



# 以彈性混線金屬加工 實現智慧製造新價值

財團法人精密機械研究發展中心副理 / 王裕夫  
財團法人精密機械研究發展中心副處長 / 陳哲堅  
財團法人精密機械研究發展中心處長 / 蕭仁忠

關鍵字：IOT、智慧製造、混線生產、智慧聯網

## 摘要

傳統金屬模具加工作業中，工件上下料及刀具更換等工作極度仰賴人力，此舉使業者常面臨人力成本提高、生產效率無法提升困境。過去金屬模具業者可利用加工設備性能提升及製程技術精進等優勢來增加競爭力，但面對現階段少量多樣市場需求，如何應用智慧製造等相關技術來解決模具業者在未來彈性製造上所遭遇之難題為首要課題。有鑒於此，此開發案期望為業者提供一完整系統化、智慧化解決方案，協助金屬模具加工業者朝向差異化、高價值之產品與服務進行轉型，以滿足製造業客戶需求並共創雙贏。

## 一、前言

我國工具機產業發展在政府與業者的長期努力之下，與日本、德國、義大利等先進國家已逐漸縮小差距，但對如何透過服務加

值，提升產業附加價值上，仍急需業者與相關研發機構持續投入發展，尤其在工資高漲、大陸產品低價競爭、國內能源、原物料缺乏的壓力之下，如何提升我國工具機產品之附加價值，擴大與下游製造業者連結與應用，已成為未來發展的趨勢。

## 二、研究背景

在快速變動的消費市場下，工業價值鏈已被重新定義，包括製造者的生產力、對市場反應的速度、品質等都是關鍵。未來面對客戶不同的需求，製造業者必須透過產品跟整個價值鏈的自動化及數位化，佈建虛實整合系統，虛擬和實體世界將更緊密的整合。工廠在生產個別產品上亦需比今日更有彈性，並且達到更高的效率，才能產業競爭中存活，脫穎而出。而製造業是否能成功轉型，追本溯源還是要回歸到上游的設備製造業，是否能夠追趕上國際智慧化技術發展潮流，

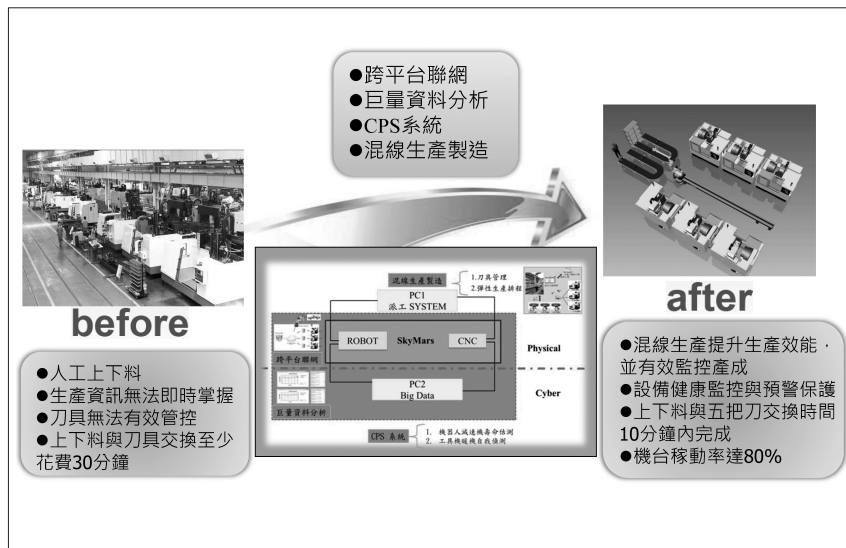


圖 1 導入前後差異性

提供更好的智慧加值服務予製造業者，共同達成轉型升級目標。本案為輔導國內工具機業者，其主要產品為「加工中心機及數控銑床」，客戶遍及航空、風力、汽車、電子、金屬製品/模具加工、面板等相關產業。其中金屬模具是我國重要之製造業領域之一，年產值超過新台幣 400 億元。過去金屬模具業者可以靠精微化的加工技藝，來爭取訂單。但是在加工設備及製程技術精進之外，面對少量多樣的市場需求，產能、速度是未來制勝關鍵，因此業者希望除了既有加工設備提供之外，更能進一步提供系統化解決方案，協助克服金屬模具彈性製造上的難題。目前金屬模具製造業者面臨之問題如下：

(一) 市面上已有工具機自動上下料解決方案，但若單純導入自動化流程，在少量多樣產品特性下，頻繁的換線將使自動化生產效率打折，需有更智慧化的製程指派機能，透過機聯網的方式達混線生產目標，提升產值與生產效率。

(二) 由於金屬模具製造是相當典型的少量多樣化生產，一般工具機的刀庫存量無法滿足所有模具生產所需的刀具數量，面對產線上不同產品，需要更有效之刀庫管理機制，方能配合混線生產需求。

(三) 在一人多機之生產情境中，除機台資訊監視、NC 程式上下載、警報訊息等遠端聯網監控功能外，如何在設備失效前即進行預警維護，是系統能否順暢運作之關鍵課題。

因此，本案將協助業者導入跨平台聯網、混線生產製造與 CPS 系統技術提升服務能量，並搭配下游製造業者進行應用。期能以涵蓋範圍更加廣泛的「工業 4.0」元素，朝向高效率、高客製化及整線設備整合邁進，建立符合客戶需求的技術應用服務能量。同時透過本案展示模具製造業者生產力提升之效益，由上而下串連升級，強化國內整體產業競爭力，如圖 1 所示。

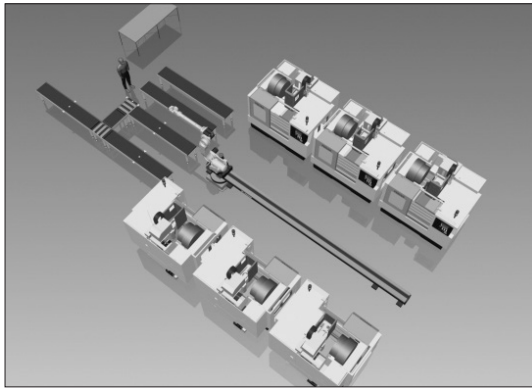


圖 2 彈性混線生產加工 4.0 產線模擬圖

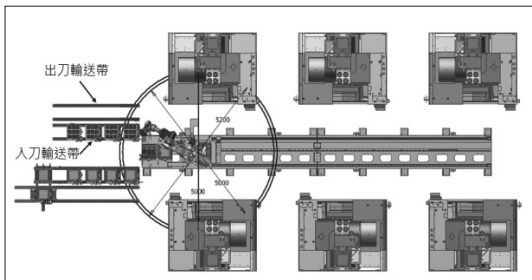


圖 3 彈性混線生產加工 4.0 產線配置示意圖

本開發案主要建置彈性混線金屬模具加工 4.0 產線，如圖 2、3 所示為產線配置示意圖，由一機一人生產模式轉換為一人多機混線自動化生產模式，主要由於傳統生產模式生產效能差，人工需要負責上下料與刀具更換作業，且容易因為人員疏失造成錯置問題，在混線生產過程中刀具與加工模具無法有效掌握與管理，因此本案將轉換為一人多機混線生產模式，主要建置項目包含六軸機器人、工具機、送料自動化等硬體設備產線整合，生產過程中全由生產管理系統依據工單資訊進行派工任務，未來亦可以針對產線生產稼動需求進行工具機與機器手臂走行軸進行延伸擴充。本案建置技術包含跨平台聯網技術、巨量資料庫、CPS 系統技術與混線

生產等，同時藉由虛實系統分析已取得系統健康狀況與手臂減速機壽命預測，以下將針對各項技術內容說明。

### 三、產品開發說明

#### (一) 平台機聯網

實現「智慧製造」的基礎在於「機聯網」，目前國外控制器大廠皆針對自有品牌提出對應的解決方案，如 FANUC、MAZAK、DMG 等，跨平台的機聯網解決方案需靠國內業者客製化開發，為此使用精機中心發展的 SkyMars，主要針對跨平台之間資訊聯網建置，聯網設備包含智慧機器人、工具機、備料供料系統，系統架構圖如圖 4 所示。各單機設備均建置基礎雲端系統聯網功能，設備間可以即時資訊傳遞。

本技術主要以精密機械研究發展中心所開發之多種類控制器相互溝通之連線軟體 SkyMars 為基礎，將生產線上的工具機、機械手臂等機台連線，整合為 .net remoting，可提供業者開發智慧化功能，建立跨廠區及異質（異種）加工設備聯網架構，將加工設備聯網後集中管理，讓所有設備的工作資訊透明化（多機連線、稼動監測），更有利於多台工具機彼此協同作業。產線上所有設備的工作資訊透明化、數據化，生產經驗的保存與再利用將變得更加容易，這有利於應對需要時常改變生產程序的場合，如此便能夠同時達到確保加工精度與品質、縮減製造時間、減少生產成本的要求。

在工具機聯網通信技術部分主要是利用控制器廠商提供對控制器操控的函式庫，透過 SkyMars 提供統一的格式於 PC 應用，提

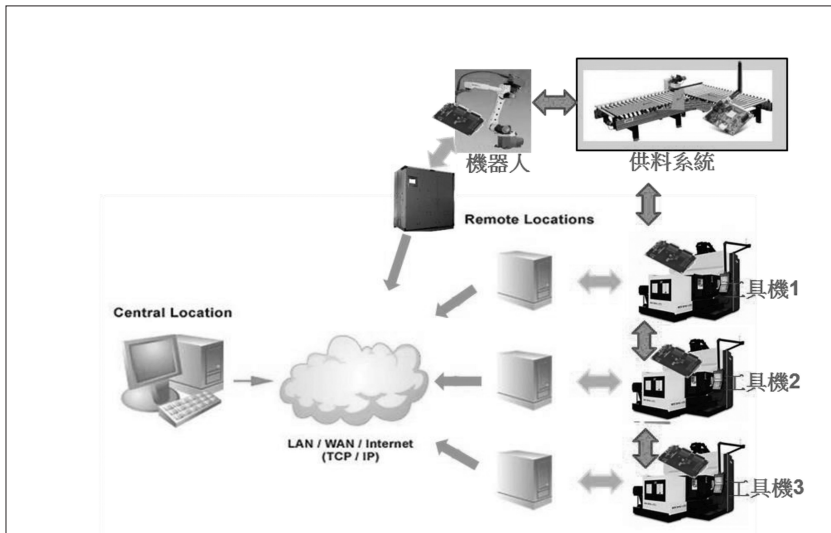


圖 4 跨平台聯網系統架構

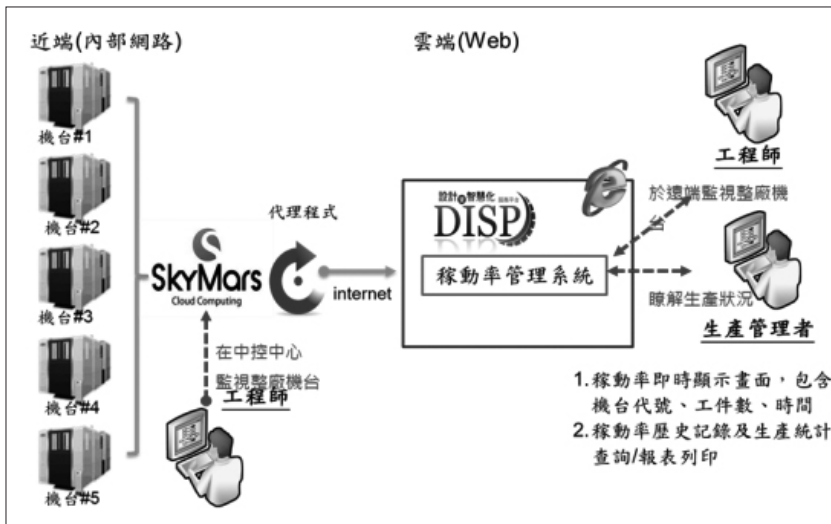


圖 5 稼動率資訊管理架構

升在智慧聯網的操作便利性。並發展出多樣的技術服務，如遠端監視相關 CNC 資訊、提供 NC 上、下載、警報簡訊通知及稼動率資訊等，稼動率資訊管理架構如圖 5 所示。

在機械手臂部分，透過控制器所提供的函示庫讀取機器人各軸角度、扭力、狀態等

資訊，透過聯網通信技術與機械手臂控制器進行訊號的傳遞。SkyMars 邊界運算的概念將其訊號彙整成有用且可分析之數據，在由遠端 PC 到虛實系統與大數據資料庫中進行決策分析。

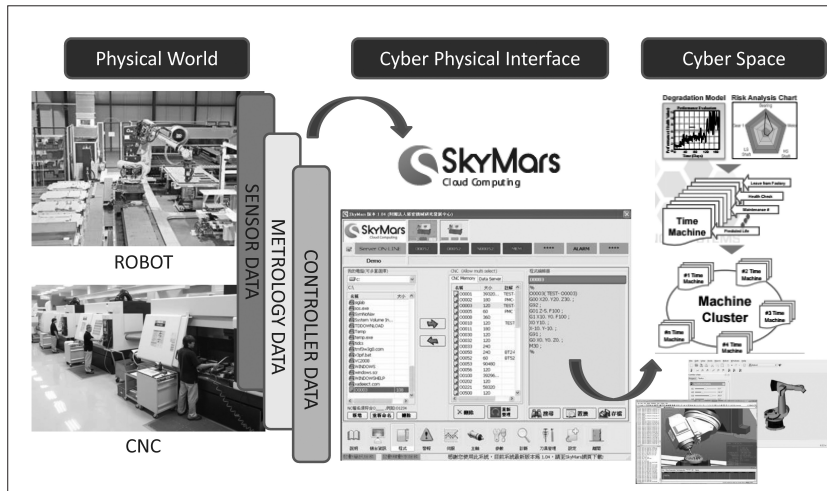


圖 6 CPS 系統架構

### (二) CPS 系統

本案虛實整合部分主要是建立一雲端之設備壽命分析資料庫，藉由以 IOT 為基礎之聯網技術，將生產系統中設備（如機械手臂、工具機）之通訊進行標準化轉換，將各設備感測器訊號、設備運作資訊進行資料擷取，以此在雲端建立機台巨量資料庫，更可以由跨平台聯網技術將設備即時模擬狀態與現場實際運作參數進行比對，便於進行各設備狀態之健康預警分析，圖 6 為虛實系統架構圖。

此雲端設備分析資料庫可由此案所建置聯網技術，就生產系統之關鍵設備進行壽命分析。因此，將機械手臂運轉時各軸馬達電流、轉速資料即時擷取並透過馬達電流轉矩與減速機運轉時數演算法進行壽命可視化步驟，讓使用者可藉由即時模擬狀態對機械手臂進行錯誤預警並讓智慧排程系統進行生產調控。在工具機部分，藉由聯網技術將機台運行轉速、電流及溫度資料進行擷取，透過雲端整合模擬系統進行預警與生產統計資訊。

### (三) 巨量資料庫分析

本案透過 SkyMars 跨平台聯網技術取得各設備端重要資訊，加工設備（CNC 機台）的負載電流、負載百分比、馬達溫度這三項資料特徵，於機台某些關鍵零組件損壞的狀況下，其上升或衰減的趨勢具有一致性；本案以軸承損壞為標的，當軸承損壞會造成轉動不順暢、阻力增加，馬達會需要利用更大的動力或功率來推動，相對來說就會造成負載電流與負載百分比的增加，馬達的溫度也會跟著升高，因此藉由該資訊以利分析機台健康狀態與進行後處理決策。雖然健康指標之數值並無物理意義，但健康指標之變化趨勢相對來說則具有參考價值，如圖 7 所示。

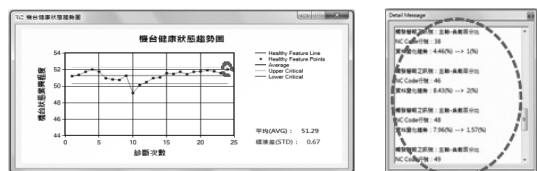
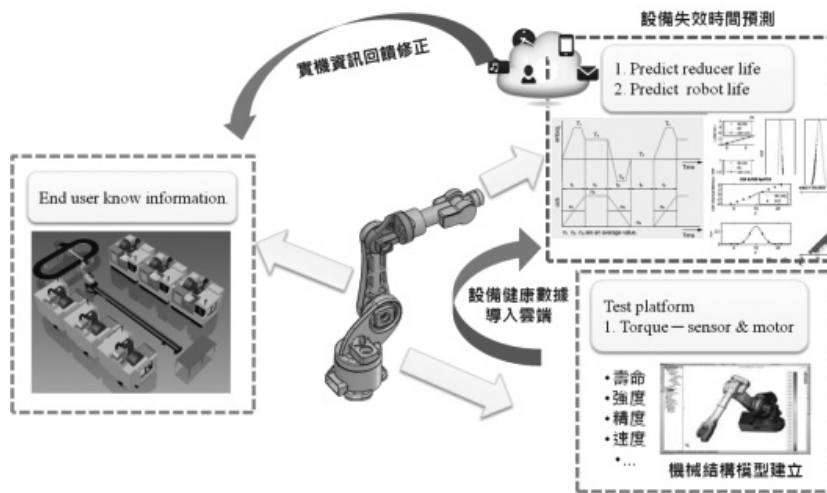


圖 7 巨量加工數據分析



內容	名稱	收合
速度	Axis1	26.97 deg
速度	Axis2	33.30 deg
速度	Axis3	-64.96 deg
速度	Axis4	106.51 deg
速度	Axis5	-82.82 deg
速度	Axis6	+156.27 deg
速度	Axis7	20.22 deg
速度	Axis8	0.00 deg
速度	Axis9	0.00 deg

項目名稱	預測壽命	可靠性
Axis1 預測壽命	248 day 19 hr	99.5 %
Axis2 預測壽命	249 day 0 hr	99 %
Axis3 預測壽命	249 day 21 hr	99 %
Axis4 預測壽命	249 day 21 hr	99 %
Axis5 預測壽命	249 day 20 hr	99 %

圖 8 機器人減速機壽命預測

加工設備健康指標趨勢變化某次所求得之健康指標數值，若是座落在所有健康指標分布之 1.5 個標準差之外，則觸發警報提醒。機器人其關鍵零組件包含馬達與減速機等，其中減速機又是關鍵耗材之一，當機器人減速機損壞時，將影響機器人性能，甚至減速機嚴重損壞後亦造成系統停擺無法正常運行，將嚴重影響生產產能，因此本案在機器人端建立巨量資料庫包含各軸轉速與電流等資訊，作為機器人減速機壽命預診之依據，依照目前馬達轉速、電流、以及運轉時間，估算減速機壽命，並發展機械學習演算法 NN 依照時間進行減速機扭力分類，可隨著資料

的累積，提生預測的準確度，讓使用端可以預先進行耗材備料等防範工作，如圖 8 所示為機器人減速機壽命預測架構圖。

#### (四) 混線生產製造

混線生產製造是由於模具生產並非大量生產模式，而是每張工單僅生產單一工件或是小批量數量，因此本案中硬體端規劃統一標準工件托盤與刀具托盤，軟體端整合上位派工系統進行供料備料管理與刀倉刀具管理工作，全系統由派工系統派工後，由機器人負責進行托盤上下料與上下刀具，改善傳統一人一機人工上下料與人工交換刀具之生

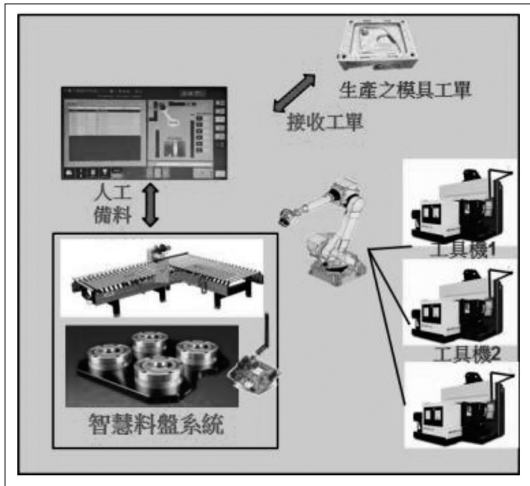


圖 9 備料供料管理系統架構圖

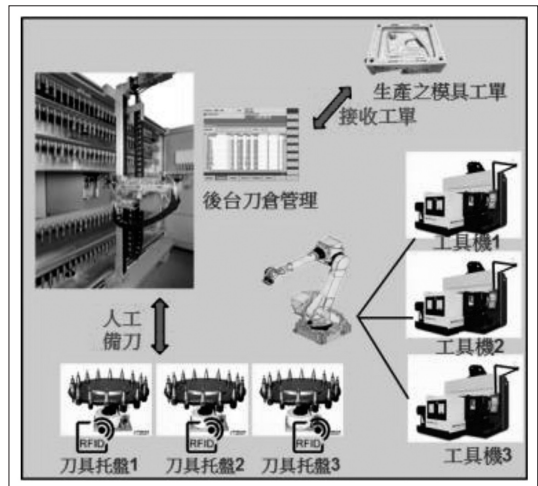


圖 10 刀倉刀具管理之系統架構圖

產模式，改由一人負責多機提升整體人均產值與達到少量多樣混線生產能力；並利用上位派工系統是透過 PMC 開發之跨平台聯網軟體（SkyMars），分別對工具機系統，送料系統，機械人系統做上位控制。多樣訂單可轉換成工單，人員只需手持條碼機將對應工單的刀盤及料盤條碼掃描至送料系統內，由上位系統進行排程管理。

### 1. 供料備料管理

本案在模具胚料備料部分主要是由人工將胚料加工件備好放置於托盤後，由於托盤設計具備感應辨識功能，因此藉由人機資料點選確認工單與托盤資訊，以便上位派工系統可以獲知托盤工件之對應，而機械手臂再依據派工系統排程與推盤資訊執行劇本檔指令來完成上料動作。當機械手臂將托盤移動入料至工具機端後，工具機端亦必須經感應辨識再次確認來料托盤資訊是否為該站加工物件，確認完成後工具機再經由聯網系統進行加工程式下載，並於加工完成後將資訊上傳，並同時針對供料系統傳遞完成訊號，以

便供料系統可經由聯網技術即時掌握與傳遞加工製成狀態，如圖 9 所示。

### 2. 刀倉刀具管理

主要針對工具機少量多樣混線生產需求，以模具加工製造為例，為相當典型的少量多樣化生產，一般工具機的刀庫存量無法滿足所有模具生產所需的刀具數量。若要滿足混線生產需求，在生產不同批量產品時需要智能化的管理系統，一併將工具機刀庫所有刀具進行確認及更換。本案刀倉管理系統，統一管理刀具與備刀工作，工作人員再依據工單資訊進行預先備刀任務。備刀部分使用統一刀具托盤，每個刀具托盤整合感應晶片來進行資訊傳遞與確認之工作，最後再藉由機械手臂進行刀具托盤上料工作，如圖 10 所示。

## 四、研究結果與未來發展

### (一) 研究結果

本系統可協助下游金屬模具業者，縮短模具加工前製程所需時間 10% 同時減少人力



表 1 導入前後效益

項目	導入前	導入後
技術	專精於工具機單機設計、製造，與檢測分析，缺乏整線設計規劃能量。	1. 由單機設備供應提升為具整線設備供應能量的廠商，提高廠商產能。 2. 建立虛實整合之智能化預警診斷技術能量。
功能	缺乏設備預警診斷、智慧化派工管理。	1. 智能化派工系統。 2. 機械手臂失效預警。 3. 設備聯網及遠端監控。
成本 (下游製造業者)	1. 人力成本 6 人/線，1 人 1 機進行設備操作與工件上下料。 2. 人力成本每年約 420 萬。 3. 刀具人員更換，無法有效控管，且易造成錯置機會。	1. 1 人搭配 6 台加工中心機進行設備維運。 2. 人工由 6 人縮減為 1 人，人均生產力之提升可 5 倍。 3. 人力成本每年 100 萬。 4. 刀具自動化上下料，提升生產效能。 5. 設備預期 3 年內攤提。
生產力 (下游製造業)	平均每個模具生產時間約 2~3 小時。	1. 縮短模具加工前製程所需時間 20% 以上。 2. 降低人員上下料與換刀所需時間與人員出錯機會。 3. 可延長作業工時達 24hr 連續生產。 4. 避免機台無預警停機的損失。

成本，可促進下游金屬加工業者投資進行產線升級。製造業產線升級除系統購置成本外，尚需搭配廠房改善、新聘人員、以及自動週邊等投資，估計每一條彈性混線金屬加工產線可帶動 3,000 萬以上之新增投資，全案估計可創造 1 億 5 千萬元以上之新增投資，導入前後效益如表 1 所示。

## (二) 未來發展

國內正值智慧製造轉型初期，機械設備業者的技術能量尚未完備，透過應用端 Know-How 的導入，結合法人之研發能量，可以逐步建立相關供應體系之研發能量，包括機器手臂、智能化軟體等等領域。期可牽連帶動關聯之金屬製品產業投入自動化設備升級與汰換，藉由導入機器人與產線整合之技術能量，以更具彈性的生產方式因應未來傳統產業型態的轉變。



## 參考文獻

1. 社團法人台灣智慧自動化與機器人協會(資料整理)，「經濟與景氣指標」，智慧自動化產業期刊，第 27 期，P.6-P.15，2018 年 12 月。
2. 李宛玲，「迎接智慧製造時代/銜接智慧機械引領產業革新的橋樑-SkyMras」，機械資訊，第 716 期，P.25-P.30，2016 年 10 月。
3. 劉軒佑，「如何導入智慧機上盒打造智慧工廠」，機械資訊，第 737 期，P.8-P.13，2018 年 07 月。
4. Techane A., Wang Y.F., and Weldegiorgis B. 2018. "Rotating Machinery Prognostics and Application of Machine Learning Algorithms." Phmconf 10 (1) : 01-07.
5. Sergio F.O., Fortino G., Fatta G.D. 2017. "Cyber-Physical Systems, Internet of Things and Big Data" Future Generation Computer Systems 75 : 82-84.