

機器人發展趨勢

黃財丁 / 2017-05-16

一、前言

近年來，機器人在工自動化領域中的應用已經高度成熟了，接續著此起彼落的無人化工廠、關燈工廠開幕啟用之聲後；機器人的應用也已經越來越貼近我們的生活週遭了，自 SONY 推出機器狗愛寶、HONDA 推出仿人機器人阿西莫(Asimo: Advanced Step Innovative Mobility)、德國科馬克思普朗克學會(Max Planck Society)推出仿真機器人雅典娜(Athena)、軟銀也相繼推出人形機器人沛博(Pepper)，再到最近中國科技大學再推出的美女機器人佳佳，此乃肇因於工業機器人開發與應用持續發展到現今的成熟階段之後，大家都把目光聚焦到服務機器人領域，或許不久的將來，機器人將如當今大家飼養寵物一般，幾乎成為家戶中的一個重要的成員，以及親密的伙伴，在我們的生活中對機器人依賴將會越來越深！

工業用機器人的發展歷時已久，從自動化開始直至今日各界戮力研發的智能化，機器人在工業上的應用已日趨成熟，現階段的發展則是以導入人工智慧為主，希冀機器人能更接近人類，也因而開啟了機器人在各產業的廣泛應用。服務機器人在我們日常生活中的應用，最為大家熟悉的首推掃地機器人；從 2002 年第一台掃地機器人 Roomba 出現以來，到現在已經有 13 年了。目前排名前十名的品牌，包括 iRobot、Neato、Matsutek、LG、TechkoMaid、Ecovacs、THOMSON、AGAiT、SAMAUNG、agama 等。

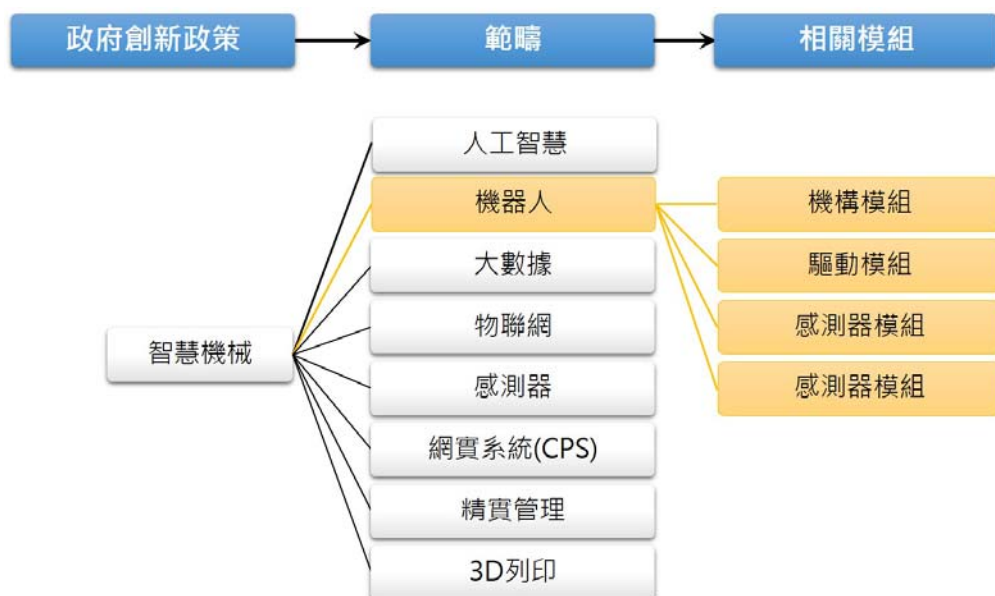
機器人在醫療保健方面的應用，首推達文西手術機器人，雖然所費不貲，健保也沒有給付，但是因為出血少、傷口小，可以大幅縮短病人的恢復期，也令家庭經濟中上者趨之若鶩。目前已經可以應用在一般外科、婦產科、心臟胸腔外科、泌尿外科及耳鼻喉科等外科手術上；台灣自 2004 年引進後，即致力於促進台灣醫療手術技術與國際接軌，目前在台灣施行達文西手術已經十分常見，每年並以驚人的速度擴大到新的應用領域。達文西手術機器人係藉由人工智慧高科技系統，而達到外科手術傷口微創化的目標。

二、機器人發展趨勢

機器人技術自問世以來，經歷四十多年的發展，已取得長足的進步。它既可以接受人類指揮，又可以運行預先編寫的程式，也可以根據以人工智慧技術制定的原則行動，並透過學習進行自我演化。它的任務是協助或取代人類的工作，例如生產事業、營建事業，或是其他危險事業的工作等。但自機器人誕生以來，人們就不斷嘗試說明到底什麼是機器人，隨著科技的發展，機器人所涵蓋的內

容越來越豐富，定義也不斷地加以充實與創新。根據國際機器人聯盟(International Federation of Robotics, IFR)的分類，將機器人分為工業機器人與服務機器人兩大類。工業機器人是集機械、電子、控制、電腦、感測器、人工智慧等多項領域的先進技術於一體的現代製造業的重要自動化裝備。服務機器人則是機器人家族中的一個年輕成員，服務機器人的應用範圍非常廣泛，主要從事維護保養、修理、運輸、清洗、安全防護、救援、監護等工作。依其功能來劃分，機器人的發展可分為三代；第一代機器人是教導再現型機器人，只具有記憶、存儲能力，按相應程式重複作業，對周圍環境基本上是沒有感知與回饋控制的能力。第二代機器人是有一定的感知能力的機器人，能夠獲得作業環境與作業物件的部分相關資訊，根據感測器獲得的資訊，可以靈活地調整工作狀態。第三代機器人則是智慧型機器人，具有比第二代機器人更加完善的環境感知能力，並具備邏輯思維、判斷及決策能力，可以根據作業要求與環境資訊自主地進行工作，具有與外部世界的物件、環境及人員相互適應、相互協調的工作機能。

機器人的相關技術涵蓋軟硬體模組及系統整合等，若直接進行技術拆解，其涵蓋範疇相當廣泛。因此本文參考天下雜誌的報導，依據機器人的結構進行模組分類，主要可區分為四個部份，分別是機構模組、驅動模組、感測模組、控制器模組，詳如下圖 1。其中，機構模組是指機器人的骨架，組成機器人的各個部位；驅動模組即機器人的肌肉，向執行系統提供動力，通常由電力、空氣或油壓驅動；控器模組則是機器人的主要指揮系統，讓機器人依據要求進行作業。各個模組所包含的技術項目相當廣泛，而主要的關鍵零組件如下表 1 所示。



資料來源：天下雜誌(2017)，本研究整理

圖 1：創新政策與機器人涵蓋模組

表 1：機器人之模組與關鍵零組件

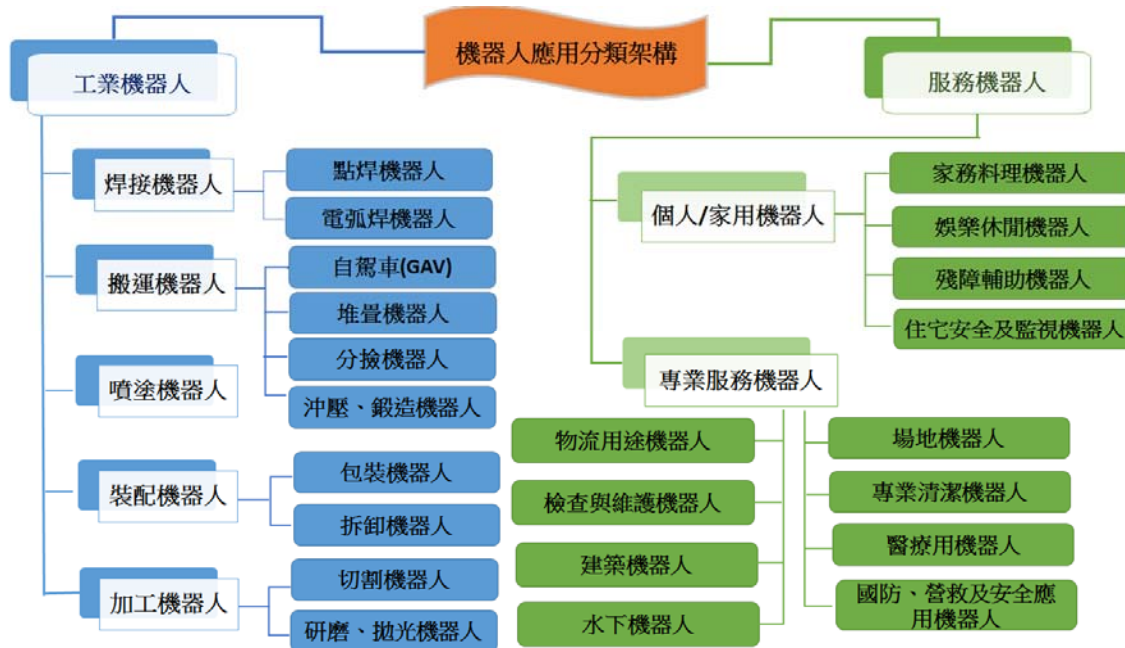
模組	關鍵零組件
機構模組	軸承、線性滑軌、導螺桿、夾爪
驅動模組	伺服馬達、減速機、驅動器
感測模組	視覺感測器、距離感測器、力學感測器及其他感測器
控制器模組	PC-Based 控制器、可程式控制器(PLC)、工業電腦

資料來源：天下雜誌(2017)，本研究整理

從應用領域、常見的機器人系列及市場占有率來看，工業機器人主要有焊接、裝配、搬運、上料/卸料、鑄造、衝壓與噴漆、自駕車等種類。服務機器人按照用途又可再分為專業服務機器人與個人服務機器人兩大類。專用服務機器人是在特殊環境中作業或商業上應用的機器人，通常由訓練有素的操作員操作；如在公共場所的清潔機器人、在辦公室或特殊場所使用的機器人、消防機器人、在醫院使用的復健機器人及外科手術機器人、救援機器人、導覽機器人、太空探測機器人、防爆機器人、農業機器人、雷射治療機器人等。個人服務機器人是一種用於非商業活動的服務機器人，包括家務料理機器人、智慧輪椅、老殘生活輔助機器人、居家護理機器人、寵物機器人、娛樂休閒機器人等。機器人應用分類如圖 2 所示。

根據波士頓顧問集團(Boston Consulting Group)2015 年對全球 25 個製造業出口國中的 21 個產業(占全球貨物貿易額的 90%)進行機器人產業應用分析，調查結果發現：(1)機器人的應用開始在產業部門中起飛。(2)機器人的採用隨著國家與產業的不同而有差異。(3)製造生產力將因此大幅提升。(4)節省勞動成本已經成為大勢所趨。(5)機器人將會影響國家的成本競爭力(Cost Competitiveness)。(6)對先進製造技能將會有高度需求。

總體而言，很難具體指出採用機器人的時機，因為產業與地區狀況不同而會有不同的需求，然而所有企業都必須從現在開始準備採用機器人，以因應成本的變動。製造業者應該謹慎評估機器人的價格與性能、勞動成本的變化，以及市場的競爭與技術演變的情勢。當今製造業者應該對人力資源、科技能力與製程技術等極進行研發，以便在機器人時代確保自己的投資，能夠轉換為生產力與成本競爭力。(Boston Consulting Group, 2015)



資料來源：參考國際機器人聯盟(IFR)分類及中國機器人專家之分類，本研究重新繪製。

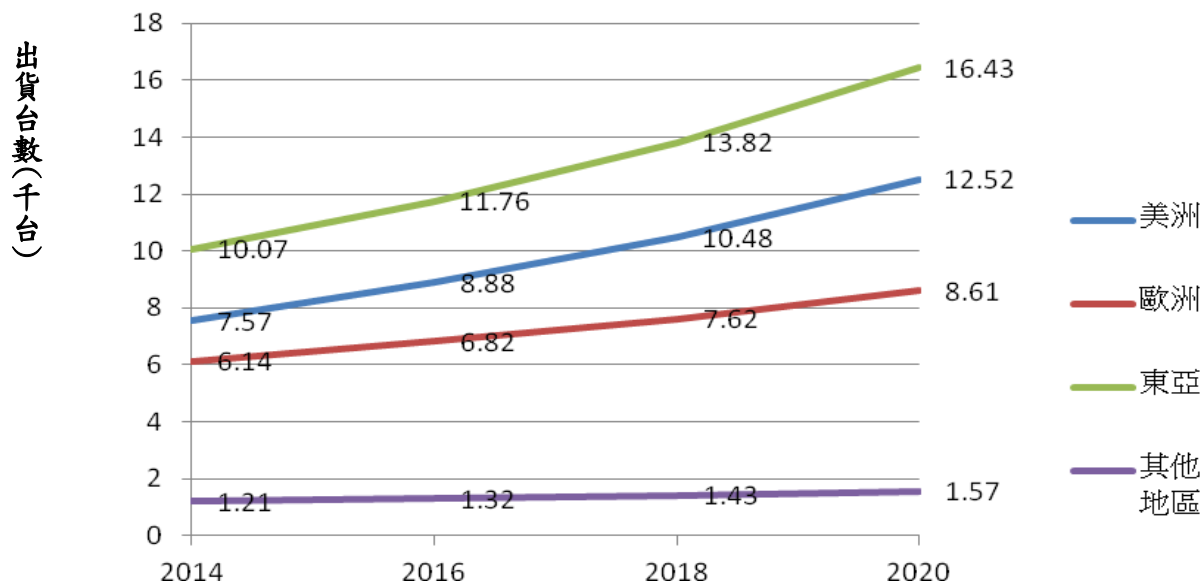
圖 2：機器人應用分類

2016 年 9 月 29 日在德國法蘭克福的 2016 年世界機器人報告發表會上，國際機器人聯盟理事長喬吉馬(Joe Gemma)表示，根據他們的最新預測，到 2019 年全球工廠將安裝 140 多萬台新型工業機器人；2010-2019 年全球工業機器人出貨台數及成長率如圖 3 所示。在製造業自動化的競逐中，歐盟有 65% 國家在每 10,000 名員工所擁有工業機器人數量上超過世界平均值，領先其他國家。

機器人產業成長的最大動力來自中國，到 2019 年時，在全球市場中將會有約 40% 的工業機器人在那裡銷售安裝。到 2016 年底，全年新增的工業機器人數將會達到 14%，約 29 萬台。預測在 2017 至 2019 年間，將會維持平均每年成長至少 13%(Compound Annual Growth Rate, CAGR；複合年均成長率)。機器人製造商也都已為這些成長的前景預先做好了準備。為此，生產力將大幅提高，大部分歐洲機器人製造商也都已在中國與美國的大型銷售市場中經營新的銷售據點。

在 2016 年，國際消費類電子產品展覽會(Consumer Electronics Show, CES)中，來自世界各地的多家頂尖廠商帶來各種型式的機器人產品參展，這些機器人中，有的是能擔任家居設備的家庭總管，有是可以幫助客人在便利店買咖啡的小助手，有的則是能看、能聽、能走路的生活達人。其中的生活達人就是在 CES 2016 中一夕竄紅的賽格威機器人(Segway Robot)，雖尚處在研發階段，其目前已經展現出具有語音識別、人臉識別、自主導航、人體跟隨、遠程視頻監控

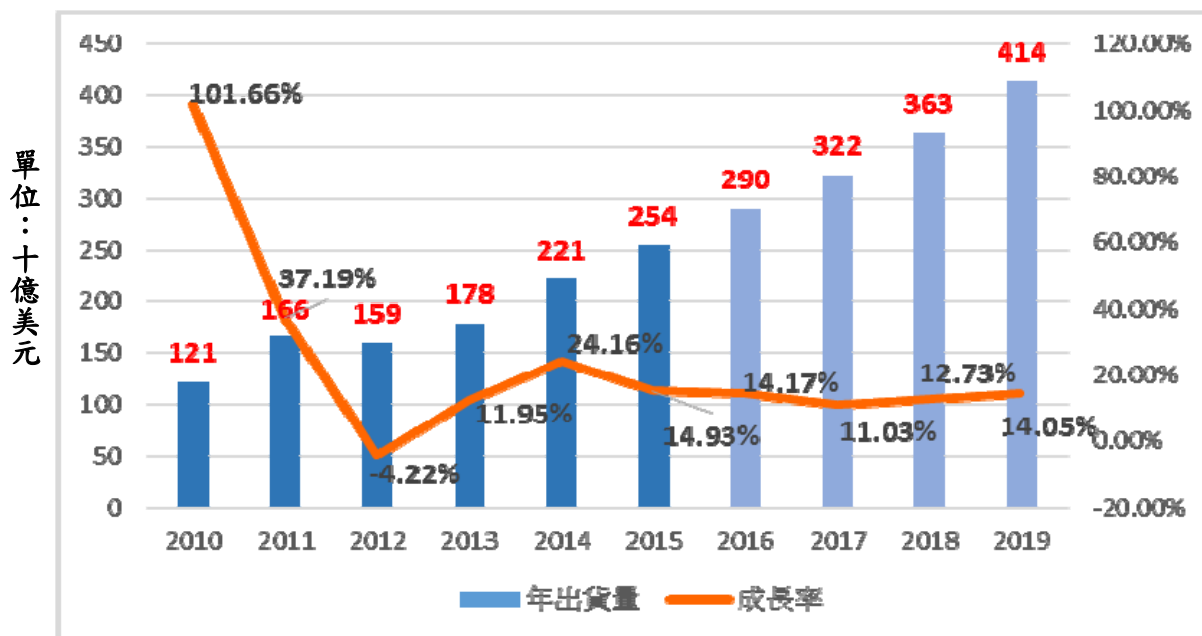
等功能，未來也有可能會達成實際拿起物品的動作。像賽格威機器人這樣的產品，將會逐漸進入消費市場。正如賽格威機器人的創造者蒲立所言：「它將會成為你專屬的獨一無二機器人管家」，2014-2020 年全球工業機器人市場規模及複合成長率如圖 4 及圖 5 所示。



註：2016-2019 年出貨量為預測值。

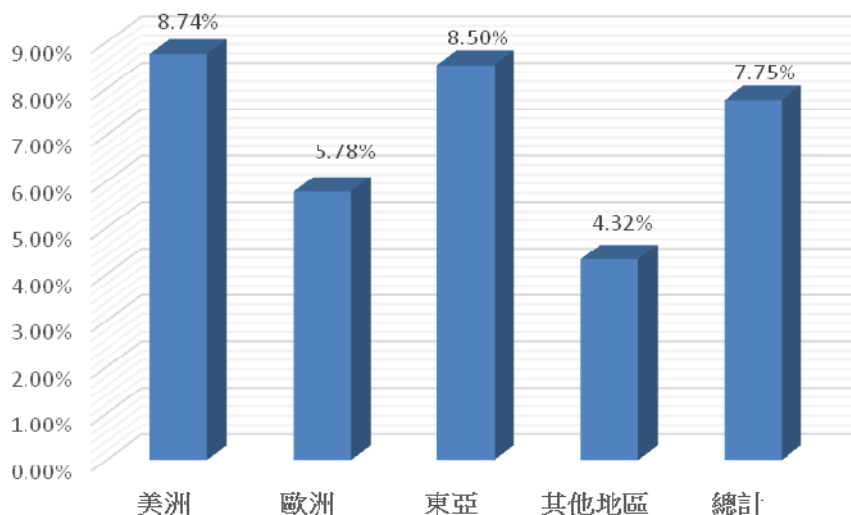
資料來源：依據 IFR Press Releases(2016)資料，本研究重新繪製。

圖 3：2010-2019 年全球工業機器人出貨台數及成長率



資料來源：Marketsandmarkets Analysis, September, 2014

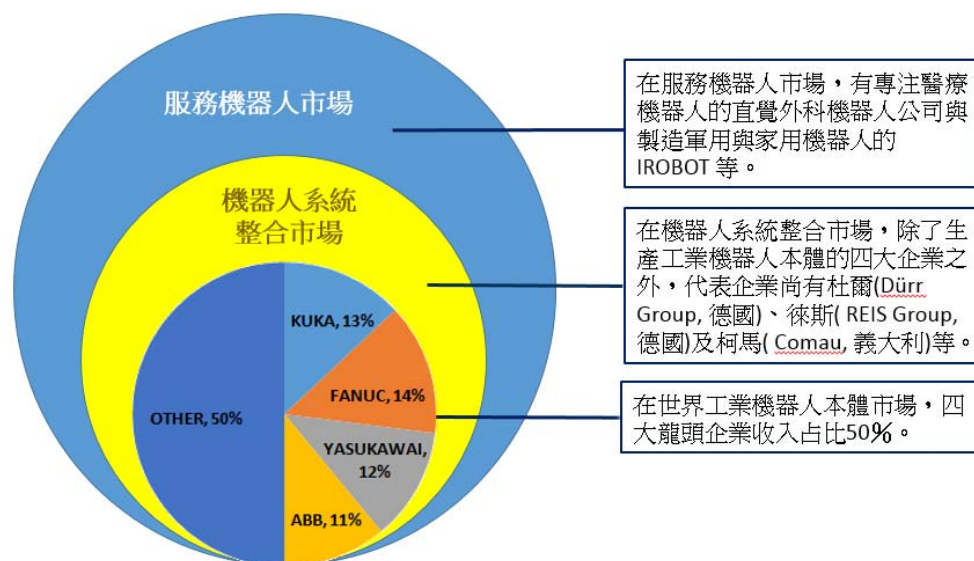
圖 4：2014-2020 年全球工業機器人市場規模



資料來源：Marketsandmarkets Analysis, September, 2014

圖 5：2014-2020 年全球工業機器人複合成長率

在 2012 年世界工業機器人本體市場中，庫卡(Kuka)、艾波比(ABB)、發那科(Fanuc)與安川電機(Yasukawa Electric)等，機器人世界的四大龍頭企業收入占比超過總體的 50%，他們是在此領域的絕對強者。在機器人系統整合方面，除了機器人本體企業自己做的整合業務之外，有名的獨立系統整合廠商，包括杜爾(Dürr Group, 德國)、徠斯(REIS Group, 德國)及柯馬(Comau, 義大利)等。近年來，隨著服務機器人產業的興起，在服務機器人領域也有一批相當優秀的企業湧現。主要企業有研製達文西醫療機器人的直覺外科機器人公司(Intuitive Surgical Inc.)，以及生產軍用與家用機器人(掃地機器人)的 IROBOT 等，圖 6 為世界機器人市場結構。(王德生，2015)



資料來源：華創證券，上海科學技術情報研究所 (ISTIS) 分析整理，本研究重新繪製。

圖 6：世界機器人市場結構

直到 2018 年，工業機器人的全球銷售額將穩定地成長，保持每年成長 15%，銷售數量將會增加一倍，達到 40 萬台左右。占銷售總額 70% 的五大市場是中國、日本、美國、韓國及德國。國際機器人聯盟理事長 Baroncelli 表示，這項發展的主要驅動力是全球工業生產製造的競爭，由汽車製造業與電機電子產業的自動化發展獨占鰲頭，兩個產業的合計占有率達到 64%。

在這種情況下，中國快速自動化在機器人發展歷史上形成了獨特的表現，與 2013 年相比，去年中國地區工業機器人銷售量成長了 56%，中國是世界上規模最大、成長迅速的機器人市場。雖然目前在中國所有生產製造業的機器人密度在每 10,000 名員工中只有 36 台，與韓國 478 台、日本 315 台相距甚大，但估計到 2018 年時，全球工業機器人供應量中有超過三分之一比例將會裝置在中國。現在美國製造業每 10,000 名員工有 164 台工業機器人，但美國產業正在高速自動化之中，川普總統宣稱要打造美國成為世界的工業製造中心，並將檢討其外包生產政策，2014 年美國的機器人裝機數量增加 11%，達 26,000 台左右，排名世界第三。在歐洲，德國已經領先一段距離，製造業每 10,000 名員工有 292 台工業機器人，2014 年銷售額成長約 10%，達到近 20,100 台，儘管現有的機器人密度已經很高，但這個世界第五大機器人市場仍然處於擴張之路上，主要由汽車製造業在驅動。

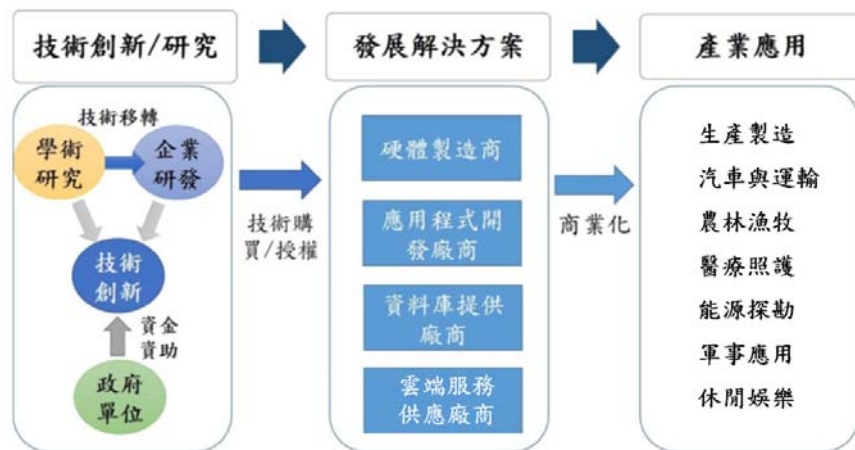
汽車工業在工業機器人方面的全球投資額，自 2010 年以來大幅成長。2014 年刷新紀錄，新增機器人數量接近 10 萬台，比前一年成長 43%。新興市場的新產能，以及原有汽車製造國家的現代化浪潮，推動了這一波成長的榮景。在電機電子部門的機器人市場同樣創歷史新高，2014 年工業機器人銷售金額較前一年成長 34%。消費電子、通訊設備，以及電腦及醫療科技產品製造業對工業機器人的強勁需求，增加了 21% 的全球市場占有率。數位轉型與自動化的浪潮，將會促使工業機器人產業持續地蓬勃發展，直到 2018 年。

工業 4.0 計畫的進展，意味著人機界面團隊正站在技術突破口上，簡化機器人的使用將會進一步開闢新的應用市場。與中小型企業一樣，此種情況同樣也適用於所有行業的大型企業上。除了汽車與電子產業，在金屬加工、塑化、食品及包裝產業上的應用也會越來越多。(IFR Press Releases, 2015)

機器人產業涵蓋範圍廣泛，整個產業結合了機械、自動化、電機、光學、資訊軟體、電子、通訊、安全系統、創意內容等相關的技術與應用。從供應鏈來看，除了終端產品之外，機器人產業還包括零組件與創新服務等環節，其中零組件包含感測器、伺服馬達與驅動器、影像與視覺系統、無線通訊元件、控制器、語音模組、定位模組等；創新服務則是機器人除了傳統工業生產自動化

應用之外，新拓展出來的在專業與個人及家庭服務領域中的應用，包括有軍事作戰、營建施工、導覽服務、家事服務、娛樂服務、醫療與營救、保全監視服務，以及維修保養等領域。

機器人已經是工業自動化生產及日常生活服務領域中的重要伙伴，整體的價值鏈可區分為上中下游三個部份，上游是指將學術研究成果進行技術移轉至企業研發，並由政府單位規劃相關方案，以提供資金資助相關的計畫，在三方共同努力下達成技術創新。上中游的銜接則是透過技術購買與授權，而將技術創新的成果轉譯到下一個商品化階段，中游則是由廠商透過技術創新成果開發出生產製造過程中的解決方案，而下游即為各主要產業市場及生活環境的實際應用。機器人的價值鏈如圖 7 所示。



資料來源：參考Frost & Sullivan相關資料，本研究整理繪製。

圖 7：機器人的價值鏈

2016 年 12 月 7 日，IDC 旗下製造業分析公司(Manufacturing Insights)的全球商用機器人研究項目發布「IDC FutureScape：2017 年全球機器人預測」(IDC FutureScape: Worldwide Robotics 2017 Predictions)最新報告。該報告強調全球機器人未來發展的十項關鍵驅動因素，並分析在 2017 年到 2020 年之間，這些驅動因素對機器人技術發展將會產生的影響，2017 年之後全球機器人的最新發展預測整理如表 2 所示。

表 2：2017 年之後全球機器人的最新發展預測

項目	關鍵驅動因素	內容
預測 1	機器人即服務(Robotics as a Service, RaaS)	到 2019 年，30%的商業服務機器人應用將採用「機器人即服務」的經營模式，以降低機器人部署的成本。
預測 2	機器人長(Chief Robotics Officer, CRO)	到 2019 年，30%的領先機構將設置機器人長職位和/或在公司業務中設有特定的負責機器人職能的部門。
預測 3	競爭格局的演變(Evolving Competitive Landscape)	到 2020 年，新的參與者不斷進入價值 800 億美元的 ICT 市場，來支持各機構的機器人部署。用戶將可在更多的機器人供應商中進行選擇。
預測 4	機器人人才緊缺(Robotics Talent Crunch)	到 2020 年，機器人技術的增長將導致機器人人才緊缺，將有 35%與機器人相關的工作職缺。因此將加劇市場對於相關人才的需求，同時相關工作的平均工資也將會至少提高 60%。
預測 5	機器人相關法規將陸續頒布(Robotics Will Face Regulation)	到 2019 年，政府將開始實施機器人相關法律法規，以保障就業，並且解決安全和隱私的問題。
預測 6	軟體定義的機器人(Software Defined Robot)	到 2020 年，將有 60%的機器人依靠雲端軟體來定義新的技能、認知能力和應用程式，因此將形成機器人應用的雲端市場。
預測 7	智慧協作機器人(Collaborative Robot)	到 2018 年，新部署的機器人中有 30%將是智慧協作機器人，其操作速度比現在的機器人快三倍，並且能夠在人類周圍安全地工作。
預測 8	智慧機器人網絡(Intelligent RoboNet)	到 2020 年，將有 40%的商業機器人連接到同一個共享的情報網路上，使機器人整體操作效率提高 200%。
預測 9	擴大機器人應用範圍(Growth Outside Factory)	到 2019 年，在物流、醫療、公用事業和資源領域中將會有 35%的領先機構嘗試使用機器人，來實現自動化運營。
預測 10	機器人將應用於電子商務(Robotics for Ecommerce)	到 2018 年，在全球 200 家主流電子商務和全通路商務公司中將有 45%商家，在其訂單履行、倉儲和配送業務中部署機器人系統。

IDC 亞太地區世界機器人與亞太製造前瞻計畫主持人張敬兵博士表示，機器人技術將會持續加速創新，從而改變許多行業現有的業務運營模式。IDC 預計在傳統製造業以外的更多領域，機器人將會獲得到更強勁的發展，包括物流、醫療、公用事業及資源領域。我們鼓勵用戶接受機器人技術，並對機器人技術如何提高公司競爭優勢進行評估，了解機器人如何提高服務質量，如何提高經營效率與敏捷性，以及如何增強所有利益相關者的經驗交流等(Jing Bing Zhang, 2017)。

三、國際政策動向

自2008年金融危機以來，以美國為代表的先進國家開始重新審視製造業在國家經濟發展中所扮演的角色，進而提出先進製造業是維持國家經濟活力與創新動力的基礎，繼之推出一系列促進國內製造業發展的相關政策、法規與戰略，發展工業機器人就是其中最核心的關鍵，接續推出機器人發展策略，期盼藉此搶占機器人產業發展的先機，並進而促進國家經濟持續強健發展。茲將歐盟、美國、德國、英國、法國、日本、韓國、中國等主要自動化先進國家，在機器人發展方面所推動的相關政策，整理如於表3。

表 3：各主要國家的機器人相關政策

國家	重要方案	目標
歐盟	2020年歐洲機器人策略研究議程(Robotics 2020 Strategic Research Agenda: for Robotics in Europe)	歐盟執委會將與機器人社群建立公私伙伴關係(Public Private Partnership, PPP)，將會改變執行策略的機制與研究的重點。歐盟執委會與 euRobotics AISBL 會員負擔共同的責任設定並確定研發與創新的重點目標。調整 Horizon 2020 重點項目，使其更貼近市場主導的活動，增加歐洲競爭力，並將歐洲打造成重要機器人市場的全球供應商。
	SecondHands計畫	加速研發具備AI的民用人形移動機器人(Civilian Humanoid Mobile Robot)，並搭載高級的電腦視覺功能，協助員工處理繁雜的工作。
	認知系統與機器人方案(Cognitive Systems and Robotics Initiative)	研發擁有高級認知能力的機器人，在各種作業環境中，只要是人類力所能及(Human-Scale)的活動，機器人都可以有效率地執行。
	歐洲機器人研究網路(EURON)	試圖讓機器人共享訊息並存儲他們的發現。這意味著機器人很快將擁有自己的互聯網與維基百科。當機器人進入一個以前從未曾到過的地方，諮詢RoboEarth能獲得這個地方、有關物體和任務的訊息，隨後，機器人能快速進入工作狀態。
美國	國家機器人計畫(National Robotics Initiative, NRI)	加速美國國內協作型機器人(Co-robot)領域的技術創新，此種機器人能在人機合作的環境中安全地運作。
	機器人路徑圖：從網際網路到機器人(A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics)	強調機器人在美國製造業與衛生保健領域的重要性，同時也描繪出機器人在創造新市場、新職缺與改善國民生活品質方面的潛力。
德國	工業 4.0 計畫(Industrie 4.0)(2013 年)	2013 年德國聯邦政府將工業 4.0 納入高科技戰略 2020 行動計畫(High-Tech Strategy 2020 Action Plan)的十大未來計畫中，工業 4.0 計畫兩大核心發展主軸，是網

國家	重要方案	目標
		路實體整合系統(Cyber-Physical System, CPS)與智慧工廠(Smart Factory)。網路實體整合系統是整合網際網路、電腦運算、感測器及實體物件的整合控制系統；而智慧工廠則是應用 CPS 系統及物聯網(Internet of Things, IoT)於製造生產、智慧機械、物流供應鏈、人機互動及自動化控制的工廠，主要發展生產系統及流程的智慧化，其具有生產設備、物料、成品、人員及各個工廠之間高度互聯、製造過程即時數位化，以及可自我學習與改善等三個特徵。在工業 4.0 計畫中將工業機器人完全融合於網路實體整合系統之中，而成為其生產製造的一個重要環節。
	德國服務機器人計畫(Deutsche Servicerobotik Initiative, DESIRE)	主要目標為提供硬體與軟體的關鍵功能及組件，以使服務機器人在實現日常生活的願景中的技術大幅進步。計畫發展活動分為三個行動路線，即創建行動操縱的參考架構；透過整合到一個共同的技術平台，促進技術的融合；最後則進行新產品的競爭前研究，使技術轉移到服務機器人領域的創始企業。
英國	RAS2020 Robotics and Autonomous Systems	加強英國的 RAS 生態系統，開發技能，讓創意和創新成為可能在市場上領先於國際競爭對手。技術創新必須在現實環境中得到體現因為 RAS 工具預期在這些地方可靠而高效率地工作。解決這個問題也將涉及塑造關鍵監管和標準方面的問題，所以在公共投資的時候，成功會吸引私人和外來投資不再需要。
法國	法國機器人發展計畫(France Robots Initiatives)	其目標為到 2020 年時法國成為世界機器人五大領先國家之一，特別是在個人和專業服務用機器人方面，並促使法國成為機器人與智慧機器的全球供應者，並增加在未來快速成長中市場的市占率。
日本	機器人白皮書(2014 年 7 月 17 日)	充分運用機器人技術來解決因少子化，人口持續減少等社會問題；預測在醫療、護理等服務業中機器人將會進一步普及應用，2020 年市場規模預估為現在的三倍以上，達到約 2.8 萬億日元。
	在 2015 年 01 月 23 日 機器人革命實踐會議(Robot Revolution Initiative, RRI)中提出：機器人新戰略(ロボット新戰略)	將機器人與 IT 技術、大資料、網路、人工智慧等深度融合，其三大目標為：在日本積極建立世界機器人技術創新基地、創造世界一流的機器人應用社會、繼續引領物聯網時代的機器人發展。預計到 2020 年，日本機器人產業自身產值將超過 2.67 萬億日元，是 2012 年產值的 4 倍以上。
韓國	資訊 839 策略(The IT 839 Strategy, 2004 年中長期計畫)	在策略中的九項行動通訊成長引擎中列有智慧服務機器人，無處不在的機器人伴侶(Ubiquitous Robotic Companion, URC)將在 2007 年底之前實現商業化。韓國將在 2005 年之前完成一個試點項目，於 2006 年初啟動初始服務，並在 2007 年底全面引入

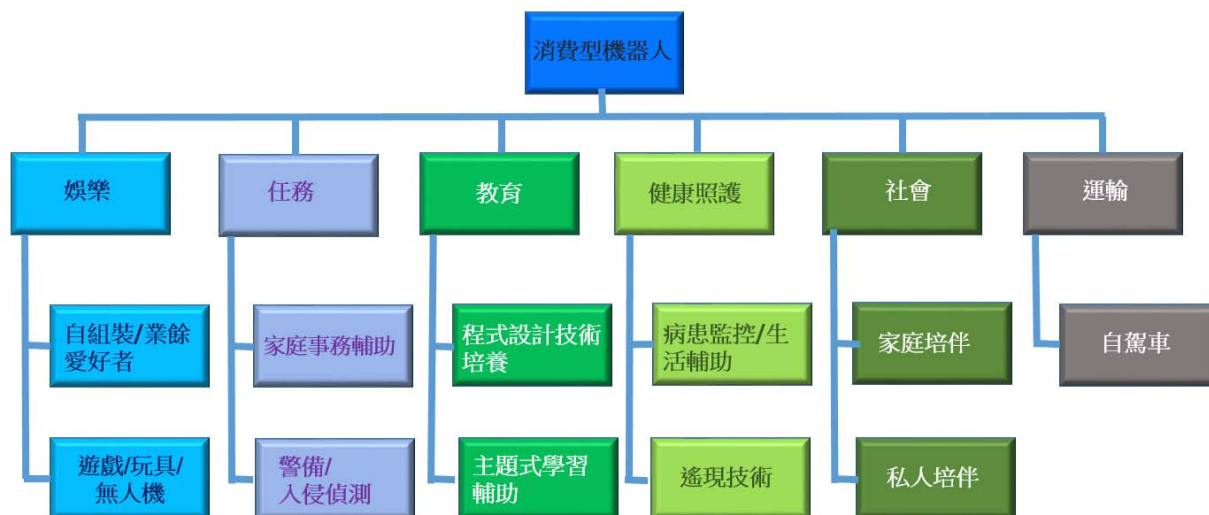
國家	重要方案	目標
		URC。
	智慧機器人開發與普及促進法(2009年4月)	將大部分重點放在建立培育產品開發和推廣的產業架構上，第二個五年計畫則側重於通過將技術與其他產業如製造業和服務業的融合實現擴張。並通過四個策略推動機器人產業發展：(i)開展機器人研究與開發，提高綜合智慧水平；(ii)擴大各行業對機器人的應用需求；(iii)構建開放的機器人產業生態系統；(iv)政府和民間聯合投資 26 億美元加快建設機器人融合平台。
	機器人未來戰略2022(2012年10月17)	計劃投資 3,500 億韓元，將目前二萬億韓元規模的機器人產業擴展 10 倍，計劃到 2022 年實現 25 萬億韓元的規模。主要通過推動機器人與各個領域的融合應用，將機器人打造成支柱性產業。
中國	機器人產業發展規劃(2016-2020 年)	未來五年，機器人產業的技術水平要顯著提升。工業機器人速度、載荷、精度、自重比等主要技術指標達到國外同類產品水平，平均無故障時間(MTBF)達到八萬小時；醫療健康、家庭服務、防暴、救災救援、科學研究等領域的服務機器人技術水平接近國際水平。
	「中國製造 2025」重點領域技術路線圖(2015 年 10 月)	發展工業機器人、服務機器人和新一代機器人。工業機器人包括：實現多關節工業機器人、並聯機器人、移動機器人等方面的實現規模化整合應用。服務機器人包括：重點開發養老助殘、家政服務、社會公共服務、教育娛樂等消費服務領域機器人。新一代機器人包括：積極研發能夠滿足智慧製造需求，特別是完成動態、複雜作業使命，可以與人類協同作業的新一代機器人。
	「中國製造2025」(2015年5月)	指出圍繞汽車、機械、電子、危險品製造、國防軍工、化工、輕工等工業機器人、特種機器人，以及醫療健康、家庭服務、教育娛樂等服務機器人應用需求，積極研發新產品，促進機器人標準化、模組化發展，擴大市場應用。

四、創新應用案例

美國、日本與歐盟等國家投入機器人技術開發已有數十年，過往主要集中在工業用機器人方面，在生產現場取代人員從事危險、精密或單調的重覆性作業。近年來，因全球少子化、高齡化等社會環境的急遽變化，在機器人方面相關技術開發更加成熟，服務型機器人乃趁勢崛起，各國均樂觀地展望其未來產值將會超越工業機器人。日本產學研各界於 2005 年愛知縣世界博覽會的機器人展覽中，推出多種應用情況受到各方矚目。美國則在國防與太空相關領域的機

器人研究領先全球，其所產出的技術也逐漸進入商品化階段，部分產品還成功進入日常生活應用的消費市場。韓國自 2003 年起亦急起直追，政府規劃了智慧型機器人發展策略並全力推動，資訊與通訊部(MIC)宣稱將於 2006 年底推出多款 100 萬韓圓之國民機器人。歐盟國家在機器人的系統整合方面居於領先地位，對服務型機器人的研究發展亦不遺餘力。

在這些國家的最新機器人產業發展策略中，都將服務機器人的開發列為重要的發展項目，其中尤其著重在健康照護機器人方面技術的研發。智慧型服務機器人在技術推動與需求拉動兩股力量的作用下，正朝向產業化的路途邁進。由各國的發展可看出不同產業的切入點不同，技術層次要求也互異。服務機器人的應用分類如圖 8 所示，2014-2019 年各類服務機器人銷售額市場預測如圖 9 所示，服務機器人在個人與家庭應用的成長趨勢如圖 10 所示。

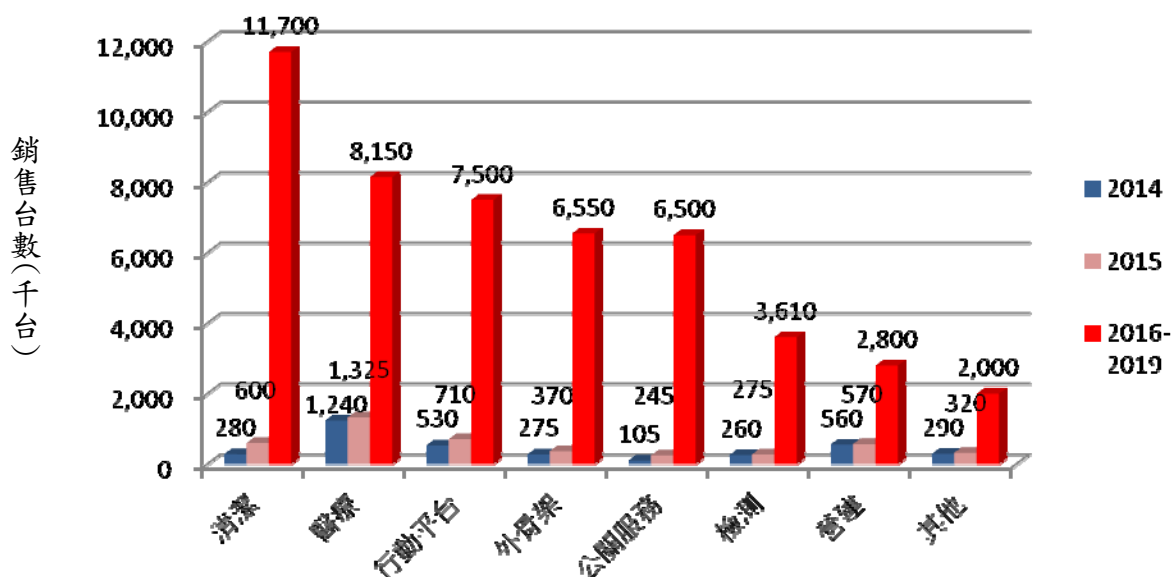


資料來源：參考Juniper Research, 2017資料，本研究重新繪製

圖8：服務機器人應用分類

服務機器人的關鍵功能是理解情緒的人工智慧，社交機器人的關鍵功能便是判斷使用者情緒狀態的能力，這項能力是由電腦視覺(Computer Vision)與聽覺分析(Aural Analysis)驅動，人工智慧技術可以分析臉部表情與聲調，進而分類情緒狀態。相較於投資輔助功能，投資辨識情緒的人工智慧功能比較不會面對Google與Microsoft兩個科技巨頭的正面競爭，因為他們的系統奠基於使用鍵盤或自然語言輸入的互動方式，就現階段而言，他們的服務仍不是針對回應使用者的情緒狀態而設計。

由 2016 年服務機器人領域的投資可看出三項發展趨勢：(1)運輸部門主導消費型機器人領域，在 2016 年，光是自駕車技術就獲得 3.23 億美元的投資，與此同時，運輸相關企業的創業投資(Venture Capital, VC)基金也顯著地成長。(2)社交機器人(Social Robotics)部門於 2016 年獲得 1.46 億美元的資金，成為機器人投資的重要部門。(3)娛樂機器人部門(特別是消費性無人機的部分)也取得相當高的資金，在 2016 年時獲得 1.065 億美元。然而，就總資金而言，超過半數的資金源自 2016 年之前，可見該部門的創新逐漸趨緩。(Juniper Research, 2017)



資料來源：IFR World Robotics 2016，本研究重新繪製

圖 9：2014-2019 年各類服務機器人銷售額市場預測

資料來源：IFR World Robotics 2016，本研究重新繪製

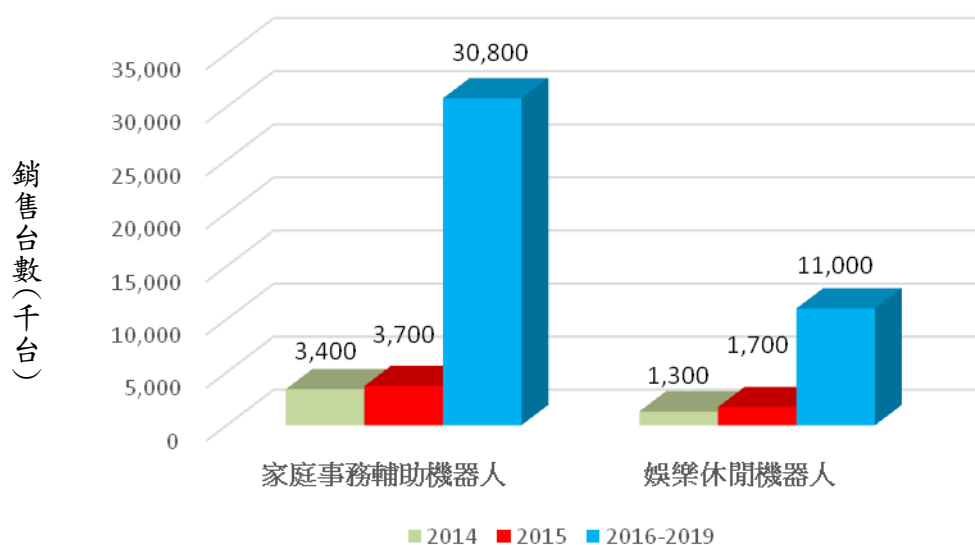


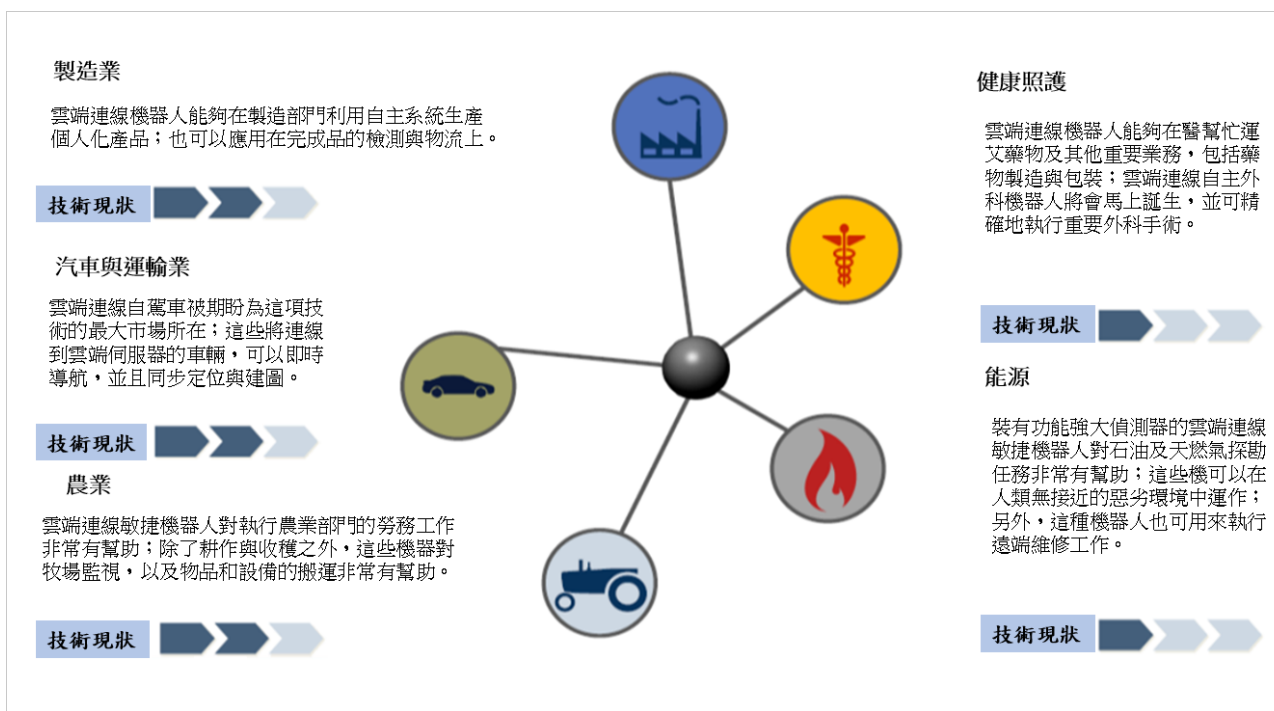
圖 10：服務機器人在個人與家庭應用成長趨勢

2011 年 2 月 13 日，歐洲科學家們啟動機器人地球(RoboEarth)計畫，試圖讓機器人共享訊息，並儲存他們的發現。這意味著機器人很快將擁有自己的互聯網與維基百科，此舉已為雲端機器人的發展揭開序幕。屆時，當機器人執行任務時，它們能下載數據，並尋求其他機器人的幫助，更快地在新環境下工作。

雲端機器人是一個新興技術領域，利用機器人技術和雲端運算技術的融合，有助於提供融合的基礎設施和共享服務。雲端運算允許機器人通過遠程雲平台利用強大的計算存儲，處理和通信能力。該技術雖然還處於初級階段，但預計將在機器人可以用於進行危險和具有挑戰性的工作的行業中成為一個遊戲規則。

雲端機器人將會帶來的利益有：(1)雲端機器人可以通過對昂貴的移動硬體的需求最小化，來幫助降低機器人的開發成本；(2)技術可以通過將主要的運算程序移轉到雲端，來大幅增加機器人的自主性，這將對提高機器人的能源效率有直接的影響，從而使其可供使用的時間更長；(3)將數據與智慧源遷移到雲端後，將會大幅增加對大型資料庫的到訪數量，從而擴大機器人執行不同類型複雜作業的適用性；(4)可以大幅減少每台機器更新軟體框架的複雜性；(5)協同雲端平台可以加速機器人之間的智慧共享機制。雲端機器人在關鍵部門的應用如圖 11 示。

雲端機器人廣泛應用的主要挑戰為延滯與擴展性，其主要障礙有以下三點，(1)延滯方面：延遲引進一直是雲端機器人發展的主要挑戰，從而限制了其應用範圍與可靠度，連接雲端的機器人需要有非常高速的可靠網絡，才能夠真正做到即時響應與高效能運作；(2)擴展性方面：要獲得最佳擴展性是其最明顯的挑戰，因此阻礙了雲端機器人在多機器人生態系統中的大規模整合，雲端機器人平台需要有高度的擴展性功能，才能滿足大量機器人同時請求指令；(3)隱私與安全性方面：與雲端連接的機器人，將會帶來更多對與雲端數據安全性及隱私保護相關的訊息或濫用機器人(Frost & Sullivan, 2017b)。雲端機器人應用路徑圖如圖 12 所示，目前積極投資雲端機器人控制創新應用相關技術研發的廠商如表 4 所示。



資料來源：Frost & Sullivan (2017)

圖 11 雲端機器人在關鍵部門的應用



資料來源：Frost & Sullivan (2017)

圖 12 雲端機器人應用路徑圖

表 4：投注於雲端機器人控制創新應用研發的廠商

公司/大學	地區	技術	產品	競爭屬性	應用
iRobot Corporation	美國	家庭、商業、醫療與國防用途的雲端機器人	<ul style="list-style-type: none"> •Roomba •Sccoba(Braava) •LoojCreate •AVA500 •InTouchVita •110FirstLook •310SUGV •10PacketBot 	•使用雲端運算服務的控制/通信機器人	<ul style="list-style-type: none"> •家庭/家庭 •企業 •醫療 •軍事與防務
谷歌(Google)	美國	存取雲端共享機器人知識資料庫	<ul style="list-style-type: none"> •人型機器人 •動物機器人 •機器人手臂 	<ul style="list-style-type: none"> •透過雲端存取所有機器人的資料 •監控電子元件 •狀態檢查/性能檢查 •物件的識別 	<ul style="list-style-type: none"> •軍事與國防 •消費性電子產品 •工廠自動化
三星	韓國	利用雲端映射建築物資訊	•高精度機器人	<ul style="list-style-type: none"> •控制移動機器人 •在3D點雲端中分離物件 	<ul style="list-style-type: none"> •工廠自動化 •人力取代
富士康	中國	雲端伺服器控制多台機器人	•工業機器人	•使用雲端控制機器人	•工廠自動化機器人
NEC株式會社	日本	訊息處理設備	•雲端伺服器	•適應設備的操行條件	<ul style="list-style-type: none"> •人型機器人 •娛樂機器人 •社會機器人

資料來源：Frost & Sullivan (2017)。

五、簡析與建議

未來機器人產業發展的重點將會朝著：(1)工業機器人與工業 4.0 融合，以及(2)服務機器人與高速網際網路融合，兩個面向快速前進。工業 4.0 利用數位化與網路化的技術，將強大的機器群連接起來，實現機器之間的訊息共享、互相控制、自行優化及智慧生產的場景。工業 4.0 強調智慧工廠與智慧生產，是實質實現資訊化與自動化技術的高度整合，其要求企業資訊化必須從廠房延伸到全體工廠，甚至達到整條供應鏈，此不僅是一次生產技術的革命，更將會引發全體企業戰略的轉型。在工業 4.0 中最重要的智慧組件就是網路化機器人。

由工業機器人取代人工進行搬運、上下料、加工、裝配、鍛造、焊接、打磨、拋光、噴漆等作業，行動機器人則代替人工執行自動化工廠中的物流倉儲作業。機器人將會以比人工更低的成本、更高的一致性與可靠性來完成工作任務，透過與企業的製造執行系統(Manufacturing Execution System, MES)整合，實現整個數位化工廠的少人化或無人化的生產作業。

服務機器人與高速網際網路融合，則會徹底地改變人類社會的生活方式。未來，基於高速網際網路的健康照護服務平台與老人照護機器人的結合，將能夠解決家庭環境中的扶老問題；基於高速網際網路的教育服務平台，將可實現校園、家庭遠距教育系統；基於高速網際網路的智慧交通系統，將可實現智慧車輛的輔助駕駛，甚至無人駕駛等情境。服務機器人，作為一個智慧終端與操作載體，其本身具備有感知、決策、移動與操作的功能，能夠輕易地完成有益於我們生活中的各種服務工作；而高速網際網路的支撐平台則藉助物聯網、雲端運算、大數據等技術，為服務機器人提供一個龐大的資料蒐集、處理及智慧決策的平台，將可據此拓展服務機器人的感知、運算與操作的能力。(曲道奎，2015)

英國央行首席經濟學家霍爾丹(Andy Haldane)警告說，未來 10 到 20 年，美國有 8,000 萬個、英國有 1,500 萬個工作職位可能被機器人取代。這分別約占兩國五成的勞力。也有人反駁稱，機器人只是在技術含量低、需要重複性作業的領域取代人類，在認知能力與創造力高度相關的職業裡將最不可能被取代。在美國，有很多人已經開始討論機器人的發展是否會改變人類未來的命運，甚至會取代我們。但談取代也許還太早，從現在的研究來看，機器人更像是我們的僕人，而且是為我們服務的僕人。美國卡內基美隆大學機器人學院教授 Chris Atkeson 在接受採訪時表示，迪士尼正在與他們合作，研究將大白機器人現實化的可能性。隨著技術的進步，類似大白這樣可以兼具醫療、陪伴、照護的機器人在不久的未來，是值得我們期待的發展。(謝汶均編譯，2015)

在機器人發展大爆發的同時，有關機器人倫理關係方面的討論也越來越多。在 2017 年 1 月 12 日，歐盟法規委員會(Legal Affairs Committee)通過一份報告草案，針對機器人與人工智慧的製造與使用的權利與責任，提出八項規範，包括賦予機器人電子人(Electronic Person)的法律定位。歐洲議會(European Parliament, EP)預計於 2017 年 1 月 2 日討論並表決這項決議。此項提案是 2016 年由盧森堡議員德爾沃(Mady Delvaux-Stehres)提出。提案中要求歐盟應該為機器人制訂法律框架，這將會是第一個涉及管制機器人的立法案例。提案中討論的一個問題是，是否應該給予機器人電子人的法律地位，這個地位將類似於公司擁有的法人地位，可以在法院中扮演原告與被告的角色，德爾沃解釋說，我們必須為目前或未來 10-15 年間進入市場的機器人訂立一個法律架構。

該提案也指出，設計人員應確保機器人都有安裝死亡開關(Kill Switch)，確保機器人可以隨時被關閉。報告建議，應對智慧自動機器人訂出法律上的定義，設計者還應該為機器人註冊，以方便他們在調查事故時能夠確實找出涉事的機

器人。該報告也呼籲在歐洲建立一個機器人與人工智慧的專責研究機構，負責提供技術、倫理與監管方面的知識。報告中同時揭示，由機器人與人工智慧的表現顯示，它們即將帶來一場新的工業革命，並且可能影響到所有的社會階層。一方面，機器人可能創造出無限的繁榮；但另一方面，人類未來的就業情況可能也會受到嚴重影響。報告中提到，在未來的幾十年內，人工智慧將會超越人類的智力；屆時，人類也就要面臨生死存亡的危機。(Committee on Legal Affairs, European Parliament, 2016)

針對此議題，英國廣播公司(BBC)認為，此項立法將有利於未來人類應對機器人革命所帶來的社會震盪；英國律師布拉扎爾(Lorna Brazell)則認為這個議題雖然具有前瞻性，但是也提出質疑，他表示，藍鯨與大猩猩沒有人格地位，但是它們所具有的人性特質並不比機器人少，所以他不明白為什麼我們應該跳過它們，而僅給予機器人法律地位。

服務機器人在市場上，以掃地機器人、擦玻璃機器人、送餐機器人等較為普遍。在 2015 年世界機器人大會上可以看出，民眾對服務型機器人感到濃厚的興趣。首先，服務型機器人在已開發國家因人口老化因素，而有著巨大市場潛力。其次已有不少國家針對服務機器人提出各種激勵政策支持。未來，服務機器人的成長空間將會比工業機器人更為龐大。據國際機器人聯盟理事長巴隆切里的預測，未來三年將會有越來越多的服務機器人上市，將會超過 1,500 萬台，銷售額將超過 200 億美元，因此將會強迫我們在生產及生活領域做出更大的變革。

由於雲端機器人在全球迅速地發展，近期內將可看到高度智慧的敏捷機器人在跨行業中採用。這些機器人憑藉基於雲端的人工智慧功能，將具有高度的響應(or 回應)能力，可即時適應不斷變化的環境氛圍。由於大部分大型運算資源將會遷移到雲端，機器人將會變得更經濟實惠，從而有利於推動大規模地採用。行動通訊技術的發展將為雲端機器人發揮關鍵作用，隨著第五代無線通訊系統5G的出現，與雲端連接機器人的響應延遲相關問題將可獲得圓滿解決，從而使這些機器人對需要即時響應的關鍵應用程序更為可靠。5G的高頻寬傳輸容量將會對建立多機器人生態系統(Multi-Robot Ecosystem)產生積極促進作用。

基於雲端運算的人工智慧機器人的大腦將具有最重要的意義，這些平台將是處理雲端機器人發送感官輸入數據的主要貢獻者，並提供高精確度的結果，有助於這些機器的決策過程。這項技術領域的未來發展，以及與其他領域技術的融合，將會在未來開闢出無數的應用機會。(Frost & Sullivan, 2017)

為因應此一全球機器人蓬勃發展的局勢，政府應該結合我國產學研各界現有能量，積極投入機器人的研發，以掌握未來的龐大商機。茲依據前述世界機器人發展情勢配合我國相關產業現況，試擬就以下建議：

1. 善用我國相關產業既有優勢，發揮團隊群聚效應：相較於美、歐、日等強國積極投入最新機器人技術的研發，尚未掌握到核心關鍵技術的我國業者，應可結合國內已臻成熟且深具競爭力的半導體製造、精密機械、機電控制及資通訊等相關產業，共同投入機器人關鍵零組件的研發，發揮產業群聚的綜效；並配合台灣產業結構，優先開發中小企業生產所需，主要從事於組裝加工及重覆取放等工作，同時具備低成本、高效能特點的工業機器人，並以國內作為試煉場域，逐步累積研發能量，突破關鍵零組件與材料製造的技術門檻，進而爭取與國際大廠技術合作的機會，厚植系統整合應用的能力，持續強化我國機器人產業的競爭力。
2. 政府應積極協助業者研發，競逐全球機器人的市場：國發會推估 2014 年台灣智慧自動化產業的整體產值達到新臺幣 1.1 兆元，2020 年整體產值預估更將推升到 2.6 兆元。面對蓬勃發展的全球機器人的商機與智慧自動化的生產浪潮，政府應該積極協助廠商強化關鍵技術開發的能量，全面帶動我國機器人產業的升級，並鎖定電子製造、食品加工、紡織成衣及金屬加工等利基型市場為機器人產業發展的主軸，打造台灣成為全球智慧型工業機器人的重要製造供應者，並積極參與相關的國際標準制訂，希望能夠在這場競爭激烈的全球機器人賽局中，扮演關鍵角色。
3. 蓄積機器人領域的前瞻優勢：政府應鼓勵相關產學研機構，積極投入目前機器人領域先進國家所專注的新藍海，積極開拓雲端機器人及服務機器人方面的開發研究，以迎接工業 4.0 時代網路實體整合系統(CPS)普及化的來臨；並且為我國在少子化與人口老化趨勢嚴峻，所將面臨老人照顧所需勞力嚴重不足的情況下，在長照服務中的一些照護與陪伴工作，可以移轉由生活輔助機器人及娛樂機器人來代勞。

參考文獻：

1. Boston Consulting Group(2015), *The Robotics Revolution: The Next Great Leap in Manufacturing*, Sep. 23, 2015,
https://circabc.europa.eu/sd/a/b3067f4e-ea5e-4864-9693-0645e5cbc053/BCG_The_Robotics_Revolution_Sep_2015_tcm80-197133.pdf

2. Committee on Legal Affairs, European Parliament(2016), *DRAFT REPORT: with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics*, May, 31, 2016,
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML%2BCOMPACT%2BTITLE%2BPE-582.443%2B01%2BDOC%2BPDF%2BV0//EN>
3. Frost & Sullivan(2017), *Developments in Cloud Robotics*, D835-TV, Frost & Sullivan, Apr. 7, 2017,
4. Frost & Sullivan(2017), *Industrial Robotics-Decoding the Robotics Impact on Manufacturing*, Feb. 27, 2017,
5. Frost & Sullivan(2017), *Technology Snapshot on Cloud Robotics: Future Tech Vision Opportunity Engine*, Apr. 7, 2017,
6. Frost & Sullivan(2017), *Developments in Cloud Robotics*, Apr. 7, 2017,
7. IFR Press Releases(2015), *Executive Summary: 1. World Robotics 2015 Industrial Robots, 2. World Robotics 2015 Service Robots*, Sep. 30, 2015,
http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiN0frH_NnTAhUFj5QKHeFnCtIQFggwMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dia.uniroma1.it%2F~deluca%2Frob1_en%2F2015_WorldRobotics_ExecSummary.pdf&usq=AFQjCNGb4T1RtcaeO97g8AJmY96kSNri6g
8. IFR Press Releases(2016), *Welcome to IFR Press Conference*, Sep.29 2016,
https://ifr.org/img/uploads/Presentation_market_overviewWorld_Robotics_29_9_2016.pdf
9. IFR Press Releases(2016), *Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots*, Apr. 18, 2016,
https://ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf
10. IFR Press Releases(2016), *31million robots helping in households worldwide by 2019*, Seoul, Dec. 20, 2016,
<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/31-million-robots-helping-in-households-worldwide-by-2019>
11. Jing Bing Zhang(2017), IDC Manufacturing Insights Worldwide Commercial Robotics Program, *IDC FutureScape: Worldwide Robotics*, 2017, Dec. 7 2016,
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prAP42000116>

12. Juniper Research(2017), *Consumer Robotics~From Housekeeper to Friend*, Feb. 2017,
<https://www.juniperresearch.com/document-library/white-papers/consumer-robotics-from-housekeeper-to-friend>
13. Markus Waibel, Michael Beetz, Javier Civera, Raffaello D'Andrea, Jos Elfring, Dorian Galvez-Lopez, Kai Haussermann, Rob Janssen, J.M.M. Montiel, Alexander Perzylo, Bjorn Schießle, Moritz Tenorth, Oliver Zweigle and Renevande Molengraft(2011), *A World Wide Web for Robots: RobotEarth*, IEEE Robotics & Automation Magazine, June 2011, PP.69-82,
<http://mwaibel.info/papers/Waibel2011RoboEarth.pdf>
14. 工业和信息化部赛迪研究院(2016)，*中国机器人产业发展白皮书（2016版）*，2016年3月，
http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiyyL6Bi9rTAhXMK8AKHctNB1gQFgghMAA&url=http%3A%2F%2Fjdxy.cqwu.net%2FSITE_RES%2Fjdxy_cqwu_net%2Fupload%2Ffile%2F20160720%2F1468974306441066690.pdf&usg=AFQjCNFdTdnAOYEbUcil0aPfe4JDuoFWSQ
15. 王德生(2015)，*世界工業機器人產業發展概況*，上海图书馆，上海科學技術情報研究所，Oct. 30 2015，
<http://www.libnet.sh.cn:82/gate/big5/www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=9318>
16. 曲道奎(2015)，*中國機器人產業發展現狀與展望*，中國科學院院刊，第30卷，第3期，2015年，PP.342-346，
http://www.bulletin.cas.cn/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20150307
17. 國家發展委員會(2014)，*機器人時代的全球賽局-我國產業的發展契機*，Sep. 09, 2014，
http://www.ndc.gov.tw/News_Content.aspx?n=114AAE178CD95D4C&sms=DF717169EA26F1A3&s=1ED4CE88195D7B83
18. 謝汶均編譯(2015)，*經濟日報酷全球，機器人搶飯碗 你在危險名單上嗎？*Dec. 25 2015，
<http://www.businesstoday.com.tw/article-content-105762-135239-%E6%A9%9F%E5%99%A8%E4%BA%BA%E6%90%B6%E9%A3%AF%E7%A2%97%20%E4%BD%A0%E5%9C%A8%E5%8D%B1%E9%9A%AA%E5%90%8D%E5%96%AE%E4%B8%8A%E5%97%8E%EF%BC%9F?page=1>