主關鍵技術及相關應用服務，並輔以政策工具鼓勵設備投資，加速智慧機械之研發與導入，促成半導體利基型設備、智慧車輛及智慧機器人進口替代。在提供試煉場域部分，將強化跨域合作開發航太用工具機，並整合產業分工體系建構聚落，透過應用端場域試煉驗證其可操作性，再系統整合輸出國際。

### (一) 技術深化，並以建立系統性解決方案為目標

1. 推動航太、先進半導體、智慧運輸、綠色車輛、能源等產業，廠與廠之間的整體解決方案
  - (1) 強化廠與廠之間智慧機械互通互連之整體系統解決方案。
  - (2) 發展CPS與供需生產資訊流等聯網技術，鏈結客戶端與製造端，開創新世代營運模式。

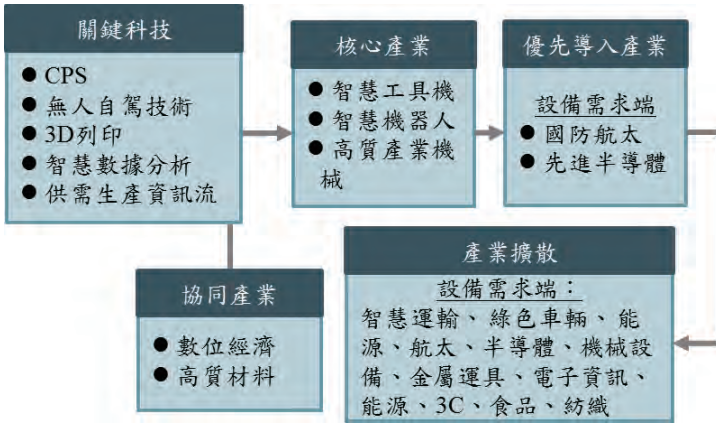


圖3-5 智慧機械技術深化及推動產業項目

2. 推動智慧型人機協同與機器視覺之機器人結合智慧機械產業應用

- (1) 整合經濟部技術處與工業局資源，開發人機協同技術、機器視覺機器人，並結合聯網通訊與Big Data技術，以導入生產線應用，提高產線生產彈性與效率。
- (2) 以經濟部工業局輔導計畫資源，發展國產機器人與國產工具機整合示範案例，以單元式智慧機械產品拓銷國際市場。



圖3-6 單元式智慧機械產品推動情境

3. 發展高階控制器，提高智慧機械利基型機種使用國產控制器比例

(1) 數據回饋使用費：國內終端使用者採購搭配國產控制器之工具機，並回饋加工數據，可收取數據回饋使用費，以間接降低銷售價格。

- 提出國產控制器驗證推動計畫：申請技術處或相關單位計畫，建置驗證能量，包括驗證控制器可靠度與提供驗證報告。
- 搭配整機進行加工性能測試與驗證：工具機搭配國產控制器進行加工性能測試與驗證，驗證單位提供驗證報告，有助於整機銷售。
- 國產控制器工具機終端使用者：為快速掌握使用國產控制器問題，藉由數據回饋使用費，鼓勵國內終端使用者使用國產控制器之機台，提高國產控制器穩定性與可靠度。
- 驗證項目建立：
  - ✓ 第一階段：車削控制器功能與性能、銑削控制器功能與性能、加工參數之加工知識庫等。
  - ✓ 第二階段：警報履歷、系統參數履歷、機台可靠度驗證、控制系統可靠度驗證等。

(2) 提高工具機及機器人等使用國產控制器之比例。





圖3-7 國產控制器驗證與數據回饋

#### 4. 打造工業物聯科技

##### (1) 建立工業4.0製造模式

- 臺灣97%為中小企業(相當程度人工密集)，營收規模及獲利規模較小，應視訂單需求，採逐步式導入。

##### (2) 逐步推動人、機、物、供需的資訊流智慧化

- 運用“感測器(如溫度、速度、力量等)、控制器及工業物聯網”等ICT能量，提升人力價值。

#### 5. 開發智慧機械自主關鍵技術、零組件及應用服務，透過應用端場域試煉驗證其可操作性，再系統整合輸出國際。

##### (1) 軟體：擴大法人招募控制器軟體研發人員，每年深度培養100-300人，並擴散到產業。

##### (2) 驅動器：發展多合一伺服進給軸驅動器，以及發展高響應主軸驅動器。

##### (3) 馬達：藉由國產控制器的驗證與推廣，加速促進國內廠商進行大功率馬達開發，並改善大型主軸馬達之動平衡校正品質。

#### (二) 提供試煉場域

##### 1. 強化跨域合作開發航太用工具機，並整合產業分工體系建

構聚落

- (1) 由航空製造廠商提出工具機規格，解決航空工具機在機台剛性、振動抑制、排水、排污、排屑及防水之高度要求。
- (2) 發展航空級五軸加工機。
- (3) 建立航太酒石酸化學製程能量，爭取法國AIRBUS訂單。
  - 盤點國內航太化學製程能量：盤點更新技術能量資料，以利規劃後續製程建置項目。
  - 發展新一代表面處理技術：協助國內業者建立酒石酸陽極化技術，以爭取法國AIRBUS訂單。
  - 運用工業合作進行技術移轉：進行航太特殊製程關鍵技術移轉、爭取國際航太認證與試產訂單。

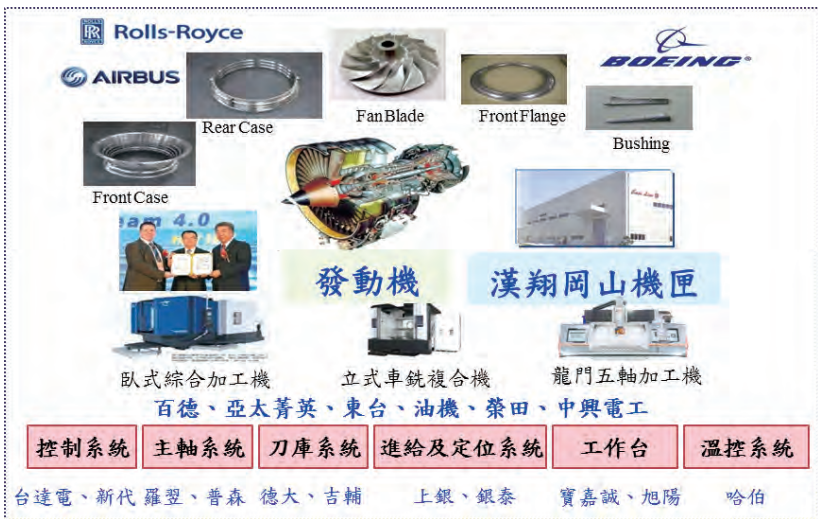


圖3-8 跨域合作開發航太用工具機

2. 半導體利基型設備、智慧車輛及智慧機器人進口替代

(1) 半導體利基型設備：

- 發展半導體先進封裝整機設備，提升高階零組件製造技術，配合台積電建置先進封裝產線，預計4年內採用國產設備30%以上。
- 從AM(終端廠耗材)市場供應轉進至OEM市場供應，並發展利基型設備。

(2) 智慧車輛：

- 建立智慧車輛關鍵技術(路況檢測、預防碰撞系統、自動駕駛、智慧型引擎控制、智慧型懸吊系統)自主，建構完整供應鏈體系。

(3) 智慧機器人：

- 推動智慧機器人控制器、軟體、馬達驅動器與減速機自主，建構供應鏈體系。

### 三、連結國際

主要分為國際合作及拓展外銷兩部分，在國際合作方面，將強化台歐、台美及台日智慧機械產業交流，引進國外技術及與國際大廠合作。在拓展外銷方面將以系統整合輸出、推動工具機於海外市場整體銷售方案及強化航太產業之智慧機械行銷，並將更進一步整合部會資源，協助產業拓展國際市場。

#### (一) 國際合作

1. 強化台歐、台美及台日智慧機械產業交流：引進國外技術及與國際大廠合作外，更進一步整合部會資源拓展國際市場。

(1) 創新合作：創造智慧機械國際創新合作新動能。

(2) 招商引資：吸引日、歐、美投資臺灣智慧機械產業。

(3) 市場商機：以彼此互惠方式與快速商品化的產業能力誘

發智慧機械產業商機。

- (4) 人才創新：吸引對方優秀人才交流，加速掌握我國產業轉型所需人才。



圖3-9 智慧機械國際合作型態

## (二) 拓展外銷

1. 系統整合輸出：推動電子收費、綠色運輸、智慧物流、智慧校園、智慧健康、電子化政府、LED照明、雲端系統、太陽能電廠、石化廠等10大產業整廠整線解決方案，主要推動工作包含：

### (1) 優化整廠整線輸出業者取得融資相關機制

- 透過轉介機制及掌握案源方式，結合財政部建立之聯貸平台，以中國輸出入銀行主政結合商業銀行籌組聯貸案，協商授信條件並籌組聯貸案說明會，對系統及整廠輸出等大型出口融資案件，擴大金融支援。
- 針對系統輸出性作為推動獎勵或補助。
- 鼓勵各部會調整重要系統採購，以進行國內練兵並形成企業聯盟與出口旗艦。

### (2) 強化我國整廠整線潛力業者國際輸出能量

- 整合跨部會資源推動系統整合案例輸出，以國內市場驗證成熟方案為領頭羊方式帶動整廠輸出，除了帶動單次系統整合之軟硬體商機外，更可成為後續相關產品及服務輸出之旗艦。
- 整合相關法人團隊資源，透過平台積極協助，針對已

有出口實績與潛力者，積極拓銷市場。

- 中長期針對具未來發展性之新興解決方案，首階段推動多個應用模組組成小型解決方案，透過場域淬鍊，加值不同應用組成中型系統方案，擴大應用範圍組成大型整體方案，帶動整體產業鏈輸出海外。
- 建立產官學研溝通平台、提供試煉場域。

(3) 結合各國駐臺/臺商總會/駐外單位促進整廠輸出商機媒合與行銷

- 近年來在臺灣所淬鍊出之整廠整案實績，如ETC、醫療管理系統、綠能電廠、石化製程系統等均有機會在國際市場大放異彩。成立系統整合推動平台，透過跨部會協調運作，協助產業掌握海外市場商情、推廣優質案源，協助優質系統整合解決方案輸出海外。
- 根據未來海外輸出人才需求，培訓跨領域國際標案實務人才及國際行銷專業人才。

2. 推動工具機於海外市場整體銷售方案

- (1) 代訓東南亞種子師資，促成受訓師資返國後購置搭配臺灣控制器之工具機。
- (2) 在東南亞工具機展推廣搭配臺灣控制器工具機，並提升工具機在東南亞市場形象。
- (3) 促成業者進駐貿協於東協設立之海外商務中心，設立控制器服務據點，提升售服能量。
- (4) 以東協、南亞及其他新興市場為重點拓銷區域，同時就留學生到訓練生進行全面人才養成。

3. 強化航太產業之智慧機械行銷，拓展國際市場

- (1) 籌組海外展團拓銷：協助廠商主動出擊爭取國際商機。
- (2) 廣邀買主來臺採購：透過觀展為國內廠商引入更多採購

機會。

- (3) 擴大海外行銷網絡：透過強化海外據點服務、與國際商貿機構合作，協助業者布建海外行銷通路。
- (4) 建構廠商出口能量：提供出口融資優惠、強化市場資訊、協助網路行銷、培育國際行銷人才。
- (5) 提升臺灣產業形象及國際品牌知名度：用因地制宜之跨媒體整合行銷傳播工具。

## 第四章 德國工業4.0

### 第一節 德國工業4.0

在德國工業4.0發展中，德國西門子在Amberg先進實驗工廠經驗最常被提到，工業4.0化後之生產鏈，可提高其生產價值至原先十倍以上，一般認為將是下一代工業革命之濫觴。天下雜誌也報導過，安貝格廠和成都廠，是西門子向「工業4.0工廠的工廠」轉型的兩座示範廠。兩座廠都在接單二十四小時之後，就能交貨。平均每五十八秒，就能生產出一件工業4.0的關鍵套件。每年總計三億個元件，都有自己的身分證，讓能夠思考、溝通的送料、加工的設備去辨識：是什麼物件？屬於哪件產品的部件？該被送到哪條生產線？進行什麼工序？兩座廠每天產生並儲存這類資訊，逾五千萬條。出廠交到客戶端後，這些產品又扮演西門子為客戶整合軟硬體、打造一體化工程到營運解決方案的其中一個環節，西門子靠這些MES（生產執行系統）、PLM（產品生命週期管理）和TIA（完全集成自動化）套裝產品，扮演「工業4.0工廠的工廠」，將客戶從工程、營運到服務，集成串聯起來。

依據中國生產力中心的研究顯示，工業4.0一詞最早是在2011年的德國漢諾威工業博覽會提出。2012年10月由羅伯特·博世(Bosch)公司的Siegfried Dais及利奧波第那科學院的孔翰寧組成的工業4.0工作小組，向德國聯邦政府提出了工業4.0的實施建議。2013年4月8日的漢諾威工業博覽會中，工業4.0工作小組提出了最終報告。自此之後，「工業4.0 (Industry 4.0)」這股旋風開始席捲歐、美、日、中國大陸及台灣等世界各地，預期將帶動全球第四次工業革命。從德國工業4.0計畫的推動，顯見目前工業先進國家正運用網實整合智慧製造科技帶動產業垂直與水平價值鏈的數位化、智慧

化，以帶動生產力的提升。

另一方面，由於我國政府也將充分利用台灣產業自動化及電子化優勢，持續投入資源並與企業攜手發展智慧機械聯網、工業大數據分析工具，使產品設計、開發、生產製造、銷售等垂直與水平價值鏈具備自主感知、自主預測和自主配置能力，以實踐訂製式量產，在人口危機的前景下，以科技創造生產製造的競爭力。

舉例而言，德國工具機製造商MAG、企業應用軟體廠商SAP、真空設備製造商SCHMALZ、汽車製造商Porsche、BMW、機電設備製造商WITTENSTEIN以及工具機製造商Trumpf，在工業4.0都有很深的發展基礎與成果。以SAP之工業4.0案例，在工業4.0時代，SAP協助客戶連結數以萬計資料(Big Data)，從分析中得到新發現，有助廠商即時改變生產及營運決策。因為廠商可從顧客端蒐集分析各項資訊，使得顧客不只是使用者，他們反饋之資訊也成為廠商未來開發商品或提供服務的創意來源。

SAP與BMW進行車聯網合作，可藉由分析使用者喜好品牌，在車輛行進中提醒使用者喜好品牌店所在位置。SAP透過大數據分析足球運動員體能，提供足球隊教練充分資訊，作為配置球員攻守位置及更換球員參考。SAP可藉由感測及分析蒐集到的個人生理資訊，進行未來健康分析模擬數據給個人參考。雖然目前80%的大數據資訊，是在2年內累積的，因此可以想像未來幾年大數據的成長會相當驚人。而善用大數據分析，可解決資源浪費的問題，例如2014年美國GM汽車無預警熄火，在北美地區大規模召回80萬輛，後來經實際檢測只有5萬輛以下有此問題，如果事前透過大數據分析，就無需召回這麼多車輛。SAP是以軟體大數據提供核心解決方案，幫助客戶實現業務的互聯、轉型與重組，其中可預測維護服務解決方案(Predictive Maintenance and Service)協助其客戶凱撒空壓機有限公司(Kaeser Kompressoren)能夠即時監控壓縮空氣站的情況，



並對在客戶工廠的資產出現故障之前主動採取維護措施。如果，台灣的軟體公司也可以專注於實現製造業企業流程的自動化，不只侷限於實現單一生產工廠的自動化，而是將各種核心職能集於一體，包括生產、物料、供應鏈、倉儲以及成品銷售。如此，各個企業流程就能因為有資通訊的協助而高度整合，並具備高度可視性，而這將有助於企業提高營運效率，並改進產品設計。

中國生產力中心在參訪這些公司之後，列舉摘要工業4.0的一些方向如下：

- 一、工業4.0不只是製造技術轉型升級，企業也須從製造端層面思考轉向從「消費端」思考，才能更精確的掌握終端客戶的需求並開發適合的產品，如此才能節省成本並為顧客創造價值，為企業創造獲利。
- 二、德國推動工業4.0，最主要是德國想強化其在製造業的技術能力，並使其產品提升全球市場佔有率，以確保其工業先進國家的地位。對許多德國企業而言，工業4.0還在剛開始起步階段，仍在摸索其最佳應用之模式，且因為要實現工業4.0概念，需要投入大量資金進行軟硬體整合，因此，廠商大多先從目前運作之基礎上進行微調，如增加安裝感測器及軟體介面更新等部分開始進行。
- 三、工業4.0時代，製造過程與價值往「使用者體驗」延伸，從關注產品被製造的過程，到關心產品「被使用」的過程，以實現產品價值的最大化。也就是運用顧客的使用資料來創建使用情境類比，再從情境模擬中找到顧客需求的缺口，進而提供連顧客都難以意識到的需求。
- 四、工業4.0所帶給企業的三項啟示：提升專業生產技術、改善經營管理模式、注重綠能環保與社會責任。
- 五、配合工業4.0觀念與相關技術之導入，由於大量重複性之工作

已由機器取代，因此公司員工也應藉機提升分析與整合資訊之能力，並藉由傾聽顧客需求，反饋至整體生產及營運流程之改善，為企業開拓新的服務模式。例如智慧床墊中裝置感測器，消費者使用後回傳企業之資訊如果結合專業分析，則企業員工即可變身為醫療與健康管理專家，提供消費者更實用之建議，增加客戶黏著度，並進而擴大與其他企業之差異性，打造藍海市場，為企業創造更高獲利。

- 六、許多企業因為缺乏對於大數據之運用知識而對大數據恐懼或排斥，其實企業可先從與自身核心業務相關之數據蒐集開始，抓出關鍵數據加以分析，待運用熟練後再逐步擴大蒐集範圍，才能真正從數據中發現企業營運之盲點並加以改善。
- 七、因應中國大陸紅色供應鏈崛起，許多產品生產過剩情況，台灣企業應善用工業4.0概念，除了將「精實生產」發揮至極致，並針對消費者真正需求深入了解，以避免重複投資而使企業庫存升高。
- 八、工業4.0時代製造業導入的機器設備需運用許多資通訊零件與技術，而這個領域是台灣的強項，因此台灣廠商應藉此機會與國際大廠合作，打進其供應鏈，或是提升自身專業技術，將產品已具有競爭力之價格銷售至外國的中小企業。

## 第二節 從德國工業4.0看我國發展建議

為了催生臺灣未來10年產業科技發展方案，行政院在2015年6月以兩天時間舉辦「生產力4.0」產業科技發展策略會議(SRB會議)，廣邀相關部會及國內外近200位產學研專家及代表到場提出建議，而當中找來了臺灣西門子數位工廠與製程工業暨驅動科技事業部總經理鄭智峰，就德國「工業4.0」和美國AMP計畫的實行，來提供臺灣朝向「生產力4.0」的長遠目標前進。西門子公司鄭總

經理從德國的工業發展娓娓道來，包括2012年開始推動工業4.0計畫，目的是為要解決全球競爭下所面臨製造危機和人口老化等問題。鄭智峰指出，工業4.0的概念是建構在網宇實體系統（Cyber Physical System；CPS）的基礎上，要讓設備智慧化、生產自主化，來縮短產品上市時間，提高生產的靈活性以及效能。

他也舉出2013年德國漢諾威工業大展展出的汽車自動化機器手臂為例，在這個生產線中有3台機器手臂，彼此可以互相溝通合作，一旦有任務進來就會依自己角色來自動分配工作，讓生產過程更智慧化與彈性化，也因為生產流程縮短，他說，2014年由西門子公司打造的一輛超跑，從開發到產品上市僅花了16個月就全部完成，「這就是透過生產自動化、數位化來達成『工業4.0』雛型」。

我們也可以觀察到，臺灣的製造業在邁向「工業4.0」的道路上，仍有很多考驗，包括在完善的工廠數位布局及規劃，或是資訊管理上也容易發生數位資訊的斷層，以及較少有企業做好完整的自動化系統效能優化及生產模擬，另外，上游機械業者和下游供應商之間也尚未建立資料數位化的共識，尤其機械業者對於資通訊的聯網其實並未如台積電等ICT公司的深入。要朝向臺灣版「工業4.0」，製造業者首要面對的是系統轉換的建置費用，其次則是要選對投入能符合未來「工業4.0」環境的產品。除了面臨技術上難題，管理者也得接受管理上的挑戰，例如在調整組織部門重心，過去IT自動化部門可能並非公司最重要的單位，但未來將有更多工作會交由IT自動化部門來開發自動化系統，部份採購分析工作也可能會交由軟體工程師，將採購的流程自動化。

此外，在教育方面，我國人才培育和業界需求間仍存有不小落差，如何透過教育的改革與翻轉，培育滿足未來「工業4.0」人才需求，也是政府必需要重視的問題。德國，採用的雙軌教育制度其

實廣為人知，德國政府為了發展工業4.0所需的人才，因此規定企業必需依公司規模來提供產學合作，像是西門子目前一年就要花上1億8千萬歐元運用在產學教育上，包括提供相關工程系學生每學期到西門子實習訓練，透過學習和實務銜接，讓學生畢業後迅速與業界接軌，這也是臺灣未來可以參考的方向。

鄭智峰總經理之後有多次會議與經濟部開會，都建議台灣工業要走向自動化和數位化的短、中、長期規劃。在軟體方面必須從基礎環境整合做起，其次則是建立工廠數位平臺，並與自動化設計結合，而硬體方面，除了硬體製程優化之外，未來也要能加入全方位整合的自動化設計，並建立起製程模組化，如此才能建構起整個數位工廠，進而達成實現臺灣版工業4.0的目標。

至於在晶片製造與互聯網角度上，博世(BOSCH)集團的互聯戰略之下，也提出3S要素做支撐，通過傳感器（Sensor）、軟體（Software）、服務（Services）三大核心競爭力驅動物聯網領域的發展。其中，傳感器就是互聯世界的眼睛和耳朵，現在很多應用需要依賴MEMS傳感器才能實現，博世的微機電系統（MEMS）傳感器已經被用在汽車、工廠和所有的消費類電子產品之中。同時博世也在持續擴展傳感器的應用範圍，例如可穿戴設備、遊戲、增強現實和虛擬現實以及圖像穩定系統；軟體則是互聯世界的大腦，物聯網軟體技術的不斷進步將使得新型商業模式變為可能；服務則是互聯世界帶來新型商業模式，在互聯世界中，服務遠不止於傳統的售後服務。發展新的服務也是台灣產業界可以多多著墨之處。

未來，大家都希望生產的所有產品都能做到互聯，為什麼要這麼做？將這些產品做到互聯互通，才能夠讓萬物聯網，做到具有持續性的業務發展，在為客戶服務時，也才能了解企業需求，交由負責的事業部會協作討論方案，這裡包括軟體、硬體等部門，然後可以為客戶提供解決方案。也因為各種類型企業參差不齊的資訊化水

平，需要的解決方案也不一樣，所以量身訂做帶來很多挑戰。

### 第三節 臺德經濟合作會議參訪的工業4.0廠商

在工具機產業中，友嘉實業集團總裁朱志洋向來有「產業併購大王」的美譽，他自從1979年創業以來，一路東征西討，現在其集團旗下工具機事業群在全球有39個國際知名品牌、53處生產基地、分布在全世界10大機械製造國，友嘉早期收購的工具機企業或許規模較小，但隨著友嘉集團不斷壯大，近期併購的企業很多都是在歐、美、日赫赫有名的百年歷史工具機品牌，例如工廠設在德國的Honsberg，品牌歷史有218年，為歐洲及全球歷史最悠久工具機品牌；美國SMS有162年歷史，為美洲地區歷史最悠久工具機品牌；日本池貝（IKEGAI）創立已127年，為亞洲歷史最久遠的工具機品牌；即使韓國的DMC也有72年品牌歷史，也是當地最老牌工具機廠商，這些併購案件之後，也讓友嘉FFG集團的工具機事業群總合營運實力晉升全球前三大，僅次於日商DMG-MORI、MAZAK。

在2016年9月22日赴德國柏林舉行「第16屆臺德經濟合作會議」，友嘉實業集團總裁朱志洋率領國經協會相關廠商，也特別安排參訪歐洲智慧機械產業及研究機構，包括拜會JOBS、K.R. Pfiffner及MAG等已經併購的歐洲工具機大廠，對於智慧機械產業實際到工廠參觀與深入交流，重點摘要如下：

#### 一、參訪義大利JOBS公司

- (一) JOBS公司是全球知名之航太工具機業者，現有員工約250名，年營業額達9000萬美元，其主要產品為大型龍門五軸綜合加工機，可用於製造鋁合金之結構件、鋁合金之飛機蒙皮、難切削鈦合金及複合材料加工等，其中之關鍵組件例如「五軸旋轉頭」為自力研發，主要客戶為歐陸及美國航太廠

商及車廠。

- (二) 於19日抵達JOBS公司位於米蘭之廠區，訪問行程由友嘉公司朱志洋總裁陪同，就該公司經營策略、機械業發展趨勢、智慧機械發展，以及國產機械產業升級等議題交換意見。朱總裁表示，該公司近年積極進行國際併購案，其成功因素包括：與購併對象主要客戶充分溝通，並在保證品質、用料、人力及研發下，得以確保原有客戶不會流失，同時，透過友嘉公司在亞洲通路，協助相關歐洲子公司擴大出口市場，使得該公司相關併購案均能獲得良好綜效。
- (三) 另該公司成功透過海外併購布局，持續擴張工具機等事業版圖，該公司現以CNC工具機、PCB印刷電路版、產業設備及綠能等四個事業群為主，並已成為全球汽車設備整線產業龍頭，在工具機製造、航太設備、軌道運輸產業設備亦躍居全球前3大。同時，該公司並將VR（虛擬實境）、AR（擴增實境）導入應用在工業4.0、工具機、智慧工廠及智慧自動化等領域，將相關技術應用轉變為智慧製造的一環，獲得極佳評價。另將與德國西門子、博世(Bosch)、日本發那科及義大利米蘭工業大學等組成跨國產學研聯盟共同進行研發案，相關計畫並已向歐盟申請經費補助，有助鞏固該公司之技術領先地位。
- (四) 對於該公司經由海外併購案，成功提升產業能量之策略性做法，我們除了給予肯定之外，並積極建議該公司能將相關技術引入國內，協助國內機械產業升級，推動業者組成國家隊，進而強化我業者之國際市場競爭力。未來我相關政府部門亦將研議如何透過友嘉公司與國內相關單位之合作，並透過其成功經驗及產業技術能力，以進一步優化我工具機產業發展策略。

## 二、參訪瑞士Pfiffner公司

- (一) Pfiffner公司為全球知名之多軸回轉式多工位加工機業者，成立於1970年，年營收額約6300萬歐元，於2015年4月由友嘉併購該公司。K.R. Pfiffner產製之回轉式多工位加工機，將鑽孔、車銑、研磨、旋轉工件等製程工序整合於單一設備，可將原材料依序經過各工序之加工，產出零組件之成品。相關設備可應用於生產汽車零件、電子零件、鎖之零組件、液壓氣動零件等，單機生產量可年產加工500萬件，加工效率高。
- (二) 於20日參訪瑞士Pfiffner公司，由該公司執行長Mr. Bruetsch 偕亞太地區產品銷售經理Sandro Bouchat接待，並親自陪同參訪該公司生產及組裝情況。該公司機台價格高達百萬歐元以上，透過獨特之技術整合能力，及客製化設計，可以大幅提高效率，並將每單位生產成本降至最低，極具競爭力。另該公司之客製化、追求產品最適化及延長機械使用年限等經營理念係我國目前極欲發展之產業方向；其產品亦有助企業快速回收相關投資，提升生產效率，具相當吸引力。
- (三) B執行長另表示，該公司所製機床主要係按個別客戶需求來進行客製化設計及生產，每臺機床平均出貨時間為9至12個月，每年售出約50臺機台，目前於全球已安裝逾 2,600臺，主要係應用於製造汽車及鐘錶關鍵零組件；過去市場係以德國及美國為主，於併入我友嘉實業集團後，亦透過該集團既有之客戶網絡拓展其於亞太地區之銷售版圖，如臺灣及中國大陸等地。
- (四) 我方詢問該公司產品於全球工具機市場之市佔率及獲利情形。B執行長復以，該公司之客製化機床倘相較於標準型低

價機床，市佔率雖不高，惟於「旋轉式輸送和多主軸機床」產品領域，該公司以其製造零組件之多工位（最多至16工位，多方向同時加工）、高精密度及高生產速度稱霸全球市場；客戶於初期雖購置成本較高，惟日後高生產效率可有效壓低生產成本，以享有高投資回報率。我方說明，臺灣人民頭腦靈活、學習力強；多工位設計、少量多樣化之藍海策略經營模式係臺灣工具機產業之未來發展方向，另因臺瑞產業於生產鏈上實具互補性，技術合作係臺瑞經貿合作之重點發展方向之一，鼓勵該公司與我國該領域同業進行交流。

- (五) 由於回轉式多工位加工機能為客戶帶來高效率加工且省人工，也能為設備業者帶來高附加價值，若能技術引進臺灣可協助國內機械產業升級，其中的關鍵組件「主軸」「進給滑台」，國內具基本研發能力，有能力承接並持續發展，值得技術引進合作。

### 三、參訪德國MAG 公司

- (一) 該公司成立於2005年，年營收達5.95億歐元，員工人數約1500人，現為全球最大汽車設備廠、技術最先進的統包工具廠供應商之一。MAG之專業工具機可用於加工製造汽車引擎與底盤元件，如曲軸(Crankshaft) 及變速箱等核心零組件。另該公司提供工具機、製造系統和相關服務，包括車削、銑削、搪磨、系統整合、自動化與軟體、維修、整新等。
- (二) 於21日由友嘉公司朱總裁及MAG執行長Luigi Maniglio陪同參觀MAG公司汽車汽缸生產設備之組裝及測試情形，及MAG公司核心零件部門CORCOM廠之生產設施規劃及產品組裝情形，其中CORCOM廠成立於1961年，主要產製工具機主軸、



旋轉工作台及刀庫等核心零件，並以供應MAG生產所需為主，其生產技術係為我國推動工具機產業升級積極發展之關鍵項目，值得合作發展，以其中「主軸」為例，HSK A100 16000RPM主軸的成本僅6000歐元是我國內廠商的80%，競爭力高，另其所研發之測試設備具頻譜、噪音及溫升等系列感測能力，也值得雙邊合作引進。另亦參觀該公司學徒訓練計畫上課情形，其相關訓練模式頗值我國借鏡，倘能將該訓練模式移至我國，將可提供我業界訓練員工之參考，並協助帶動我技職教育之發展。

- (三) MAG客戶均為歐美頂尖企業，包括寶馬(BMW)、賓士(Mercedes-Benz)、福斯汽車(Volkswagen)及其他知名汽車製造業者。該公司透過提供客戶完整生產方案，協助客戶開發新產品；另其已將工業4.0相關理念納入產品體系中，主要透過大數據分析來預測機台之故障發生機率，提前排定維修日程，以降低維修造成之生產成本，進而強化與客戶之夥伴關係。參觀當日，該公司亦展示在生產線上整合32台臥式五軸加工機，該組機台係為提供給北京賓士(BENZ)生產汽車引擎曲柄軸的智慧化生產線，其售價近1億歐元，其整線系統整合後的價格為我國單機整合後近10倍，值得我國學習合作。
- (四) MAG之工業4.0作為：該公司可與客戶約定每天回傳生產資訊至該公司，以利MAG協助客戶分析機台錯誤發生次數、預先排定維修時間及推測未來哪個機台可能產生問題。MAG之前曾遭遇很多機器雖然發出警報，但無法立即知道是哪一個環節導致異常而停機導致損失。因此MAG開發出一套App系統，可下載於行動裝置(如平板電腦)上，提供現場人員隨時監控診斷機器運作，每項問題以是或否方式來回答，一步一步找出機器發生錯誤之可能原因。導入此工具有效快速排除

機器障礙並提升客戶滿意度。此外，MAG透過在機台設置感測器，可感測機台刀具的彈性係數，並配合分析刀具運作次數與能量變化，精確評估更換刀具時間，避免之前固定期間無謂的更換，節省能源消耗及物料浪費。MAG設計一套評估矩陣，便於該公司負責人員評估，並經由矩陣落點分析，提供客戶關於機台的各項培訓或解決方案。

#### 四、參訪研發機構Fraunhofer IPK

- (一) 於22日下午拜訪德國Fraunhofer IPK，由該院教授Eckhard Hohwieler及經理Steffen Pospischil接待。Pospischil經理表示，Fraunhofer研究院專職開發工業應用技術，主要的服務對象為工業界、服務業及公部門，目前共有67個研究中心及2萬4,000名工作人員，年預算為20億歐元，為歐洲最大研究機構。德國Fraunhofer研究院經常作為大學的基礎研究及企業產品創意間的橋樑，這三者不斷互動以切合最新需求，例如Fraunhofer IPK與柏林工業大學場址相連，人員彼此兼任。目前已知至少有3所Fraunhofer研究所與臺灣工研院有合作，柏林IPK透過柏林工業大學與臺灣的大學亦有合作關係。
- (二) Hohwieler教授說明，Fraunhofer IPK是德國“工業4.0”的倡導與實踐機構之一，其目前主要研究方向包括先進科技製程、物件聯接及塗裝技術、智慧自動化生產系統、及品管系統等領域，並在工業4.0領域上，積極針對智慧工廠、智慧人機整合、雲端控制平台均有創新研究案。該所期盼透過相關研發成果，可以有效降低導入及運用工業4.0成本，協助中小企業因應相關衝擊。另透過與業界緊密結合，使得該研究院可針對複雜情境提供解決方案，並期許兼顧到經濟利益、資源有效運用、永續性及環境友善四大面向。

(三) 此次參訪過程中，亦參觀該所相關研究計畫項目，另雙方並就產研合作方式、相關計畫之執行方式，以及如何強化產業界合作，共同將工業4.0納入產業發展計畫等議題進行討論，包括交換如何協助中小企業者由內部主動因應工業4.0衝擊之具體做法，以及相關產業訊息之溝通方式。



## 第五章 美國工業4.0

### 第一節 赴美國參訪工業4.0

中衛發展中心與美國國家科學基金會 (NSF) 智慧維護系統產學合作中心 (Center for Intelligent Maintenance Systems ; IMS) 已經有多年密切合作經驗，在2016年5月1日至11日期間，安排波音 (BOEING)、馬扎克 (MAZAK)、奇異數位 (GE Digital)、豐田汽車製造肯塔基廠 (Toyota Motor Manufacturing, Kentucky) 等企業；並參加IMS每六個月舉辦一次的工業策進會議 (IAB)；與美國各界的前瞻研究機構或領導企業進行工業物聯網個案研討及交流。行程中還與奇異航空 (GE Aviation)、法孚集團 (Fives Group) 辛辛那提公司 (前身為MAG Americas)、TechSolve等企業專家面對面座談。

#### 一、參訪智慧維護系統中心(IMS, Intelligent Maintenance Systems)

智慧維護系統由李傑教授首先提出，該系統旨在保證設備系統「近零故障」(Near-Zero Breakdown)的理念，推動工業生產之預測性診斷維護及健康管理技術。在此理念宣導下，2001年美國威斯康新大學和密西根大學在美國國家自然科學基金資助下，聯合工業界成立了智慧維護系統中心。

目前智慧維護系統中心的研究團隊已經發展到由4 所大學 (美國辛辛那提大學、密西根大學、密蘇里科技大學、德州大學) 聯合組成；其成員企業涵蓋15 個國家 75 個企業，其中大多為世界知名企業，如通用電器 (GE)、通用汽車 (GM)、波音 (Boeing)、霍尼威爾(Honeywell)、寶潔 (P&G)、福特 (Ford)、Intel、日本歐姆龍 (Omron)、美國國家儀器(National Instrument; NI)、法國阿爾斯通 (Alstom)、中國華銳風電 (Sinovel)等；智慧

維護系統中心技術成果應用領域也由機械設備系統、製造生產線等擴展到風力發電系統與電動汽車領域，其智慧電池系統已在上海國際汽車城作示範。在 2011 年，由美國國家儀器向全球發佈其 Watchdog Agent<sup>®</sup>工具包軟體產品，已取得多項重要發明專利，涉及機械加工、風力發電、工業製造、電動汽車電池等應用領域。近年來，由李傑教授主創的「主動式創新」(Dominant Innovation)，進一步為產業界指出了價值創新的發展方向。

本次交流過程主要係了解IMS之運作方式與其核心技術能量，智慧維護系統之核心技術是對設備和產品的性能衰退過程的預測與評估、對設備或產品進行預測維護及提前預測其性能衰退狀態。與故障早期診斷不同的是，智慧維護側重於對設備或產品未來性能衰退狀態的全程預測，而不是某個時刻的性能狀態診斷；其次，在分析歷史資料的同時，智慧維護進行同類設備的比較(Peer-to-Peer)，即時地調整資訊傳輸頻度並作分析，而不是傳統上簡單的資料採樣信號傳輸與分析，更提高了預測和決策準確度。

自 2005 年以來，IMS畢業學生有 80%進入會員公司工作、20%進入大學，如 GE, Bosch, Boeing, GM, Toyota, Siemens, Eaton, Parker Hannifin, Goodyear, Global Foundries, United Technologies, Caterpillar, Cummins, Univ. of Texas-Austin, Univ. of Illinois at Chicago, 上海交通大學(Shanghai Jiao Tong Univ.)，哈爾濱工業大學(Harbin Institute of Technology)，清華大學(Tsinghua Univ.)等，為會員企業培養了人才。此外，憑藉IMS所開發的技術，其研究人員在美國NASA 每年舉辦的世界設備預測性診斷及健康維護 PHM Data Challenge 競賽中連續取得冠軍，如：2008 年以飛機引擎剩餘使用壽命預測為主題的 PHM

競賽中 IMS 奪得第 1 名和第 3 名，2009 年的齒輪箱關鍵部件診斷 PHM 競賽中 IMS 包攬前3 名，2010 年的工具機加工刀具磨損預測 PHM 競賽中 IMS 取得第 3 名，2011 年風力發電機感測器健康估計中 IMS 再次奪得第 1 名和第 3 名。

## 二、智能維護系統中心工業策進會(IAB)

智能維護系統中心 (IMS) 是隸屬於美國國家科學基金會下的產學合作研究實驗中心 (I/UCRC)，在美國有超過60家I/UCRC 中心，與產業界建立了穩固有效的合作關係。其任務為透過合作關係，將學界的研究成果快速轉化為商業化產品或具有商業價值的領域知識，使產業界更能發揮技術經驗，在市場競爭中保持優勢。

IMS每六個月舉辦一次的工業策進會 (IAB)，工業合作夥伴於會中向IMS提出未來管理與研究方向的建言。IMS的IAB 會議由四所夥伴大學之一舉辦，由IMS的工業界夥伴企業之一提供資助。與會者通常來自各行各業的領先研究機構或領導企業，如寶鹼(Procter & Gamble)、波音公司 (Boeing)、奇異 (GE)、美國國家儀器 (NI) 及美國國家標準技術局 (NIST)等。近年來，IAB會議議題關注工業4.0、網宇實體系統及工業物聯網等，更擴大參與會員企業的領域範疇。

# 創新矩陣 Innovation Matrix

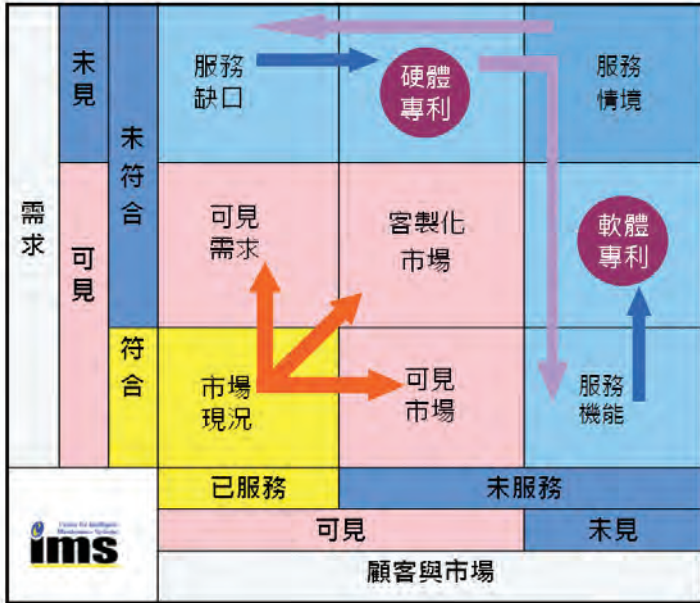


圖5-1 創新矩陣

參加IAB會議過程中，李傑教授親自為我們介紹他所設計的創新矩陣，教導我們如何找出尚未被滿足的需求，進而設計符合顧客需求的創新產品或服務，進而發掘市場潛在商機，創造新的藍海市場。然而我們在利用創新矩陣進行分析的過程中，可以發現潛藏的商機有很多種，我們可能會討論出很多個缺口，但是每個企業的現況條件皆不盡相同，適合發展的創新產品及服務也不盡相同，因此我們應挑選最適合自己發展的幾項產品及服務進行後續詳細的規劃和執行。

李傑教授成立IMS的願景，就是希望透過傳感器蒐集資料，並進行巨量資料分析，希望做到設計零故障，再回饋到設



計過程，進而協助改良下世代的產品設計，而本次活動中李傑教授除介紹創新矩陣的概念外，於IAB會議中也由IMS的研究生分別介紹正在進行中的產學研究專題，並邀請會員廠商共同與會討論，針對研究成果內容以及後續導入應用之可行性就實務上之經驗給予建議。各項研究內容簡要說明如下：

(一) 半導體製造流程之設備故障預測

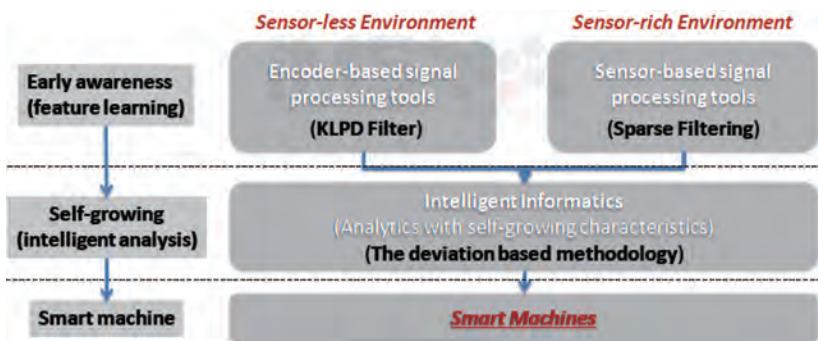


圖5-2 智慧機械的CPS應用

本項研究的主要重點在於，在半導體製造流程中，如何在設備僅有部分感測器的環境下，透過微弱訊號增強方法 (Weak signature enhancement methods)，進行旋轉機械的故障預測，本研究計畫藉由透過外掛感測器 (Sensor-rich) 所蒐集數據資料以及經由控制器 (Sensor-less) 所取得的數據資料比對，發展出一套自動學習的智慧演算法，可以在缺乏感測器的環境下，將所收集到的有限數據轉換成特徵值，再藉由特徵學習的方式，做到早期的設備故障預警。

舉例來說，我們可以將由控制器所得到的設備轉動振幅資料轉換成設備運轉位置以及速度的特徵值，由於設備的同步誤差、組裝誤差以及設備缺陷都有可能為造成速度的變化，因此我們可以從微小的速度變化中預測未來可能發生的

設備故障。

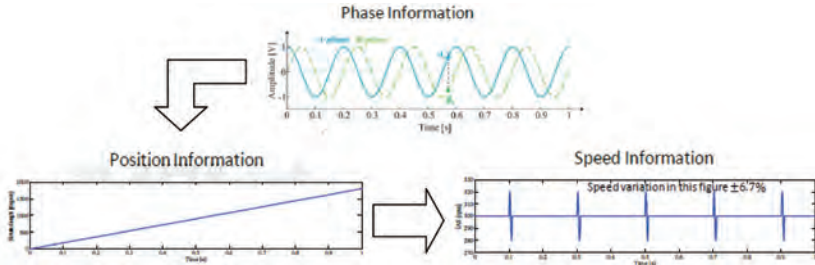


圖5-3 於動態運行條件下建構最佳化模型系統

本項研究的主要重點在於，透過各種飛機操作條件的比對，建構精確的飛機能源效率估算模型，並基於驗證模型進行最優經營決策，使航空公司可在各航線動態環境下進行最佳飛機速度規劃，可提高飛機的能源使用效率並降低航空公司運營成本。

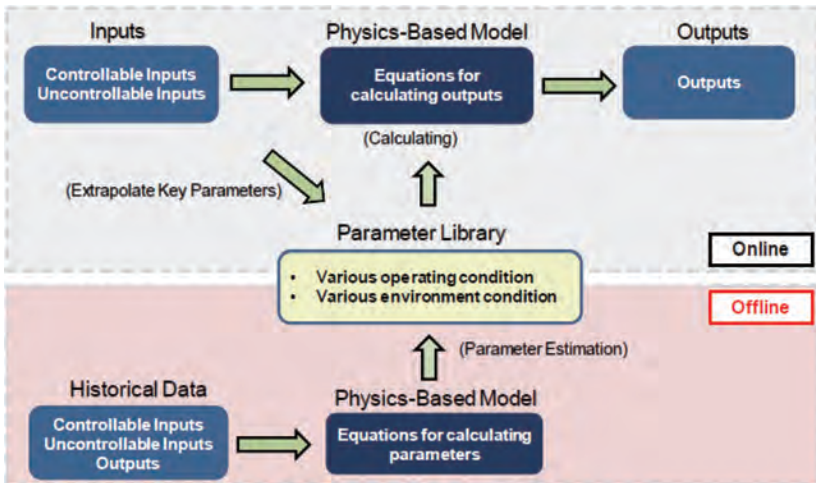


圖5-4 on-line與off-line的智慧機械整合

(二) 整合模型預測(Model-Based)與數據驅動(Data-Driven)的車輛健

### 康管理系統

本項研究的主要重點在於，藉由整合道路環境資訊、駕駛人行為資訊、車輛位置(GPS)資訊以及各種感測器所蒐集的資訊(如胎壓、影像、車速、引擎室溫度…)，加以比對分析後，找出車輛故障發生的原因(如胎壓不足、零件表面疲勞、零件磨損、潤滑度不足…等)與各種數據間的關係，藉以建構車輛健康管理系統，以達到提高車輛可靠性與安全性，並降低車輛維運成本之目標。

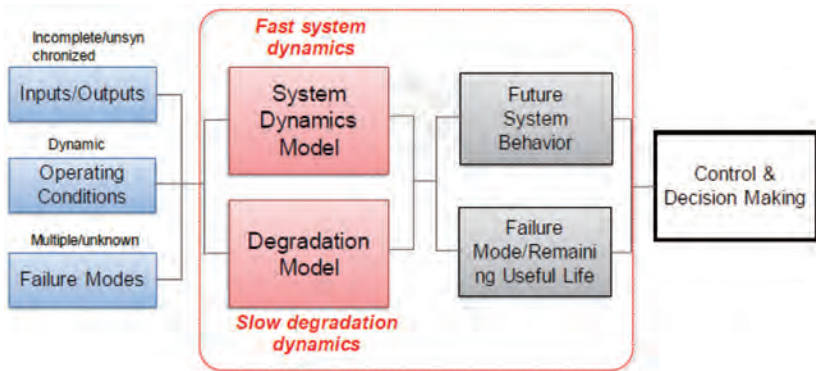


圖5-5 車輛健康管理系統架構

### (三) 資產管理系統

本項研究的主要的目的是希望可在危險的環境中(如冰庫)快速並準確地找出特定資產的位置，並確認資產的相關資訊，本研究藉由整合RFID晶片以及其他環境監控感測器(如溫度、濕度、UV暴露…等)所收集的資料，進而開發即時線上資產管理系統平台，避免因資產遺失/放置於不恰當的位置，所產生之損失，並提供資產過期警告與錯位警告，提高生產效率以及精確度。IMS研究團隊同時也在實驗室中建置了與波音公司組裝線相同的模擬驗證環境，來驗證此資產

管理系統所能帶來的效益。

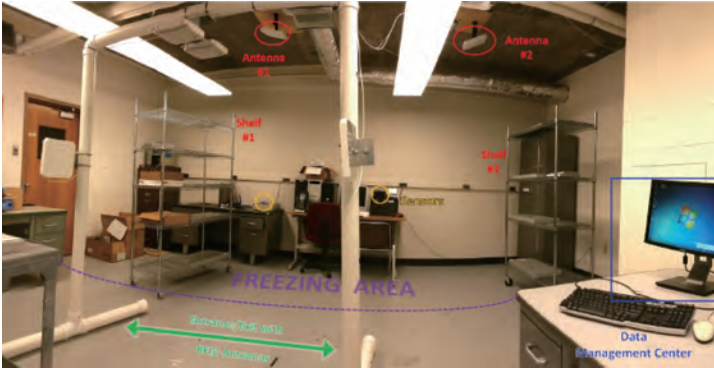


圖5-6 IMS團隊於辛辛那提大學實驗室建置的模擬環境

智慧維護技術每年可帶動2.5%-5%的工業運轉能力增長，可減少事故故障率 75%，降低設備維護費用 25%-50%。這意味著在價值 2 億美元的設備上應用智慧維護技術，每年就可以創造 500 萬美元的價值。

美國智慧維護中心引導現代工業從傳統維護方法轉變到預測及預防性維護，開發了工具包和相關技術，已成功應用於汽車引擎、焊接機器人、空調壓縮機、機床加工、風力發電機、電動汽車等系統。並在2001年發佈了 Watchdog Agent<sup>®</sup>工具包軟體產品，本次藉由IAB會議了解IMS進行中的產學專題研究內容，並透過直接邀請廠商參與討論，有助於修正專題研究的方向，並可使研究成果加速落實產業化，此種模式或許可以做為政府相關科專計畫學習效仿的參考。

### 三、波音公司Boeing的智慧製造

波音公司是美國航太航空業巨擘，專注於設計、製造、行銷固定翼飛機、旋翼機、火箭與衛星等，並提供上述產品租賃

與售後服務。本次參訪戰鬥機組裝工廠，主要係了解 F-15 及 F-18戰鬥機組裝流程，以及波音 FOD (Foreign Object Debris)管理策略之具體作法。

作為航太航空產業的領航者之一，波音在轉換傳統製造業為「數位產業」的競賽中也處於領導地位。波音擁有的物聯網 (IoT) 強項包括：通過數據連接性的豐富操作知識達到智慧型經驗累積；通過M2M通訊實現智慧機器；通過網宇安全分析增強用戶信心；通過遠距連線基礎設施達到靈活製造；以改造企業文化達到強固的技術和諧發展。波音相信IoT能透過先進的數據分析催生新的商業模式，為航太行業升級創造條件，並為波音公司創造更大的商業價值。

由於在機場外來物 (FOD) 可能會造成巨大的損壞，例如鐵屑可能會刺破飛機輪胎或被吸入飛機噴射引擎，破壞飛機重要零件或直接接觸到乘客造成傷害，航空公司以及機場每年都須投入數百萬美元來降低 FOD 對航空公司工作人員、機場以及飛機本身所造成的損失，美國航空公司估計每年 FOD 對整體全球航空產業所造成的損失高達40億美金。

機場、航空公司和飛機製造商可以通過採取措施，避免在不適當的位置找到任何物品，包括寬鬆的硬件、多餘的鐵屑、螺絲釘、路面碎片、餐飲用品、建築材料、岩石、沙地、行李件數等，甚至還包括野生動物。FOD 的管理措施包含以下4個重點：

#### (一) 培訓

所有的組裝現場的工作人員都必須接受FOD的識別以及消除方式的培訓，並了解忽略 FOD 的嚴重後果。培訓的內容將強調安全人員和旅客、危害設備、具有FOD損傷相關的直接成本，以及航班延誤和重新安排相關的間接成本，並包

括事後移除以及事前預防FOD的出現，通過使用海報與標誌加強提醒現場作業人員，反覆的提醒將有助於保持現場作業人員對於FOD的重視。

## (二) 檢查

組裝現場的工作人員，都應加入在日常巡查禁區以及各組裝站間是否發現FOD，這種做法有助於促進各組裝站之間的有效溝通，而在各組裝站完成部件組裝工作後，現場也將透過X光掃描設備再次檢查組裝過程中是否產生FOD，透過不斷地檢查作業，可有效降低FOD發生的機會。

## (三) 維護

維護FOD的控制方法包括：清掃-可藉由清掃器從接縫處去除碎片、磁力棒-藉由磁力收集散落的金屬碎屑，並檢查零組件是否鬆動、振動帶-藉由震動的方式蒐集非金屬的FOD、FOD容器-這些容器應放置在碎片收集的所有大門，並應經常清空，以防止它們溢出，成為FOD本身的來源。此外，現場工作人員可以穿腰袋收集碎片。在評估的容器和包裝袋可以揭示其來源和指明人員，現場設備應部署更有效的控制以收集碎片。

## (四) 協調

多個航空公司以及飛機製造商組成FOD委員會，協調FOD管理做法以及控制手段，美國聯邦航空局諮詢通告150 / 5380-5B，在民用機場碎片的危害，和150 / 5370-2C，在機場建設中的運行安全，在施工期間協調FOD防範，以提供優良的指導方針。

波音公司可根據要求來執行操作FOD審查。審查提供了在現有的條件，以及增強碎片管理的建議結果下的獨立審查。它包括對保養和維修程序進行審查，推薦安裝服務通告

的飛行機組操作程序進行審查和機場運行環境的檢查，並可以使用審查調查結果調整FOD控制程序。

由於F-15(1972年首度試飛)以及F-18(1983年起逐漸成為美國海軍主力戰機)均為30-40年之成熟產品，本次參訪組裝廠的過程中並未見到太多智慧工廠的內容，反而是在管理方面了解到管控FOD的確實，畢竟在航空產業的領域裡，可靠度要比精密度來的重要得多，如果依據工業局對於生產力的定義來說，波音的組裝線或許只在工業1.0~2.0之間，但他們厲害的地方在於，即便使用傳統的生產組裝方式，還是可以透過管理的方式把每個組裝步驟做到零缺失，確保每個螺絲都不會鬆脫，這也印證了幾位專家所說的，雖然工業4.0是未來製造業的發展趨勢，但每個產業以及每家公司都還是必須考量自身所在的產業需要以及公司狀況，不一定要為了4.0而導入4.0，如果1.0或2.0也可以把生產製造的流程做到最好，那就不一定要急著導入工業4.0，我想波音的組裝廠就是一個最好的例子。

#### 四、Toyota Motor Manufacturing 豐田汽車智慧製造

豐田汽車製造廠(肯塔基)(TMMK)是一家坐落於肯塔基州的喬治鎮(Georgetown, KY)。豐田肯塔基是豐田集團在美國最早的全資子公司之一，目前是日本本土之外最大的一家豐田工廠。在這裡出產的車型包括Avalon, Camry, 以及Venza。如果包含生產的直4缸以及V6缸的引擎跟傳動零部件，該工廠年生產能力為500,000 輛整車、600,000個引擎。

豐田汽車公司早已在全世界的分工廠中推行實施了豐田生產系統(Toyota Production System)，將「精實製造(Lean Manufacturing)」的經營管理哲學貢獻給整個行業。精實製造的

精髓在於消除製造過程中的冗餘，並且只設計對產品能夠產生附加價值的操作流程。

精實製造(lean manufacturing)的核心精神就是消除浪費，消除一切浪費。豐田式生產管理哲理認為不能提高附加價值的一切工作(包括生產過剩、庫存、等待、搬運、加工中的某些活動，多餘的動作，不良品的返工等)都是浪費。這些浪費必須經過全員努力不斷消除。豐田式生產管理的關鍵原則歸納如下：

(一) 建立看板體系(Kanban system)

就是重新改造流程，改變傳統由前端經營者主導生產數量，重視後端顧客需求，後面的工程人員通過看板告訴前一項工程人員需求，比方零件需要多少，何時補貨，亦即是“逆向”去控制生產數量的供應鏈模式，這種方式不僅能節省庫存成本(達到零庫存)，更重要是將流程效率化。

(二) 即時生產(Just In Time)

依據顧客需求，生產必要的東西，而在必要的時候，生產必要的量，這種豐田獨創的生產管理概念，在80年代即帶給美國企業變革的思維，現已經有很多企業沿用並有成功的案例。

(三) 標準作業徹底化

他們對生產每個活動、內容、順序、時間控制和結果等所有工作細節都制定了嚴格的規範，例如裝個輪胎、引擎需要幾分幾秒鐘。但這並不是說標準是一成不變的，只要工作人員發現更好更有效率的方法，就可以變更標準作業，目的在於促進生產效率。

(四) 排除浪費、不平及模糊等

排除浪費任何一絲材料、人力、時間、能量、空間、程



式、運搬或其他資源。即排除生產現場的各種不正常與不必要的工作或動作時間人力的浪費。這是豐田生產方式最基本的概念。

#### (五) 重覆問五次為什麼

要求每個員工在每一項作業環節，都要重覆問為什麼(Why)，然後想如何做(How)，以嚴謹的態度打造完美的製造任務。

#### (六) 生產平衡化

豐田所謂平衡化指的是“取量均值性”。假如後工程生產作業取量變化大，則前作業工程必須準備最高量因而產生高庫存的浪費。所以豐田要求各生產工程取量儘可能達到平均值，也就是前後一致，為的是將需求與供應達成平衡，降低庫存與生產浪費。

#### (七) 充分運用“活人和活空間”

在不斷的改善流程下，豐田發現生產量不變，生產空間卻可精簡許多，而這些剩餘的空間，反而可以做靈活的運用；相同人員也是一樣，例如一個生產線原來六個人在組裝抽掉一個人，則那個人的工作空間自動縮小，空間空出來而工作由六個人變成五個人，原來那個人的工作被其他五人取代。這樣靈活的工作體系，豐田稱呼為“活人、活空間”即鼓勵員工都成為“多能工”以創造最高價值。

#### (八) 養成自動化習慣

這裡的自動化不僅是指機器系統的高品質，還包括人的自動化，也就是養成好的工作習慣，不斷學習創新，這是企業的責任。這點完全如松下幸之助所說：“做東西和做人一樣”，通過生產現場教育訓練的不斷改進與激勵，成立學苑讓人員的素質越來越高，反應越快越精確。

本次參訪的豐田汽車肯塔基製造廠(TMMK)占地面積超過530萬平方公尺，為豐田汽車在海外最大的生產基地，藉由這次參訪的過程，讓我們了解到汽車廠從原料到模組，再到整車組裝的過程，而豐田汽車所強調的即時生產(Just in time)，則是在生產力3.0的階段將管理發揮到極致。

在本次參觀過程，也觀察到豐田汽車製造場內雖已建置ERP、MES等系統，使管理階層可直接從系統上取得相關生產資訊，但該公司仍然以傳統方式設置戰情室，將每天的生產資訊(生產目標、良率、設備稼動、工安事件…等)做成海報貼在四周牆上，於每日上班前召集各單位主管檢討昨日的現場生產作業情形，並立即提出檢討報告與調整作法建議，現場也有其他團員提出為何不在會議室裡討論，並透過電子化看板進行檢討，而豐田方面的答案是，在戰情室裡站著開會比較有效率，而且傳統的海報也比較可以讓各部門主管產生壓力，還有就是在現場討論可以立即針對問題進行改善。

## 五、MAZAK山崎馬札克的智慧製造

山崎馬札克(Yamazaki Mazak)成立於1919年，是一家位於日本大口町的工具機製造商，在工具機研發方面居於全球領先地位。Mazak製造複合加工中心機、數控車床等先進工具機設備，還提供「DONE IN ONE」概念的自動化系統支援全球製造。目前，該公司在全世界擁有10間工廠，包括位於美國肯塔基州佛羅倫薩的製造廠。

近來，Mazak發佈了iSMART Factory計畫，在日本建立新的製造工廠來實施在2014年提出的自動化、數據聯網的製造概念。這個計畫的目的是因應工業物聯網的願景，連接所有可用的資源、技術，以資訊優化生產效率及靈活度。位於肯塔

基州佛羅倫薩的製造廠將成為主要的iSMART Factory示範廠之一。該廠採用MTConnect技術，通過開放原始碼的通信協議連接機器、工作單元、獨立設備與製程，運用統合數據支持用戶決策。

Mazak日前發佈了 iSMART Factory計畫，開始於自家產品中導入 MTConnect 通訊標準，未來希望藉由此一共通平台，於工廠裡建構一個機聯網的環境，並將由工具機控制器取得的資料以及外掛感測器所蒐集的各種資料，透過巨量資料分析的技術，進一步找出影響加工精度以及造成機台故障的原因，進而透過預知保養、預測製造、虛擬檢測等方法，達成有效提高生產效率、提升產品加工良率、降低維修保養成本以及提高設備妥善率的目的，而這也是工業4.0中所強調的網宇實體系統(CPS)主要精神。

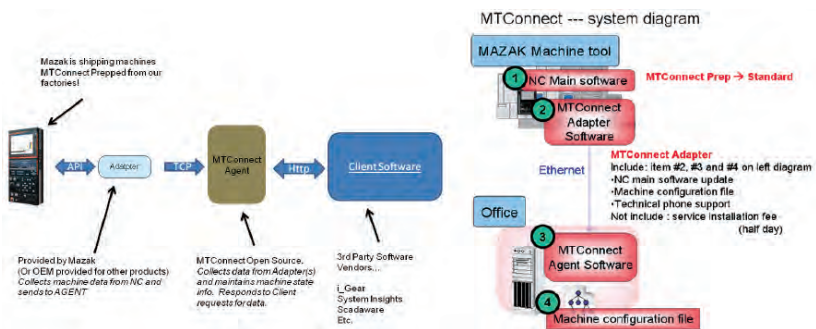


圖5-7 MAZAK MTConnect系統架構

### (一) MTConnect系統架構

Mazak 同時也與 Cisco 合作開發異質資訊整合平台(Cisco IE4000)，可即時整合外掛感測器所蒐集的加工環境影像資訊、機台振動頻率、噪音、冷卻液水位、切削液酸鹼值，另外整合由工具機控制器擷取的電流、電壓、主軸轉速、切削

速度、進給率等資訊，進而透過預知保養、預測製造、虛擬檢測等方法，達成有效提高生產效率、提升產品加工良率、降低維修保養成本以及提高設備妥善率的目的。



圖5-8 iSMART Factory 架構

本次參訪Mazak的過程中，了解到 iSMART Factory 機聯網架構以及Mazak公司如何透過MTConnect以及 Cisco IE4000 來進行加工機的預知保養、預測製造、虛擬檢測，而我們發現到國內其實也有許多法人單位以及業者也正在投入類似平台的開發與導入，精密機械中心(PMC)開發的SkyMars、工研院工具機中心所發展的VMX (Virtual Multi-X) 系統、科智企業開發的ServBox，以及永進機械正在推廣的 i-Direct 遠端監控管理系統等，其實都是希望透過異質資訊整合平台來達成

有效提高生產效率、提升產品加工良率、降低維修保養成本以及提高設備妥善率的目的。

而本次參訪團員中也包含精密機械中心(PMC)、工研院工具機中心、資策會(科智企業為資策會技術服務團隊Spin-off的公司)以及永進機械的代表，經過現場參觀與討論的過程，發現國內在這方面的技術能量其實不遜於國外大廠，只是台灣的業者與法人單位在平台的推廣上還是各自努力，在導入企業不多以及缺乏品牌大廠背書的情形下，導致各家系統平台的推廣還是顯得有點辛苦。

目前經濟部正在思考如何整合國內相關法人及業者能量，組成產業聯盟發展工業4.0整體解決方案，協助國內相關業者共同搶攻全球市場，就如同組成國家隊去打世界盃的概念，而這也正是智慧機械產業推動辦公室所要努力的方向與目標。

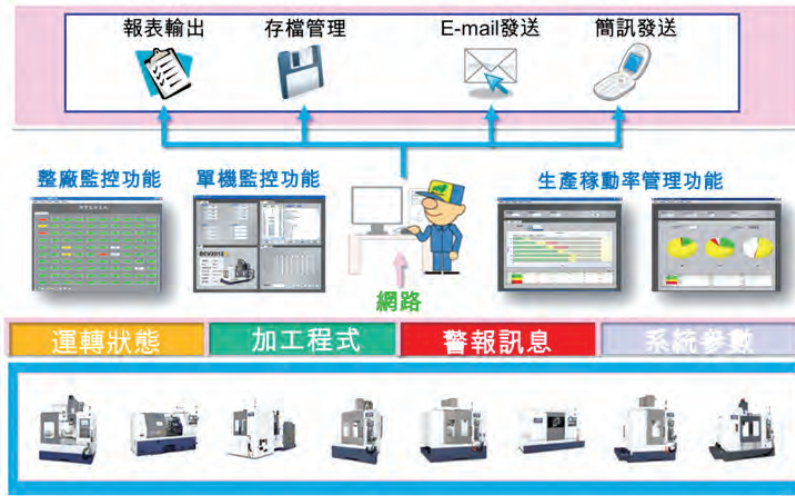


圖5-9 永進機械 i - Direct平台架構

## 六、GE Digital 奇異數位的智慧製造

基於在IoT市場提高競爭力的堅定信念，奇異電氣公司(GE；General Electric)於2015年9月成立奇異數位(GE Digital)整合能解決工業互聯網與數據分析的技術資源。

聚焦於預測性維護與工業互聯網應用的開發，GE持續致力於轉換自有資源成為產業數位化的世界級先驅，奇異數位的建立顯示此一決心。GE首席執行長官Jeffrey Immelt指出：奇異數位的目標是在2020年前成為十大頂尖軟體公司之一。充分展現出GE積極向現有互聯網學習並且實現IoT在產業中價值的決心與信心。在邁向目標過程中，GE目前最大成果是為工業物聯網提供Predix™軟體平台。Predix™能將各種工業資產設備和供應商資訊相互連接並上傳雲端，提供資產性能管理（APM）和營運優化服務，降低設備無預期停機，提高設備周轉率。

要促成物聯網的成功以帶動這波轉變，有四個要件：安全性、互通性、業界標準、以及隨著產業體系發展進行擴充。為實現物聯網的價值，彼此互不相連的系統必須安全地連結、互通、以及交流。這對於著手佈建物聯網系統以及建構物聯網應用程式的開發者而言，不僅是嚴苛的挑戰，且相當費時。為指導廠商進行研發，並簡化物聯網解決方案的佈建流程。

奇異電氣(GE)推出Predix客製化雲端服務平台，可將各種工業資產設備和供應商相互連接並接入雲端，並提供資產性能管理(APM)和營運優化服務。奇異的APM系統每天共監控和分析來自1兆個設備資產上的1,000萬個感測器，所發回的5,000萬條資料，終極目標是為客戶實現100%的無障礙運行，透過此Predix平台，可讓客戶使用即時營運數據來開發應用程式，以便能做出精準的決策，同時加快決策速度。

GE公司預估2020年前全球將有超過500億台機器連上網路，Predix是藉由蒐集該公司所售出機器上的資料並加以分析，以用於提高機器效率。目前奇異已將資料蒐集及分析業務應用於航空、發電、醫療、鐵路、石油及天然氣等產業。根據奇異估計，若能將資料分析最佳化整合到該公司所生產的機器，最終年營收將能額外多出40億-50億美元。

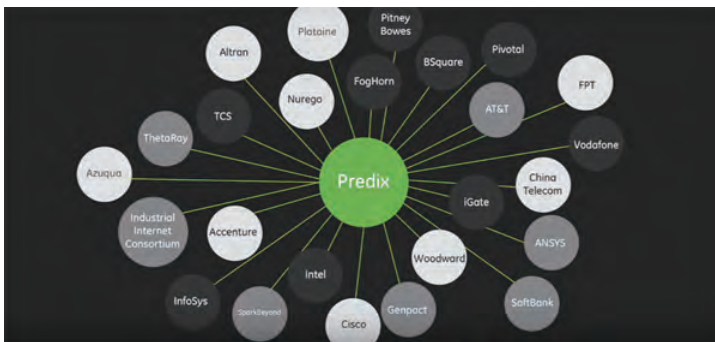


圖5-10 Predix平台架構

目前GE已成功研發LightGrid及Predix軟體智慧路燈系統，這將成為全球智慧城市發展建設的一部分。作為最先進的道路照明系統，LightGrid融入眾多突破性的功能，例如測量、能源管理、中央無線控制、亮度調控、數據採集和通訊以及安全功能。同時，GE公司正研發將LED照明燈具作為定位系統的載體，預計該系統將為用戶帶來巨大的市場價值。



圖5-11 美國聖地牙哥市裝設GE LED路燈，配置無線控制系統

另外奇異公司近期也推出了一款數位發電廠軟體（Digital Power Plant），能在雲端管理一座發電廠的各項設備和資產，甚至將各項電廠管理資訊上雲端，來優化電力業務的經營效率。這也是奇異在Predix Cloud上的一個應用範例。（數位電廠軟體系統影片連結：<https://www.youtube.com/watch?v=Y0KAMyaleFg>）

在本次參訪的過程中，GE Digital介紹他們如何透過“Digital Twin”的方式，來實現無意外停機(no unplanned downtime)的發生，“Digital Twin”中主要的核心概念，正呼應德國工業4.0中所強調的網宇實體系統(CPS)，而GE Digital希望達到的無意外停機(no unplanned downtime)，也正是李傑教授提出的「近零故障」(Near-Zero Breakdown)理念，而奇異公司在2015年進行公司內部組織調整，整合軟體部門與IT部門所成立的GE Digital，則是希望透過推廣Predix平台，而發展出更多的創新營運模式。

藉由Predix平台的導入，GE Digital公司可以將由飛機引擎所收集的數據資料加以分析，協助達到飛機「近零故障」，並可協助提



供飛機在航行過程中的油耗參考資料，進而協助航空公司降低營運成本，而這也協助GE公司發展飛機租賃事業，目前GE擁有超過2,000架飛機的機隊，這個數字超過世界上所有的航空公司，而GE藉由飛機租賃所貢獻的營收，也超過該公司賣飛機引擎所帶進的營收達6倍以上，這也是我國政府想要推動製造業服務化的最佳案例。

## 七、中衛中心辦理美國製造業物聯網（Internet of Things）進階研修團小結

考量工業4.0浪潮勢不可擋，數據擷取技術日趨成熟，工業巨量資料分析勢必成為企業競爭優勢的關鍵能力。物聯網和網宇實體系統(Cyber Physical Systems)時代已來臨，迅速有效地收集和分析更多資料，運用分析結果作出更明智的決策，都讓資料蘊含的價值日益彰顯。工業巨量資料分析、研究與應用領域剛剛起步，對多數國內企業而言，看似是遙不可及的。

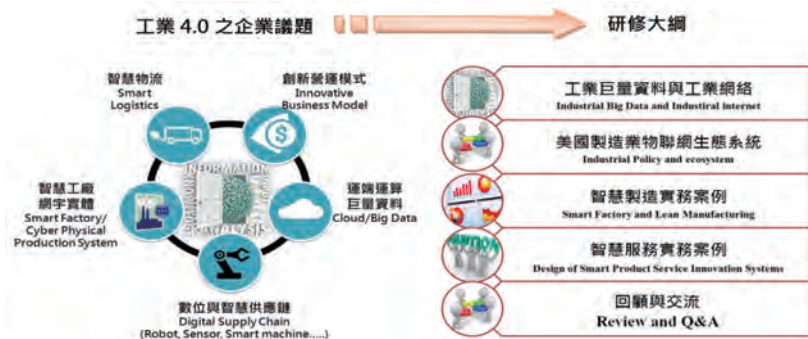


圖5-12 美國製造業物聯網（Internet of Things）進階研修團研修大綱

美國在工業 4.0 趨勢中，發展出結合資訊軟體、通訊網路及創新營運模式等特色，陸續已有具體成果呈現。因此中衛發展中心與美國國家科學基金會(NSF)智慧維護系統產學合作中心(Center

for Intelligent Maintenance Systems；IMS)密切合作，特別廣邀前瞻領袖與菁英前往美國進行為期 11 天（2016 年 5 月 1～11 日）密集研習與深度考察，實地了解美國製造業在物聯網和網宇實體系統（Cyber Physical Systems）的實際作法與成果。本次研習與考察經過精心規劃，此行確能幫助台灣企業家們迅速因應變革、掌握宏觀趨勢，甚至共同激發出適合台灣產業特性的獨創求勝之道與突破創新心法。

## 第六章 日本工業4.0

### 第一節 赴日本參訪工業4.0

為瞭解日本推動智慧工廠作法，本次拜訪其智慧製造相關應用領域具代表性之資訊服務業者，並實地參觀目前已採用相關解決方案之客戶，以瞭解該國智慧工廠解決方案應用之技術與研發方向。

各參訪單位之考察重點摘要如後：(1)株式會社CEC－瞭解該公司協助製造業龍頭日產汽車、機器人製造業者FANUC等大廠，執行工廠生產自動化和智慧化時，所研發出的工廠即時可視化、即時人機稼動分析技術等；(2)日產自動車株式會社(NISSAN)追濱工廠－瞭解該廠應用智慧工廠解決方案情形，及如何運用CEC解決方案提升生產效率；(3)第8回生產系統可視化展與第40回Plant Maintenance展－參觀日本具有先進應用技術的帝人、Asprova、Broadleaf及Qualica等4家業者，瞭解其相關智慧製造解決方案發展狀況；(4)橫河Solution Service株式會社－瞭解日本Minimal Fab(迷你晶圓廠)發展狀況；(5)雅瑪多運輸株式會社－參訪其以物流為基礎打造出來的羽田機場CHRONOGATE服務機能；(6)株式會社CORE－瞭解其運用準天頂衛星和Chip級原子鐘等技術，所開發的物聯網/ M2M (Machine to Machine) 解決方案；(7)三菱電機株式會社(名古屋製作所)－參訪e-F@ctory解決方案應用情形與實績。

#### 一、株式會社CEC

CEC(Computer Engineering & Consulting ,LTD)是日本大型資訊服務者之一，長期致力於製造業智慧化解決方案之研發，主要客戶包括汽車製造業的Nissan、Toyota、Honda，以及機器人製造業者FANUC、三菱等。這些客戶均是全球知名製造業者，

CEC在協助這些客戶進行工廠生產自動化和智慧化所研發出的工廠即時可視化、即時人機稼動分析等技術，也成為日本最先進的智慧工廠技術應用。故本次帶領國內資訊服務業者赴該公司參訪，以協助業者瞭解並學習其智慧工廠研發技術與未來發展趨勢，並促成采威國際資訊與該公司合作，一方面期協助采威打造更完整的解決方案，共同拓展國際市場，另一方面也希望藉由深化CEC與國內業者的合作關係。茲說明如下：

(一) 拜訪單位簡介：

1. 成立時間：1968年，已於日本東證1部上市
2. 資本額：65億8600萬元日幣
3. 營收額：427億元日幣(2016年1月)
4. 員工人數：2,340名(2016年4月)
5. 業務範圍：

- (1) 可區分為產業自動化、系統整合(SI)和平台整合等3個事業範疇。其中又以產業自動化作業為主，著重在CAD（電腦輔助設計軟體，Computer Aided Design）及生產設備控制相關軟體開發等，有50%以上的客戶是製造業者。
- (2) CEC的室內測位與動線分析技術領先全球，該創新技術是與日本知名汽車大廠共同開發，可幫助製造業、物流業等產業實現智慧工廠願景，主要客戶有日產汽車、DHL、KOMATSU小松製作所，及久保田株式會社等。

(二) 參訪內容：

由於日本面臨高齡化社會問題，為維持製造業的競爭力，需要更高效率的工廠與物流中心，因此CEC一直與製造業的領導企業共同開發客製化的智慧工廠相關解決方案，例如屬於汽車製造業的Toyota、Nissan、Honda，屬於機器人

/機械手臂製造業的Fanuc、Mitsubishi Electronics、Yaskawa Electric，還有屬於電機業的Sony、Panasonic、Sharp等。

本次參訪的CEC智慧工廠解決方案，強調人、物及機器設備的和諧運作關係。亦即，該公司運用了各式IoT感應裝置，並依照客戶的工廠狀況與需求選擇Beacon、Dead Reckoning(航位推測法)、超音波等通信定位軟硬體，即時收集生產稼動及作業員工作時間等數據，並進行大數據(Big Data)分析後，以3D情境模擬方式呈現，便於工廠管理者即時監控。



圖6-1 CEC智慧工廠解決方案。資料來源：株式會社CEC

生產流程、進行預防保全、控制品質與找出不良產品成因，以提升生產稼動率及產品品質。說明如下：

1. 人員管理：在人員管理部份，主要應用RaFLOW及Smart Logger軟體，前者可分析作業員位置及動線，後者可分析作業員每一作業使用時間，以分析及合理化作業人員動線並減少作業時間。

### 作業員位置及動線分析軟體：RaFLOW



圖6-2 RaFLOW收集與分析作業員位置及動線示意圖。資料來源：株式會社CEC

RaFLOW可以3D方式讓”工廠動線即時可視化”，管理者易於掌握作業人員停留位置、是否有複數作業人員聚集在同一工作站上，藉此瞭解工廠生產線的設計、設備運轉效能是否最適化。

作業員每一作業時間分析軟體：Smart Logger

作業人員配戴智慧手錶(Smartwatch)並與Beacon裝置結合，可感測出每一作業員的工作內容及進行該工作所花費的時間；用以控制作業員處理單一工作時間，是否超出允許時間；如果超時，智慧手錶就會發出警示聲音，提醒作業員加速工作進度。

### 2. 物的品質管理：Wise Imagine軟體

## Deep Learningを活用することで高精度な画像検査を実現。



圖6-3 Wise Imagine的Deep Learning功能示意圖。資料來源：株式會社CEC

CEC的Wise Imagine軟體具高畫素的精度檢查功能，能有效協助管理者檢查產品是否破損或品質不良。特別是其具有Deep Learning 經驗學習模組，可累積掃瞄的經驗以進行判讀學習，因此儘管產品拍攝角度可能不一，但經過學習過去判讀經驗後，就可以判別出其整體樣貌，並進行外觀品質狀況判讀。

### 3. 機器設備稼動效率管理：Facteye<sup>®</sup>

Facteye<sup>®</sup>可即時收集機器設備的稼動數據，以進行即時運行監控與預防保全工作。亦即，透過機器設備上的IoT裝置，即時收集每個機器設備的運作數據，如加工與停工時間、報警時間、運作負載狀況等。管理者可依此進行遠端監控，確認作業人員工作狀況、設備是否停頓或閒置；及分析機器運作負荷狀況，如電機溫度和負載電流是否超過設備可容忍範圍，進而採取預防性保全措施。

### 時系列と位置情報を組み合わせ、工場の今が一目瞭然

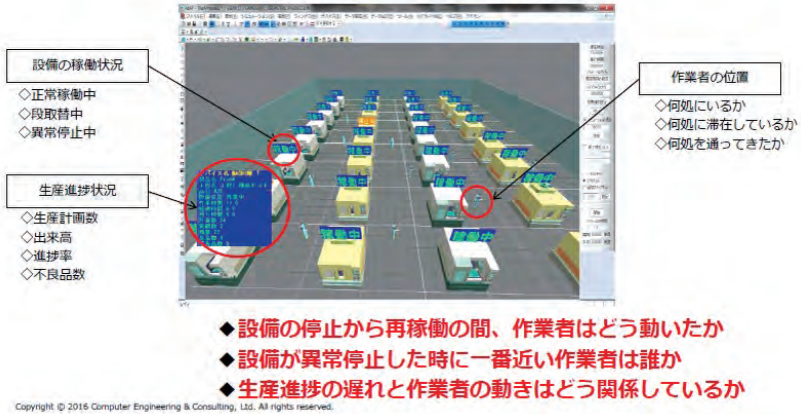


圖6-4 Facteye®收集機器設備稼働情報示意圖。資料來源：株式會社CEC

此外，也可透過各項數據資料，回溯不良品生產製造過程中的運作數據，查出問題發生原因並進行改善。

#### 4. 未來的智慧工廠解決方案：Visual Factory

在前述協調人、物及機器設備關係所開發出的應用軟體基礎上，CEC推出Visual Factory(可視化工廠解決方案)，以實現未來「不停工廠」的開發目標。



## 工場の機械や設備から稼働情報を簡単に収集

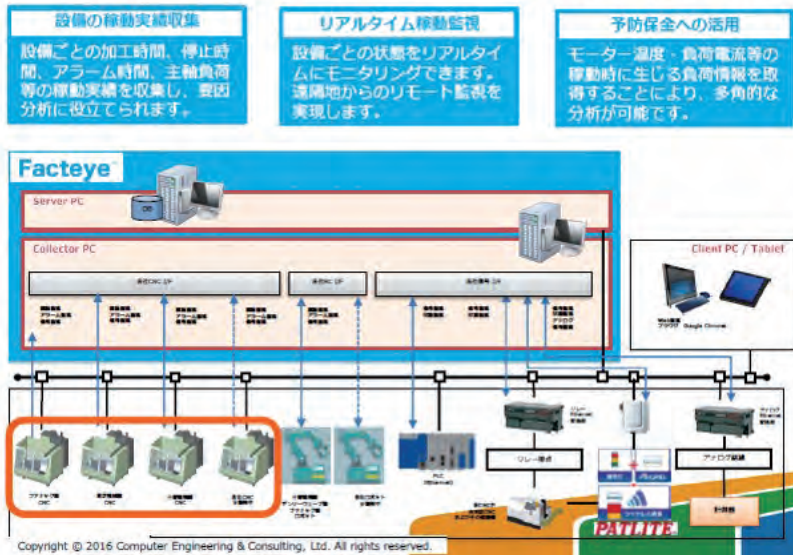


圖6-5 Visual Factory收集機器設備稼働情報示意圖。資料來源：株式會社CEC

亦即，Visual Factory三大特色：即時蒐集設備稼働狀況、生產進度狀況及作業人員位置，讓遠端的管理人員藉由這些信息，對工廠運作狀況一目瞭然（即工廠運作可視化），即時掌握設備運作時，作業人員移動狀況；設備異常停止時，誰是最接近的作業人員；生產進度遲緩與作業者工作狀況之關係等資訊。

在此基礎上，遠端管理者根據工廠內部人、機活動狀況，分析廠內作業人員動線與設備稼働實績，可改善工廠作業流程與Layout，達成「不停工廠」的目標，提升整體生產效率。例如：根據各工作站生產進度，設備、人及零組件取用位置，可規劃出最短、最有效率的零組件取用路線。分析設備延遲與作業人員位置關聯，制定最有效率的作業人員工

作動線。當設備發生異常時，遠端管理者可對照異常設備位置及作業人員位置，請最近的作業人員馬上處理問題、排除障礙。

(三) 促成采威國際資訊與CEC簽署保密協議(NDA)，並展開進一步的合作磋商：

1. 由於台灣資訊服務業者缺乏與製造業者共同開發新解決方案的經驗，而CEC具有先進的工廠可視化/分析解決方案，與其合作可協助我國資訊服務業者吸收其顧問分析能量，發展更完整的製造業解決方案，共同拓展台灣及亞洲市場。
2. 雙方針對CEC的Visual factory技術進行合作、共同研發提升工廠生產效率的智慧工廠解決方案。亦即，針對台灣製造業需求，將CEC的Visual factory解決方案結合采威既有的製造業解決方案、雲端應用技術等，形成更完成的智慧工廠解決方案。
3. 此合作模式，將先在台進行POC(Proof of Concept，概念性驗證)合作案，之後視實證結果，陸續再複製應用到其他製造業客戶。
4. CEC目前未在台灣有投資行為，本次也希望藉由促成其與台灣業者合作，深化其與台灣業者合作之興趣，進而提升來台投資意願。

## 二、日產自動車株式會社(NISSAN)追濱工廠

日產自動車株式會社(以下稱日產汽車)是日本最早的全球性企業之一；追濱工廠又是該公司最新技術、最新工法的研發基地。許多新的車型會在追濱工廠先進行生產，待生產技術純熟後，再移轉至其他全球工廠生產。例如日產汽車最早的電動

車「LEAF」，就是在追濱工廠進行生產，因之追濱工廠被稱為全球日產汽車製造工廠的「母親工廠」。

日產汽車是CEC的客戶之一，不僅導入其智慧工廠解決方案，特別是在該公司為提升生產效率而推動的「日產生產方式(Nissan Production Way, NPW)」計畫中，CEC也提供諮詢顧問及軟體支援服務。例如，協助收集工廠運作所有人機稼動數據，以進行生產模擬，分析如果將生產流程某些部分縮減，是否會影響生產效率或產品品質，藉此改善生產流程。

本次參訪追濱工廠，除觀摩日本先進製造業者智慧工廠應用狀況，作為國內資訊服務業者在台推動智慧工廠解決方案之參考，也瞭解CEC的智慧工廠解決方案在追濱工廠實際運作情形，以作為未來台日合作項目之參考。

#### (一) 日產汽車公司簡介

1. 成立時間：1933年12月26日
2. 員工人數：23,085名(單獨公司)  
142,925名(關聯公司)
3. 資本額：6,058億1300萬元日幣
4. 營收額：12兆4,063億日幣(2014年)
5. 生產販賣車輛數：530萬1800輛，是全球第4大的車輛製造商
6. 公司據點：  
在日本：設有3個整車生產廠，2個組裝廠，總合研究所及技術中心  
在全球：在20個國家設有31個車輛生產工廠

#### (二) 日產汽車追濱工廠簡介

1. 地點：神奈川縣橫須賀市
2. 投產時間：於1961年開始營運，是日本第一個投入量產

的汽車組裝工廠，於1970年成為日本汽車產業中第一個導入熔接機器人的工廠，也是日產的全球生產據點中，最先引進新技術的工廠。

3. 廠房面積：約1,699,000平方公尺；包括汽車生產基地、總合研究所(進行各種領域基礎研究)、試驗場(GRANDRIVE，包括測試跑道)及輸出碼頭(1個月出口8萬台汽車，主要銷往歐美國家)。



圖6-6 日產汽車追濱工廠鳥瞰圖。

資料來源：日產自動車株式會社網站資訊

(<http://www.nissan-global.com/JP/PLANT/OPPAMA>)



圖6-7 追濱工廠專用碼頭及試驗場測試跑道圖。

資料來源：日產自動車株式會社網站

(<http://www.nissan-global.com/JP/PLANT/OPPAMA>)

4. 工廠從業人員數：含總務部、工務部、品質保證部及製造部等共1,566人；平均年齡43.2歲，平均工齡24年。
5. 產能：每年約24萬輛；生產車系有以下4種：JUKE、CUBE、SYLPHY和LEAF(日產第1台電動車，第1個生產基地就在追濱工廠，於2010年開始投產)。



圖6-8 追濱工廠生產車種。

資料來源：日產自動車株式會社網站

(<http://www.nissan-global.com/JP/PLANT/OPPAMA>)

追濱工廠可以說是日產汽車所有製造工廠的「母親工廠」，其扮演角色如下：

- ✓ MPL(Master Production Line)：為日產汽車最新技術與生產工法開發與導入的據點。例如日產最早的電動車種「LEAF」，就是2010年於追濱工廠開始生產。
- ✓ GPL(Global Pilot Line)：新型車將量化生產時，作為驗證產線排程是否還可以改善的試驗場所。
- ✓ GTC(Global Training Center)：全球人才培訓中心，訓練

員工日產生產方式(NPW)。

✓ 日產生產方式(Nissan Production Way, NPW)介紹：

日產汽車可提供客戶一對一定製車型式樣的選擇服務，為客戶提供個性化配置改裝服務。這種服務能力之所以可實現，來自於其Nissan Production Way(NPW)的生產方式，說明如下：

發展由來：

- A. 1980年代，日本汽車市場日趨飽和，市場競爭激烈，強化產品品質和成本競爭能力愈形重要，因此日產汽車從1985年開始導入現場管理制度。
- B. 1990年後，日產汽車在全球廣設工廠和研發中心，但各廠間沒有良好連繫，某些工廠所研發出來的技術沒有好好運用，或是各生產工廠的生產方法不同，讓海外公司或協作單位難以配合，故該公司開始研發全球的標準化生產方式，並於1994年定名為「日產生產方式(Nissan Production Way, NPW)」。
- C. 由於1988年日產導入IBAS多車種混流生產技術及ANSWER(生產營銷綜合資訊系統，統一管理從接受訂單到生產、發貨、運輸為止的所有訊息；經銷商每天在線發出訂單，車廠就以這些訂單為基礎，制定生產計畫)。之後，日產汽車開始追求各工廠直接生產與零配件供應商的生產同步，並在1997年宣佈實施訂單生產導向的「同期生產」(即同步生產)，讓產品可在最短時間內交到客戶手中。
- D. 1999年日產汽車面臨經營危機並推出一系列經營改革及價值提升計畫、並吸收豐田及西方管理概念後，持續改變NPW的行動方針。例如生產核心由”QCD”

(品質、成本、交期)轉變成”QCT”（品質、成本、時間），特別強調時間概念；同步生產也從單一的”訂單—交車”，增加了商品開發同步的”雙管道”概念，及”人性化”和”關心地球環境”的概念。並在此之後，NPW成為日產汽車全球工廠的管理主軸和工作指南。

「日產生產方式(Nissan Production Way, NPW)」核心意涵：Two never ending

與傳統預測訂單多寡來訂定生產規劃，從而可能產生庫存的生產方式不同，日產汽車的NPW是”訂單導向”的生產方式。其生產必須要有明確的客戶訂單，並以客戶訂單需求與交期為前提，將一切資源同步在生產過程製作中，並以“品質(Q)”、“成本(C)”、“時間(T)”作為評價核心，提升生產流程更加高效與快速運行，有效保證品質基準、徹底地排除浪費，以提高企業”收益力·競爭力”，構建與客戶同步、整體效能最優的”生產系統”。

因此，其基本核心有二：

不斷地與客戶進行同步(限りないお客さまへの同期, Never ending synchronization (Douki) of our manufacturing with the customers)：

與客戶同步主要做到：

品質的同步：生產過程必須達到客戶要求品質。

成本的同步：消除生產過程中的資源浪費。

時間的同步：縮短交貨時間，滿足客戶希望交車的時間需求。

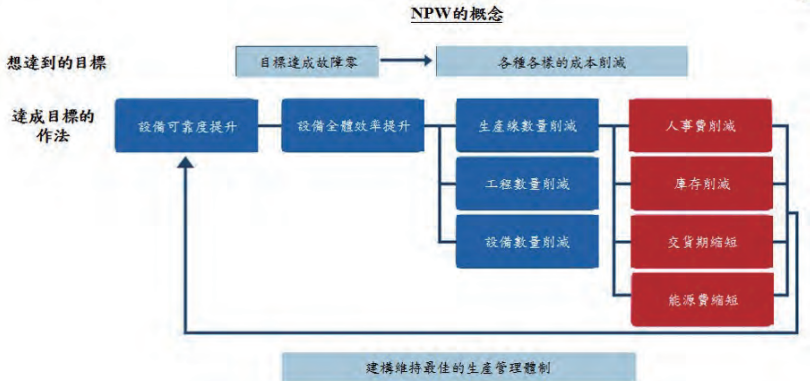


圖6-9 日產生產方式(NPW)概念。資料來源：日產自動車株式會社

為實現這個需求，日產汽車力求貫徹“縮短生產周期”，達到“前後作業流程間無庫存的作業直接聯繫”、“100%按生產計畫順序進行作業”和“時間遵守”等原則，以達成“零不良”、“零故障”、“縮短準備時間”的目標。

不斷地顯現課題並進行改善(限りない課題の顕在化と改革, Never ending quests to identify problems and put in place solutions)：即不斷描繪未來目標的樣子，以分析出可改善的課題再持續進行改善。

(三) 追濱工廠參訪觀察：

本次主要參訪追濱工廠的汽車組裝到測試過程。總結參訪觀察，特色如下：

智慧工廠生產特色：

1. 追濱工廠一共生產4種車款，故其生產線同時進行不同車款（含傳統汽油車款及電動車款）及不同顏色車體的組裝工作，工序變化很大。故其依賴ANSWER信息管理系統來安排整體的生產流程，並要求每一環節作業人員必須完全



依照作業手冊進行工作。



圖6-10 追濱工廠生產線同時組裝不同車款不同顏色車體。資料來源：Car Watch網站

2. 導入智慧無人車讓工作站變成可移動式，縮短工時並避免生產流程停頓：
  - A. 利用IoT感應裝置，每一台無人車會被設定對應某一台生產線上待組裝的車輛，待作業人員依據電腦指示放入該台無人車對應車款的零配件後，無人車便會感應對應的待組裝車輛位置，自動行駛到其旁邊。
  - B. 由於無人車具有移動性，可以跟著生產線上的待組裝車輛前進，故形成可移動式的工作站，便於作業員就近拿取裝配零件，縮短零配件取用距離及時間。
  - C. 因工作站是移動式的，可避免因作業員單一作業時間較久，後續待裝車輛移動必須停頓來等待作業人員完成前一工作。
3. 追求作業人員和自動化設備的最適化生產：由於追濱工廠

單一生產線必須同時生產不同車款、不同顏色的車輛，因此其生產線並非完全自動化，還是必須採用人員進行組裝及檢查。因此，其自動化生產設備著重在與作業人員的配合，即使是新手或是女性，都可以很快速、很簡單上手。

其他NPW的生產特色：

讓生產單位貼近客戶：每一待組裝車輛上貼有工單，上面會載明這輛車未來車主的姓名及需求。

與供應商協同作業避免庫存：追濱工廠一角有零配件供應商進駐，即時生產該廠當日訂單生產所需的零配件，即時生產即時使用，因此雙方都可以免於庫存，達到雙贏。



圖6-11 追濱工廠生產裝配線。資料來源：Car Watch,2014年

低庫存率：訂單導向的生產方式，使工廠可依據經銷商訂單安排當日生產流程內容並訂購零配件，因此其零配件庫存率很低。從零配件送到工廠到裝配完成，僅須4小時。且車輛組裝完成後，就可透過專用碼頭停靠的運輸船出口，也降低組裝完成的車輛庫存

率。

#### 四、「第8回生產系統可視化展」與「第40回Plant Maintenance展」

這二個展覽同時舉辦，是日本智慧工廠與智慧機械相關軟體解決方案業者的年度盛事，除吸引日本具代表性業者展示製造業應用系統整合解決方案，也吸引很多相關應用買家參觀，例如去年在3天展期就吸引30,679人次參觀。本次活動也安排國內業者參觀，而礙於時間有限，特別選擇具有先進應用技術的帝人、Asprova、Broadleaf及Qualica等4家業者進行深入瞭解，以協助業者觀摩日本相關智慧製造業解決方案之發展狀況，並尋求合作機會。

##### (一) 展覽介紹：

此二展覽是由日本能率協會所主辦。日本能率協會創立於1942年，從事公司經營相關的調查與研究、資訊收集及提供、人才培訓及指導等業務，會員數約有1,332家日本公司。茲將二展覽簡介如下：

##### 1. 第8回生產系統可視化展：

- (1) 展覽主題：產品與設備可視化、設計與生產可視化、品質可視化、人員與技術技能之可視化、經營可視化
- (2) 參展家數：約80家
- (3) 參展業者：
  - A. 產品與設備可視化：包含MES／MRP／BOM／生產管理／工程管理／庫存管理／製造實績管理／運轉・稼動狀態監視／SCADA／FA／DCS／各種自動監視裝置等
  - B. 設計與生產可視化：包含AD／PLM／圖面・文書管理

等

- C. 品質可視化：包含品質管理／產品資訊管理／檢測儀器・系統等
- D. 人員與技術技能之可視化：包含作業分析／人員計畫／技術・技能教育／e-learning／製造外包等
- E. 經營可視化：ERP／CRM／SCM／財務管理／業績管理／需求預測／BI分析等

2. 第40回Plant Maintenance展：

- (1) 展覽主題：活用IoT先端技術的預防性設備維護和設備管理、監控、診斷等服務
- (2) 參展家數：100多家

(二) 參訪公司介紹：

1. Asprova株式會社：

- (1) 成立日期：1994年
- (2) 資本額：2000萬元日幣
- (3) 員工人數：30人
- (4) 公司實績：

- A. 日本第一個研發並銷售生產排程可視化系統的公司，擁有日本國內第一名的市占率，達58.4%。
- B. 解決方案已擁有2261個工廠導入實績。除了國內1,725個生產據點導入外，在全球約30個國家也有536個導入實績。
- C. 於1996年獲得日本工業新聞社的”New frontier”獎項後，至今已獲得13次日本國內外獎項;特別是2000年獲得英國The official CIM 2000 Awards的”Best manufacturing management system/ product”；2013年在大陸獲得”2012年度中國製造業IT化優秀推薦金

賞”。

(5) 參觀解決方案簡介：Asprova APS生產排程解決方案

Asprova所開發的APS(Advanced Planning and Scheduling System)生產排程設計軟體，以MS（生產排程）為基礎，配備了銷售和採購規劃關聯選項，讓管理者在接受訂單後，只要一個步驟，就可自動完成排程，制定出訂單、製造乃至採購完全關聯的計畫（包括銷售/製造/採購的長期計畫· 中期計畫· 短期計畫）。亦即，10秒內就可以完成10,000件工作排程。

其並利用和Excel相似的圖表操作方式，管理生產所有一切數據，幫助管理者用一張甘特圖就可監控原物料庫存、人員派工狀況及生產線負荷狀況等，並進行相關生產排程調配，實現交貨期的縮短，進一步降低成品和採購物料的庫存，做到「生產稼動可視化」。例如長期、中期計畫用粗排程，短期計畫用詳細排程，並且把結果顯示在同一個甘特圖上，若臨時有插單，管理者就可以檢視甘特圖，重新派工、安排生產工序等。

該公司日本員工人數雖然才30人，但生產系統已翻譯成10種語言，並透過代理商在全球約30個國家進行銷售（其中台灣的代理商為肯美資訊），並在德國、韓國、美國、馬來西亞及大陸設有海外據點，因此發展模式值得我國業者借鑑。

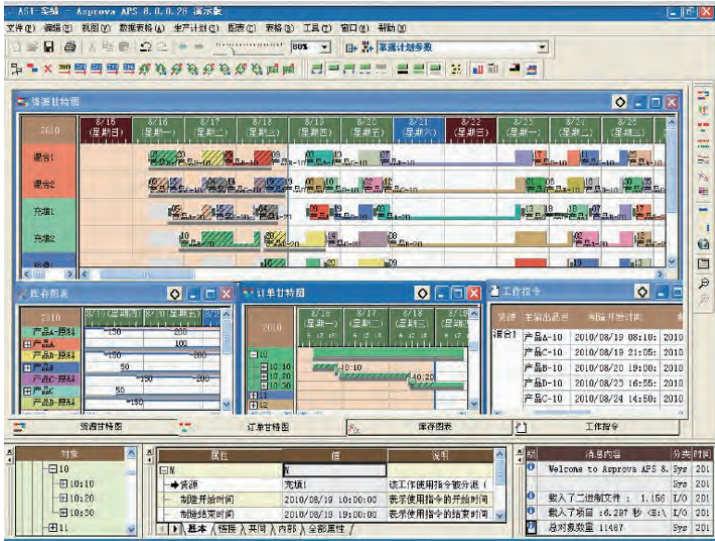


圖6-12 Asprova APS運用圖表功能讓生產排程可視化。

資料來源：Asprova公司網站資訊(<http://www.asprova.cn/product.html>)

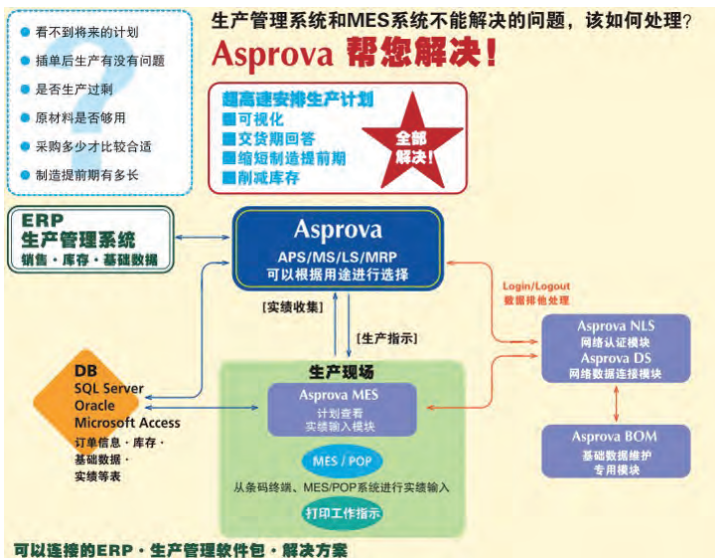


圖6-13 Asprova APS系統功能介紹。

資料來源：Asprova公司網站資訊(<http://www.asprova.cn/product.html>)

## 2. 帝人株式 社(TEIJIN)

- (1) 成立日期：1918年成立，以纖維、複合性材料製造起家，並跨足醫藥醫療業務及電子化工材料，於1983年才投資IT業務。
- (2) 資本額：708億元日幣(2015/3)
- (3) 營收額：7861億元日幣(2015/3)
- (4) 員工人數：15,756人
- (5) 參觀解決方案簡介：Recopick

Recopick為RFID 的貨架管理系統，可讓物品出入倉庫的狀況達到即時可視化。Recopick運用2次元通訊技術「@CELL」，並將其製為天線薄板(antenna)，只要在待管理的物品貼上具讀寫功能的UHF（超高頻）IC標籤並放在薄板上，Recopick就可以即時讀取、記錄標籤信息並進行產品進出管理。

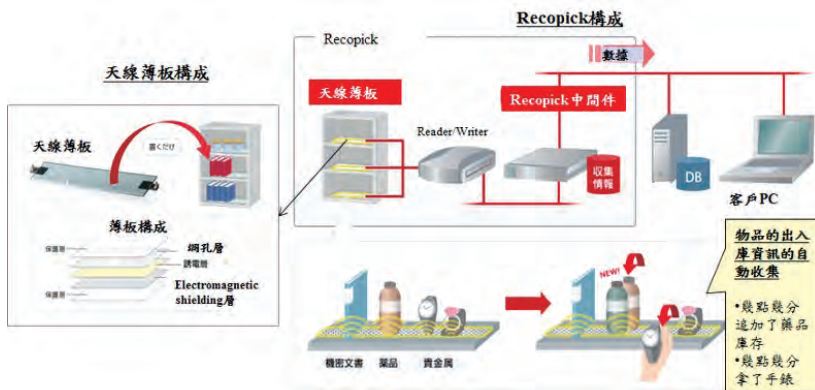


圖6-14 帝人Recopick系統功能介紹。

資料來源：帝人公司網站資訊(<http://www.teijin.co.jp/focus/recopick/>)

Recopick可運用的範圍很廣，除用於工廠庫存系統管理，瞭解庫存品何時入庫，入庫時間多久等訊息外，即使

器材使用後歸位但位置放錯，也可透過IC晶片及薄板感應所傳輸回來的位置，很快就可找到，這點也可運用在圖書或是醫療器材管理。

此外，其還可運用在生產管理上。亦即作業人員使用薄板作桌面，在每一待加工物品的工單上貼上IC標籤，藉由讀取標籤停留在單一作業員的時間長度，即可取得物品加工時間數據，進而分析及改善生產效率。



圖6-15 Recopick透過天線薄板感應可記錄物品存取資訊。資料來源：本報告拍攝

### 3. 株式會社Broadleaf

(1) 成立日期：2005年12月，已在日本東證1部上市



- (2) 資本額：71億元日幣
- (3) 營業額：168億元日幣
- (4) 員工人數：788人
- (5) 公司據點：日本、大陸
- (6) 參觀解決方案簡介：OTRS

OTRS(Operation Time Research Software)是運用影像技術來分析作業人員的生產動作並加以改善到最佳化的軟體系統，可減少生產作業時間，並省力、降低成本。例如，其將作業員組裝產品時的連串動作影像切割成連續畫面，來分析作業員的動作是否順暢、是否有多餘的動作；亦即，若拿掉假定的多餘動作畫面後，是否整體工作動作仍然順暢，藉此制定出更精簡的作業動作，避免時間成本浪費；而且新手藉此統一的標準動作規範，也可以很快上手，節省教育時間。



圖6-16 Broadleaf OTRS系統功能介紹

資料來源：Broadleaf公司網站資訊(<http://www.broadleaf.co.jp/products/otrs/>)

4. QUALICA株式會社

- (1) 成立日期：1982年11月，由日本土木工程設備大廠小松投資設立
- (2) 資本額：12.35億元日幣
- (3) 員工人數：861人
- (4) 公司據點：日本、印尼
- (5) 參觀解決方案簡介：遠距監視、預防保全系統CareQube

CareQube可以直接將運用IoT裝置收集到的設施或機器設備資訊，從通信網絡回傳至雲端資料庫，並以一站式的管理方式，直接進行遠程監控，或進行大數據分析，以預測機器設備是否超過負荷並進行預防性保全工作。

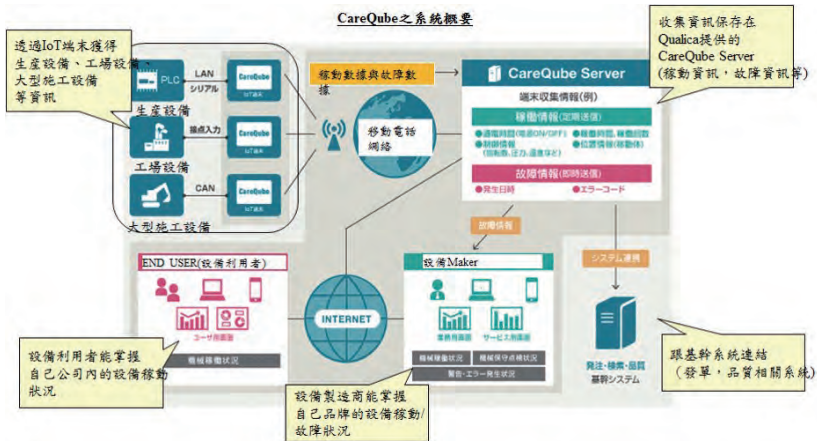


圖6-17 QUALICA CareQube系統功能介紹。

資料來源：QUALICA公司網站資訊(<http://www.qualica.co.jp/service/manufact/ams/careqube/>)

CareQube也可以和ERP和SCM結合，協助機械製造商掌握公司生產設備的稼働與故障資訊；設備利用者也能掌握工廠生產流程中，所有設備稼働狀況，以即時排除故障或預防故障發生，提升生產效率。

## 五、橫河Solution Service株式會社

半導體相關製造產業一向是我國經濟發展支柱產業之一，特別是在物聯網(IoT)時代，IC晶片將更廣泛且多元地應用在各種設備上。目前我國的晶圓製造仍傾向大批生產模式，但日本政府為了因應物聯網時代可能產生的” Million Sensor” 少數多樣的IC晶片需求，故於2012年5月9日成立了「Minimal Fab技術研究聯盟」，開始推動可降低設備投資成本的「Minimal Fab」（迷你晶圓廠）生產系統開發，參加成員包含21個民間企業和1個國家研究機構(產業技術總合研究所)。

Minimal Fab技術研究聯盟於2012年~2014年間，以日本經濟產業省的預算執行「革新的製造工程技術開發(Minimal Fab)」，研發以1/2inch的Wafer為製造基板基本單位的革新半導體製造生產設備/系統，2015年以後繼續維持研究開發體制。

日本電子Device產業協會(NEDIA)設立了採用Minimal Fab半導體生產系統的半導體代工製造公司「NEITAS (NEDIA Innovative Tailored Solutions)」，2017年將在日本投資10億元日幣，成為日本第一個對應少量多樣半導體生產的工廠。

橫河Solution Service是「Minimal Fab技術研究聯盟」中的一員，提供Minimal Fab導入的解決方法、銷售、運用與保固服務。由於其少量多樣的半導體製造能力，可作為台灣未來發展相關產業時的借鑑，因此拜訪該公司瞭解Minimal Fab製造系統發展狀況及在日本國內的利用情形，作為未來推動產業發展之參考。

### (一) 公司簡介：

1. 成立時間為2013年；母公司是日本國內生產控制設備大

廠－橫河電機(於1915年成立，已在全球59個國家設有92個據點，客戶橫跨石油、鋼鐵、瓦斯、食品多產業)

2. 員工數：2,449名
3. 資本額：30億元日幣
4. 營收額：906億元日幣
5. 業務範圍：包括企業及工廠應用之相關資訊服務系統(如ERP、MES、網路布建服務等)，並可結合大數據分析技術提供增值服務。

(二) 參訪內容：



圖6-18 Minimal Fab與傳統晶圓廠比較。資料來源：橫河Solution Service公司

本次主要參訪橫河Solution Service的Minimal Fab(迷你晶圓廠)。該生產方式主要以生產體積較小的0.5吋晶片為主，特點如下：

生產設備體積小、場地不用很大、造價成本降為原本的千分之一：

Minimal Fab只要單機即可生產，每一生產機台體積很小，不需要建置很大的晶圓廠，設置成本可較生產同片數的傳統晶圓廠少千分之一。

晶片製造完全密封在載具及機台內，無須無塵室環境：

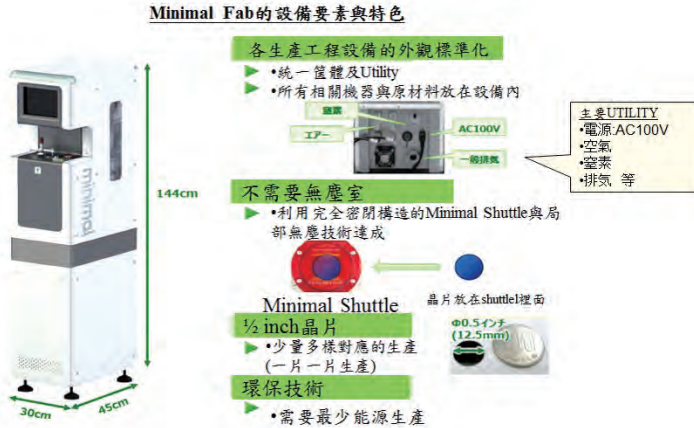


圖6-19 Minimal Fab設備特色。資料來源：橫河Solution Service公司



圖6-20 Minimal Fab完整製程設備。資料來源：橫河Solution Service公司

Minimal Fab生產只需局部清潔技術即可，因其生產時，晶片會完全密封在載具（盒子）並放入密封式的機台中

生產；由於機台內部已建置生產製造所需裝置及原材料，待生產完才需將晶片拿出，故無須建置無塵室、作業人員也無須穿著無塵衣。

生產時程短，可以滿足客製化、多元少量訂單需求：

- A. 可對應客戶端的少量多樣的半導體需求：傳統晶圓生產方式的最小訂單量是幾萬個半導體，Minimal Fab生產方式則可以對應單一個半導體的生產，因此可以進行半導體的客製化、活用方式變多。
- B. 交期變短：傳統晶圓生產成本大，需要大量訂單進行生產，交期至少3-6個月；但Minimal Fab設置成本低，可對應少量生產，交期也可縮短至5天。

由於交期變短和成本變低，除民間企業以外，日本研究機構採用Minimal Fab的需求也非常多，有助於日本研究機構以更便宜省時方式進行研究，開發更多IoT相關應用。



圖6-21 Minimal Fab可協助研究者開發更多應用系統。

資料來源：橫河Solution Service公司

## 六、雅瑪多集團(YAMATO GROUP)羽田CHRONOGATE

YAMATO是日本最大的物流快遞公司之一，一年配送17億件包裹，而緊鄰羽田國際機場所建立的物流中心-羽田「CHRONOGATE」(時空玄關)就是集中處理及分配包裹之處。其具有全自動的物流分揀系統，可24小時、365天不間斷地運作，將各營業所送達貨品進行分揀再配送出去，讓配送時間縮短成一日抵達，改變過去白日收貨、晚上揀貨隔日再送貨的2日配送時間需求。目前除了羽田機場外，雅瑪多集團預計今年在愛知縣，明年在大阪，都會建立和羽田機場CHRONOGATE一樣的物流分揀中心，希望在後年做到全日本的一日配送服務。

此外，在物流基礎上，該公司又發展出多種營運項目，提供「洗淨」、「印刷」、「修理」及「保養」等多樣化附加服務。該公司希望將羽田機場CHRONOGATE機能發揮到極致，讓物流進化為「營造附加價值的方式」(Value-Networking)。亦即，不侷限於個人客戶、不問業種及事業規模，為企業客戶提供「物流改革」。因此，本次帶領業者參訪「羽田CHRONOGATE」，除瞭解該公司智慧物流應用狀況，也學習及瞭解CHRONOGATE的「服務價值創新」精神。

### (一) 羽田CHRONOGATE簡介：

由YAMATO控股集團設立，於2013年9月20日完工，並於10月上旬啟用運作。是日本最大規模的綜合物流轉運站。CHRONOGATE取名自希臘神話的時間之神克洛諾斯(Khronos)和連結海內外門戶—出入口(Gateway)。以「成為提供全時間與空間的物流『玄關』，同時為物流業界開啟新時代之門」為目標。

展示規模：鋼骨造、物流棟(六層樓)、辦公棟(八層

樓)。土地面積89,222平方米，建築面積197,575平方米。

主要產品/服務：國內外收件與配送服務(一般、低溫、文件、到店取貨)、國際保稅貨運代理報關、重組作業、客製化與線上印刷輸出。

主要客戶：一般消費大眾、機關行號

進駐公司：大和運輸、大和全球通運、大和物流、大和全球物流日本、大和包裝服務、大和包裝技術研究所、大和搬家、大和系統開發、大和財金、大和精密搬運、Swan麵包工坊、社會福利法人大和自立中心，其他(環保設備與事業永續因應)：太陽能發電、緊急用發電設備、雨水回收用系統、部分LED 照明、防震結構、BEMS(大樓能源管理系統)。

## (二) 雅瑪多控股集團簡介(YAMATO HOLDINGS)：

雅瑪多集團由日本大和運輸株式會社(YAMATO Transportation)及其子公司組成，成立於1919年，擁有19 萬員工，其中正式員工約9 萬多，同時備有5 萬台車，6,000 個網點，年配送17 億件包裹，是目前日本首屈一指的運輸物流服務業領導公司。

「黑貓宅急便」是它創立的品牌，象徵「猶如親送」的黑色母貓啣著黑色幼貓商標送貨車，總共有5萬多輛在日本街頭穿梭著；自1976年(首推宅配服務)起，市占率始終維持在四成左右，一直維持日本市場龍頭寶座。

「創新」一向是大和最自傲之處，過去的大和得以快速成長，就因為其能不斷發展創新業務；大和，是日本第一家推出宅配服務的業者，是第一家推出低溫宅急便的業者，同時，它還是「代金引換」(台灣稱貨到付款)服務的開創者，其他如機場宅急便、滑雪宅急便、Mail通知服務等，全



由大和引領風騷。

探討大和在日本物流市場成功的關鍵因素，可從其前社長木川真2005年來台參加大和控股永久授權統一速達記者會，並在會後接受《商業周刊》獨家專訪所述中，一窺究竟。他開宗明義地表示：「你對內部資源的想像力有多大，企業的創新空間就會有多大」。此創新思考運用在大和，則是要開發貨物搬運以外的業務，「只要重新組合內部資源，再引進外部力量，就能展出宅配以外的新服務」。從以下三個例子可看的出來：

### 1. 跨足金融業

基於「貨到付款方式」，收購徵信公司快速跨足金融業。發展此事業主要是因近十年日本線上刷卡市場高速成長，許多中小企業或個人因規模太小，大型銀行不願為這些中小企業或個人提供擔保，於是木川真購併一家上市的徵信公司Fine credit，以此利基市場提供服務，對大和獲利貢獻將近20%，堪稱是集團金雞母。

### 2. 異業結盟

日本最大船運公司NYK（日本航運集團）與日本排名前十的百貨業者丸井百貨達成交叉持股協議，拓展國際市場(NYK旗下子公司航空運輸)及開拓搬運版圖(丸井家具館營收佔日本第一)，Home Convenience事業成為大和第三大事業部。

### 3. 開發汽車與家電維修：重組內部資源，不須投資就有錢賺

- (1) 大和擁有5萬輛運輸汽車，車輛維修廠因為得配合宅配業務全年無休，同樣是二十四小時不關燈作業，前社長木川真認為「在日本，我找不到任何一家維修廠能做到這樣。」他表示，「（大和）完全不須增加投資，只要

願意敞開大門就有錢賺，為何不做？」

(2) 家電維修並非大和原先業務，前社長木川真在東京總部大樓隔出一個樓層，提供各家電品牌的維修人員進駐，縮短維修及運送時間2天，後續又招覽維修人員成為各品牌外包維修作業，創造雙贏局面也開拓大和業務版圖。

基於以上雅瑪多集團發展背景及創新理念，本次透過參訪羽田物流中心，可更深入瞭解雅瑪多集團業務分工結構及營運策略意涵。雅瑪多集團由YAMATO HOLDINGS 株式會社及其子公司組成，雖然配送事業占營收比仍達80%左右，但已朝多角化發展，共分五大事業部：

配送事業：黑貓宅急便郵件快遞中心，提供末端消費者 and 企業小件物流配送服務，包括低溫宅急便、宅急便客樂得等。

BIZ-物流事業：即B2B 的企業物流服務，涉及供應鏈SCM 的整體物流運營服務。

Home Convenience事業：以搬家業務、生活支援服務、流通服務三大業務為主，包括配送後的安裝等增值服務。

e-Business事業：主要向企業提供ASP服務和資訊系統開發等技術服務。

Financial事業：主要是針對通信銷售事業為主的企業服務，和提供消費者金融結算服務。

### (三) 參訪內容

本次參訪的羽田CHRONOGATE，是雅瑪多運輸利用空間與時間換取物流績效的最佳典範，其占地面積約有60,000 坪左右，是全日本最大的B2C、C2C運轉樞紐，投資費用約1,400億日幣(約14億美金，包含土地及建築物、設施等)。

為17層樓建築，頂層是停車場，中間層則是立體分揀和倉儲中心，最高運轉能力可達每小時4.8萬件包裹，服務範圍涵蓋東京23個行政區域中的4個，羽田物流中心為宅急便目前導入最新技術的物流中心，每小時運作能力約為台灣目前最新作業中心之30倍以上。符合現代物流高時效性。

CHRONOGATE為求總體運(輸)送時間及效率，位置鄰近羽田國際機場外，還包括為JR日本鐵路貨櫃貨運中心，近隣東京港與橫濱港，15分鐘內可達高速公路交流道，以進行海陸空鐵串聯聯運。羽田時空玄關藉由結合了收發同時分類、24小時365天運轉的高附加價值機能與快捷的配送，達成縮短前置期與庫存極小化，同時在「價值網絡作業(Value Networking)」的構想下，以羽田時空玄關為中心，有效地結合厚木GATEWAY（2013年8月開始運作）、關西、中部的GATEWAY、沖繩國際物流埠（2012年11月開始啟用），成為日本國內與亞洲之間網路的綜合物流轉運站。

現代製造或流通供應鏈中，產品的組裝、維修與保養，多是跨地區進行，特別是醫療器械、精密機器與電子產品，需要有經驗豐富的技師，還要有充足的零組件，才得以有效且正確地進行。現今企業供應鏈講求速度及效益，因此物流節點的位置極為重要。如何在最適當的地方設置庫存與維修保養中心，提高服務品質與服務速度並降低庫存成本，是多數企業在建構其供應鏈時的首要考慮要素。

CHRONOGATE在規劃設計之初，即根據客戶需求與雅瑪多未來發展，率先提出日本最新世代的物流據點概念，讓據點的附加功能成為物流的創新價值。爰此，CHRONOGATE共集結了雅瑪多集團旗下13家子公司，運作範圍包含供應鏈物流、運輸配送網絡、國際保稅貨運代理報關、國際運輸

等。所提供的加值服務計有「重組作業」、「醫療器材的洗淨與維修保養」、「組裝、保養與維修」、「保稅與快速通關」、「客製化與線上印刷輸出」等多樣化加值服務，CHRONOGATE也具體展現了雅瑪多集團多角化經營的成長策略及思維。

CHRONOGATE啟動之前，雅瑪多都是以成田機場為集散點，預備運送出口貨物在辦理通關手續後，經由沖繩運往亞洲各地。基於成田機場設有夜間飛行限制，因此即便是東京的貨物，有時候也要花大約3天的時間才能到達沖繩。CHRONOGATE啟動後，東京周邊地區的貨物都可以從沒有夜間飛行限制的羽田機場運往沖繩；從亞洲其它地區運往日本的貨物則經由相反的路線運輸，實現兩日送達。所以，CHRONOGATE亦可說是雅瑪多連結沖繩以及亞洲地區的重要節點。

本次參訪重點主要是搭配CHRONOGATE所提供的導覽行程，包含如下圖之四個流程。參觀重點集中在空中迴廊區所展示的自動化貨物分揀理貨流程。該區主要位於二樓，其所處理貨物主要是來自於3-7樓層所處理過的貨品與1F樓層的轉運貨物，其中使用螺旋式輸送帶予以連結，經過分揀理貨的貨品則被分流到一樓的46個發送路線裝車口，並由人工搬運到籠車內進行裝運。以下即針對此區域之主要參訪內容進行簡要說明：

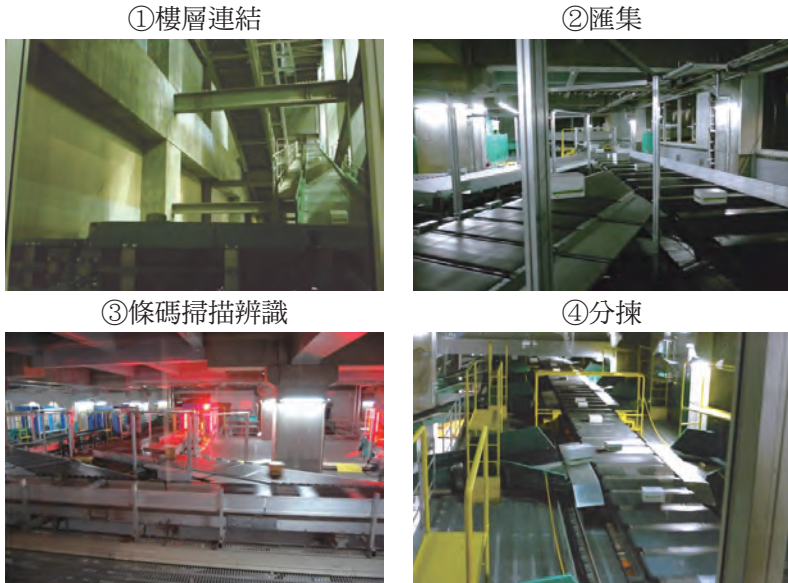


圖6-22 匯集與分揀流程。資料來源：Car Watch報導資料

### 1. 高速分揀線(cross-belt sorter)

CHRONOGATE自芬蘭引入交叉式皮帶高速分揀線(cross-belt sorter)，並設置兩套，可獨立運作，共花費約50億日幣，以避免分揀設備發生故障。每條輸送帶全長1,070公尺，共設有1,336個皮帶式托盤，運行速度為2.7公尺/秒。每個托盤上限放一個25公斤內的包裹。

由各樓層透過螺旋式輸送帶運送到二樓的貨物，將會匯集到主輸送帶上，並通過紅外線掃讀設備(可分別讀取上、左、右等三面之條碼)讀取其條碼並確認其運輸目的區域後，再分流至不同路線裝車口。分揀正確率約為98.4%；分揀若發生無法判讀等異常，則以人工方式進行排除，每小時最高可處理48,000件貨品，實現了真正的無人化作業環境。

## 2. 中央控制室

中央控制室是所有CHRONOGATE作業流程資訊匯集與管理的地方，號稱其神經中樞。管理人員監管著各個螢幕上所顯示的現場影像、資料與訊號；發現異常，即可聯絡現場人員進行問題檢視與障礙排除。

中央控制室對外玻璃是採用液晶調光玻璃，可在白霧狀與透明狀間瞬間切換。使得外部訪客可在必要時瞭解到整個集中管理室的內部運作概況，又不會影響到內部人員之作業。其有嚴格的門禁管理機制，進出除使用通行卡外，還使用手掌靜脈辨識系統。

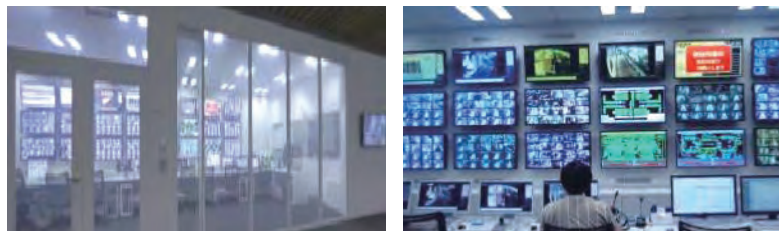


圖6-23 CHRONOGATE中央控制室。

資料來源：YAMATO 羽田CHRONOGATE

網站資料(<http://www.yamato-hd.co.jp/tcn/hnd-chronogate/visitors.html>)

## 3. 加值服務功能(分布在3-7樓)

3樓為雅瑪多國際物流保稅區域，提供進出口通關、機密文件運輸、國際宅急便集中點等服務；5樓則為醫療器械物流作業區域，提供醫療品的回收清洗與維修；6樓則提供有關印刷與促銷品等印製服務；7F則提供有關於電器的維修與檢驗等服務。以下針對5-7樓之作業背景成因而概要說明如下（當日參觀以影片方式介紹）：

### (1) 5樓-醫療器械物流作業區域

過去當醫療機構需要進行醫療器材的清洗或維修

時，必須自行送回或委由第三方物流進行回收，以交付原製造商及維修商進行後續清洗或維修作業。清洗維修完畢後，再由原製造商、維修商或第三方物流送回原醫療機構。流程所花費的運輸時間極長，且製造商必須有足夠之零件備品庫存，才足以應付各地回收器材之維修所需，無形中增加其物流與庫存成本。

因此，雅瑪多與多個醫療器材製造商合作，於CHRONOGATE內設置醫療器材維修保養與零件備品倉庫。當宅急便車隊回收需要清洗維修的醫療器材時，直接送至CHRONOGATE進行清洗維修，無須再耗時送回原製造商。由於CHRONOGATE位於羽田機場旁，透過與航空公司合作，即使距離東京一千公里外的九州或北海道，最快三日內即可取回送修物件。

### (2) 6樓-印刷與促銷品等印製服務

提供客戶印刷及裝訂等文件服務，其內部設有高速全彩印刷機，每小時最多可印製6,600頁文件。客戶可透過線上預約方式，委由CHRONOGATE進行型錄印刷及裝訂等服務。而這些客戶委印之商品型錄或促銷廣告，亦可與客戶存放於CHRONOGATE的待出貨商品一同包裝出貨，節省物流作業時間。

### (3) 7樓-電器的維修與檢驗服務

除了醫療器材之加值服務外，CHRONOGATE亦與多個家電或3C產品製造商共同合作，在物流中心內設置家電用品的維修保養與零件備品倉庫。當宅急便的車隊回收這些製造商需要維修的家電用品時，將直接送至CHRONOGATE進行維修，無須再送回原廠。



圖6-24 YAMATO提供印製服務。資料來源：Car Watch報導資料

## 七、株式會社CORE

CORE是日本具代表性的嵌入式系統領域的頂尖企業，服務內容橫跨嵌入式系統、通信系統、基礎管理系統、智慧資料應用等四大層面，由下往上整合提供不同產業高彈性的系統解決方案，開發項目超過10萬種，具有許多物聯網/ M2M（Machine to Machine）解決方案導入實績。

特別是其擁有利用準天頂衛星的全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)和Chip級原子鐘等技術，對位置和時間的掌握精確度，遠高於目前其他公司，可被應用在需要極高頻率紀錄定位的IoT/M2M解決方案，例如用於農業和建物防災監控等方面。因此拜訪該公司，瞭解其於各領域的IoT解決方案運用情形，以期促成台日資服業者合作。

### (一) 拜訪單位簡介：

1. 成立時間：1969年成立，於日本東證1部上市
2. 資本額：1.5億元新台幣（4.4億元日幣）
3. 營收額：56億元新台幣
4. 員工人數：1058名(單獨公司)；1,405名(含關聯公司)
5. 業務範圍：

Core自北海道到九州，在100萬人以上大都市都設有據



點，提供一站式的系統整合及解決方案開發服務。從1970年提供嵌入式系統相關解決方案開始，產品開發廣及汽車控制設備(發動機控制和生產線控制)、家電製品、3DTV及網路電視、智能手機、高靈敏度GPS、NFC(Near Field Communication，近距離無線通訊)、GNSS(Global Navigation Satellite System，全球導航衛星系統)等超過10萬件物品。其主要分成二個事業部門：

製品與解決方案事業：運用Cloud/Big Data之雲端服務、M2M (Machine to Machine)、GNSS等技術，開發M2M雲端平台，提供製造業、農業、物流業、健康、環境能源、金融、服務業等各類產業應用。

系統整合(System Integration, SI)事業：針對不同的客戶之業務內容，從事從規劃到導入的一系列服務。

## (二) 參訪內容：

### 1. 株式會社CORE解決方案介紹

株式會社CORE是日本嵌入式系統領域的代表性企業，其運用公司自有硬體產品與軟體解決方案，如由終端裝置開始蒐集資料、提供具有保全功能平台服務、巨量資料分析技術等，提供企業IoT/M2M服務。在製造業方面，可做為設備/生產線維護管理，確保生產安全與效率。其三個核心產品為ASURA CSAC、GR-PEACH及COHAC，茲說明如下：



圖6-25 CORE主要產品一覽圖。資料來源：株式會社CORE

(1) ASURA CSAC

CORE的Asura主機板，開發成不同系列以支援多元通訊協定之感知網路解決方案，作為個別產業IoT/M2M之Total Solution之重要底層技術，可支援3G、LTE、Bluetooth、ANT/ANT+等眾多通訊協定。應用案例包含：農業環境管理、能源管理、健康管理、健康促進、安全監控等，小到瓦斯爐、音響的機板，大到基礎工程的維護與管理等，都有相關應用。

名稱					
CPU	ルネサス エレクトロニクス RZ/A1L	Sierra Wireless SL8084T	Nordic Semiconductor nRF51422	ルネサス エレクトロニクス RL78/G13	ルネサス エレクトロニクス RL78/G13
無線 通信	3G/LTE (オプション)	3G (以下オプション) ROHM Wi-SUN リニアテクノロジー Dust Networks NEC 920MHz帯	ANT/ANT+™, Bluetooth® SMART Bluetooth	ANT/ANT+™  	ANT/ANT+™  
通信 距離	-	-	1000m	最大：1000m	最大：1000m
消費 電流	-	-	-	-	-
サイズ 重量	90×155×44mm -	80×120×10mm -	16.2×10.6×1.7mm 0.4g	55×82.5×8.3mm 24g	15×15×3.8mm 0.7g
その他 機能	チップスケール原 子時計、GPS搭載	GPSアンテナ内蔵	更搭載GPS對應與原子時 計 (atomic clock) 等高精 密度功能		
デモ 動画	-	タンゴがASURA 紹介デモ with Dustデモ	-	-	-

圖6-26 CORE ASURA產品一覽圖。資料來源：株式會社CORE



圖6-27 CORE ASURA主機板廣泛運用在不同領域。資料來源：株式會社CORE

特別是ASURA CSAC型號主機板，使用原子鐘晶片(Chip-Scale Atomic Clock, CSAC)，可做到高精度度時間傳輸與位置定位。亦即原子鐘(atomic clock)運用原子與分子高精密度之頻譜標準，同步與定位周波數安定度是 $10^{-11}$ （比水晶發振器精確度還高），所以時間誤差的發生可能性極低，可進行高精確度的時間資訊和感應器蒐集的數據連接，滿足需要高精確度的設備跟設備之間控制連結。

而原本原子鐘系統裝置屬大型化系統，但CORE將它小型化成晶片，讓此技術節省許多電力消耗，並可運用在更多產品中，特別是可用在建築物或橋樑等基礎工程的耐震度監控分析上。例如，藉由其定期回傳資訊並加以分析，可監控橋樑耐震度是否正常，若其回傳的定位不正確，顯示橋樑震度有問題，須立即採取必要的防護措施。



圖6-28 ASURA CSAC搭載原子鐘晶片具高精度時間同步與定位功能。

資料來源：株式會社CORE



圖6-29 ASURA CSACの原子鐘晶片可用於橋樑與大樓耐震度監控。

資料來源：株式會社CORE

## (2) GR-PEACH

CORE開發的GR-PEACH主機板使用ARM處理器 (ARM<sup>®</sup>Cortex<sup>®</sup>-A series)並以世界標準進行開發，故該公司擬與其他國家業者合作推廣本系列產品。例如直接進行海外銷售，或委託目標市場業者在當地製造並銷售。

## 「ARM<sup>®</sup>Cortex<sup>®</sup>-Aシリーズ」として、 ARM<sup>®</sup> mbed<sup>™</sup>プロジェクトに参画

「Cortex-M」では実現できなかった高性能・高機能な組み込みシステム環境を容易にご提供

従来のmbedボードとの比較

- 400MHzの高性能CPUであるCortex-A9
  - (業界比約4倍)
- 10MBの大容量内蔵RAM
  - (業界比約40倍)
- カメラ入力/グラフィックス出力/オーディオ機能
  - (現在の最速は、Cortex-M4 120MHz RAM 264KB)
- Cortex-M用のCMSIS対応により、「Cortex-M」のソフトウェア資産を「Cortex-A9」に移行することが可能



圖6-30 CORE GR-PEACH主機板搭載ARM處理器。資料來源：株式會社CORE

以美國為中心，許多國家已開始利用人工衛星的高

精度測位系統，而日本在2010年也開始運用準天頂衛星  
的初號機「Michibiki(導)」進行高精度通訊定位。

日本準天頂衛星定位系統(Quasi-Zenith Satellite System, QZSS)由3顆衛星組成，作為GPS衛星訊號補強用。一般常用的GPS (Global Positioning System) 的導航系統誤差範圍為5-10公尺之內，準天頂衛星定位系統可將定位誤差縮減至1公分。

### CORE準天頂衛星信号受信器技術 (COHAC系列)

特色	準天頂衛星常在日本上空附近，沒有障礙物的影響，所以信号的精度與安定性非常高
技術	L1-SAIF信号：1周波有1m的精度 LEX信号：只利用衛星信号達成公分級精度

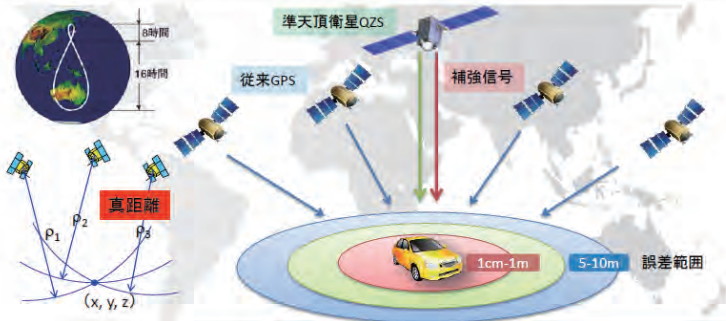


圖6-31 CORE GR-PEACH主機板搭載ARM處理器。資料來源：株式會社CORE

其原理是因天頂衛星位於高仰角，發射與GPS系統一樣之訊號，但因訊號反射狀況少，便可提升定位準確度；同時，接收地面觀測站之資訊後，會發送補正訊號，校正通過電離層產生之干擾，因此可將定位誤差縮減至1公分。

(3)COHAC (取自於CORE High Accuracy positioning solution)

COHAC結合了運用準天頂衛星定位系統開發的  
 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System ;  
 GNSS) , 及與JAXA (宇宙航空研究開發機構) 共同開發  
 的公分級高精度受信器「精密單獨測位方式對應公分級  
 測位受信器」, 可應用於汽車自動駕駛系統及自動化農  
 業機械上。



実証実験の様子



圖6-32 利用準天頂衛星定位系統之農耕機可自動直線駕駛。  
 資料來源：株式會社CORE

## 2. 農研機構東北研究中心

日本從2001年起面臨農業從業人口急劇下降且老化等問題，為維持原糧食供應能力，一方面須讓每一農夫的經營規模擴大，另一方面也需吸引更多新人口（年青人、女性）加入耕作。

因此2014年「日本再興戰略」中，特別著重於農林漁牧業及食品產業導入智慧機械運用，並於2015年投入大約51.95億元日幣開發相關應用解決方案，包括開發可實現大規模經濟生產的農業機械，可以協助處理重度及危險勞動工作及讓新加入的農夫也可容易耕作的農具等，希望到2020年將相關市場產值擴大20倍。日本智慧農業想解決的目標如圖6-34所示。



圖6-33 日本農業面臨人口減少及老化急需導入智慧機械讓產值增加。

資料來源：農研機構東北研究中心





圖6-34 日本智慧農業發展目標。資料來源：農研機構東北研究中心

## 第二節 日本智慧製造標竿案例－三菱電機

### 一、公司發展現況

三菱電機（Mitsubishi Electric）成立於1921年1月15日，為日本綜合電機生產商，產品涵蓋家庭用途（空調、多媒體設備）、公共用途（電梯、運輸系統）、工業用途（自動化、太陽能）以及軍事用途（雷達、C4ISR）。總部位於日本東京，現任總裁與CEO為山西健一郎，企業標語為「Changes for the better」。

日本三菱電機與德國西門子、美國洛克威爾自動化三家大廠被稱為全球工廠自動化產業界三雄，在自動化產品方面三菱電機主要以生產PLC（可程式邏輯控制器）、工業用機器人、

NC（數值控制）、雷射加工機等工廠自動化設備為主；除工廠自動化產品系統外，三菱電機另外還有五大類別產品業務，包括重電系統、資通訊系統、電子設備、家用電器以及其他。

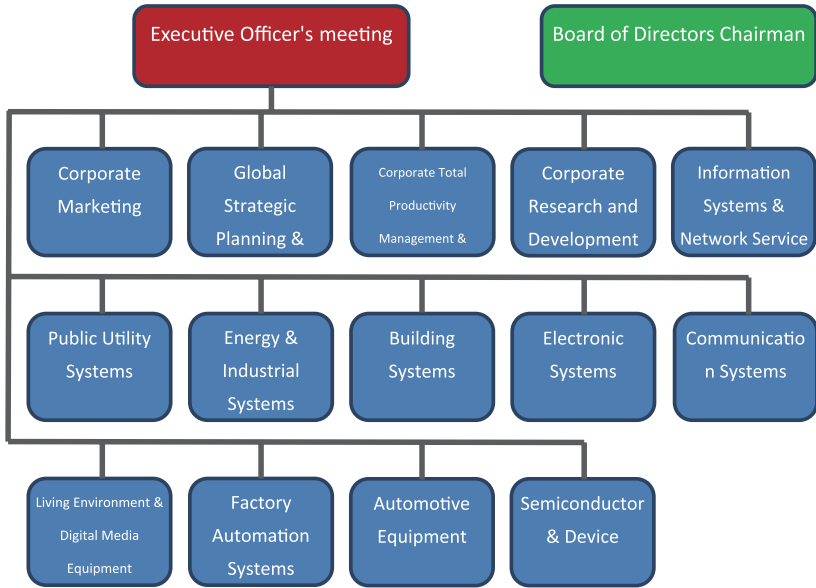


圖6-35 三菱電機公司組織架構圖。資料來源：三菱電機，MIC，2015年6月

在營收方面，三菱電機2014財務年度營收總額約4兆54億日元（393億美元），旗下員工將近13萬名，分布超過40個國家；2020年前期望達成「營業額5兆日元以上」、「收益比率8%以上」的成長目標。進一步說明三菱電機各主要部門提供之產品與服務如下：

工業自動化系統部門：主要產品與服務如可編程邏輯控制器、逆變器、伺服馬達、人機界面、馬達、起重機、磁性開關、無熔絲斷路器、短路斷路器、配電用變壓器、時間和功率計、不間斷電源、工業用風扇、電腦化數值控制器、電火花

加工機床、雷射加工機、工業用機器人、離合器、汽車電氣設備、汽車電子和汽車機械電子、汽車多媒體等。

重電系統部門：主要產品與服務如渦輪發電機、水輪機發電機、核電站設備、馬達、變壓器、電力電子設備、斷路器、氣體絕緣開關、開關控制設備、監控與安全系統、大屏幕顯示設備、列車電氣設備、電梯、電扶梯、建築安防系統、樓宇管理系統、粒子治療系統等。

資通訊系統部門：主要產品與服務如無線和有線通信系統、監控攝影機、衛星通信設備、衛星、雷達設備、天線、導彈系統、火控系統、廣播設備、資料傳輸設備、網絡安全系統、資訊系統設備、系統集成等。

電子設備部門：主要產品與服務如電力模組、高頻裝置、光學裝置、液晶顯示裝置等。

家用電器部門：主要產品與服務如液晶電視、房用空調、櫃式空調、水熱泵鍋爐、冰箱、電風扇、抽風機、光電伏打系統、熱水供應系統、LED燈、日光燈、室內照明、壓縮機、冷凍機、除濕機、空氣淨化器、陳列櫃、清潔劑、電子鍋、微波爐、邏輯感應加熱烹調加熱器等。

其他部門：主要產品與服務如採購、物流、房地產、廣告、金融等業務。

為強化策略布局，三菱電機近年來也透過併購方式收購相關公司，在工業自動化系統領域，分別於2013年與2014年收購自動化系統與服務業者，以及自動化設備經銷業者，以提升相關系統技術並拓展海外市場。

## 二、產品服務與主要客戶

針對工廠端智慧化應用方面，三菱電機推出工廠可視化解決方案，係指運用IT技術，連結生產現場與上層資訊系統，達成工廠「可視化」效果，同時又能促進生產設備的高性能化和最優化，導入包括e-F@ctory和Ieco-F@ctory等工廠自動化（Factory Automation）整合解決方案，搭配工業自動化產品、配電設備與空調設備等，以求降低工廠運用及維護成本，訴求在提升工廠生產率的同時，可以降低整體生產成本。

面臨物聯網時代來臨，三菱電機也正積極開發「IoT Factory Controller」，希望透過活用雲端運算技術，可以在工廠端更容易構建當前提供的e-F@ctory和Ieco-F@ctory等工廠自動化（Factory Automation）整合解決方案，強化總公司與各地工廠之連結，並且確保資訊安全，擴大接收感測器資訊之系統處理速度與能力。此項產品服務預計於2015年展開實證研究計畫、2016年正式推出，至於現行推出的產品服務e-F@ctory和Ieco-F@ctory等工廠自動化整合解決方案，其產品內容說明如下：

### （一）e-F@ctory

e-F@ctory包含追蹤解決方案、生產管理解決方案與運轉管理解決方案，主要是應用物聯網連結各自動化生產機器設備、能源管理系統與產品出貨訊息等，可以即時追蹤生產現場各樣生產設備的運轉狀況、品質訊息、消耗功率等，並且可以連結最上層主機的訊息系統，達成一元化管理效果。

簡而言之，e-F@ctory是藉由連結生產環境的工廠自動化（FA, Factory Automation）系統以及ICT資訊系統將生產環境的狀況透明化、分析並進行改善的機制。

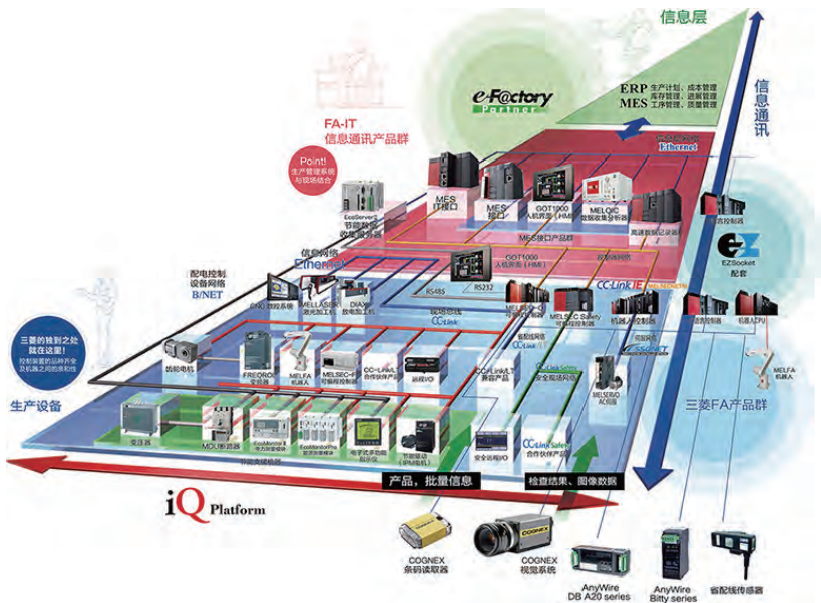


圖6-36 三菱電機e-F@ctory流程示意圖。資料來源：三菱電機，2015年6月

追蹤解決方案可對個別產品的製造記錄和品質檢查進行管理的系統，在e-F@ctory中通過設備資訊、生產資訊管理，可管理對各生產線的運轉實際狀況（如生產量、生產速度等）或異常記錄；還可通過核對產品資料，迅速鎖定不良品發生原因，達到同時管理與分析對機器運轉情況和產品品質資訊之效果。

e-F@ctory主要結合來自生產現場至企業的生產訊息數據層，讓企業可以實現可視化的自動控制層，同時透過高效協作配合的整合系統平台－iQ平台，匯集生產現場端所有控制裝置的實際自動控制裝置。

iQ平台對應的工程環境，訴求自系統設計、編程、安裝、調試機，直到運行、維護等所有階段都可以共享設計的

開發環境，同時可以整合PLC、運動控制器、GOT等各種以往相互獨立的編程軟體，作為統一的自動控制器平台，協助統籌生產線上之所有控制裝置。



圖6-37 e-F@ctory追蹤方案流程示意圖。資料來源：三菱電機，2015年6月

為因應少量多樣的生產需求日益增加而推出的生產管理解決方案，透過e-F@ctory可將裝置、設備情況反映到生產管理中，以此提高生產計畫的準確度。

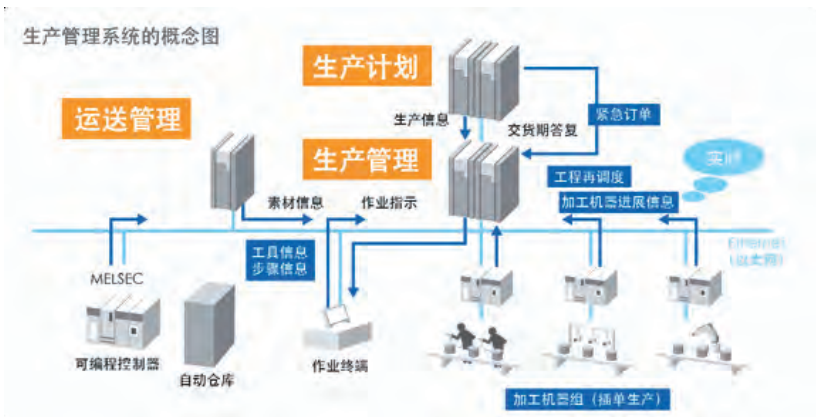


圖6-38 e-F@ctory生產管理流程示意圖。資料來源：三菱電機，2015年6月

同時還可透過自動發送各種生產準備的資訊，以減少生

產準備中耗費的時間和人力，並且還可根據庫存材料、設備加工進度等工具，蒐集即時資訊，以應付突如其來的特急訂單等計畫的緊急變更，確保生產計畫順利執行。

運轉管理解決方案目標為削減成本、提高生產率，藉由有效利用現有設備、減少機器停工期，以提高生產線的運轉率。e-F@ctory可根據所接收到的設備資訊、生產資訊管理生產線的運轉實況（如生產量、生產速度）和異常記錄，來優化設備的使用效率，並提高運轉率。此外，還可通過參照、分析異常記錄，在出現問題時迅速恢復，並進行及時預防保養。

此外三菱電機還結合設備零組件供應業者、軟體供應業者、系統整合供應業者等等各領域供應商組成「e-F@ctory Alliance」，主要是透過結盟方式分享最新相關技術，共同合作提供產品與服務，至2015年2月，此聯盟共有日本國內外280多家企業加入，如Cisco、NEC、McAfee等。

## (二) eco-F@ctory

除工場生產作業流程智慧化外，就能源消耗方面如何更精確、有效率的使用能源，也是智慧製造不可或缺的一環。針對能源管理方面，三菱電機推出eco-F@ctory，可精確計量工廠內各場所的能源使用量，讓電力消耗量也可視覺化呈現。

三菱電機主要透過結合設備領域中的控制技術、網路技術和供配電領域節能活動中的計量技術，實施能源資訊可視化，提高能源的使用效率，同時削減成本。

公司主要客戶：

三菱電機工場可視化解決方案客戶涵蓋各種業種，包括Honda本田汽車，NTT集團旗下的NTT Comware（主要業務

為通訊業軟體系統開發），以及各種工具機、家具等製造業廠商。此外由於三菱集團本身即有多家子公司與生產工廠，如三菱汽車、三菱電機名古屋製作所等，也於自家工廠率先導入智慧製造應用系統，作為示範參考案例。

智慧製造應用發展：

雖然工業4.0是由德國發起，不過三菱電機所發展e-F@ctory、eco-F@ctory等工廠自動化整合解決方案，即已導入將工廠資料透明化、並活用各種數據資料以改善生產活動之概念，與智慧製造之「智慧化」核心理念不謀而合。

但過去所發展之工廠自動化整合解決方案，多強調工廠內部之生產成本降低、提昇生產效率等，但智慧製造應用涵蓋之領域非僅限於工廠內部，因此三菱電機未來也將擴展智慧製造應用領域，納入工廠外部的供應鏈與服務。

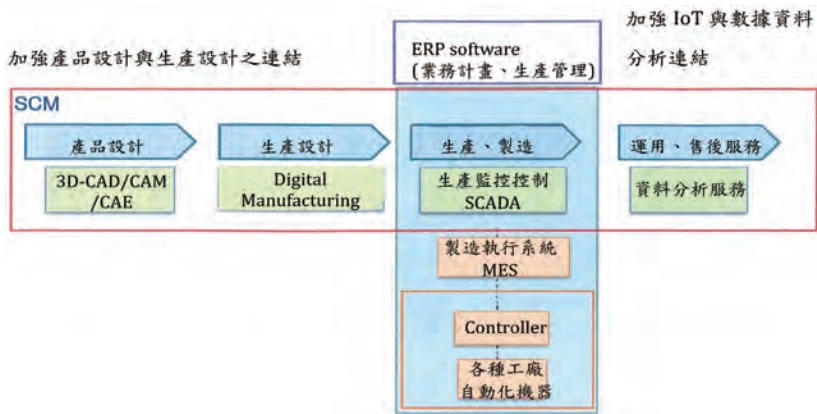


圖6-39 三菱電機智慧製造價值鏈。資料來源：三菱電機，2015年6月





圖6-40 三菱電機e-F@ctory發展沿革。資料來源：三菱電機株式會社

因應消費型態進化、製造業全球化及地球共存等議題，三菱電機於2003年提出智慧製造綜合解決方案e-F@ctory，並於名古屋製所的放電加工機及伺服馬達生產線上試運行；於2013年正式於名古屋製作所建立以e-F@ctory概念為主的示範工廠，以作為帶動全球製造業進化的基地。

### 三、三菱電機智慧製造應用實例：名古屋製作所可兒工廠

有關三菱電機所提出的智慧製造應用案例，此處以三菱電機名古屋製作所的可兒工廠為例，說明其導入模式。

可兒工廠是以生產電磁開關MS-T系列的專門工廠；電磁開關是用於控制、保護馬達以及加熱器的裝置，通常是裝置於工廠的配電盤內或是工具機內使用，價格從數千日圓到兩萬日圓不等，此產品是從2012年10月開始販售。

三菱電機生產的電磁開關近年開始在原本與日本電壓不同的中國、東南亞、歐洲、北美等地開始被廣泛使用，為因應不同地區的電壓規範，因此生產種類也頓時遽增。

面對客戶多樣多量的訂單需求，可兒工廠面臨兩難局面，為讓眾多產品能追上目前生產需求，採取大量人工分段進行製作生產可能會花上不少時間，且產能設備使用率可能降低，也減少生產力；如欲避免此種問題而採取同類型產品集中生產之方式，再與顧客協調交貨時間的話，又會失去接單、協調的彈性。

為解決此一生產難題，可兒工廠採用「Robot Cell」生產系統，即是結合機器人與作業員、強調人機協同的智慧製造方式。

智慧製造方案介紹：

為製作電磁開關，可兒工廠所採用的「Robot Cell」生產系統將生產製作分為六個工程階段，包括放入零組件、外殼組裝、上螺絲、插入螺絲帽等等，此時工廠作業人員主要負責閱讀作業步驟、將零組件放入與最後檢查等作業，其他作業則交由機器人負責。

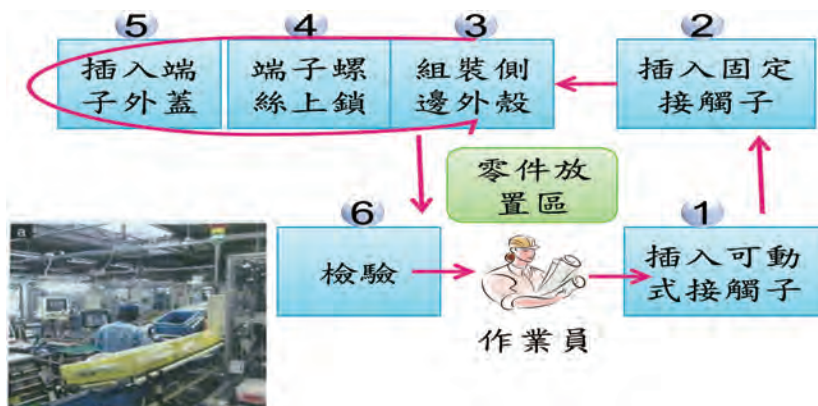


圖6-41 Robot Cell生產流程示意圖。

資料來源：日經ものづくり3月號，MIC整理，2015年6月

「Robot Cell」生產系統將所有的零組件都透過QR Code進行管理，所有的製作過程也都透過網路聯繫。當生產之產品種類改變時系統將自動偵測調整，利用視覺感測器提供零組件定位精確度與良率，提高分段作業的速度以及減少暫時故障的機率，提升產能利用率，並隨時收集生產線發生異常導致生產停止時的資訊，以進行改善並提升未來生產效能。

導入過程與效果：

過去可兒工廠在生產多種類型產品時，造成產能下降主要原因包括：

生產步驟更換：在生產線供給生產零件時，通常使用零件供給器，而在更換生產線時，則常常必須要置換供給器內的零件填充，而此更換步驟將導致生產時間延遲。

「暫時故障」問題：許多零件供給器同時進行運作時，其中預備作為供給的填充零件若發生位置偏離等情況，將會導致整個生產流程的暫停，進而使生產效率下降。

上述問題也導致可兒工廠原有生產模式最多僅能讓設備產能發揮到60%；因此導入「Robot Cell」生產系統重點不僅在單純導入機器人，還必須讓生產過程可以不間斷地持續進行，藉此提高產能。

「Robot Cell」生產系統透過組合QR Code個體管理與具協調性的人力作業，達成高速分段生產之設備、零組件切換過程。首先透過條碼的掃描，將生產資訊在所有生產機器人間共享，而機器人便會自行掌握生產時機與零組件物體構造，於正在組裝的電磁開關上執行組裝的動作。

因此透過導入「Robot Cell」生產系統可在生產不同地區種類的產品時，不用關閉設備就可以繼續生產，可以達到「變種變量」的生產目標，提升生產效率。

但內含式零組件的變更則仍是交由作業員來執行，作業員需依序分別放入專屬零件，但若是放錯零件的話，也設有專門判定機制以避免錯誤發生。

在「Robot Cell」生產系統流程裡，一開始即用雷射掃描各個電磁開關上印刷好的QRcode來進行總體管理，由於往後製程都是透過雷射讀入零組件條碼來開始進行組裝，因此在裝錯零件時便可立即偵測出錯誤。

藉由「Robot Cell」生產系統，可讓零件供給器傳送接點（Contact）時間變短、減少堵塞率；另外，還可利用平面視覺感測器（Vision Sensor）確認接點是否傾斜，讓運送機器人可以確實地掌握零件位置，藉由這樣的視覺感測器來進行數個地方的位置確認後，便能減少暫時故障並提高產能。

在構成電磁開關器的框架外殼與側邊外殼的嵌入層面，目前仍使用原有零件供應器執行作業，但透過加入力道感應器可測試力量大小並確實地給予按壓，使零組件嵌入過程臻於完美。

導入「Robot Cell」生產系統後，可兒工廠產能已逾90%，相較之前60%的產能提升1.5倍；此外，也提昇產品品質。目前可兒工廠生產超過100萬個T系列的電磁開關，至2015年第一季為止，仍保持零報修率的紀錄。

相較於採用傳統全自動大型設備，導入小型機器人、多重循環的生產方式，可以解決過去一旦發生錯誤、必須全面停止產線生產作業之窘境，現在僅需停止發生問題之特定Robot Cell，藉此縮短機器重新啟動時間。

此外，導入「Robot Cell」生產系統也可減少生產作業面積，作業面積僅為採用全面大型自動化設備的三分之一，也有助提升工廠單位面積之生產效率。

我國目前正積極發展智慧機械產業，而三菱電為世界知名電機廠商，其企業演進等同於日本當代製造業發展史，涉及產業領域涵蓋航太、家電、半導體、光電與工業機器等，為全球技術主導型的企業，相關電力設備、通信設備、工業自動化、電子元器件、家電等產品，均在全球市場占有重要地位。特別是在其製造過程中，為了追求生產效率及高品質，又開發出具有特色的e-F@ctory解決方案，協助該公司及製造業者提升生產率及設備利用率。故本次安排拜訪該公司，協助國內資訊服務及智慧機械業者瞭解三菱電機之e-F@ctory智慧工廠運作狀況，作為日後在國內發展智慧工廠解決方案之參考，並期進一步促成雙方業者合作，發展出更多智慧機械及智慧製造的技術合作，創造更高價值智慧商業模式。

本次參訪也由羽冠電腦與三菱電機簽約，加入e-F@ctory聯盟，帶領YUS優勢智動化服務聯盟（如圖6-42），連結國內重點廠商研華科技、士林電機、上研機電、陽興造機及盟立自動化，協力打造智慧機械國家隊伍，共同打進國內外智慧機械之產業鏈。



圖6-42 YUS優勢智動化服務團組成。資料來源：本報告整理



## 第七章 結語

在「智慧機械」、「智慧製造」、「工業4.0」、「生產力4.0」的眾多討論中，關鍵字就是網路連結與網宇實體系統(Cyber-Physical System, CPS)，也就是生產設備之間的互聯、設備和產品的互聯、虛擬和現實的互聯、以及萬物聯網（IOE, Internet of Everything）。智慧機械的核心是「連結」，也就是要把設備、生產線、工廠、供應商、產品、客戶緊密地連結在一起。當萬物聯網的發展趨勢下，將無處不在的感測器、嵌入式終端系統、智慧控制系統、通信設施通過 CPS系統形成一個智慧網路，使得產品與生產設備之間、不同的生產設備之間以及數位世界和物理世界之間能夠互聯，使得機器、工作部件、系統以及人類會通過網路持續地保持數位資訊的交流。

筆者觀諸各國產業政策，不論是德國的工業4.0、美國的再工業化AMP計畫、日本的人機共存未來工廠、韓國的下世代智慧型工廠、中國製造業2025，主要國家均積極推動製造業的轉型。在這樣一波趨勢中，台灣製造產業面臨著各種挑戰，而最讓業者感到困擾的莫過於勞動人力短缺的問題，因此在台灣就業人口勢將逐年下降，現有人力亦將日趨高齡化，以及多年來自動化產業必須升級等種種前提下，經濟部工業局在近幾年啟動「生產力4.0」計畫，期能運用智慧機器人、物聯網、大數據資料等科技技術來發展設備自動化、工廠智慧化、系統虛實化的智慧製造，進而達到既提高人均產值又能讓製造業投入具有更高價值的製造服務領域。105年新政府上任後，「生產力4.0」計畫又轉化為【智慧機械產業發展方案】，就是想要透過製造業的深化，加入物聯網、大數據資料等資通訊技術來有效提升產業國際競爭力。

目前經濟部工業局所推動的計畫中，已經讓不少參與的製造業

廠商有效地提升其企業競爭力，譬如在設備智能化方面，透過雲端運算平台，工具機可以智慧化虛擬設計及製程應用技術來進行各種切削作業，不但縮減了60%的機台結構設計開發時程，優化後的機台剛性更高出業界1.5倍；系統虛實化的部份，採用CAD-based機器人程式自動生成技術為碳纖維車架打造的智能化加工與檢測，不僅能透過智能軟體縮短前置作業時間，工作人員也只需以簡易操作即能為高價產品進行少量多樣的生產，並且還能在減少廢料的同時將良率提升至95%；至於工廠智慧化的案例，排名全球前十大的鈹金設備廠以智慧軟體整合多軸機器人、視覺定位應用、無人搬運車、自動堆高機等，在該廠建置了精密加工系統虛實化設計製造平台，讓其系統報價由過去的三天加速成可在三小時內完成，而數位製程控制的品質亦以遠高於過去不到八成的超高良率將加工精密度大幅提升。

另外，針對歐盟RoHS標準之趨勢，經濟部工業局亦串連了千家廠商建置綠色材質雲以帶動ICT供應鏈雲化；而紡織B2B市集雲的建立則可提供國內外買家一站式購足的採購媒合服務，並串接可掌握時尚脈動的時尚商務雲，來加速紡織業製造商發展自創品牌，並朝向以顧客為主的製造服務化方向邁進；在大數據應用方面，業者首先必須善用本身所擁有與累積的專業知識（know-how）從巨量資料中找出關鍵所在，並妥善運用在機器設備上才能達到突破製程瓶頸、提升製造良率、改善生產效率的目標。譬如對於製程愈來愈複雜的半導體、LED、面板、太陽能光電等產業，透過大數據資料分析所建立的智慧診斷分析工具，可讓自動診斷、動態配方調整、線上預警得以實現，並可加速製程良率學習、改善成熟良率以提升企業的獲利率與競爭力；再則，像是研華提供的製造業智能化設備管理的解決方案，亦是有效運用大數據使工廠管理可藉由監控系統來提高現場反應效率並降低工安事件的發生，而且透過建置完善的監



控管理網路還能提高自動化程度以改善製造流程並提升生產效能。

此外，智慧製造的最大挑戰並非在技術層面，而在於如何培養跨產業領域整合的專業人才以找出具有商業價值的創新應用模式；還有如何將產品設計、生產製造、物流運輸及銷售服務中之大數據轉換成有價值的資訊與決策；並且藉由相關技術的支援來提升從業人員的技能，以便讓過去單純的生產操作者可以晉升為控制者和管理者。台灣業者過去在硬體製造方面已發揮得淋漓盡致，未來則更應著眼於如何將軟體與硬體加以結合，藉由物聯網、雲端運算及大數據等技術之運用以開創智慧製造新格局，而當自動化的技術運用夠成熟時，工廠亦不再受地域限制或外在因素的干擾而能安心地在本地生產，譬如某家面板廠過去曾因人力需求之故將工廠遷至海外，如今因為導入先進的自動化生產模式，移回台灣後的生產線不但單位生產量提高，人均生產力也大幅提升。當全球都在強調「smart everywhere」的智慧應用趨勢下，工業局也期許能以智慧機械產業發展方案的有效落實，持續推動各種智慧自動化方案，期能讓企業跳脫微利桎梏，以更smart的方式獲得更高的利潤與效益。

未來，智慧機械的技術創新可以由三個面向發展，第一，是新型感測器、積體電路、人工智慧、移動互聯、大數據在資訊技術創新體系中不斷演進，並為新技術的不斷融合滲透奠定基礎。第二，是傳統產業在資訊化創新環境中，不斷優化創新流程、創新手段和創新模式，在既有的技術路線上不斷演進。第三，是傳統產業與資訊技術的融合發展，它既包括CPS、智慧工廠整體解決方案等一系列技術整合，也包括各種軟硬體的嵌入式系統、虛擬製造、工業應用電子等技術突破。至於在產品創新方面，資通訊技術不斷融入機械產業設備之中，推動著產品走向數位化、智慧化方向發展，使產品結構不斷升級轉型。



圖7-1 「2016臺德生產力／工業4.0論壇」

## 參考文獻

1. 魏依玲，2016。因應人口高齡化，台灣智慧製造發展策略研析，經濟部工業局主要經貿國家產業競爭研究及政策規劃計畫成果報告。
2. 王寶苑，2013。德國第4次工業革命之研析，經濟部工業局主要經貿國家產業競爭研究及政策規劃計畫成果報告。
3. 艾瑞克·布林優夫森(Erik Brynjolfsson), 安德魯·麥克費(Andrew McAfee), 2014, 第二次機器時代：智慧科技如何改變人類的工作、經濟與未來？(The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technology), 譯者：齊若蘭，台北市，天下文化出版。
4. The Boston Consulting Group, 2015. Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? by Markus Lorenz, Michael Rüßmann, Rainer Strack, Knud Lasse Lueth, and Moritz Bolle.
5. Davenport, T. H., & Kirby, J. 2015. Beyond Automation. Harvard Business Review, 93(6), 59-65.
6. Fraunhofer IFF 2010 Annual Report.
7. Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation IFF. 2014. Assistance Systems: Are Lessening the Impact of Demographic Change, IFFocus 1/2014, 20-23.
8. Institute for Manufacturing (IfM) of University of Cambridge, 2013. Emerging trends in global manufacturing industries. Published by UNIDO.
9. Jay Lee, Behrad Bagheri, Hung-An Kao. 2014. Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in

Industrial Informatics, Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014.

10. Jim Davis , Smart Manufacturing: Advanced Sensing, Control and Platforms for Manufacturing , Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) , 2014.11

## 附錄一參訪資料



Product Services Systems and Value Creation. Proceedings of the 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems

## Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment

Jay Lee<sup>\*</sup>, Hung-An Kao, Shanhu Yang

*NSF IU/CR Center for Intelligent Maintenance Systems (IMS), University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0072, USA*

<sup>\*</sup> Corresponding author. Tel.: +1-513-556-3412; fax: +1-513-556-4647. E-mail address: [jay.lee@uc.edu](mailto:jay.lee@uc.edu)

### Abstract

Today, in an Industry 4.0 factory, machines are connected as a collaborative community. Such evolution requires the utilization of advanced prediction tools, so that data can be systematically processed into information to explain uncertainties, and thereby make more “informed” decisions. Cyber-Physical System-based manufacturing and service innovations are two inevitable trends and challenges for manufacturing industries. This paper addresses the trends of manufacturing service transformation in big data environment, as well as the readiness of smart predictive informatics tools to manage big data, thereby achieving transparency and productivity.

© 2014 Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>).

Selection and peer-review under responsibility of the International Scientific Committee of “The 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems” in the person of the Conference Chair Professor Hoda ElMaraghy”

*Keywords:* Manufacturing servitization; predictive maintenance; industrial big data

### 1. Introduction

In today’s competitive business environment, companies are facing challenges in dealing with big data issues of rapid decision-making for improved productivity. Many manufacturing systems are not ready to manage big data due to the lack of smart analytic tools. Germany is leading a transformation toward 4th Generation Industrial Revolution (Industry 4.0) based on Cyber-Physical System-enabled manufacturing and service innovation. As more software and embedded intelligence are integrated in industrial products and systems, predictive technologies can further intertwine intelligent algorithms with electronics and tether-free intelligence. These technologies will then be used to predict product performance degradation, and autonomously manage and optimize product service needs.

Nowadays, smart factories focus mostly on control-centric optimization and intelligence. Moreover, greater intelligence can be achieved by interacting with different surrounding systems that have a direct impact to machine performance. Achieving such seamless interaction with surrounding systems turns regular machines into self-aware and self-learning

machines, and consequently improves overall performance and maintenance management. Although the autonomous computing methodology has been implemented successfully in computer science, self-learning machines are still far from implementation in current industries. Transformation from today’s status into more intelligent machines requires further advancement in the science by tackling several fundamental issues. These issues can be divided into five distinct categories as follows:

- **Manager and Operator Interaction:** Currently, operators control machines, managers design logistic schedules and machines are only performing the assigned tasks. Although these tasks are usually optimized by expert operators and managers, a significantly important factor is missing in these decisions: the health condition of the machine components.
- **Machine Fleet:** It is very common that similar or identical machines (machine fleet) are being exposed to completely different working conditions for different tasks. In contrast, most predictive and prognostic methods are designed to

support a single or limited number of machines and working conditions. Currently, available prognostic and health management methods are not taking advantage of considering these identical machines as a fleet by gathering worthwhile knowledge from different instances.

- **Product and Process Quality:** As the final outcome of the manufacturing process, product quality can provide much insight on machine condition via backward reasoning algorithms. Product quality can provide feedback for system management, which can be used to improve production scheduling. Currently, such feedback loop does not exist and needs further research.
- **Big Data and Cloud:** Data management and distribution in Big Data environment is critical for achieving self-aware and self-learning machines. The importance of leveraging additional flexibility and capabilities offered by cloud computing is inevitable, but adapting prognostics and health management algorithms to efficiently implement current data management technologies requires further research and development.
- **Sensor and Controller Network:** Sensors are the machine's gateway to sense its surrounding physical environment. However, sensor failure and degradation may pass wrong and inaccurate readings to decision-making algorithms, which will result in an incorrect outcome.

With these issues in mind, the objective of the paper is to review how current manufacturing industries evolve for the upcoming industrial big data environment, and propose the key technology for sustainable innovative service. The paper is organized as follows: Section 2 focuses on trends of service innovation in manufacturing industries and unmet needs of an Industry 4.0 factory; Section 3 describes the proposed self-aware and self-maintenance machine systems based on industrial big data analysis; Section 4 presents two case studies that have been conducted to demonstrate the feasibility of the proposed framework; and Section 5 concludes the paper with some perspectives.

## 2. Trends and unmet needs for Industry 4.0 era

The discovery of new technologies has escorted industry development from the early adoption of mechanical systems, to support production processes, to today's highly automated assembly lines, in order to be responsive and adaptive to current dynamic market requirements and demands. Under the Industry 4.0 concept, astounding growth in the advancement and adoption of information technology and social media networks has increasingly influenced consumers' perception on product innovation, quality, variety and speed of delivery. This requires establishing the factory with capabilities of self-awareness, self-prediction, self-comparison, self-reconfiguration, and self-maintenance. Accompanied with this new technology, two types of innovative development are receiving more attention by academia and industries: service innovation and industrial big data. In this

section, previous research on these two topics will be reviewed and discussed.

### 2.1. Manufacturing servitization and innovation

Many advanced countries whose economic base is the manufacturing industry have made efforts to transform their economy and reinvigorate the industry. They suffer threats from emerging markets and the global manufacturing supply chain. Therefore, manufacturing firms not only seek manufacturing technique innovation, but are also beginning to focus on induction and impetus of service. This way, the fuzzy boundary of the manufacturing industry and service industry drive will stimulate the development of manufacturing servitization.

Servitization was proposed by Vandermerve and Rada in 1988 [1]. They emphasized the concept of customer focus; combining products, services, support, and knowledge are the most important elements. Furthermore, the authors also asserted that not only service industries, but also manufacturing industries should focus on innovative value-added service development in order to quickly enhance their core competencies. Baines defined manufacturing servitization as innovation of organizational capabilities and processes, from product sales to integrated product services [2].

Servitization is defined as the strategic innovation of an organization's capabilities and processes to shift from selling products, to selling an integrated product and service offering that delivers value in use, i.e. a Product-Service System [3]. The concept of a Product Service-System (PSS) is a special case of servitization. Mont defines PSS as a system of products, services, supporting networks, and infrastructure that is designed to be competitive, satisfy customers' needs, and have a lower environmental impact than traditional business models [4]. In the PSS business model, industries develop products with value-added services, instead of a single product itself, and provide their customers with services that are needed. In this relationship, the market goal of manufacturers is not one-time product selling, but continuous profit from customers by total service solution, which can satisfy unmet customers' needs.

### 2.2. Industrial big data environment

Recently, big data becomes a buzzword on everyone's tongue. It has been in data mining since human-generated content has been a boost to the social network. It has also been called the web 2.0 era since late 2004 [5]. Lots of research organizations and companies have devoted themselves to this new research topic, and most of them focus on social or commercial mining. This includes sales prediction, user relationship mining and clustering, recommendation systems, opinion mining, etc. [6-10]. However, this research focuses on 'human-generated or human-related data' instead of 'machine-generated data or industrial data', which may include machine controllers, sensors, manufacturing systems, etc.

Under the above-mentioned Industry 4.0 era, intelligent analytics and cyber-physical systems are teaming together to

realize a new thinking of production management and factory transformation. Using appropriate sensor installations, various signals such as vibration, pressure, etc. can be extracted. In addition, historical data can be harvested for further data mining. Communication protocols, such as MTConnect [11] and OPC, can help users record controller signals. When all of the data is aggregated, this amalgamation is called “Big Data”. The transforming agent consists of several components: an integrated platform, predictive analytics, and visualization tools. The deployment platform is chosen based on: speed of computation, investment cost, ease of deployment and update, etc. [12]. The actual processing of big data into useful information is then the key of sustainable innovation within an Industry 4.0 factory.

### 3. Self-aware and self-maintenance machines for industrial big data environment

The recent developments of an Internet of Things (IOT) framework and the emergence of sensing technology have created a unified information grid that tightly connects systems and humans together, which further populates a big data environment in the industry. With more advanced analytics, the advent of cloud computing and a Cyber-Physical Systems (CPS) framework, future industry will be able to achieve a fleet-wide information system that helps machines to be self-aware and actively prevents potential performance issues. A self-aware and self-maintained machine system is defined as a system that can self-assess its own health and degradation, and further use similar information from other peers for smart maintenance decisions to avoid potential issues. Smart analytics for achieving such intelligence will be used at the individual machine and fleet levels.

For a mechanical system, self-awareness means being able to assess the current or past condition of a machine, and react to the assessment output. Such health assessment can be performed by using a data-driven algorithm to analyze data/information collected from the given machine and its ambient environment. The condition of the real-time machine can be fed back to the machine controller for adaptive control and machine managers for in-time maintenance. However, for most industrial applications, especially for a fleet of machines, self-awareness of machines is still far from being realized. Current diagnosis or prognosis algorithms are usually for a specific machine or application, and are not adaptive or flexible enough to handle more complicated information. The reasons for why a self-aware machine has not been fully realized are summarized as follows:

**Lack of a closely coupled human-machine interaction:** a major influential factor for machine condition and performance is human operation and management. Productivity and production quality can be greatly affected by task design and scheduling. Current machines can only passively listen to the operators’ commands and react, even when the assigned task is not optimal for its current condition. A smarter machine system, on the other hand, should be able to actively suggest task arrangements and adjust operational parameters to maximize productivity and product quality.

**Lack of adaptive learning and full utilization of available information:** PHM systems cannot be widely implemented in the industry because of their low level of adaptability, which eventually leads to a lack of robustness in the health monitoring algorithms. The problem behind such an issue is that for a PHM system, development and implementation are usually separated. The PHM algorithm is developed by data collected from experiments, and does not change during implementation unless being re-trained by experts. In most cases, the algorithm only handles condition monitoring data from real machines using a pre-defined procedure without attempting to learn from it. Such a situation is far from optimal, because real-time data collected from machines in the field is usually from more machine units and of a much longer time duration, which means it contains much more information than the lab-generated data. Algorithms that are capable of learning from such data will be able to achieve optimal flexibility and robustness for handling different situations.

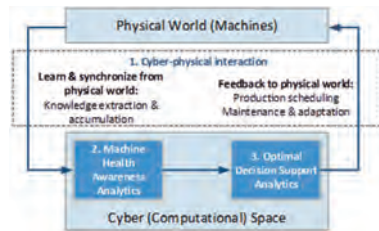


Figure 1: Cyber-physical system framework for self-aware and self-maintenance machines

In order to solve the aforementioned research gaps, a unified Cyber-Physical System framework for self-aware and self-maintenance machines has been developed that can extract meaningful information from big data more efficiently, and further perform more intelligent decision-making. The proposed system framework is shown in Figure 1.

Within the scope of this research, physical space is considered:

- A fleet of machines, including
  - Condition Monitoring (CM) data previously and presently collected
  - Controller parameters
  - Digitized machine performance (e.g. product quality measurement)
  - Machine and component configuration, model information
  - Utilization history, tasks being performed
- Human actions, including
  - Maintenance activities
  - Human controlled operating parameters and usage pattern



While in the cyber (computational) space, firstly, the data and information format needs to be properly defined so that information collected from the physical space can be recorded and managed. Secondly, the cyber space is designed to be able to summarize and accumulate knowledge on machine degradation, so that such knowledge can be used for health assessment of new machines. Lastly, health assessment results should be fed back in time to the physical space so that proper action can be taken.

### 3.1. Machine health awareness analytics with self-learning knowledge base

Unlike most of the existing CPS which are control- or simulation-oriented, the proposed CPS uses a knowledge base and related algorithms to represent machine degradation and performance behavior in the physical world. Machine health awareness analytics are designed to fulfill such a task. Using adaptive learning and data mining algorithms, a knowledge base representing machine performance and degradation mechanisms can be automatically populated. The knowledge base will be able to grow with new data to eventually enhance its fidelity and capability of representing complex working conditions that happen to real-world machines. With data samples and associated information collected from machines, both horizontal (machine to machine) and vertical (time to time) comparison will be performed using specifically designed algorithms for knowledge extraction. Whenever health information of a particular machine is required, the knowledge base will provide necessary information for health assessment and prediction algorithms. Because of the comprehensiveness of the knowledge base, PHM algorithms can be more flexible on handling unprecedented events, and more accurate on PHM result generation.

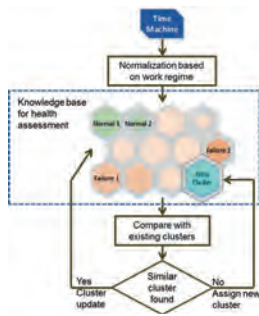


Figure 2: Adaptive learning for machine clustering

The adaptive learning and knowledge extraction is further explained in Figure 2. Considering a machine fleet, similarity always exists among machines. Machines that are performing similar tasks or that are at similar service times may have

similar performance and health conditions. Based on such similarities, machine clusters can be built as a knowledge base representing different machine performances and working conditions.

Algorithm-wise, unsupervised learning algorithms such as Self-Organizing Map (SOM) and Gaussian Mixture Model (GMM) can be used for autonomously creating clusters for different working regimes and machine conditions. The adaptive clustering methodology in Figure 2 utilizes an on-line update mechanism whereby the algorithm compares the latest input to the existing cluster, and tries to identify one cluster that is most similar to the input sample using multidimensional distance measurement. A search of a similar cluster can end with two results: 1) Similar cluster found. If it is this case, then the machine from which the sample has been collected will be labelled as having the health condition defined by the identified cluster. Meanwhile, depending on deviation between the existing cluster and the latest sample, the algorithm will update the existing cluster using new information from the latest sample. 2) No similar cluster found. In this case, the algorithm will hold its operation with the current sample until it sees enough count of out-of-cluster samples. When the number of out-of-cluster samples exceeds a certain amount, it means that there exists a new behavior of the machine that has not been modeled, so that the algorithm will automatically create a new cluster to represent such new behavior. In such case, the clustering algorithm can be very adaptive to new conditions. Moreover, the self-grow cluster will be used as the knowledge base for health assessment in the proposed cyber space. With such mechanism, different machine performance behavior can be accumulated in the knowledge base and utilized for future health assessment.

### 3.2. Decision support analytics for self-maintenance

The main objective of design, control and decision-making of machine operations is to meet the production goal with effective and efficient production planning and maintenance scheduling. The actual system performance often deviates from the designed productivity target because of low operational efficiency, mainly due to significant downtime and frequent machine failures. In order to improve the system performance, two key factors need to be considered: (1) the mitigation of production uncertainties to reduce unscheduled downtime and increase operational efficiency, and (2) the efficient utilization of the finite resources on the critical sections of the system by detecting its bottleneck components. With the advent of PHM development in a CPS framework, rich PHM knowledge is utilized to assist and enhance the capability of decision-making in production control and maintenance scheduling to achieve high reliability and availability.

### 3.3. Advantages of the CPS framework

The key innovation of such CPS framework is that it realizes a self-aware and self-maintenance system by integrating both sensor data as well as fleet-wide information, so that the data volume can be reduced and a similar pattern

can be identified. Such strategy further ensures that information hidden under the industry Big Data can be properly utilized. The key advantages of the designed framework can be summarized into the following perspectives:

1. Unified Cyber-Physical System frameworks for machine-to-machine health modeling: the proposed CPS is not a CPS for one machine, but for a fleet of machines and human operators. The system enables machines to gather information from its peers, human operators and other surrounding environments so that machines can achieve self-awareness of their health condition via comparing with and learning from the past history of other peers.

2. Enable self-aware and self-maintenance intelligence using self-learning PHM algorithms: rigidity and inability of handling unprecedented events are major hurdles that prevent current PHM algorithms from being widely implemented in the industry. This paper proposes a solution of developing adaptive capability for anomaly detection, health assessment, and degradation prediction. Adaptive algorithms also enable the system to learn from in-field data and accumulate in-field knowledge that can hardly be gained in a test lab environment.

3. Smart decision support system for proactive maintenance scheduling: with connected machines and awareness of machine condition across the fleet, tasks and maintenance plans will be scheduled and optimized from the fleet level. By balancing and compensating the work load and stress for each machine according to their individual health condition, production and machine performance can be maximized.

#### 4. Case study: smart remote machinery maintenance systems with Komatsu

This particular application was for a heavy-duty equipment vehicle used in mining and construction (Figure 3). The remote prognostics and monitoring system focused on assessing and predicting the health of the diesel engine component. For this remote monitoring application, the previously developed architecture for data acquisition and data storage consisted of sending a daily data set of parameters from the diesel engine to the remote location. The parameters included pressures, fuel flow rate, temperature, and the rotational speed of the engine. These parameters were taken at key operating points for the engine, such as at idle engine speed or at maximum exhaust gas temperature. The previously developed architecture was missing the necessary algorithms to process the data and assess the current health of the engine, determine the root cause of the anomalous behavior, and predict the remaining life of the diesel engine. The heavy-duty equipment manufacturer in collaboration with the Center for Intelligent Maintenance Systems (IMS) developed a systematic approach, utilizing several algorithms from the suite in the Watchdog Agent® toolbox to convert the diesel engine data into health information.



Figure 3: Komatsu smart bulldozer remote maintenance systems

The data preprocessing step consisted of using the Huber method for outlier removal, as well as the use of an auto-regressing moving average approach to predict a time series value a few steps ahead to replace missing values. The missing values could be due to an error in the transmission of the data to the remote location, or from an outlier removal preprocessing step. After preprocessing the data, the next step was to develop a methodology to classify the different engine patterns in the data to particular engine-related problems. The use of a Bayesian Belief Network (BBN) classification technique used the manufacturer's experience on engine-related problems, along with the pattern history of the data to build the model. This classification model was able to interpret the anomalous engine behavior in the data, and identify the root cause of the problem at the early stage of degradation.

The last remaining step is the remaining life prediction, and this used a fuzzy logic-based algorithm. The fuzzy membership functions were based on engineering experience as well as features extracted from the data patterns; this hybrid approach accounts for the uncertainty in the data and combines data-driven and expert knowledge for a more robust approach. An overall visualization of the final output is shown in Figure 4, highlighting the decision aid that can be provided to the maintenance technician.



Figure 4: Machine health visualization using Watchdog Agent® technologies

## 5. Conclusion

Industry 4.0 proposes the predictive manufacturing in the future industry. The machines are connected as a collaborative community. Such evolution requires the utilization of advance prediction tools, so that data can be systematically processed into information that can explain the uncertainties and thereby make more “informed” decisions.

IT trends and unmet needs accompanying the upcoming Industry 4.0 era have been presented herein. This includes manufacturing servitization, which changes manufacturers’ value proposition, and industrial big data, which makes manufacturing analytics more important than in the past decades. To sustain under these trends, a systematic framework is proposed for self-aware and self-maintained machines. The framework includes the concepts of cyber-physical system and decision support system. Lastly, a case study is presented in order to demonstrate the feasibility of the proposed work.

To summarize, the prognostics-monitoring system is a trend of the smart manufacturing and industrial big data environment. There are many areas that are foreseen to have an impact with the advent of the fourth industrial revolution, which four key impact areas emerge:

- Machine health prediction reduces the machine downtime, and the prognostics information will support the ERP system to optimize manufacturing management, maintenance scheduling, and guarantee machine safety.
- The information flow among the production line, business management level, and supply chain management make the industrial management more transparent and organized.
- The new trend of industry will reduce labor costs and provide a better working environment.

- Eventually, it will reduce the cost by energy-saving, optimized maintenance scheduling and supply chain management.

## References

- [1] Vandermerwe, S., & Rada, J. (1989). Servitization of business: adding value by adding services. *European Management Journal*, 6(4), 314-324.
- [2] Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Benedettini, O., & Kay, J. M. (2009). The servitization of manufacturing: a review of literature and reflection on future challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), 547-567.
- [3] Martinez, V., Bastl, M., Kingston, J., & Evans, S. (2010). Challenges in transforming manufacturing organisations into product-service providers. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(4), 449-469.
- [4] Mont, O. (2004). Product-service systems: panacea or myth?. Lund University.
- [5] Graham, P. (2005). Web 2.0. *Consultado (21/12/2008)* en: <http://www.nosolousabilidad.com/articulos/Web20.htm>.
- [6] McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big data: the management revolution. *Harvard business review*, 90(10), 60-68.
- [7] Cohen, J., Dolan, B., Dunlap, M., Hellerstein, J. M., & Welton, C. (2009). MAD skills: new analysis practices for big data. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2(2), 1481-1492.
- [8] Al-Noukari, M., & Al-Hussan, W. (2008, April). Using data mining techniques for predicting future car market demand; DCX case study. In *Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, 2008. ICTTA 2008. 3rd International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [9] Chon, S. H., Slaney, M., & Berger, J. (2006, October). Predicting success from music sales data: a statistical and adaptive approach. In *Proceedings of the 1st ACM workshop on Audio and music computing multimedia* (pp. 83-88). ACM.
- [10] Provost, F., & Fawcett, T. (2013). Data Science and its Relationship to Big Data and Data-Driven Decision Making. *Big Data*, 1(1), 51-59.
- [11] Lee, B. E., Michaloski, J., Proctor, F., Venkatesh, S., & Bengtsson, N. (2010, January). MTCConnect-based Kaizen for machine tool processes. In *ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 1183-1190). American Society of Mechanical Engineers.
- [12] Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, 1(1), 38-41.

# INDUS

AND

# MANUFACTURING TRANSFORMATION

# TRY 4.0

**Advances in cyber-physical systems promise to shatter the traditional operational paradigms and business models of today's manufacturing industry. The goal of new Industry 4.0 initiatives is to harness these new technologies to create smarter factories and new smart products in an effort to revitalize the manufacturing sector in the years ahead.**

By Dr. Jay Lee, Behrad Bagheri,  
Hung Ann Kao and Edzel Lapira



**Dr. Jay Lee** is Ohio Eminent Scholar, L.W. Scott Alter Chair Professor, and Distinguished University Professor at the University of Cincinnati. He is also founding director of the National Science Foundation (NSF) Industry/University Cooperative Research Center (I/UCRC) on Intelligent Maintenance Systems (IMS) that has been supported by over 80 global companies since 2001. He is also a member of the Manufacturing Leadership Council's Board of Governors.



**Behrad Bagheri** is a PhD researcher at the IMS Center of the University of Cincinnati. His key areas of interests are cyber-physical systems and the smart CPS platform.

**T**HE GLOBAL MANUFACTURING INDUSTRY HAS FACED CONTINUING challenges over recent years to improve manufacturing performance and sustainability. There are a number of reasons for this, including the entrenched traditional approaches of an increasingly aging workforce, the changing landscape of global manufacturing, and the relatively slow adoption of smart IT innovations in the production environment. In response, the U.S. government has now launched sweeping economic strategy plans that aim to strengthen the domestic manufacturing sector while also accelerating the growth of new product markets. As part of these plans, the U.S. government recently established a number of new manufacturing innovation institutes across the country, including innovation hubs that focus on Additive Manufacturing in Ohio, Low-Power Semiconductor Manufacturing in North Carolina, and Digital Manufacturing and Design Innovation (DMDI) and Light Weight Materials in Michigan. These dedicated new hubs followed the launch in 2013 of the Smart America Challenge, a collaborative initiative to showcase the use of advanced cyber-physical systems (CPS), also known as the Internet of Things (IoT), in different sectors, including manufacturing.

Across the Atlantic, Germany has also initiated a national effort that aims to trigger what it calls the fourth industrial revolution (or Industry 4.0). This is designed to help transform industrial production by the creation of “Smart Factories” and turn manufactured goods into “Smart Products” based on the extensive adoption of a cyber-physical systems platform. Industry 4.0, spurred by technological innovations in information technology, analytics, automation engineering, and other emerging technologies, promises to be the next, imminent industrial revolution for manufacturing.

### *Towards an Industry 4.0 Factory*

**F**ollowing its formal announcement at the 2013 Hannover Fair, there has been a huge amount of interest in Germany’s Industry 4.0 initiative across the global manufacturing sector.

Industry 4.0 is a forward-looking plan developed under the auspices of the German Federal Government’s High-Tech Strategy group. Focusing on cyber-physical systems, Industry 4.0 is regarded as the next-generation production framework for the fourth industrial revolution.

The German approach suggests that first revolution occurred by the end of the 18th century with the mechanization of manufacturing processes. Towards the start of the next century, in the second industrial revolution, electricity was utilized to power mass production of goods based on the division of labor (station-oriented). By the 1970s, the third industrial revolution emerged using electronics and information technology (IT) to achieve more automation of manufacturing operations. Industry 4.0 is the next step and its successful development and implementation promises to have game-

	Data Source	Today's Factory		Industry 4.0	
		Attributes	Technologies	Attributes	Technologies
<b>Component</b>	Sensor	Precision	Smart Sensors and Fault Detection	Self-Aware Self-Predict	Degradation Monitoring & Remaining Useful Life Prediction
<b>Machine</b>	Controller	Productibility & Performance	Condition-based Monitoring & Diagnostics	Self-Aware Self-Predict Self-Compare	Up Time with Predictive Health Monitoring
<b>Production System</b>	Networked System	Productivity & OEE	Lean Operations: Work and Waste Reduction	Self-Configure Self-Maintain Self-Organize	Worry-free Productivity

Table 2: Comparison of today's factory and an Industry 4.0 factory

changing business potential.

Industry 4.0 assumes that industrial production in the future will be characterized by a high degree of customization of products, supported by highly flexible and agile manufacturing operations.

Imagine having the capabilities that will allow a manufacturer to meet individual customer requirements while maintaining very low production volumes (as low as a single unit) and still make a profit. Manufacturing operations will be more forgiving to disruptions and last-minute changes to production. There will also be end-to-end transparency over the entire manufacturing process, allowing decision-makers to make informed decisions at any point in the production process.

In the longer term, the Industry 4.0 platform and its associated technologies also aim to address, and even solve, some important current global challenges, such as resource and energy efficiency, allowing

the entire value network to enjoy continuous resource productivity and efficiency gains, allowing workers to move away from low-value, routine tasks to work on more creative, value-added activities, and as a consequence, providing an opportunity for older workers to stay in their jobs longer while still being more productive. These long terms goals of Industry 4.0 clearly address many of the key challenges facing today's modern manufacturing industry.

Some of the main differences between the attributes of today's factories, versus Industry 4.0 factories, are illustrated in Table 1.

**Smart Predictive Analytics**

The potential repercussions of Industry 4.0 for the manufacturing sector are exciting and uplifting. With the right implementation, Industry 4.0 may well help revitalize manufacturing competitiveness.



**Hung Ann Kao** is a PhD researcher at the IMS Center of the University of Cincinnati. Her research interests are cloud-based manufacturing and smart analytics for CPS.



**Dr. Edzel Lapira** is president of Predictronics Corp., a spinoff of the NSF/IUCRC for Intelligent Maintenance Systems where he previously served as Associate Director at the University of Cincinnati. He's been involved in numerous predictive monitoring R&D projects with organizations including Caterpillar, Toyota, Nissan, TechSolve, and GlobalFoundries. He is also the co-inventor of several asset monitoring patents for wind turbines, industrial robots, and EV batteries.

**Industry 4.0 is regarded as the next generation production framework for the fourth industrial revolution.**



Industry 4.0 assumes that industrial production in the future will be characterized by a high degree of customization of products, supported by highly flexible and agile manufacturing operations.

So, how can Industry 4.0 be implemented? The initial German initiative copiously mentioned the adoption of a cyber-physical system (CPS) platform in the implementation of this high-tech strategy. However, these recommendations provide limited insights about the definition and implementation guidelines for CPS. It is simply identified as a key priority for research, along with other foundational technologies of Industry 4.0.

Though CPS might still be in its infancy in Germany, the U.S. has already been investing in this approach in research activities, through the National Science Foundation, since 2006.

CPS is a complex engineering system that integrates physical, computation, and

networking/communication processes. CPS can be illustrated as a physical device/object/equipment that is translated into cyberspace as a virtual model. With networking capabilities, the virtual model can monitor and control its physical aspects, while the physical objects send data to update and improve the virtual model. In order to build and maintain such virtual models, intelligent predictive analytics are utilized. Such advanced analytics can then be used to intelligently process all the data that is generated from all IoT and networked sensors (IoS). If CPS is the foundation for a successful implementation of Industry 4.0, then so are the advanced predictive analytics aspects of CPS.

One area that is already leveraging such intelligent algorithms is in prognostics and health management (PHM). This involves estimating the condition of a manufacturing asset/process, the identification of in-

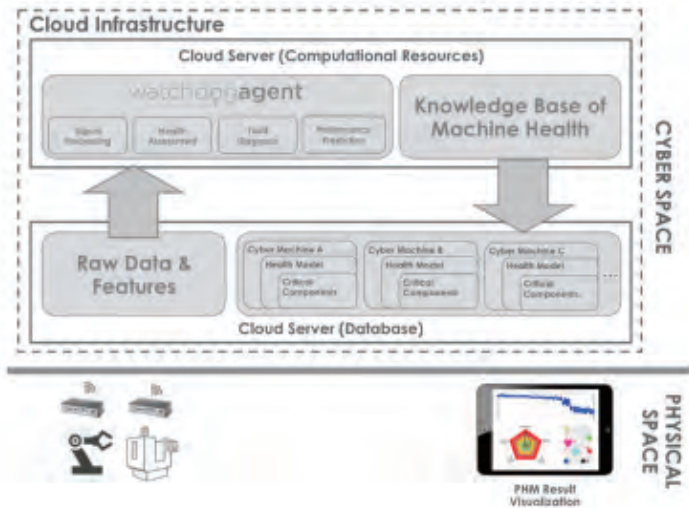


Figure 1. Cyber-physical modeling for manufacturing asset monitoring



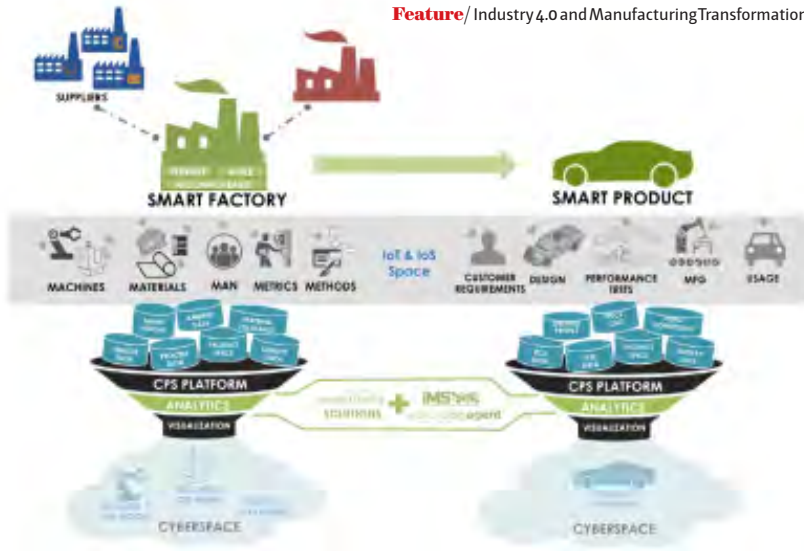


Figure 2. Framework for using cyber-integrated analytics in the Industry 4.0 platform

ipient or early signs of degradation, the inference of the next failure event, and the diagnosis of the impending fault event so that appropriate proactive maintenance action can be performed to avoid potentially catastrophic and expensive machine downtime altogether (see Figure 1).

### ***Cyber-integrated Predictive Analytics for Industry 4.0***

**T**he goals of industry 4.0 are to improve the overall competitiveness of the manufacturing sector while accelerating the growth of new areas of business. As a technology investment, Industry 4.0 therefore promises to deliver a twofold benefit. An Industry 4.0 platform may not only provide improvements in how companies operate their manufacturing assets by creating so-called “Smart Factories,” it also opens the doors to new markets through the development of inno-

vative smart products and even services. In order to attain the benefits and goals of Industry 4.0, essential platform components need to be in place and harmoniously utilized, as illustrated in Figure 2.

The Smart Factory should be agile, flexible and reconfigurable, and easily adaptive to changes in market demands and customer requirements. It is also expected to work collaboratively with other factories and even suppliers. Manufacturing transparency is therefore key to seamlessly exchanging information and resources across, and between, Smart Factory networks.

### ***An Industry 4.0 Example***

**P**redictronics Corporation is a spinoff from the National Science Foundation (NSF) Industry-University Cooperative Research Center for Intelligent Maintenance


**Further Reading:**

- 1 Lee, J., Kao, H.A., Industry 4.0 in Big Data Environment, *German Harting Magazine* 26, 2013, pp. 8-10.
- 2 Lee J., Lapira E. Recent Advances and Trends in Predictive Manufacturing in Industry 4.0 Environment, *Uptime Magazine*, December 2013- January 2014.
- 3 Lee J., Lapira E., Bagheri B., Kao H. Recent Advances and Trends in Predictive Manufacturing Systems in Big Data Environment, *SME Journal of Manufacturing Letters*, 2013;38:41
- 4 Lee J., Lapira E. Predictive Factories: The Next Transformation, *Manufacturing Leadership Journal*, Feb 2013;
- 5 Lee J., Lapira E., Yang S., Kao H.A. Predictive Manufacturing System Trends of Next Generation Production Systems, *Proceedings of the 11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, 2013;150-156.
- 6 Lee, J., Bagheri B., and Kao H. A. A Cyber Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems, *SME Journal of Manufacturing Letters* (2014).

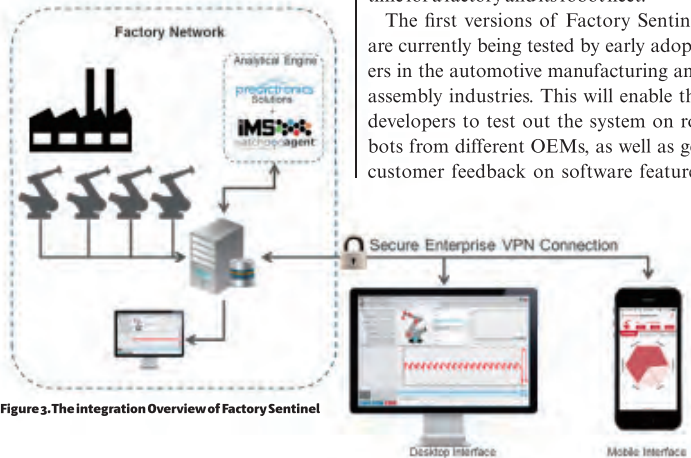
Systems (IMS) at the University of Cincinnati. Since 2001, the IMS Center has been developing a toolbox of predictive analytics, called the Watchdog Agent®, and validating the approach with consortium members from different market segments. Predictronics has licensed this technology to build predictive monitoring solutions such as the Factory Sentinel (see Figure 3).

The first version of Factory Sentinel includes a health-monitoring solution for industrial robots. It will provide an early detection of incipient failure through degradation assessment, instead of the traditional fault-detection solutions that sound an alarm when the fault has already occurred. This will enable manufacturers to proactively perform maintenance before the actual fault occurs without disrupting expected production schedules.

The software solely uses data collected from the robot controller; therefore no additional sensors need to be installed. Signature information from the torque signal from each axis on the robot creates a fingerprint of the robot's behavior. Through advanced analysis methods and a comparison with the baseline behavior, a single degradation health index can be calculated for each robot, providing easy-to-read information for operators and maintenance technicians. Contribution plots can also be used to isolate a particular problem on a given robot axis. This can help aid in repair and troubleshooting for the maintenance team when some early signs of robot degradation are found.

Examples of the robot health monitoring software are highlighted in Figure 4 and Figure 5, which show the health value, contribution plots, and other visual information. With greater transparency of the robot's health condition, there should be fewer surprises and less unplanned downtime for a factory and its robot fleet.

The first versions of Factory Sentinel are currently being tested by early adopters in the automotive manufacturing and assembly industries. This will enable the developers to test out the system on robots from different OEMs, as well as get customer feedback on software features



**Figure 3. The integration Overview of Factory Sentinel**

and functionalities. Future functionalities include integration with Enterprise Resource Planning (ERP) and Manufacturing Execution Systems (MES), mobile applications for visualizing the health results, and the inclusion of automated trend and prediction tools into the software.

### **The Industry 4.0 Journey**

**T**echnological innovations in products and processes have been catalytic to the transformation of manufacturing for several centuries. The astounding advances in information technology, automation engineering, cloud infrastructure, analytics, new manufacturing technologies such as additive manufacturing, and even social media, have gradually started to reshape how manufacturing businesses are now being conducted, shattering traditional business models and paradigms.

In Industry 4.0, traditional production facilities are converted into Smart Factories that in turn make Smart Products. But the journey towards Industry 4.0 is expected to be gradual and evolutionary. Many of the basic underlying technologies still need to be researched. Existing manufacturing infrastructures will have to be adapted to the requirements of Industry 4.0. New tools, technologies and methodologies to create effective CPS

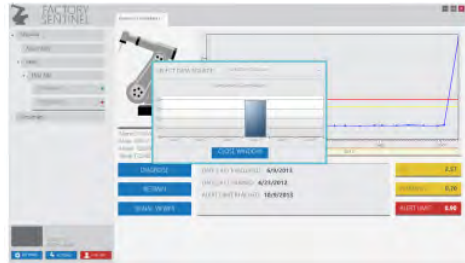


Figure 4. Health Value Plot and Contribution Values for Factory Sentinel Software

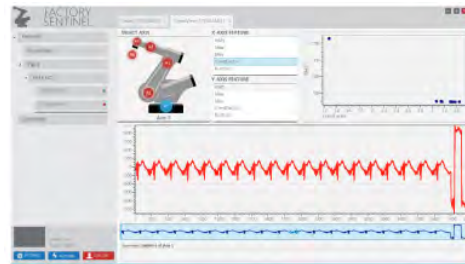


Figure 5. Signal and Feature View Interface-Factory Sentinel Software

models will need to be developed.

But if adopted and implemented successfully, Industry 4.0, using cyber-integrated advanced analytics, will help companies improve their global competitiveness, restore their domestic manufacturing industry, and break ground in new market opportunities. **M**

**The journey towards Industry 4.0 is expected to be gradual and evolutionary. Many of the basic underlying technologies still need to be researched.**





# Cyber Physical Systems – An Aerospace Industry Perspective

*Don Winter*  
VP- Engineering & Information Technology  
Boeing Phantom Works

Nov 2008

BOEING is a trademark of Boeing Management Company.  
Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

This document does not contain technical data as defined in the International Traffic in Arms Regulations (22 CFR 120.10) or the Export Arms Regulations (15 CFR 778.1).

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 14/2007 | 1

## Who we are: Phantom Works Charter - Technology Transition to Multiple Customers

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

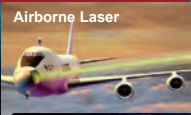


787-18 Wing Panel –  
Flex Track

F-15K Flex Track

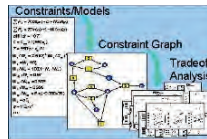


P-8A

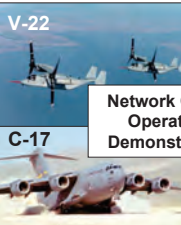


Airborne Laser

### Design Sheet Applications



Joint Tactical Radio System



V-22

C-17



E-3

B-52

Network Centric  
Operations  
Demonstrations



Ground Vibration  
Testing  
Advancements  
BCA & IDS  
platforms

# Boeing is a Key CPS Stakeholder

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

- **The Boeing Company is working a rich set of application areas that are benefiting from CPS research**
  - Air (military and commercial)
  - Space (high-reliability applications)
  - Land
- **Applications involve multiple networked CPS systems**
  - Safety-critical aspects
  - Security
  - Need for predictability in face of dynamic environments
- **Aircraft platforms**
  - Commercial
    - Stringent Certification and V&V processes and standards
  - Military
    - Piloted and autonomous aircraft
    - Support all services
    - Varying levels of V&V requirements



Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 3

## Testimony before House Committee on Science and Technology – 31 July 2008

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology



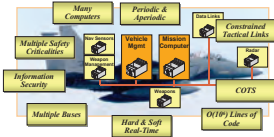
- **CPS are of great importance to Boeing, the Aerospace Industry**
- **“The challenges today are far greater than those faced in even the recent past and continue to grow as individual systems evolve, operate with greater autonomy and intelligence, and operate as part of a networked system of systems,”**
- **“Requirements for cyber-physical systems and software are far more stringent than those for typical office automation applications. Our systems must support real-time behavior. We require ultra-high reliability and many of our systems are safety critical and require certification.”**

Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 4

# Today's Aerospace Systems are Increasingly CPS-Intensive

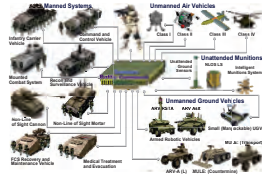
- Aerospace systems for today and beyond
  - New capabilities
  - Agile behavior in highly dynamic operating environments
  - Operation in a SoS Network



Software Size



- Avionics S/W challenges – 100M – >1B SLOC
- Software Intensive Systems
- Multiple levels of criticality

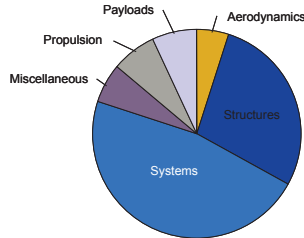


Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

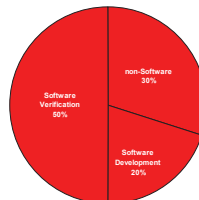
EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 5

## Importance of Software to Aerospace Systems

- Aerospace systems cost trend is shifting away from traditional structures, aero and propulsion to software and systems
- Software verification is becoming one of the leading components of system cost – supporting FAA flight certification
- Verification will become even larger challenge as systems become more highly integrated



Typical Recent Commercial Aircraft Cost Distribution



Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

IOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 6

# Commercial Aerospace Environment of Tomorrow

167

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

- **Worldwide commercial aircraft environment**
  - A complex network of systems, processes, & people
  - Evolved independently over decades
- **This industry is now undergoing a major paradigm shift**
  - Explosion of Information Technology (IT)
  - Increasing costs and passenger demands
- **This needs to be a Network Enabled Environment**
  - To improve efficiency & reduce cost
  - Still in its infancy for Commercial airplanes



Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no\_icon.ppt | 7

## Commercial Aviation Challenges & Opportunities

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

**Integrated Network infrastructure can be divided into 5 groups:**

1. Onboard Connectivity
2. Off board Connectivity
3. Network Interoperability Technologies
4. Information Architecture
5. Information Management (Post processing)

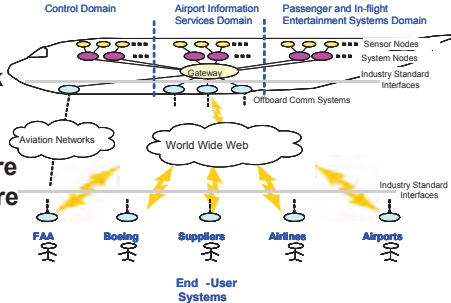


Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no\_icon.ppt | 8

# Security Considerations for Future Commercial Aircraft Environment

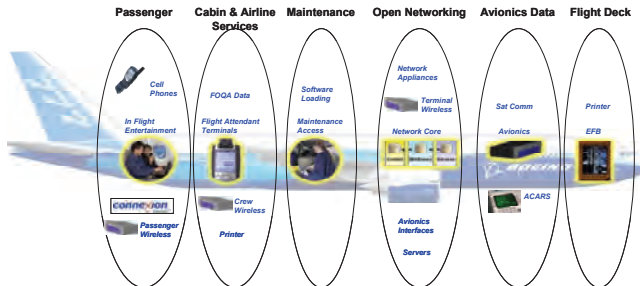
- Security is a critical component of aviation industry
- When integrated, the network will span various levels of security requirements
- In the past some of these were physically separated to ensure robust security
- In an integrated environment we will have to depend on logical separations, without any security compromise
- Requires breakthrough security technologies that can be deployed worldwide



Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 9

# CPS Needs in Wireless Sensor Technologies



- Current sensors impose extensive wiring and power requirements that limit their use
- Breakthrough technologies in wireless sensing and actuation required
  - Extremely low energy or energy harvested sensors
  - Highly efficient sensor communication
  - Have high availability
  - Highly secure
  - Spectrum compliant, globally

Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 10



# Trends in Military Aerospace Systems

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

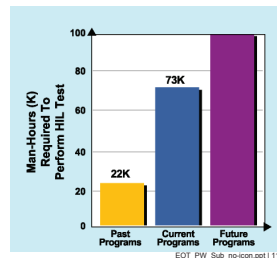
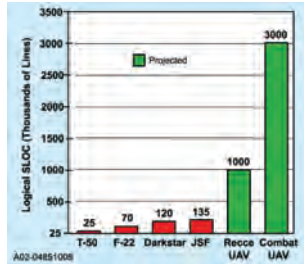
Engineering & Information Technology

- Future military systems will incorporate greater intelligence and autonomy resulting in highly complex systems
- Future autonomous systems will no longer be limited to operating in restricted airspace
- CPS technology advances in characterizing system behavior needed to reflect both system complexity and need to meet similar safety critical levels systems.



In Aug. 2003, Global Hawk became first UAV – although not autonomous - to receive authorization from FAA to fly in National Airspace

Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

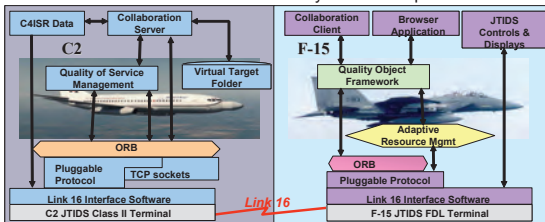


# Dynamic System Behavior is Critical to Future Systems

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

Previously cleared for public release – NSF Nov 2006



- New applications require dynamic behaviors
  - Mixture of hard and soft real-time tasks
  - Active resource management and dynamic scheduling
  - Mode changes with component configuration changes
  - Dynamic changes to system membership (e.g. swarms)
  - Capability to handle vast numbers of elements (1000's)
- Current component/system models favor static systems
  - CCM
  - Bold Stroke / OCP
- Must meet Embedded/Real-Time constraints in a dynamic setting
  - Need to handle during system execution things that were typically dealt with "out of band" at startup

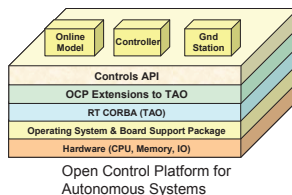
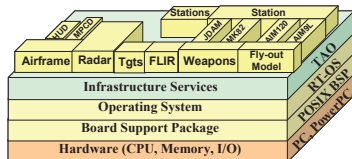
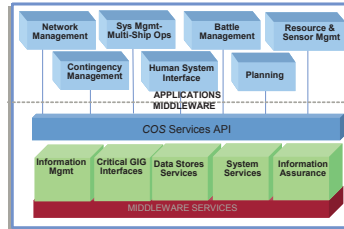
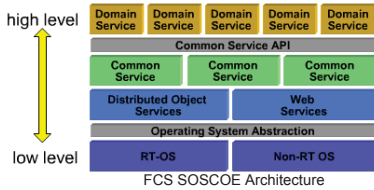
Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 12

# Multi-disciplined CPS Research Agenda Is Required

- **Advances in technologies such as model-based development tools, methods, and validation environments to build systems rapidly and affordably**
- **Product focused technologies including software reuse, architectures, real-time theory, languages, and product line architectures to achieve system affordability by recouping investment across multiple system developments.**

# Product Line Architectures are Part of the Solution



## Verification, Validation and Certification Challenges

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

- **V&V and Certification is expensive, and getting more expensive, for fielded systems**
- **Future advanced manned and un-manned systems may not fit naturally under current V&V and Certification regimes**
- **Need approaches for efficient V&V and Certification for emerging technologies for them to be deployable**
  - **Multi-entity Systems**
  - **Human interaction with Autonomy.**
  - **Fused Sensor Systems**
  - **Adaptive Systems that change with environmental stimulus**
  - **Mixed Criticality - Functions dependent on information of varying confidence**



Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 15

## Government-Sponsored CPS Research Contributes to the Solution

Engineering, Operations & Technology | Phantom Works

Engineering & Information Technology

- **NSF CPS Research Initiative**
- **AFRL Flight Critical Systems & Software Initiative**
- **OSD Software Intensive Systems**

Copyright © 2007 Boeing. All rights reserved.

EOT\_PW\_Sub\_no-icon.ppt | 16

# The Way Ahead

- **Corporate research dollars for CPS are limited**
  - Focus on short and mid-term investments in technology to make our products more attractive in a highly competitive market place and enhance our shareholder value.
- **CPS investments cross multiple technology domains and require industry-level critical mass to achieve the needed results**
- **National strategy in which long-term CPS technology needs are achieved by combined Government and Corporate investment is required**
- **Need to more effectively engage Industry in transitioning CPS research into real systems**



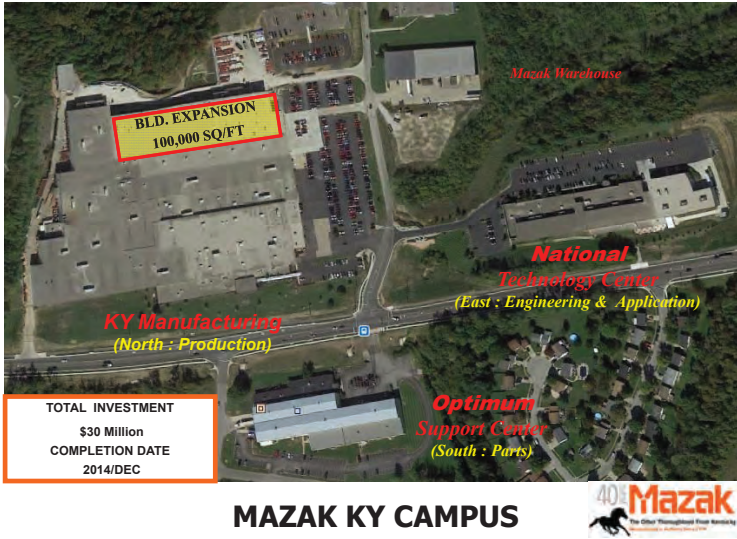
# ***BUILDING THE iSMART FACTORY***



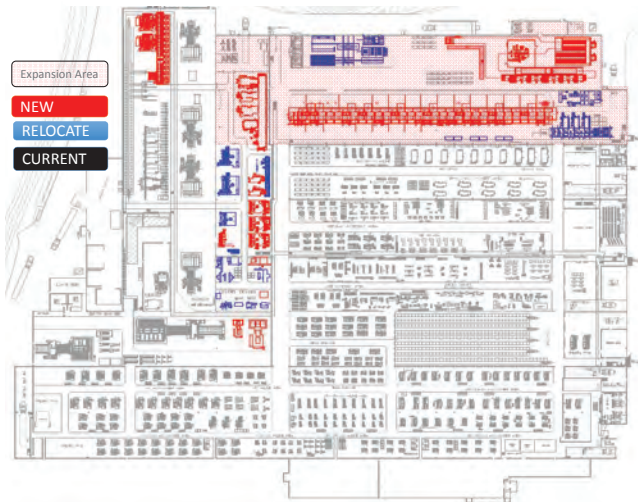
## **MAZAK KY MANUFACTURING**

- **KY manufacturing operation - Celebrating 40 years in 2014**  
First Japanese manufacturing company established in KY (1974)
- **Manufacture 114 different CNC lathes & machining centers**
- **Manufacturing capacity of over 200 units/month**
- **Machines designed and built in KY to meet the needs of the North American market**
- **Quality & reliability driven by continuous improvements with ISO 9001:2008 certification**
- **Continuous investment enables the manufacture of technologically advanced high quality machines**
- **Currently 536,000 sq/ft manufacturing facility**  
- Total Mazak KY campus 800,000 sq/ft
- **\$30 million investment in KY manufacturing operation in 2014**  
- \$19 million new capital equipment & machine monitoring software



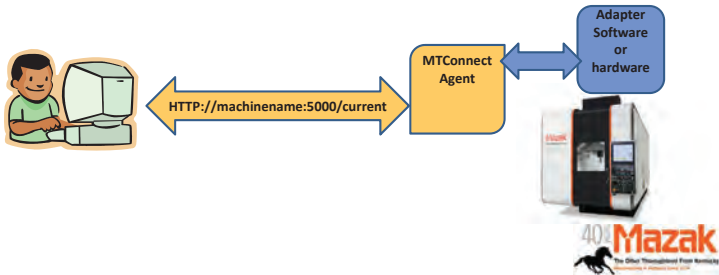


## KY FACTORY EXPANSION



## *Creating Shop Data Network ~Through MTConnect~*

- ★ **Created a data network infrastructure of fiber optic cables with data drops to all equipment**
- ★ **MTConnect is an open/royalty-free standard for manufacturing – Bluetooth for manufacturing**



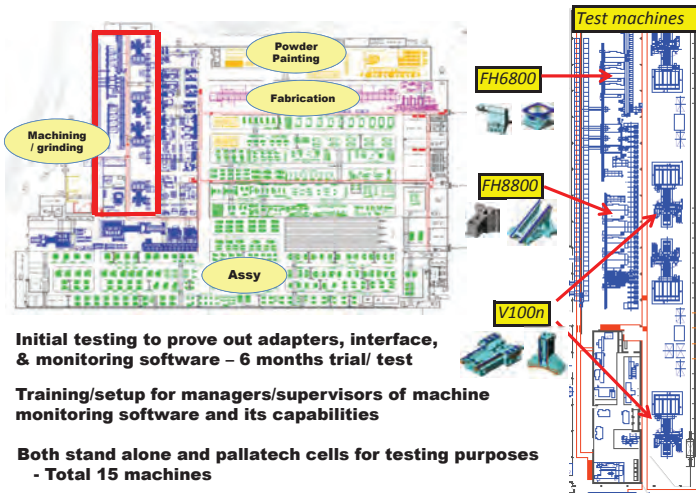
## *Machine Monitoring Software ~Through MTConnect~*

**Goal:** Improve machine efficiency through a better understanding of issues affecting downtime

- ★ **Evaluated six Monitoring System software packages by task team – included operators**
- ★ **Selected Memex Monitoring System for all types of equipment - current and future.**
- ★ **Use existing machine signals to see what is happening in real time.**
- ★ **MTConnect utilizes these signals in conjunction with the Memex monitoring Software.**
- ★ **Simple reporting capability for results analysis.**



## Initial Testing Machines For Monitoring



- Initial testing to prove out adapters, interface, & monitoring software – 6 months trial/ test
- Training/setup for managers/supervisors of machine monitoring software and its capabilities
- Both stand alone and pallettech cells for testing purposes
  - Total 15 machines

## Monitoring Features of Software

~software monitors any item that produces signals~

### Configurable monitoring features

OEE ~ Overall Equipment Efficiency

- ★ Availability ~ Scheduled time verses machine availability
- Quality ~ Part counts- good/bad/total part
- Performance ~ Planned schedules verses actual
- ★ Downtime ~ individual/group - reasons for loss

### Our Focus

- Improve machine availability by understanding why machine is stopped



# Dashboard Monitoring Screen

**Quick Read Gages for OEE results**

- Viewed on supervisor/ managers computers
- Displayed on shop floor monitors



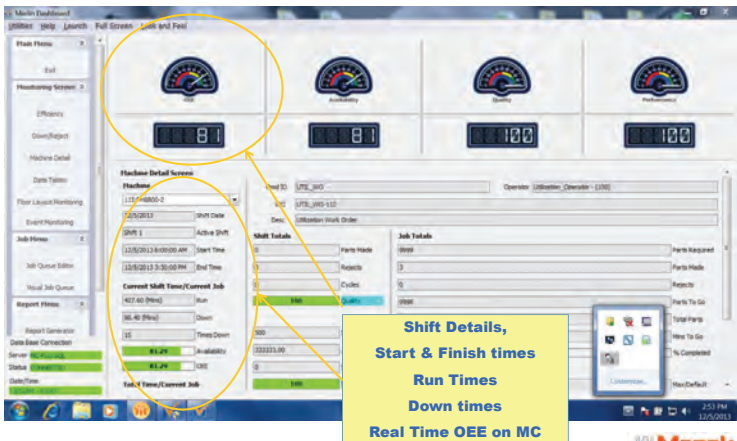
**Machine Lists for monitoring**

**Customize dashboards**



# Individual Machine Dashboard Screen

- Can view all details on MC in one screen



**Shift Details,  
Start & Finish times  
Run Times  
Down times  
Real Time OEE on MC**



## 60” Monitors on production floor displaying real time data

- Monitors placed for ease of operator viewing displaying dashboard data
  - Total of 6 Monitors placed on shop floor in different areas
- Increase operator awareness of how down times affect efficiency



## MTCConnect Signals Being Monitored

~Currently monitoring on test machines~

- **Mazak CNC Machine Tools**
  - In-cycle
  - Feedhold
  - M00/ M01/ M30
  - Speeds/ feeds
  - Estop/ alarms
  - Auto/ manual modes
- **CNC Grinders**
  - In-cycle
  - Feedhold
  - M00/ M01/ M30
  - Speeds/ feeds
  - Estop/ alarms
  - Auto/ manual modes
- **Manual Grinders**
  - In-cycle

## Downtime Causes

ESTOP	V100N-4	11/27/2013 Day	0.02	1.27	2
ESTOP	V100N-3	11/27/2013 Shift 2	0.88	35.07	1
ESTOP	V100N-4	11/27/2013 Afternoon	0.69	35.73	1
ESTOP	V100N-1	11/27/2013 Shift 3	5.96	357.12	111
ESTOP	V100N-2	11/27/2013 Shift 3	7.40	443.90	1
ESTOP	V100N-3	11/27/2013 Shift 3	8.00	480.00	1
ESTOP	V100N-4	11/27/2013 Night	8.00	479.98	1
M00_M01	V100N-1	11/27/2013 Shift 1	0.02	1.38	5
M00_M01	V100N-3			1.33	5
M00_M01	V100N-4	11/27/2013 Shift 1	0.02	1.33	9
M00_M01	V100N-1		1.25	75.62	26
M00_M01	V100N-2		0.73	43.83	5
M00_M01	V100N-4		0.46	27.83	4
M00_M01	V100N-3		0.88	52.50	2
M00_M01	V100N-4		0.72	43.22	4
M00_M01	V100N-1		0.09	5.15	6
M00_M01	V100N-2		0.60	36.10	1
M00_M01	V100N-3		0.01	0.65	2
FEED_HOLD	V100N-3		0.32	19.38	5
FEED_HOLD	V100N-3		0.02	1.18	2
FEED_HOLD	V100N-1		1.29	77.58	42
FEED_HOLD	V100N-2		0.00	0.17	2
FEED_HOLD	V100N-3		0.04	2.10	2
FEED_HOLD	V100N-4		0.30	18.22	1
FEED_HOLD	V100N-1	11/27/2013 Shift 3	0.00	0.08	1
FEED_HOLD	V100N-1	11/27/2013 Shift 1	0.07	57.98	26
FEED_HOLD	V100N-2	11/27/2013 Shift 1	1.03	61.63	2
FEED_HOLD	V100N-3	11/27/2013 Shift 1	1.21	72.75	6
FEED_HOLD	V100N-4	11/27/2013 Day	1.01	60.62	72
FEED_HOLD	V100N-1	11/27/2013 Shift 2	0.11	6.82	6
FEED_HOLD	V100N-2	11/27/2013 Shift 2	0.01	0.57	2
FEED_HOLD	V100N-4	11/27/2013 Afternoon	0.01	0.52	3
ADAPTER_DN	V100N-1	11/27/2013 Shift 1	0.63	37.88	148
ADAPTER_DN	V100N-4	11/27/2013 Day	0.07	4.17	1
ADAPTER_DN	V100N-1	11/27/2013 Shift 2	0.73	43.82	149
ADAPTER_DN	V100N-1	11/27/2013 Shift 3	0.69	41.38	144
ADAPTER_DN	V100N-1	11/27/2013 Shift 1	0.07	4.28	2
POWER_OFF	V100N-2	11/27/2013 Shift 1	0.71	42.60	2
POWER_OFF	V100N-3	11/27/2013 Shift 1	0.76	45.07	2
POWER_OFF	V100N-4	11/27/2013 Day	1.03	61.90	2
IDLE	V100N-1	11/27/2013 Shift 1	0.04	26.52	27
IDLE	V100N-2	11/27/2013 Shift 1	0.36	21.80	2
IDLE	V100N-3	11/27/2013 Shift 1	0.56	33.48	14
IDLE	V100N-4	11/27/2013 Day	0.36	21.47	15
IDLE	V100N-1	11/27/2013 Shift 2	0.26	15.38	22
IDLE	V100N-2	11/27/2013 Shift 2	0.86	33.58	7
IDLE	V100N-3	11/27/2013 Shift 2	1.56	93.45	6
IDLE	V100N-4	11/27/2013 Afternoon	1.34	80.33	9
IDLE	V100N-1	11/27/2013 Shift 3	0.47	28.17	11
Shift Date = 11/27/2013			52.75	3,165.13	922
Grand Totals			786.14	47,168.65	16263

**M00/M01 Program Stop**  
**Feed Hold**  
**Idle**  
**The most used downtime**

## Action Items Identified

~Based on downtime data analysis~

- Idle time Reduction

- Add floor monitors to all areas – operator awareness/ time management
- Add Spare tooling to allow quicker change over of tooling from shift to shift
- Added loading station operator to ensure parts loaded to keep system operating
- Modify programs to compensate for casting differences between foundries



## Action Items Identified

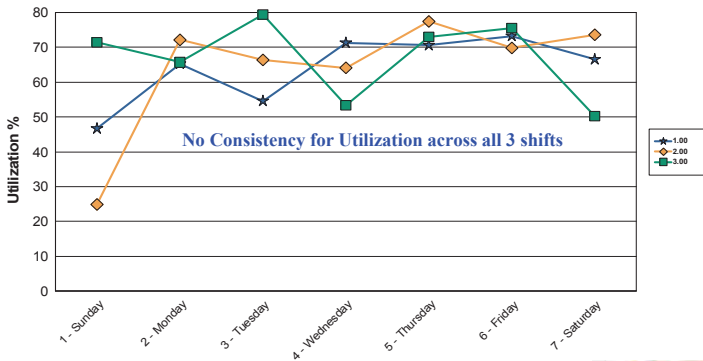
~Based on downtime data analysis~

- **Feed Hold Reduction**
  - *Use ATC stop while servicing tooling – training issue*
  
- **M00/M01 ~ Program stop Reduction**
  - *Eliminate – resolve tooling & casting issues*
  
- **Emergency stop – machine alarm**
  - *Faster response from maintenance by real time machine monitoring*



## V100 Machining Line Nov Results

- **Four Machines w/ 2 pallet changers – two operators/ shift**

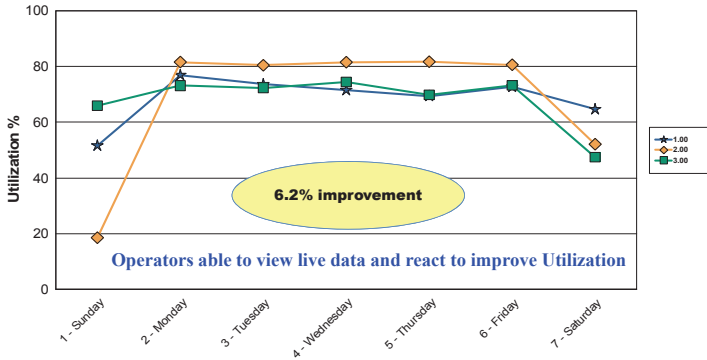


- **Machine Utilization by operator shifts**



# V100 Machining Line Dec Results

- Four Machines w/ 2 pallet changers – two operators/ shift

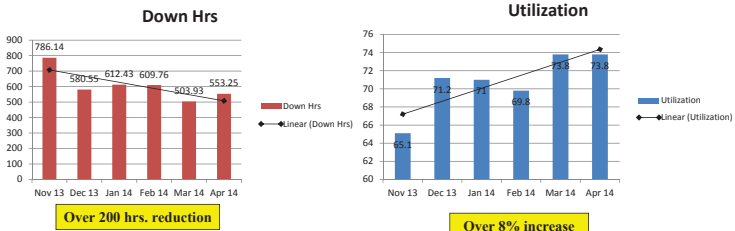


- Machine Utilization by operator shifts



# V100 Machining Line Results

- Four Machines w/ 2 pallet changers – two operators/ shift



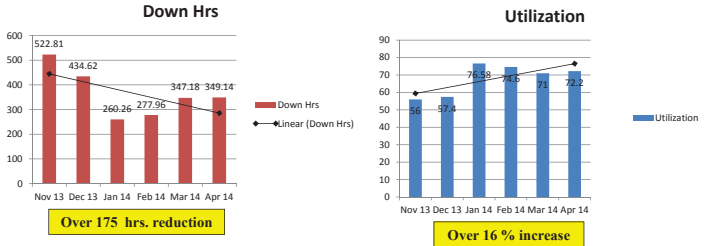
## Action Items

- Installed 60 monitors on shop floor for operator visualization
- Additional spare tooling to reduce tool maintenance time
- Reduced/ eliminated feedholds & program stops by training/ program modifications



# FH6800 Machining Line Results

- **Three Machines w/ 54 palletec system – two L/S – 1 OP/shift**



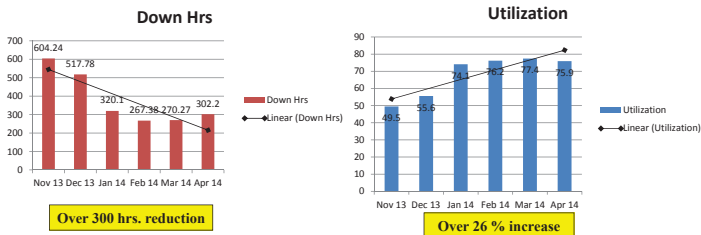
### Action Items

- **Installed 60 monitors on shop floor for operator visualization**
- **Modify programs to compensate for casting variations**
- **Reduced/ eliminated program stops by program modifications**



# FH8800 Machining Line Results

- **Four Machines w/ 144 pallet FMS – three L/S – 1 OP/shift**



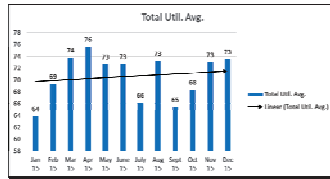
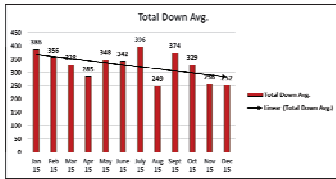
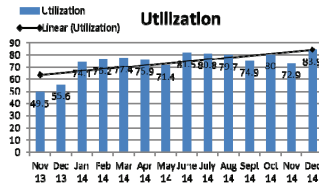
### Action Items

- **Installed 60 monitors on shop floor for operator visualization**
- **Modify programs to compensate for casting variations**
- **Reduced/ eliminated program stops by program modifications**
- **Added additional operator trainee on second shift**



# Overall Equipment Efficiencies Results

## MACHINING/ GRINDING TOTAL



## i-Smart Factory Monitoring

### Machine Monitoring Benefits

- Real time data across all equipment
- Analyze downtime data to implement actions to improve efficiency – Total 17% overall improvement
- Bring work in house – 400 hours/mo
- Reduce operator OT – 100 hours/mo
- Increased utilization by operator awareness through visualization of data on shop floor
- Ease of adding equipment through MTConnect & Memex software



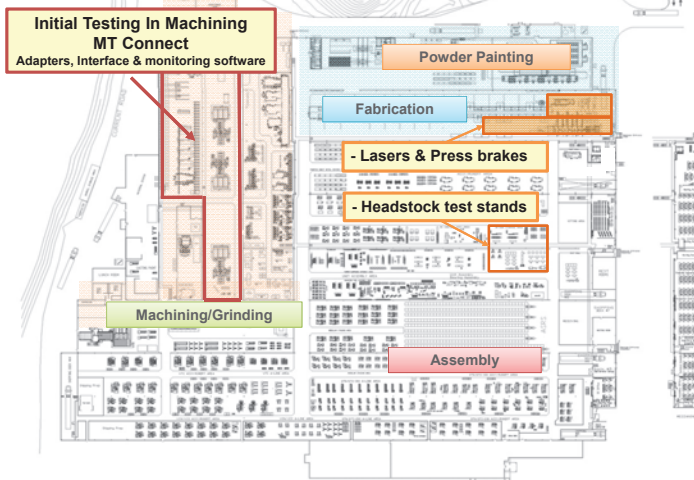
# Monitor all new machining investments

~Expand monitoring to other equipment~

- **CNC Lasers**
  - Shutter open (laser discharging)
  - Waiting to be loaded/ unloaded
  - Estop/ alarms
  - Auto/ manual modes
- **CNC Press Brakes**
  - In-cycle
  - Program finish/ M30
  - Estop/ alarms



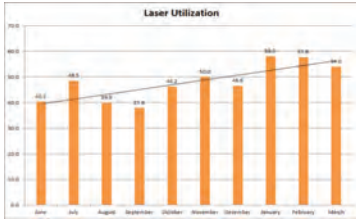
## i-Smart Factory Monitoring



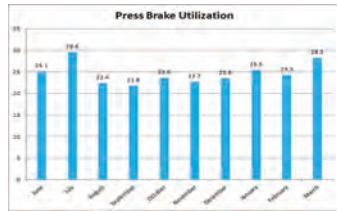


# Overall Equipment Efficiency Results

## LASER/ PRESS BRAKES



Lasers



Press Brakes

### Action Items

- Minimizing optional parts – moved to off line laser
- Staged brake parts to minimize die changes
- Installed 60 monitors on shop floor for operator visualization

## Dashboard Monitoring Screens

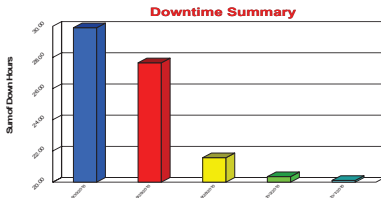


60" Monitors on production floor displaying real time data



## Machine Monitoring Reporting ~ FMF

Shift Name = Shift 1				16.71	1,002.30	113
ESTOP	V100N-3	10/2/2015	Shift 2	0.02	1.42	1
M00_M01	V100N-3	10/2/2015	Shift 2	0.27	16.48	2
M00_M01	V100N-1	10/2/2015	Shift 2	0.10	5.93	6
M00_M01	V100N-2	10/2/2015	Shift 2	0.01	0.35	2
M00_M01	V100N-4	10/2/2015	Shift 2	0.08	4.53	1
FEED_HOLD	V100N-2	10/2/2015	Shift 2	0.60	35.75	10
FEED_HOLD	V100N-4	10/2/2015	Shift 2	0.00	0.08	1
MANUAL	V100N-1	10/2/2015	Shift 2	0.37	22.10	10
MANUAL	V100N-2	10/2/2015	Shift 2	0.89	53.47	10
MANUAL	V100N-4	10/2/2015	Shift 2	0.06	3.77	2
ADAPTER_DN	V100N-3	10/2/2015	Shift 2	0.02	1.27	7
IDLE	V100N-3	10/2/2015	Shift 2	0.02	1.43	2
IDLE	V100N-4	10/2/2015	Shift 2	0.24	14.40	6
IDLE	V100N-2	10/2/2015	Shift 2	0.56	33.67	20
IDLE	V100N-1	10/2/2015	Shift 2	0.41	24.38	23
Shift Name = Shift 2				3.65	219.03	103
Shift Date = 10/2/2015				20.36	1,221.33	216
Grand Totals				119.60	7,175.72	1180



V100n ~ 4mcs x 24hr x 5days.  
 480 hrs capacity  
 119.6 hrs downtime  
 25% lost time - why?

### Adding Operator Portals to enhance machine monitoring

#### First Step : - only monitor signals that NC generates

- Manual mode
- Feed Holds
- Idle

**Idle reasons are not Identified – what caused idle state?**

**Manual, Feed Hold states -why this event occurred?**

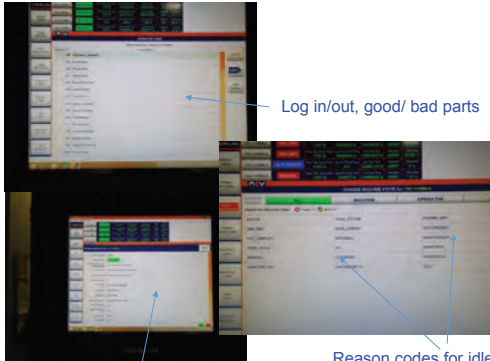
#### Second Step : - add operator portals for more inputs

- Allows operators to identify causes of events
  - Setups – tooling/ fixtures
  - Test cutting/ program prove out
  - Scheduled maintenance – coolant/ cleaning/ oil
  - Lack of materials/ quality checks
- Reports generated as to root cause of an event
- Allows additional action plans to improve

# Next Step of the i-Smart Factory

## ~Expand monitoring to include operator input~

Operator Portals for data entry



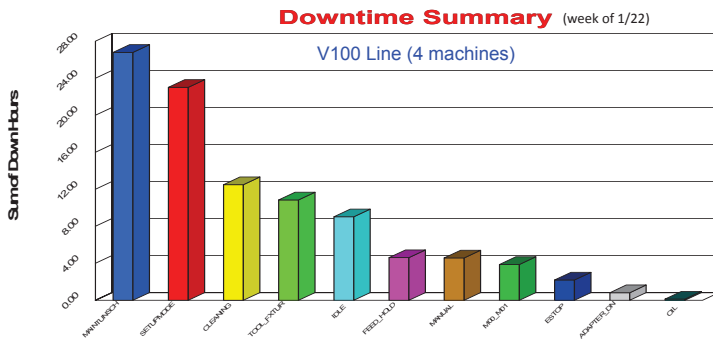
Machine selections

Log in/out, good/ bad parts

Reason codes for idle times on equipment.

- Touch screens
- Menu selection
- Quick and easy inputs
- Located in each cell
- Allows operators to log in on specific machines
- Report by shift/ operator/ machine

## i-Smart Factory Monitoring



- identifies causes of downtime events
- Reports generated by shift/ operator
- Create action plan on areas needing improvement

# i-Smart Factory Monitoring



## Operator Portals

~Expandable for future needs~

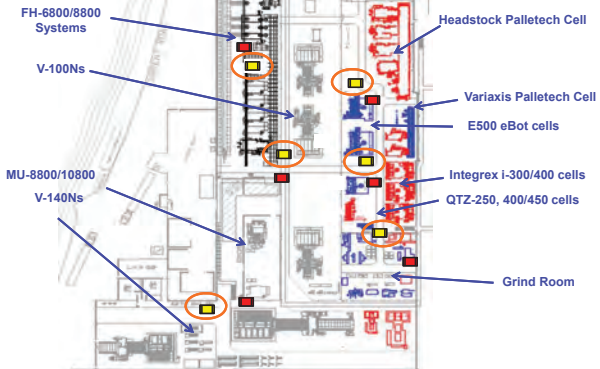
- **Compatible with Microsoft Dynamics AX**
  - Receive machine schedules
  - Display part routing
  - Show schedule performance
  - Input of good/ bad part information

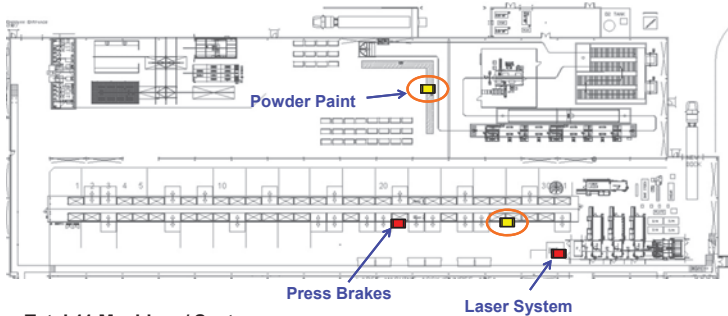
## iSmart Factory Monitoring - FMF

Total 46 Machines

6 60" Monitors 

6 32" Monitors 





Total 11 Machines/ Systems

- 2 60" Monitors 
- 2 32" Monitors 

## i-Smart Factory Dashboards

~Create Plant Maintenance Monitoring Dashboards~

### Maintenance

- Coolant levels/ PH concentration
- Chemical wash concentrations
- Washer water levels
- Powder paint levels
- Oven temps
- Humidity levels

### Setup/ Monitoring

- Machine status
- Part setup information

### OSHA Testing

- Sound Levels
- Air Quality (CO2,VOC)
- Room Temp
- Roof top emissions

# i-Smart Factory Dashboards

## ~ Machining Monitoring Dashboards~

### Machine Status



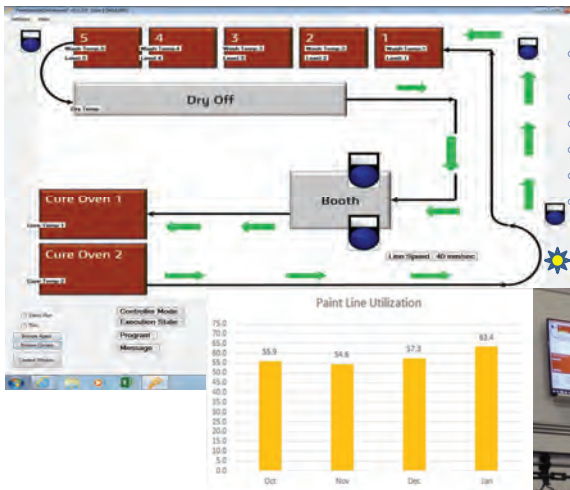
- Quick/ easy visual status
- Uses real time machine signals
- Monitors all overrides – alerts operator if not at 100%

### Setup Information

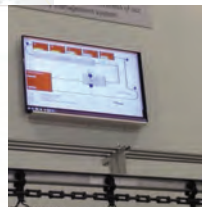


- Quick/ easy setup information
- Shows latest process information
- Eliminates set up mistakes

## POWDER PAINT DASHBOARD MONITOR



- Chemical wash temperatures
- Washer water levels
- Oven temperatures
- Line Speed
- Emergency stops
- Track line utilization

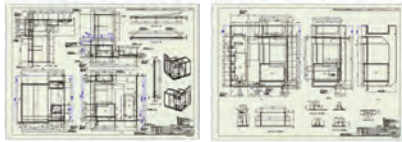


# i-Smart Factory – Viewing Stations

## ~Viewing stations in each welding booth~

### BENEFITS OF VIEWING STATIONS

- Pull print without leaving work area
- Access to latest revisions
- Reduces time to search for print
- View sectional views for detail instructions
- Eliminate file cabinets on shop floor



## Spindle/ Headstock Unit Test

- ★ Used in break in cycle & verifying proper bearing preloads
- ★ Simple reporting system of RPM/ bearing temps/ vibration
- ★ Uses MTConnect interface between sensors & software



Unit Test stand Dashboard

- RPM
- Front/rear bearing temps
- Vibration



Unit Test Certificate

- ID No/ date
- Max RPM
- Temp graph
- Run time



# i-Smart Factory – Smart Box

~Latest development – introduced the Smart Box~

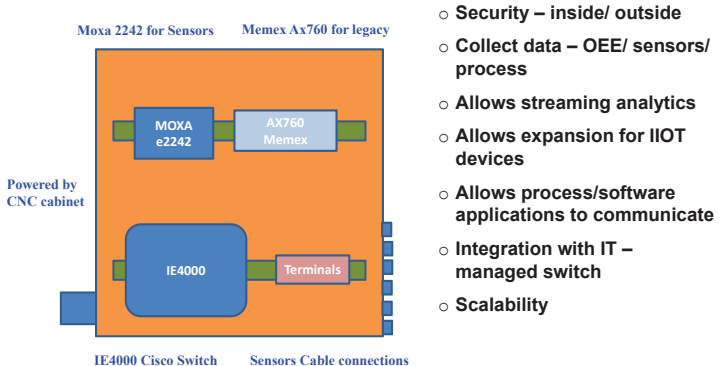
## One Box – any device

- Connect Mazak Machines
- Connect Legacy Machines
- Connect Third Party machines



# i-Smart Factory – Smart Box

~Smart Box Features/ Benefits~



- Security – inside/ outside
- Collect data – OEE/ sensors/ process
- Allows streaming analytics
- Allows expansion for IIOT devices
- Allows process/software applications to communicate
- Integration with IT – managed switch
- Scalability



## Current Monitoring

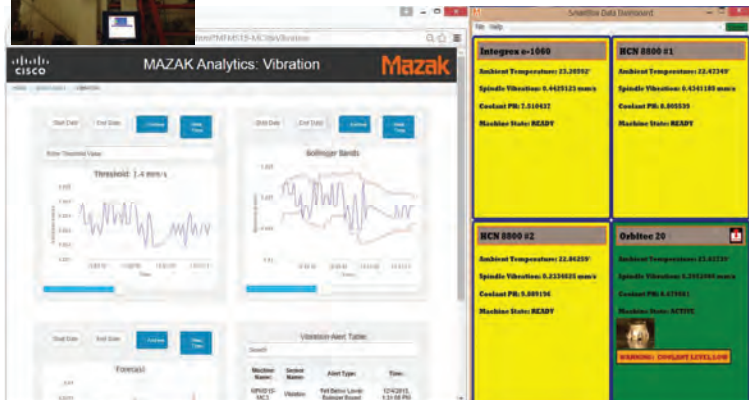
- Coolant Level
- Coolant (PH)
- Ambient Temp
- Vibration



# iSmart Factory Smart Box Monitoring

~ Coolant level Monitoring ~

- Issues alarm when level is too low

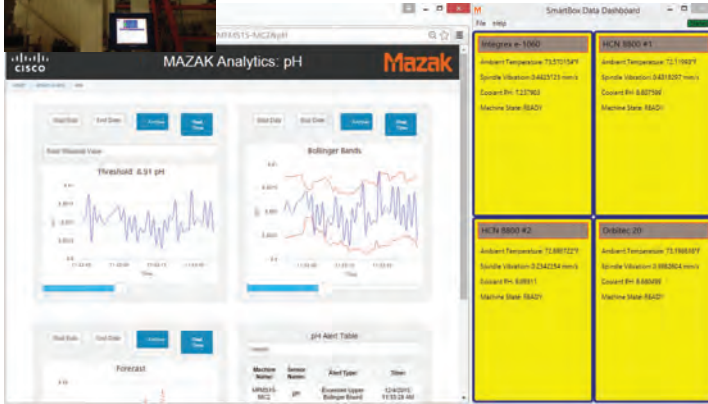


# iSmart Factory Smart Box Monitoring



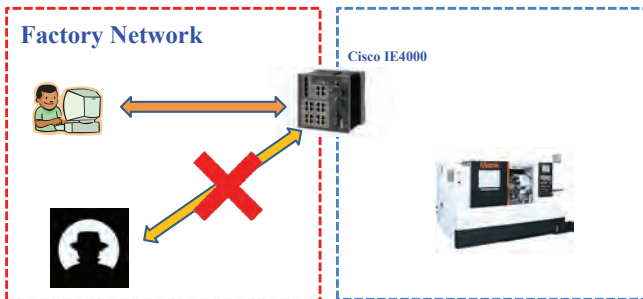
~ Coolant (PH) Monitoring ~

- Issues alarm when concentration is too high / too low



# iSmart Factory Smart Box Monitoring

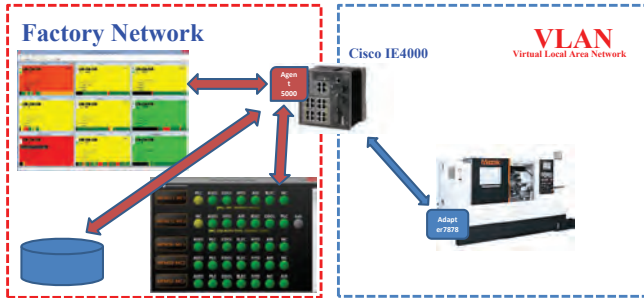
~ Security from outside ~



Protect equipment network from Hackers

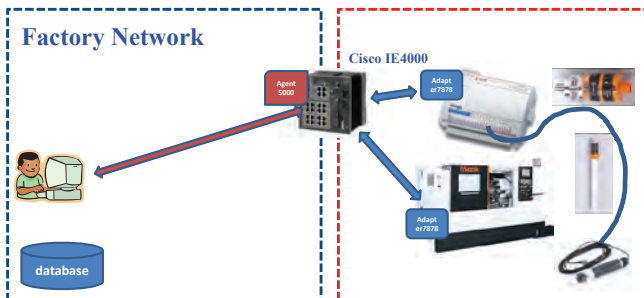
# iSmart Factory Smart Box Monitoring

~ Collection of Utilization/ OEE Data ~



# iSmart Factory Smart Box Monitoring

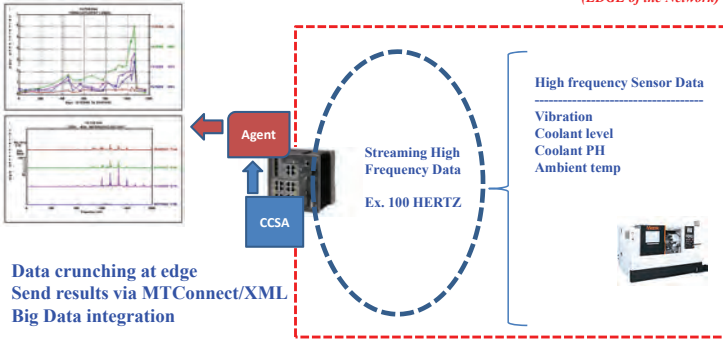
~ Collection of Sensor Data for Maintenance ~



# iSmart Factory Smart Box Monitoring

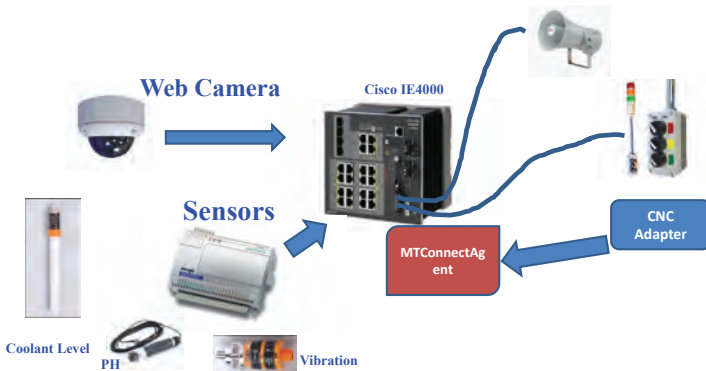
## ~ Cisco Connected Streaming Analytics at the "Edge" ~

*(EDGE of the Network)*



# iSmart Factory Smart Box Monitoring

## ~ Allows Easy Expansion of IIOT Devices ~



**Current Configuration**

- Vibration
- Coolant PH
- Coolant Level
- Ambient Air

**Future Configuration**

- Spindle Vibration
- Spindle Temp
- Coolant Level
- Coolant PH

**Can use data for predictive failure modes/ Spindle issues and machine health.**



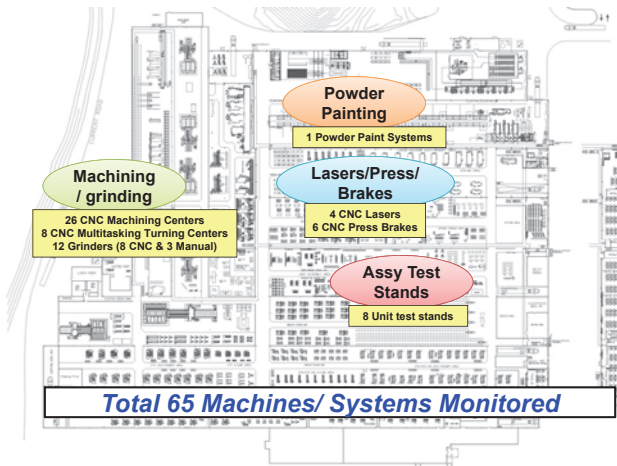
**Current Machine with Smart Box monitoring.**

1. Orbitec20
2. HCN8800 x 2
3. INT E1060V8

**Future expansion of Smart Box technology**

1. Variaxis i800 x2
2. INT e500 x 2
3. INT i400u
4. INT i400st
5. INT i300st
6. QTZ 250
7. QTN450 LBB
8. QTN350M

## Total i-Smart Factory Layout ~Machine Monitoring Using MT Connect~



# Thank You!



## 產業競爭力提升與生產力4.0

---

著 者／呂正華

出 版 者／財團法人孫運璿學術基金會

發 行 人／財團法人孫運璿學術基金會

地址：台北市杭州南路一段69號4樓

電話：(02) 2392-5579

傳真：(02) 2321-8623

出版日期／中華民國一〇六年五月

出版刷次／初版一刷

ISBN：978-986-94416-1-2（平裝）

---

《 非 賣 品 》

版權所有・翻印必究

Printed in Taiwan

國家圖書館出版品預行編目資料

產業競爭力提升與生產力4.0／呂正華著.

--初版.-- 臺北市：孫運璿基金會，民106.5

面；15×21公分

含參考書目

ISBN：978-986-94416-1-2（平裝）

1.工業革命 2.產業升級

555.29

106007099