



建構智慧機械的四大關鍵要素

寶元數控股份有限公司工業 4.0 系統部產品經理 / 張友友

關鍵字：智慧機械、工業 4.0、智慧機上盒、感測器、工具機、機聯網

摘要

「工業 4.0 (Industry 4.0)」是世界各國爭相推動的重大革新，其延伸出的幾個關鍵技術議題包括：智慧機械、工業互聯網、大數據分析以及人工智能等等都是產業界競相研發與推出相關服務的新戰場。

一、前言

從 2011 年開始至今日，其間美國、德國、日本、韓國、中國等紛紛提出重大的工業 4.0 相關推動計畫，機械設備佔臺灣出口的金額與比例甚高（參考圖 1），行政院也於 2015 年提出了相近的生產力 4.0 發展方案，其願景主要希望能取得轉型發展所需要的關鍵技術自主能力，其次是考量臺灣大部分為中小企業的產業生態，希冀能參照自行車產業 A-Team 的形式，締造螞蟻雄兵型的競爭優勢並結合產學界培育相關人才。

台灣機械設備出口值		
年度	以美元計價出口值	年增減率 (%)
2010 年	167.259	52.2
2011 年	211.060	22.6
2012 年	200.939	-1.8
2013 年	197.591	-1.6
2014 年	208.870	5.7
2015 年	194.320	-6.9
2016 年	211.470	-1.7
2017 年	256.000	21.2

資料來源：台灣機械工業工會
單位：億美元 製表：沈美幸

圖 1 台灣機械設備出口年度表

2016 年 7 月 21 日，行政院通過「智慧機械產業推動方案」期許能推動產業導入機台智慧化並建立起智慧機械產業生態體系；2017 年 7 月機械公會在智慧機械執行委員會會議上首次提出 Smart Machine Box（智慧機上盒，以下簡稱 SMB）的裝置概念，希望能借鏡 TV Box 的設計理念，達到即插即用、快



速整合 IIoT 以及達到機台智能化等目的；同時經濟部工業局也推出了 SMB 的產業輔導計畫並由財團法人精密機械研究發展中心擔任執行單位，進行相關宣傳與推廣等活動並取得了 2018 年搭載機台總數破千台的輔導成績。

寶元數控股份有限公司（以下簡稱 LNC）為亞洲知名控制器製造廠商並以打造控制器精品百貨為宗旨；身為工具機台的大腦角色的控制器，相當於智慧機械最重要也是最初的一環，LNC 於 2015 年開始推動工業 4.0 相關技術研究開發，並陸續推出智慧機上盒、智慧感測器、LNC SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）等工業 4.0 相關研發產品，同時擁有超過 30 間的伙伴廠商，共同打造智慧機械的生產圈，對於相關技術有多樣化的實戰經驗。

如同其他產業一樣，「轉型」是一個重要但卻模糊且不明確的字眼，尤其智慧機械的智慧二字更是難以量化估計的抽象詞彙，工具機產業界中最常提出的問題即是「怎樣定義一個機台是智慧機械」，經濟部工業局提出的智慧機械產業推動方案裡面，對於智慧機械的定義為「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之機台」，本文就幾個項目來探討打造智慧機械的四大關鍵要素。

首先以故障預測功能來看，要做到這個功能首先當然必須知道故障的項目為何，由於故障的種類繁雜，大多數會由控制器這邊統一以警報的形式發出，所以如何取得控制器警報資訊會是第一個問題癥結，其次是預測的部份，要預測如此眾多的故障，基本上

會需要應用到感測器（Sensor），想要釐清的故障種類越多，就會需要越多形式的感測器來協助監測機台資訊。

再來以精度補償和自動參數設定這兩個項目來分析，以現行業界慣用的操作動線來說，要達到機台精度補償必須要有實時掌握機台狀態的資料來源以及數據庫，才能針對各種不同原因造就的精度下滑進行補償；同時如要能自動參數設定，同樣也必須具備各種狀態下的參數資料庫來進行設定。

最後是自動排程的部份，建立生產排程的最大重點就是必須時時掌握生產現況，同時也必須整合前生產管理系統與現場生產機台，建立完善的機聯網路是不可避免的；如果要達到全自動的生產排程勢必也會需要其它自動化機構的輔助，例如自動上下料、自動搬運以及自動檢測良品等等其他機構、裝置和設備的整合，加強機台的生產流程管理。

由以上幾點可得知，打造智慧機械的關鍵要素可大致統整為感測器、機台控制器、裝置整合、機聯網等四個大項目，其中「機聯網」或許是較為陌生的名詞，這裡稍作解說，有別於一般所謂的物聯網，機聯網指的是工業機台的相互聯網，使得機台資訊能被統合收集並且能相互交握；下面我們就分別對四大關鍵要素的發展狀況與技術癥結來進行討論。

二、感測器在智慧機械的角色

早在許久之前，感測器即被大量應用在工具機上，尤其以射出成型機等塑膠相關機種應用數量最多，最為常見的感測器有壓力



計、位移計、溫度表、速度計、加速規以及荷重元等等種類相當繁雜，如此豐富的使用經驗理論上要打通感測器邁向智慧機械的環節應該是輕而易舉才對，但理論與實際總是有差距的。

感測器過去在使用上大致可分為兩個面向，一是機台出廠檢驗，另一則是作為必要的機台運行判斷依據來使用；前者屬於高精度 / 大體積 / 高單價的應用，通常機械廠會購買 1~2 台作為出機前的外部校正檢驗使用，沒有與機台控制器做連結，同時也不會隨著機台出到生產端；後者則通常是已包裝好的機構應用，與機台連線大多僅僅透過 I/O 點來進行，告知控制器是否可以繼續往下個流程作動的 Yes or No 訊號，缺乏詳細的感測數據資訊，間接降低了這些感測器的 CP 值。

要達成感測器在智慧機械的良好應用，需要有四項不可或缺的條件，分別是：適當的價格、工業環境的耐受性、良好的通訊介質以及與其對應的技術資源；適當的價格為整體產業帶來優勢，良好的通訊介質可保證資料能有效地傳遞給其他裝置，在工業環境下的耐受性決定了該感測器是否可以長期在機台上接收資料，而擁有充分的技術資源才能有效的活用感測器的資訊。

目前各界發展的感測器由於搭上了智慧手機的風潮，整體有體積越來越小以及單價越來越便宜的趨勢，唯二需要考量的是商用規範等級與工業規範等級的區別以及量測範圍等規格問題，如何將價格 Down 下來且精度和安全性提升到工業規格就是感測器硬體上的課題，理想上智慧機械上的感測器要達

到 IP67 等級以上才合用（IP67 為國際防護等級認證，第一個數字 6 代表完全防塵，第二個數字 7 代表可在 1m 深以內的水中運行 30 分鐘以上不會導致設備損壞）。

在通訊協議方面，傳統感測器多半以數位單點訊號（DIO）和類比訊號（AIO）來進行感測資料的傳輸，但由於這些通訊方式的更新頻率與穩定度較低，高取樣頻率的感測器通常會附上解析電路與螢幕來呈現感測器資料解析結果，這無疑是墊高成本的原因之一；為了解決這個問題，許多感測器業者皆陸續推出搭配工業現場總線通訊協議的感測器，使用良好的總線通訊協議可使機械製造廠商避開感測器通訊相容性的問題，大幅提升更換感測器廠牌時的便利性，同時總線通訊的傳輸速率相當高速，遠非傳統使用類比或數位訊號輸入可比擬，藉此可將感測器 Raw Data 導入控制器中，由控制器直接進行演算，達到完全整合進機台本身的目標；目前較常見的感測器總線協議為 IO-Link 和 EtherCAT，均是已發展並在業界運行多年的通訊協議。

最後則是目前普遍最缺乏的技術資源部份，許多已經添購或想要導入感測器的廠商最容易遇到的兩個問題就是「感測器要裝哪裡？」和「感測器的資料可以做什麼？」，雖然學界與法人單位對於感測器的應用技術在近幾年已有大幅度突破，各種應用如：機台溫昇熱補償、刀具壽命預測和影像定位辨識等都是在打造智慧機械過程中非常重要的進階功能，然而這些技術都受限於繁複的參數設定與冗長的測試流程而無法大量快速複製到所有機台上，這是由於智慧機械的本體



在於「機械」二字，而越是智慧化的功能越跟機構本體有著千絲萬縷的關聯性。

且不提不同產業的機型架構本身就不同（如車床、銑床、磨床等等），就算是同樣機型由於每家的結構設計、材質用料、刀具與工件不同等原因都有大幅度的差異，在更甚於就算是同家廠商生產的同機型的機台，也都會有組裝誤差等不同點，這些機台差異會導致這些智慧化功能需要重新設定參數以及測試，而這些工作若是都需要第三方來協助，會導致整體人力成本被拉高非常多，這就是為何目前技術感覺成熟但遲遲沒有立刻量化的最大理由，長期來看若要打造具備完整感測輔助功能的智慧機械需要機械廠與控制器廠商擁有足夠的技術能量來建置這些功能，只有控制器廠商才能將感測器資訊完整的統整與被使用，而只有機械廠才能最完整的了解機台結構等資訊。

圖 2 為 SVI 系列加速規，並提供其 EtherCAT 作為總線通訊介質，將相關應用盡可能的先整合，降低使用上的技術門檻且採用 Plug In 的隨插即用架構。

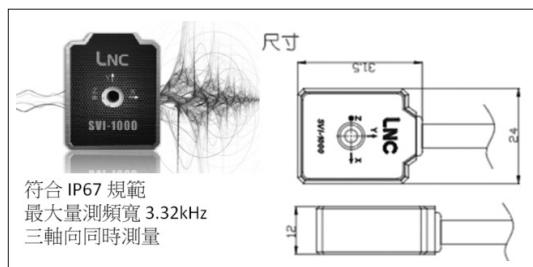


圖 2 LNC SVI 系列加速規感測器

三、機台控制器在智慧機械的角色

若是問「機台的大腦在哪裡？」這個問題，得到的均會是「機台控制器」這個答案；傳統機械上控制器主要分為三大類，分別是 PLC（可程式化邏輯控制器）、NC（數值控制器）以及 IPC（工業電腦），無論哪種都是負責處理整體機台運行的中樞核心，在智慧機械上也理所當然地扮演著不可或缺的角色，但在如何從傳統機械轉為智慧機械的方法上，控制器部份因應使用環境演化出了兩個不同方針。

最直接了當的方式就是選用本身具備智慧機械所需功能的控制器，需要有以下特徵：擁有良好的通訊架構、集成包含感測器與周邊裝置的整合能力及相關軟體功能，如此對於機械製造廠商而言可以在最短的時間內打造出具備智慧機械定義的機台設備；然而這個方法的缺陷也是顯而易見的：第一點是在生產端的機台無法個別更換控制器，導致舊機無法推展至智慧機械，而機台造價高昂且壽命最少也有 5 年以上，勢必會造成廠區更新緩慢，無法快速進化至工業 4.0 的領域。第二點是這種方法會失去各家機械製造廠的獨有特色，進而無法造就彼此的差異化，只是從傳統機械的價格戰轉變為智慧機械的價格戰而已。第三點則是控制器廠商同時也注重自己的品質穩定度，所以對於智慧機械需要擁有的大量功能無法一次性的快速導入，會需要長時間的驗證不會對原始已經良好的加工精度與流程造成影響，所以大部份控制器廠商都選擇緩慢的逐步導入各式新功能進去；為了排除以上三個問題點，大部份的機械製造商就拓展了第二條邁向智慧機械的道路。



為了不改變現有機台的加工精度，但又想取得智慧機械的好處，而且還要能隨裝隨用讓舊機也能快速導入，於是就誕生了在摘要中也有提到的智慧機上盒（SMB）計畫，SMB 的訴求即是在於透過將上述提到的智慧機械控制器應具備的功能移轉到 SMB 上面，使之成為一個可以外掛使用的配件，可以把它看成是一個機台的輔助控制器，藉由與主控制器連線，同時擴展其它智慧機械應有的能力，藉此快速達成所需的功能性。

SMB 目前主要發展是以 IPC 當基底為主，因應不同使用環境可能有不同作業系統（OS）與規格等級等差異，其著重的功能面也各有其不一樣的地方，各家機械製造廠或控制器製造廠商也都根據各自需求推出專用或泛用的 SMB，如東台、協鴻、永進等機械製造廠，就有自己使用 IPC 來建構屬於自己機台特色的智慧機械相關功能，工研院、PMC、寶元數控則是以泛用性導向為主希望讓缺乏技術能力的中小製造商提升機台智能化的程度，其多樣化可見一般。

以 SMB 所需具備的技術而言，最重要的是與主控制器通訊的能力，而最令人感到悲觀的是，世界主要品牌控制器提供廠商的缺乏一個統一的通訊介質，例如 FANUC 主要提供 FOCAS 作為其通訊手段、三菱提供 Custom API、西門子主要支援 OPC UA、MAZAK 採用的則是 MTConnect，各家都有各自不同的通訊介質，這無疑是提升了 SMB 在整合機台時的難度；同時太過舊型或較為低階的控制器則是原本就不具備能取得控制器資訊的通訊手段，在這種狀況下變得需要改以 I/O 等方式取得機台的基礎資料。

除去 SMB 對機台的通訊層面以外，SMB 本身所具備的對外通訊能力也是重中之重，一台符合智慧機械需求的 SMB 會需要能提供豐富且泛用的通訊介質讓周邊裝置或機聯網連結，這方面目前雖也是百家爭鳴，但以市場趨勢來分析，大致上周邊裝置的通訊協議主要使用 PROFINET、Ethernet IP、EtherCAT 三種，前兩者歐美使用較多，EtherCAT 則是在亞洲地區較為熱門，而機聯網方面需求以連結 SCADA、MES、ERP 導向的協議則主要使用 Modbus TCP、OPC UA、MTConnect 這三種，尤其以 OPC UA 的發展最為迅速，Modbus TCP 則是覆蓋率最高。

最後是軟體整合的部份，一般 SMB 會將常見的智慧化應用包裝進去，同時採用開放式架構讓用戶可自行用程式語言或人機開發工具撰寫獨特的客製化軟體，藉此讓整合度不同或有其獨特技術的機械製造商達到機台差異化；目前市售 SMB 大多強調其連結機聯網的功能性為主，一部分原因是這個環節的技術含量比較沒這麼高，另一個部份是機聯網在短期會比較快可看到成果，然而在感測器等周邊裝置的應用與連結在智慧機械的占比相當大，挑選 SMB 時同時也應注意其周邊擴充的延伸能力；寶元數控推出的 IFC 系列主要就是瞄準周邊裝置整合的應用所推出，支援多款主控制器並提供 EtherCAT、Modbus TCP、OPC UA 等通訊介質來整合其它設備，內建多數智能化軟體的同時也提供 SCADA 軟體與資料庫通訊的部份，提供全面性的智慧機械方案（參考圖 3）。

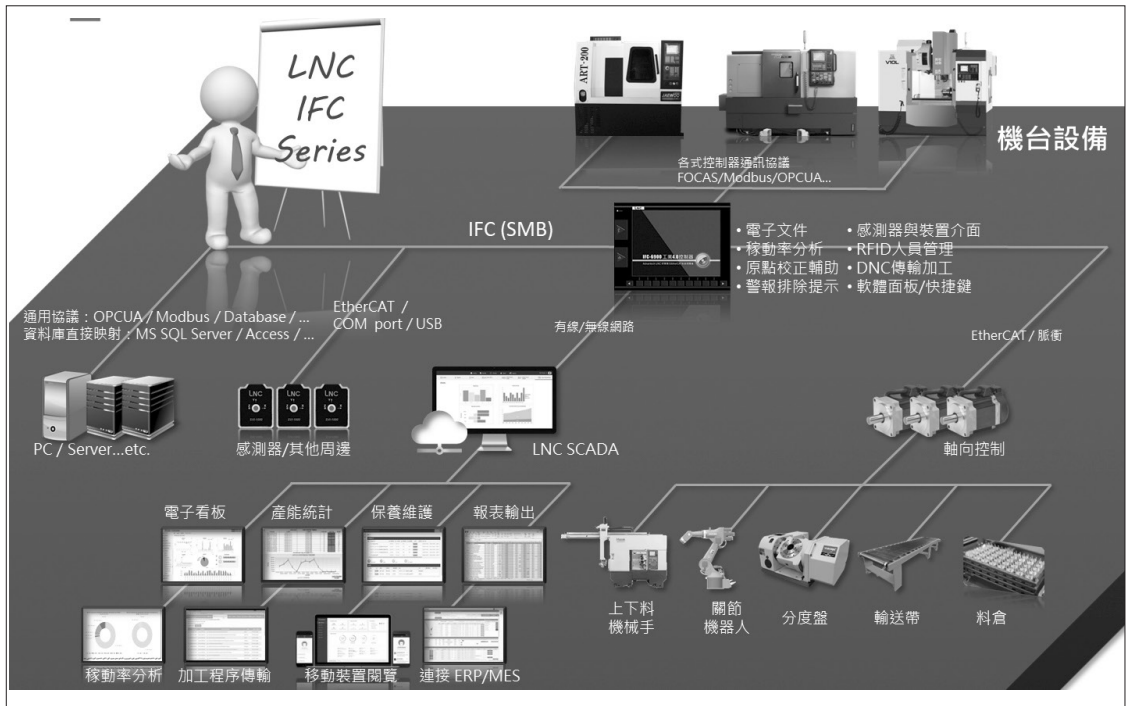


圖 3 LNC IFC 系列整體功能總覽

四、周邊裝置在智慧機械的角色

整合周邊裝置能力在打造智慧機械的過程中的必要性也是重中之重，周邊裝置這個詞能包含的種類型態又相當廣泛，從前端到後端常見的周邊裝置分別有感測器、運動控制設備、IPC、Server 等等，感測器在前面章節即已說明過，IPC 與 Server 通常是屬於機聯網的擴充連結先放到後面再探討，這裡主要針對運動控制設備的部份進行分析。

這個章節所陳述的運動控制設備並不是指機台本身的運動軸或主軸，而是指外部的輔助運動裝置，比如：上下料機械手、分度盤、料倉、刀塔...等等都是屬於此類；從傳統機台開始就這些裝置就已經被廣泛使用，

然而過去再整合這些輔助運動軸時經常是使用高成本的整合法，以上下料機械手為例，機械手由於有自己的工序，所以通常不會用機台主控制器透過擴充軸數來控制動作，多半會再安裝一個機械手控制器來撰寫其動作路徑與流程，同時機械手控制器與機台主控制器透過 I/O 的方式進行交握；這種方式主要是成本較高，且當 I/O 訊號有問題時有可能會導致誤動作而撞機並造成鉅額損失；這時就會需要看這些周邊運動裝置如何整合到上一章節提到的控制器或 SMB 端，透過完整的總線式通訊將裝置運動資訊與機台控制器整合。

在打造智慧機械的同時，運動裝置的使用頻繁度與種類也大幅提高，比如要做到成

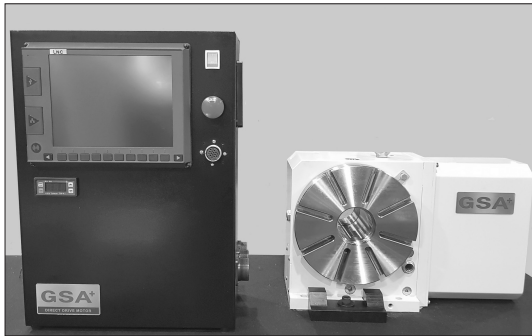


圖 4 LNC SMB 與旭陽分度盤的整合

品自動抽檢功能時，會需要搭配輸送帶或機械手以及要控制空壓或油壓開關等等，這些裝置如果要逐一分開控制將會帶來巨大的技術難題及成本，如同上述所說，與控制器和 SMB 端的結合是有其必要的；正所謂資源太少而慾望無窮，硬碟空間、計算能力、軸數支援這些都是控制端永遠無法滿足使用者的難題，在有限的資源之下，要先確立所想打造之智慧機械的智能化標的為何，若是整體無人化工廠，那麼首要就是上下料、成品檢測等項目，但若是以單一機台來考量，則就是料倉、分度盤、刀塔、刀庫等較會有需求面向，一次考慮太多要素上去通常很容易發散，這也是目前機械製造廠在打造智慧機械時常見的問題之一，需要更清楚的擬定機台定位，進而設計導入相關合適設備。（參考圖 4）

五、機聯網在智慧機械的角色

機聯網在前言即有大致介紹過主要指的是機台的交互聯網，主要在於統整與分享各機台的資訊，依照不同使用範圍及其特徵可大致區分為 SCADA、MES、ERP 等不同環節（參考圖 5）；目前主要的機聯網架構應用

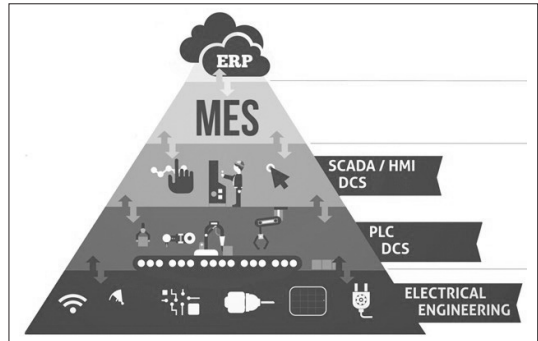


圖 5 SCADA、MES、ERP 的關係圖

集中在產能與稼動率統計、工單管理、機台警報提示等項目上面，是屬於生產管理的一環，其作用主要就是提升終端用戶（即機台的使用者）的管理效率，傳統上生產管理的資訊來源是派人員帶著紙張抄寫各機台的產量與良率等數據並輸入到電腦內做計算，耗費了大量的人力、時間以及紙張消耗等成本，同時也有人為疏失導致資料異常的問題發生；透過導入機聯網後可極大幅度的減少這些成本支出，同時避免掉錯誤率的發生。

生產資訊固然在管理上是相當重要的一環，但機聯網所能提供並涵蓋的功能範圍其實是遠遠不僅如此；從提升整體生產效率來說，理論上所有機台相關操作都可由機聯網的中控中心來完成，但除非是無人化規劃詳盡且資訊安全在完全控制下的特別廠房，不然是不建議將機台的啟動和停止等屬於直接操作的重大行為採用遠端控制，一是考量到現場人員的人身安全問題，二是網路遠端控制具有被入侵的風險在；不過除此之外的間接操作仍可對整體效率帶來極大的幫助，比如說加工程序或參數更新的傳遞，以往基本由人員在編輯後以隨身碟或 CF 卡等方式逐個機台進行操作，同時也缺乏在線的管理檢測



圖 6 寶元數控 LNC SCADA 的八大功能頁面

確保每台機台的加工程序和參數等被人非正規性的修改；經由導入機聯網後可快速在中控電腦統一發佈加工程序或參數的更新，整體效率獲得飛躍性的提升，同時可自動定期比對在機台上的資料是否與中控電腦相同，真正達到「控管」的目標。在另一方面，各機台加工過程遭遇到問題時，可將感測器資訊與參數狀態等資訊擷取下來，除了可大數據演算分析推論其問題原因或進行預測判斷，這些在線數據同時也可做為其他機台的參考標準，交查比對分析更能掌握並預測機台警報時間點與原因。（參考圖 6）

機聯網整體應用上會隨著使用的範圍與中控電腦架設的高度（局域網路、網際網路、雲端等等）而有不同的變化，目前業界均在積極推動其覆蓋率與延展性，PaaS（Platform as a Service）、SaaS（Software as a Service）、IaaS（Infrastructure as a Service）等相關應用框架也在不斷的架構中，除機台本身、機械製造廠以及生產業者外，

最終目標還是要思考如何與消費者建立直接快速的資訊管道，達到最終工業 4.0 的整體目標。

六、結論

目前世界各先進國均已在大力推動智機產業化和產業智機化的議題，前者是將智慧機械的整體生產鏈尤其是前面提到的四大關鍵要素：感測器、機台控制器、裝置整合、機聯網，進行整合發揮，打造智慧機械一條龍服務的產業群落化，後者則是以產線導入使用智慧機械為目標，讓生產製造業者能確實的享受到智慧機械帶來的好處，同時增強整體生產效率並節約資源的浪費，提升國際市場競爭力。

臺灣擁有健全的關鍵零組件生產製造力，同時在機械製造的部份更是在國際佔有一席之地，但面對德國日本的品牌技術優勢和中國大陸的低價攻勢的雙向夾殺仍需保持



戒慎恐懼的心態穩扎穩打，重點針對技術研發與人材確保兩方向進行推動。工業 4.0 帶來的產業洗牌效應目前才剛要開始浮現檯面，在此良機更應該積極面對智慧機械議題，若是一味追隨別人的腳步採取模仿的策略，整體產業價值將會逐步降低，甚至最後消失在龐大的國際化市場之中；寶元數控從 2014 年即開始投入研發智慧機械的相關技術，至今已累積相當的案例與 Know-How，期盼與產業先進和夥伴們一同在這個嶄新的時代潮流中建立一席之地，打造下一個十年。 ◆

參考文獻

1. 行政院生產力 4.0 發展方案（核定本），2015 年 9 月。
2. 五大產業創新研發計畫 - 智慧機械產業推動方案，經濟部工業局，2016 年 7 月。