

## 科技發展觀測平台「2016 年先進製造議題」年度報告

黃財丁

### 引言

自歐盟於2011年提出智慧製造系統2020計畫(IMS2020 Project)之後，美國於2012年提出先進製造夥伴計畫(Advanced Manufacturing Partnership, AMP)，德國在2013年提出工業4.0計畫(Industrie 4.0)，日本也在2015年的製造業白皮書中提出發展先進製造之相關措施，而中國則在2015年提出中國製造2025，台灣在2015年9月啟動生產力4.0計畫，並於2016年7月推出智慧機械產業推動方案。這些相關政策議題持續在世界各地發酵，其目的均聚焦於持續強化各國的製造業能力，以期發展出可以快速商品化的新興科技，並分享產官學研界的研發成果，促進產業間一條龍式地協同研究發展，以降低商品創新製造風險與成本，並提升產品的等級與品質。

科技發展觀測平台先進製造領域資訊蒐集重點包括：國際組織及各國政府在製造、生產自動化及生產力等領域之相關施政措施及計畫、研究計畫及成果報告、相關標準與法規、公眾意見與媒體訊息、專題評論、趨勢報告等資訊；主要內容涵蓋：先進製造、智慧製造、尖端製造加工、工廠自動化、生產自動化、機器人、先端材料、奈米技術、自動物料搬運系統、電腦輔助設計、電腦輔助製造、電腦整合製造、再工業化、工業4.0、生產力4.0、網路實體系統，以及智慧機械等。

資訊來源則包括國際組織、重要國家之政府相關主管機關、研究機構、大學院校及新聞媒體等網站所發表之資訊，主要蒐集對象有：歐盟秘書處、北歐部長理事會、白宮科技政策辦公室、美國總統科技顧問委員會、美國總統行政辦公室先進製造計畫辦公室、德國國家科學暨工程研究院、法隆霍弗製造技術與先進材料研究院、英國商業創新與技術部、英國政府科學辦公室、日本產業技術總合開發機構、日本機器人革命實現會議、日本機械工業聯合會、科學技術振興機構研究開發戰略中心、中部經濟連合會、加拿大商業部、中國工業和資訊化部規劃司，以及相關期刊、大學系所與研究單位等。

2016年科技發展觀測平台先進製造議題收錄文獻篇數總計有1,035篇，按文獻類型別及領域類型統計列表如下：

2016 年先進製造議題收錄文獻篇數統計---依文獻類型

新聞／ 訊息	政策文件	法規規範	研究/分析 報告	期刊論文	研討會論 文	簡報資料	學位論文	專書	總計
230	90	6	388	162	84	47	16	12	1,035

2016 年先進製造議題收錄文獻篇數統計---依領域類型

先進製造 相關政策	電腦輔助 設計與電 腦輔助製 造 (CAD/CA M)	機器人	工廠自動 化	物聯網 (Internet of Things, IoT)	網路實體 整合系統 (Cyber-Ph ysical System, CP S)	先端材料	尖端製加 工	生產力	總計
197	10	133	256	40	96	91	56	156	1,035

## 一、先進製造發展綜覽

歷經長期工業發展之後，世界各國的經濟也隨之高度繁榮進步，在享受各項經濟開發的果實之後，先進國家都將發展服務業，作為國家產業發展的重心，冀望藉由服務業的發展興盛，可以繼續享受富足美好的生活。終致公、私部門的消費占經濟發展的比重大幅提高。在幾十年過渡消費，且又長期投資不足的情況下，因此生產力嚴重衰退。有鑑於此，先進國家乃爭先仿效，積極推動再工業化策略，其目的不僅止於促進製造業復甦等實體經濟層面的振興而已，主要的目標是要積極鞏固其在某些產業的全球霸主地位，建立自己國家的先進製造技術，創造國內就業機會，並且保持其國內產業持續領先發展。

### (一)我國政府政相關政策

我國自 2011 年行政院推動「智慧自動化產業發展方案」，製造業進入智慧密集型產業發展階段，從專用機大量生產的模式推展到利用具有訊號感測、資料處理、智慧決策、作動控制(Motion Control)等功能的智慧機器人的應用，而發展出智動化生產系統，也就是即將揭開生產力 4.0 序幕的年代。

2015 年 10 月 22 日，行政院正式啟動生產力 4.0 發展計畫，在這項科技發展方案中，選定了「智慧機械、工業大數據、產業價值鏈互連網」等三大科技，作為發展台灣未來產業的核心技術。並呼籲相關產業界儘快仿效自行車業界過去組成 A-Team 的成功模式，積極有效地採取團隊整合的集體作戰方式，來提升我國產業的生產力與競爭力。生產力 4.0 科技發展方案包括三大領域：製造業 4.0、農業 4.0 及商業 4.0 等三個策略構面。不過所藉助的發展動力來源還是不脫智慧機器、大數據及物聯網等三大推動製造業發展升級的基礎能量。在方案中所列的六大主軸策略(科技會報辦公室，2015)：

- (1)最佳化領航產業智慧供應鏈生態系統；
- (2)催生新創事業；
- (3)促進相關設備與各項軟體國產化；
- (4)掌握關鍵技術自主能力；
- (5)培育實務人才；
- (6)挹注產業政策工具。

在2016年7月21日行政院院會中通過蔡總統五大產業創新之「智慧機械產業推動方案」，藉由(i)連結在地；(ii)連結未來；(iii)連結國際的三大推動策略，期能藉此達成以下效益：

- (1)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。
- (2)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年後則以30%為目標。
- (3)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。
- (4)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。
- (5)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。

(6)帶動智慧機械產值年成長率倍增---智慧機械產業年複合成長率，預計至108年為2%、至112年為5%以上（相較過去10年之年複合成長率2.4%，成長約2倍）。（吳明機，2016）

## (二)我國產業發展現況

我國的機械產業現況為：(i)生產總值(產值)新台幣9,550億元；(ii)內外銷比例為外銷64%，內銷36%；(iii)廠商家數為16,572家；(iv)從業人員有277,658人；(v)中小企業比率高達95%。目前業界所面臨的困境則如下：(1)我國機械設備產業以出口為主，很容易受全球經濟環境及不確定等因素影響。(2)2014年我國機械產業出口值較2013年成長7.6%，整體生產總值成長5.8%。但是到了2015年，因為美國推動製造業回流策略，以及德、義等歐元區國家的製造業復甦，並且遭遇到受全球經濟成長疲弱，以及日、韓匯率競相貶值等因素的影響，致使我國機械產業出口值較前一年衰退6.0%，整體生產總值衰退了3.1%。

機械產業是少數根留台灣的產業，也是一個低污染的產業，在工業4.0的發展浪潮上，更是一個極具發展潛力的產業。發展智慧機械是台灣機械產業超越德國、日本，逆轉求勝的一個大好時機，台灣機械產業有機會藉此將危機翻轉為轉機。緣此，台灣機械工業同業公會將2015年訂為「智慧機械製造元年」，希望藉由機械公會提燈照路，點亮台灣智慧機械製造前進的大道，戮力推動智慧機械的發展進程；惟檢視現今台灣產業發展環境，在研發、製造及行銷等相關方面的人才嚴重缺乏，應加速推動人才培育及在職訓練相關措施，才能全速前進，將台灣打造成智慧機械製造王國。針對台灣機械產業發展的當務之急，台灣機械工業同業公會乃代表台灣全體機械製造業者對新政府提出產業六大建言，如下：

建言一：建請新政府因應全球智慧製造工業4.0的發展趨勢，加速智慧機械相關技術研發和人才培育；並增列研發經費，協助台灣精密機械產業加速研發與生產智慧機械，將台灣打造為智慧機械製造王國。

建言二：建請新政府啟動新臺幣防禦性貶值，以提升出口競爭力。

建言三：建請新政府加速兩岸貨品貿易洽簽，並與貿易對手國洽簽自由貿易協定(FTA)，及爭取加入跨太平洋戰略經濟夥伴關係協議(TPP)，破除關稅障礙，強化出口競爭力。

建言四：建請建構精密機械台灣供應鏈，帶動台灣機械產業升級與結構轉型。

建言五：建請政府有關單位加速工業用地開發，以解台灣機械產業對工業用地需求的燃眉之急，協助台灣機械產業根留台灣，同時提高國際競爭力。

建言六：建請政府主管機關加速會展中心(南港二館)興建工程，提供台灣機械產業一個足夠行銷機械技術創新實力的國際舞台，提升出口競爭力。（柯拔希，2016）

## (三)國際先進製造重要政策

本節將針對德國、美國、英國、日本、中國、韓國等製造業先進國家，在促進他們國家發展先進製造技術方面所提出的一些重要相關政策，做一簡要介紹。因為各國都期望能夠藉助國內先進製造相關技術的發展，積極建構出各種藉由物聯網與實體世界整合而成的智能化製造、生產、銷售與服務的網路實體整合系統(Cyber-Physical Systems, CPS)，來快速反應市場客戶端的需求，甚致於達到可以預先因應變化萬端的市場需求，以求在激烈競爭的市場上占領絕對的優勢地位。



## 1.德國

德國在製造領域技術一向領先各國，在 2011 年 1 月啟動高科技戰略 2020(High-Tech Strategy 2020)，藉以調整德國國家創新結構的缺失，包括：教育體系與創業行動；2015 年又推出新一代工業革命的「工業 4.0 計畫」，其發展方向明確地指向網路實體整合生產製造系統(Cyber Physical System, CPS)等先進技術領域的探索。期望到 2020 年時建置以 IP 網路自動化生產的智慧工廠，形成「智慧製造+服務」的全新商機與商業模式，達到垂直整合工廠與企業管理流程，且完成從訂單到交貨的水平價值創造網路的連結。

在次世代製造技術研究開發：ドイツ編(次世代製造技術研究開發戰略：德國篇)中提到，德國成立一個工業 4.0 平台產學官戰略策劃制定委員會，於 2013 年啟動，並指定資訊網路標準化與參考結構、複雜系統管理、廣域寬頻基礎建設、網路安全、數位產業時代勞動組織與工作方式、人才培育與持續性專業教育、法律基本條件與規範、資源效率性利用等八個優先開發領域，設立工作小組製作研究開發路徑圖。特別是，將以網路實體整合系統(Cyber-Physical System, CPS)與智慧型工廠二個領域列為優先研究開發項目，以期待能藉此創造出全新的製造技術。為了推動創新，以產學共同研究開發、多家企業參與聯盟等平台模式推動，吸納製造、機械工業、資訊工程、法學、經營學、社會學等各個領域的專家意見，參與討論與交換資訊。其四個代表性計畫如下：

- (1)尖端群組競爭方案 it's OWL(Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe)---主要是 174 家企業、大學與其他伙伴參與，研究主題為「會思考的工廠」智慧型工廠的模式運用、隨插即生產(Plug and Produce)；參與企業第一群是出研究資金，第二群是贊助會員，以參加技術移轉為主；五項基礎性計畫為自動化技術、人機界面(HMI)、智慧型網路、資源高效率化及系統工程的研究。
- (2)下一代生產技術研究---由 BMBF 負責，並以市場趨勢調查與戰略性生產計畫、製造技術與設備、製造業之新企業間合作制度、對人類與企業改革的適應性等四個主題進行研究。
- (3)產業機器人與 M2M 研究 4.0：BMW 主持的 Autonomik 製造技術研究開發計畫，主要以中小企業為對象，以 Autonomik 自律性模擬系統為基礎的系統後續計畫。使用機器人作業系統(Robot Operating System, ROS)的可重複使用彈性機器人系統(Reusable robot applications for flexible robot systems based on Industrial ROS, ReAPP)的研究開發。
- (4)智慧工廠實驗工廠：設立智慧工廠 KL，以整合生產線自動化與通信技術為目標，是歐洲唯一未隸屬於任何特定企業的示範工廠。以實現未來智慧工廠導向的技術移轉和先導性研究為核心，從事智慧工廠的各種實證研究計畫。

## 2.美國

美國藉由先進製造的各項扶持政策，大力發展先進製造技術，以先進製造夥伴聯盟(AMP)、國家製造創新網絡(NNMI)、製造創新研究院網絡(IMI)、積層製造(3D 列印)創新研究院(NAMII)等作為區域創新與人才培育中心，以期縮短基礎研究與技術開發之間的差距，藉此加速推展新技術與新產品的商業化進程。

在National Network for Manufacturing Innovation Program: Strategic Plan (製造業創新計畫國家網絡：策略計畫)中，美國政府結合各公司部門、學術團體、工業機構、大小企業，

於 2014 年正式成立製造創新網絡計畫(National Network for Manufacturing Innovation, NNMI)，希望藉以提升美國製造業的創新能力。製造業創新國家網絡計畫與策略有以下目標：

- 目標一：增加美國製造業的競爭力，透過不斷的研究、創新和技術發展，促使美國的製造業技術領先並增加國內的產值；要增加美國製造業的競爭力，NNMI 計畫必須扮演催化劑的角色，促成創新科技、原料生產、製程、資訊和產品，以及人力再教育，透過公、私機構及學術界的整合。
- 目標二：將創新科技移轉到符合成本效益的高效率國內產出，政府需提供一系列的服務與資源---(i)製造科技的展示；(ii)使用者付費機制的技術顧問、設備和訓練；(iii)和其他成員合作，並且獲得技術援助的機會；(iv)與其他供應鏈組織如國家標準局、製造業合作組織共同合作；(v)快速建立模型並提供少量產出，以評估製造程序及模型的能力。其重點如下：(i)使美國製造業能得到製造能力及資本密集的基礎設施；(ii)高階製造技術經驗分享；(iii)支援美國製造業提升標準及以服務建立。
- 目標三：加速高階製造人力發展，一個健康的製造環境應包含人力發展、工作機會增加、工資提高。人力發展包含技術員、高階生產人員、製造工程師、科學家以及實驗室成員。其要點如下：(i)培養製造科技、工程、科學、教學人才；(ii)支持與擴充師徒制；(iii)支援州政府與地方高階製造訓練課程；(iv)培養高級製造工程師；(v)確認下一世代高階工程師必備的技能。
- 目標四：商業模式必須要讓每一學院能夠穩定地持續發展，一個製造學院應從事應用研究、技術發展、模型開發、教育與訓練，製造軟體開發，學院是扮演產業與學術界媒合的角色，學院也提供有價值的經驗傳承，將過去失敗的教訓，好的使用者經驗都能傳承與分享，如此學院的價值與任務才能彰顯出來。在 2016 年製造創新網絡計畫中將成立 6 個學院，年底將會擴充到 16 個，這些學院將由能源、商業、農業部門共同支持，同時也與公、私部門共同協調，以持續扮演促進製造創新升級的角色。

### 3.英國

英國延續其自 1960-1970 年的大政府思維，透過政策引導產業發展。由工程暨物理科學研究委員會(EPSRC)投入 4,500 萬英鎊(約新台幣 21.3 億元)資助創新製造之超精密研究中心、創新製造之智慧自動化研究中心及創新製造之先進檢測研究中心等九個創新製造相關研究機構；另外，由英國技術策略委員會(TSB)負責，未來四年將投入總額達二億英鎊的經費，籌建國家級技術創新中心，並透過與各研究機構的合作，加速製造相關的新興技術產業化應用；而且敦請英國工業聯合會(CBI)製造委員會主席 Andrew Reynolds-Smith 擔任外部評審團主席，從提出申請的 140 個機構中，評選出七個研究機構，將其整合成為英國高值製造技術創新中心(High Value Manufacturing Technology Innovation Centre)。

在 *The Factory of the Future: Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 29(未來工廠：未來製造計畫---例證報告第 29 號)* 報告中，英國政府為維持製造業在國際間的競爭力、並促進其經濟、社會、環境的永續發展，提出未來工廠(Factory of the Future, FoF)(或稱 Factory 2050)的發展計畫，聚焦於英國以外銷導向之製造業，包含航太、汽車、設備、化學、製藥、生技產業等。訪問歐、美、日、各國相關產業的專家與企業負責人，在八大領域，為英國製造業者提出建言，包含：整合性更高級更優化的供應/價值鏈、更強化的長期產學合作以促進

創新研發、組織與技術的創新聚焦、人-組織-技術的系統化整合、精實且能快速重組與擴展的企業組織、更能促進創新的新一代工廠管理與監控技術(尤其針對生技產業)、未來工廠如何整合專業人力與先進技術、製程拓展新的價值創造模式、在製造業運作中如何進行文化移轉與體認。

#### 4. 日本

日本提升製造業競爭力以促進經濟發展，主要朝著四個面向開展：(i)在官、產、學、研各個層面同步推動創新計畫；(ii)科技研發經費投入與其製造業競爭力戰略路線圖之間維持緊密的聯繫關係，並且資助情況良好；(iii)將人力資源視為提升製造業競爭力的關鍵；(iv)產業界也同步採取宏大的製造業競爭力戰略，而且幾乎沒有接受政府的直接資助或是干預。根據「產業結構藍圖」，日本今後將重點發展以下五個領域的產業：(1)核電廠、航運、鐵路等方面的基礎設施出口；(2)環保車輛等環境能源技術；(3)文化產業；(4)醫療、照護、健康及育嬰方面的服務；(5)機器人、航太空等尖端技術。冀望到 2020 年時能夠創造出規模為 149 萬億日元的市場，增加 258 萬個就業機會。另外，日本機器人革命實現會議發布日本機器人發展策略：展望、策略、行動計畫(Japan's Robot Strategy — ビジョン・戦略・アクションプラン—)，計畫中指出機器人革命將呈現以下三個願景：(i)傳統機器人將會因為感測器及人工智慧的導入，而進入一個新的境界，汽車、家電、行動電話或房子都可視為一套智慧機器人系統；(ii)機器人的使用範圍將不再侷限於製造作業，將會擴展到日常生活的各個層面；(iii)機器人的使用，將會導入到人類社會生活中的各個層面，因而使得整體人類生活將更加方便、富裕與繁榮。為因應這些變革，機器人的發展必須再加強各方面的創新與變革。

日本總理府提出的 SIP(戰略的イノベーション創造プログラム)革新的設計生產技術研究開發計畫(SIP(戰略性開創創新方案)革新性設計生產技術研究開發計畫)指出，雖然日本在材料、零組件或工具機擁有高度技術力，但是獲利更豐厚的最終產品與服務卻陷於苦戰，為維持與強化產業競爭力，除了擁有高品質與高性能製造技術，還要確立高附加價值新製造技術。此外，於製造上游就能事先預測與檢討產品、系統與服務各種條件的總體性評價或方法論。為達成上述目標，將致力於：(1)以產品用途、使用環境、全球化顧客下設想使用價值的技術設計；(2)於設計過程中，考量顧客滿足度、性能、成本、品質等多元價值的探索方法與評價、模擬合作技術；(3)避開大眾化，反映出日本材料與零組件優勢及產品、系統和服務的整體設計；(4)快速生產具高功能性、結構複雜、樣式新穎產品的新製造加工技術；(5)大幅提升過去製造與加工技術、機能與性能，轉向其他領域應用或與其他技術整合與系統化；(6)以詳細模擬及精確量測技術，對複雜的製造與加工過程深入瞭解，並作最佳化控制。SIP 計畫的研究開發執行者以企業或大學等研究機構為主，原則上，以在日本國內擁有研究開發據點者為對象，以產學合作方式參與研究。

#### 5. 中國

中國在其十二五計畫中，明確指出高級設備製造業領域的重點方向關係到國家的經濟發展潛力和未來的發展空間。中國製造 2025 則部署了全面推動製造強國戰略，為實現其製造業由大到強的大戰略，在中國製造 2025 計畫中提出了三步走戰略。冀望到 2035 年時，中國製造業將整體達到世界製造強國陣營的中等水準。到中共建國一百年時，製造業大國地位更加



穩固，綜合實力進入世界製造強國的前列。在 2015 年 9 月 29 日正式公布「中國製造 2025 重點領域技術路線圖」，選定包括資訊通訊技術、新能源汽車、航空航太等 10 大領域，23 個重點方向，每個重點方向又分了若干重點產品，希望在 2025 年，能取得領先地位。這 10 個重點發展領域包括：

- (1) 新一代資訊技術產業，包括積體電路及專用設備、資訊通信設備、作業系統與工業軟體、智慧製造核心資訊設備等 4 個方向；
- (2) 高檔數控機床和機器人，包括高檔數控機床與基礎製造裝備、機器人 2 個方向；
- (3) 航太航空裝備，包括飛機、航空發動機、航空機載設備與系統、航太裝備等 4 個方向；
- (4) 節能與新能源汽車，包括節能汽車、新能源汽車、智慧網聯汽車等 3 個方向；
- (5) 電力裝備，包括發電裝備、輸變電裝備等 2 個方向；
- (6) 新材料，包括先進基礎材料、關鍵戰略材料、前沿新材料等 3 個方向。
- (7) 生物醫藥及高性能醫療器械，包括生物醫藥、高性能醫療器械等 2 個方向；
- (8) 海洋工程裝備及高技術船舶
- (9) 先進軌道交通裝備
- (10) 農機裝備

考慮到市場和技術的變化未來將會加快速度，諮詢委員會將進一步組織相關領域權威專家深入研究，及時對技術路線圖進行動態調整，每兩年滾動修訂和發佈一次新版路線圖。(上海经信委，2015)

## 6. 韓國

韓國製造業創新 3.0 最大的重點在於整合資訊科技、軟體實力創造出新興產業及提高製造業的附加價值，期望將韓國從後進國家的追趕型策略，轉變為先導型策略，並且提高韓國製造業的全球競爭力。韓國製造業創新 3.0 係參考德國工業 4.0 戰略的基本理念，其方案完整，內容具體，有不少獨到之處。(1)戰略目標明確，以促進製造業與資通訊技術融合，從而創造出新興產業，並以提升韓國製造業競爭力為目標。(2)在戰略設計上，則堅持以韓國的國情為基礎。在戰略執行方面，都已充分考量到韓國中小企業生產效率相對較低、技術研發實力不足等問題，因而採取由大企業帶動中小企業，由試點地區逐步向全國擴散的漸進式推廣策略。(3)引導企業在製造業創新 3.0 戰略實施中發揮關鍵性作用。韓國政府將扶持與培育相對處於弱勢的中小企業作為發展的重點方向，並計畫透過對中小製造業的智慧化改造，來達成提高製造業附加價值的目標。(4)高度重視提升韓國製造業的軟實力，並將其作為強化製造業的核心競爭力，以及迎戰其他國家競爭的主要手段。

### (四)國際先進製造重要趨勢

本節藉由聯合國Industrial Development Organization、美國Institute for Defense Analyses、Teknikföretagen、Canadian Chamber of Commerce、Deloitte Center for Industry Insights等相關機構所發表的報告，包括二十一世紀的製造、先進製造全球最新發展趨勢、先進製造能量、製造業創新及2016全球製造業競爭力指標等報告中對先進製造所提出的發展趨勢觀察，協助大家了解國際先進製造技術最新發展的一些重要趨勢與願景。

在聯合國發表的 *21st Century Manufacturing (二十一世紀的製造)* 中，針對今天物品的生產已經完全國際化，提出改變的方向及企業所面臨的選擇：

- (1)誰在那裡生產什麼？對公司企業而言，不管是買主或賣方，很重要的一點是決定一個產品的那些元件是策略性關鍵零組組件，那些元件是可量產的商品元件；前者留在企業內部開發、設計，商品化的零件則可從市場上獲得；但是這個答案會不斷的隨時間而改變；例如產品的特性，生產工具的變化，企業面臨的問題等；但對生產者而言，總是希望在生產製程過程中，扮演一個關鍵性的角色，對地區而言，問題在如何尋找在價值網路中的地位，如何讓區域競爭者能在全球競爭中脫穎而出；其重點則是在尋找並確認產品的關鍵價值。
- (2)確認產品價值網絡中價值所在，再來決定誰生產那一部份，在那裡生產。
- (3)現在幾乎所有的物品都具備資通訊能力，而且這一部份幾乎都留在先進國家中產製，這對產品的發展、生產、競爭特性、服務部門都有影響；換句話說，產品的價值在於數位服務的能力。
- (4)現在製造分析著重於生產層面，而非生產的部門。過去在豐田和通用汽車競爭時期，我們說豐田的及時生產系統，現在則是強調生產的層面，如蘋果的產品，設計在加州的 Cupertino，矽谷的設計公司聚集在一塊，使得創新更容易，但是同樣的在中國大陸深圳，金屬切割、電路板、元件生產、塑膠成型等都聚集在一起，使得生產彈性、敏捷、快速，這代表生產的不同層面。
- (5)新的生產技術不斷創新，例如 3D 列印、機器人工廠，勞力密集產業會持續下去，但是人力成本並不是特別受到特別關注的項目，因為我們可以透過技術人才生產力的提升，或者是將人工智慧裝進機器人中，用機器人指揮廉價可取代的勞工；但是這些改變取決於在什麼樣的環境下運用這些技術。

該報告最後指出二十一世紀的生產製造將會帶來以下三大願景：(1)藉由自動化與大量使用、整合 ICT 技術，來滿足大量客製化與智慧產品的生產；並創造有別於傳統、更舒適、更人性化的工作環境；(2)克服勞動力短缺問題實現分散式製造與都市內製造的情境，提高工業區資源的使用效益；(3)滿足廠商持續發展的需求，實現綠色生產，並提高能源與資源的使用效率。

在 *Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing (先進製造的全球最新發展趨勢)* 中指出，來自學術界、政府和工業界的專家，提出從傳統的勞動密集製程轉換成以先進技術為基礎的製程有五個原因與趨勢，分別是：(i)資訊技術無所不在；(ii)製造過程依賴建模和模擬知識；(iii)全球供應鏈管理需加速創新；(iv)走向快速製造來回應客戶需求；(v)接受和支持永續製造。在成熟的技術領域，出現兩大趨勢。一是因為半導體是全球資訊技術經濟的基石，多個研究領域正在進行中，包括以矽為基底的積體電路持續線性縮放，提高材料的多樣化和方法來構建積體電路，並設計完全新穎的電腦設備。二是先進材料與優異性能的內部結構，促進產品的轉型與變化，一個巨大的潛力是整合運算材料工程加速的材料轉化為產品，所使用的系統化方法，可以減少成本和進度，並提供技術優勢。在尚未成熟的技術領域，亦出現兩種趨勢；一是添加製造，包括藉由加層的材料用於建構固體部份的各種技術，這將有潛力改變未來設計產品、出售並交付給客戶、大規模客製化服務和易於設計變更等。二是合成生物學具有潛力製造生物物質，提供生物系統的新用途，特別是生物製造，將可重新組織先進



製造的新觀念。先進製造在特定國家發展是考量一個國家政府是否能提供，如基礎設施的品質、勞動力的技能和穩定的商業環境。在未來 10 年，先進製造將串聯全球自動化和數位化供應鏈管理，成為跨越常態的企業系統。這種趨勢將藉由自調式感測器網絡的實現，可允許智慧回饋，來快速分析和決策。先進製造在未來可能有更多的能力和資源，讓每一家公司努力整合製造技術至商業行為，以降低成本，減少供應鏈風險，並提高產品給客戶。從技術的角度來看，先進材料和系統設計將加快和改造產品。未來 20 年，製造業者將會增加使用先進與客製化材料，開發運算方法和加快實驗技術。先進製造的全球經濟趨勢已經浮現。綜上所述，未來 10 年，製造技術的發展將逐漸自動化和網路化。在未來 20 年，先進製造技術可望被全面採用，進展到新領域，並取代傳統製造技術。

在 *Advanced Manufacturing Capabilities: Working Paper on How Japan, South Korea, China and Singapore Manage R&D, Innovation and Digitalization in Industrial Production* (先進製造能量：日本、南韓、中國、新加坡在工業生產方面之研究發展管理、創新與數位化之能力研究) 報告中提出，在先進製造技術的應用上，日本和南韓遠超過中國與新加坡。日本和南韓在全球品牌之整體消費和商業客戶部門是技術領導者。日本在電子產品製造與汽車方面，是擁有精煉技術的發明者和全球領導者。南韓已能夠設計敏捷製造平台與流程，並組建強大的品牌接受日本技術的挑戰。中國和新加坡卻仍然在學習，其中新加坡初期投資本土國家的 DNA，給具有潛力的全球創新型的企業。此外，亦提供一些國際性的在職人員，相對更先進的製造設施，供應區域性部分組裝或全組裝的不同產品。新加坡結合低門檻障礙、易於成立公司和學術教育之強大基礎，能夠讓新加坡成為設計和發明先進製造能力的南亞明星。四個國家都已提出政府主導的國家議題，在不久的將來如何優先進行先進製造。中國和日本分別透過 2025 中國製造及日本的安倍經濟學，提出其全球國家戰略。南韓和日本也與歐洲及美國政府與企業，建立強而有力的合作關係。中國獨立尋求一個自治和國內的做法，走向自己的先進製造計畫。新加坡則注重現有製造基地的培育，藉由外部資產投資，來建立內部的大型基地。

在 *Manufacturing Innovation: Driving Canada's Biggest Sector through Disruptive Technologies* (製造業創新：藉由破壞性技術驅動加拿大最大產業部門) 中，加拿大製造業提供如下建議給政府：(1) 掌握契機，利用創新科技改變製造業景觀，以下提供幾十年來的例子作為參考：(i) 電腦體積從倉庫大小縮減至手掌大小(甚至更小)，同時它的功能與應用，幾乎在所有製造過程中直線上升；(ii) 有影片功能的智慧型手機，從執行長階層蔓延至研發實驗室，將更多人與計畫案即時連線；(iii) 數位攝影幾乎在一夜之間淘汰化學攝影，突顯在創新方面投資較少公司的脆弱性；(iv) WIFI 及藍芽將網路帶給移動中的員工，正在逐漸擴大。(2) 知識工作自動化的兩大潮流在改變企業中完成知識工作的方法：(i) 使用新方法來吸引員工配合；(ii) 藉由使用人工智慧與其他科技，讓知識工作自動化。某些企業應用各種科技，共同使用人工智慧來將知識工作自動化。(3) 利用物聯網將感測器、致動器和其他電子組件鑲嵌於機器上，進入相互連結的世界，正在迅速擴散。(4) 製造業者常年處於提升精準度、提升生產速度、適應逐漸縮短的產品週期、應用大量的數據及資訊輸入等壓力下，尤其針對小型製造業而言，非常具有壓倒性的競爭力。利用雲端科技幫助這些企業將資源、競爭壓力和顧客期待等協調一

致，雲端技術將可培育出前所未有的合作境界。透過雲端科技，能以最小、甚至無須當地軟體與處理能力，就可透過網路提供任何電腦運算與服務。

在 2016 Global Manufacturing Competitiveness Index (2016 全球製造業競爭力指標) 中，Deloitte Center for Industry Insights 針對四十個國家的全球製造業高階經理人進行調查。這些高階經理人員一致體認高階製造將是全球競爭力的關鍵指標。未來最重要的高階製造技術包括：(i)預測型分析器；(ii)先進材料；(iii)智慧工廠；(iv)數位系統的模擬、設計與整合；(v)高效能計算；(vi)先進的機器人；(vii)漸近式製造(3D 列印)；(viii)客戶意見直接輸入的設計；(ix)虛擬實境。全球經理人也認為製造業競爭力前十名的國家依序為中國、美國、德國、日本、南韓、英國、台灣、墨西哥、加拿大和新加坡。全球製造業的競爭力可由以下因素來推動：(i)人才；(ii)成本競爭力；(iii)工作人力的生產力；(iv)供應網路；(v)法律和管制系統；(vi)教育系統；(vii)基礎建設；(viii)經貿、財稅系統；(ix)創新政策；(x)能源政策；(xi)內需市場；(xii)醫療系統。製造業主管一再強調人才是最重要的推動力，所謂人才是指有高技術的人力，能夠運用先進製造技術提供創新的服務，在目前的狀況下，企業將成本壓低並且提升利潤是首要工作，因此成本競爭力排名第二。一般而言，在這十二項因素表現好的製造業競爭力就強，從競爭力的拼圖當中，也可以看出德國、美國、日本製造業的競爭力來自於人才，創新政策，以及基礎建設，開發中國家固然有成本低、材料價格低的優勢，但先進國家仍然具備生產力高的強項，此外法規和政府管制的穩定性也可以提升製造業的競爭力，因為投資風險可以降低。最後，這些高階經理人提出五點建議如下：(1)大多數的主管均認為人才為競爭力的首要條件，公司應建立差異性的人才策略，讓人才覺得適得其所。(2)先進製造技術是全球製造業競爭力的基石，軟體、硬體結合感應器，大量資料分析使得產品更具智慧，生產程序更具效率，連接客戶和供應商。(3)現今技術創新的腳步極快，企業會脫離傳統短視的成長策略而朝向強有力的合作夥伴超越傳統的範圍擴大到更廣的環境。(4)當企業不斷的成長擴充以滿足全球的需求，企業必需要採用先進的技術和策略讓生產最佳化，不論是在生產、財務或者是管制方面，其核心概念是尋求一個平衡點，包含創新、成本降低及人才管理。(5)體認到一個生產聚落的重要性，國家如果努力改善基礎建設，則可讓領先企業可以獲得龐大的利益。

## 二、各領域發展現況

本節將針對聯合國產業發展組織、歐盟等國際組織，以及重要國家如美國、德國、英國、日本、韓國、中國及台灣等在推動製造業振興及先進製造技術開發方面之相關措施，分成電腦輔助設計與電腦輔助製造(CAD/CAM)、機器人、工廠自動化、物聯網(Internet of Things, IoT)、網路實體整合系統(Cyber-Physical System, CPS)、先端材料、尖端製加工、生產力等九個次領域概要介紹如下：

### (一)電腦輔助設計與電腦輔助製造(CAD/CAM)

電腦輔助設計與製造(Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing, CAD/CAM)係指利用電腦從事分析、模擬、設計與繪圖等前置計畫作業；並根據設計結果擬訂生產計畫、安排生產流程、規劃使用工具與操作條件，以及管控生產製造程序等一系列作業的電腦化。從設計到製造，全部借助電腦，一氣呵成。所以 CAD/CAM 是現今工業不可或缺的工具，是

影響工業生產力與品質的最重要因素。CAD 工程師將抽象虛擬的設計構想，利用電腦繪圖展現出來，而 CAM 工程師則將 CAD 工程師電腦中的設計圖透過複雜的製造程序，利用自動化生產機械設備，將其製造成實際的產品。

在 *Enhancing the Product Realization Process with Cloud-Based Design and Manufacturing Systems*(以雲端為基礎的設計和製造系統來加強產品實現的過程)中，建議將雲端運算的範例，擴展到計算機輔助設計和製造領域，並提出一個以雲端為基礎的設計和製造(Cloud-Based Design and Manufacturing)的新概念。具體內容包含：(1)提出以雲端為基礎的設計和製造的綜合定義；(2)討論以雲端為基礎的設計和製造的關鍵特點；(3)探討目前以雲端為基礎的設計和製造的相關設計和製造研究；(4)確定關鍵研究問題和未來趨勢。隨著製造企業越來越關注於滿足全球市場的動態需求，獲得與共享產品相關資訊和知識，以及在全球分散式設置設計和製造資源，已成為一個關鍵性的挑戰。近年來，資訊技術部門已經從雲端運算中顯著獲得利益，此乃經由：(1)依需求自助服務；(2)無處不在的網絡；(3)快速且彈性；(4)使用即付費；(5)獨立專屬的網路資源。其中一個特別的優點，相較於傳統的基礎設施和服務模式，雲端運算允許快速且彈性開發和完成資訊技術的解決方案。雲端運算在資訊技術領域被廣泛接受，但它剛剛出現在其他應用領域，如：計算機輔助設計和製造。其目標是希望藉此解決以下問題：(1)什麼是以雲端為基礎的設計和製造，以及它與以前的範例有什麼不同？(2)藉由以雲端為基礎的設計和製造可以實現什麼新機會？(3)實施以雲端為基礎的設計和製造與有潛力的策略，會有哪些潛在障礙？為了回應上述問題，文中為以雲端為基礎的設計和製造及其相關領域，提出科學基礎的觀點，並確定一些相關的研究問題和方向。

## (二)機器人

目前世界上至少有 48 個國家投入機器人研究發展，其中在 25 個國家中有 400 多家企業涉足服務型機器人領域的生產，如能力風暴全(ABILIX®)專注於教育機器人、iRobot 專注於家庭服務機器人、Intuitive Surgical 致力於醫用機器人、Aldebaran SAS 專業提供個人機器人、Boston Dynamics 主要開發軍用機器人，並誕生了類似 iRobot 掃地機器人、達文西手術機器人等極具革命性的商業化產品。機器人從應用領域角度大致上可以分成兩大類：(1)工業機器人---工業機器人主要指的是工業上應用的機器人，包括：移動、點焊、弧焊、雷射、真空不同的細分支。其實所謂工業機器人，就是通過機器人在特定作業上準確、快速完成零組件的裝配，使生產線達到較高的自動化程度；機器人可遵照既設定的原則相互調整，滿足工藝點的節拍要求；備有與上層管理系統的通信接口。由於先進的工業機器人常用在高精度、高壓力、高自動化的工業生產線上，專業度有非常高的要求，所以目前頂級的工業機器人多出自美國和德國製造商。在世界工業機器人業界中，以瑞士的艾波比(ABB)、德國的庫卡(KUKA)、日本的發那科(FANUC)和安川電機(YASKAWA)最為著名，並稱工業機器人四大家族。全球市占率超過 60%。2015 年，全球工業機器人的供應量首次突破 24 萬台，高達 24.8 萬台，增長 12.22%。這四家公司已率先實現了感測器、控制器、精密減速機等核心零件完全自主化，成為工業機器人領域的佼佼者。其在亞洲市場同樣也是舉足輕重，更佔據中國機器人產業 70%以上的市場，幾乎壟斷了機器人製造、焊接等高階領域的現象。(2)服務機器人---服務機器人分類也比工業機器人龐大許多，最為常見的包括：軍事、水下、娛樂、生活服務等，服務機器人按照其應用領域劃分，主要包括個人/家用服務機器人(Personal/Domestic Service Robots)和專



業服務機器人(Professional Service Robots)兩大類。其中，個人/家用服務機器人主要包括教育機器人、掃地機器人、娛樂機器人、殘障輔助機器人等；專業服務機器人主要包括國防機器人、野外機器人、醫療機器人、物流機器人等。大多數產品都已經具備智能的功能，機器人可以自動避開障礙物及規劃清掃路線。就服務機器人快速發展的驅動力來看，在家政服務業勞動力成本相較大幅度上漲的背景下，家用服務機器人技術不斷成熟，實用性更強，量產後成本將進一步降低，價格將與普通家用消費類電子產品相當，甚至更便宜。因此，預計家用智慧服務機器人將順勢打開家政服務業市場，未來 10 年內家用服務機器人作為中高端機械電子消費品，將進入家庭消費類電子產品清單之中。據國際機器人聯合會(International Federation of Robotics, IFR)統計，家用服務機器人 2011 年銷量 250 萬台，增長 15%，銷售額 6.36 億美元，增長 19%。據 IFR 預測，2012-2015 年在家用服務機器人領域，家政服務機器人銷量將達 1,100 萬台，銷售額近 48 億美元；娛樂機器人銷量預計為 470 萬台，銷售額達 11 億美元；助殘機器人銷量將達 4,600 台。據 Markets and Markets 預測，2012-2017 年全球服務機器人市場規模年複合增長率約 17.4%，2017 年將達 461.8 億美元。

未來機器人發展的五大趨勢如下：(1)語言交流功能越來越完美---目前的機器人語音交互能力還遠遠達不到和人類自由交流的程度，不過未來智能語音科技的不斷進步，這個趨勢會越來越接近完美，而能夠與人無障礙交流，也是未來機器人發展科技的必然趨勢。(2)各種動作的完美化---目前的機器人比如機器狗、人形機器人已經可以按照程序設定做出一些特定的動作，而且體感科技也足以支撐任何一款機器人自由行走而不會失去平衡。不過，看上去總是笨笨的蠢蠢的。各種體感科技的進步和處理器能力的提升，未來機器人的動作會變的越來越靈活。(3)外形越來越酷似人類---對於機器人的最終形態，必然是會越來越接近人類形態，包括表情、動作和外形以及皮膚質感。就如同科幻電影裏的機器人一樣，這一趨勢取決於生物技術的發展。(4)復原功能越來越強大---具有自我修復能力，這個能力的前提是可以有自我判斷能力，雖然這個能力看似有一些遙遠，不過簡單通過一些複雜的特定程序，相信應該也可以早日實現。(5)邏輯分析能力越來越強---雖然計算機的處理能力是人腦的無數倍，不過單純的處理並不能解決目前機器人的一些困境，想要讓機器人具備人類大腦的一些情感區分，前提是要具有很強的邏輯分析能力，這也是機器人大腦類人化的第一步，也是重要的一步，所以必然是未來機器人發展的趨勢之一。(大公數碼，2016)

在 *Japan's Robot Strategy: Vision, Strategy, Action Plan* (日本機器人發展策略: 展望、策略、行動計畫) 中提出日本機器人的發展策略如下：(1)機器人的使用必須非常簡單，同時讓機器人的功能非常有彈性，能迎合不同的需求，不同的領域。(2)創新性：基礎設施必需要到位，例如政府與民間企業合作、傳播相關資訊、國際合作共同研發、全球化的標準、共享最佳的經驗準則等。(3)人力資源發展方面：培養系統整合人才，資訊科技專才，以開發機器人核心軟體，此外資訊安全也要給予相當的重視。透過博物館、科教館使民眾對機器人及其應用有較深入的認知。(4)開發下一代的技術：人工智慧尤其重要，感知、認知、控制為機器人的核心技術，而非傳統的能源管理、材料、通訊、安全、巨量資料、人機介面；為了增加機器人的可用性，語音辨識功能相當重要，因其可提供使用者簡易地操作機器人。(5)全球化：機器人的開發依據國際標準，包含個人裝置、中介軟體、機器人作業系統、通訊協定、設備互通性、網路型機器人系統、機器人功能性評估；法規管制改革，當機器人導入社會時，必須注意到

機器人應符合現行法規，如果現行法規不合時宜，則應作合理的修訂，以讓機器人能發揮應有的效益，而且受到合理的管制。總之，機器人可用在製造業、服務業、護理醫療產業、基礎建設、災難防制、建築業、農業、畜牧業、漁業和食品業等，政府機關、民間企業必須聯合起來全力推動機器人的使用；有三項措施必須達到，以達成機器人廣泛使用的目標：(1)機器人技術的發展；(2)鼓勵各個產業導入機器人；(3)改善市場環境，亦即讓機器人的導入成為一個潮流，透過標準化，讓機器人的使用更方便且有效率。日本的新機器人發展策略為：發展機器人系統而非單一機器人，因此機器人系統的程序非常的重要，下列重點領域必須優先推動：(1)工作自動化，而且配備有自動導引系統，例如多台耕耘機可同時在一塊農地上工作；(2)取代勞力密集產業，機器人可以取代危險、辛苦、重複性的工作；(3)節省人力的高品質生產物品，運用機器人及感應器，可應用於精緻農業。

在平成27年度ロボット産業・技術の振興に関する調査研究報告(2015年度機器人產業與技術振興相關調查研究報告)中，調查與分析機器人或機器人系統開發動向及相關問題等，並針對日本機器人產業與技術振興綜整出市場或技術動向。針對技術革新推動、系統整合、社會實用化、國際標準化等面臨課題提出解決策略與建言，並檢討日本機器人大賞營運，期能促進機器人更普及或機器人產業振興有助益。就機器人世界動向觀之，歐美諸國採用數位化、網路化生產系統為關鍵，皆欲以重振成長。同時，中國等新興國家加速機器人投資，其需求更持續增加之中。在邁向資料驅動型時代，日本社會因為面臨少子化、高齡化而造成就業人力不足，基礎建設老化與災害因應等環境下，必須持續保持機器人大國的強大競爭力，並實踐世界少數機器人全面應用的社會。於2015年2月10日，日本制定了機器人新戰略，期能成為活用機器人議題先進國家。對機器人相關計畫預計總投資額為1,000億日圓，並揭示於福島縣設置新飛行或災害機器人實證區。至2020年機器人市場規模，將由現在6,600億日圓成長至2兆4,000億日圓為目標；製造業1兆2,000億日圓，非製造業1兆2,000億日圓。以機器人革命先導協議會為推動平台，積極強化機器人開發能力，並普及應用示範，以達成領先世界機器人革命之創新與發展為其主要任務。

### (三)工廠自動化

在24小時運作的自動化生產線上，機器人手臂既快速又平穩地把物料放到生產線上，物料在各工作站以自動化設備加工，半成品經由輸送帶或地面磁導帶上的無人搬運車送往下一個工作站。完成品在生產線末端由機械手臂卸載到棧板，再轉移到倉儲庫。由電腦控制的堆高機在貨架通道間穿梭，當滑行到正確的貨架位置後，以兩部雷射測距儀調整搬運台的水平與垂直位置，把完成品搬進指定的儲存箱。工廠內部各項自動化設備很有節奏感地協同運作，生產流程非常順暢，不會發生物料堆積堵塞在輸送帶上的情形。這是因為事前做了詳盡的設施規畫：決定機器擺放位置；分析製造流程，最大化設備使用率以增加產能；安排物料和人員的動線，減少非必要的活動。1973年，小約瑟夫哈靈頓(Joseph Harrington, Jr.)提出電腦整合製造的概念，把分散的各種電腦化製造技術與生產管理統整成單一的電腦整合製造系統，使企業內部資訊共享，發揮整體效益。導入電腦整合製造系統是大多數工廠自動化重要的一環，讓獨自運作的各單機設備串連成一條自動化生產線。(楊憲東、賴旻琦，2013)



在 *Flexible Manufacturing System: A Modern Approach to Manufacturing Technology*(彈性製造系統：製造技術的最新方法)中指出，彈性製造系統被稱為靈活性的系統，因為它能夠在工作站間，同時處理各種不同的零組件樣式，並且可以回應改變需求模式來調整生產量。製造系統於不同類型的靈活性包括：(i)機器靈活性：能夠使系統中的機器適應各種生產操作和零組件樣式，當操作範圍和零組件樣式越大，機器的靈活性就越大。(ii)生產靈活性：係指系統上可被製造零件樣式的範圍，此說明製造系統在適度的成本和時間，由製程範圍來決定可生產的零組件樣式。(iii)混合靈活性：被定義為在保持相同的總生產量的同時改變產品組合的能力，即以不同的比例來生產相同的部件，也被稱為製程靈活性。混合彈性提供對市場變化的調整，由於使用共享資源，可適應產品組合的變化。然而，高度混合變化可能導致需要更多數量的工具、夾治具裝置和其他資源的需求。(iv)產品靈活性：指的是能夠根據不斷變化的市場需求經濟，快速地轉換到一套新產品。可隨時間的變化，在生產線中引入設計的時間，與新產品的設計、規劃、加工和夾治具。(v)路徑靈活性：可以被定義為當任何工作站的設備故障、工具故障和其他中斷的情況下，替代工作站可生產部件的能力。此外，當存在外部變化（如產品組合、工程變更或開發新產品）的情況下，它有助於提高生產量。(vi)容積靈活性：係指改變不同產品生產量的系統能力，可適應需求的變化，同時保有盈利。(vii)擴展靈活性：被定義為容易擴展的能力，以促進總生產量。當前商業和各製造企業之間的競爭環境中，為了依據市場需求，以低成本來實現更高生產率和高品質的產品，彈性製造系統在其優點和應用方面，是一個高效率且有效的工具，此外，彈性製造系統也進一步挑戰未來的創新製造技術。

在 *5G and the Factories of the Future* (5G與未來工廠)中，提出5G技術作為製造資訊平台、價值鏈整合平台與產品使用生命周期資訊平台之主要關鍵技術，並舉出在五大產業應用趨勢與需求，包含：(1)以時效提升為主的廠內程序優化應用需求；(2)非時效性提升的廠內程序優化；(3)遠端維護與控制優化，如3D虛擬實境整合、各種影像處理協助相關支援決策技術；(4)企業內及企業界無縫同步通訊，如跨地區遠端監控、物流價值鏈整合行動技術；(5)物物相連網路需求，完整產品生命周期，從產品設計、開發、製造到消費者使用，完整產品資訊的蒐集平台與網路架構。並據此提出5G技術在頻寬、異質通訊介面整合、網路安全、網路基礎架構、服務管理等領域應用的需求參考規格。

在 *On the Road to Industry 4.0: Solutions from the Leading-Edge Cluster It's OWL*(邁向工業4.0之路：先端技術聚落OWL的解決方案)顯示，德國Bielefeld城市周圍的企業、高校和研究中心，共同組織了OstWestfalenLippe (OWL)智慧技術系統，致力於機械、汽車和自動化科技的創新。他們認為一個未來導向的企業組織將是四層式模型：預測→策略→流程→系統。符合OWL概念的技術特性是具適應性、前瞻性、強韌性和友善性四者；未來的製造業將是一個連網的、虛實整合的智慧型系統---最底層的是既有的、高效率的製造系統(Underlying Systems)，其上配置各式各樣的感測裝置(Sensors)，感測器所蒐集到的資料送到電腦中處理。現今的網路(物聯網+資料聯網+服務聯網)是工業4.0的驅動者。在OWL尖端科技聚落裡，共推出了33個智慧型(生產)系統，係由五項計畫所貫穿：(1)自我優化：系統應有自行思考、能學習、有適應的能力；生產系統必須是動態的、能組合的。(2)人機互動：智慧型系統必須能善解人意，在此需要新的人機互動方式；除了傳統的文圖介面外，聲音控制也是新的選項；再者，由遊



戲產業發展出來的3D控制模型，虛擬實境和擴張實境技術，都可以引用作為人機互動介面。(3)智慧聯網：(組件)隨插即生產(Plug & Produce)，可大幅降低生產線組裝之成本；為了適應不同的生產環境，自我檢測特別重要，在此有賴各種感測器傳遞環境數據。(4)有效能源：節能高效是目標；整個現代經濟，就是一個以能源為基礎的經濟體系。(5)系統工程：智慧型產品需要投入大量研發成本，在此模式建立和模擬扮演重要角色；虛擬與實體的結合，能夠創造最佳的結果；在生產規劃與NC編程整合之後，一台機器在未進入廠房之前，應先在虛擬環境中模擬測試，方能在正式上線後，達到最佳生產效果。

#### (四)物聯網(Internet of Things, IoT)

1998年，美國麻省理工學院 Auto-ID 中心主任愛斯頓(Kevin Ashton)提出物聯網(Internet of Things, IoT)一詞，全球化的網路基礎設施，透過資料擷取及通訊能力，連結實體物件與虛擬數據，而進行各種控制、偵測、識別及服務；從此這個詞彙就廣泛流傳。物聯網不僅讓人的生活更加方便，也帶來更多的安全。例如英特爾在物聯網論壇中曾展示輸油管偵測系統，漏油時感測器會發出訊號，可以避免類似高雄氣爆事件的重演。中興保全在嘉義某國小電梯裝設地震警報裝置，讓學生不會因為地震而被關在電梯裡面。物聯網的概念於1998年出現，但當時技術成本昂貴，因此未能順利發展；直到2007年，iPhone出現，才正式為物聯網的發展拉開序幕。物聯網起飛最重要的因素乃是智慧型手機，人們可以利用手機來控制智慧車、智慧家庭設備與智慧手環，手機是物聯網裝置的操控中樞。根據 BI Intelligence 的估計，到2017年連網裝置出貨量將超越智慧型手機，連網裝置的生產正在急起直追之中。而 Harbor Research 調查也發現，2020年將會有100億個以上的連網物體，潛藏商機將超過一兆美元。網際網路的力量已經顛覆了傳統的零售、教育、金融、旅遊與交通等各個行業，在物聯網時代中，將會重新定義產業的疆界。其中，智慧家庭領域的進入門檻較低，競爭最為白熱化，網路公司、電信公司與新創團隊紛紛切入家電產業。智慧運輸領域則是成長最快的行業，Tesla等智慧車已顛覆了傳統汽車產業。物聯網甚至也將顛覆金融產業。台灣物聯網時代的科技巨頭，是全球第三大晶片設計商聯發科與全球第一大晶元製造商台積電。據 Gartner 的估計，2018年半導體產業營收為3,840億美元（約11兆9,200億元台幣），物聯網占了其中的240億美元，而2013年時台灣半導體產業產值為1兆7,938億元台幣。聯發科設計 LinkIt 平台進攻物聯網，台積電則與富士通、瑞昱、安謀(ARM)等八家半導體大廠合作，打造超低耗電技術平台。除了大企業，新公司也將扮演重要的角色。Gartner 大膽預測，至2017年，50%的物聯網解決方案將源自創業三年以內的新創公司。Gartner 旗下的 Maverick 研究機構則認為，有創意的創客(Maker)和新創公司才是真正形塑物聯網樣貌的人，新創公司善於以低成本的電子產品、3D 列印工具及開放硬體，來創造物聯網裝置。(翁書婷，2015)

在 *Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda* (物聯網策略性研發與創新議題) 中，召集數十位專家學者，針對物聯網研究概況、國際相關標準規範、資訊安全、異質性物件整合、應用市場分析、雲端服務管理等主題提出完整的論述。主要回顧整理物聯網相關研究的概況，內容包括：物聯網定義、物聯網策略趨勢、智慧環境應用、雲端運算及語意判讀相關技術、網路與通訊技術、信號處理程序、資料管理、資訊安全與隱私權、裝置驅動能源效能、物聯網標準化、物聯網資料交握協定、綜合討論等。預測到2020年，全球物聯網裝置的數量將超過260億個(不包括個人電腦、智慧手機及平板電腦)，幾乎是2009年的30

倍(總數不到 900 萬)，相關市場則將擴展到 1.9 兆美元。物聯網將會大量滲透到包含醫療、醫藥、智慧工廠、工業機器人、農業、自動汽車駕駛、鐵公路運輸管理、水資源及能源管理等應用領域之中。同時，隨著硬體價格快速下降，在大部份的硬體設備或感測器裝置之中，配備物聯網連線功能將會成為標準化的配備，但缺乏適當的軟體功能，也就是廠商逐漸將物聯網功能變成各種硬體的標準配備，但實際上缺乏能夠有效驅動及運作的軟體。文中的最後，整理出物聯網相關技術在 2020 年以後的未來發展趨勢，以及物聯網研究的未來議題。勾勒出物聯網未來發展的完整路徑圖。

在 *The industrial internet of things: An evolution to a smart manufacturing enterprise (物聯網：智慧製造企業的進化)* 中，強調工業物聯網(IIoT)並不是要以新的技術取代自動化系統，而是深化自動化系統與企業規劃、排程、生產週期的連結，從大量製造的思維轉化為以顧客為中心、有效的控制與避免生產浪費的思想，並且預估經過 15 年的發展，逐漸增加資料的智慧應用後，能讓企業價值在生產網絡中獲得更好的控制，將可為企業營運績效大幅提高 26%。IIoT 的主要的特徵包括：機器設備自我感知(Self-Awareness)、內嵌且易於操作、人員的安全與網路安全、製造現場與管理的連結、行動科技的使用、資料的管理。可以從三個管理作業來發展達到智慧企業的目標：智慧企業控制、資產效益管理，以及強化營運作業人員的能力。其中，智慧企業控制強調資訊科技與營運技術的整合，企業目前可能有的系統包括企業資源規劃系統(ERP)、產品生命週期管理系統(PLM)、供應鏈管理系統(SCM)、顧客關係管理系統(CRM)、製造作業管理系統(MOM/MES)等，將這些系統與感測和控制元件整合起來。資產效益管理則要加強雲端運算與大數據分析的即時行動應用，過去由於網路布線與既存的系統整合需要耗費相當成本，使得企業望之卻步；現有的無線網路通訊科技，以及雲端運算服務，為資產效能帶來了創新的解決方案，同時也使得開發成本降低。智慧型手機、平板與穿戴裝置這些行動人機介面的技術發展越來越成熟，對於從指尖滑動來取得資訊的滑世代的作業人員則須考慮系統介面以使用者為中心的友善設計，使得工作人員可以在適當的時間取得正確的資訊，生產力因此而獲得提升。

在 *世界のインダストリアルIoT 最新動向2016 :Industrie 4.0/IIC/IVI/ 中国製造2025(2016年世界工業物聯網市場最新動向：工業 4.0/工業網際網路聯盟/產業價值鏈計畫/中國製造2025)* 中揭示，在工業物聯網(Industrial IoT, IIoT)即將大展身手的此時，近期有兩項話題性的重要事件，其一為開放互連基金會(Open Connectivity Foundation, OCF)在 2016 年 2 月 19 日設立，其二為德國積極推動的工業 4.0(Industrie 4.0)平台與美國的國際網際網路聯盟(International Internet Consortium, IIC)宣布正式合作。掀起新產業革命的軒然大波、帶給世人震撼的德國 Industrie 4.0 平台，則已與主要對手 IIC 於瑞士蘇黎世達成合作協議，在此背景之下，未來建構新產業的參考架構(Reference Architecture)將可望共通利用。在亦敵亦友的環境之下，今後能否加溫形成足以帶動全球經濟成長、發展新商業模式的上旋氣流，將備受各界矚目。美國的全球性先進企業如 AT&T、CISCO、GE、INTEL、IBM 等五大公司於 2014 年 3 月組成 IIC 協會之後，已有來自 40 個國家、240 家企業加入該組織，並以工業物聯網(IIOT)為基礎，於製造業、醫療、能源、零售業等領域開發新商業模式所需的新技術。2015 年產業網路參考架構發表後，陸續增設工廠營運可視化測試基地、尖端智慧測試平台(Edge Intelligent Test Bed)、安全/可靠性測試基地等 11 處測試基地，以期能讓 IIS 實用化的期程早日到來。此外，德國工



業 4.0 與美國 IIC 於 2016 年 3 月 2 日正式宣布共同合作，可以預期物聯網的發展應用將勢不可擋。第四次產業革命的合縱連橫快速開展，具體實施的領域不僅侷限於製造業領域，還會跨足於運輸(自動駕駛)、醫療、健康、公共設施、能源、物流等業界。日本作為引領全球製造業的標竿，已經成立 RRI、IVI 等機構、協會，期望能推動產業界共通標準，藉以制衡歐美相關體制的動向。預計到 2025 年時，物聯網所產生的附加價值規模，以工廠(營運管理、保全等；可達 1.2~3.7 兆美元)、都市(公共安全、健康、交通控制、資產管理；可達 0.9~1.7 兆美元)、人(疾病監控與管理、促進健康；可達 0.2~1.6 兆美元)三個領域將是 IoT 最具潛力的戰場。

#### (五)網路實體整合系統(Cyber-Physical System, CPS)

德國在工業 4.0(Industry 4.0)政策中提出網路實體整合系統(Cyber-Physical System, CPS)，以 CPS 為基礎所建構的製造系統也稱為網路實體製造系統(Cyber-Physical Production System, CPPS)。其主要組成元素包括：感測器、資訊處理模組、致動器及人機介面等。在智慧製造應用上，CPPS 組成架構包括：(1)以資料、模型、演算法及各種應用軟體所組成的網路空間；(2)由製程設備、能源供應系統及其他實體設備組成的實體空間；(3)將實體與網路空間相連結的網路系統；包括有線、無線及區域、廣域網路，各種資訊伺服器與資料控制系統，以及由電腦、行動裝置、穿戴式裝置所組成的人機介面。(4)CPPS 能透過網路與企業其他 CPS，以及上游供應商、下游客戶的 CPS 連結，或是透過雲端系統取得分散式運算、巨量資料分析等雲端服務。在 CPPS 發展與應用案例方面，以德國人工智慧研究中心(German Research Centre for Artificial Intelligence, DFKI)所主導的 SmartFactory 智慧製造驗證平台，集結了思科(Cisco)、西門子(Siemens)、飛斯妥(Festo)、博世力士樂(Bosch Rexroth)等多家企業，讓每家企業所研發的資通訊與 CPS 技術、模組與系統，能夠在接近真實的製造環境中進行測試與驗證，以便未來能應用到實際的生產製程中。智慧生產線使用的新技术包括：透過 RFID 確認產品規格，進而達到彈性控制生產的規劃與工作；可依操作人員身分自行調整機能的工作台；可即時反應各項生產狀態訊息與方便人員進行控制設定的看板系統。(IEK 產業情報網，2015)

在 サイバー・フィジカル・システムズ(CPS)がもたらすイノベーションと製造業の未来(Cyber Physical System 所帶來製造業創新與前景) 中說明，網路實體整合系統(Cyber-Physical System, CPS)在美國不只應用在科技製造業，舉凡農業、不動產管理、軍事、能源、健康管理、交通等領域均已導入 CPS，美國自 2012 年設立 CPS 高階督導小組(Cyber Physical System Senior Steering Group, CPS SSG)，以推動次世代工程系統的開發，其舉出主要策略性課題為：(i)電信安全性(Security)；(ii)經濟性(透過標準化、Open Reference Architecture 及工具的改良)；(iii)相互運用(Interoperability)；(iv)隱私保護(Privacy)；(v)安全性與可靠性；(vi)社會技術系統(Sociotechnical System，透過 CPS 的讓人與科技及更複雜化的基礎建設之間的交互作用更活絡)。供製造用先進感測器、控制與平台(Advanced Sensing, Controls, and Platforms for Manufacturing, ASCPM)則是美國特別重視的領域，ASCPM 的各層面重要課題分別為：(1)感測器層面：(i)開發與生產製程相容的感測技術；(ii)低成本高效率，且非侵入性的感測器(可用於醫療診斷與預防)；(iii)大量感測器所取得的資料加以融合、即時分析(需要運算效率高的演算法)；(iv)無線連結/自主供電的感測器；(v)開發基於累積的知識所組成的智慧感測系統。(2)控制層面：(i)將容錯系統(Fault Tolerant System)、機率系統、非線性系統加以融合的混成控制



理論、演算法；(ii)智慧型診斷、預測及保全；(iii)最佳化、可靠性高的模型、模擬系統；(iv)規劃/排程與程序控制的連動。(3)平台層面：(i)企業規模化的感測器、資料系統合作分享、多樣化系統整合、建構官民之間資料管理的 IT 基礎建設；(ii)標準化的資料模型與資訊語意學；(iii)模型/模擬系統的開發與最佳化、調節。至於工業 4.0 所考量的系統安全性方面，則要求無論是機械、製程、產品、零件甚至於材料都要有各自的電子 ID，風險考量要從開發階段開始，系統整合者、安裝者、操作者以至於末端用戶都一併顧及，並加以記錄而成安全護照(Security Passport)。

在 *European Roadmap for Cyber-Physical Systems in Manufacturing: Vision and Gap Analysis(歐洲製造業中網路實體整合系統發展之路徑圖：願景與落差分析)*中指出，製造業是歐洲的關鍵資產，製造業是研究、創新、生產力、創造就業和出口的骨幹。去除工業化襲擊歐洲，但是世界經濟形勢和歐盟倡議，將有可能扭轉這種趨勢。網路實體整合系統(Cyber-Physical Systems, CPS)將在歐盟重啟工業化的機會中，發揮關鍵作用，尤其是歐盟擁有世界嵌入式系統生產的 30%，特別是在汽車、航空和醫療保健等高附加值的領域。新的商業模式和製造相關應用，需要研究和改進。本白皮書中所提之 sCorPiuS 計畫項目主要重視後者，引導製造業採用網路實體整合系統，並擁抱其潛力與需求。六個主要突破和障礙點已被發現和強調如下：(i)新的數據驅動服務和業務模型；(ii)使用數據來改進產品；(iii)回授製造；(iv)電子廠 即插即生產；(v)生產效率；(vi)數字人體工學。藉由研究計畫或創新行動發現，在 sCorPiuS 規劃路徑圖中，有無法解決的障礙物具體類型。適當的研究議程與超越這些差距和障礙，將使歐盟企業能夠藉由整個產品和工廠/資產生命週期，實現網路實體整合系統使用的綜合願景與潛力。網路實體整合系統的概念，在過去幾年得到廣泛的肯定，根據科學搜索引擎網絡蒐尋，過去幾年來網路上累積存有 2,146 篇網路實體整合系統的相關文件，其中近 2,000 篇是在 2010 年後發表的文件。為了與周圍環境互動(即垂直和水平整合)，網路實體整合系統配備有能夠從感測器、信息系統、製造資源、產品、客戶等，檢索和製作即時信息的嵌入式計算能力。本白皮書將通過 sCorPiuS 社群，進行擴展和驗證，以及與物聯網、工業互聯網、工業 4.0 和網路實體整合系統專家進行討論。因此，此願景將用於評估是否發現所有的差距，並從所出現的差距中得出研究重點和研究主題。

在 *Overview of the CPS for Smart Factories Project: Deep Learning, Knowledge Acquisition, Anomaly Detection & Intelligent User Interfaces: Version 7 (智慧工廠用之網路實體整合系統綜觀：深度學習、智識獲取、異常偵測與智慧型使用者介面：第七版)*中說明的技術基礎設施，包括深度學習和知識擷取模組，其次是物聯網(IoT)的異常檢測模組和智能用戶介面。由歐盟資助 EIT 數位智能工廠活動之網路實體整合系統的三個里程碑如下：(1)網路實體整合系統知識工程，了解應用案例與其制度的正式需求；(2)實現軟體模組和微調正式模型和規則，來測試物理環境中異常檢測的劇本，這些包含具有深度學習能力的功能程式，以及經由語意門戶基礎設施和智能用戶介面的本體創建、操控與擴展；(3)將模組轉換為工業設置、初級評估和商業建模。在解決安全挑戰時，其結果包括操作人員的循環行為模型，特別是如何確保安全。除了機器人系統中的故障外，人類也可能犯錯，因此特別期待的結果，是透過對可預測的維護任務和不可預測的事件作出反應，來解釋人類產生異常的模型，這些先進技術包括：(1)以 GPU 為基礎的深度機器學習的基礎設施，可用於異常處理和數據挖掘；(2)智能工廠知

識門戶的基礎設施，可用於異常實例，來擷取知識和管理；(3)以模型為基礎的預測，具有異常檢測與工作流程管理，包括即時驗證和機器學習，來促進早期異常檢測；(4)智能用戶介面，藉由使用視覺感測器，提供專家知識擷取、人類行為輸入和個人與機器人互動功能。

在 *A Review of Technology Standards and Patent Portfolios for Enabling Cyber-Physical Systems in Advanced Manufacturing*(在先進製造中實現網路實體整合系統的技術標準與專利組合評論) 論文中，作者指出網路實體整合系統(Cyber-Physical Systems, CPS)是轉型技術的集合，用來管理互聯的物理系統和運算能力，技術的最新發展正在增加感測器、數據收集系統和電腦網路的可用性和承載性。網路實體整合系統是從工業 3.0 邁向工業 4.0 的核心技術，正在改變全球先進製造業。此研究使用來自世界智慧財產權組織(World Intellectual Property Organization, WIPO)和美國專利商標局(United States Patent and Trademark Office, USPTO)的資訊，提供工業 4.0 專利環境給網路實體整合系統。網路實體整合系統將在未來工程系統的設計和開發中發揮主要作用，所提供的新功能，遠超過當今自主權、功能性、可用性、可靠性和網路安全。網路實體整合系統研究的進展和發展，考慮工業 4.0 在各個行業的關鍵推動力，其他關鍵技術採用，如：物聯網、感測器和雲端運算被整合至網路實體整合系統。網路實體整合系統的發展，將加速運算、通信、控制、和其他工程與自動化之間的緊密合作。網路實體整合系統技術標準的分析和分類，係由國際標準化組織設定，基於其架構為智慧連接、數據到信息轉換、網絡、認知和配置等級別。此研究有利於中小型企業整合工業 4.0 解決方案，並適應不斷變化的全球工業環境，這些研究成果還有助於引導研究和開發，來實現全球相互可操作的網路實體整合系統，以加強工業 4.0 的製造生態系統。

#### (六)先端材料

一般所稱先端材料，包括：液晶、半導體材料、超導體材料、光學材料、雷射材料、傳感器材料、多孔質材料、形狀記憶合金、發光材料、磁性材料、薄膜及膠體等，以及材料基因組研究方面之材料計算與模擬技術之發展；文獻蒐錄則包含針對這些先端材料之研發、性能及未來應用之前景等。

近年來隨著工業發展速度加快，歐美等先進工業國逐漸意識到傳統的研究方法已經跟不上現代工業發展的脚步。因此革新材料研發方法，縮短新材料從發現到最終工業化應用的週期已經成為各國科技競技的新戰場。

在這樣的背景下，美國於2011年提出了材料基因組計畫(Materials Genome Initiative, MGI)，旨在結合使用計算能力、資料管理及新的綜合性方法，使新材料的研發朝向更為科學且高效的方向邁進。MGI作為2011年先進製造業夥伴計畫中的重要子計畫，匯集了能源部(DOE)、國防部(DOD)、國家科學基金會(NSF)及國家標準技術研究院(NIST)等四個機構合力完成三項任務：

- (1)開發一種全新的材料創新體系；
- (2)新材料應用於國家安全、人類健康與清潔能源上；
- (3)構建及培養新一代的材料研發團隊。

材料基因組計畫旨在透過高級科學計算和創新設計工具促進材料開發，建立了 Materials

Explorer、Phase Diagram App、Lithium Battery Explorer、Reaction Calculator、Crystal Toolkit、Structure Predictor 等基礎資料庫，並不斷地進行軟體升級與資料更新。美國推動材料基因組計畫引發了新一輪的先端材料研究的熱潮，促使各先進國家與研究機構的關注，並積極投入相關的研究。

歐盟第七框架計畫下的奈米科學、奈米技術、材料與新製造技術(NMP)主題研究領域的最新工作計畫 Work Programme 2012 中並沒有將材料的計算、模擬等技術單獨列出，但是，該計畫仍然認為，無論奈米科技還是其他材料，表徵、設計、建模與模擬等技術對於理解和控制材料性質都是非常重要的，並在工程奈米粒子的毒性研究、奈米材料的精確合成、多材料複合、自修復材料、高溫電廠用先進材料、離岸風渦輪機葉片材料等領域提到了材料的設計和建模概念。歐洲科學基金會下的研究網路計畫中，有關材料模擬的計畫有材料從頭計算模擬先進概念計畫、生物系統與材料科學的分子類比計畫等。前者致力於開發凝態材料在原子層級的從頭計算的計算方法；後者關注開發計算工具，用於瞭解生物系統以及人工奈米材料的介觀結構。歐盟的研究機構包括英國科學與技術設施委員會計算科學工程部、英國愛丁堡大學凝聚態物理研究組、英國蘇塞克斯大學理論化學與計算材料研究組、法國國家科學研究中心、德國馬克斯普朗克鋼鐵研究所等。

日本的材料計算模擬研究與材料開發相結合的特色突出，日本文部科學省和經濟產業省均部署了相關的戰略和計畫。日本國立材料科學研究所、產業技術綜合研究所、東京大學、東北大學等研究機構均有專門的研究中心與團隊。日本文部科學省 2002 年啟動了生產技術先進模擬軟體的開發，目的是在奈米生物技術、能源和環境領域開發出世界一流的軟體。研究主題包括：(i)下一代量子化學類比；(ii)量子分子相互作用分析；(iii)奈米級器件模擬；(iv)下一代流體動力學模擬；(v)下一代結構分析；(vi)問題解決環境平台；(vii)中介軟體高性能計算。2009 年文部科學省和經濟產業省聯合推行分子技術戰略，主要研究課題包括電子狀態控制、形態結構控制、集成和合成控制、分子離子傳輸控制、分子變換技術、分子設計與創造技術等。日本的主要研究機構包括日本產業技術綜合研究所計算科學研究所、日本理化學研究所、日本國立材料科學研究所、東京大學計算材料科學實驗室、東北大學材料計算中心等。本產業技術綜合研究所下設計算科學研究所，主要研究方向有奈米科學與技術的類比技術、電腦輔助材料設計、能源與環境模擬技術、生物模擬技術、模擬技術基礎理論以及集成類比系統。

新加坡的材料計算與模擬主要研究機構有新加坡高性能計算研究院、南洋理工大學計算材料科學研究等。計算材料科學與工程是新加坡高性能計算研究院的主要研究領域。主要任務是預測、探索和認識材料的基本性質與結構，通過採用新的計算辦法，開展原子建模、分子類比、材料資訊學等基礎研究，以開發先進的電子產品、綠色能源和材料。其開發的APEX(Advanced Process Expert)資料採擷技術已被用於解決工業問題。研究內容包括：計算化學、多尺度建模、固態電子學和奈米結構等。具體研究方向包括：(1)固體氧化物燃料電池集流器；(2)儲氫(鋰離子氮化)；(3)生化過程模擬；(4)微生物燃料電池的過程建模與設計；(5)燃料電池系統與新燃料的模型開發；(6)紫外/藍光發光二極體；(7)多鐵性材料；(8)矽奈米線；(9)自旋電子學；(10)介面研究；(11)鐵電聚合物的多尺度建模模擬；(12) $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  合金的熱力學研究；(13)分子電子學研究；(14)光催化劑；(15)固體氧化物燃料電池。(馮瑞華、姜山、萬勇，2012)



中國借鏡國外的材料計算與模擬研究進展，中國工程院與中國科學院分別在 2012 年 12 月及 2013 年 3 月，啟動材料基因組計畫重大諮詢項目；2014 年 10 月中國科學院向國務院提出《實施材料基因組計畫，推進中國高端製造業材料發展》的諮詢建議；2015 年 2 月，中國工程院向國務院提報《中國版材料基因組計畫》的諮詢建議。工程院和科學院的報告，得到了黨和國家領導人的高度重視和多次批示，指示儘快啟動材料基因工程研究，中國科技部高度重視材料基因工程相關技術的發展。十二五期間，在國家重點基礎研究發展計畫(973 計畫)、國家高技術研究發展計畫(863 計畫)中先後設立了 30 餘項與計算材料、材料製備與服役行為相關的項目。如 2000-2015 年，973 計畫連續三期設立了與材料計算設計和性能預測基礎問題、材料先進位備加工共通性關鍵技術的研究項目；863 計畫中設立了「多組分材料跨尺度集成設計與精確製備技術」、「基於材料基因工程的高通量設計、製備與表徵技術」等項目。國家自然科學基金委員會對材料設計、製備與表徵技術研究持續大力支持，大大促進了相關基礎研究的發展。2014 年後，上海市、北京市先後成立上海市材料基因組工程研究院（由上海大學負責，上海交通大學等 6 所高校及中科院研究機構參加）、材料基因工程北京市重點實驗室（北京科技大學負責）；上海市政府投入 3.2 億元，重點支持上海大學等單位布署的地方材料基因組工程研究與發展工作，推動中國材料基因組計畫的實施。2016 年 10 月 17 日，由重慶大學主導的國家重點研發計畫「先進材料多維多尺度高通量表徵技術」在重大虎溪校區啟動。該計畫擬用四年時間，實現對先進材料基因的高質量實驗數據分析，以發展中國材料基因組工程，加速各種先進材料的開發並降低成本。從上海市科技創新十三五規劃公布之內容來看，奈米科技、材料基因組、超導、半導體、新能源材料獲得相當重視。上海市科技創新十三五規劃中涉及新材料部分包括：(i)奈米科學與微奈製造；(ii)材料基因組；(iii)量子材料與量子通信；(iv)重點新材料；(v)深遠海洋工程裝備用材料；(vi)民用航空發動機與燃氣輪機用材料；(vii)新能源汽車和智慧汽車用材料；(viii)新一代核能用材料。

在 *The Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM Annual Report:2014/2015(法隆霍弗製造技術與先進材料研究院 2014/2015 年年報)* 中說明 Fraunhofer Institute 旗下的製造技術與先進材料研究所(Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials, IFAM) 研發活動的重點是在為公/私部門客戶提供有效的、實用的解決方案。IFAM 開發的產品、流程和技術，特別聚焦於永續性部門，如能源和環境、汽車、航空業、醫療技術及生命科學等。IFAM 的關鍵成功因素是投資未來，其作法為：(i)開發客製化材料，以符合客戶的特別需求；例如在骨科醫學上有一個棘手課題：在病人骨骼受傷後，若無法迅速自體復原，就必須使用植入物(Implant)，可是此種外來的植入材料可用者稀少，且其移除替換也是另一種外科風險；理想的解決方案是，植入材料於病人骨骼康復之後，會自然降解並消失(Degrade and Disappear)。(ii)研究有效率的、優化的製程技術：尤其是配合客製化材料，以利創造市場機會；(iii)積極進行國際科研合作。(iv)面向未來，所開發的材料與製程，不冀求馬上能夠派上用場，但求研究出來的解決方案，大約在 5 到 10 年之間可以商業化應用。IFAM 開發完成許多新材料與新技術：(1)醫學科技與生命科學研究上取得了重大突破：mediNiK 專案發展出生物相容性的醫用膠，可去除內視鏡治療腎結石時的殘留。(2)粉末技術(Powder Technology)長期以來成功地運用在產業上，粉末技術也是 IFAM 的核心競爭力，其專業技術從粉末延伸到相關材料的各種產品成形和修繕，以符合製程的可靠性和特殊要求。(3)稀土臨界性質(Criticality of Rare Earths)研究專案：力求在材料科學上領先的研

究計畫；在稀土臨界性質框架下，通過兩個案例的研究來佐證：其一是電動馬達中的永久磁鐵，如何可以減半稀土元素使用量，進一步甚至完全取代的基本需求；其二是醫療應用材料，發展出可承載的、可降解的植入物材料；理想的解決方案是，植入物於病人骨骼康復之後，會自然降解消失。(4)消失模型製程(Lost Foam Process)：IFAM 首次成功利用消失模型製程，製造出電動馬達所需的大型鋁線圈，可使原料成本降低，機械重量減輕，還能降低源消耗。(5)新型固態電池：Fraunhofer 旗艦專案包括電動機，目的是在磁性材料中讓鎳的使用減少 50%，也致力於生產高剩磁異向性鈹鐵硼磁鐵；這些都是在支援電動車發展的計畫。(6)黏結技術：IFAM 發展出一種功能性膠帶，可用於局部陽極氧化；用來對鋁元件修復、再加工或處理超大型元件。(7)飛機機艙設計：執行機艙自動組裝研究計畫，並驗證新一代飛行器結構之設計。

#### (七)尖端製造加工

尖端製造加工技術領域包括：真空技術、加熱技術、研磨技術、紫外線技術、超音波加工技術、塗層技術、卷對卷連續製程技術、微影技術、清淨加工技術、電漿加工技術、精密加工技術、自動光學檢測技術、濕製程技術、雷射加工技術、貼合技術、切割技術、印刷電路板加工鑽孔技術、3D 列印技術、電子印刷技術、智慧電表技術、精密組裝技術等製造加工技術領域。在各國推動先進製造策略中，都不約而同地，將重點集中在發展 3D 列印技術上，因此以下就對其技術內容略加說明。

常見的 3D 列印技術主要有三種：熔融沉積造型(Fused Deposition Modeling, FDM)、選擇性雷射燒結(Selective Laser Sintering, SLS)及光固化立體造型(Stereolithography, SLA)；其列印技術原理如下：FDM 是目前市面上最廣為流行的方法，一般平價 3D 列印機種大多採用這一種製程。製造方法類似蛋糕師傅把奶油在蛋糕上擠出各式花樣一般，原料熔融後一層一層地擠出堆疊上去，直到產品製作完成為止。SLS 是利用電腦控制雷射照射的位置，粉末經雷射照射後會層層燒結黏著聚積成塊，之後再鋪上另一層粉末繼續下一層的製程，直到最後產品成型；這個方法是由德州大學奧斯汀分校卡爾·德克(Carl Deckard)與喬·比曼(Joe Beaman)兩人研發出來且取得專利，但這項專利在 2014 年初已超過保護期限。SLA 必須使用液態的光活化樹脂，藉由雷射或紫外線光束一層一層地進行光固化過程。由於成型的精確度很高(可達到 0.05 ~ 0.15 毫米的精密度)，成品表面的光滑度及細緻度已經相當接近射出成型加工的塑膠製品。(林鼎勝，2014)

在 *3D Printing and the New Shape of Industrial Manufacturing (3D 列印和工業製造的新造型)* 中揭示，3D 列印技術有七種型式：(1)黏著劑噴射技術(Binder Jetting)，又稱噴墨頭或粉末床 3D 列印，利用沙、粉末或金屬，並應用如印表機的噴墨頭將黏著劑與素材結合，通常用於製作砂模鑄件。(2)光固化(Stereolithography)，利用紫外線固化液態樹脂，並結合各層。(3)熔融沉積成型(Fused Deposition Modeling)，將熔融的熱塑性材料噴出以製造各層，進而層層結合；常用的素材有 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)和聚乳酸聚合物(Polyactic Acid Polymers)。(4)選擇性雷射燒結(Selective Laser Sintering)，利用粉狀材料(如尼龍、鈦、鋁、聚苯乙烯、玻璃等)取代液態材料，選擇性雷射燒結所使用的雷射將粉末層層燒結或融合。(5)選擇性雷射熔結(Selective Laser Melting)，與選擇性雷射燒結相似，但將粉末高溫熔化。(6)電子束熔結(Electron Beam Melting)，與選擇性雷射燒結相似，但使用電子光束作為能源。(7)



疊加實體製造(Laminated Object Manufacturing)，疊加過程包括將素材層板(如金屬、塑膠、或紙)分層疊起黏合，接著切割形狀或透過加工或鑽孔製作成品。跡象顯示 3D 列印技術將逐漸發展成為生產製造的主流技術，將會創造出製造業的一些改變與機會，其中包括：(1)投資 3D 列印並且擁有操作人才的公司，在研發中可看出其在速度及彈性上的成長，因此新產品的啟用與訂製能更快速。(2)早期採用者逐漸從原型製造轉為製造最終產品。(3)許多企業重新想像供應鏈的景象：未來物流將著重於傳送數位設計圖的印表機網路，從世界上一個洲傳送資料至位於另一個洲的印表機上，而非藉由傳送容器、船和貨機。(4)許多公司期待 3D 列印能帶來相較於傳統製程可以削減製造工法上材料、勞力和運輸上的成本。據 PwC 分析，在全球航空業的維護、修理與操作(Maintenance, Repair, and Operations, MRO)的零件市場中，應用 3D 列印的產品將會出現，如果全球航空業的 MRO 零件中有一半採用 3D 列印製造，將可節省 34 億美元的材料和運輸成本，就算只有 20%採用 3D 列印製造，也能輕鬆地節省 10 億美元的成。

在 *The internet of things in manufacturing innovation processes: development and application of a conceptual framework* (製造創新製程的物聯網：開發和應用的概念架構)中，討論從管理的角度來觀察有關物聯網(Internet of Things, IoT)的現象，並透過管理和創新文獻的觀點，調查物聯網的主要特性與現況，並建立一個概念框架來解釋它的演變。這個框架已經應用到積層製造和 3D 列印技術之案例上；物聯網及其主要元素的現象與理論分析，已使用管理方式構建一個概念框架，能描述製造業現象的進化影響。經由相關步驟，如：基本化、模組化、結構化和漸進性創新，並採用和整合亨德森和克拉克(Henderson and Clark)的模式，來解釋物聯網對製造業的影響。最後，應用此研究框架於積層製造與 3D 列印技術的案例中，此框架的實用價值，可解釋有關就業和預測製造業可能的變化。透過系統化主要元素，開始論證此一理論，被稱為代表物聯網現象的事實，而可得到以下結論：(i)物聯網是一個環境可獨特標識物品；(ii)這些項目是活耀的，換句話說，它們可以自主地回應內部和外部的刺激；(iii)它們將產生大量的數據流；(iv)它們可以不斷地彼此交換數據。

#### (八)生產力

生產力係指產出及投入的數值或比率，用以衡量企業運用資產的效率。計算方法為：產出/投入。產出通常為生產或提供勞務的數量，投入則可為資本、固定資產、工時或勞動人數。一般來說生產力越高則運用資產的效率就越高。生產力主要是用來觀察生產單位在一定期間內的產出是用多少投入來達成的，其所致力的目標是如何使用最少的投入生產出相同的產出水準或者以相同的投入生產更多的產出，以促使產出增加的幅度大於投入增加的幅度，達到生產力成長之終極目標。生產力依投入要素的種類又可以分為單要素生產力與複要素生產力，前者如勞動生產力與資本生產力，後者如多要素生產力(Multifactor Productivity, MFP)、總要素生產力(Totalfactor Productivity, TFP)。由於單要素生產力只能觀察單一投入與產出之間的關係，忽略掉了其他投入要素對產出的影響，如勞動生產力僅表現產出與勞動投入之間的關係，其變化係反映產出之增長排除勞動投入量增加之部分，因此勞動生產力之成長包含資本投入貢獻之要素，以致應用上受到侷限；而 MFP 或 TFP 則可表現產出與其使用複合投入之間的關係，較能明確反映投入與產出之間的變化，並可完整分析經濟成長的來源或產出成長之因子。



經濟合作暨發展組織(OECD)在 2015 年度生產力的未來報告 The Future of Productivity (生產力的未來) 中，首先指出許多 OECD 成員國的生產力成長近年來明顯減緩；同時，也因而導致以知識經濟為基礎之資本累積與創新創業的下降。並指出提升生產力成長的主要三大政策領域應包涵：(i)全球先進尖端企業與機構之新技術擴散；(ii)創造適合大部份企業成長的市場環境，擴大新技術的滲透；(iii)降低資源的錯置，尤其是正確的技術對接。提出首先各國需要鼓勵增加基礎研究的投入，雖然基礎研究的失敗風險高，但即使研究計畫的失敗，也可以讓業者了解市場的需求；尤其在經濟不景氣時，藉由政府政策性補助，可以降低企業風險，並提升業者持續投入尖端研發的意願。其次，在尖端研發成果的擴散應用，也必須建立一套推動與輔導政策機制，尤其是中小企業透過與大學的合作，導入國際間先進知識或科技研發成果；在此同時，也必須建立在職進修管道系統，來持續進行新技術與新知識的學習與導入。最後，針對勞動力、資本、技能的聚焦於創新知識或技術的擴散應用，能夠有政策面的妥善支持，也是生產力提升的重要因素之一。對於積極創新的企業，能夠有滿足企業創新發展需求技能的員工，必須要建立對未來技術需求的正確認知，並且能夠有效輔導企業導入適切技術，減少資本的錯誤投入。如此，方可有效提升企業的創新與產品競爭力的強化。社會資源未能適當投入於持續創新，常導因於存在許多規模小、人口老化、沒有生產力的企業，未能建立正確認知，仍然會分食社會中的人力、資本等重要而且稀少的資源。因此，正確聚焦於尖端研發成果的擴散應用，為生產力提升的重要政策。

在 The Future of Japan: Reigniting Productivity and Growth(日本的未來：重新啟動生產力與成長) 中指出，在兩個「失去的十年」的痛苦過程中，日本已經失去很多的競爭優勢，經濟雖繼續運行但低於其潛力。生產力的成長幾乎在每一個部門都持續下降，包括先進製造業。政策的改變可以重新實現成長與創造正確的條件，但日本需要特別關注個別公司，因為他們可以立即為自己做些什麼事情。儘管有兩個「失去的十年」的痛苦，但是日本仍然是世界的第三大經濟體和第四大的出口商。日本是一個擁有先進技術知識、強大製造基地、世界一流的基礎設施及大型和富裕消費市場的國家，這些雖是一個罕見的優勢組合，但世界各國仍然對日本的成長和改造的前景持悲觀的態度。日本若無法維持增加附加價值的持續成長，經濟將會繼續在潛力以下運行。競爭會提高生產力，因為靈活和創新的公司勝過效率低的公司，但在日本的高負債企業，甚至大型企業集團中無競爭力的部門，為了穩定的利益仍然須保持活力。日本長期的終身就業模式，也造成一定程度的停滯，現在終身就業的法律約束大部分都已經解除了，使得勞動力市場在理論上可以更加靈活。但實際上，縮小規模被認為是一個強烈的負面影響，將會產生缺乏靈活性與效率低的官僚機構，工人們不願意透過改變雇主來提升自己的職能，這也限制他們發展新技能的動機。日本必須實施一個有雄心的計畫，來擺脫長期停滯的困境，同時準備改變人口的比例，並須關注此處其中的優先事項，如此才可能有助解決持續存在的問題，讓日本處於更堅強的地位，並應付目前迫在眉睫的挑戰。這些優先事項還可以幫助日本展望未來，利用全球貿易的巨大流動、數十億新興世界新城市消費者的興起、以及技術突破，強調人力資源、靈活性、創新和生產力等，日本才能轉化當前破壞全球的危機為轉機，走向成長的康莊大道。

### 三、結論

製造業自2000年跨入全球化時代之後，先進製造業國家因為從業人口不足，以及在追求更低廉的製造成本思維之下，促成了全球製造業版圖產生急遽的變化。根據Rolan Berger策略顧問公司的調查發現，在1991年時，商品在非先進製造業國家生產的比率只占21%，但到了2011年之後，非先進國家所製造的商品比率已大幅度攀升到占40%以上；反觀歐洲，製造業萎縮嚴重，從原本的占36%大幅滑落到只剩25%。再由英國劍橋大學的研究顯示，全球製造業在2011年提供製造服務化的比率已經達到31.1%，相較於2009年的29.5%，呈現微幅上升的趨勢，愈來愈多設備製造商從傳統的專注硬體製造，逐漸走向提供專業服務，包含顧問諮詢等，藉此提高企業營收與獲利率。另外，根據研究結果顯示，全球製造業約有40%的資深專業技術人員將會在2020年前退休，未來製造業的服務型態也將會從現今的駐點服務轉變為遠端服務。(林裕洋，2015)

在各國相繼推出提升生產力與製造技術相關政策的當口，我國也在這個關鍵時刻提出精進生產力與製造技術的相關政策，包括相繼推出生產力4.0及精密機械發展方案。其主要內容無非是要敦促我國產官學研各界通力合作，善用我國所擁有的強大ICT製造加工實力，並與製造業及服務業有效整合升級，藉以大力提升我國的整體生產力與製造技術。

我國在過去機械製造業蓬勃發展的基礎下，工具機產業近年來在全球市場爭逐中都有不錯的表現，2014年整體產值達到48億美元，總出口值約38億美元，排名全球第四；不過產品定位以中間價位為主，出口到美國的平均單價為新台幣240萬元左右。受限於多數台灣工具機業者規模不大，海外市場多半仰賴代理商協助開拓，因而導致產品報酬率較低，也很難精準掌握客戶的需求及其使用狀況。面對全球製造業走向製造服務化的趨勢，勢必要調整我國機械製造業的企業結構。有鑑於各先進製造國家積極推動製造業升級相關計畫，我國所推動的生產力4.0計畫及智慧機械發展推動方案等機械製造業發展措施的適用範圍應該再加以擴大，不應僅限於製造業領域而已，希望也能夠一併帶動其他產業一起升級，產、官、學、研各界若能更加緊密地配合，齊心努力，將更有助於台灣突破經濟發展現況的困境，持續保持機械製造業在國際市場上的競爭能力，並且提升台灣總體經濟的生產力。

### 參考文獻

1. 科技會報辦公室(2015)，*行政院生產力4.0發展方案(民國105年至民國113年)核定本*，Sep. 2015，  
[http://www.bost.ey.gov.tw/Upload/UserFiles/%E8%A1%8C%E6%94%BF%E9%99%A2%E7%94%9F%E7%94%A2%E5%8A%9B4\\_0%E7%99%BC%E5%B1%95%E6%96%B9%E6%A1%88.pdf](http://www.bost.ey.gov.tw/Upload/UserFiles/%E8%A1%8C%E6%94%BF%E9%99%A2%E7%94%9F%E7%94%A2%E5%8A%9B4_0%E7%99%BC%E5%B1%95%E6%96%B9%E6%A1%88.pdf)
2. 吳明機(2016)，*工業局長，經濟部，五大產業創新研發計畫---智慧機械產業推動方案*，行政院第3507次會議，105年7月21日，  
<http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiF7uefhqvTAhWCoJQKHSS7BWUQFggmMAE&url=http%3A%2F%2Fws.ndc.gov.tw%2FDownload.ashx%3Fu%3DLzAwMS9hZG1pbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvM>

- C85NzMzLzhjYTA2ZmExLWM2MmMtNDRmMC04ZDYxLTFINWRjYmM1ZTNINS5wZGY%253D%26n%3D5pm65oWn5qmf5qKwKOihjOaUv%252BmZouWwjeWkluiqquaYjueJiCkucGRm%26icon%3D.pdf&usg=AFQjCNG7cCwPwmmeTHluhwkNILGgoUdqAg
3. 柯拔希(2016)，台灣機械工業同業公會 理事長，台灣機械業致新政府的產業六大建言，March 2016，  
[http://www.tami.org.tw/wisdom\\_machine/wisdom\\_machine-709-4.pdf](http://www.tami.org.tw/wisdom_machine/wisdom_machine-709-4.pdf)
  4. 白忠哲(2014)，臺灣機器人產業現況與未來展望，科學月刊／科技報導，201401-385 期  
[http://scitechreports.blogspot.tw/2014/03/blog-post\\_28.html](http://scitechreports.blogspot.tw/2014/03/blog-post_28.html)
  5. 大公數碼(2016)，機器人你知多少，談發展現狀及未來五大趨勢，02, June 2016，  
<http://digi.takungpao.com.hk/other/news/2016-06/3328336.html>
  6. 楊憲東、賴旻琦(2013)，透視工廠自動化的內幕，科學發展 2013 年 12 月，第 492 期，PP.58-64，  
[http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjDmciuiv7zTAhUDJJQKHYYJIDEAQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fjournal.stpi.narl.org.tw%2FNSC\\_INDEX%2FJournal%2FEJ0001%2F10212%2F10212-09.pdf&usg=AFQjCNHAE3XqfP7DQC3DVQLRUAg\\_grxiDA](http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjDmciuiv7zTAhUDJJQKHYYJIDEAQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fjournal.stpi.narl.org.tw%2FNSC_INDEX%2FJournal%2FEJ0001%2F10212%2F10212-09.pdf&usg=AFQjCNHAE3XqfP7DQC3DVQLRUAg_grxiDA)
  7. 翁書婷(2015)，30 個關鍵字讓你搞懂物聯網，數位時代，Dec. 12 2015，  
<https://www.bnext.com.tw/article/34549/bn-article-34549>
  8. IEK產業情報網(2015)，以網宇實體系統為基礎實現智慧製造產業的發展，Dec. 9 2015，  
<http://pchome.megatime.com.tw/industry/cat49/201512/473.html>
  9. 林鼎勝(2014)，3D 列印的發展現況，科學發展，2014 年 11 月，第 503 期，  
[http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwil9d-3mb3TAhUJIJQKHYYUXCzoQFgg3MAU&url=http%3A%2F%2Fjournal.stpi.narl.org.tw%2FNSC\\_INDEX%2FJournal%2FEJ0001%2F10311%2F10311-04.pdf&usg=AFQjCNGQrJQjU\\_vcqpfhDaAhU9QYxKKWag](http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwil9d-3mb3TAhUJIJQKHYYUXCzoQFgg3MAU&url=http%3A%2F%2Fjournal.stpi.narl.org.tw%2FNSC_INDEX%2FJournal%2FEJ0001%2F10311%2F10311-04.pdf&usg=AFQjCNGQrJQjU_vcqpfhDaAhU9QYxKKWag)
  10. 冯瑞华、姜山、万勇编写(2012)，国外材料计算研究进展，先进制造与新材料科学研究动态监测快报，2012 年，第 18 期，2012 年 9 月 15 日，PP.1-6，  
<http://lib.sia.cn/nbzy/KB201218.pdf>
  11. (林裕洋，2015)，邁向未來製造 擁抱生產力 4.0，Oct. 15 2015，  
<https://www.itri.org.tw/chi/Content/Publications/contents.aspx?&SiteID=1&MmmID=2000&MSid=655356673505512061>
  12. 上海经信委(2015)，【重磅】“中国制造2025”重点领域技术路线图(2015年版)正式发布，2015 年 9 月 29 日，  
[http://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MjM5MDU2MTc4NQ==&mid=208806323&idx=3&sn=a661984c0cc4f34f94b3ccb27d9c8f19&scene=0##](http://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MjM5MDU2MTc4NQ==&mid=208806323&idx=3&sn=a661984c0cc4f34f94b3ccb27d9c8f19&scene=0##)



2016先進製造議題收錄文獻中有摘要部份清單

(一)先進製造相關政策(The Policy in Advanced Manufacturing)

No.	中文題名	原文題名
1	由科技進步看日本製造業的發展	テクノロジーの進化を見据えた日本のものづくり産業の在り方
2	製造業 2030	製造業 2030
3	製造業の新業務開拓與人才培育 相關調查	ものづくり企業の新事業展開と 人材育成に関する調査
4	全球製造業經營典範移轉與邁向 資訊科技數位企業之道	グローバル製造業における経営パラダイムの変化と IT デジタルエンタープライズへの道
5	供應鏈創新：強化美國小型製造業	Supply Chain Innovation: Strengthening America's Small Manufacturers
6	美國的實際製造優勢	America's Real Manufacturing Advantage
7	製造業創新計畫國家網絡：年報	National Network for Manufacturing Innovation Program: Annual Report
8	健全全球供應鏈以達成高值化製造	Orchestrating Global Supply Chains, Enabling High Value Manufacturing
9	以 Heckscher-Ohlin-Melitz 觀點看 法國製造業之委外生產與技術升級	Offshoring and Skill-upgrading in French Manufacturing: A Heckscher-Ohlin-Melitz View
10	2015 年世界對製造業典範移轉之 因應調查研究	平成 27 年度 世界の製造業のパラダイムシフトへの 対応調査研究
11	日本製造業競爭力的提升與促進 產業構造轉形	日本のものづくりの競争力再生と 産業構造転換の促進
12	2014 年世界對製造業典範移轉之 因應調查研究	平成 26 年度 世界の製造業のパラダイムシフトへの 対応調査研究

(二)電腦輔助設計與電腦輔助製造(CAD/CAM)

1	強化雲端設計與製造系統之產品 實現程序	Enhancing the Product Realization Process with Cloud-Based Design and Manufacturing Systems
---	------------------------	---

(三)機器人(Robotics)

1	在生產規劃早期作機器人系統生 命周期成本評估	Life Cycle Cost Estimation of Robot Systems in an Early Production Planning Phase
2	機器人產業的現狀與展望	ロボット産業の現状と展望
3	工作與機器人的未來	The Future of Work and Robotics

4	機器人創新戰略：邁向機器人使用先進的茨城縣	ロボットイノベーション戦略：「ロボット利用先進県いばらき」を目指して
5	2015 年度推動機器人產業與技術發展相關調查	平成 27 年度 ロボット産業・技術の振興に関する 調査研究報告書
6	歐盟機器人系統應用對就業的影響	Analysis of the Impact of Robotic Systems on Employment in the European Union
7	美國致力於機器人發展現狀	米国におけるロボットに関する取り組みの現状
8	奈米、資訊技術與機械學整合進行機器人基礎技術的創新：以創造出對人類友善的智慧機器人	ナノ・IT・メカ統合によるロボット基盤技術の革新：人に寄り添うスマートロボットを目指して

#### (四)工廠自動化(Factory Automation)

1	促進製造業生產工廠檢測自動化可行性調查報告	ものづくり企業生産現場における検査 の自動化促進可能性調検査報告書
2	應用於航太產業中彈性與有效率製造系統的數位工廠方法	Digital Factory Approach for Flexible and Efficient Manufacturing Systems in the Aerospace Industry
3	彈性製造系統：製造技術的最新方法	Flexible Manufacturing System: A Modern Approach to Manufacturing Technology
4	製造系統設計與規劃之知識重用：語意學技術方法	On Knowledge Reuse for Manufacturing Systems Design and Planning: A Semantic Technology Approach
5	可重組態航太空生產系統用之數位製造與彈性裝配技術	Digital Manufacturing and Flexible Assembly Technologies for Reconfigurable Aerospace Production Systems
6	基於蟻群最佳化演算法之雲端製造資源分配模型	A Cloud Manufacturing Resource Allocation Model Based on Ant Colony Optimization Algorithm
7	邁向雲端製造用之程序支援	Towards Process Support for Cloud Manufacturing
8	供再製造用的拆解：系統性文獻回顧、新模式開發與未來研究需求	Disassembly for Remanufacturing: A Systematic Literature Review, New Model Development and Future Research Needs
9	北歐製造部門的數位化與自動化：現狀、潛力與障礙	Digitalisation and Automation in the Nordic Manufacturing Sector: Status, Potentials and Barriers
10	產業價值鏈計畫：利用連網工廠進行線上製造	Industrial Value Chain Initiative：「つながる 工場」によるつながるもの づくり

11	先進製造能量：日本、南韓、中國、新加坡在工業生產方面之研究發展管理、創新與數位化之能力研究	Advanced Manufacturing Capabilities: Working Paper on How Japan, South Korea, China and Singapore Manage R&D, Innovation and Digitalization in Industrial Production
12	邁向工業 4.0 之路：由先進技術聚落 it's OWL 所提出的解方	On the Road to Industry 4.0: Solutions from the Leading-Edge Cluster it's OWL (Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe)R
13	德國的研究現況：製造科學與工程部門	Research in Germany: Manufacturing Science and Engineering
14	數據化社會的製造業發展方向調查報告	データ社会における製造業の方向性に 関する調査 調査報告書
15	製造業創新計畫國家網絡：策略計畫	National Network for Manufacturing Innovation Program: Strategic Plan
16	2013 年下一代製造研究：概要	2013 Next Generation Manufacturing Study: National Executive Summary
17	智慧工廠之風險管理透視	The Smart Factory: Risk Management Perspectives
18	未來工廠：未來製造計畫---例證報告第 29 號	The Factory of the Future: Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 29

(五)物聯網(Internet of Things, IoT)

1	物聯網：智慧機械與工具	Internet of Things: Smart Machines and Tools
2	物聯網對日本製造業所帶來的變化轉型與未來的因應措施調查報告	IoT がもたらす我が国製造業の変容と今後の対応に関する
3	物聯網在製造業創新過程中的應用：一個概念架構的開發與應用	The Internet of Things in Manufacturing Innovation Processes: Development and Application of a Conceptual Framework
4	製造業用物聯網之設計	Designing for Manufacturing's 'Internet of Things'
5	對於物聯網及工業 4.0 必須瞭解的七件事	7 Things to Know about the Internet of Things and Industry 4.0
6	藉物聯網驅動網路實體整合系統的安全挑戰與進化中的電腦運算及其他運算智慧的發展機會	The Security Challenges in the IoT enabled Cyber-Physical Systems and Opportunities for Evolutionary Computing & Other Computational Intelligence



(六)網路實體整合系統(Cyber-Physical System,CPS)

1	5G 與未來工廠	5G and the Factories of the Future
2	網路實體整合系統將帶來的創新 與製造業的未來	サイバー・フィジカル・システムズ(CPS)がもたらすイノベーションと製造業の未来
3	智慧製造：願景解釋	Smart Manufacturing: The Landscape Explained
4	工業 4.0 革命與製造執行系統的未來	The Industry 4.0 Revolution and the Future of Manufacturing Execution Systems (MES)
5	製造業網路實體整合系統用之大數據與虛擬化	Big Data and Virtualization for Manufacturing Cyber-Physical Systems
6	建立一個確保網路實體整合系統安全的架構	Towards a Framework for Assuring Cyber Physical System Security
7	在工業 4.0 時代的競爭優勢研究：日本與德國工廠自動化系統製造商之現況	Industrie 4.0 時代の競争優位についての一考察：日独 FA システムメーカーを事例に
8	歐洲製造業中網路實體整合系統發展之路徑圖：願景與落差分析	European Roadmap for Cyber-Physical Systems in Manufacturing: Vision and Gap Analysis
9	網路實體整合系統的倫理面向議題	Ethical Aspects of Cyber-Physical Systems
10	工業 4.0 願景的設計原理：文獻回顧	Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review

(七)生產力(Productivity)

1	日本的未來：重新啟動生產力與成長	The Future of Japan: Reigniting Productivity and Growth
2	在製造業生產力中各國因資源配置不當所產生的差異	The Role of Resource Misallocation in Cross-Country Differences in Manufacturing Productivity
3	企業規模的扭曲與生產力分布：來自法國的證據	Firm Size Distortions and the Productivity Distribution: Evidence from France
4	生產力的未來	The Future of Productivity
5	服務貿易限制與製造業生產力：機構的作用	Services Trade Restrictiveness and Manufacturing Productivity: The Role of Institutions
6	製造業生產力大衰退對未來的啟示	Manufacturing Productivity through the Great Recession: What Does It Mean for the Future?

7	美國製造業的競爭力	The Competitiveness of U.S. Manufacturing
8	2016 年全球製造業競爭力指標	2016 Global Manufacturing Competitiveness Index
9	製造業創新：藉由破壞性技術驅動 加拿大最大產業部門	Manufacturing Innovation: Driving Canada's Biggest Sector through Disruptive Technologies
10	下一代製造技術：建立高附加價值 製造業的創造平台	次世代ものづくり ～高付加価値を生む新しい製 造業のプラットフォーム創出に向けて～
11	先進技術計畫：製造與創新	Advanced Technologies Initiative: Manufacturing & Innovation
12	生產力：英國、法國、德國與美國 製造業之比較	Productivity: A Comparison in Manufacturing: UK, France, Germany & USA