



# 工業4.0所提倡的「智慧工廠」——上篇

翻譯/林意姍 大阪台灣機械服務中心

## 序言

「智慧工廠」作為工業4.0的一部分被倡導，嘗試實行和運轉的例子確實的逐漸增加。提出工業4.0的德國，像是德國機械工業聯合會(VDMA：Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau)於2016年出版收集工業4.0約50個實際運用例子的小冊子(VDMA,2016)，但是，可惜的是，關於工具機的實際運用例子僅記載Schaeffler公司其車銑加工主軸的防護保全採用實例而已。

當然，因為這是日本所擅長的領域，包括文科體系在內的政治家及各式各樣的人物公開了自己的觀點、評論文章、言論及討論等。然而，也有「難以理解所謂的智慧工廠究竟是什麼？」這類的評論出現。另外，中小企業的部分，也聽到一些對於「以現有的生產設備是否可以對應智慧工廠的構想、或者是該如何去對應？」等等疑惑的例子。到底是為什麼呢？

這是因為幾乎沒有「智慧工廠」的核心，也就是專門從事生產技術和生產系統的技術者的意見，也就是說，沒有看到基於「以生產系統設計的大原則為基準所描繪的智慧工廠全體像」的評論或言論，這被認為是一個很大的原因。

因此，關於「為什麼難以理解所謂的智慧工廠，或者是加深對智慧工廠理解的重要」，於先前本雜誌中的解說，及附加其他新的資訊來說明。此外，說明部分則以機械加工為對象，採容易理解的Q&A(針對問題來回答)形式進行，也參考目前在德國「智慧工廠」的現狀。補充說明的話，在德國不一定是當初所提案的「智慧工廠的構想」，實際情況是以有利可圖的形式進行試行和實用性，那也是混淆理解「智慧工廠」的一個事實。

然而，在這樣一個話題，作者的技術背景有很大的意義，請參考附註<sup>1</sup>。

\* ITO, Yoshimi/東京工業大學 名譽教授

<sup>1</sup> 1980年代擔任通產省大型工業技術開發計畫—「超高性能雷射應用複合生產系統」的「實用性系統專門委員會委員長」、國際機器人 FA技術中心的「次世代FA系統動向調查委員會委員長」、參與1990年代日本學術會議中「21世紀初的生產科學 技術的研究指針」之編譯、1980~2000年時期，設計適用於汽車產業的柔性傳輸線、柔性單元的記述問題、系統的「柔軟性的定量評價」、「熟練工程設計者的思考過程可視化」等等的學術研究。



### Q&A 1:

#### 設計生產系統的基本原則是什麼？

智慧工廠也是生產系統之一，除非是一個相當創新的工廠構想，否則在設計生產系統時，必須要考慮以下基本原則。

- (1) 首先考慮容易取得的系統構成要素再進行設計「由下而上(Bottom-up)」的設計方法，或是先建構系統的全體構想再開始設計「由上而下(Top-down)」的方式。
- (2) 策畫構成系統其「硬體」及「軟體」的一體融合化。
- (3) 系統的編排設計，著重於「生產對象產品」、「生產形態學中的對象工程」以及「生產形態」的連環。順道一提，促進工業4.0的科學技術Academy (acatech: National Academy of Science and Engineering)雖然用語不同，但也指出「戰略性的產品計畫」、「產品開發」以及「生產系統的開發與設計」其密切相關的重要性(Anderi R. et al., 2012)。

除了上述之外，系統內的「物體的流動」、「流動形式」或者是「離散型」都是重要的設計屬性。前者是如同石油的精製過程或化妝品的生產一樣，「在連續處理的同時所進行的方式」，後者是如同機械加工，「從機械到機械，也就是所謂的點到點移動同時所處理的方式」。

智慧工廠的探討中，能夠適應個人需求的生產模式，也就是所謂的「實現其成本可與大量生產相對應的一個零件生產」。因為這是一個基本常識，雖然不會特別去提到，但「流動方式」中的「一個零件生產」是非常困難的，因此以智慧工廠作為對象來探討是合理的。不過，就像CALBEE公司的洋芋片的生產系統一樣，「物體的流動」最終階段前進行「各種調味的大量生產」，也就是如果以所謂的「流動形式與離散型的技巧融合」來進行的話，即使以「流動形式」產生一個零件生產也不再只是空談了。

### Q&A 2:

#### 「Acatech」所表示的關鍵字可以描繪智慧工廠的全體面貌嗎？

智慧工廠的各個方面，特別是關於研究・技術開發課題，掌握整體情況之前，必須先討論其個別問題。然而，即便看了「Acatech」所公開的資料，也無法完整介紹智慧工廠的全體面貌。僅能如同表1、2所示，擷取關鍵短語和關鍵字。

預測未來的生產系統(工廠)面貌的研究中，有時會使用「關鍵字分析」的手法。無論是以由上而下的方式，或是由下而上的方式來設計系統，都可調查出生產技術的主要系統要素及核心現狀，和表示其未來面貌的關鍵字，以那些組合來描繪出可能的系統其外觀的方法。

<sup>2</sup>如同表1中所示，工業4.0中被稱為「End-to-end Engineering」就是所謂的「生產形態學」。從輸入顧客的訂單開始，經過設計以及製造、出貨(輸出)，一直到售後服務的過程皆顯示產品其壽命經歷。現在，雖然更延伸到產品再製造的過程，但工業4.0目前所處理的流程僅至售後服務。



然而，基於生產系統設計的根本，即便組合**表1**及**表2**的短語和單字便可描繪出智慧工廠的全體面貌是相當困難的。特別是由智慧型的機械及設備所組成的CPS<sup>3</sup>其編排以及他在IoT (Internet of Things)環境下的定位並不明確。掌握關於智慧工廠的全體面貌以及構成要素的特點和問題變得越來越困難。

表1 工業4.0中所提倡的智慧工廠的關鍵短語

IoS (Internet of Services)以及IoT (Internet of Things)一部分的系統以水平以及垂直方向的兩個網絡為核心，各自的網絡，從產品開發 設計到售後服務一連串的過程(生產形態學、End-to-end Engineering)為基本所構成。

具體來說，垂直方向的網絡是由一個工廠內的電腦、資訊通訊網絡、生產設備、運送機器等所構成。

另外，水平方向的網絡則是由同一企業的工廠間與其他的製造業、服務業等所構成。

表2 工業4.0 中所提倡的智慧工廠的關鍵字

- 於IoT 以及IoS 環境下的工廠構想
- 進行自主的資訊交換，互相都是可獨立開始運轉或是控制運轉的智慧型機械、倉庫系統以及生產設備CPS
- 生產可對應個別用戶需求的智慧型產品
- Mass-customization
- 對應中小企業

### Q&A 3:

## 如何去假定智慧工廠的全體面貌？以及把握全體面貌之後其討論的重要性。

即使這樣說，若不假定智慧工廠的全體面貌而去探討的話，是很危險的。「智慧工廠難以理解的背景」其中之一是，把重點放在個別的課題上，而不是全面地展現出來。

這麼一來，要如何地描繪出全體面貌才好呢？其中一個方法是，如同接下來所說的，著眼於「技術的系譜，或是傳承」，因此汽車產業的代表性加工設備—柔性傳輸線(FTL：Flexible Transfer Line)的系譜以**圖1**所示。眾所皆知，關於小客車的型號變更，傳輸線(TL：Transfer Line)其經濟性及可迅速對應機制的實用化是在1950年代。隨著在那之後的汽車產業變遷，TL轉換成FTL，在2010年代更是發展了傳輸中心。在那之間也開發了幾個展開形式，如同**圖1**所示，大多於2010年代中也正運轉中。簡而言之，社會的需求各式各樣，因此到目前為止的生產系統全部突然消失並轉變成智慧工廠，以常理來看是不可能的。有趣的是，2010年代也正使用現代化的NCIL。

因此，1990年代中，如同**表3**，日美英德所進行的項目及計畫所示，我們來看看以「2020年的生產系統預測研究」的成果為基準所描繪的「柔性製造單元(FMC：Flexible

<sup>3</sup> CPS (Cyber Physical System：假想現實空間系統)就是使用電腦為主體的「伺服器(假想)空間」，以及把握感測器網絡中的實際狀態，透過由信息驅動的機器群所整合的「物理性現實空間」，並建構使其一體化的自主智能系統。



圖1 柔性傳輸線的系譜

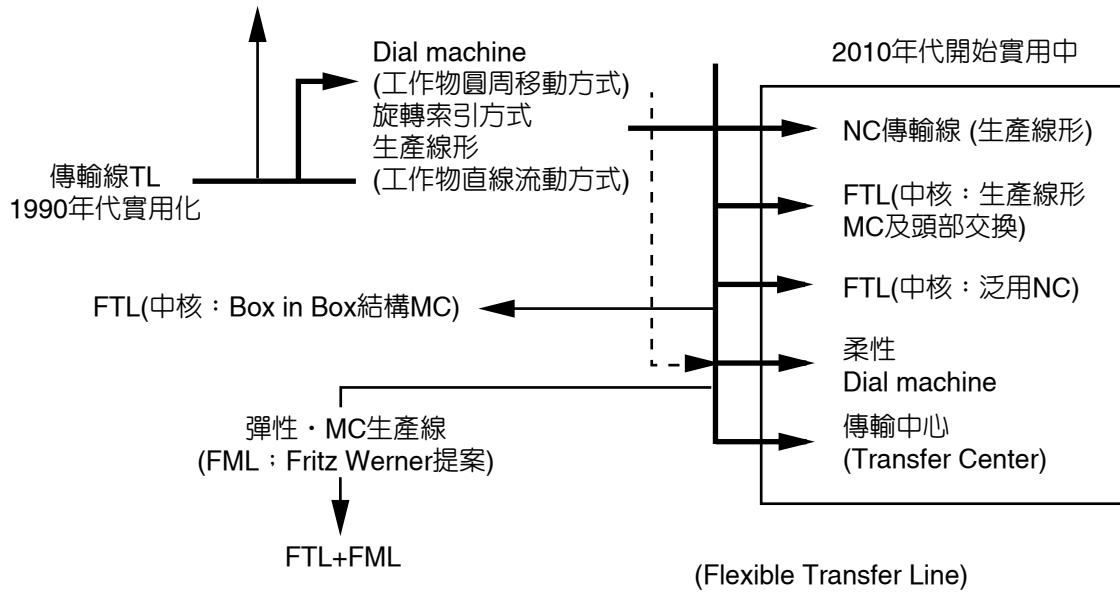


表3 「2020年所期望的生產系統狀態」的預測研究—1990年代

國名	實施機關名	項目/計畫名
聯合王國	Engineering Council IEE Royal Society of Arts 聯合王國政府	20/20 Vision Next Generation Manufacturing Enterprise Tomorrow's Company Programme 20/15 Vision
美國	National Research Council (委員長: Bollonger教授)	Visionary Manufacturing Challenges for 2020
德國	Forschungszentrum Karlsruhe/ 德國聯邦政府	Produktion 2000
日本	日本學術會議 機械工學研究聯絡委員會	21世紀初的生產科學・技術的研究指針

Manufacturing Cell)廣域分散配置方式柔性生產體制(FCIMS: Flexible Computer Integrated Manufacturing Structure)」。圖2是FCIMS省略細部的概念圖，圖3是表示單元控制裝置的概要，有下述的特徵(Ito, 1993)。

(1) 一個工業區內，亞洲地區，或者是分散在世界各地，所謂的虛擬地區聚集的FMC群集，透過資訊通信網絡連接到他們所統一及整合管理的電腦整合生產(CIM:

Computer Integrated Manufacturing)來進行。在這裡，FMC在標準型、組合加工型和目的適合型之生產對象產品中有不同的形式。

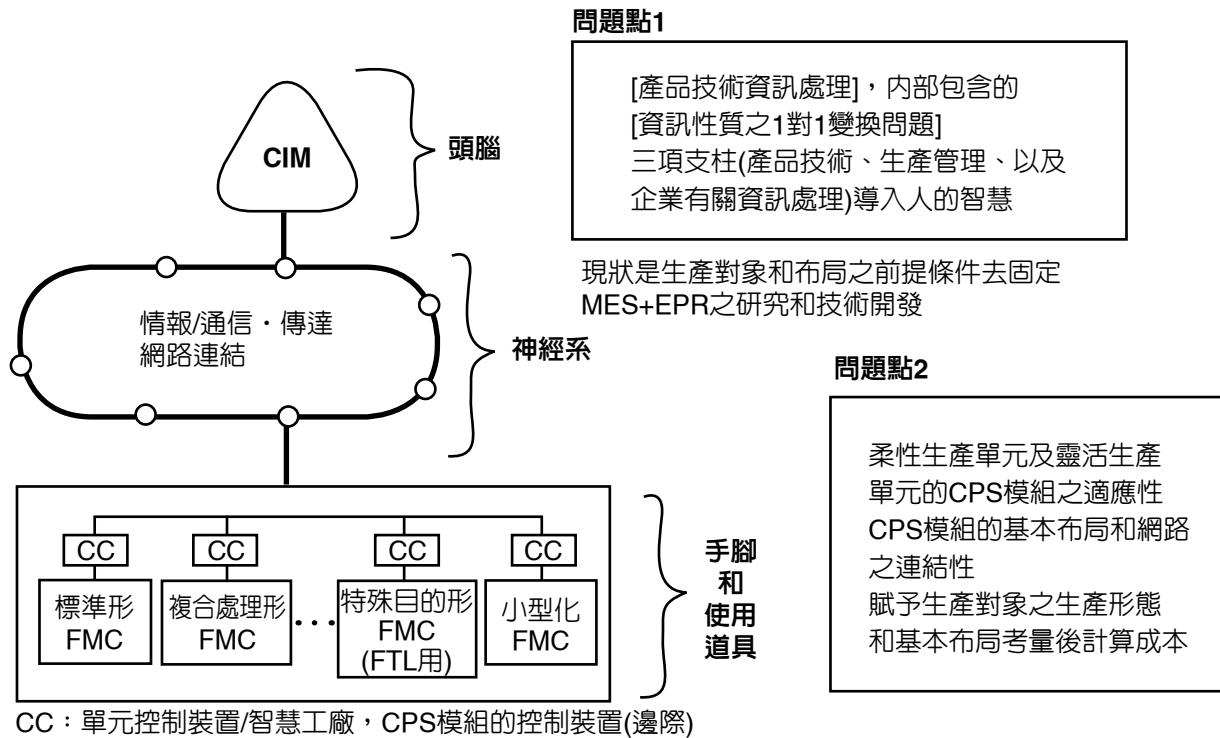
(2) CIM是由「產品技術資訊」、「生產管理資訊」和「企業經營資訊」這三種資訊所組成的，各自都含有所謂的「人工智慧」。

(3) FMC群集是指，藉由資訊通信網路的LAN來連接CIM的同時，所使用的數據標籤。同





圖2 FCIMS概念和智慧工廠應解決之問題點



時運送「物品與資訊」的方式也可與CIM連接。另外，FMC群集具有自主性，如auction方式或task-broker方式，當生產目標被輸入時，FMC會相互對話並決定是否接受。

(4)為了給予FMC自主性，單元控制裝置內建了構成系統的各FMC的模型(單元記述)。

當然，在當時相對應的技術尚未成熟，因此圖2及圖3所表示的概念實用性並未達到。但是，與表1及表2所顯示的短語及關鍵字比較時，FMC以CPS模數來替換的話，稱為智慧工廠也不會奇怪。以別的觀點來看的話，隨著CIM與資訊通信網路相關的技術先進化，也可解釋為一個智慧工廠正在被實現。

為了能夠更淺顯易懂，以人類來比喻的話，圖2中的「CIM是頭腦」、「資訊通信網路是神經系統」、另外「FMC群集則是手腳」，在智慧工廠裡，已進步成為「雲端運算+資訊通信網路+CPS」的型態。因此，如果以

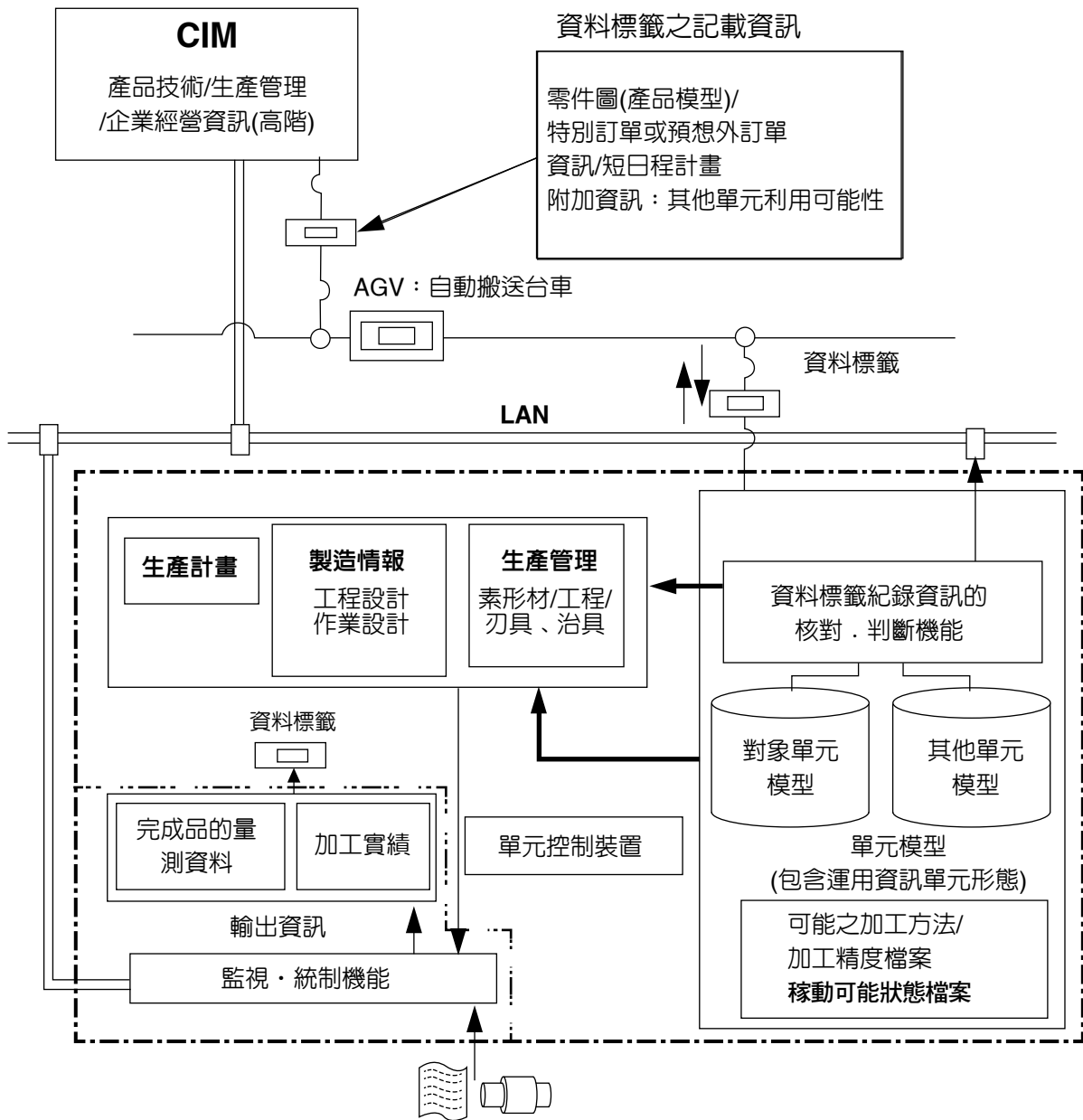
這三點來概括整體的話，是無法正確地理解智慧工廠的。因此，為了能夠容易理解，圖2中頭腦及手腳的部分顯現出了一個很大的問題。另外，目前能進行實際應用是因為智慧工廠將重點置於「頭腦及神經系統」，或者是「手腳及道具」這些個別部分，我們應該留意這些與原來的提案有所不同的地方。順道一提，工具機製造商也致力開發於「手腳及道具」這部分，例如像是與資訊通信網路連接性良好的CPS模數控制裝置。

**Q&A 4:**  
**CPS模數的定義與基本編排設計該如何去思考才好—模組化設計。**

如果要製造出社會所需求的產品，僅有「頭腦及神經系統」是無法達成的，「手腳及道具」是不可或缺的。因此，將重點放在「頭腦及神經系統」的智慧工廠中，如同「O&A



圖3 FCIMS單元控制裝置之概念—1990年代



之5」的例子一樣，最好將「手腳及道具」認為是系統設計的先決條件來看。當然，屬於CPS模數一部分的「作業員工作空間的物聯網IoT化」是高級化使用移動式資訊機器，與一般透過人類所控制的FMC輸出入裝置並不相同。

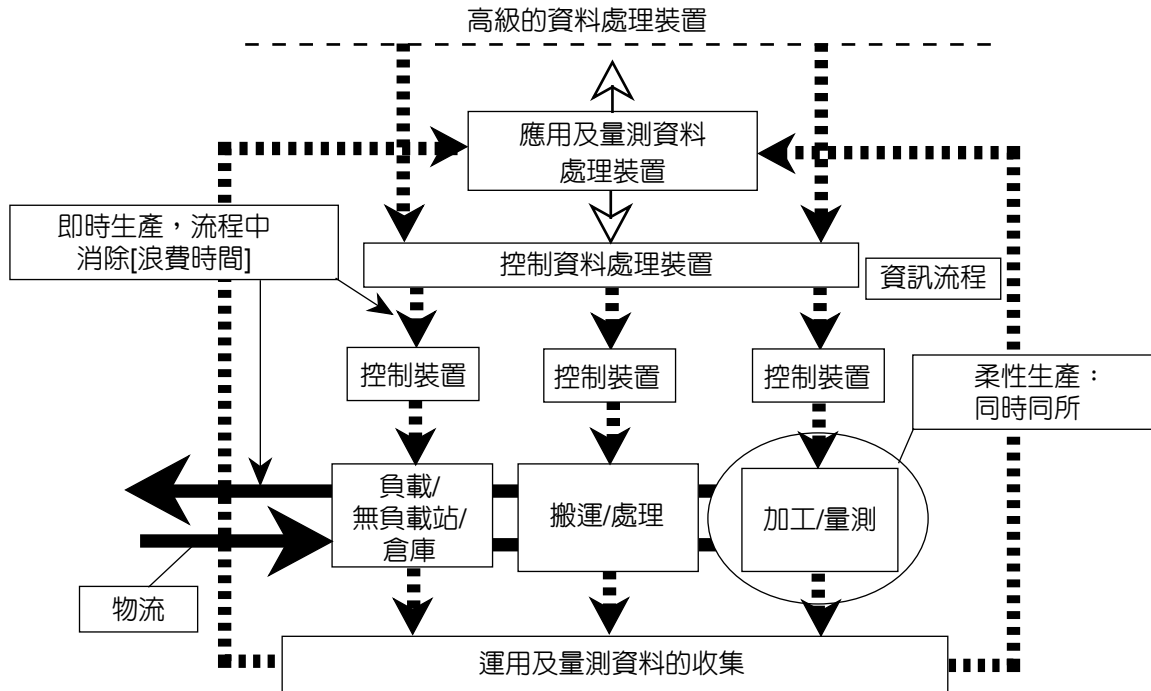
所以，該如何去定義以「手腳及道具」為基本要素的CPS模數呢？事實上，表2僅僅只

表示關鍵字而已，沒有像FMC或敏捷製造單元(AMC：Agile Manufacturing Cell)被明確的定義。因此，CPS可以有很多的解釋方式，這也是導致智慧工廠的理解混亂的一個因素。

針對這個部分，如同圖4所示，Weck巧妙地定義在系統設計中，必須著眼於「物體與資訊的流動」，以及含有FMC的柔性生產系統(FMS：Flexible Manufacturing System)的特徵。



圖4 柔性生產和即時生產之定義



此外，筆者也以自身特有的解釋在圖4中附註，被認為是柔性生產的後續繼承者的敏捷生產其含義。換句話說，柔性生產中，「物體被處理的狀況」中，提供「物體到達的同時，該如何處理的資訊」，削減不必要的等待時間，也就是所謂的「同時間同地點」特徵。對此，敏捷生產中，稱作「極力排除物體與資訊的各個流動中的不必要的時間」的「流動中不浪費的同時間同地點」已成為其特徵。

如此一來，FMC和AMC其相同的定義對於CPS模數來說是必要且不可或缺的。在導入電腦的生產系統中，因「同時間同地點」的具體呈現化為其原則，CPS模數也需一邊遵守「同時間同地點」的原則，一邊致力於「知能自律性」。在此，也可以解釋圖4中的「物體的流動」為現實空間，另外，對應的「資訊的流動」則為假想空間。

上述之外，我們也要思考到柔性生產是以FMC為基本的模數的模組化方式。換句話說，採用模組化方式的生產系統中，因為需要具備(1)柔軟性(Flexibility)，(2)擴張性(Expandability)，以及(3)冗長性(Redundancy)這三項特性，基本上在模組化方式的智慧工廠，我們應該研究除了這三項特性以外，還需要具備哪些系統屬性。

另外，CPS模數的基本編排設計中，「CPS模數模型」的設定也是很重要的。以FMC的情況來說，像是對於標準型單元的設定作業，也使用「單元的模型化(單元記述)」來進行評價「單元間的相似性」學術研究。之後，像這樣的研究已經幾乎不再進行，雖然實際的設計作業多半是由長年的經驗為基礎來決定所謂的標準型單元，但支持基本論點的學術研究對於先進技術也是很重要的。



## Q&A 5:

將重點放在「頭腦與神經系統」的智慧工廠，也就是所謂的雲端運算中MES與ERP為主要話題，這樣就足夠了嗎？

CIM，現在被叫做雲端運算(Cloud Computing)，在多數的智慧工廠以製造實行系統(MES：Manufacturing Execution System)及企業資源計畫(ERP：Enterprise Resources Planning)為主體所構成。所以，像以下所介紹的BMW公司Regensburg工廠，其汽車組裝線便顯示了很大的成果(Brambley S,2017)。然而，雖然這個實用例中的「產品技術資訊」被當作CAD/CAM一樣以成熟的技術來處理，但是如同Q&A 10所述，應該以CAD/CAM來解決的課題還是堆積如山。

那麼，這個組裝線中，適用於Ubisense公司被稱為智慧工廠用的生產管理軟體，各個組裝站別可以解釋是由接下來所說的硬體及軟體所構成的CPS模數。

- (1)硬體：數據標籤和感知器
- (2)軟體：根據即時定位系統(RTLS)，將「產品、人、工具類」等的生產資源，在工廠的哪裡、做什麼以「假想空間系統」來可視化。但是，管理人須以此為基準來調整生產流程。

表4中，結合組裝線的實態與定性成就，雖然可以得知智慧工廠的效果，但另一方面，也可以了解這與呈現「acatech」的智慧工廠有著非常大的不同。因此，這也是導致智慧工廠的理解混亂的一個因素。

表4 系統的實際狀態與所獲得的成果

### 系統的概要

組裝站別數：150(感知器數470)  
 組裝線長度：1.9km  
 一天的生產台數：1,100  
 同一個組裝線對應各個客戶的要求樣式。  
 但是，車種為BMW 1系列、BMW3、BMW M3、BMW Z4以及四輪驅動模型。

### 獲得的成果：組裝線的合理化

把握即時的組裝狀態，以其為根據的柔軟指示和基於數據的決策。  
 實現最大執行率和削減再作業的成本  
 客製產品時的「手工作業與防止錯誤」

- (1)僅能對應工廠內的「垂直方向網絡」以及「生產形態學中的組裝工程」。
- (2)為常規的「直線流動組裝方式」而非「單元生產方式」。「acatech」則是一個叫做Custom Manufacturing的參考事例中，汽車為智慧型產品，組裝區域內讓分散配置的CPS模數群自主性的移動來完成，而且，組裝區域被設置為動態，可再重新配置。

順道一提，雲端運算只有MES和ERP就足夠，那是因為作為生產系統設計基礎的「生產對象產品」和「對象工程」是有限的。

## Q&A 6:

將重點放在「手腳及道具」的智慧工廠，也就是可以以現有的FMC，或是AMC當作CPS模數來使用嗎？該怎麼樣使用？

如同圖2已經指出的問題點，現在所進行的智慧工廠的探討中，不可思議的是「現有的生產系統」，也就是說在工業先進國完全無視





FMC或者是AMC，以及FMC集積型系統等的對應。作為生產技術的常識來說，將目前為止所累積而來的技術資產與人力資源捨棄，並改變新的工廠概念，除非捨棄那些並產生很大的效果，否則是不可能的。這樣的話，如何將現有的FMC和AMC作為智慧工廠來使用才有討論的價值。

然後，其中一個答案是，這樣才能得知各個工具機製造商正在開發中的CPS模數用控制裝置的機能與FMC的單元控制裝置的比較。**圖5**顯示，EMAG公司所實用化的「工業4.0對應控制裝置」中處理的資訊內容以大項目與小項目來劃分。當然，工具機中裝置有多數個感知器，也就是大數據的收集，並試圖有效地活

用。與此相反，**圖6**中FMC單元控制裝置所進行的資訊處理的例子顯示，只看一眼是很難把握兩者的差異。因此，將其他幾個製造商的工業4.0對應控制裝置列出比較看看，如同**表5**所示，可以理解下述情況。

(1)各製造商賭上一切為了致力於開發，所公開的資訊很少，且資訊的準確度不明。因此，**表5**為保留的參考程度的數據。順道一提，西門子公司的「SINUMERIK」的情況是，表中的所有項目皆為不明，僅在備註事項中記載「客戶的訂單規格可顯示」、「無紙化生產」以及「CAD/CAM與CNC之間以假想機械連接・最優化」。但是從零件圖開始所進行的工程設計以及作業設

圖5 EMAG公司工業4.0對應控制裝置—2016年

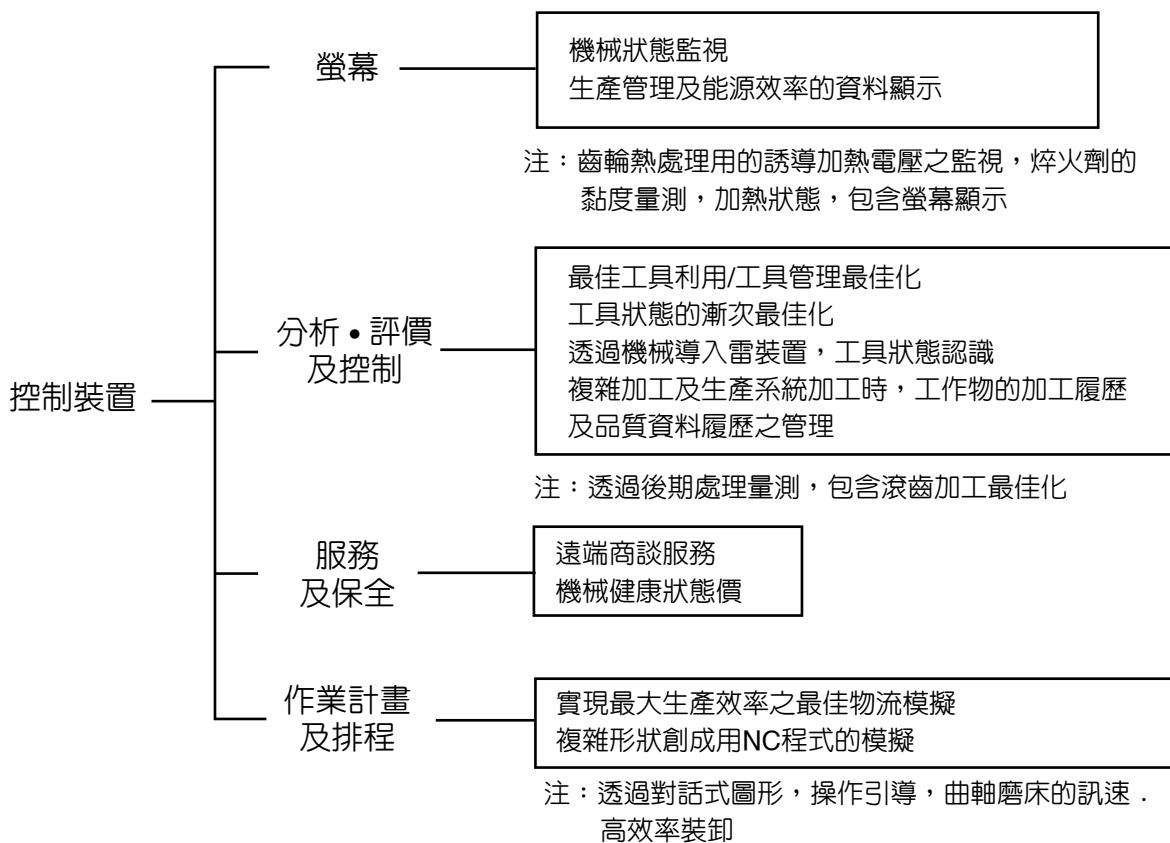




圖6 透過FMC單元控制裝置進行資訊處理

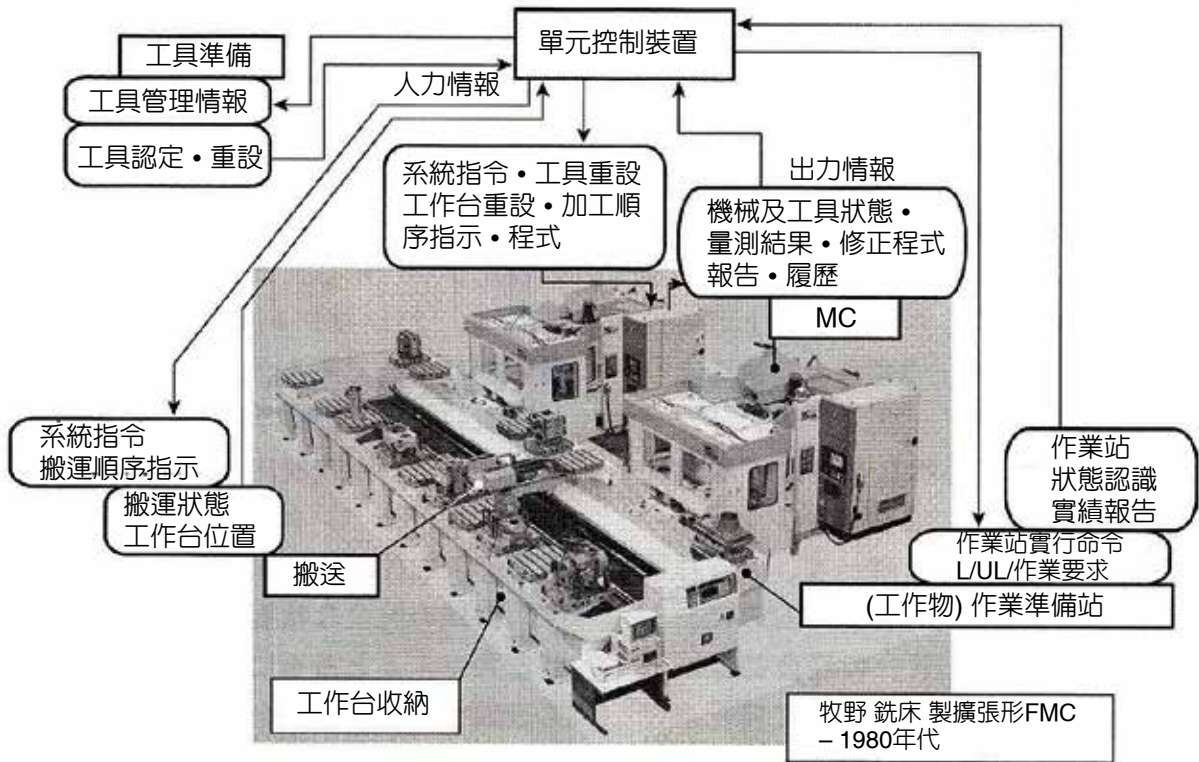


表5 工業4.0中可對應的先進形NC裝置與標準形單元控制裝置的機能比較

	監控・監視機械的狀態・顯示生產管理數據	服務與保全・評價機械的健康狀、遠端操控相談服務	認識工具的狀態、連續最新化/工具利用以及管理的最優化	工件的加工履歷以及品質數據履歷的管理
FANUC FIELD	○故障的預防保全機能	具體不明		○
EMAG社	○	○	○	○
Index社 Xpanel	○	○	○	△加工履歷數據：不明
FMC 單元控制裝置	○	○	△連續最新化機能：無	○
	作業計畫及時刻表	由零件圖所製成的NC資訊及工程模擬	備註事項	
FANUC FIELD	具體不明		當機械設定為「Edge」時，IoT可以使用霧層處理更多的數據：高度實際時間性、安全性、實現合理成本/Open Platform	
EMAG社	○	○		
Index社 Xpanel	○		經由電腦+NC裝置(畫面表示的切換)的「無紙化生產」(直接連接到商業組織的運轉系統)	
FMC 單元控制裝置	△高階電腦主機所提供的資訊	△高階電腦主機所提供的資訊		



計，開始的步驟為「虛擬空間」，在此之後的加工作業則定義為「實際空間」。

(2)如同作業計畫及工程時程表一樣，FMC中由CIM控制和管理的資訊可以由CPS模數的控制裝置(邊緣)進行處理。簡而言之，已經開發了在智慧工廠所應該進行的資訊處理是由雲端運算或是「邊緣」的作業分工以及開發了各種控制裝置。

(3)各個控制裝置的特點是，表5中的備註事項所示，CPS模數的控制裝置被解釋成「電腦+NC控制裝置」是最容易被理解的。

順道一提，經由附設有路由器的NC控制裝置與網路連接，也嘗試使用雲端運算的數據存儲服務這個簡單的機制。這樣一來，顯示機械健全狀態的大數據可與用戶共有，同時，也可以檢測出機械的異常狀態並以遠端操控來加以強化。這種情況，感知器可以檢查出機械的溫度、消費電力、負荷狀態等等。

如上所述，在機械加工用智慧工廠的情況下，現在運轉中的標準型FMC，也就是所謂的以CNC車床與TC為核心的機器人方式(參照圖7)，且硬體以MC為核心的通用托盤方式，這被認為可以直接作為CPS模數的硬體來使用。而且，如同「Q&A 10」也有提到，現在，高度機能集積型工具機的開發、實用性正穩步發展，因為那些是被稱為與資訊通信網絡具有良好連接性的「One-Machine Shop」型態，被認為對於實現智慧工廠的障礙極少。

當然，必要時包括硬體方面的CPS模數的技術開發也正在進行。其中一例是在加工一個高附加價值的零件中發現，捷克科技大學正在開發被稱作以數字孿生(Digital Twin、實際與虛

擬機械的組合)為基礎的智慧型加工系統。這個系統具體而言是由以下幾個個別技術所構成的。

(1)智慧型夾治具：技術人員可以透過「手持顯示面板」接收到「定位和調平」等階段性的指示，同時也具備查詢功能。這樣可以「削減75%浪費的時間」。

(2)隨著CAD/CAM數據的輸入，NC資訊製成的同時，進給驅動系統一機械本體一加工過程等以FEM(有限要素)為原型的「虛擬加工」以及其透過這些的加工過程的最優化。

(3)如同上述以數字孿生識別加工誤差(稱為虛擬現實空間途徑)。

除了上述之外也有其他的漣漪效應，數字孿生被認為是一個對話工具，特別在中小企業和製造商之間，對於用戶的採購決策很有幫助。另外，報告也指出數字孿生成為收集和處理加工實績數據的有力武器。

資料來源：機械和工具，2017年8月號

(下期待續……)

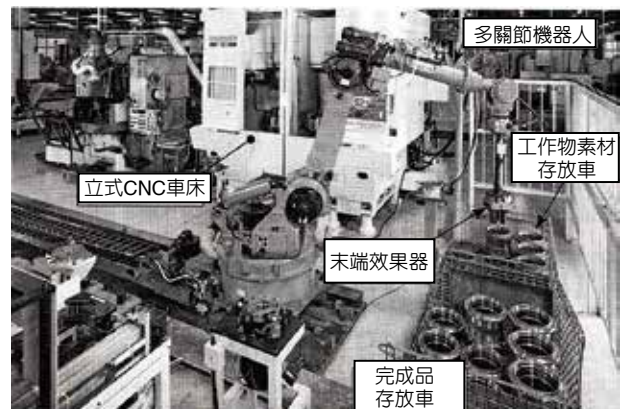


圖7 機器人方式FMC實例(不二越公司2010年)