

智慧自動化產業期刊

靈巧手

AiR

Journal of Automation Intelligence and Robotics

2025
12
no. **55**

AI
+
IR



市場焦點

- 8 經濟與景氣指標
資料來源：台灣經濟研究院、國家發展委員會、
中華經濟研究院
資料整理：社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
- 22 綜觀靈巧手台灣學研成果
工研院機械與機電系統研究所所長/
國立清華大學清華講座教授 張禎元
- 30 機器人靈巧手的發展與技術趨勢
工研院產科國際所 黃仲宏經理
- 38 從國際標竿廠商研究探討台灣發展靈巧手之機會
資策會產業情報研究所(MIC)
盧冠芸資深產業分析師兼組長
- 44 靈巧手的綜合性回顧：從涵義、評估、設計到功能實現
台大機械系 莊嘉揚特聘教授兼系主任、
林佑穎博士生

產業脈動

- 52 Human-Like Dexterity: Bridging Innovation, Application, and Global Collaboration
Harpal J.S. Mandaher, CD
Co-founder and CEO, Sarcomere Dynamics Inc. (Canada)
- 62 Dexterous Robotic Hands: The Next Leap in AI-Driven Automation
SCHUNK SE & Co. KG
- 72 Anthropomorphic Five-Finger Robotic Hand (Delto Gripper-5F) with Human-Level Dexterity
Jaesuk Choi and Wooseok Ryu,
Tesollo Inc., Incheon, Republic of Korea
- 78 Dexterous Humanoid Hands: Designing the Robot Inside the Robot
Mario Maurer, maxon international ag
- 84 從傳動技術到靈巧手：機器人關節系統的技术演進與產業契機
全球傳動總經理室 孫鍾原經理

產學研究與技術趨勢

- 88 視覺化程式設計於公共設施管線模型地理資訊交換自動化研究
中原大學土木工程學系 連立川副教授、
陳威達研究助理、潘溱樾研究助理
- 98 應用專案集管理分析亞馬遜通用人工智慧工業用機器人兵團的戰略發展佈局
逢甲大學專案管理碩士在職學位學程 楊朝仲主任

活動焦點

- 104 2025第五屆機器人智動系統優質獎
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
- 112 智動化產業資安藍圖
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
- 118 先進智造AI應用特訓營
技術≠永續競爭力
管理者如何打造自動化人才的舞台，自動化競爭力，決勝於人才養成
所羅門股份有限公司 視覺事業處資深經理 吳尚宇

AI時代的Mentorship：引導激發工程新星的潛能
和碩聯合科技股份有限公司 AI競爭力中心-軟體研發一處-軟體設計四部-軟體一課 機器學習工程師 張舜程
和碩聯合科技股份有限公司 新產品發展事業處-人工智慧發展處-產品研發二部-一課 軟體研發工程師 林智敏

先進智造AI應用特訓營實習心得
國立臺灣大學電機工程學系 三年級 林禹融

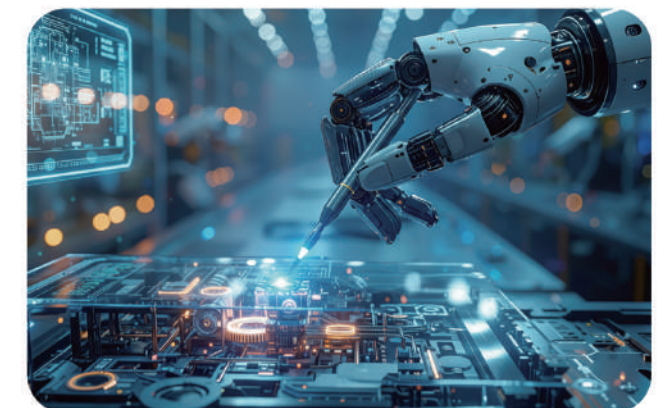
先進智造AI應用特訓營實習心得
國立臺灣科技大學電機工程系 三年級 林子閔
- 128 台灣機器人產學聯盟為AI機器人教育注入新動能
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

好書推薦

- 130 市場戰略：
企業如何制定最優目標與路線？
科特勒諮詢團隊經典解題
菲利普·科特勒 (Philip Kotler)
米爾頓·科特勒 (Milton Kotler)
曹虎 (Tiger Cao)
王賽 (Sam Wang)
喬林 (Collin Qiao)

產業行事曆

- 132 2026年國際展覽資訊一覽表
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 整理
- 133 TAIROA 智動協會115年度課程資訊
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 整理



伸縮式三維系統

triflex R TRX

igus[®]
motion plastics



用於工業型機械手臂
節省空間的安裝
回縮長度可達40%

 German Technology



自由、 快速、 靈活！

模組化設計...
輕量化
高效運行



LINE官方帳號 @igustw

快速下單 簡單方便  搜尋: 易格斯線上商店

台灣易格斯有限公司 408215 台中市南屯區工業區24路35號5樓

電話:04-2358-1000 www.igus.com.tw

出刊者 社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
地址 40852台中市南屯區精科路26號4樓
電話 +886-4-2358-1866
傳真 +886-4-2358-1566



發刊時程 每季一期
本期出版日期 民國114年12月號
發行期數 期刊，全彩印刷
發行數量 1,000-3,000本/期，並開放數位內容下載
發行區域 國內及國外重要機器人與自動化展覽
發行對象 社團法人台灣智慧自動化與機器人協會全體會員，工具機暨零組件業、物流傳動業、汽機車與自行車業、食品製造廠、紡織、電機電子業、五金業等設備或零組件製造商、研發單位及學術機構等，發行對象遍及產業供需體系，國內外展覽會。

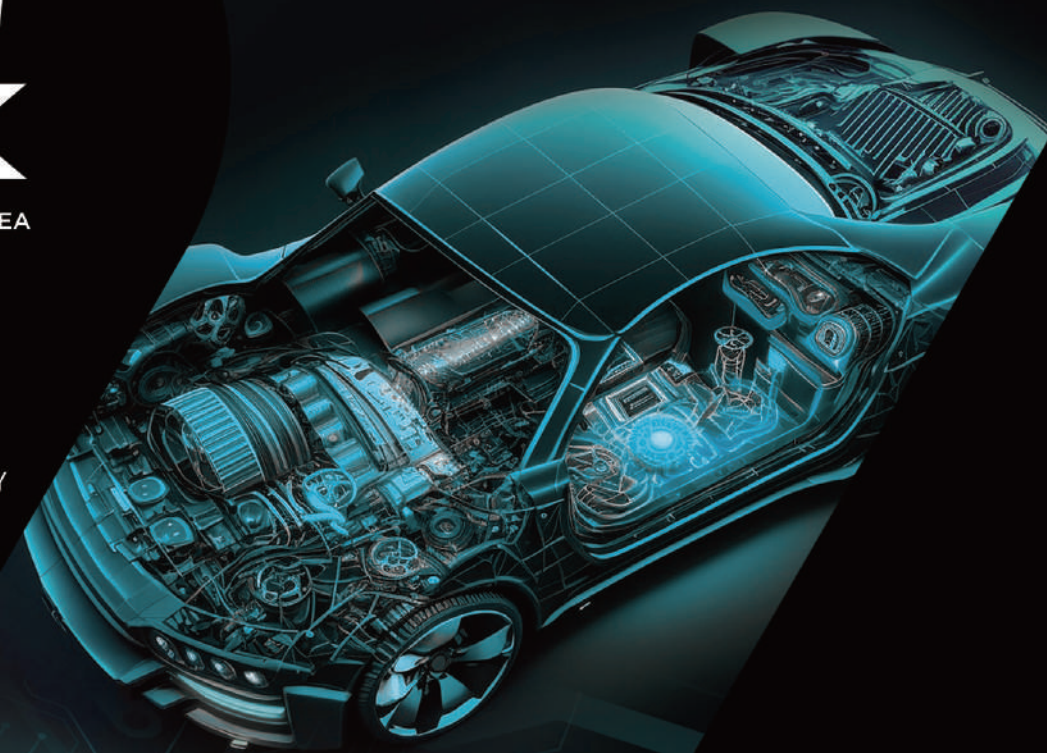
編輯單位 社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association
期刊編輯小組 絲國一理事長、陳文貞秘書長、張小潔、陳心盈、陳怡樺、辜莉婷
地址 40852台中市南屯區精科路26號4樓
4F., No.26, Jingke Rd., Nantun Dist., Taichung City 408, Taiwan (R.O.C.)
10059台北市新生南路一段50號6樓603室
Rm. 603, 6F., No.50, Sec. 1, Xincheng S. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.)
聯絡專線 (04)2358-1866、(02)2393-1413
傳真 (04)2358-1566、(02)2393-1405
電子郵件 service@tairoa.org.tw
網址 www.tairoa.org.tw
美術編輯 NEUF DESIGN
投稿說明 (一) 歡迎各界提供智慧製造 / 機器人相關產業趨勢及技術文章，來稿採用匿名審查制度，由本出版單位編輯部與相關學者專家審核之。
(二) 接受刊登之文章，本出版單位得視編輯之需要，決定刊登的版面配置與形式。
版權所有 非經同意請勿轉載。本刊內文文責由作者自負，文章著作權由本刊享有，欲利用本刊內容者，須徵求社團法人台灣智慧自動化與機器人協會同意或書面授權。

NEPCON
MICROELECTRONICS KOREA

EMK

ELECTRONICS MANUFACTURING KOREA

SMT/PCB & NEPCON KOREA
S-FACTORY & ROBOTICS TECHNOLOGY
HIGHLY-FUNCTIONAL FILM TECHNOLOGY
PHOTONICS SEOUL
PE & ELECTRONIC MATERIALS TECHNOLOGY



AUTOMOTIVE ELECTRONICS TECHNOLOGY
EV, HEV & FCV TECHNOLOGY
AUTOMOTIVE LIGHTWEIGHT TECHNOLOGY
AUTONOMOUS DRIVING TECHNOLOGY
AUTOMOTIVE SOFTWARE

Hall A, coex
8(Wed) - 10(Fri), April, 2026

AUTOMOTIVE
WORLD KOREA

Organized by RX K FAIRS K FAIRS SMIBA

Contact T. 82-2-555-7153 E. haileychoi@kfairs.com, khkim@kfairs.com, jymyung@kfairs.com



經濟與景氣指標

景氣概況本次發布日期為11月25日；
臺灣採購經理人指數本次發布日期為
11月3日

資料來源：台灣經濟研究院、國家發展委員會、
中華經濟研究院
資料整理：社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

川習會為美中關係帶來短暫緩和，出口管制與關稅措施暫緩一年，不僅為雙方談判與供應鏈調整爭取時間，亦有助於在短期內舒緩全球經濟動能的調整壓力。

國內方面，新興科技應用需求強勁，加上消費性電子新品帶動，10月電子及資通產品出口表現亮眼。然而，化學工業、鋼鐵業與金屬製品等傳統產業景氣仍偏弱，使製造業廠商對當月景氣的樂觀看法較上月明顯下滑；服務業方面，隨著百貨周年慶開跑，加上連假帶動出遊人潮，促使商場客流與聚餐旅遊需求回升，使得零售及餐旅業者較看好當月景氣表現。

營造業方面，10月公共工程進度順利，但民間住宅工程量縮使景氣大致持平。展望後市，第四季將進入公共工程趕工期，2025年底多項重大工程陸續完工，且2026年公共建設預算明顯增加，高科技廠房持續推進建廠投資，預期將挹注動能，景氣可望趨於好轉。不動產方面，六都10月移轉件數月增5.7%，受新青安鬆綁、換屋族展延售屋期限及股市走強帶動，交易量小幅回升，但總量仍偏低。未來半年受限於央行信用管制與高房價盤整，賣方心態未鬆動前，房市低量格局恐難改善。

根據台灣經濟研究院調查結果，經過模型試算，2025年10月製造業、服務業與營建業營業氣候測驗點同步走高。其中，製造業雖續呈走揚態勢，然變動幅度有限，故研判製造業對景氣看法與上月相比維持不變，而服務業則在短暫下滑一個月後再度回升。

觀察近期國際經濟情勢，在美國方面，10月製造業採購經理人指數(PMI)再度下滑，已連續八個月落在衰退區間，主因生產指數疲弱，價格分項已連續四個月下降，顯示原物料成本壓力趨緩，關稅政策對供應鏈成本的推升效應也可能減弱，有助降低物價壓力並緩和通膨風險；歐元區10月綜合經濟觀察指標(ESI)較上月走升，工業信心與消費者信心同步改善，服務業信心大致持平；日本10月製造業PMI較上月下滑，連續四個月落入收縮區間，主要反映汽車與半導體需求疲弱，致新訂單大幅下滑，加上投入成本漲幅亦創四個月新高；在中國方面，10月製造業PMI較9月數值減少0.8個百分點，除供應商配送時間指數仍處於擴張區外，其餘指標落在榮枯線之下，顯示整體製造業活動持續惡化；東南亞10月製造業PMI升至52.7點，較9月上升1.1點，新訂單增速為兩年半來

首度回升，產出持續擴張並帶動就業轉正，企業信心也創下六個月新高，整體製造業表現穩居榮枯線之上。

美國方面：美國2025年第三季國內生產毛額(GDP)原本應該在10月底公布，但因聯邦政府關門而延後公布。此外，在2025年全年度的美國GDP方面，EIU與S&P Global於2025年11月發布預測值分別為1.9%與2.0%，EIU較前次預測值上修0.2個百分點，主要受惠於消費支出優於預期，加上AI相關資本支出亦快速擴張，進一步支撐經濟動能，而S&P Global則維持前次預測值不變。

在就業市場方面，美國勞工統計局(BLS)首次取消10月就業報告，這代表聯準會在下一次利率決策前，能參考的最新完整就業數據只到9月。2025年9月美國失業率升至4.4%，較前月微增0.1個百分點，非農新增就業11.9萬人，並且7、8月數據合計被下修3.3萬人。從產業來看，新增就業主要集中在醫療保健、餐飲住宿與社會援助，而運輸倉儲、專業與商業服務以及聯邦政府均出現減員；在物價方面，受汽油與電力等必需品價格上漲影響，9月消費者物價指數(CPI)年增率由8月的2.8%升至3.0%，創下今年1月以來的新高。不過，由於二手車與交通運輸服務的價格漲幅縮小，核心CPI年增率則由3.1%下降至3.0%。

至於美國經濟近期的景氣展望方面，參考美國供應管理研究所(Institute of Supply Management, ISM)公佈美國的2025年10月製造業採購經理人指數(PMI)數值為48.7點，較前月下滑0.4個百分點，已連續八個月落在衰退區間，顯示製造業持續處於收縮狀態。進一步觀察分項指數可見，整體下滑主要受到生

產指數疲軟影響，該指數由前月的51點降至48.23點。另在價格分項方面，已連續四個月下跌，顯示原物料價格上漲壓力逐漸緩解，關稅政策帶來的供應鏈成本推升效應亦可能減弱，這有助於降低物價上升壓力，緩和通膨風險。此外，美國ISM公布的2025年10月非製造業PMI為52.4點，較前月上升2.4點，為今年2月以來最強的擴張幅度。其中，商業活動與新訂單均明顯回升，但就業指數仍持續萎縮，顯示服務業活動有所改善，但整體經濟動能仍不足，擴張力道尚未全面恢復。

歐洲方面：歐盟統計局(Eurostat)發佈2025年第三季歐元區(EA20)經濟成長年增率為1.4%，略低於第一季的1.6%與第二季的1.5%增幅。歐盟主要經濟體；德國、法國、義大利與西班牙第三季GDP成長年增率分別為：0.3%、0.9%、0.4%與2.8%。此外，在2025年全年度的歐元區GDP方面，EIU 與S&P Global於2025年11月發布預測值分別為1.2%與1.4%，EIU維持前次預測值不變，S&P Global則較前次預測值上修0.1個百分點。就業市場方面，歐元區於2025年9月失業率維持在6.3%不變，失業人數較上月增加6.5萬人，達1,100.3萬人。9月青年失業率為14.4%，較8月增加0.1個百分點。物價方面，受能源價格跌勢加劇，以及食品、酒精與菸草價格漲幅放緩，使2025年10月歐元區CPI年增率從2.2%降至2.1%，而10月歐元區核心CPI年增率則持平於2.4%。歐元區9月零售銷售年增率由於汽車燃料由正轉負，加上扣除能源後的非食品類零售成長放緩，使整體年增率從8月修正後的1.6%下降至1.0%。歐元區9月工業生產年增率維持在1.2%，與8月相同。其中，中間財由前月的負成長轉為年增0.5%，反映供應鏈需求略有改善；能源產出

也回升至年增2.1%，支撐部分工業活動；資本財年增1.1%，顯示企業設備投資動能緩步回穩；然而，消費相關產業依舊疲弱，耐久財年減3.0%，非耐久財增速亦從8月的8.1%明顯降至2.2%，與零售銷售走弱相互呼應。在歐洲經濟展望方面，參考歐盟委員會公佈的綜合經濟觀察指標 (Economic Sentiment Indicator, ESI)，歐元區2025年10月的ESI為96.8點，較上月修正後數值增加1.2點。其中，工業信心較上月走升，主要因企業對未來生產更具信心，且認為目前訂單狀況有所改善，成品庫存則維持平穩；服務業信心則大致持平，雖然業者對近期的營運情況和需求略感樂觀，但對未來需求的預期下降，使整體改善幅度有限；消費者信心同步回升，民眾對國內經濟前景與家庭未來財務狀況的期待明顯改善，不過購買耐久財的意願下降，部分抵銷信心增強的效果。

日本方面：日本內閣府公布2025年第三季GDP年增率第1次速報值為1.1%，較第二季減少0.9個百分點，主要係民間消費及民間住宅投資年增率分別較第二季減少0.5及10.4個百分點，年增率分別為0.8%、-7.9%。日本財務省公布2025年10月出口為9兆7,663億日圓，較2024年同期增加3.6%，為連續2個月成長，主要半導體零組件、動力機及原料品需求帶動而呈現雙位數成長；進口額為9兆9,981億日圓，年增0.7%，亦為連續2個月成長，主要係飛機進口成長逾1.5倍，加上動力機等進口增幅超過2成所致。在2025年全年度的日本GDP方面，EIU、S&P Global 最新預測值分別為1.0%、1.4%，較前次預測值上修0.1及0.2個百分點。

在就業市場方面，依據日本總務省公布2025年9月經季節調整後失業率為2.6%，與8月數值持平。物價方面，10月CPI年增率為

3.0%，較9月數值增加0.1個百分點，主要係因政府水電費補貼結束及生鮮魚、油脂類價格上揚；核心CPI年增率為3.1%。在工業生產方面，工業生產指數年增率表現自2025年8月-1.6%回升至9月的3.4%，主要來自生產用機械、電子零組件、通用機械設備等產量較上年同期增加。

在日本經濟展望方面，S&P Global引用au Jibun Bank指出，日本10月製造業PMI為48.2，較9月數值減少0.3點，為連續第四個月在榮枯線之下，主要反映汽車與半導體製造設備需求疲弱，致新訂單大幅下滑，加上投入成本漲幅亦創四個月新高。服務業PMI為53.1，雖業務活動保持擴張，就業指標亦為連續第二個月增加，然受內外需轉弱，新訂單成長速度放緩，指數較9月數值減少0.2個百分點，仍為連續第七個月處於擴張區間。

中國方面：2025年10月全國規模以上(主要業務收入在2,000萬元及以上的工業企業)工業增加值年增率為4.9%，較9月減少1.6個百分點；社會消費品零售額年增率2.9%，較9月減少0.1個百分點，其中商品零售、餐飲年增率分別為2.8%、3.8%；1~10月全國(不含農戶)固定資產投資年增-1.7%，其中民間固定資產投資年增-4.5%。房地產指標方面，1~10月房地產開發投資年減幅擴大至-14.7%，其中商品房銷售額及面積年增幅分別為-9.6%及-6.8%。依據中國海關總署發布2025年10月貿易額5,206億美元，年增-0.3%，其中進出口分別年增1.0%及-1.1%。

中國就業市場方面，2025年10月全國城鎮調查失業率為5.1%，較9月數值減少0.1個百分點。在全國居民消費價格(CPI)方面，2025年10月CPI年增率0.2%，較9月增加0.5個百分

點，除食品煙酒及交通通信等項目類價格下跌外，其餘商品類價格皆呈現上揚；10月核心CPI年增率為1.2%。

在中國經濟展望方面，依據中國國家統計局公布10月製造業PMI為49.0%，較9月數值減少0.8個百分點，除供應商配送時間指數仍處於擴張區外，其餘指標落在榮枯線之下，顯示整體製造業活動持續惡化。10月非製造業PMI指數為50.1%，較9月數值增加0.1個百分點，除新訂單與上月持平，其餘指標轉為上月改善，整體活動維持在榮枯線之上。

東南亞方面：越南前三季GDP年增率約7.9%；印尼、菲律賓、新加坡及泰國第三季GDP年增率分別為5.4%、4.0%、2.9%及1.2%，較第二季減少0.2、1.5、1.6及1.6個百分點；馬來西亞為5.2%，較第二季增加0.8個百分點，主要因採礦及採石業年增率由負轉正，並增加13.8個百分點，製造業增速較第二季增加0.4個百分點，服務業增速維持5%水準。依EIU與S&P Global最新發布數據，兩者對泰國預測值均維持前次數值，EIU及S&P Global預測值分別為1.8%、2.0%；在印尼及馬來西亞預測方面，EIU皆調高對GDP年增率預測值達5.0%及64.8%，S&P Global則維持前次預測值5.1%及4.2%。在越南及新加坡方面，EIU及S&P Global皆上修兩國GDP年增率預測值，分別7.8%及3.7%、7.3%及3.4%。在菲律賓方面，EIU及S&P Global皆下調GDP年增率預測值0.5及0.7個百分點，達5.0%及4.8%。

在就業市場方面，2025年9月菲律賓、馬來西亞、新加坡及泰國失業率分別為3.8%、3.0%、2.0%及0.8%。在消費者物價方面，2025年10月印尼、菲律賓及泰國CPI年增率分別來到2.9%、1.7%及-0.8%，1-10月越南CPI

年增率為3.3%；馬來西亞9月CPI年增率受個人護理及食品價格上揚影響，較8月數值增加0.2個百分點，達1.5%；新加坡9月CPI年增率受到私人運輸及住宿業上漲影響，較8月數值增加0.2個百分點，達0.7%。

在東南亞經濟展望方面，參考S&P Global東協製造業PMI，10月PMI為52.7點，較9月數值增加1.1點。主要係新訂單增速創2022年9月以來新高，產出增速亦達17個月新高，製造需求回升帶動就業持續增加，整體製造業表現續維持在榮枯線之上。從國家別觀察，馬來西亞因內需不振，訂單需求下降，加上電子電機產品出口受中國需求疲軟影響，PMI指標較9月減少0.3點，達49.5，為近4個月以來新低；其餘國家PMI表現皆較上月改善，10月數值依序新加坡(57.4)、泰國(56.6)、越南(54.5)、印尼(51.2)及菲律賓(50.1)。

國內情勢方面：首先在對外貿易方面，10月出口表現強勁，年增率由9月的33.78%大幅升至49.71%；進口則由25.12%降至14.61%，整體進出口仍維持亮眼成績。主要受惠於人工智慧(AI)相關新興應用需求持續旺盛，以及消費性電子新品備貨季帶動，資通與視聽產品出口年增率由雙位數躍升至138.21%，電子零組件亦上升至27.69%。若排除上述兩大高科技類別，其餘傳統產業產品出口年增率由正轉負，顯示高科技與傳產景氣仍呈現明顯分歧；進口方面，AI產業鏈的全球分工與出口帶動效應，使電子零組件進口年增率維持高檔，資通與視聽產品進口更升至90.02%；機械進口年增率雖降至17.14%，仍反映資本設備採購動能不減。不過，化學品及基本金屬與其製品等進口則顯著下滑，顯示傳產需求相對疲弱。累計2025年1~10月出口較去年同期成長

31.80%，進口成長21.26%，總計2025年1~10月出超金額為1,218.1億美元，成長83.16%。

物價方面，蔬菜價格年增率由正轉負；雖政府為防範非洲豬瘟實施15天禁運禁宰措施，但冷凍豬肉供應充足，肉類價格變動有限，整體使食物類價格年增率由9月的2.64%降至2.02%，對總指數影響0.54個百分點，較上月減少0.17個百分點。

在勞動市場薪資方面，勞動市場方面，2025年10月失業率3.36%，較上月下降0.02個百分點，較上年同月下降0.04個百分點，今年1至10月失業率平均為3.35%，較上年同期下降0.04個百分點。薪資方面，9月本國籍全時受僱員工總薪資平均數為60,860元，年增1.78%，9月經常性薪資平均數為50,908元，年增3.24%，扣除物價上漲因素後，2025年1~9月實質經常性薪資平均數年增1.36%，1~9月累計實質總薪資年增1.87%。

國內金融市場方面，10月本國五大銀行(台銀、合庫銀、土銀、華銀及一銀)新承做放款加權平均利率為2.187%，較9月的2.120%上升0.067個百分點，係因購屋貸款及週轉金貸款利率均較9月上升所致。股市方面，金融市場持續樂觀看待人工智慧科技應用前景，吸引大量資金湧入AI相關權值股，加上投資人預期美中貿易緊張情勢有望緩解，帶動台股在權值股領漲下續創新高，台灣加權指數10月底收在28,233.35點，較9月底大漲9.34%，平均日成交量為5,447.85億元。匯率方面，金融市場擔憂日本新政府可能延續寬鬆貨幣政策，推升美元指數，加上外資轉為賣超台股8並將資金匯出，皆影響新台幣走勢趨貶，10月底匯率收在30.749美元，貶值0.91%。

一、景氣對策信號

9月分數為35分，較上月上修值31分增加4分，燈號轉呈黃紅燈。9項構成項目中，股價指數轉呈黃紅燈、製造業銷售量指數轉呈紅燈，各增加1分，批發、零售及餐飲業營業額轉為黃紅燈，增加2分；其餘6項燈號維持不變。個別構成項目說明如下：

- **貨幣總計數M1B變動率：**由上月4.3%增為5.1%，燈號續呈黃藍燈。
- **股價指數變動率：**由上月10.0%增為15.2%，燈號由綠燈轉呈黃紅燈。
- **工業生產指數變動率：**由上月下修值13.7%減為13.3%，燈號續呈紅燈。
- **工業及服務業加班工時變動率：**上月上修至2.3%，燈號由綠燈轉呈黃紅燈；本月增為3.6%，燈號續呈黃紅燈。
- **海關出口值變動率：**由上月26.5%增為27.0%，燈號續呈紅燈。
- **機械及電機設備進口值變動率：**由上月44.0%增為45.0%，燈號續呈紅燈。
- **製造業銷售量指數變動率：**由上月下修值8.9%增為10.7%，燈號由黃紅燈轉呈紅燈。
- **批發、零售及餐飲業營業額變動率：**由上月1.9%增為7.0%，燈號由黃藍燈轉呈黃紅燈。
- **製造業營業氣候測驗點：**由上月上修值89.13點增至91.65點，燈號續呈藍燈。

景氣對策信號	2024年				2025年											
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月		9月		
													燈號	%	燈號	%
綜合判斷	燈號															
	分數	34	32	34	38	35	37	35	33	31	29	29	31 _r	35		
貨幣總計數M1B													4.3		5.1	
股價指數													10.0		15.2	
工業生產指數													13.7 _r		13.3	
工業及服務業加班工時													2.3 _r		3.6	
海關出口值													26.5		27.0	
機械及電機設備進口值													44.0		45.0	
製造業銷售量指數													8.9 _r		10.7	
批發、零售及餐飲業營業額													1.9		7.0	
製造業營業氣候測驗點													89.13 _r		91.65	

註：1.各構成項目除製造業營業氣候測驗點之單位為點(基期為95年)外，其餘均為年變動率；除股價指數外均經季節調整。
2. r為修正值。

圖1、近1年景氣對策信號走勢圖(國家發展委員會)

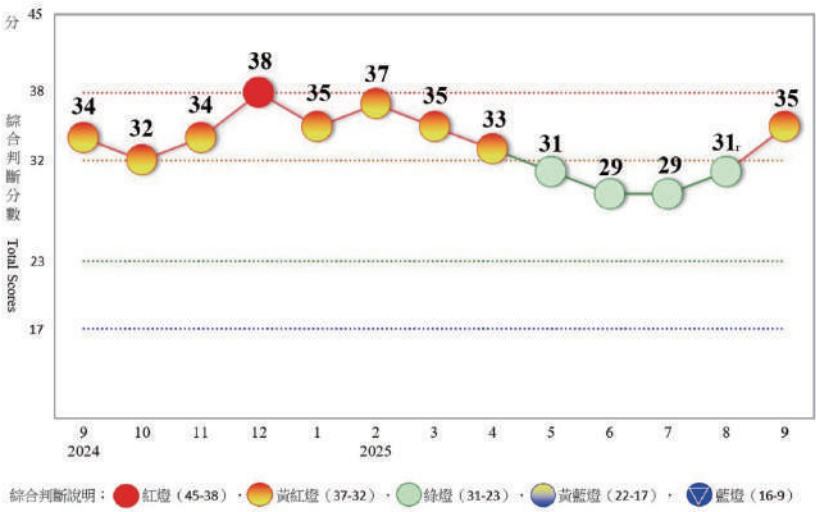


圖2、一年來景氣對策信號(國家發展委員會)

二、景氣指標

(1)領先指標

領先指標不含趨勢指數為100.22，較上月上升0.07%。（詳表1、圖3）。

表1、景氣領先指標（國家發展委員會）							
項目	114年 (2025)						
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
不含趨勢指數	101.68	101.08	100.61	100.29	100.14	100.15	100.22
較上月變動 (%)	-0.59	-0.60	-0.46	-0.32	-0.15	0.01	0.07
構成項目 ¹							
外銷訂單動向指數 ²	99.57	98.94	98.53	98.30	98.26	98.37	98.52
實質貨幣總計數M1B	99.56	99.61	99.70	99.85	100.03	100.23	100.43
股價指數	99.87	99.70	99.64	99.69	99.82	100.00	100.21
工業及服務業受僱員工淨進入率 ³	100.09	100.08	100.05	100.02	99.98	99.95	99.92
建築物開工樓地板面積 ⁴	100.76	100.61	100.36	100.00	99.54	99.04	98.53
實質半導體設備進口值	100.89	101.21	101.42	101.54	101.58	101.57	101.55
製造業營業氣候測驗點	99.99	99.63	99.31	99.12	99.08	99.13	99.24

註：1.本表構成項目指數為經季節調整、剔除長期趨勢，並平滑化與標準化後之數值。以下表同。
2.外銷訂單動向指數採用以家數計算之動向指數。
3.淨進入率＝進入率－退出率。
4.建築物開工樓地板面積僅包含住宿類（住宅）、商業類、辦公服務類、工業倉儲類4項統計資料。

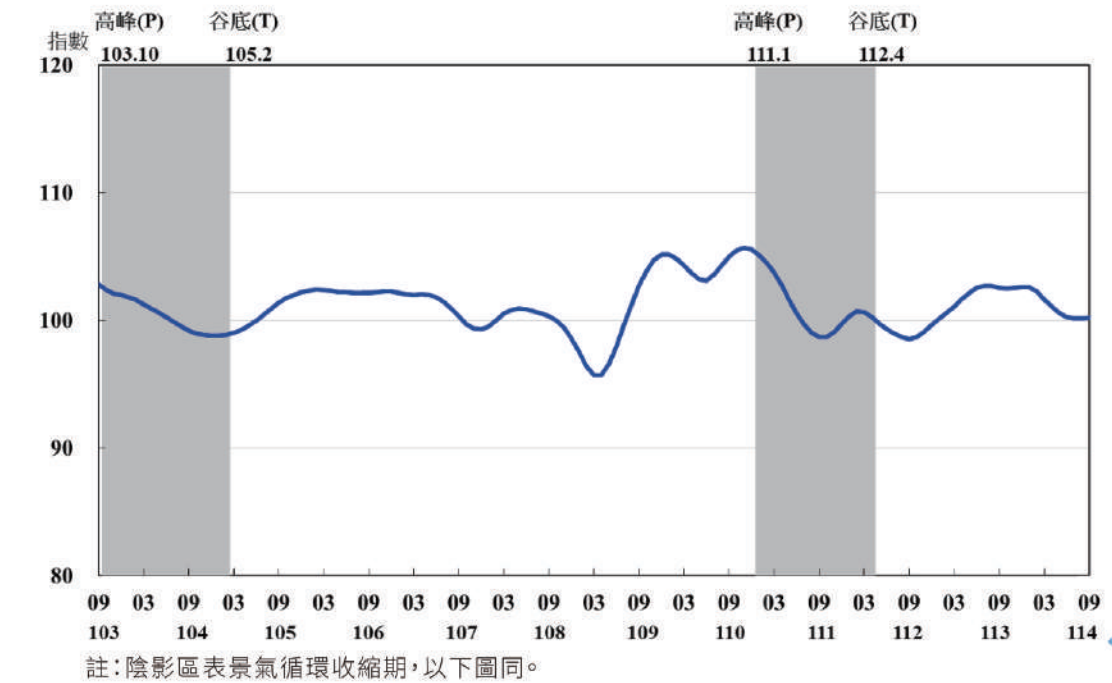


圖3、領先指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）

7個構成項目經去除長期趨勢後，4項較上月上升，分別為：實質貨幣總計數M1B、股價指數、外銷訂單動向指數、製造業營業氣候測驗點；其餘3項較上月下滑，分別為：建築物開工樓地板面積、工業及服務業受僱員工淨進入率、實質半導體設備進口值。

(2)同時指標

同時指標不含趨勢指數為105.27，較上月下滑0.11%（詳表2、圖4）。

表2、景氣領先指標（國家發展委員會）							
項目	114年 (2025)						
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
不含趨勢指數	103.33	104.38	105.08	105.38	105.43	105.38	105.27
較上月變動 (%)	1.13	1.02	0.67	0.28	0.05	-0.05	-0.11
構成項目							
工業生產指數	101.46	101.88	102.13	102.16	102.04	101.83	101.60
電力(企業)總用電量	99.61	99.91	100.25	100.53	100.71	100.84	100.91
製造業銷售量指數	101.33	101.75	102.03	102.09	101.98	101.79	101.58
批發、零售及餐飲業營業額	100.95	100.93	100.64	100.24	99.89	99.66	99.52
工業及服務業加班工時	99.82	99.77	99.79	99.85	99.97	100.12	100.27
實質海關出口值	100.88	101.47	102.04	102.55	102.97	103.29	103.53
實質機械及電機設備進口值	101.52	101.88	102.06	102.08	102.04	101.96	101.88

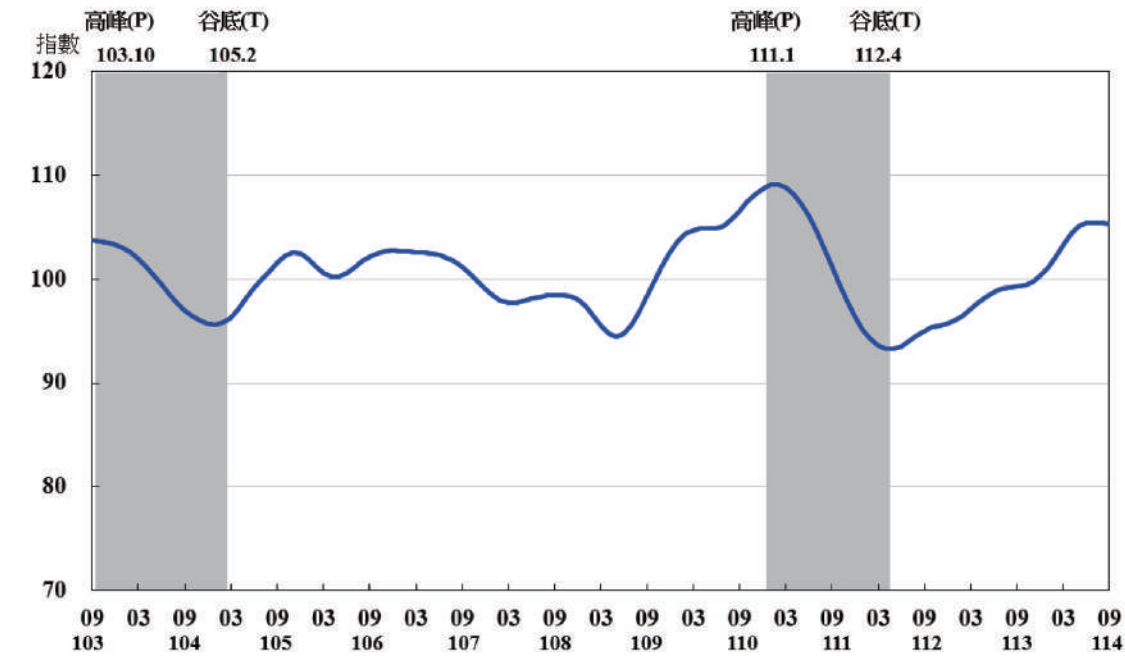


圖4、同時指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）

7個構成項目經去除長期趨勢後，4項較上月下滑，分別為：工業生產指數、製造業銷售量指數、批發、零售及餐飲業營業額、實質機械及電機設備進口值；其餘3項較上月上升，分別為：實質海關出口值、工業及服務業加班工時、電力（企業）總用電量。

(3) 落後指標

落後指標不含趨勢指數為97.38，較上月上升0.16%（詳表3、圖5）。

表3、景氣落後指標（國家發展委員會）

項目	114年 (2025)						
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
不含趨勢指數	98.18	97.52	97.11	96.97	97.07	97.22	97.38
較上月變動 (%)	-0.76	-0.67	-0.42	-0.15	0.10	0.161	0.163
構成項目							
失業率 ¹	99.85	99.83	99.81	99.78	99.74	99.69	99.64
製造業單位產出勞動成本指數	98.34	98.08	98.03	98.13	98.34	98.52	98.67
五大銀行新承做放款平均利率	99.72	99.69	99.64	99.54	99.39	99.22	99.01
全體金融機構放款與投資	100.08	99.89	99.79	99.81	99.94	100.12	100.32
製造業存貨價值	99.95	99.80	99.63	99.50	99.43	99.44	99.50

註：1.失業率取倒數計算。

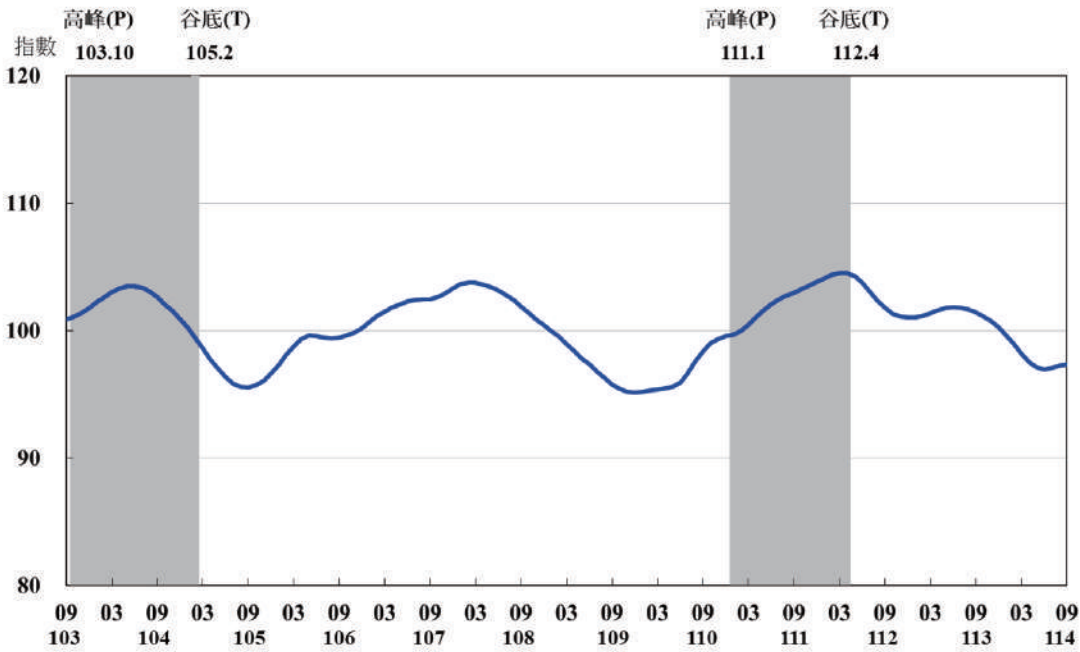


圖5、落後指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）

5個構成項目經去除長期趨勢後，3項較上月上升，分別為：全體金融機構放款與投資、製造業單位產出勞動成本指數、製造業存貨價值；其餘2項較上月下滑，分別為：五大銀行新承做放款平均利率、失業率（取倒數）。

三、製造業採購經理人指數（PMI）

AI相關硬體與設備需求暢旺、電子業缺貨漲價潮，以及部分品牌廠商開出2026年需求預測，2025年10月經季節調整後之台灣製造業PMI中斷連續4個月緊縮轉為擴張，指數攀升2.0個百分點至50.3%，未來六個月展望指數則回升1.9個百分點至41.5%。

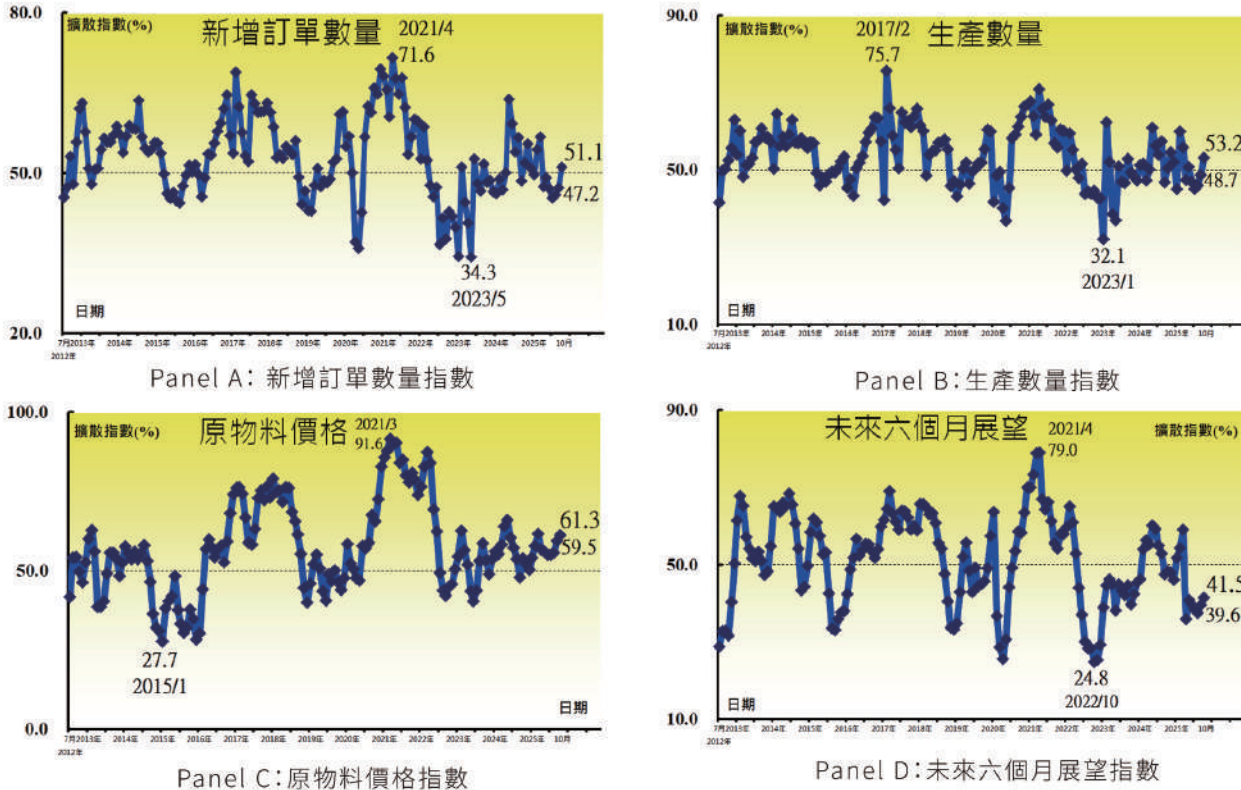


圖6、台灣製造業值得關注之指標（中華經濟研究院）

- 五項組成指標中，經季調之新增訂單與生產轉為擴張，人力僱用持續緊縮，供應商交貨時間上升（高於50.0%），存貨持續緊縮。
- 時序邁入第四季，季節調整後之新增訂單與生產指數同步中斷連續6與4個月緊縮轉為擴張，二指數分別躍升3.9與4.5個百分點至51.1%與53.2%，顯示製造業經季調後之新增訂單與生產狀況較9月好轉。
- 未來六個月展望指數已連續7個月緊縮，惟指數續揚1.9個百分點至41.5%，六大產業仍全數回報未來展望為緊縮。
- 2025年10月六大產業中，電力暨機械設備產業（51.8%）PMI已連續第2個月擴張。其餘五大產業PMI呈現緊縮，各產業依緊縮速度排序為基礎原物料產業（43.0%）、化學暨生技醫療產業（45.6%）、交通工具產業（46.2%）、食品暨紡織產業（47.4%）與電子暨光學產業（49.7%）。
- 六大產業全數回報未來六個月展望呈現緊縮，各產業依緊縮速度排序為基礎原物料產業（33.7%）、化學暨生技醫療產業（39.0%）、交通工具產業（40.5%）、電力暨機械設備產業（43.6%）、電子暨光學產業（43.8%）與食品暨紡織產業（47.8%）。

表4、2025年10月臺灣製造業採購經理人指數(中華經濟研究院)

單位：%

	2025年 10月	2025年 9月	百分點 變化	方向 (Direction)	速度 (Rate of Change)	趨勢 (Trend) 連續月 份	產業別					
							化學 暨生 技醫 療	電子 暨光 學	食品 暨紡 織	基礎 原物 料	交通 工具	電力 暨機 械設 備
臺灣製造業PMI	50.3	48.3	5+2.0	擴張	前月為緊縮	1	45.6	49.7	47.4	43.0	46.2	51.8
新增訂單數量	51.1	47.2	+3.9	擴張	前月為緊縮	1	46.3	45.1	54.3	38.4	40.5	53.8
生產數量	53.2	48.7	+4.5	擴張	前月為緊縮	1	40.2	49.6	52.2	43.0	45.2	53.8
人力僱用數量	47.5	47.5	+0.0	緊縮	不變	7	43.9	49.1	45.7	43.0	47.6	46.2
供應商交貨時間	52.6	50.1	+2.5	上升	加快	11	52.4	55.3	47.8	46.5	50.0	56.4
存貨	47.0	48.1	-1.1	緊縮	加快	4	45.1	49.6	37.0	44.2	47.6	48.7
客戶存貨	46.7	47.8	-1.1	過低	加快	36	43.9	46.9	45.7	50.0	42.9	44.9
原物料價格	61.3	59.5	+1.8	上升	加快	13	45.1	68.6	45.7	59.3	50.0	62.8
未完成訂單	42.2	41.3	+0.9	緊縮	趨緩	7	37.8	42.5	58.7	34.9	40.5	50.0
新增出口訂單	44.8	41.9	+2.9	緊縮	趨緩	5	43.9	46.9	52.2	37.2	35.7	48.7
進口原物料數量	47.2	47.0	+0.2	緊縮	趨緩	7	42.7	50.0	50.0	40.7	45.2	50.0
未來六個月展望	41.5	39.6	+1.9	緊縮	趨緩	7	39.0	43.8	47.8	33.7	40.5	43.6
生產用物資(平均天數)	37	38					30	42	45	40	31	27
維修與作業耗材(平均天數)	31	31					27	34	33	33	30	25
資本支出(平均天數)	59	62					58	65	42	55	74	49

四、非製造業經理人指數(NMI)

2025年10月末季調之台灣非製造業NMI已連續8個月擴張，指數續揚2.3個百分點至54.4%。商業活動中斷連續2個月緊縮轉為擴張，惟非製造業仍多保守看待未來景氣，未來六個月展望指數已連續8個月緊縮，指數微幅回升0.4個百分點至42.5%。

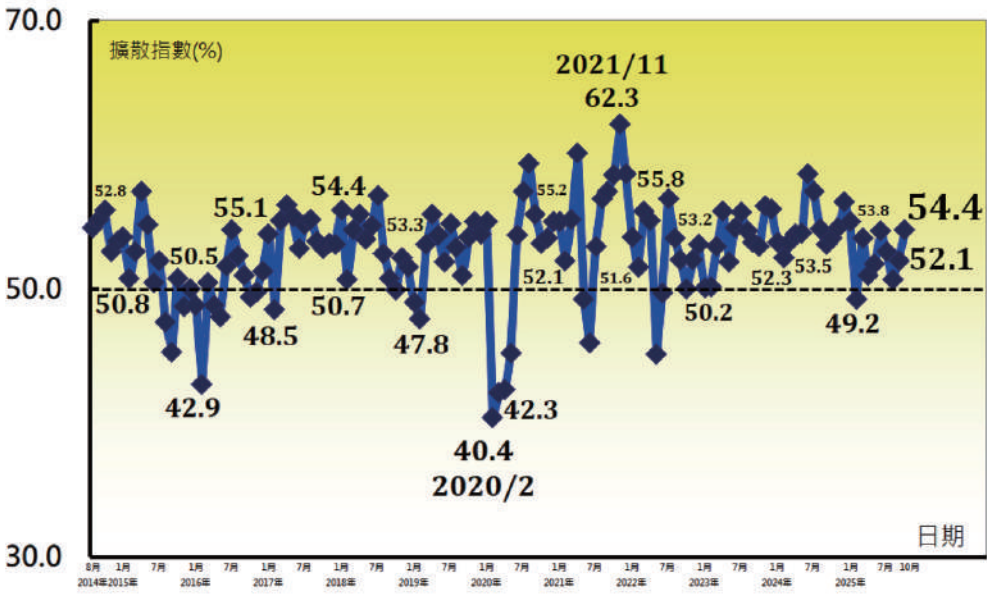


圖8、臺灣非製造業NMI時間序列走勢圖(中華經濟研究院)

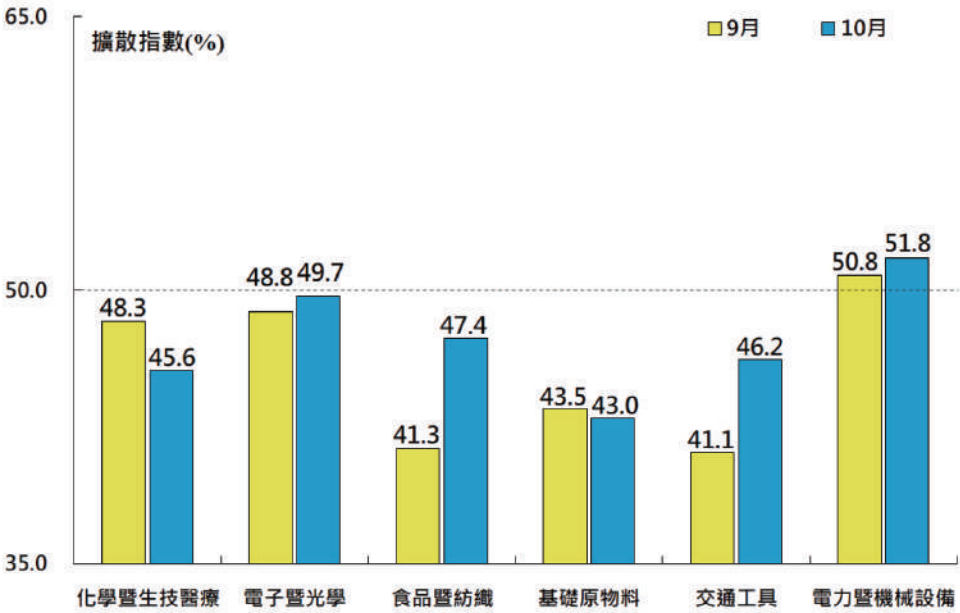


圖7、產業別PMI示意圖(中華經濟研究院)

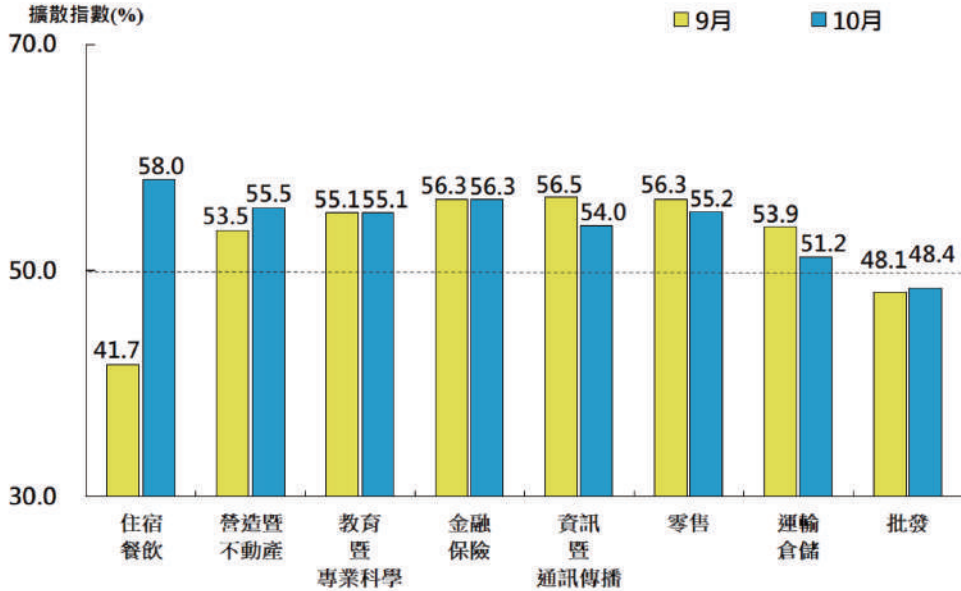


圖9、產業別NMI示意圖(中華經濟研究院)

- 四項組成指標中，商業活動轉為擴張、新增訂單持續擴張，人力僱用持續擴張，供應商交貨時間上升（高於50.0%）。
- 未經季調之商業活動中斷連續2個月緊縮轉為擴張，指數續揚5.0個百分點至54.7%。
- 未經季調之新增訂單已連續2個月擴張，指數續揚3.3個百分點至54.9%。
- 非製造業持續面臨營業成本攀升壓力，惟採購價格指數（營業成本）10月續跌0.3個百分點至58.3%，為2024年3月以來最慢上升速度。
- 未完成訂單（工作委託量）已連續7個月緊縮，指數微幅回升0.3個百分點至47.9%。
- 非製造業之存貨觀感指數已連續13個月呈現過高（高於50.0%，高於當前營運所需），指數由2023年12月以來最高（54.3%）回跌3.0個百分點至51.3%。
- 非製造業之未來六個月展望指數已連續8個月緊縮，指數微幅回升0.4個百分點至42.5%，是自2023年6月以來未來展望指數最長緊縮連續月份。
- 2025年10月八大產業中，七大產業NMI皆呈現擴張，依擴張速度排序為住宿餐飲業（58.0%）、金融保險業（56.3%）、營造暨不動產業（55.5%）、零售業（55.2%）、教育暨專業科學業（55.1%）、資訊暨通訊傳播業（54.0%）與運輸倉儲業（51.2%）。批發業（48.4%）NMI已連續4個月呈現緊縮。
- 八大產業中，六大產業回報未來六個月展望呈現緊縮，各產業依指數緊縮速度排序為營造暨不動產業（38.2%）、資訊暨通訊傳播業（38.6%）、批發業（38.9%）、零售業（42.5%）、金融保險業（42.9%）與運輸倉儲業（43.5%）。僅教育暨專業科學業（53.8%）回報未來六個月展望呈現擴張。住宿餐飲業則回報未來六個月展望為持平（50.0%）。



表5、2025年10月臺灣非製造業採購經理人指數（中華經濟研究院）

	單位：%						產業別							
	2025年 10月	2025年 9月	百分點 變化	方向 (Direction)	速度 (Rate of Change)	趨勢 (Trend) 連續月 份	住宿 餐飲	營造暨 不動產	教育 暨 專業 科學	金融 保險	資訊 暨 通訊 傳播	零售	運輸 倉儲	批發
臺灣NMI	54.4	52.1	+2.3	擴張	加快	8	58.0	55.5	55.1	56.3	54.0	55.2	51.2	48.4
商業活動	54.7	49.7	+5.0	擴張	前月為緊縮	1	63.6	57.4	56.4	60.7	50.0	50.0	50.0	46.3
新增訂單	54.9	51.6	+3.3	擴張	加快	2	59.1	55.9	56.4	61.9	54.5	58.3	46.8	42.6
人力僱用	54.7	53.3	+1.4	擴張	加快	32	54.5	57.4	55.1	53.6	61.4	57.5	51.6	48.1
供應商交貨時間	53.3	54.0	-0.7	上升	趨緩	29	54.5	51.5	52.6	48.8	50.0	55.0	56.5	56.5
存貨	52.4	52.7	-0.3	擴張	趨緩	7	54.5	55.9	48.7	54.8	52.3	52.5	51.6	48.1
採購價格	58.3	58.6	-0.3	上升	趨緩	118	68.2	51.5	60.3	42.9	47.7	72.5	61.3	64.8
未完成訂單	47.9	47.6	+0.3	緊縮	趨緩	7	59.1	45.6	44.9	54.8	45.5	45.0	41.9	45.4
服務輸出/出口	53.6	55.6	-2.0	擴張	趨緩	2	83.3	66.7	40.0	56.3	35.0	66.7	38.2	40.2
服務輸入/進口	52.3	50.1	+2.2	擴張	加快	2	59.1	47.5	44.1	63.6	50.0	62.5	55.6	41.5
服務收費價格	52.9	52.0	+0.9	上升	加快	65	72.7	48.5	52.9	57.1	52.3	50.0	48.4	57.5
存貨觀感	51.3	54.3	-3.0	過高	趨緩	13	59.1	45.6	52.6	48.8	52.3	55.0	50.0	53.7
未來六個月展望	42.5	42.1	+0.4	緊縮	趨緩	8	50.0	38.2	53.8	42.9	38.6	42.5	43.5	38.9

五、未來半年個別產業景氣預測（以2025年10月為預測基準月）



綜觀靈巧手台灣學研成果

文 工研院機械與機電系統研究所所長/
國立清華大學清華講座教授 張禎元

一、前言

在過往機器人發展的歷史中，靈巧手（Dexterous Hand）被譽為機器人中的「聖杯」。它不僅是模仿人手形態的最終目標，更是通往真正「人形智慧」的門票。

人手的結構之複雜、功能之精妙，包括27個自由度、29個關節與34條肌肉相互協調，構成一套能在力量與精度之間切換自如的生物工程奇蹟。要讓機器重現這樣的能力，意味著要同時掌握多自由度驅動、精細力控、感知融合與即時決策等多個跨領域難題。這正是靈巧手至今仍被視為「比讓機器人走路更難」的原因所在。

過去四十年間，靈巧手技術從實驗室原型逐步邁向商業化與智慧化。自1980年代的Stanford/JPL Hand 奠定研究基礎以來，靈巧手歷經了從力學與控制為主的「機構驅動期」，到1990至2000年代的Utah/MIT Hand、DLR Hand 所展現的高自由度操作階段；進入21世紀後，Shadow Robot 與 Allegro Hand 開啟商業化嘗試，使靈巧手逐漸從研究儀器轉為可供產品驗證的平台。到了2020年代，隨著Tesla、Agility Robotics 等科技企業投入人形機器人開發，靈巧手不再只是末端執行器，而成為智慧操控與人機協作的核心象徵。表1呈現此技術在不同階段的代表系統與特徵，圖1

也顯示出靈巧手已從結構創新邁向智慧融合，並逐步形成跨領域整合的新產業樣貌。

然而，從技術成熟到實際普及之間，依然存在著巨大的鴻溝。靈巧手必須同時兼顧三個看似矛盾的面向：性能、成本與可靠性。取得這三個面向的平衡正是靈巧手邁向量產化的最大門檻。

但在挑戰之中，也孕育著巨大的機會。隨著人工智慧、感測器與機電整合技術的突破，靈巧手正從單純的「仿人機構」轉化為具備自主判斷與自適應能力的智慧末端致動器。未來的機器人將不只是會動的機械軀體，而是一個能與人類共享工作與生活空間且具有感知的協作夥伴。

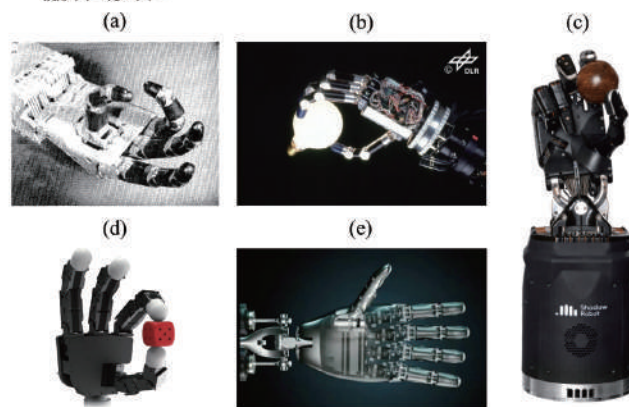


圖1. 靈巧手各時期標竿 (a) Utah/MIT Hand [1] (b) DLR Hand [2,3] (c) Shadow Robot [4,5] (d) Allegro Hand [6] (e) Optimus Hand [7]

表1. 靈巧手技術演進

發展時期	代表系統與機構	技術特徵	關鍵意義
1980s	Stanford / JPL Hand	首度具備多自由度與觸覺回饋的全驅動設計	奠定靈巧手研究與仿人操作的基礎
2000s	Shadow Robot Hand Allegro Hand	模組化伺服驅動與高精度控制，支援多學術機構研究	開啟靈巧手商業化與科研平台化時代
2010s	DLR Hand II NASA Robonaut Hand	引入柔性關節與力回饋控制，提升安全與可靠性	建立順應操作與人機協作設計思維
2020s	Tesla / Optimus Hand RBO Hand 3 LEAP Hand	AI控制、氣動柔性致動、開源低成本設計並行發展	標誌AI驅動操控與軟體機械結合的新時代
2020s	清華大學 / 清華紳士仿人靈巧手	全驅動自適應設計、視觸覺融合控制、模組化架構	在性能、成本與可靠性間取得平衡，具商業化潛力
2018~2020s	工研院機械所 / Ochu# 仿生多自由度仿生機械手	模組化多自由度手指結構設計、指尖觸覺與溫度多模態感測整合技術、支援AI任務生成與策略學習之控制架構	強調應用場景可重組與任務模型可學習性，為下一階段智慧機器人手部平台之關鍵雛形

二、台灣國產自主化的突破

•清華大學創生「清華紳士」(Tsing-Hua Gentleman)

台灣已進入超高齡社會，這樣人口加速的老化導致生理功能的逐漸喪失，民眾對復健醫療需求將大幅增加。現有復健醫療仍處於勞力密集的方式，且完全是手動的模式，無法滿足復健治療的重複性和穩定性。加上病患多於復健醫護人員，往往造成病患錯過中風後復健的六個月黃金期。再者，現有物理復健並無法監控復健成效與進展。

也因此我於2020年期間帶領清華大學動機系、電機系、資工系教授進行跨領域合作，開發了一款全驅動仿人靈巧手（Fully-Actuated Dexterous Hand），並以此作為AI

賦能研究的核心。採用全驅動結構結合自適應包覆機構，使每根手指皆具獨立驅動與回饋控制，能根據物體形狀自動調整接觸力分布，實現穩定且自然的抓取行為。而研究團隊亦導入順應控制策略，使手指在接觸階段具備被動柔性，減少滑移與表面損傷，進一步提升整體穩定性與安全性。在機構層面，這隻靈巧手採用模組化關節單元設計，兼顧剛性與輕量化。模組化結構大幅降低維修與組裝難度，也讓研究人員能快速替換關節以測試不同控制策略。傳動則以鋼索與導輪系統實現力量傳遞，確保手指動作流暢並避免偏轉誤差。

透過科技部/國科會專案計畫的補助，將機械固力之機器人機構設計、材料選用與強

度測試、機電整合量化數據反饋式量測等技術，結合長庚醫院復健科在臨床醫學、動物測試之生物反應、輔具醫療效益評估等醫學專業知識和需求，在2018年開發出「手掌指復健機器人」雛型。為使該智慧機械研發成果落地並產生價值，團隊於2016年年底假國立清華大學育成中心成立新創公司-富伯生醫科技公司。該復健機器人透過IRB測試，證明可即時透過線張力量測病患手指之鬆緊程度，此研發成果已導入醫療等級之復健機器人，除已獲台灣FDA，更於2019年底獲美國FDA許可。

除了機構創新之外，該靈巧手在感測與控制策略的整合上亦展現高度技術成熟度。如圖2，有剛性靈巧手外，亦同步開發以柔性材料與氣壓致動為基礎的軟性靈巧手(Soft Robotic Hand)，以回應人機協作與安全互動的需求。此設計以矽膠與高分子彈性體為主要材料，內部配置多腔氣壓致動結構，並以纖維強化層限制其變形方向，使手指在充氣後能產生受控的彎曲與包覆動作。相較於剛性結構，軟性靈巧手不依賴多自由度馬達，而透過氣壓調變達成順應性操作，具備高安全性與良好的人機互動特性。

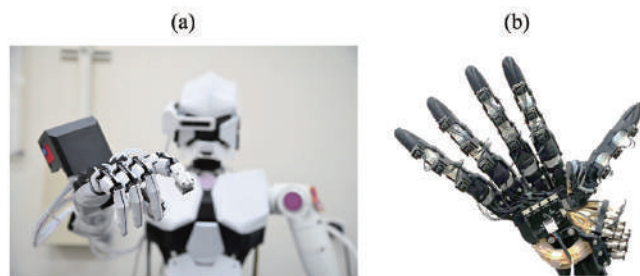


圖2. 張禎元清華講座教授研究團隊之零巧手成果
(a) 線驅動靈巧手 (b) 軟性靈巧手

這項研究成果清華大學團隊不僅展現了國內團隊在高自由度機構設計、智慧感測融合與

多模態控制演算法領域的研發深度，也為靈巧手的商業化提供了具體方向。其模組化與可擴充架構具備跨應用潛力，能依需求快速轉化至人形機器人、協作型機械手臂或醫療輔助系統，降低開發門檻並縮短產品化週期。在結構上兼顧剛性與柔性，在控制上結合感知與學習，最終讓機器人的手不僅能「抓取」，更能「理解為何而抓」，更揭示了下一代智慧末端執行器的發展趨勢，邁向具智慧意圖的人機協作世代。

・工研院機械所開發出多自由度仿生機械手掌(Ochu) —「黑手」

在2018年~2020年我來到工研院機械所擔任技術長一職，也帶領這批工程師以機器手臂能運用人類使用工具、義肢等為目的，開發「多自由度仿生機械手掌」，如圖3，能抓取形狀不規則與軟性物件，搭配機器手臂可用於賣場取貨與工廠上下料，更可作為義肢使用，採用機械控制與彈簧設計，使手指頭在碰撞硬物時能反彈，降低義肢毀損的情形，性價比優於市面義肢，可拿書、筆、手機、寶特瓶等物，協助身障朋友滿足日常生活的功能。

今(2025)年開始因應上述市場需求與挑戰，工研院機械所團隊聚焦於開發具備多自由度控制、高力量輸出與多模態感測能力之仿生機器手掌平台。該平台不僅導入指尖觸覺與溫度感測元件，亦整合具 11 軸活動關節自由度結構與仿生外型，未來也將整合語意理解與策略學習能力之生成式 AI 架構，嘗試重現人手在感知、決策與動作執行上的整體表現。

為實現具備多自由度控制與真實感知能力的仿人靈巧手平台，工研院機械所機器人團隊自系統整合角度出發，著重於三項關鍵研發

主軸之突破：(一) 模組化的多自由度手指結構設計；(二) 指尖觸覺與溫度之多模態感測整合技術；(三) 支援AI任務生成與策略學習之控制架構開發。三者共同構成本平台可應用於未來人機共融場域之技術基礎。

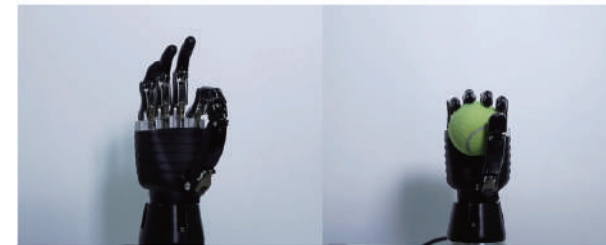


圖3. 工研院機械所仿生機器手Ochu#

整體而言，如圖4，工研院機械所仿生機器手掌平台不僅於硬體機構、感測整合與控制策略三大面向皆具自主開發與模組化彈性，未來透過AI驅動的策略學習架構有效提升對場域環境之適應性與自主反應能力。相較於現行商用夾爪或剛性仿生手之固定用途設計，本系統強調應用場景可重組與任務模型可學習性，為下一階段智慧機器人手部平台之關鍵雛形。

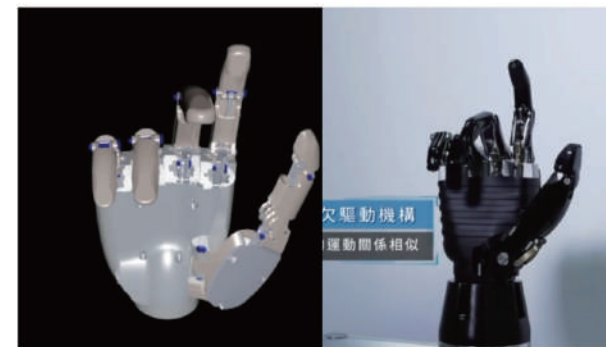


圖4. 工研院機械所開發出的仿生機器手虛(左圖)實(右圖)整合模擬平台

三、台灣產業機會與挑戰

在這場靈巧手產業競賽中，台灣雖非最早投入者，但憑藉其完整的精密機械產業鏈與電子製造實力，正逐步建立起關鍵地位。我認為台灣具有以下幾點優勢：

1.減速機與傳動零組件的優勢：行星減速機、諧波齒輪與高精度軸承等領域擁有成熟的供應鏈。品牌如 HIWIN、Nidec Taiwan、Apex Dynamics等，早已是全球工業機器人市場的重要供應商。這些產品的微型化與高效率化技術，正好對應靈巧手在空間受限下追求高扭矩密度的需求。

2.馬達與驅動控制的專精：台灣長期在伺服馬達與驅動模組上深耕，具備穩定品質與成本競爭力。對於靈巧手而言，馬達不僅是「動力來源」，更是影響反應速度、力控精度與能耗的重要關鍵。許多新創團隊與研究單位正嘗試以高整合微型驅動模組取代傳統分散式架構，以減少體積並提升動態響應。

3.感測與電子模組產業鏈完整：從壓力感測器、磁編碼器到柔性觸覺感測器，台灣在感測元件設計與製造上具明顯優勢。尤其在TWS耳機、穿戴裝置與觸控面板技術累積的經驗，讓台廠能將高靈敏度、低功耗的感測技術轉移至機器人末端應用，為靈巧手的智慧化提供底層支持。

4.系統整合與模組化設計能力：台灣的中小企業具備彈性生產與快速客製化能力，能以「模組化機構設計及電子整合」的方式快速試製樣品。這種靈活性正是靈巧手從研發走向量產階段所需的產業特質。

台灣雖然具備以上所述之優勢，但在高階靈巧手領域仍面臨三大挑戰：

- 1. 核心演算法與智慧控制能力不足：**目前多數AI感知與控制演算法仍依賴國外開源平台（如 ROS、PyTorch、OpenAI Gym）。若要達成真正的技術自主化，必須投入於本地化模型開發，建立屬於台灣的控制架構與資料庫。
- 2. 整機品牌與國際能見度有限：**台灣多數企業仍停留在代工或零組件供應角色，缺乏整合品牌力量。在靈巧手這種高附加價值市場中，品牌代表的是系統整合能力與可靠性，因此建立國產自主品牌至關重要。
- 3. 產學研整合深度不足：**雖然學研單位具創新設計能量，但與企業之間的技術轉移仍不夠順暢。若能建立「研發原型 產業模組 商業應用」的合作鏈，將有助於縮短靈巧手商品化的時間差。

根據 IntelMarketResearch 指出，全球多指靈巧手市場在 2024 至 2032 年間的年複合成長率 (CAGR) 預估將超過26%，其成長驅動力主要來自工業協作、物流分揀、醫療輔助與家庭服務等應用。如圖5所示，靈巧手的發展可分為三大主流方向：

- 1. 全驅動靈巧手 (Fully-actuated Hand)：**每個關節皆具獨立驅動，能實現最高的控制自由度與操作精度。缺點是體積大、成本高、控制難度高。代表案例：Shadow Hand、DLR Hand II。
- 2. 自適應/欠驅動靈巧手 (Underactuated Adaptive Hand)：**以少量驅動器透過連桿或彈性機構同時控制多關節，具自然的包覆抓取特性。成本低、結構簡單、容錯性佳，適合

普及化應用。代表案例：Robotiq 3-Finger Hand、Righthand Robotics ReFlex。

- 3. 智慧感知靈巧手 (Perceptive Dexterous Hand)：**整合視覺與觸覺感測器（例如壓力陣列、磁場式觸覺感測、攝影感知），結合AI學習演算法進行物體辨識與動作規劃。代表案例：Tesla Optimus、Sanctuary AI Phoenix Hand。

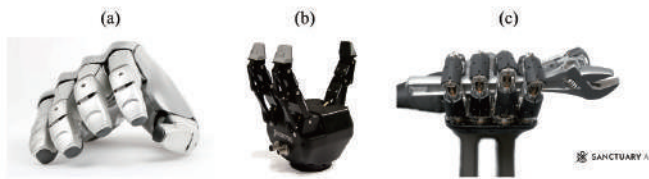


圖5. 靈巧手發展方向
(a) 全驅動靈巧手DLR Hand II [8]
(b) 自適應靈巧手Robotiq 3-Finger Hand [9]
(c) 智慧感知靈巧手Sanctuary AI Phoenix Hand [10]

根據近年的趨勢，靈巧手的發展正轉向模組化、低成本與高智慧的量產設計。而從產業應用層面，仿生靈巧手的技術突破預示著智慧機器人邁入更高層次的人機互動時代。未來可落地應用情境涵蓋醫療照護、製造業、教育陪伴與虛實混合操作等四大領域，茲說明如下：

1. 醫療照護與長照應用

靈巧手平台可望應用於居家照護與機構照護情境中，如協助照顧者進行餵食、服藥、移位支撐等細緻操作。此外亦可結合生理參數量測與行為分析模組，進一步發展為具「溫度感知 × 語意互動」的照護型機器人。若能與日、美、歐等具相似少子高齡社會議題的國家進行國際合作，共同開發適用於在

地文化與照護規範之應用模組，亦可提升全球技術影響力與國際合作深度。

2. 智慧製造與半自動產線

在精密製造領域，仿生手的多指操控與感測能力可導入至高精度且難以標準化之人工步驟，例如醫材包裝、組裝複雜非標物件、黏合與抹塗等。相較於傳統剛性機械手臂，仿生手掌平台具備更高靈活度與環境順應性，能快速重構任務邏輯並調整操作策略。若搭配自動化生產線導入，可作為彈性人力角色，支援夜間生產、少量多樣化訂單處理等高變異性需求。

3. 教育與遠距社交角色

應用於教育輔助與社交模擬場域，例如協助學齡前孩童發展動作協調力，或於虛擬互動環境中作為具象徵性動作輸出的Avatar代理裝置。透過語音結合手部動作的情緒與語意回饋，使用者可於遠端環境中呈現更自然的非語言互動，例如揮手、傳遞物品等行為。

4. 虛實混合操作與元宇宙平台串接

隨著虛擬實境 (VR) 與混合實境 (MR) 技術逐步普及，靈巧手平台亦可作為虛擬身分之真實手部延伸，應用於數位製作、遠端修復、甚至擴增體驗的手勢控制介面。未來使用者可自然地透過語意敘述與視覺回饋，自動驅動機器手完成如「請協助攪拌」、「把瓶蓋轉開」等任務，真正實現「意圖驅動的物理行動」目標。另外與國際學者交流合作，將本平台導入具備多機遠端控制功能之Cybernetic Avatar平台中，進行同步控制與感測回饋實驗(如日本石黑教授主導之Moonshot計畫中一人多身分之戰略構想)。

從全球視角來看，靈巧手的未來將不僅是一項機械技術，而是「人機協作的核心介面」。在這樣的趨勢下，台灣若能結合其製造優勢與研究能量，將有機會扮演以下三種關鍵角色：

- 1. 技術供應者：**提供國際廠商高品質的減速機、馬達與感測模組。
- 2. 模組化設計整合者：**以模組化設計快速實現不同應用(如教育、醫療、服務型機器人)。
- 3. 自主品牌推動者：**發展台灣自有的靈巧手或人形機器人系統品牌，進軍新興市場。

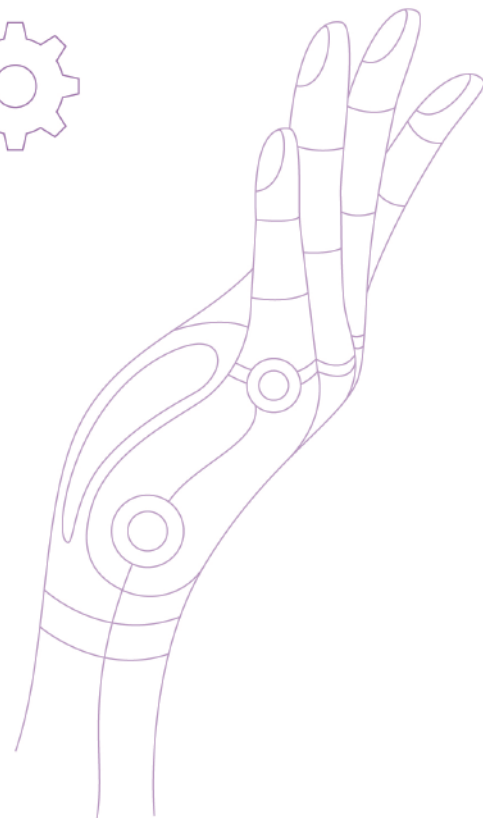
長遠來看，靈巧手的產業價值不僅在於硬體，更在於「感知與控制智慧」的整合能力。台灣若能在此領域建立標準化模組與智慧化平台，不僅能參與全球機器人市場的高端鏈條，也將在下一波AI機械革命中，確立屬於自己的技術地位。

參考文獻

- [1] S. Jacobsen, E. Iversen, D. Knutti, R. Johnson and K. Biggers, "Design of the Utah/M.I.T. Dextrous Hand," Proceedings. 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA, USA, 1986, pp. 1520-1532, doi: 10.1109/RO-BOT.1986.1087395.
- [2] <https://www.dlr.de/en/rm/research/robotic-systems/hands/dlr-hand-i-1998>
- [3] Hong Liu, J. Butterfass, S. Knoch, P. Meusel and G. Hirzinger, "A new control strategy for DLR's multisensory articulated hand," in IEEE Control Systems Magazine, vol. 19, no. 2, pp. 47-54, April 1999, doi: 10.1109/37.753935.
- [4] ShadowRobot (2005) Dexterous Hand. <https://www.shadowrobot.com/products/dexterous-hand/>.
- [5] Andrychowicz OM, Baker B, Chociej M, et al. Learning dexterous in-hand manipulation. The International Journal of Robotics Research. 2019;39(1):3-20. doi:10.1177/0278364919887447.
- [6] <https://www.allegrohand.com/>
- [7] Tesla, "Artificial Intelligence & Autopilot," 2021. <https://www.tesla.com/AI>.
- [8] <https://www.sanctuary.ai/blog/sanctuary-ai-demonstrates-in-hand-manipulation-capabilities-for-improved-general-purpose-robot-dexterity>
- [9] <https://www.dlr.de/en/rm/research/robotic-systems/hands/dlr-hit-hand-ii>
- [10] <https://robotiq.com/products/adaptive-grippers#Three-Finger-Gripper>
- [11] Liang, J., Han, J., Zhang, Z., & Chen, Z. (2021). Design and Implementation of a Modular Tactile

Sensing System for a Multifingered Robot Hand. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 70, 1-10.

[12] Zhao, Y., Tian, Y., & Xu, W. (2019). A Compact Heat Dissipation Structure for High Power Density PCBs in Humanoid Robots. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 95(3-4), 637-649.



TAIROA 廣告宣傳服務

這是一本專屬服務智慧自動化及機器人領域的出版品，內容涵蓋產品技術發展、市場趨勢、展覽推廣、國際商情、創新拓銷、學術研究計畫推廣…等內容。我們同時提供廣告版面給廠商，紙本印刷與協會公開性活動（媒合會、展覽等）傳遞到各領域對自動化與機器人有興趣的企業手上，智動產業期刊為您創造最寬廣的廣告效果。

AIIR 期刊廣告價目表

項目	一期（指定 8 月）		一期（限 3、6、12 月擇一）		二期（限 3、6、12 月擇二）		全年度（四期）	
	會員	非會員	會員	非會員	會員	非會員	會員	非會員
封面	100,000	125,000	80,000	105,000	150,000	175,000	280,000	305,000
* 加贈當期一篇主題稿件（須配合當季主題） * 搭配 Automation Taipei & TAIROS 展期 2000 本以上發放								
項目	一期		二期		全年度（四期）			
	會員	非會員	會員	非會員	會員	非會員	會員	非會員
封底	70,000	95,000	130,000	155,000	240,000	265,000		
封面裡	50,000	75,000	90,000	115,000	160,000	185,000		
封底裡	50,000	75,000	90,000	115,000	160,000	185,000		
內頁廣告	30,000	55,000	50,000	75,000	92,000	117,000		

備註：1. 廣告刊登通過 2 期（含），享有原價 9 折 2. 價格優惠至 2026 年 12 月 31 日止 3. 會員以團體會員為主 幣值：TWD

TAIROA 網站 / B2B 平台廣告價目表

項目	會員	聯盟會員	非會員	期限 / 次數	項目	會員	聯盟會員	非會員	期限 / 次數
協會官網活動公告	免費	☑	☑	1 季 / 1 次	TAIROA B2B 虛擬展館 - 輪播 Banner (含每月電子報)	8,000	13,000	18,000	30 天
LINE 社群	免費	☑	☑	不限次		12,800	20,800	28,800	60 天
協會每月電子報	15,000	15,000	20,000	3 次 / 季		18,000	29,000	40,000	90 天
協會官網大型橫幅 Banner	25,000	25,000	30,000	90 天	TAIROA B2B 產業消息 - 大型橫幅 Banner (含每月電子報)	8,000	13,000	18,000	30 天
協會官網中央方形 Banner	25,000	25,000	30,000	90 天		12,800	20,800	28,800	60 天
小型橫幅 Banner (前 4 版位)	30,000	30,000	35,000	一年		18,000	29,000	40,000	90 天
小型橫幅 Banner (後 6 版位)	20,000	20,000	30,000	一年	TAIROA B2B 產業消息 - 新聞稿曝光 (含每月電子報 + 推薦文章置放)	免費	免費	8,000	1 / 季
TAIROA B2B 首頁大型 Banner (含每月電子報)	15,000	20,000	25,000	30 天		8,000	9,600	12,800	2 篇
	24,000	32,000	40,000	60 天		10,000	15,000	18,000	3 篇
	34,000	45,000	56,000	90 天	TAIROA B2B 活動上架 (含報名系統 + 讀者預約系統 + 每月電子報)	30,000	35,000	50,000	1 場
TAIROA B2B 活動大型橫幅 Banner (含每月電子報)	10,000	15,000	20,000	30 天		48,000	56,000	80,000	2 場
	16,000	24,000	32,000	60 天		68,000	78,000	112,000	3 場
	22,000	34,000	45,000	90 天	TAIROA B2B 活動快訊 (EDM 發送)	15,000	20,000	25,000	1 次
TAIROA B2B 產業地圖 - 精選產品 (含每月電子報)	8,000	13,000	18,000	30 天		24,000	32,000	40,000	2 次
	12,800	20,800	28,800	60 天		34,000	45,000	56,000	3 次
	18,000	29,000	40,000	90 天					

廣告洽詢

社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association
(TAIROA)

E-mail : iris@tairoa.org
地址：408 台中市南屯區精科路 26 號 4 樓
電話：+886-4-2358-1866#22
傳真：+886-4-2358-1566
協會網址：www.tairoa.org.tw

機器人靈巧手的發展與技術趨勢

工業技術研究院 產科國際所 黃仲宏 經理

摘要

從資料蒐集的角度來看，靈巧手扮演著機器人與外界互動的關鍵橋樑，是連結並感知物理世界的重要入口。由於靈巧手在操作過程中能蒐集大量觸覺、力覺與位置等多維感測資訊，因此也是機器人感測器最集中、最豐富的部位之一，靈巧手不僅是執行任務的工具，更是資料回饋與學習的重要來源，目前人型機器人的關鍵在於「泛化能力」，而靈巧手正是展現這種能力的核心元件。傳統工業機器人多採用為特定任務設計的夾爪進行操作，這類夾爪具備成本低、效率高的優點，但缺乏通用性。相較之下，人型機器人面對的操作物件與場景更加多樣且不可預測，因此需要具備高度靈活性與適應性的執行器，也就是靈巧手。雙手萬能；我們認為人型機器人的核心價值主要透過靈巧手來實現。

真實人手自由度多，結構緊湊

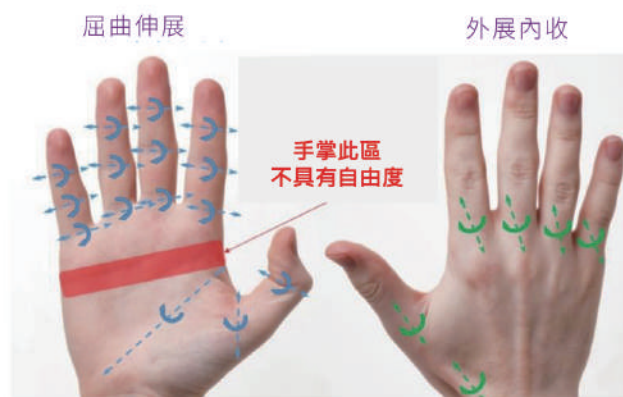


圖1、真實人手與機器人靈巧手
資料來源：工研院產科國際所

一、靈巧手是夾爪的升級， 是機器人的核心價值之一

真實人手自由度多、結構緊湊。機器人靈巧手是一種基於人手運動學設計的特殊末端執行器。靈巧手發展需要仿生結構、驅動、傳動、感測、複合材料、控制等方面的關鍵技術，如圖1。

新一代機器人(如人型機器人)的核心能力是通用性，被期望導入應用在一般非結構化的環境，而機器人的雙手是體現這種通用性的關鍵，所謂雙手萬能，機器人所展現的價值，主要透過能像人類手指一樣的靈巧手來展現。靈巧手是機器人和外界溝通的媒介，也是機器人感測器最豐富的零組件。

像人類手指一樣的靈巧手一直是機器人領域的重要研究方向，國際上累積了豐富的研發成果與經驗，其發展脈絡可追溯至20世

機器人靈巧手發展的關鍵



紀70年代，歷經多階段技術演進，學界與研究單位的主要成果有：

1.1970年代：日本電子技術實驗室研製了Okada靈巧手，這是早期的代表性成果之一。該手具有3根手指與1個手掌，拇指擁有3個自由度，其餘兩指各有4個自由度，採用電機驅動搭配肌腱傳動方式。

2.1980年代：美國Stanford University研發出Stanford Hand，具備3根完全相同的手指，共9個自由度。每根手指由4個馬達驅動，採用N+1腱結構進行傳動，是當時靈巧手技術的一大突破。

3.1990年代：義大利波隆納大學(Bologna)研發出UBHand I，以模組化設計簡化機械結構並整合感測器，採用腱繩傳動，驅動馬達安裝於手臂內部，有效降低了手部的重量與體積。

4.2011年：英國倫敦國王學院與中國天津大學合作開發Metamorphic Hand，其最大特色是可重構的手掌設計，手掌採用由5個連桿組成的球形五連桿機構，展現靈活的結構變化能力。

5.2016年：美國華盛頓大學推出基於仿生設計的靈巧手，重量不到1公斤。該手利用人造關節囊、韌帶、肌腱與彈性滑輪結構，實現輕量化與靈活運動。

6.RBO Hand 3：德國柏林工業大學開發的一款仿人且具柔性結構的機械手，是一種氣動驅動的多功能軟性靈巧手，擁有5根手指、16個獨立自由度，具有高柔順性與多樣的操作能力。

7.ILDA手：由韓國安州大學與韓國機械材料研究院合作研發，透過連桿機構實現聯動與獨立控制。具備15個自由度(20個關節)，指尖力達34 N(牛頓)，結構緊湊，重量僅1.1公斤，並在手指關節處配置觸覺感測器，提升操作靈敏度。

8.台灣清華大學(清華紳士仿人靈巧手，Fully-Actuated Dexterous Hand)，採用全驅動設計，能實現高自由度的手指動作，模擬人手在抓握與操作上的細膩動作。以及工研院的仿生多自由度機械手(Ochu)，結合力覺與觸覺感測技術，能適應不同物體形狀與操作任務，這是台灣在仿生靈巧手領域的重要成果。

上述國際研究成果展示了機器人靈巧手技術從剛性結構到仿生柔性設計的演進。學研單位外的代表企業有Qbrobotics、SCHUNK、Shadow Robot、TESLA(特斯拉)。這些企業成立較早，已有技術積累的優勢。例如SCHUNK於1982年開始從事機器人抓取技術的研究，其產品以工業級的可靠性和模組化設計著稱；Shadow Robot 成立於1997年，專注於高自由度靈巧手的研發，並且在AI融合方面有深厚的技術積累。

靈巧手是人型機器人成本占比很高的零件，依據不同的技術方案，其成本比例略有差異。現階段的靈巧手只能模擬並實現人手的部分功能，無論在硬體機構還是軟體控制上仍有很大發展空間。

二、技術仍處多種方案並存的發展期

靈巧手的傳動系統對其操作的穩定性與靈活性有深切的影響，目前主要可分為連桿傳動、繩驅傳動與齒輪傳動三大類。雖然至今仍無公認的主流技術方案，但是可依自由度數量、驅動方式與動力來源等面向加以分類，其中「傳動方式」是主要的劃分標準，依據不同傳動方式，靈巧手可分為齒輪傳動(含蝸輪蝸桿)、連桿傳動與腱繩傳動三種，如圖2所示。齒輪與連桿傳動的驅動器通常內置於靈巧手內部，而腱繩傳動的驅動器多位於手臂外部。

連桿傳動多應用於工業及假肢領域，具有剛性高、抓取力強的優點，但結構笨重、柔性不足。腱繩傳動則廣泛運用於科研與機器人領域，結構簡單、靈活性佳，但是控制精度較低、耐用度有限，例如 Shadow Dexterous Hand 就採用此技術，TESLA Optimus(特斯拉人型機器人)的靈巧手也是採用此技術方案，如圖3。齒輪傳動則多用於工業機器人，每根手指可獨立驅動，靈活度高，但結構複雜、容易出現故障且成本偏高。從設計上來看，特斯拉二代手部體積與前一代相近，驅動器採後置設計，並將所有驅動模組與前臂的線性執行器封裝於內部，整體結構看起來更為緊湊。

我們從特斯拉Optimus釋出的靈巧手影片中，可以看到其標榜著22個自由度的靈巧手成功接住網球，整體硬體動作協調流暢，極具擬人化特徵。在接球的瞬間，手部完成獨立抓握的同時，整個上肢甚至頭部也同步做出平衡調整，整個動作自然連貫。這凸顯了人型機器人必須先具備足夠強大的硬體基礎，才能實現類似人類的複雜動作；接著才仰賴大腦自主決策並產生行為的能力。

目前靈巧手的技術方案仍處於多路並進的發展階段，尚未形成主流標準。以傳動方式來看，中國大陸也已經有許多企業積極投入研發。從齒輪／直驅、腱繩與連桿三大類來區分：

- 1.連桿傳動：**具備高耐用性與穩定可控的運動軌跡，適合工業及高精度應用場景，是目前中國企業最常採用的方案，代表企業如因時機器人、強腦科技。
- 2.腱繩傳動：**擁有出色的柔順性，更接近人手的生物力學特性，適合需要柔性交互的任務，代表企業包括傲意科技與帕西尼感知。
- 3.齒輪／直驅傳動：**結構簡潔、響應速度快，代表企業則是星動紀元。

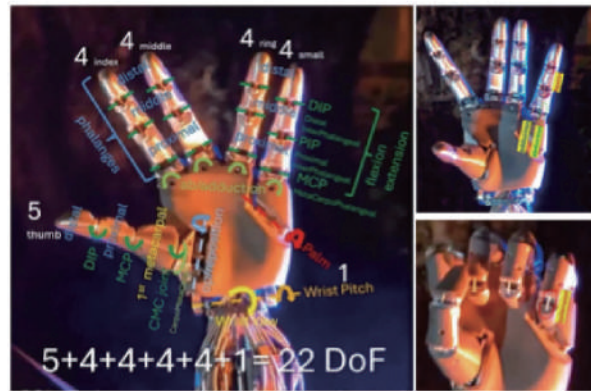


圖3、特斯拉機器人靈巧手的執行器數量達到22個
資料來源：工研院產科國際所

連桿傳動	繩驅傳動	齒輪傳動
多個連桿串並聯混合，傳遞運動和力矩	利用腱繩加上滑輪或者軟管實現傳動	使用微型諧波減速機、帶、齒輪驅動
優點： 傳動效率高、控制精度高、剛性佳、抓取力大、易於加工。	優點： 控制靈活、結構緊湊、柔性高、減輕末端負載、節約空間和成本。	優點： 手指動作相互獨立、更加靈活、傳動效率高、減速比大、抓取力大。
缺點： 結構複雜、抗衝擊能力弱、體積大、重量大、柔性不足。	缺點： 控制精度不高、抓取力不大、腱繩易磨損、負載能力弱。	缺點： 結構複雜、重量大、抗衝擊能力弱、故障率較高、成本高。
發展	發展	發展
韓國科學技術研究院 KISTHand	Shadow Robot Shadow機器手	德國宇航中心&哈爾濱工業大學 DLR/HIT II
韓國亞洲大學科學家團隊 ILDA	西班牙國防中心大學&法國交互式機器人實驗室 CEAdexterous	北京航空航天大學機器人研究所 BH-985
中國，因時機器人 RH56DFX	TESLA Optimus機器手	
	麻省理工學院和猶他大學 Utah/MIT	

圖2、機器人靈巧手依傳動機構區分
資料來源：工研院產科國際所

這顯示目前技術仍在多種方案並存的發展期，各路廠商依應用場景與技術優勢選擇不同的發展方向。

三、市場規模與產品市佔率

目前市面上可購得的靈巧手產品型式相當多樣，從雙指靈巧手(2指)到可模擬人手結構的多指靈巧手(3~5指甚至更多)皆有販售。隨著相關技術的研發，機器人靈巧手的應用場景正不斷擴大，預期市場會呈現穩定且持續的成長。

2023年全球靈巧手市場的出貨量約為67萬個，市場規模達15.07億美元，預估到2030年，全球靈巧手市場的出貨量將成長至141萬個，市場規模有望突破30億美元，如圖4。原因是靈巧手正從實驗室技術逐步走向規模化應用，並將成為人型機器人與智慧製造領域的重要推進技人型機器人多指靈巧

手生產商主要包括Shadow Robot、特斯拉(Optimus)、北京因時機器人、浙江強腦科技、SCHUNK等，目前這五大廠商共佔有大約47%。

其他的主要業者包括Clone Robotics、北京思靈機器人、上海傲意信息科技、Qbrobotics、上海智元新創技術、帕西尼感知科技、Tokyo Robotics(2025年被安川電機收購)、北京星動紀元、靈心巧手、Wonik Robotics以及Robopreneur等，如圖5。

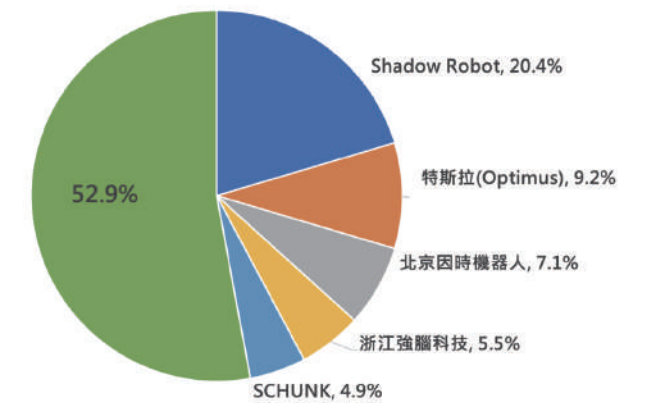


圖5、全球機器人靈巧手產品市佔率
資料來源：工研院產科國際所

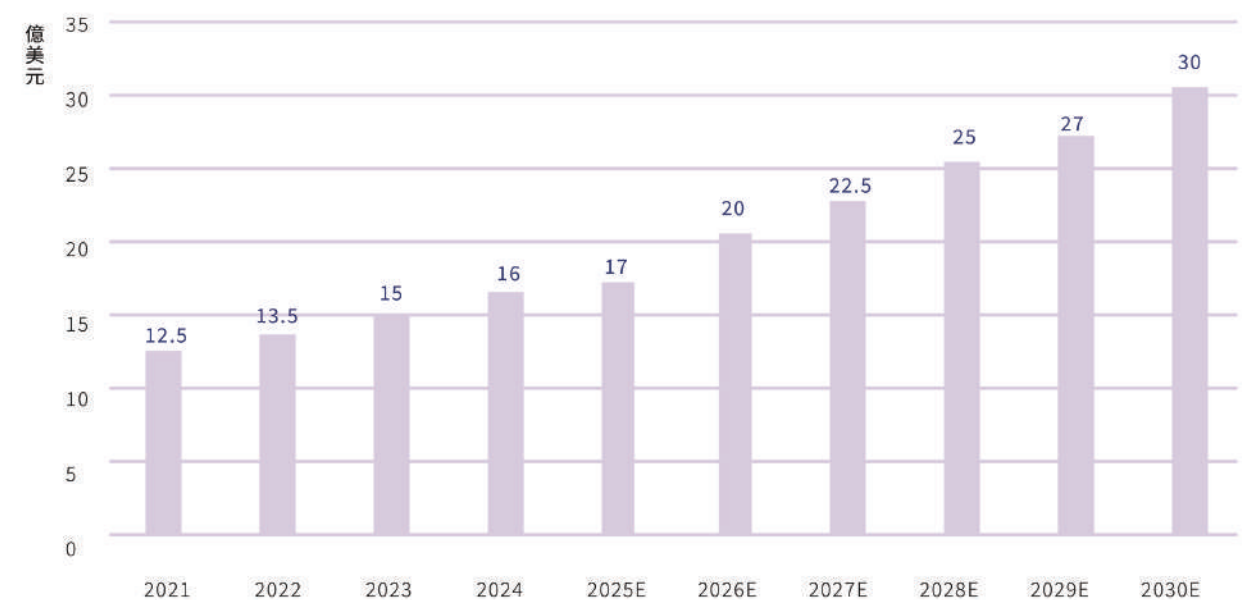


圖4、2021- 2030年全球機器人靈巧手市場規模
資料來源：工研院產科國際所

目前機器人靈巧手市場仍處於多方競爭、技術路線並行的發展階段。表1以自由度、驅動方式、傳動方案等對比目前國際上主流的靈巧手產品。

除了表1之外，成立於2024年的Mimic公司(瑞士蘇黎世聯邦理工學院的衍生公司)，在今年11月初完成1,600萬美元的種子輪融資。這輪融資由歐洲風險投資公司Elaia和Speedinvest領投，認購方包括Founder-lund、1st kind、10X Founders、2100 Ventures，紅杉資本Scout Fund也參與了投資。

我們分析它能獲得1,600萬美元種子輪融資的原因是開發了「智慧型控制與工程解決方案」，革新製造業中的組裝和物流業中的取放等複雜、靈巧任務的自動化。我們認為這個創新將有助於人機協作的應用，並可廣泛運用於製造系統的發展——讓機器人靈巧手很快就學會人手的動作並且自動學習人手的動作。Mimic的技術特點在於以人工智慧模型取代其傳統的程式化控制。

Mimic這家新創公司希望發展機器人能完成像人手一樣有動力的靈巧任務。Mimic共同創辦人兼首席執行長Stephan-Daniel Graver 在新聞稿中指出：「人類動作是令人驚嘆的，但在工業中仍是黑盒子，全球自動化尚無法實現這樣的靈巧作業。我們的方案是將機器人靈巧手與熟練工人的感知和動作結合，讓機器人靈巧手能夠學習人類的精細動作，並以智慧機器的方式重現。」

他們做出了解決這一個挑戰的「人類動作擷取」與控制機器人靈巧手的人工智慧模型——基於人類數據訓練的人工智慧模型，Mimic的核心技術是基於「模仿人類工作的人工智慧模型」。目標是「釋放機器人靈巧手

的潛力，幫助工廠提高生產靈活度，並為製造業加速導入更高效率的人工智慧。」

為了構建長期用於機器人領域的數據庫，Mimic公司使用自研的數據蒐集系統，讓操作員和工廠員工在工作時的行為自動轉化為訓練數據，使Mimic能夠在不斷生成的海量數據下，從實際生產環境中蒐集有用的運作數據。這些數據將用於透過模擬學習訓練的人工智慧模型，使機器人靈巧手能夠學習並重現人類的操作技巧。Mimic公司稱其模型的目標是自動切換多種任務、處理工件，並在專為人類設計的環境中運行。

「我們的目標是讓人工智慧模型使我們能以前所未有的方式實現人工勞動的自動化」聯合創辦人兼首席技術長 Svenja Hoffmann 補充說道。

此外我們也觀察到以人工智慧驅動機器人手部靈巧技術的公司：新加坡新創公司 Sharpa Robotics，該公司研發SharpaWave機械手，透過指尖觸覺感應模組模擬人類手部的觸感。

表1、目前國際上主流靈巧手產品對比

	產品	成立時間	自由度	驅動方式	傳動方案
qbrobotics	qb SoftHand	2011	19	馬達	腱繩
SCHUNK	SVH	1945	20		連桿
Shadow Robot	Dexterous Robot Hand	1997	24		腱繩
TESLA	Optimus Gen3	2003	22		腱繩
因時機器人	RH56BFX系列	2016	6		螺桿
兆威機器人	兆威靈巧手	2001	17/20		螺桿
傲意科技	R0Hand	2015	6		螺桿
帕西尼	DexH5	2021	13		連桿

資料來源：工研院產科國際所

四、觸覺感測器讓靈巧手實現精細操作

人類的手部能即時感知力道、紋理、溫度與物體硬度等多種感覺，具有豐富多樣的感受(溫壓剪振物理性質)。人手指尖一平方公分至少包含70個壓力感測器、4 個溫度感測器和48個應變感測器，這相當於每平方公分大約有100個感測點的密度，豐富且高靈敏度的感覺能力，是人手能靈巧操作的重要基礎。

觸覺感測器是機器人靈巧手實現靈巧操作，與外界互動的關鍵技術之一。現階段觸覺感測器多集中於指尖，預期未來將延伸覆蓋至手掌甚至整隻手，應用規模和用量都將大幅增加。

從技術層面來說，觸覺技術涵蓋接觸、壓力、滑動、剛度與冷熱感知等面向，現今的機器人觸覺感測器以壓力感測與接觸感測為主。觸覺感測器在製造技術上，主要有MEMS(Micro-Electro-Mechanical System，微機電系統)與柔性感測器兩大類；MEMS將微型機構、感測器、執行器與訊號處理電路整合在晶片上，具備體積小、重量輕、成本低、功耗低、可靠性高且易於大量生產與智慧化整合的優勢。MEMS的主要感測方式包含壓阻式、電容式、壓電式與光電式，其中壓阻式憑藉靈敏度高、解析度佳、技術成熟與成本低，成為目前主流。

除了MEMS之外，柔性觸覺感測器(或者稱電子皮膚)也是快速興起的重要技術。柔性觸覺感測器利用柔性材料的物理特性，將外部的力學量轉換為電訊號。常用的基底材料包含PDMS(Polydimethylsiloxane，聚二甲基矽氧烷)與PVA(Polyvinyl Alcohol，聚乙烯醇)，敏感材料包括碳奈米管、石墨烯與導電高分子等，透過微奈米製程，可讓感測器緊密貼合人體皮膚或機器人的曲面，相較採用半導體工藝生產與封裝的MEMS結構較為柔性。

柔性感測器在感測原理上與MEMS類似，也可分為壓阻式、電容式、壓電式與摩擦電式。其中壓阻式與電容式技術最成熟、成本相對較低，因此成為目前柔性觸覺感測的主流方案，這類技術的成熟與量產，會是機器人靈巧手觸覺能力普及化的重要推手。

電子皮膚在靈敏度與解析度等性能上已經有顯著的提升，不過電子皮膚仍處於從實驗室走向產業化的初期階段。從性能角度看，電子皮膚的靈敏度、解析度等性能雖已有提升，但在大面積陣列化部署時，仍然面臨著高成本、拼接、電路連通性差等挑戰。

今年受到高度關注的還有視觸覺感測器(Vision-Based Tactile Sensor,VBTS)，它利用相機偵測表面形變，進而回饋接觸物的壓力、形狀與紋理等資訊。代表性產品有GelSight以及 Digit 360，後者是由Meta AI推出的一款全向指尖視觸覺感測器，具備超過18項感測功能，可偵測1mN的微小力道、7 μm的細微形變、最高9kHz的振動，甚至能感應熱量與氣味，有機會成為所謂的多模態感測器。

五、機器人靈巧手發展趨勢

從機器人靈巧手三大系統的技術發展趨勢來看：

1、驅動系統：目前主要採用馬達驅動、液壓驅動、氣動驅動與記憶合金驅動等方式。其中馬達驅動(特別是空心杯馬達)因體積小、轉速高、功率密度大、響應速度快，是目前的主流方案。

2、傳動系統：以腱繩與連桿兩種方案為主。連桿傳動具備可控性強的優勢，是目前中國大陸人型機器人應用最多的技術，並與減速機、滾珠螺桿等關鍵零件密切相關。

3、感知系統：主要由位置感測器、力/力矩感測器與觸覺感測器組成。其中MEMS觸覺感測器已廣泛應用，而電子皮膚技術的用量在未來有望大幅增加。

從產業發展的趨勢來看：

1. 靈巧手技術短期內將呈現多種路線並行發展

目前機器人靈巧手的技術路線尚未形成單一主流，各種技術方案預計在短期內仍將並存且持續演進，這主要源於下游應用場景的多樣化：例如，工業搬運需要高負載能力；家庭服務重視靈活性與輕量化；醫療手術則對精度與穩定性要求高。不同應用對靈巧手的性能訴求各不相同，因此難以出現「一種技術通用所有場景」的情況。從技術角度來看，各類馬達與傳動組件的性能差異，讓製造商能透過馬達模組、減速模組與傳動模組的靈活組合，針對不同應用在握力、負載、重量、體積、靈活度與精度等面向，打造多元化的性能配置。

2. 自由度提升與感測器普及將推升機器人靈巧手的價值

從特斯拉機器人的例子來看，靈巧手的自由度呈現穩定上升趨勢。目前大多數人型機器人手部自由度仍低於人手，這種差距直接限制了其靈活性與操作能力。隨著應用需求的提升與技術成熟，預期未來機器人靈巧手的自由度會持續增加。此外，觸覺感測器的單價雖可能下降，但隨著覆蓋範圍與使用數量的增長，其在整機中的價值占比有望提高。尤其在大模型訓練階段，高自由度靈巧手可實現更多細膩仿生的操作，可以為強化學習

提供觸覺與力覺的真實回饋，加速應用場景訓練的完善。像美國特斯拉、中國大陸靈心巧手等企業，已投入高自由度靈巧手的開發，強化具身智慧的數據資料庫，高自由度的靈巧手將成為人型機器人落地的重要驅動力。

3. 研發投入高且週期長，產業合作成主流模式

機器人靈巧手的研發難度高、工程量大，往往占機器人整機開發工作的一半。目前具備完全自主研發能力的本體廠商仍屬少數。若人型機器人邁入規模化量產，為了降低成本並提升研發效率，預計多數機器人本體廠商會與外部供應商合作開發與生產靈巧手，形成產業分工協作的生態格局。

結論

機器人靈巧手以人手為仿生設計的基礎，整合了驅動、傳動與感知三大系統，它應該要具備靈活性強、操作精細的特點。與傳統夾爪相比，機器人靈巧手的最大特色在於更高的自由度與更強的多樣性操作，能完成更複雜的抓取與互動任務。不過相較於夾爪，它的成本更高、結構更複雜，且在可靠性與維護便利性上仍有可進展的空間(靈巧手在設計上如何同時兼顧抓握力與作動速度，以及其末端操作精度如何與機械手臂本體的定位精度相互匹配)。

由於靈巧手的研發投入龐大、開發週期長，所以多數人型機器人本體廠商目前難以獨立完成全流程開發，因此普遍與外部供應商合作。整體而言，在人型機器人進入量產前，各家本體廠商的需求變化仍然很多，技術路線尚未定型且客製化的趨勢明顯，在這種情況下，能提供整手與模組化方案的靈巧手供應商，將在市場競爭中有更明顯的優勢。

TAICA

台灣智動化檢測驗證聯盟



加入聯盟

活動消息

Taiwan Automation Intelligence Certification Alliance

聯盟簡介 About Us

為建立一個智慧自動化安全管理機制宣傳之平台，本聯盟於 2022 年組成，整合並串聯自動化設備之製造、進口、系統整合、使用者、檢測驗證等產學研單位，加速擴大宣傳標準及檢測驗證之重要性，提升臺灣智慧自動化與機器人產業競爭力。

成立目的 Our Mission



協助臺灣廠商



推廣標準重要性



建立交流平台



促進智動產業發展

聯盟服務 Our Services

01 蒐集並推廣最新智動產業相關標準

- 推廣協會參與或制定之產業標準
- 國際標準參與並推廣

02 提供產業諮詢管道

- 作為新領域標準諮詢的第一步
- 蒐集並分享相關國際標準最新資訊

03 協助政府推進國內事業單位智慧自動化設備安全衛生提升

- 協助職安署討論工業用機器人源頭管理
- 協助規範場域安全、推動自主管理

04 推動國內外合作需求及檢測驗證媒合

- 協助進行檢測驗證諮詢
- 媒合優良測試實驗室及驗證機構

05 辦理實驗室能力一致性測試

- 提升數據影響報告及證書可信度
- 參考國際做法

06 教育訓練

- 依據業者需求辦理課程
- 專業課程接續顧問服務

從國際標竿廠商研究探討台灣發展靈巧手之機會

文 資策會產業情報研究所 (MIC) 盧冠芸資深產業分析師兼組長

靈巧手概況與市場

靈巧手 (Dexterous Hand) 是機器人技術中最能展現「人類作業智慧」的關鍵模組之一，其設計目標是模擬人手的多自由度運動與感知能力，使機器人能執行細微的抓取、捏持、組裝與互動任務。過去二十年，隨著高精度驅動器、力覺與觸覺感測、AI控制演算法的進步，靈巧手正從研究實驗室走向實際應用場域，包含協作型機器人、服務機器人與人形機器人等。

全球靈巧手市場隨著人形機器人發展而快速演進，除了人形機器人廠商為了更好地配適自有產品而自主研發之外，深耕於靈巧手模組的廠商或新創亦獲得絕佳的發展機會，目前依各廠商的目標客群與市場來區分，可概分為：(1) 研究與實驗平台市場，由英國Shadow Robot、美國Barrett、德國航太中心 (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.，縮寫DLR) 等主導，用於學術與AI訓練研究；(2) 工業與服務應用市場，如德國SCHUNK、韓國TESOLLO，聚焦於協作組裝與精密作業；(3) 智慧與感知導向市場，由澳洲Contactile、中國大陸PaXini等新創推動，透過觸覺與視覺融合形成「有感知的機器手」。

根據國際機器人聯合會 (International Federation of Robotics, IFR) 與多家機器人研究機構的估計，2024年全球靈巧手市場規模約為1億美元，年複合成長率接近三成，其中，關鍵成長動能來自人形機器人、AI自動作業、協作型產線、醫療輔具 (如義肢、外骨骼等) 與航太領域等。目前主流產品的技術成熟度 (Technology Readiness Level, TRL) 介於6至9之間，顯示整體產業正處於從實驗原型到商用量產的轉折期。

對台灣而言，靈巧手並不是一種只綁定在人形機器人的關鍵模組，而是「智慧機器人末端系統」的核心一環，可以想像成是更具「通用性的智慧夾爪」，面對少量多樣的作業環節，將能依其通用性，減少更換不同夾爪、夾具的時間，增加作業效率與生產力。掌握靈巧手關鍵技術，意味著可延伸至人形機器人、服務型機器人與智慧製造平台，與既有的馬達、減速器、感測器、控制器供應鏈高度連動，形成新的高值零組件出口解決方案。

靈巧手國際標竿廠商與產品分析

從「自由度與感知整合程度」以及「技術成熟度與可維運性」來看國際標竿廠商的發展，顯示靈巧手從研究走向應用已有四個主要的發展路線 (如圖一)，左上象限的仿生精密型 (如Shadow、DLR) 代表高技術密度但商用成本高；右上象限的感知智慧型 (如PaXini、Contactile) 則以多模態感測與AI控制為特色；下方兩象限的欠驅動柔順型 (如qbrobotics)；工業實用型 (如SCHUNK、TESOLLO) 已逐步邁向量產，成為市場導入的主力方向。儘管四個象限各具特性，但整體趨勢明確指向未來技術指向「精密」、「感知」、「實用」的融合，顯示市場正朝向模組化、高度整合且可量產的方向發展。



圖一、靈巧手技術分類象限

資料來源：各公司，MIC整理，2025年10月

四個象限廠商與產品解析如下：

1、仿生精密型 (Bio-Inspired Precision)

代表廠商包含Shadow Robot (英國)、DLR (德國) 與Tokyo Robotics (日本)，這類產品的核心目標是「最大程度模仿人手結構與動作」 (如表一)。

Shadow Robot的Shadow Dexterous Hand採用20個智慧關節模組實現24自由度 (Degree of Freedom, DoF)，拇指5個自由度，其餘手指3個自由度，結構近似人手，其模組內整合無刷馬達、減速器與力／位感測器及驅動電路，重量約4.3公斤，可透過Ether-CAT總線精密控制，該靈巧手被OpenAI用於強化學習操控研究，Shadow亦提供簡化版三指手 (Lite系列) 減少成本，係為AI機器作業研究的重要基準平台。

DLR與中國大陸哈爾濱工業大學 (Harbin Institute of Technology, HIT) 合作研發DLR/HIT Hand II，每隻手有5指、3指節，形成15個自由度的靈巧手，由15個獨立的無刷直流馬達驅動，每個關節均內建力／位感測器，可進行細微觸覺回饋控制，並採用內置驅動，重量約1.5公斤，強調高扭矩與全感測控制。該靈巧手驗證在有限空間內整合許多驅動和感測的可能性，但製造成本高昂且可靠性需長期測試。

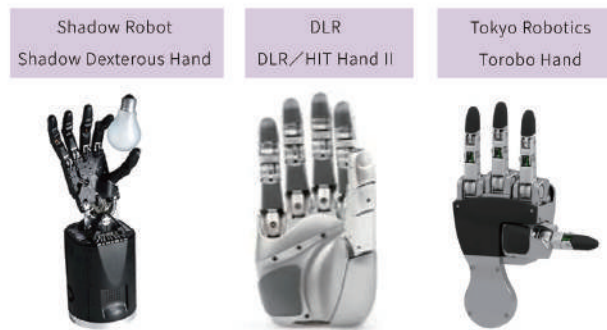
Tokyo Robotics專注人形機器人開發，Torobo Hand是其推出的靈巧手產品，僅有拇指、食指、中指、無名指等四指，但透過巧妙的機構設計實現13個自由度 (拇指4個自由度、其餘3個，其中一個從動)。Torobo Hand在小型化與精密度上具有創新，搭配自研的全球最小擺線齒輪減速器，使得關節模組十分緊湊，並在指尖與掌心配置23個壓力感測點 (每指尖4個，掌心7個)，覆蓋於可拆換的橡膠指套下，可精確調節手指阻抗，適合人形機器人整合。

仿生精密型產品技術水準高、造價昂貴，主要用於學研與太空遙控作業，技術成熟度多介於6—8，對台灣廠商而言，此類市場雖非短

期量產目標，但精密減速器、無刷驅動模組、軟性指關節材料皆屬可切入之零組件領域，特別是可與現有協作機器人或人形平台結合。

四個象限廠商與產品解析如下：

表一、仿生精密型靈巧手產品



資料來源：各廠商，MIC整理，2025年10月

2、欠驅動柔順型 (Underactuated Compliance)

代表廠商包含qrobotics (義大利)、Wonik Robotics (韓國)、ReFIND (韓國)，此類產品的設計理念為「以最少驅動達成自然握持」，藉由機械柔順與被動連桿實現自適應抓取 (如表二)。

qrobotics由義大利比薩大學團隊創立，其SoftHand系列將軟體機器人理念引入靈巧手設計，採用欠驅動原理，全手19個關節由一顆電機透過腱索和特殊差動機構讓手指自然彎曲，具有高度柔順性與耐用性，重量僅約0.8公斤，構造簡單，非常堅固耐用，可執行反覆抓取任務達數十萬次以上。該靈巧手已被整合於協作機械手臂 (如Fanuc CRX)，能處理包裹分揀、簡單組裝等任務，亦常用於教育和研發，惟其獨立手指動作有侷限性，無法完成精細的指尖作業，但在符合人體工學的整掌握持情境有極高性價比。

Allegro Hand原由加拿大SimLab開發，後由韓國Wonik引進量產，係為低成本研究型靈巧手的代表。Allegro為4指設計，每指4個關節共16個自由度，採用直流電機直驅配齒輪方案，為控制成本，該手未組裝力／觸覺感測器且手指尺寸略大於真人手，整手由一台控制器驅動，可通過USB或CAN與PC連接。Allegro重約1.1公斤，抓取力適中，精度有限但足以滿足一般抓握實驗。由於價格相對低廉 (報價僅數千美元)，在學術研究廣受歡迎，用於驗證控制演算法、人機協調等，主要作為開發平台，而非最終應用於嚴苛工業環境。

ReFIND為韓國新創，ROHAND系列產品源自其義肢研發經驗，ROHAND為4指欠驅動手，採類人手形態但僅拇指有兩個獨立關節，其他3指各1個主動關節帶動兩節手指 (透過機械連桿／彈簧)，整手共6個小型直流馬達，實現基本抓握的6個自由度，能完成抓取、捏持等動作。手掌內置驅動與控制模組，重量僅0.55公斤，並配套一副遙控手套，操作者戴手套做出手部動作時，機器手會跟隨模仿，以此實現遠端作業，此設計旨在方便使用者上手 (如讓截肢者透過剩餘肢體動作控制義手)，適用於遠距服務與輔助應用。

表二、欠驅動柔順型靈巧手產品



資料來源：各廠商，MIC整理，2025年10月

欠驅動柔順型產品重點在柔順性與性價比，可容忍誤差、避免過度擠壓，適合教育、服務與協作場域，TRL普遍達7—8，具備商業化基礎，對台灣廠商而言，此類設計對材料工程、聚合物包覆、腱索機構與驅動控制具潛在優勢，可結合本地馬達控制與3D列印製程，快速開發教育或服務型原型手。

3、感知智慧型 (Perceptive Intelligence)

代表廠商包含Contactile (澳洲) 與PaXini (中國大陸)，屬於新興「智慧感知應用」，著重於觸覺與視覺融合 (如表三)。

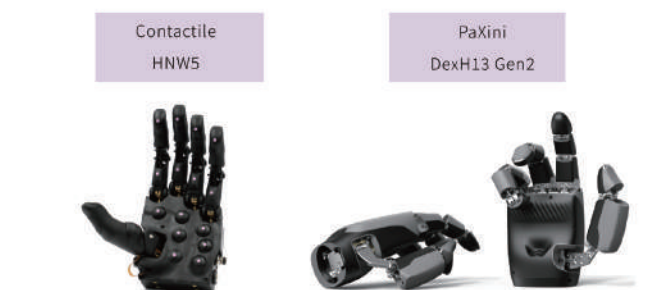
Contactile是澳洲新創，專注於觸覺感測，其HNW5五指手是為展示高解析度觸覺而設計的實驗平台，該手外觀接近人手，但實際驅動自由度僅6個 (掌握聯動驅動)，透過這6軸控制約15個關節的彎曲 (採欠驅動機構)，特殊之處在於每指內嵌光學觸覺陣列Papil-Array，可即時量測正向壓力、剪力與微滑動，此技術能判定摩擦係數、初滑點，實現「最小必要力抓取」，避免壓壞易碎品。Contactile並將技術延伸至GLB2與GAL2夾爪模組，使傳統工業夾爪具觸覺能力，但目前造價昂貴且驅動自由度較少，尚以研究應用為主。

PaXini (帕西尼) 是中國大陸的新創，以觸覺感測技術為核心，其DexH13第二代產品被稱為業界首款「多維觸覺結合AI視覺」雙模態靈巧手，採用四指、無小指，共16個自由度，其中13個關節由空心杯無刷馬達驅動，結合精密行星減速器，另有3個從動關節。機身整合高達1,140個微型觸覺傳感單元 (ITPU GEN2)，其手掌中央嵌入一個800萬像素RGB相機作為「手眼」，配合專用AI演算法，能在無需預先訓練

下估計物體的姿態 (如位置、朝向)。整手重量約1.5 kg，單指尖最大握持力15牛頓 (N)，目前處於試點應用階段。

感知智慧型產品是靈巧手發展的新興領域，重點在「可感知、可學習」作業，缺點在於成本高與資料處理負載大，對台灣廠商而言，機會在於觸覺晶片模組、光學或磁式感測陣列、AI控制板 (Edge SoM) 與機械視覺整合服務。

表三、感知智慧型靈巧手產品

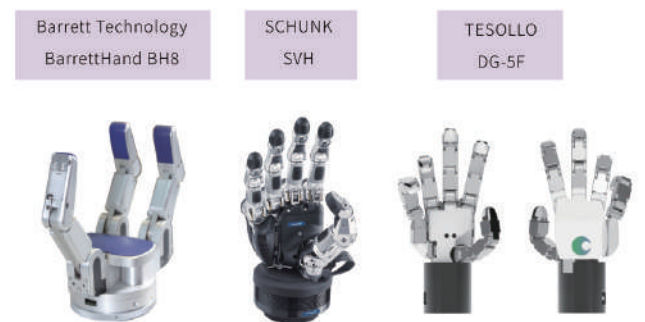


資料來源：各廠商，MIC整理，2025年10月

4、工業實用型 (Industrial Pragmatic)

代表廠商包含Barrett Technology (美國)、SCHUNK (德國) 與TESOLLO (韓國)，此類產品強調可靠度、標準化介面與可維護性，是目前最接近量產階段的方向 (如表四)。

表四、工業實用型靈巧手產品



資料來源：各廠商，MIC整理，2025年10月

BarrettHand BH8為三指八軸設計，其中兩指可同步展開以改變手型（對應一自由度），每指有兩節關節，由1顆馬達驅動並以內部連桿連動，總共4顆馬達實現8個自由度，整合驅動與控制電子，重量僅1公斤，可即插即用（Plug-and-Play）於多款機械手臂，具有指尖力覺回饋、30牛頓以上抓力。該手經多年改良，在學術和工業均有安裝案例，是少數真正商業化量產的靈巧手（TRL 9），其缺點是一指只有兩關節，靈活度不及五指手，適合簡化版靈巧作業場合。

德國SCHUNK以夾持技術聞名，其SVH五指手代表工業級靈巧手的典型，該手有5根類人手指，共9個獨立驅動器控制16個自由度（含4個被動連動），能實現人手95%以上的抓握姿勢，可直接安裝於機械手臂。每根手指內的微型伺服馬達透過齒輪／皮帶帶動關節轉動，並將控制器整合在手腕部，指尖和掌面覆有彈性橡膠，增加摩擦的同時提供緩衝（但因此最大握持力有限）。SVH透過CANopen介面通訊，已獲得CE認證，可在人機協作環境使用，並應用在汽車組裝協作機器人、醫療輔助機器人等末端，標誌著靈巧手向工業實用邁進（TRL 9）。

TESOLLO是近年崛起的韓國公司，其號稱全球首款完全商用化的五指靈巧手之一的

DG-5F，採用全驅動20個自由度設計，各指4個關節均由獨立馬達驅動，整手比照成年男性手掌設計，重量1.76公斤，機構上注重仿生與堅固並重，關節布局與人手相仿，使其能直觀地操作人類使用的各類工具；材料上選用鋁合金與工程塑膠結合，保持剛性的同時降低重量。該手的手指力矩充裕（可輕鬆托起滿水的水瓶），同時透過韌性連桿設計允許手指末端輕微讓位以防硬碰撞損壞。官方提供多種抓握模式（如尖捏、掌握、筆拿等）的開箱即用軟體範例，亦可選配高精度指尖六軸力感測器，目前已在韓國一些研究計畫和產線示範，現TRL約8，正朝TRL9（實際產線長期運行驗證）邁進。

此類產品以「穩定、模組化、可量產」為導向，象徵靈巧手產業邁入成熟期，對台灣而言，這類設計最具近期商機：可整合於協作機械臂、教育訓練平台與智慧製造單元，台灣廠商可自既有工業PC、I/O模組、ROS系統整合領域切入，建立本地品牌或ODM供應鏈。

整體而言，「仿生精密」與「感知智慧」型的靈巧手產品技術尚屬前瞻，商業門檻高，「欠驅動柔順」與「工業實用」型則具備量產潛力與近期市場可行性，中長期趨勢將是四者的融合，亦即具備高可靠度、感知模組化、柔順結構，最終走向人形機器人手部標準化（如表五）。

表五、國際標竿廠商靈巧手產品比較

類型	代表公司	自由度範圍	感測整合	成本級距	TRL	主要應用
仿生精密型	Shadow、DLR、Tokyo Robotics	13－24	力／位置／部分觸覺	高	6－8	研究、太空、AI學習
欠驅動柔順型	Qbrobotics、Wonik、ReFIND	6－19	無或低階力覺	低	7－8	教育、服務、協作
感知智慧型	Contactile、PaXini	6－16	高密度觸覺／視覺	高	6－8	精密抓取、自適應作業
工業實用型	Barrett、SCHUNK、TESOLLO	8－20	中階力覺	中	8－9	組裝、協作、生產線

資料來源：各廠商，MIC整理，2025年10月

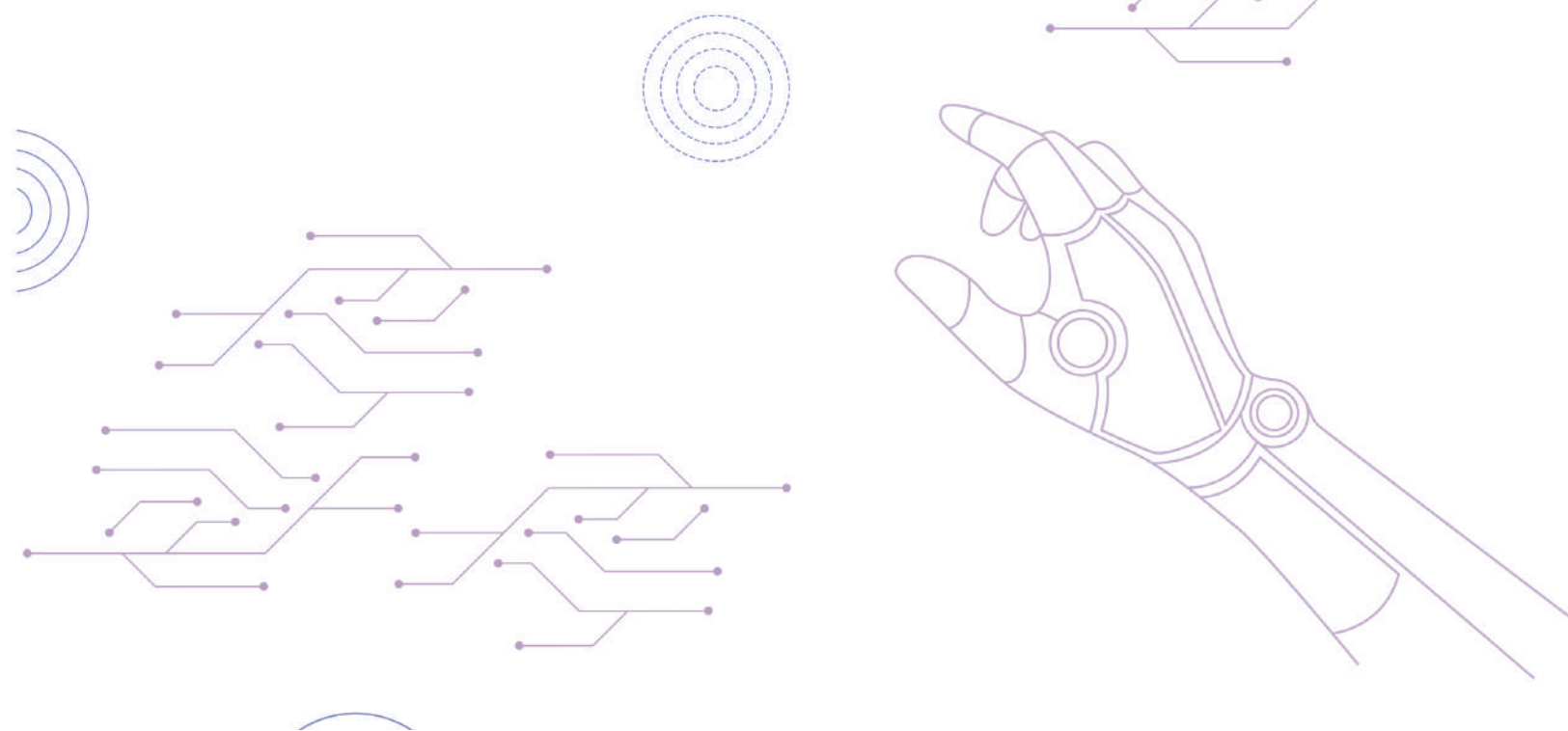
台灣於靈巧手之發展機會

靈巧手作為機器人技術的關鍵模組，正從實驗室走向產業化，目前發展路徑已逐漸清晰：從追求高仿生與高自由度的研究階段，進入強調可靠性與經濟效益的工業應用，如今正邁向人形機器人標準化模組的新階段。Barrett、SCHUNK等公司已在工業應用中驗證其價值，而Tesla與新創團隊則推動靈巧手成為服務型與消費型機器人的核心組件。

未來的技術突破將聚焦四大方向，首先是熱管理，需透過導熱材料和散熱方案，提升高功率驅動器的連續運作能力；其次是視覺與觸覺融合，結合高解析度相機與高密度觸覺皮膚，使機器手具備感知環境與精細操作的能力；第三是AI智慧抓取控制，藉由深度學習與強化學習，讓機器手能自主學習各類物體的操作策略，甚至形成群體智慧；最後是成本與輕量化，透過設計簡化、3D列印、欠驅動機構及新材料，使靈巧手更平價、輕便並具量產潛力。

對台灣而言，應從優勢領域出發：一是聚焦零組件創新與模組整合，如微型減速器、編碼器與力覺感測器，切入國際供應鏈；二是建立國際合作示範場域，結合ROS2、NVIDIA Isaac平臺，推動開源合作與競賽；三是發揮精密機械與電子控制整合優勢，由機械與電子廠協同開發模組化靈巧手。

總結而言，靈巧手正進入從量變到質變的關鍵年。若台灣能整合機械製造、電子控制與AI技術，將有機會在全球「智慧之手」的競逐中，建立屬於自己的創新標竿。



靈巧手的綜合性回顧： 從涵義、評估、設計到功能實現



國立台灣大學機械系莊嘉揚特聘教授兼系主任、林佑穎博士生

靈巧性 (dexterity) 指能迅速且熟練地完成困難手部動作的能力，而靈巧手的研究正是致力於發展這樣的能力，讓機器手能像人手一樣靈巧的抓握與操作物體。儘管如此，若不是為了美觀與擬人化的需求，靈巧手並不需要以人形的結構來實現這些功能。事實上從運動學的角度來看，人手並不是最能夠達到「靈巧」的構形。許多非擬人設計的靈巧手早已存在，例如最早期的靈巧手 Salisbury Hand，就不是以模仿人手構形出發，而是透過機構學與運動學的討論來實現靈巧手的兩大理想功能：其一是當手指關節能活動時，機器手能夠施加對應的力量讓物體產生任意的速度；其二是當手指關節被鎖定時，機器手應能限制物體的運動。一種在理論上能夠滿足這些需求的典型運動學佈局，便是使用三根手指、每指含三個關節的機器手[1]。

這正是 Salisbury Hand 所採用的設計，也被視為靈巧手設計的標準範例。然而，可以在靈巧手的開發與研究文獻中觀察到，除了追求對物體運動的完全控制之外，還存在另一個研究趨勢：在簡化設計與實現靈巧性之間尋求平衡。換言之，「在較低運動自由度 (degrees of freedom) 或驅動自由度 (degrees of actuation) 的情況下，機器手還能擁有多大的靈巧性？」亦是當今靈巧手的研究問題，而針對這個問題的解答，便可見於欠驅動 (underactuated) 或低自由度全驅動 (fully actuated) 靈巧手的研究中。以下將從靈巧的涵義與評估方式、靈巧手的設計，到抓握與操作物體的方法等面向，綜觀回顧靈巧手的發展。

(本文節錄並改寫自文獻[2])

	Power						Intermediate			Precision				
Opp:	Palm		Pad				Side			Pad				Side
VF:	3-5	2-5	2	2-3	2-4	2-5	2	3	3-4	2	2-3	2-4	2-5	3
Thumb abduction		1: Large Diameter 2: Small Diameter 3: Medium Wrap 10: Power Disk 11: Power Sphere	31: Ring	28: Sphere 3 Finger	18: Extension Type 26: Sphere 4 Finger	19: Distal Type	23: Adduction Grip		21: Tripod Variation	9: Palmar Pinch 24: Tip Pinch 33: Inferior Pincer	8: Prismatic 2 Finger 14: Tripod	7: Prismatic 3 Finger 27: Quadpod	6: Prismatic 4 Finger 12: Precision Disk 13: Precision Sphere	20: Writing Tripod
Thumb adduction	17: Index Finger Extension	4: Adducted Thumb 5: Light Tool 15: Fixed Hook 30: Palmar					16: Lateral 29: Stick 32: Ventral	25: Lateral Tripod					22: Parallel Extension	

圖1. GRASP分類法[3] (圖片源自文獻[2])

1. 靈巧性的涵義與評估

機器手可以分成未持有物體、靜態抓握物體，與動態操作物體這三種狀態。他們帶出了靈巧的三個涵義，分別為潛在靈巧性、抓握靈巧性，與操作靈巧性。

潛在靈巧性指機器手在未持有物體時，能夠達到的姿勢組合或構形多樣性，其主要取決於機器手的運動學佈局。評估潛在靈巧性的指標包含運動冗餘度 (kinematic redundancy)、工作空間大小 (workspace volume)、拇指對掌

能力 (thumb opposability) 以及姿態多樣性 (posture diversity) 等。這些特性越豐富，機器手所能涵蓋的運動範圍或可執行的任務也越多。

抓握靈巧性則評估當物體被穩定地握於機器手中，手能夠以多少種靜態姿態持有物體。抓握靈巧性可以用靈巧手能達成抓握姿態的數量來評估，而針對抓握姿態則有不同的分類法 (Taxonomy)，例如 Kamakura 分類法、Cutkosky 分類法、Feix 分類法，以及 GRASP 分類法 (圖1) 等。

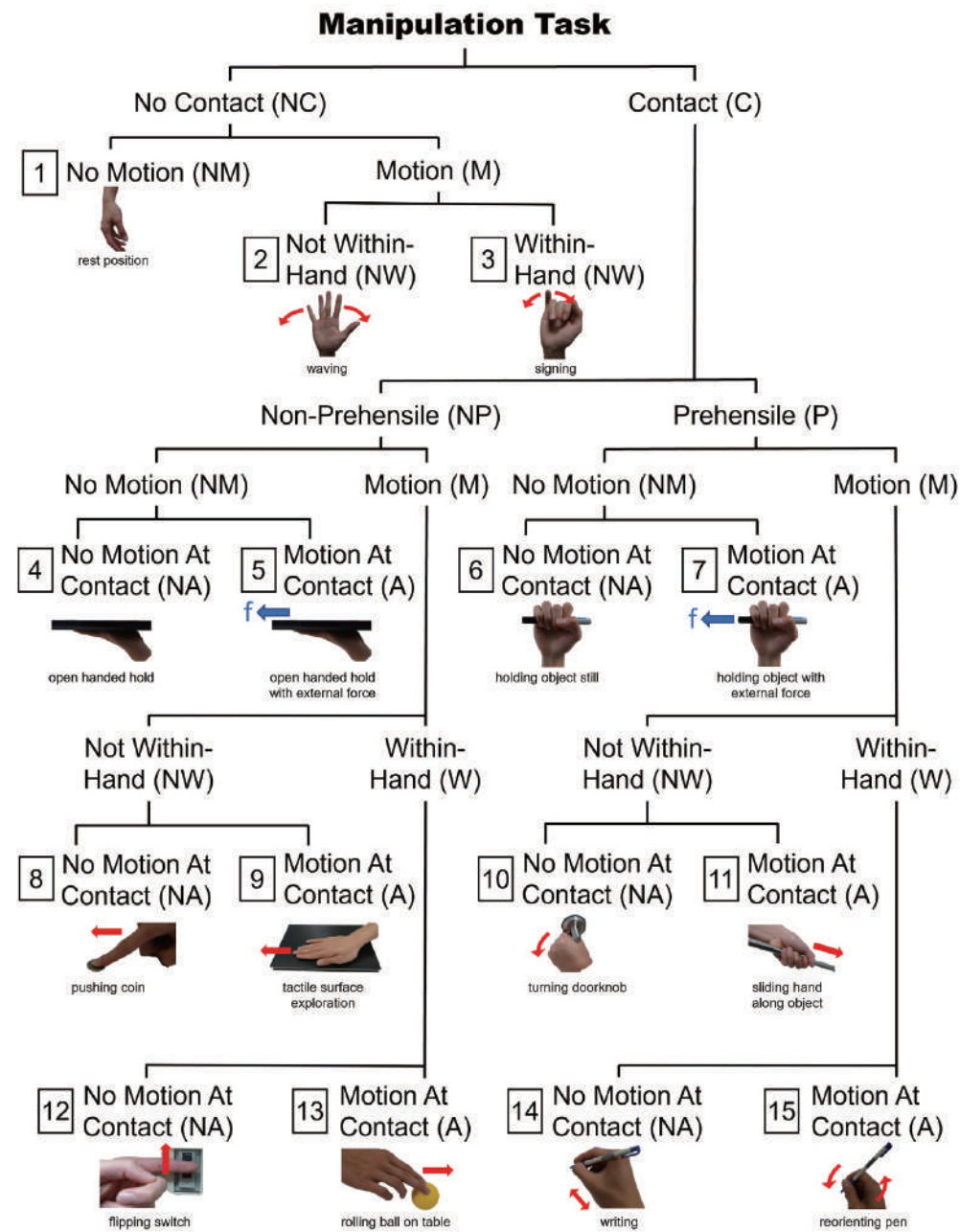


圖2. Manipulation分類法[5] (圖片源自文獻[2])

而操作靈巧性就是穩定操作物體的能力。在文獻[4]中，操作靈巧性被定義為：「在遵守既定軌跡並確保物體穩定的前提下，將被抓握的物體從初始構形移動到最終構形的能力。」作者並據此觀點，提出純旋轉指標、路徑誤差、軌跡誤差與振幅誤差這四個指標來評估靈巧手操作物體的能力。操作靈巧性亦能以達成不同操作的數量來評估，而對應的分類例如Manipulation分類法(圖2)。

2. 靈巧手的設計

2.1 兩指靈巧手

儘管簡單的平行夾爪無法執行靈巧操作，這並不代表兩指機器手就無法勝任此類任務。事實上，可以在文獻中看到，透過簡單地加入一些驅動自由度，兩指機器手也能達成不同層級的靈巧操作。例如文獻[6]提出了具有6自由度的氣動仿生軟硬結構混合夾爪(bio-inspired hybrid gripper, BHG6)，其核心元件為模仿人類手部掌指關節設計的「氣動協同對準關節」(pneumatic synergistic alignment joint, PSAJ)，由一個萬向關節與三個波紋管式氣動執行器(bellow actuator)組成，可實現兩自由度運動。該靈巧手能進行靈巧的手內操作(in-hand manipulation)，例如旋轉、平移手中的球體、轉筆，甚至能夠配合機器手臂完成摺疊毛巾的任務。

2.2 三指靈巧手

具備完整致動功能的三指靈巧手的實例有許多，其中例如商用靈巧手Shadow DEX-EE Hand。它是一款以繩線驅動、包含三根模組化手指的靈巧手，且每根手指具有四個關節：基部關節、近端關節、中段關節與遠端關節，這四個關節由五顆馬達以N+1繩線傳動的方式控制。其手指上的觸覺感測器也具模組化設計，可被拆卸與更換[7]。

三指靈巧手的也有欠驅動設計。例如在文獻[8]中，iRobot-Harvard-Yale (iHY) Hand是一款以繩線驅動的欠驅動機器手，能夠同時實現強力的包覆式抓握與低剛性的指尖抓握，並具備多項基本的操作功能，包括手內抓握轉換(in-hand grasp transitions)與基本的工具使用任務。這款靈巧手也作為其3D列印版本「

Yale Model O Hand」的原型，後者成為多項手內操作研究的實驗平台。

2.3 四指靈巧手

在四指靈巧手中，有一些採用了人形設計，例如Utah/M.I.T. Dextrous Hand、DLR Hand I與II、Allegro Hand，以及 RoBioSS Hand。其中，Allegro Hand採用了一種特殊的運動學配置：使用滾轉-俯仰(roll-pitch)型式的掌指關節，而非普遍如同人類掌指關節的偏航-俯仰(yaw-pitch)型式。其研究指出，使用滾轉-俯仰型掌指關節可提升拇指對掌性指標(thumb opposability index)和操作性測度(manipulability measure)等靈巧性指標[14]。

在非擬人化設計的四指靈巧手中，許多設計採用了同心配置。例如在文獻[9]中，研究人員提出了一種具有雙迴轉機構的四指靈巧手，其中兩指可於內圈獨立旋轉，另外兩個則可旋轉於外圈，且兩圈有共同的中心。在此配置下，此靈巧手可執行瓶蓋開啟(由兩指持瓶、兩指轉蓋)等通常需要兩隻機器手協作完成的任務。

2.4 五指靈巧手

幾乎所有五指靈巧手都採用人形設計。例如Shadow Motor Hand是一款商用的靈巧手，也作為許多關於抓握與操作研究的實驗平台。該手具有24個關節，其中食指、中指、無名指擁有4個關節，拇指與小指拇指有5個關節，且每根手指的遠端指間關節與近端指間關節的運動是耦合的。加上手腕的2個關節，總共擁有20個運動自由度[10]。

在五指靈巧手中，即便使用較低的驅動自由度，也能達成某種程度的靈巧操作。例如

Pisa/IIT SoftHand 2是一款僅具2個驅動自由度的欠驅動靈巧手。透過控制兩顆馬達的驅動方向，可實現兩種抓握協同模式(synergies)：五指同步張合與交錯張合。利用五指交錯張合的動作，Pisa/IIT SoftHand能旋轉手中的物體[11]。

3. 抓握與操作

靈巧手的設計是為了執行靈巧操作的任務，而抓握(grasping)與操作(manipulation)是兩項最主要的研究主題。

3.1 抓握

最初研究人員多採用解析法規劃靈巧手的抓握，而這類方法通常需要預先取得靈巧手與待抓取物體的運動學與幾何資訊，並可分為兩個階段：第一階段是尋找能穩定物體的接觸點組合，第二階段則計算靈巧手對應的姿態。不過在實作過程中，兩階段通常混合進行：與其直接求解接觸點組合，實務上往往先隨機選取接觸點，並在求解手部姿態後，評估這些接觸點的抓握穩定性。這種方法的實例可見於DLR Hand II的抓取規劃器中，該規劃器的整體效能約可在一台配備Pentium III 700 MHz的Linux電腦上，根據物體複雜度不同，在20到60秒內產生約100個有效且力封閉(force closure)的抓握候選解[12]。

前述的解析式抓握產生方法通常需要精確且已知的物體幾何與物理模型，至於如何泛化至未知物體，則可透過機器學習方法加以解決。針對抓握未知物體時幾何資訊缺乏的問題，一種解法是使用形狀補全技術(shape completion)。這項技術利用深度神經網路模型，建立出能將「不完整的物體形狀」對應到「完整的物體形狀」的模型。在實際應

用時，目標物體會首先被立體相機等感測器掃描，以獲得不完整的形狀，再透過神經網路推論出完整形狀，從而得以用抓握採樣工具(如GrasplIt!)進行抓握規劃[13]。

也有研究致力於訓練機器學習模型以從感測器資料直接預測抓握結果，這比上述傳統採樣方法在計算上更加快速。例如文獻[14]中提出了稱為Deep Dexterous Grasping in Clutter (DDGC)的深度神經網路模型，它能從RGB-D圖像與物體遮罩(mask)直接產生雜亂場景中的抓握姿態。此方法在模擬中相較於GrasplIt!的規劃器快了約4到5倍，且具有更高的抓握品質，在實驗中也顯示出更高的抓握成功率。

然而，這類仰賴模擬器產生抓握資料集的方法，不一定能產生「像人所採用的抓握」，無法滿足如服務與照護機器人等需要「擬人化動作」的應用場景。文獻[15]針對這個問題提供了解法，透過 Shadow Motor Hand的遠端操作系統進行人類示範來建立抓握姿態與運動序列的訓練資料，生成了名為Real-Dex的資料集。在此基礎上，研究者發展出一套架構，由條件變分自編碼器模型(conditional variational autoencoder, cVAE)根據真實感測器所擷取的物體點雲資料，為人形靈巧手產生擬人的抓握姿態與運動序列，接著交由多模態大型語言模型根據一系列的提示詞彙對這些姿態進行評分與篩選，以去除不像人為的抓握方式。

3.2 操作

與抓握規劃中的應用類似，機器學習模型也能被訓練來將感測器數據直接對應到致動器的輸出訊號，從而避免對運動學與接觸模型

的需求，進一步提升對不同或未知物體的操作泛化能力。例如在文獻[16]中，作者使用隨機森林迴歸模型(random forest regression)預測欠驅動的 Yale Model O Hand的致動器輸出，其輸入包含當前的抓握坐標系位置、期望抓握坐標系速度，以及接觸點形成的接觸三角關係。訓練完成後，該模型與模型預測控制(model predictive control)架構結合，形成完整的操作演算法，讓機器手在抓著不同物體時，都能以物體上的參考點筆畫出英文字母。此架構也被應用於文獻[17]，其中提出一個完全依賴彩色與深度影像作為輸入的插銷入孔(peg-in-hole)操作系統。該系統結合了基於視覺的物體姿態追蹤器、一個能用於未知物體(object agnostic)的手內操作架構，以及視覺回授控制器。其中，物體姿態追蹤器建立於機器學習模型se(3)-TrackNet，能將RGBD影像轉成物體姿態；而手內操作架構正是改良自文獻[16]，能將物體對x、y軸的目標旋轉速度直接轉為制動器訊號。除了監督式學習的方法外，強化學習(reinforcement learning)的發展也提升了靈巧手在操作任務中的能力。例如在文獻[18]中，OpenAI團隊在模擬環境中以強化學習模型對Shadow Dexterous Hand進行手內物體操作的訓練，其間將摩擦係數與物體外觀等物理屬性隨機化。這個方法最後成功讓Shadow Dexterous Hand在真實環境中在僅依靠視覺訊號的反饋對物體進行手內操作，實現了從模擬環境至實體環境的轉移(sim-to-real transfer)。

不過，雖然靈巧手領域從抓握姿態的生成到操作物體的控制策略都不斷進展，目前的技術與人類靈巧性相比可能還有一段距離。機器人專家Rodney Brooks就指出，目前不論學界

或業界，主流訓練靈巧手的方式是依賴物理模型與視覺反饋，而觸覺的訓練資料與反饋，不是缺乏便是與人手相比之下十分粗糙[19]。他引用Roland Johansson的實驗來說明觸覺反饋的重要性：在實驗中，受試者被要求拾起一根火柴棒，將它點燃並吹熄，他在五秒內便完成了；接著，他的拇指、食指與中指被注射麻藥，在這三隻指頭失去觸覺的情況下被要求再進行同樣的動作—儘管肌肉沒有被麻痺，但僅靠眼睛的反饋卻讓他花了將近三十秒才完成任務[20]。由此可見，觸覺訊號對於操作物體動作上的修正扮演重要角色，然而目前觸覺感測器的精密度仍然差人類一大截，觸覺訊號要如何分析、有哪些分類，又要如何應用於控制策略，仍是靈巧手領域能夠持續努力的方向。

4. 結論

綜觀靈巧手的研究發展，從靈巧性的評估指標、機構設計，再到生成抓握姿態與操作控制策略的演進，可以發見研究人員在追求機器手靈巧性的同時，也讓它針對環境越加具備彈性。當前研究不單只追求自由度的堆疊，亦著重於如何在有限的驅動資源與資訊中實現靈巧性，甚至面對模型沒有看過的物體，也能生成有效的抓握姿態與物體操作的控制。然而，從硬體層面中速度與力量的取捨、主動活動能力與被動適應性的取捨，到控制層面上對物體無需先驗知識的泛化能力，以及建模、計算成本、反應時間等問題，再到觸覺訊號等反饋機制的精進，仍是接下來的研究能持續努力的方向，讓機器手在各方面都越加接近人類的靈巧。

參考文獻

[1] J. K. Salisbury and J. J. Craig, "Articulated Hands: Force Control and Kinematic Issues," The International Journal of Robotics Research, vol. 1, no. 1, pp. 4-17, 1982, doi: 10.1177/027836498200100102.

[2] Y.-Y. Lin, R. Raj, and J.-Y. Juang, "A comprehensive review of dexterous robotic hands: design, implementation, and evaluation," Bioinspiration & Biomimetics, vol. 20, no. 4, p. 041003, 2025/07/07 2025, doi: 10.1088/1748-3190/ade7e1.

[3] T. Feix, J. Romero, H. B. Schmiedmayer, A. M. Dollar, and D. Kragic, "The GRASP Taxonomy of Human Grasp Types," IEEE Transactions on Human-Machine Systems, vol. 46, no. 1, pp. 66-77, 2016, doi: 10.1109/THMS.2015.2470657.

[4] P. Seguin, C. Preault, P. Vulliez, and J. P. Gazeau, "Approach for Real In-Hand Dexterity Evaluation: Application to the RoBioSS Hand," Journal of Mechanisms and Robotics, vol. 15, no. 6, 2023, doi: 10.1115/1.4056404.

[5] I. M. Bullock, R. R. Ma, and A. M. Dollar, "A Hand-Centric Classification of Human and Robot Dexterous Manipulation," IEEE Transactions on Haptics, vol. 6, no. 2, pp. 129-144, 2013, doi: 10.1109/TOH.2012.53.

[6] W. Zhu et al., "A Soft-Rigid Hybrid Gripper With Lateral Compliance and Dexterous In-Hand Manipulation," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 28, no. 1, pp. 104-115, 2023, doi: 10.1109/TMECH.2022.3195985.

[7] Shadow DEX-EE Hand Specifications, https://www.shadowrobot.com/DEX-EE/?gad_source=1&gclid=Cj0KC-QiAyc67BhDSARIsAM95Qzt-Wg_e8g-sA0lnLiEz9xj6WrFW6fbdQPJie4E6U7sGta1gCc2_wgYaApyAEALw_wcB, 2024.

[8] L. U. Odhner et al., "A compliant, underactuated hand for robust manipulation," The International Journal of Robotics Research, vol. 33, no. 5, pp. 736-752, 2014, doi: 10.1177/0278364913514466.

[9] M. Higashimori, J. Hieyong, I. Ishii, M. Kaneko, A. Namiki, and M. Ishikawa, "A New Four-Fingered Robot Hand with Dual Turning Mechanism," in Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 18-22 April 2005 2005, pp. 2679-2684, doi: 10.1109/ROBOT.2005.1570518.

[10] Shadow Dexterous Hand Technical Specification, 2025. [Online]. Available: <https://www.shadowrobot.com/dexterous-hand-series/>.

[11] C. D. Santina, C. Piazza, G. Grioli, M. G. Catalano, and A. Bicchi, "Toward Dexterous Manipulation With Augmented Adaptive Synergies: The Pisa/IIT SoftHand 2," IEEE Transactions on Robotics, vol. 34, no. 5, pp. 1141-1156, 2018, doi: 10.1109/TRO.2018.2830407.

[12] C. Borst, M. Fischer, S. Haidacher, H. Liu, and G. Hirzinger, "DLR hand II: experiments and experience with an anthropomorphic hand," in 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.03CH37422), 14-19 Sept. 2003 2003, vol. 1, pp. 702-707 vol.1, doi: 10.1109/ROBOT.2003.1241676.

[13] J. Varley, C. DeChant, A. Richardson, J. Ruales, and P. Allen, "Shape completion enabled robotic grasping," in 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 24-28 Sept. 2017 2017, pp. 2442-2447, doi: 10.1109/IROS.2017.8206060.

[14] J. Lundell, F. Verdoja, and V. Kyrki, "DDGC: Generative Deep Dexterous Grasping in Clutter," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 4, pp. 6899-6906, 2021, doi: 10.1109/LRA.2021.3096239.

[15] Y. Liu et al., "RealDex: Towards Human-like Grasping for Robotic Dexterous Hand," ArXiv, vol. abs/2402.13853, 2024.

[16] A. S. Morgan, K. Hang, and A. M. Dollar, "Object-Agnostic Dexterous Manipulation of Partially Constrained Trajectories," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 5, no. 4, pp. 5494-5501, 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.3007467.

[17] A. S. Morgan, B. Wen, J. Liang, A. Boularias, A. M. Dollar, and K. Bekris, "Vision-driven compliant manipulation for reliable, high-precision assembly tasks," arXiv preprint arXiv:2106.14070, 2021.

[18] O. M. Andrychowicz et al., "Learning dexterous in-hand manipulation," The International Journal of Robotics Research, vol. 39, no. 1, pp. 3-20, 2020, doi: 10.1177/0278364919887447.

[19] R. Brooks. "Why Today's Humanoids Won't Learn Dexterity." <https://rodney-brooks.com/why-todays-humanoids-wont-learn-dexterity/> (accessed 10/29, 2025).

[20] "Matches experiment with anesthesia by Dr Roland Johansson." <https://www.youtube.com/watch?v=1UbhIkDkUoc> (accessed 10/29, 2025).



Human-Like Dexterity: Bridging Innovation, Application, and Global Collaboration

By Harpal J.S. Mandaher, CD
Co-founder and CEO, Sarcomere Dynamics Inc. (Canada)

▼ Core Technology and Innovation

— Rethinking the Human Hand for General-Purpose Automation

Few components in robotics embody as much complexity and promise as the hand. The ability to grip, twist, or assemble diverse objects defines the boundary between rigid automation and true autonomy. At Sarcomere Dynamics, we have spent the past four years engineering that boundary away.

Our first product, the ARTUS Lite, represents a new generation of high-dexterity robotic hands, combining proprietary actuators, lightweight architecture, and software-defined control that together deliver near-human performance in a rugged industrial form factor. Designed and built entirely in Canada, the system fuses mechanical precision with adaptive intelligence to unlock applications previously limited to manual labor.

Traditional robotic hands rely on bulky servomotors or hydraulic drives that trade speed for torque. Sarcomere's actuators were designed from the ground up to close this gap. Each joint is controlled by a custom actuator with position and force sensors, achieving a 75% reduction in weight, 80% reduction in volume, and 225% increase in grip force compared with

leading high dexterity hands on the market today. All at a fraction of the price, allowing real-world applications.



Figure 1. The ARTUS Lite's form factor and near-human capabilities allow it to handle complex shapes and conduct in-hand manipulation such as triggering a power drill, while holding the heavy and odd shaped object steady.

With the ARTUS Lite, we delivered a rugged and capable, 20 degrees-of freedom (DoF) robotic hand for general-purpose automation in unstructured and dynamic environments. Like all our products, the ARTUS Lite is hardware and software agnostic: it can be integrated with any COBOT or industrial robotic arm, providing greater flexibility and ease of use.

Building on this early success and based on demand from customers in the humanoids and embodied AI sectors, we improved our actuator design and the precision of the embedded position and tactile sensors. The result is the 24 DoF, ARTUS Dex, a work-horse with a payload capacity of 20 kg, 1.5 Hz finger cycling speed, and force at the

fingertip of 35 N (3.5 kg). The human-form factor includes a 2-DoF wrist and weighs under 2.5 kg. The ARTUS Dex is undergoing beta testing with early adopters. Full production is set for Q1 2026.

The key to our early success lies in collaboration with customers and technology partners, incorporating their feedback into our development processes. This allowed the rapid refinement of our patent-pending actuators and electromechanical assembly. The result is a back drivable system, safe, responsive, and precise, capable of executing delicate pinches or powerful tool grips without reconfiguration.

Equally important, every actuator is software definable. Torque curves, stiffness, and control bandwidth can be tuned digitally, allowing the same hand to handle semiconductor wafers in the morning and torque wrenches in the afternoon. This versatility underpins Sarcomere's concept of Software-Defined Automation (SDA): automation that improves continuously through software updates rather than hardware redesign.

— High-DoF Architecture and Joint Breakthroughs

The ARTUS Lite offers 20 DoF (16 actuated, four underactuated), while the ARTUS Dex expands this to 24 DoF (20 actuated, four underactuated). Each joint includes precision position sensors, enabling

true multi-axis control rather than mechanically coupled motion.

Where conventional designs suffer from frictional drag or backlash, Sarcomere's tendon-assisted flexure joints achieve fluid motion with minimal hysteresis. The inclusion of elastic elements within each joint allows micro-compliance, absorbing shocks and enabling safer contact with humans or delicate materials.

Back-drivability, the ability for external forces to move joints without resistance, gives the ARTUS Dex a tactile quality rare in industrial robotics. When an operator bumps the hand or guides it manually, the system yields naturally. This property dramatically simplifies programming and ensures safe coexistence with humans on shared production floors.

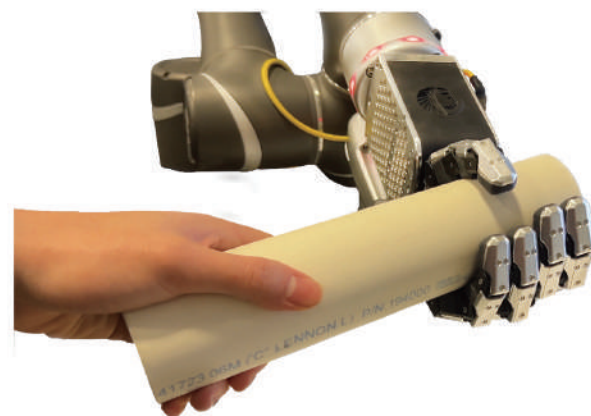


Figure 2. The ARTUS Lite is designed to be hardware and software agnostic and safe to use near humans.

— Embedded Intelligence: Touch, Vision, and Control

True dexterity demands feedback. The ARTUS Dex integrates tactile sensors across each fingertip, measuring normal and shear forces in real time. These sensors, sourced from partners in Australia, detect slip before it occurs, adjusting grip strength dynamically. Combined with stereoscopic vision or external cameras, the system forms a closed feedback loop that mimics human sensorimotor coordination.

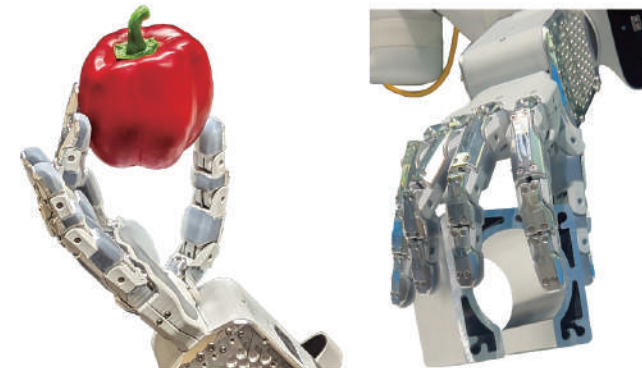


Figure 3. The indirect force feedback and position sensors, augment tactile sensors, to deliver dynamic grasping of a variety of objects, from delicate produce, such as bell peppers, to stock metal for machining operations.

Onboard microcontrollers process tactile and motion data locally at high frequency, minimizing latency. Meanwhile, Sarcomere's zero-shot grasping AI interprets visual scenes and develops grasp strategies for previously unseen objects. This fusion of mechanical fidelity and AI perception marks the transition from pre-programmed, rigid robots to dynamic automation solutions for out-of-the-box utility.

— R&D Lessons and Manufacturing for Scale

Achieving near-human dexterity presented steep engineering challenges. Early prototypes demonstrated dexterity but lacked industrial durability; others were rugged but under-actuated. The turning point came when our team moved away from off-the-shelf components and started developing and manufacturing key components in-house.

The second breakthrough was vertical integration. By manufacturing actuators, motor controllers, and firmware in-house, Sarcomere gained full control of cost and quality. This approach has already reduced the cost of goods sold (COGS) significantly, paving the way for scalable production, at competitive pricing, in Canada.

The ARTUS Lite and the ARTUS Dex are not research prototypes. They represent production-ready, field-validated end-of-arm tools, designed to run 24/7 in harsh industrial environments while retaining the finesse required for precision assembly.

▼ Real-World Applications and Market Value

— Automation Where Menial Labor Dominates

Despite decades of progress in robotics, roughly 70 percent of factory tasks worldwide remain manual, particularly those requiring fine manipulation, inspection, or part alignment. Rigid grippers and vacuum systems cannot adapt to object variability or geometry changes. ARTUS Lite and the ARTUS Dex bridge that divide.

— Electronics and Semiconductor Manufacturing

Sarcomere is conducting pilot programs with semiconductor and electronics manufacturers to automate device testing, socket loading, and small-part placement. The objective is to demonstrate that the hardware can replicate the versatility and dexterity of human hands.

— Automotive and Advanced Manufacturing

Automotive production increasingly relies on mixed-material assemblies (metal, plastic,

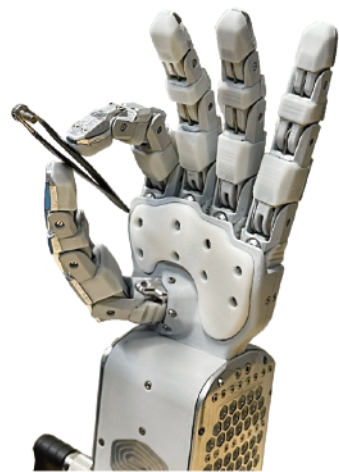


Figure 4. The 20 degrees-of-freedom allow the ARTUS Lite to move like a human hand. This picture shows the ARTUS Lite using tweezers to pick up a small bolt.

composites), each requiring different gripping dynamics. Use cases vary from kitting and sorting to bin-picking and complex parts assembly. Some early trials include sub-centimeter component manipulation in the hand before insertion, sheet metal placement into welding rigs, and handling stretchy fabrics. Planned trials include validation testing for cable routing, connector insertion, and component fastening within confined engine bays.

Paired hands on a dual-arm platform have performed cooperative tasks such as holding and screwing simultaneously, showcasing a level of coordination previously achievable only by human technicians. For automotive OEMs pursuing lights-out manufacturing, this capability closes one of the last gaps between manual and automated production.

— Healthcare and Assistive Robotics

Beyond industrial settings, Sarcomere's core technology translates naturally to assistive and healthcare robotics. The upcoming TALOS Hand, derived from ARTUS Lite's architecture, is undergoing trials as a prosthetic and in assistive care applications. The TALOS Hand is 10 DoF, with 4 underactuated. Compact and light-weight, the hand is designed to be rugged and functional.

In prosthetics, the challenge is combining low weight with high strength and intuitive control. TALOS achieves both,

delivering over 2 kilograms of fingertip force at a cycling speed of 1.1 Hz. The entire hand weighs under 650g.

Coupled with our AI enabled zero-shot grasping, the TALOS makes an excellent assistive device for the mobility challenged. The hand can handle any tool or utensil designed for the human hand. It is intuitive to use, allowing people with varied disabilities to control the hand, assisted by AI, through a variety of methods from speech recognition to eye-movement tracking. This work is still in its early stages and more R&D is required.

— Hazardous and Remote Operations

Dexterity also saves lives. Sarcomere's Hyperion teleoperation platforms use paired hands for remote manipulation in dangerous environments, from explosive ordnance disposal to nuclear inspection and disaster response. With force feedback and visual overlays, operators can safely manipulate tools or remove debris from kilometers away. In one test, Hyperion operated successfully across a 7,500 km link between operator and robot. AI augmentation allows the human to assume a supervisory role while autonomous control manages low-level tasks.

— Economic Value and Market Outlook

The global labor market is facing serious challenges, primarily driven by

demographic changes. More people are leaving the workforce than entering. According to UN data, four out of the top six economies in the world already have higher death rates than birth rates. Countries like Japan, Germany, and South Korea are heavily investing in automation solutions to address the labor shortages.

By enabling automation where labor shortages are most acute, Sarcomere's technology directly contributes to productivity, safety, and reshoring efforts in advanced economies. General-purpose automation is especially critical for small and medium enterprises (SME) that are engaged in small batch manufacturing.

With our software-define automation, SMEs can quickly switch between different manufacturing batches, easily, and without requiring down-time for re-tooling and configuration. This general-purpose automation system is also more economical compared to rigid solutions that require multiple end-of-arm tools and tool changers and need to be shutdown for re-tooling and reconfiguration.

— Software-Defined Automation: Unlocking Continuous Value

All our products are more than just hands; they are software platforms. Through the SDA framework, customers receive periodic AI model updates that enhance

performance post-deployment. As perception and control algorithms evolve, existing hands gain new capabilities automatically.

This subscription-based model turns robotic hardware into a living asset, ensuring long-term ROI. It also establishes a pathway for data-driven optimization: aggregated performance metrics across thousands of deployments can feed AI models that continually refine manipulation strategies.

▼ Collaboration Opportunities with Taiwan

— Why Taiwan Matters

Taiwan stands at the crossroads of precision hardware and intelligent systems. Its leadership in motors, reducers, sensors, semiconductors, and precision machining makes it indispensable to the global robotics supply chain. For companies like Sarcomere, which specialize in dexterous end-effectors and embedded intelligence, collaboration with Taiwanese enterprises is both strategic and synergistic.

Taiwan's expertise in harmonic drives, high-precision encoders, and compact power electronics directly complements Sarcomere's focus on actuator efficiency and modularity. Together, these strengths can enable a new class of cost-effective, human-safe manipulators ready for high-volume production.

— Synergies in Component Innovation

Actuation typically represents 40 to 60 percent of a humanoid or robotic hand's bill of materials. McKinsey's 2025 teardown analyses highlight this as the single largest opportunity for cost reduction. Taiwan's advanced motor-winding and gear manufacturing ecosystem could reduce unit costs dramatically while improving consistency.

Sarcomere envisions a modular system, integrating motors, gearboxes, sensing, and drive electronics into sealed, repeatable modules: one common module for the fingers, one for the thumb, and one for the wrist. Produced in Taiwan and assembled in Canada (or the target market region), these modules would simplify global supply chains and create standardized components for both industrial and humanoid robots.

— Integration with Taiwan's Semiconductor and AI Ecosystem

Dexterous robotics is increasingly data-driven. To process tactile and visual data in real time, hands require edge-AI processors with low latency and energy footprint. Taiwan's semiconductor industry, home to the world's most advanced foundries, offers the ideal environment for co-developing AI inference chips tailored for real-time manipulation.

A joint R&D initiative could yield embedded AI modules capable of processing multimodal sensory input within the hand itself, reducing reliance on external GPUs and lowering cost. These modules could form the foundation for a new export category: **AI-enabled mechatronic subsystems for global robotics.**

— Toward a Global Standard for Dexterity

As robotics shifts from rigid automation to embodied intelligence, standardization will define adoption speed. Taiwan's experience in precision manufacturing and Sarcomere's leadership in dexterous manipulation together form a strong basis for shaping international benchmarks.

These collaborations could position both Taiwan and Sarcomere at the forefront of a new global ecosystem—dexterous robotics at scale.

▼ Looking Ahead: The Next Leap in Automation

— From Components to General-purpose Automation Dexterity

The broader ambition behind Sarcomere's work is the creation of general-purpose automation: robotic systems capable of performing any manual task and moving between different tasks, safely, efficiently,

and continuously. This vision rests on three converging pillars:

1. High-Dexterity Hardware: Embodied by ARTUS Lite and its successors, delivering human-level manipulation.
2. AI-Driven Software: Zero-shot grasping, adaptive control, and continuous learning.
3. Modular, Trusted Manufacturing: Global partnerships ensuring scalability and affordability.

The combination of these pillars transforms how industries, from electronics to healthcare, approach productivity and workforce sustainability. Robots no longer replace humans; they enable humans to do more in environments and timeframes previously impossible.

— Scaling Through Collaboration

In 2026, Sarcomere plans to scale production to 100 hands per month at its new facility in Canada, to meet demand signals from global partners in humanoid robotics and industrial automation. Achieving that scale will depend on the collaborative networks now forming across North America, Europe, and Asia.

Taiwan's participation can accelerate this journey, bringing precision, reliability, and cost efficiency to the heart of dexterous robotics manufacturing.

— Sustainability and Human-Centric Automation

Every aspect of Sarcomere's design philosophy integrates sustainability and safety. Additive manufacturing minimizes waste; durable modular parts extend lifespan; and compliance-based motion ensures safe human-robot interaction. As industries face increasing ESG-Environmental, Social and Governance scrutiny, dexterous, energy-efficient robotics represent not only technological progress but also environmental and social responsibility.

▼ Conclusion: Bridging Nations Through Dexterity

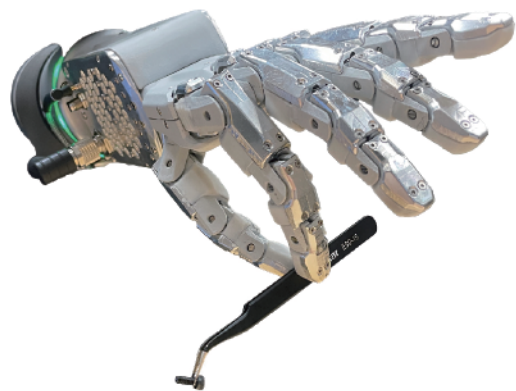


Figure 5. The ARTUS Lite is designed for repeatable precision, making the hand sufficiently rugged for industrial work, without sacrificing precision or economical pricing.

The story of ARTUS Lite is one of convergence: of mechanical ingenuity, artificial intelligence, and human ambition. In engineering hands that mirror our own, Sarcomere Dynamics has created more than

a tool; it has built a bridge between people and machines, between innovation and application, and between nations that share a commitment to precision and progress.

As the global robotics community prepares for the era of embodied AI, collaboration will be the true differentiator. Canada and Taiwan, each with unique strengths, can together define the next generation of dexterous, intelligent automation.

Sarcomere Dynamics welcomes dialogue with Taiwanese partners, manufacturers, researchers, and investors, to explore this shared frontier. By combining with Taiwan's excellence in precision components and intelligent systems, we can accelerate the arrival of a world where machines work safely and skillfully alongside humans.

掌握未來趨勢

「機器人工程師」「自動化工程師」證照

全台首創機器手臂術科考試

原理 + 實作 + 證照 = 贏得就業先機

機器人術科考試方式及合格場域資訊
請見官網考試資格及規定



學科考試日程

證照名稱	考試時間	報名時間
「機器人工程師」證照 「自動化工程師」證照	5月/11月	3-4月/9-10月



◆ 機器人工程師及自動化工程師書籍



更多購買資訊及證照考試內容請至協會官網查詢
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 www.tairoa.org.tw



SCHUNK SVH 5-Finger Hand was the first robotic hand in the world to be DGUV-certified for collaborative use.

Dexterous Robotic Hands: The Next Leap in AI-Driven Automation

SCHUNK SE & Co. KG
31.10.2025

For decades, the human hand has represented the pinnacle of dexterity. From handling utensils and assembling components to performing intricate tasks, the hand's multiple degrees of freedom and sensory capabilities surpass any modern mechanical system. The human hand remains the benchmark for flexibility when it comes to gripping tools. Today, as artificial intelligence (AI) and automation technologies advance rapidly, replicating human hand capabilities in robots has become both a technological and economical imperative.

Dexterous robotic hands—often regarded as one of the most complex and symbolically “human” components of robotics—have evolved from academic prototypes to commercially viable systems. Their growing market is driven by three main sectors:

- 1. Industrial automation**, especially in repetitive assembly and the handling of hazardous or fragile parts;
- 2. Service and collaborative robots**, including logistics, retail, catering, and assistive applications;
- 3. Medical and rehabilitation technologies**, such as prosthetics and surgical assistance.

Market scale and drivers

Recent industry reports and investment analyses suggest that the global dexterous hand market reached a multi-hundred-

million to multi-billion USD scale, and is projected to grow at a double-digit to ~20% compound annual growth rate (CAGR) through 2030. While exact figures vary depending on product definitions and inclusion criteria, the consensus is that the market is expanding rapidly.

Several factors underpin this growth:

Declining component costs: Prices of miniature brushless motors, tactile sensors, and compact controllers have dropped significantly over the past decade, lowering entry barriers for manufacturers.

AI-driven manipulation: Reinforcement learning and simulation-based control now allow robotic hands to learn complex manipulation strategies, transferring skills from virtual to real-world environments.

Labor and safety needs: Enterprises increasingly seek robotic solutions for dangerous, repetitive, or precision tasks that are costly or risky for humans.

The humanoid robot boom: Major players with substantial financial resources—Tesla, Figure, Agility Robotics, Sanctuary AI, and others—are pushing for human-like manipulation capabilities to enable robots to function in human environments.

Collectively, these forces have transformed the dexterous hand from a niche research

tool into a strategic enabler for next-generation embodied AI and automation.

Particularly in service and collaborative robotics, there is a growing demand for robotic manipulators that can perform diverse gripping tasks and operate seamlessly alongside humans. This challenge is not merely mechanical: cost-effectiveness, intuitive usability, and safety are just as important. Traditional industrial grippers focus on strength and durability, but the next generation of robotic hands emphasizes dexterity—the ability to perform fine, adaptive motions in dynamic, real-world environments.

The closer humans and robots collaborate, the greater the relevance of humanoid 5-finger hands becomes. “In extreme cases, humans and service robots will share the same workspace, including all tools and equipment,” says Dr. Martin May, Director Technology & Innovation Management at SCHUNK. For this reason, the SCHUNK SVH 5-Finger Hand was the first robotic hand in the world to be DGUV-certified for collaborative use in 2017. With nine drives, its five fingers can perform a wide range of gripping operations. Additionally, the hand can represent numerous gestures, facilitating visual communication between humans and service robots while increasing acceptance in human environments.

The SCHUNK SVH (Servo-Electric 5-Finger Gripping Hand) is widely recognized as one of the most mature and industrially deployable dexterous hands on the market.

Developed by SCHUNK SE & Co. KG—an established German leader in clamping, gripping and automation technology—the SVH represents the company’s effort to bridge the gap between anthropomorphic dexterity and industrial-grade robustness.



SCHUNK and NEURA Robotics are collaborating at automatica 2025 to showcase their shared vision of how humanoid robotics can drive industrial advancement.

Core R&D Challenges

Despite the progress, dexterous hand development remains one of the most technically demanding frontiers in robotics. The main challenges can be grouped into five categories:

(1) Sensing and tactile perception

Human hands can sense micro-forces, friction, texture, and deformation in real time. Reproducing such capabilities requires

density, multi-modal tactile sensing—covering pressure, shear, vibration, and temperature—combined with robust materials and fast signal processing.

However, today’s sensors face trade-offs between resolution, durability, integration complexity, and cost. Moreover, calibrating thousands of tactile channels in real-world environments remains an open challenge.

(2) High-dimensional control and planning

Dexterous hands often have 15–25 degrees of freedom (DOFs), leading to extremely complex motion planning and feedback control problems. Achieving stable grasping and manipulation in the presence of uncertainty (friction, shape variation, compliance) requires real-time computation and learning-based adaptive strategies.

While reinforcement learning (RL) has demonstrated success in simulation, sim-to-real transfer is still limited by domain gaps—e.g. differences in friction, delay, and noise—that cause unstable performance or even damage in real hardware.

(3) Mechanical design trade-offs

Designers constantly balance dexterity, robustness, and cost. Choices such as the number of actuated joints, tendon routing, drive placement (internal vs. external), and

material stiffness (rigid vs. soft) determine both performance and manufacturability.

Commercial deployments often prioritize reliability and affordability, meaning most available products compromise dexterity compared to research-grade or human-level hands.

(4) System integration and safety

A dexterous hand is never used in isolation—it must integrate seamlessly with vision, motion planning, and force control systems. For human-robot collaboration (HRC) or public-space robots, safety certification and fault tolerance become crucial. Hardware redundancy, compliance mechanisms, and certified safety modes add engineering complexity.

(5) Lack of standardization and ecosystem maturity

There is no widely adopted standard for mechanical interfaces, communication protocols, or power connections among dexterous hands and robot arms.

Additionally, the supply chain remains fragmented—high-performance micro motors, compact tactile arrays, and tendon components are often custom-made, raising both costs and lead times. Without economies of scale, many startups struggle to move from prototypes to reliable mass production.

For decades, most dexterous hands remained confined to research labs—too fragile, expensive, or difficult to control for field deployment. SCHUNK's SVH represents a transition point: it brings partial human-like dexterity into reliable industrial form, filling a niche between simple two-finger grippers and advanced humanoid manipulators.

Even though the SVH provides position and torque feedback but lacks high-resolution tactile sensing. This reflects a common industrial reality: fully integrating tactile arrays is still too costly, fragile, or data-heavy for commercial systems. Consequently, grasping strategies remain largely position-force hybrid control, rather than fully tactile-driven manipulation.

SCHUNK takes it a step further: beyond the gripping component itself, the company focuses on the entire gripping process, seeking ways to autonomously perform handling tasks. The complex programming of robots, which is currently performed manually by users or integrators, may soon be replaced by learning, autonomous systems. Intelligent robotic hands will be able to detect their target objects using cameras and autonomously perform grip planning. Utilizing data sets and

algorithms, gripping systems will be able to identify patterns and derive appropriate actions.

SVH offers ROS support, effective manipulation still demands complex calibration, trajectory planning, and grip optimization. However, for non-expert users, configuring and programming dexterous grasps remains a bottleneck. The broader challenge is thus not mechanical, but cognitive and software-oriented—how to make dexterity usable without expert programming.

As SVH is intended for different environments, such as collaborative and service environments, it must meet strict safety and compliance standards (ISO/TS 15066, CE marking, etc.). Developing compliant mechanical structures and fail-safe actuation while preserving force and precision is an ongoing challenge for all dexterous hand manufacturers.

Technological Directions and Research Frontiers

Despite these challenges, global R&D efforts are converging on several promising pathways:

(1) Perception-control synergy

Next-generation dexterous hands are moving toward tight integration of

vision, tactile feedback, and force control. By fusing multi-modal sensory data, robots can learn contact-rich, adaptive manipulation strategies in unstructured environments.

Recent work emphasizes embodied AI—teaching robots not only how to move, but how to understand the physical consequences of their actions.

(2) Simulation-to-reality transfer and data-efficient learning

Training dexterous manipulation policies directly on hardware is prohibitively slow and expensive. Therefore, the field increasingly relies on high-fidelity simulators combined with domain randomization to bridge the gap between simulation and reality.

New paradigms such as imitation learning, skill libraries, and foundation models for manipulation are helping robots generalize across object types and tasks with far fewer real-world trials.

(3) Hybrid actuation and structural innovation

Mechanical innovation continues to evolve around underactuated mechanisms, tendon-driven systems, and soft-rigid hybrids. These designs provide adaptability and resilience at lower costs.

Some manufacturers relocate actuators outside the hand (“externally driven hands”) to reduce weight and increase durability, trading off compactness for maintainability.

(4) Standardization and modular ecosystems

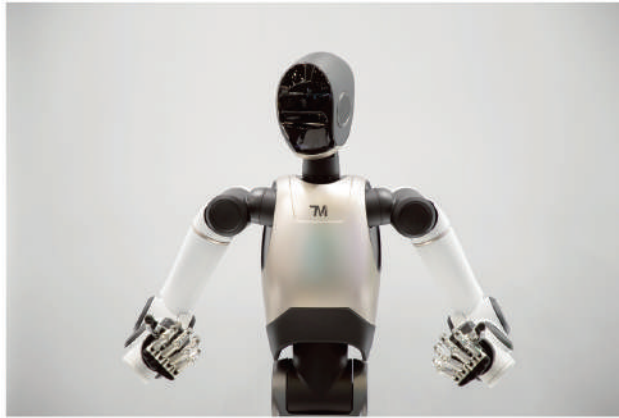
To enable scalable adoption, the industry is moving toward modular hand-arm platforms with open APIs and standardized connectors.

This approach allows system integrators to mix and match end-effectors, control units, and AI modules—accelerating time-to-market for customized applications.

(5) Human-safe, compliant interaction

As dexterous hands enter collaborative and social environments, safety and compliance become design priorities. Passive compliance (via materials or mechanisms) and active compliance (via force sensing and control algorithms) will ensure safe human-robot physical interaction.

Future Trends (5–10 Year Outlook)



Techman Robot Unveils Its First Humanoid Robot, TM Xplore I, in Global Debut with SCHUNK SVH at the Taipei International Industrial Automation Exhibition — Bringing AI-Powered Mobility and Precision to Next-Generation Industrial Automation.

(1) Dexterous hands as interfaces for embodied AI

In the era of large multimodal models, dexterous hands will become the physical interface between intelligent systems and the real world.

As language and vision models gain reasoning capabilities, dexterous hands will enable these systems to “act” upon the environment—realizing the vision of embodied intelligence.

(2) Expansion of human–robot collaboration

The future will likely see hybrid workspaces where humans and robots cooperate physically. Rather than replacing workers, dexterous hands will assist in ergonomically challenging or precision-

demanding tasks—such as packaging, inspection, and healthcare assistance.

This trend will drive demand for certified safety standards, explainable behavior, and ergonomic design.

(3) Software and data as core assets

Manipulation skill libraries, tactile data, and simulation pipelines will become key intellectual property. Companies with high-quality datasets or scalable training infrastructure will hold a strategic edge.

Skill sharing and continual learning will further increase the value of software layers relative to hardware components.

(4) Declining costs and supply chain localization

With advances in miniature actuators, flexible sensors, and additive manufacturing, the cost of producing dexterous hands will continue to fall.

Localization of supply chains—especially in Asia—will also reduce dependency on custom or imported parts, promoting faster iteration and standardization.

(5) Integration with humanoid and service robots

The rise of humanoid robots has made dexterous manipulation a central

bottleneck. As humanoid prototypes transition to commercial production, demand for reliable, scalable, and repairable hands will skyrocket.

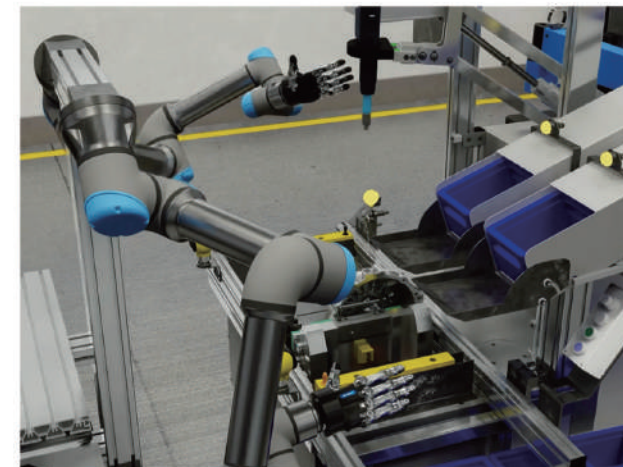
Future designs may incorporate self-sensing materials, modular fingers, and plug-and-play controllers optimized for humanoid platforms.

Technological Evolution of SCHUNK SVH

Integration with AI-based Grasping

Future versions of the SVH will likely integrate AI-driven algorithms directly into the control stack. These systems will analyze object geometry or surface and automatically select or adapt grasp strategies, reducing setup time and operator expertise.

Tactile and Proprioceptive Fusion



Simulate, validate, deploy: At NVIDIA GTC SCHUNK, Schaeffler and NVIDIA demonstrated simulation possibilities within NVIDIA Omniverse.

Adding tactile arrays, force/torque sensors, and distributed proprioceptive sensing will allow closed-loop manipulation. However, achieving sensor durability and low-latency processing in industrial environments remains a major engineering task.

Digital Twin and Simulation Integration

Future dexterous hands will likely come with digital twin models for real-time simulation, predictive maintenance, and grasp planning. These models will be integrated into industries' metaverses to simulate individual components and robots up to entire factories. This would align with the Industry 4.0 trend, making dexterous hands part of connected manufacturing ecosystems.

As a technology pioneer, SCHUNK pursues a clear vision: to simplify its customers' entry into the world of automation. "By simulating automation tasks, we offer them a highly refined and highly productive solution, quickly optimized for their manufacturing requirements," says Timo Gessmann, CTO of SCHUNK. "Thanks to AI, we can greatly simplify engineering. With digital tools and simulations, all variants can be validated digitally in no time." In developing digital services, SCHUNK relies on technology partnerships. For example, the company uses tools like ISG Virtuous or NVIDIA

Omniverse for simulating and planning complex automation projects. Partnerships like the one with NVIDIA serve as a catalyst for developing AI-based solutions in simulation and production optimization. Through simulations in the Industrial Metaverse, SCHUNK creates synthetic data to support the training of AI models. At the NVIDIA GTC in March 2025, the leading developer conference for AI, SCHUNK, Schaeffler and NVIDIA presented a jointly developed simulated assembly application in robotics, where SCHUNK SVH 5-Finger Hand screws components into a housing. The application demonstrates how the boundaries of intelligent automation can be expanded and leveraged for industry. SCHUNK offers suitable end-of-arm components for all types of robotics, from industrial robots to cobots and humanoid robots, as well as the open digital building blocks for these applications.



Developed in partnership: Automation exemplified by screw assembly application – digital and physical hand in hand.

Conclusion

Dexterous robotic hands are transitioning from lab prototypes to industrial and service applications. The integration of AI and automation technologies will allow robotic hands not just to grasp objects, but also to understand their properties and make autonomous decisions.

In the near future, robotic hands will evolve from tools into collaborative partners. From factory assembly lines to home service robots, from logistics handling to precision tasks, dexterous robotic hands are redefining the boundaries of automation with human-like intelligence.

Dexterous robotic hands represent a pivotal frontier of robotics and embodied AI. The market is expanding rapidly, fueled by automation, labor challenges, and the push toward humanoid systems. Yet, technological hurdles in sensing, control, mechanics, and integration still limit widespread adoption. In the long term, dexterous hands will evolve from mechanical tools into cognitive interfaces—the means by which intelligent systems physically engage with the world. They will embody the convergence of AI, robotics, and human-centric design, marking the transition from automation to true embodied intelligence.



客製化企業包班 量身打造專屬培訓課程

30%OFF

政府補助最低七折起 提升企業永續競爭力

針對單一企業、關係企業、上下游整合廠或有興趣之廠商，依據需求設計課程辦理員工培訓，協會提供講師、場地安排、行政事務等一切庶務，節省企業執行成本。



時間

總時數達6小時(含)以上即符合課程開立標準



地點

可於貴司內部場地上課或是指定之設施場地



講師

企業指定講師或由協會尋找適合的優秀講師



內容

依公司需求安排教育訓練課程內容及專屬教材

AI人工智慧
與智慧製造
相關系列課程

智慧資安策略
大數據分析

機械手臂
機器人技術

企業專案管理
企業經營管理
企業永續管理

企業包班請洽詢



王小姐 | 04-23581866 #52 | candice@tairoa.org.tw
凌小姐 | 04-23581866 #51 | joy@tairoa.org



Anthropomorphic Five-Finger Robotic Hand (Delto Gripper-5F) with Human-Level Dexterity

Jaesuk Choi and Wooseok Ryu, Tesollo Inc., Incheon, Republic of Korea

■ Abstract

This article presents the design, implementation, and performance evaluation of Tesollo's Delto Gripper-5F (DG-5F), a five-finger robotic hand with 20 degrees of freedom (DOF). The DG-5F is engineered to achieve human-level dexterity and high-precision manipulation. Utilizing a direct-drive actuation mechanism and integrated sensory feedback control, the system demonstrates multi-object adaptive grasping and in-hand manipulation capabilities.

Quantitative experiments show that the hand achieves positional repeatability within ± 0.1 mm, a rated fingertip force of 30 N, and enveloped payload handling of up to 20 kg. Its modular mechanical architecture, embedded control electronics, and compatibility with standard industrial communication protocols (Modbus RTU/TCP) make the DG-5F well-suited for both research applications and industrial deployment.

1. Introduction

The field of robotics has evolved from repetitive automation toward intelligent and adaptive manipulation, in which dexterous control and force perception play pivotal roles in advancing human-level capabilities [1][2].

Conventional tendon-driven robotic hands often suffer from mechanical complexity and challenges in maintaining tendon tension, which restrict their precision and reliability [1].

To overcome these limitations, Tesollo developed the DG-5F, a fully actuated, anthropomorphic five-finger robotic hand that incorporates direct-drive joints, joint-level torque sensing, and a modular mechanical architecture for enhanced performance and maintainability.

2. Design of DG-5F

2.1 Mechanical Configuration

As shown in Figure 1, the DG-5F consists of five fingers with four joints each (4-DOF). Its geometry (73.5 mm thickness, 215.8 mm length) mimics an adult human hand.

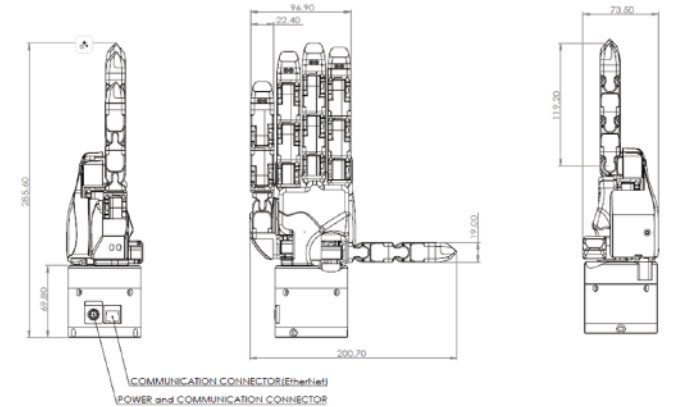


Figure 1. Overall structure of the DG-5F showing the five-finger 20-DOF architecture

2.2 Workspace and Manipulability

As illustrated in Figure 2(a), the index, middle, and ring fingers of the DG-5F are composed of the joint configuration shown in the figure. Considering the mechanical motion constraints of each linkage, the corresponding reachable workspace can be obtained as depicted in Figure 2(b).

When the twist of each joint is denoted as \hat{T}_i , the end-effector twist at the fingertip(\hat{T}) can be expressed as follows.

$$\hat{T} = \hat{T}_1 + \hat{T}_2 + \hat{T}_3 + \hat{T}_4$$

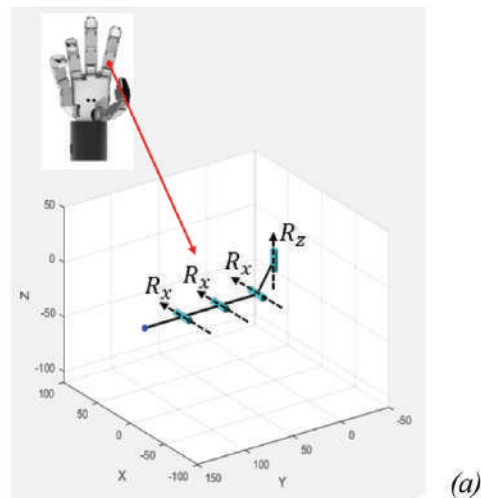
$$\hat{T} = [\mathbf{v}_0 \ \boldsymbol{\omega}] = \boldsymbol{\omega}_1 \hat{S}_1 + \boldsymbol{\omega}_2 \hat{S}_2 + \boldsymbol{\omega}_3 \hat{S}_3 + \boldsymbol{\omega}_4 \hat{S}_4$$

The kinematic relationship between the joint motion and the fingertip motion is derived in the form of the Jacobian matrix J , from which the manipulability measure is calculated.

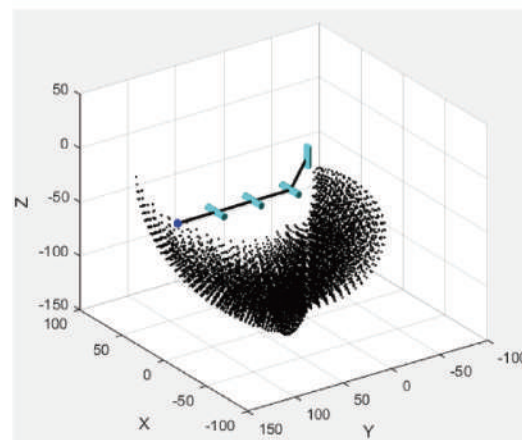
As shown in Figure 2(c), the manipulability analysis indicates that, for the index, middle, and ring fingers, the manipulability decreases as the finger approaches the metacarpophalangeal (MCP) adduction / abduction joint, whereas it remains relatively high throughout the rest of the workspace.

$$\hat{T} = J_Y$$

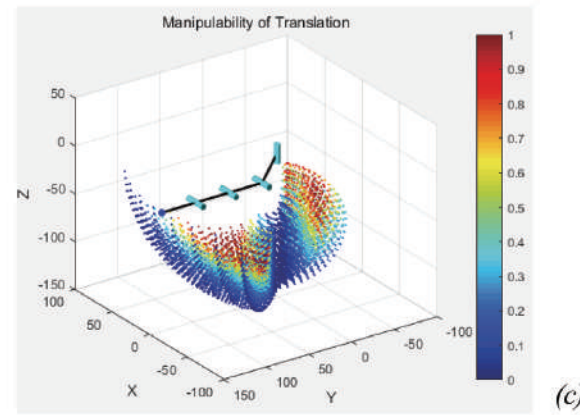
$$J = [\hat{S}_1 \hat{S}_2 \hat{S}_3] = \text{and } \hat{V} = [\omega_1 \omega_2 \omega_3]^T$$



(a)



(b)



(c)

Figure 2. (a) joint combination of DG-5F, (B) Workspace, and (c) Manipulability.

Additionally, The little-finger mechanism employs a bi-articular linkage for human-like lateral motion, enhancing envelope grasp stability [1].

3. Performance Evaluation

3.1 Actuation and Transmission

Each joint incorporates a direct-drive motor (rated torque 0.4 N·m, stall torque 2 N·m). This eliminates mechanical backlash ($< 0.01^\circ$) and supports joint velocity up to 75rpm. The design's high backdrivability enables passive compliance and impact absorption. Sensor fusion from an IMU ($\pm 2^\circ/\text{h}$ drift) and 6-axis F/T sensors (0.05 N resolution) supports hybrid position-force control schemes similar to those reviewed in [2][4]. The frame uses anodized 6061-T6 aluminum for stiffness and polymer composite shells for impact absorption.

3.2 Static and Dynamic Characteristics

Static tests confirmed stable grasp of 20 kg payloads. Fingertip force averaged 30 N and with ± 0.1 mm repeatability (Table 1).

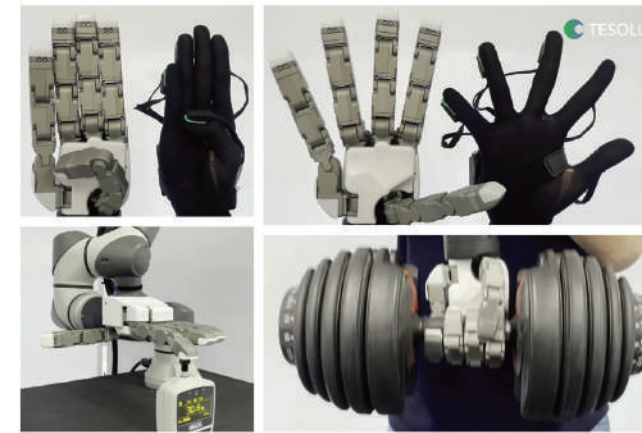


Figure 3. Realization of human-like motion and adduction/abduction (A/A) motion (upper part of the figure) and Rated fingertip force and hand payload (lower part of the figure) [7].

Table 1. Mechanical and electrical specifications of the DG-5F.

Parameter	Value	Unit	Description
Total DOF	20	DOF-	5 fingers \times 4 joints
Weight	1.7	kg	Including electronics
Fingertip Force	30	N	Rated output
Envelop Payload	20	kg	Static grasp
Repeatability	± 0.1	mm	—
Speed	75	rpm	—
Communication	Modbus RTU/TCP	—	Industrial protocol

3.3 In-Hand Manipulation

The DG-5F executed in-hand rotation and translation without re-gripping,

maintaining orientation error $< 1.2^\circ$ RMS. Simulations in NVIDIA Isaac Sim and MuJoCo showed Sim-to-Real deviation $< 5\%$, in accord with recent findings on learning-based in-hand manipulation [3][6].

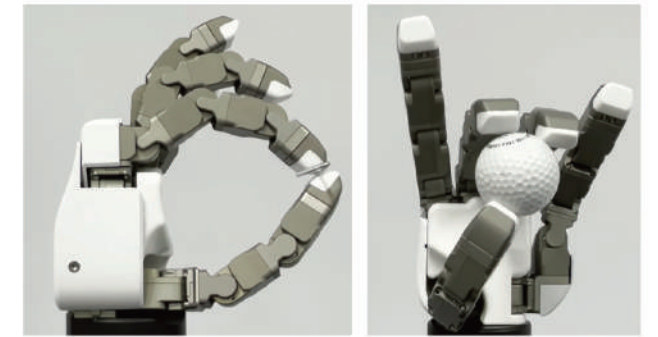


Figure 4. In-hand manipulation of DG-5F [7].

4. Applications and Discussion

The DG-5F demonstrates strong market applicability as a next-generation precision manipulation platform bridging research and industry. Its 20-DOF direct-drive architecture, joint-level torque sensing, and modular design enable deployment in both industrial automation and emerging humanoid robotics markets.

In manufacturing environments, the DG-5F is particularly suited for micro-assembly, connector insertion, re-alignment, and packing operations that require human-like dexterity and compliance. Beyond factory automation, its precision control and Sim-to-Real compatibility make it ideal for robotic research, AI-driven learning frameworks, and

collaborative humanoid systems.

As global industrial robot installations surpassed 4.2 million units in 2024 [5], the need for dexterous and intelligent end-effectors continues to expand. By combining mechanical robustness with software scalability, the DG-5F provides a commercially viable solution for high-precision, human-equivalent manipulation across diverse industrial and academic domains.

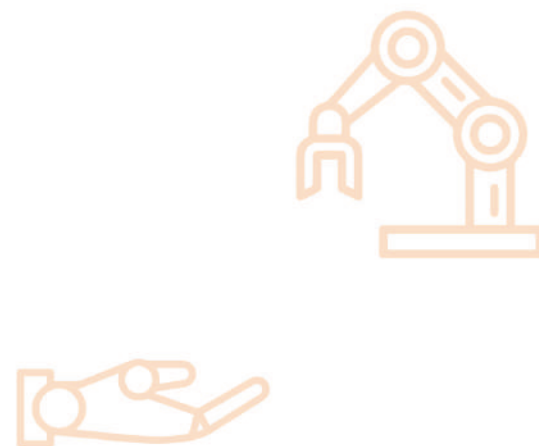


Figure 5. Various applications utilizing the DG-5F: bin-picking process (upper left), assembly process (upper right), re-alignment and packing process (lower left), and paper-folding task (lower right).

5. Conclusion

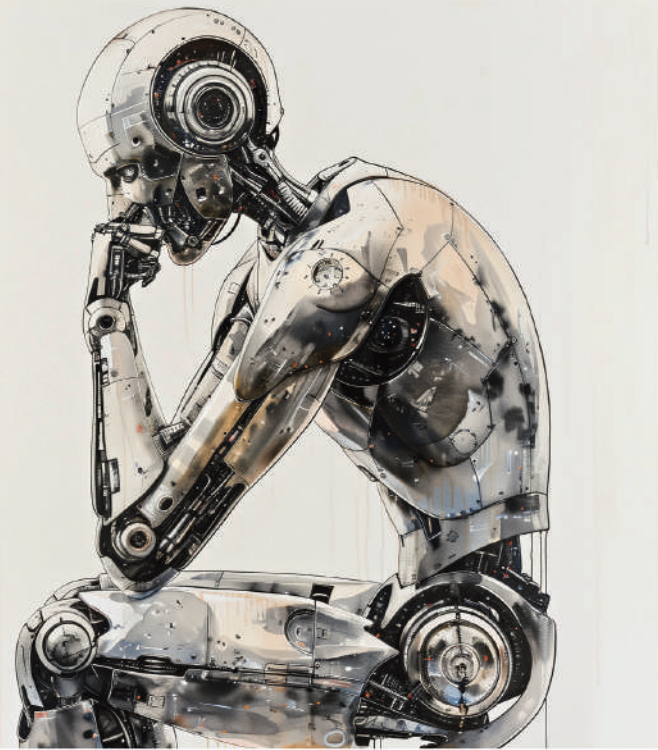
The DG-5F multi-joint robotic hand achieves human-comparable dexterity through its 20-DOF direct-drive architecture and joint-level torque sensing. Experimental evaluation shows ± 0.1 mm positional repeatability and 20 kg payload handling without slippage. Its modular mechanical design ensures robustness, maintainability, and cost efficiency for industrial use.

A Sim-to-Real workflow using NVIDIA Isaac Sim enables efficient controller transfer and reproducible experiments. Demonstrations in bin-picking, assembly, re-alignment, and folding tasks validate the DG-5F's versatility. The system bridges the gap between academic prototypes and deployable industrial end-effectors.

Future work will integrate multimodal tactile sensing and adaptive impedance learning. These advancements aim to realize collaborative humanoid manipulation with human-level precision and compliance.

參考文獻

- [1] Feix, T., Romero, J., Schmiedmayer, H.-B., Dollar, A. M., & Kragic, D. (2016). The GRASP Taxonomy of Human Grasp Types. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 46(1), 66–77.
- [2] Yu, C., Baek, S., et al. (2022). Dexterous Manipulation for Multi-Fingered Robotic Hands: A Review. *Frontiers in Neurorobotics*, 16, 861825.
- [3] Weinberg, A. I., Shirizly, A., Azulay, O., & Sintov, A. (2024). Survey of Learning-Based Approaches for Robotic In-Hand Manipulation. *Frontiers in Robotics and AI*, 11, 1455431.
- [4] Lee, T., Kwon, J., Wensing, P. M., & Park, F. C. (2024). Robot Model Identification and Learning: A Modern Perspective. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 7, 311–334. PDF
- [5] International Federation of Robotics (IFR). (2024). World Robotics 2024: Industrial Robots Press Kit.
- [6] Radosavovic, I., et al. (2024). A Real-to-Sim-to-Real Approach for Robust Manipulation. *Robotics: Science and Systems (RSS)*.
- [7] https://www.youtube.com/watch?v=7JhqK_k9IGI



Dexterous Humanoid Hands: Designing the Robot Inside the Robot

How to balance dexterity, durability, control, and cost when the “business end” of a humanoid has to work all day, every day.

Hands get all the glory and all the grief. In humanoid robotics, they are where intent turns into work. This is also where heat concentrates, cabling snarls, and tolerances go to die. A hand is not an accessory, it is the business end of the robot, the place where

value is created and where reliability is stress-tested in the wild.

In recent years we have watched two philosophies collide. One camp reaches for human-like dexterity; lots of degrees of freedom, intricate linkages, and fingertip sensors that aspire to match skin. The other camp favors simpler end-effectors that trade virtuosity for robustness, cost, and speed of deployment.

Human hands are brutally hard to imitate. We enjoy extraordinary sensing bandwidth from skin to joints, elastic muscles that are simultaneously force-dense and compliant, and a nervous system that can juggle fine motor control and ballistic reflexes. Mechatronic copies can achieve impressive demonstrations, but everyday manipulation in unstructured environments remains a challenging frontier. That is not a reason to retreat, just a nudge to be smart about where complexity pays for itself.

In compact hands, small cylindrical motors are still the workhorses. The hard choice is brushed motors (DC motors in the maxon portfolio) versus brushless motors (named “EC motors” within maxon). Brushed motors tempt with slightly higher torque density at a given frame size and charmingly simple drive

electronics. The problem lies in the brushes: they wear, they arc, they add electrical noise, and under the kind of duty cycles a hand sees (millions of interactions, frequent stalls and reversals, long periods at partial load) brush life becomes a limiting factor.

Brushless EC motors, by contrast, are power-dense because they can rotate much faster without mechanical commutation limits. Paired with the right gearing, that extra speed converts to practical output power and torques. Lifetime is usually better because there are no brushes to wear. The torque density at low speed is marginally lower than comparable brushed units, and the control stack is more sophisticated (you need commutation and good current control), but in the professional reality of humanoid manipulation, EC wins most of the time. In other words: if you expect the hand to work all day, every day, choose the architecture that doesn’t have a wear part at the heart of each joint.

This is where portfolio depth matters. When a supplier like maxon offers a broad range of small-sized, highly integrated DC and EC motors, complete with matching gearheads, encoders, and controllers, you’re not just buying parts, you’re buying down integration risk. You get tuned electromagnetic designs,

Mario Maurer, maxon international ag, October 2025

known EMI behavior, cabling that just fits, and controller firmware that doesn't force you into twelve parallel forks. That pays dividends at prototype speed and, more importantly, at production scale. The result is a low total cost of ownership.

High-ratio transmissions let tiny motors move meaningful loads, which is why 16-plus-DoF hands often rely on multi-stage planetary gear sets. The trade is backdrivability and transparency: a high ratio makes the joint behave like a position source whether you want it to or not. That is survivable in free space, but it is awkward during contact, where you want the fingertip to behave like a smart spring: Stiff when aligning, soft when searching, and quick to yield during a bump.

The other approach goes towards lower ratios (think 10:1 to 30:1), paired with faster EC motors produce hands that "feel" alive. They are easier to control in impedance (modulating apparent stiffness and damping rather than commanding raw position).

Palms and fingers are cramped, and thermal convection is poor. That forces you into thermal engineering: Direct conduction paths from stator laminations and gearheads into structural heat sink; temperature sensors on windings, bearings, and MOSFETs.

The fastest way to make a hand brittle is to command position as if the environment will obey. Impedance control, regulating how the hand "feels" rather than where it is, soaks up modeling error, perception latency, and plain old messiness. That means closing a tight current loop on the motor driver, running joint-space impedance at a few hundred hertz. When you want to move through free space or set a posture, you still run position loops.

Ambitious hands often die on the altar of COGS. A credible high-volume target for actuator modules (motor, gear, encoder) is now below USD 50 per joint. It's a brutal constraint, but constraints are where good engineering thrives. The path there is boring and essential: Re-use actuator modules across multiple joints; minimize unique part numbers; standardize cables; and demand supplier roadmaps that show cost downs tied to volume. A hand with 12 to 20 actuators leaves no budgetary room for wishful thinking.

The hand really is a robot within a robot. It is a highly and tightly integrated system (with all its systems engineering challenges and interfaces), its own software and control paradigms, as well as complex sensor suite.

The market is moving, and it is not converging yet. A fast-growing ecosystem, particularly in China, is exploring a dizzying range of topologies, transmissions, and sensing stacks. There is not a stable research consensus on "the one true hand," and that's healthy. We'll likely see multiple winners matched to niches: high-DoF hands where demonstration learning and in-hand manipulation dominate; moderate-DoF, impedance-centric hands where robustness and energy efficiency rule; task-specific grippers where cycle-time economics crush romance. The common denominator is not aesthetics; it's reliability at cost.

It's worth remembering that much of what we want humanoid robots to do is not limited by fingers that can play the piano. My university signals processing professor was born without hands. On one arm he used a one-DoF gripper, on the other a passive hook. He wrote on the chalkboard, operated a computer, shouldered a bag, ate lunch, started the projector etc. His vision and hearing did surely help a lot to compensate for his lack of perception in his end-effectors. In robotics terms: perception and high-level control are often the bottlenecks. Simpler end effectors paired with smart impedance can probably deliver disproportionate value.

In summary: Favor brushless EC motors for lifetime and power density; reserve brushed DC for cases where simplicity or specific torque profiles dominate and duty cycles are forgiving. Choose gear ratios by backing out from the impedance envelope you want at the fingertip, not from what's convenient to buy. Instrument the hand just enough to be honest about contact and health. Integrate electronics with EMI in mind, and a field bus your team can truly support.



High Efficiency Joint family

The point is grace under uncertainty: a hand that can find and hold the world without fuss, that doesn't need heroics to stay cool, that talks to the rest of the robot without drama, and that you can afford to ship by the thousand. We are not done with learning which topologies will dominate. That's the fun part. Until then, build the robot within the robot as if it has to go to work tomorrow morning, and keep an eye on markets that are teaching us, at unsettling speed, what "good enough" looks like when it runs all day.



maxon product overview

Author—



Mario Maurer studied Electrical Engineering at ETH Zürich, completing a PhD in Power Electronics.

He then joined ANYbotics in 2018, where he helped scale the company's hardware systems and the enterprise itself from 20 to more than 120 employees.

In 2024, he left his role as CTO Hardware to join maxon, where he now works as Global Business Development Manager Robotics, with the aim of bringing advanced drive systems to modern robotics applications.

30 CELEBRATING 30 YEARS OF METALWORKING EXCELLENCE 1996-2026

20 -23 MAY 2026
MITEC, Kuala Lumpur

METALTECH®
Co-locating:
autoMEX

**30TH INTERNATIONAL MACHINE TOOLS,
METALWORKING & AUTOMATION
TECHNOLOGY EXHIBITION**

METALTECH & AUTOMEX
www.metaltech.com.my

Organised by: **informa markets**

Recognised by: **UFI**

Powered by: **Renewable Electricity**



從傳動技術到靈巧手： 機器人關節系統的技術演進 與產業契機

全球傳動總經理室 孫鍾原經理

► 前言：從傳統製造到智慧機構的轉折

台灣的傳動產業在製造業中扮演關鍵角色。多年來，台灣廠商以穩定的品質與靈活的製程聞名國際，從滾珠螺桿、線性滑軌、旋轉花鍵軸到線性模組皆能達到高精度與高性價比要求。然而，隨著人形機器人與智慧製造的快速發展，傳動技術的定位正逐漸轉變，不再只是被動的力量輸出，而是整個系統能否精準動作與智慧驅動的關鍵。

傳動元件的演進是整個機器人產業升級的基礎。從早期的滾珠螺桿與線性滑軌設計注重剛性與壽命，如今則朝向高推力、低摩擦與輕量化、微型化發展。以滾柱螺桿 (Planetary Roller Screw) 及與電機整合模組之線性執行器 (Linear Actuator) 為例，透過其結構設計，可在更小體積下輸出更大推力，並維持穩定的精度與壽命。線性滑軌與滾珠螺桿模組的整合，也使傳動元件從「零件供應」進入「系統驅動」的階段。中國大陸在這方面的發展也非常積極。由於擁有完整的製造供應鏈與高研發投入，當地企業能以較快速度進行樣機試製與市場測試。台灣雖缺乏龐大內需市場，但在高精度加工與品質穩定度上仍具優勢，尤其在高精度的螺桿與線性滑軌的製造能力上，仍是亞洲市場的品质標竿。

► 機器人關節系統的發展趨勢與需求

人形機器人的關節設計是傳動技術應用中最具挑戰性的部分。關節不僅決定動作的靈活度，也直接影響整體穩定性與能效。上肢關節需兼具力量與精度，下肢關節則要求高負載與平衡控制，而末端如手腕與靈巧手，更需要具備細微運動與回饋能力。

目前市場上多數人形機器人仍採用傳統的旋轉關節架構，以伺服馬達搭配諧波或行星減速機作為主驅動。此架構在靜態定位與連續動作方面表現穩定，但其力矩輸出需經齒輪傳遞，容易產生背隙 (Backlash) 與摩擦損失；同時，在高減速比條件下，雖可提升力矩輸出，但重量、體積與熱能損耗也隨之增加，導致單位重量可輸出的推力偏低。對於需高負載且頻繁動作的關節 (如膝關節、大腿關節、肩部關節等)，傳統旋轉系統往往無法同時兼顧「高剛性」、「小體積」與「高響應速度」，成為形機器人動作效率進一步提升的瓶頸。

為解決上述問題，全球傳動的IPRS (Inverse Planetary Roller Screw，反向行星滾柱螺桿) 以「直線推拉」取代「旋轉轉矩」，讓力的輸出更直接、結構更緊湊，也能顯著減少能量損失。透過多點接觸的行星滾柱結構，在相同外徑下可提供遠高於傳統滾珠螺桿理論值大於15倍以上的承載能力，使得單位體積可承受更高軸向推力。

在實際應用中，其推力通常為同尺寸旋轉關節的3倍以上。同時，由於力的傳遞為線性方向，傳動效率更高、幾乎無背隙問題，控制精度可提升至0.01 mm以下，特別適合需頻繁反覆動作的關節模組。

IPRS的另一項優勢在於機電整合 (Mechatronic Integration) 能力。其設計可將馬達、滾柱螺桿與感測元件同軸配置，形成一體化致動模組 (Integrated Actuator Module)。此結構能縮短動力傳遞路徑、減少零件間間隙，並提升整體剛性與響應速度。全球傳動的IPRS線性執行器已開發出600N至8000N的推力規格，並具備良好的穩定性與循環壽命，特別適用於下肢承重與上肢關節動作模組。

此外，IPRS 採用封閉式反向結構，具備防塵、防潮及潤滑設計，其設計規格範圍在 -40°C 至 125°C 的環境中穩定運作，適合高耐久及長壽命應用。這種模組化結構也便於量產及維修，成為近年人形機器人開發中的關鍵致動元件。

綜合而言，線性執行器以其高推力、低背隙與高響應性能，正逐漸取代傳統旋轉關節架構，成為新一代人形機器人核心關節的主流方向。而 IPRS 技術的導入，更讓傳統的「機械驅動」邁向「智慧機電整合致動」的新階段，不僅在結構性能上實現高輸出力量，也為人形機器人關節系統的智慧模組化發展奠定了基礎。

全球傳動目前發展中的線性致動模組 (IPRS 系列) 可應用於人形機器人關節

規格名稱	適用關節位置	動額定負載(N)	最大行程(mm)
IPRS 08型	上肢(腕、肘關節)	600	46
IPRS 10型	小腿與肩關節	4,000	72
IPRS 15型	大腿與膝關節	8,000	101

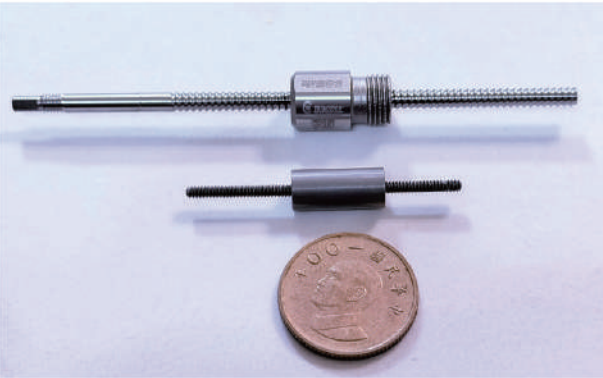


上圖為全球傳動的 IPRS 10型 線性致動器，採用反向式行星滾柱螺桿之系列模組可搭配伺服馬達或直驅電機構成關節驅動單元，已在多型人形機器人樣機中驗證。

► 靈巧手的發展現況與挑戰

靈巧手是人形機器人最具象徵性的部位，其設計整合了微型驅動、精密傳動與感測回饋等多項技術。在極小的結構中，必須兼顧力量輸出、協調控制與長期耐用性。根據調查對於靈巧手主要性能與設計規格如下表所示：

項目	技術指標
單指荷重	3~5kg
抓握力	5~10kg
提取力	10~35kg
行程	50mm
壽命	15~20萬次
尺寸	Ø8mm
整機重量	約 350 g (含電機)



這些微型螺桿系列以「高精度×高可靠性×模組化」為核心。圖片上方為滾珠螺桿 K0301，因受限鋼珠及迴轉結構其螺帽外徑最小僅能達 Ø8mm，下方為 DPRS 020.5 微型滾柱螺桿採用行星式循環故可在極小空間內提供穩定推力，其螺帽外徑至小可達到 Ø6mm，適合人形機器人靈巧手及醫療復健用途。小型線性執行模組則朝感測整合與壽命監測發展，預期後續將

全球傳動現已成功發展出用於靈巧手三種致動方式之微型螺桿系列：

類型	價格	機械效率	壽命	荷重能力	技術門檻	特點說明
艾克姆螺紋 (Acme Screw)	低	<30%	低	低	低	結構簡單成本低、用於低速，易損耗、發熱
滾珠螺桿 (Ball Screw)	高	>98%	中	中	高	高效率、定位精度佳 目前已開發至 Ø3 mm 螺桿規格
差動式滾柱螺桿 (DPRS)	高	>85%	高	高	高	壽命長、負載能力強 已開發出 Ø2mm 螺桿外徑

結合力回饋與健康監控技術，使靈巧手具備更高的操作靈敏度與可靠性。並根據應用位置的不同，提供多樣化尺寸與導程配置，適用於指節、手腕等位置，預期在量產化階段能成為高可靠度關節模組的核心技術之一。

► 產業格局與未來展望

近年來，人形機器人與智慧製造的發展速度驚人，全球產業正快速形成新的技術與供應鏈格局。中國大陸憑藉龐大的內需市場與政策扶持，已建立起垂直整合能力強、反應速度快的產業鏈。主要企業能在極短時間內完成原型開發與測試迭代，並逐步達成零部件國產化。這種「規模速度」的優勢，使其在成本控制與產品更新週期上佔據主導地位。

相較之下，台灣以中小企業為主體，雖缺乏規模經濟，但在精密製造、品質穩定度與材料加工技術上仍具長期優勢。台灣企業在螺桿、線軌與線性模組等領域擁有穩健的技術基礎，能提供高可靠度與高精度的關鍵組件，是全球人形機器人產業鏈中穩定且值得信賴的一環。

不過，產業仍面臨幾項挑戰。首先是內需市場規模有限，使研發與量產之間難以形成

規模化支撐；其次是跨領域協作仍待加強，傳動、電機、感測與控制等系統整合尚未完全成熟。要突破這些瓶頸，必須推動模組化標準制定與產學研協同研發，建立兼具開放性與相容性的技術平台，讓設計、製造與應用之間的資訊流更順暢。

從技術面來看，智慧模組化將是下一階段的發展核心。傳動模組若能結合感測器、負載監控與數據分析，再配合預測維護 (Predictive Maintenance) 與健康監測功能，即能形成具自我診斷能力的智慧致動單元。這樣的技術不僅提升靈巧手與關節系統的穩定性，也能推動整體製造鏈的自動化與可靠性。

展望未來，台灣的傳動產業應以「技術深化、智慧整合、品質領先」為長期目標。唯有持續專注核心技術、強化工程驗證能力，並積極拓展國際合作與標準參與，才能在全球智慧機械與人形機器人市場中建立更具影響力的地位。

視覺化程式設計於公共設施管線模型地理資訊交換自動化研究

文 中原大學 副教授 連立川 Li-Chuan Lien / 研究助理 陳威達 Wei -Da Chen / 研究助理 潘湊樾 Chen-Yi Pan

關鍵字

地理標記式語言 (Geography Markup Language, GML)、建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM)、視覺化程式設計語言 (Visual Programming Language, VPL)、公共設施管線 (Public Facility Pipeline)

摘要

台灣屬於人口密度較高的國家，唯透過完整的地下規劃，方能提升民生品質，地理標記式語言 (GML) 係內政部於民國87年推行國土資訊系統基礎環境建置計畫，是政府一直以來推行的管線記錄方式。近年來提倡資訊整合與維護管理平台的應用，公共工程皆推行應用建築資訊模型 (BIM) 來輔助工程之進行，並且逐步提升為竣工BIM模型。因此，傳統2D管線的地下管線圖說，已難滿足現今需求，BIM能夠突破目前2D圖說套疊之問題，已有許多BIM應用於地下管線工程，BIM與GML同時並進，已經是目前營建專案的趨勢，但仍存在BIM幾何資訊與GML交換的問題。本研究透過開發視覺化程式設計語言 (Visual Programming Language, VPL) 程式擷取模型中部分非幾何資訊；以研究案例為例，人工手動建置GML檔時間為2460分鐘，而自動化建置GML檔時間為14分鐘，節省時間百分比達99.43%，本研究透過自動化程式的開發，達成BIM與GML的資訊格式交換之目的，有效減少營建專案的人力成本及作業時間。

一、緒論

► 1.1 研究背景

台灣地狹人稠，人口密度高的都市若能完善地下空間規劃，將可提升民生品質與市容。然而傳統2D管線圖已難符需求，目前常見以平面圖套疊地形圖與管線圖層進行查詢，僅能呈現二維關係，易誤判或遺漏資訊，導致施工時挖斷管線，增加成本與民怨。

隨資訊化發展，BIM (建築資訊模型) 被廣泛應用於地下管線工程，具完整幾何與屬性資料，能突破2D圖說侷限。另一方面，政府自民國87年起推動國土資訊系統與GML (地理標記語言) 標準，現已有22縣市建置管線資料庫。桃園市政府108年發布「三維公共管線資料格式與作業規範」[2]，要求施工與竣工階段皆須提供BIM與GML檔案。

此外，「提升道路品質2.0」計畫亦規定2,500萬元以上道路工程需提送BIM檔案，以強化工程全生命週期管理。可見BIM與GML並行推行，已成營建趨勢。

► 1.2 研究目的與環境

1.2.1 研究目的

BIM的參數資料與GML屬性資料相似，存在重工問題，因檔案格式差異，無法直接轉譯，需分別建置兩份檔案，增加人力與時間成本。目前GML多以人工方式製作，需分析語法、量測或查圖紙取得座標與工程資訊，過程錯誤率高且耗時，與自動化理念相悖。若能用自動化程式將BIM轉換為GML支援的XML格式，將大幅減少人工投入與錯誤。Revit中取得元件座標或高程多以手動標註，

精準度不足，特別是管線元件。GML以管線起點與終點為基準，但Revit手動選取常誤為線段，造成誤差。自動化程式擷取座標可提高精度與效率，減少誤差。依內政部標準，不同管線類別有不同屬性項目，GML屬性資訊類似COBie，作為Revit元件參數儲存，增加了作業時間與成本。

1.2.2 研究環境

Revit是Autodesk旗下的BIM軟體，以「參數化」為核心理念，涵蓋建築、結構及機電領域，並整合幾何與非幾何資訊。Dynamo為Revit內建的視覺化程式設計工具，能在環境中使用Python與DesignScript語法，擴展應用範圍。由於Revit是國內外業界常用的BIM軟體，本研究以Revit為主要軟體，並搭配Dynamo編寫自動化程式。

► 1.3 研究範圍與架構

本研究探討在BIM模型建置後，開發自動化程式讀取BIM模型並生成GML檔，提升作業效率並減少人為疏失與人力成本。本研究從BIM角度出發，非以程式語言為主，開發程式擷取BIM模型中的非幾何資訊，實現GML與BIM之間的資訊交換。研究分為「地理位置資訊建立」與「GML自動化」兩大方向，流程架構如圖1所示。

1.3.1 地理位置資訊建立

旨在將模型元件於專案基準點的相對座標轉換為TWD97格式，並將結果儲存在元件的參數中。本主題包含兩支程式開發，分別為「地理座標自動化建置(點)」與「地理座標自動化建置(線)」。

1.3.2 GML自動化

旨在讀取模型元件參數，取得其TWD97座標與屬性資料，並以XML格式生成GML檔，匯出至指定路徑，實現GML自動化。本主題包含兩支程式開發，分別為「設備GML檔自動產生」與「管線GML檔自動產生」。

◆ 設備GML檔自動產生

參照內政部營建署「公共設施管線資料標準」[1]，應用於八大類設施，包括人手孔、電桿、號誌、維護口、開關閥、消防栓、其他設施及場站。

◆ 管線GML檔自動產生

參照內政部營建署「公共設施管線資料標準」[1]，應用於五大類管線，包括管線、供氣、自來水、輸油與工業管線。

二、BIM與GML資訊交換自動化

本節詳細介紹本研究開發之「BIM與GML資訊交換自動化」程式，分為個部分逐步介紹，2.1設計理念與使用流程、2.2地理位置資訊建立，以及2.3GML自動化。

► 2.1 設計理念與構想

在Revit模型建置完成後，元件的參數為填入GML屬性資料的位置，計畫開發自動化程式，將屬性資料寫入Revit模型，並且使用自動化程式讀取Revit中設備元件及管線之地理位置資訊及屬性資料等內容，並生成XML格式的GML檔，本計畫設計程式之流程構想如圖2。

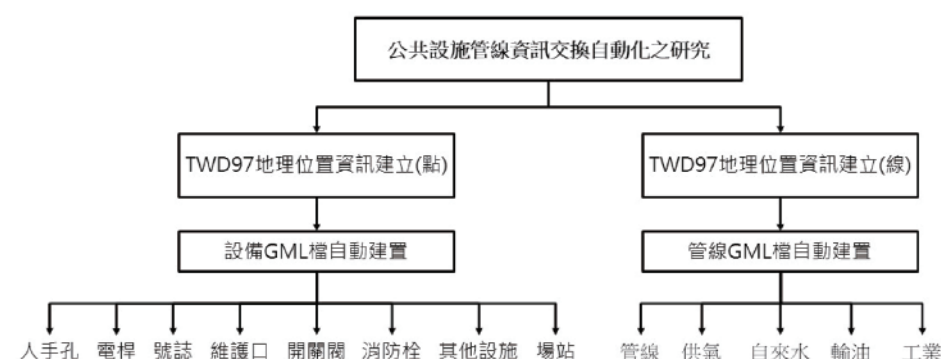


圖1. 程式開發邏輯架構圖

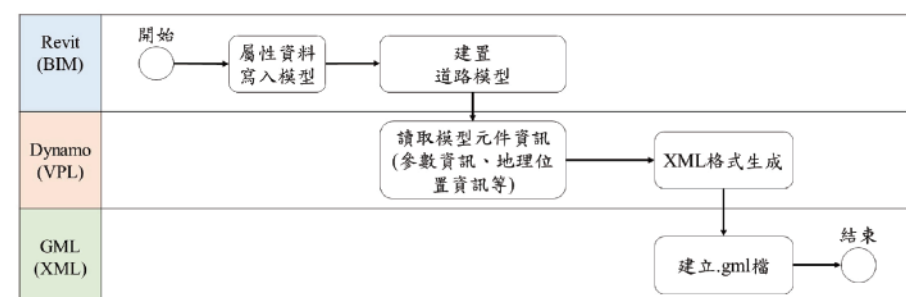


圖2. 「BIM與GML格式交換自動化」流程構想

► 2.2 地理位置資訊建立

2.2.1 地理位置資訊建立(點)

透過自動化程式，將元件在模型中的座標轉換為TWD97格式後，分別儲存於元件參數欄位(X座標與Y座標)，如圖3所示。自動化程式(圖4)邏輯分為五部分。

- 1.選取專案基準點：使用SelectModelElement選取專案基準點(圖5)。
- 2.選取所有元素：透過AllElementInActiveView節點，在可見3D視圖中取得所有元件，並用Element.GetLocation讀取座標(圖6)。

3.整理元素與參數：將取得的資料與參數欄位進行排序(圖7)。

4.取得元素座標：獲取元件XYZ相對座標與基準點的絕對座標，並將座標換算為TWD97(圖8)。

5.元素座標寫入參數：使用Element.SetParameterByName將TWD97座標寫入元件參數欄位(圖9)。



圖3. X與Y座標之參數 (以消防栓為例)

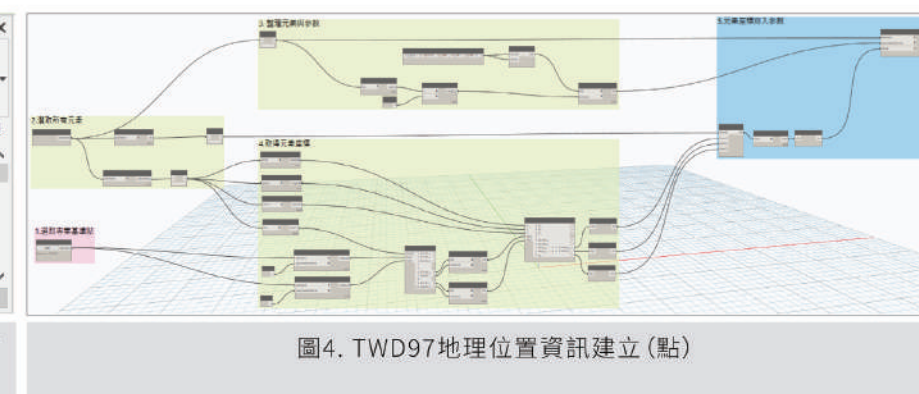


圖4. TWD97地理位置資訊建立(點)



圖5. TWD97地理位置資訊建立(點)之一



圖6. TWD97地理位置資訊建立(點)之二



圖7. TWD97地理位置資訊建立(點)之三

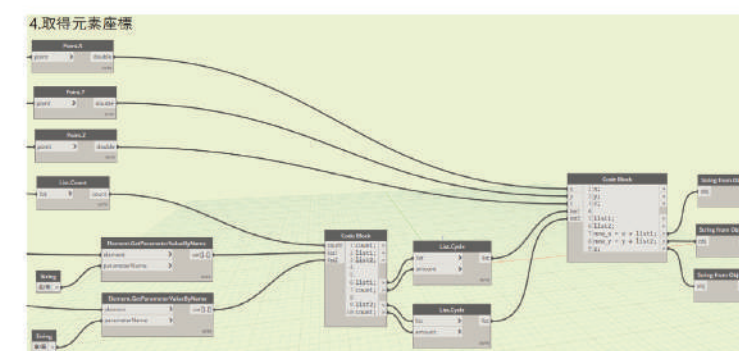


圖8. TWD97地理位置資訊建立(點)之四

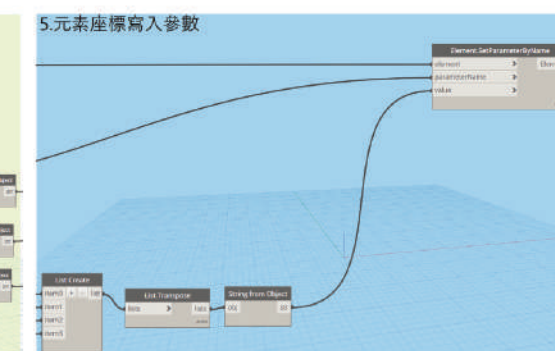


圖9. TWD97地理位置資訊建立(點)之五

2.2.2 地理位置資訊建立(線)

透過自動化程式，將管線模型中的起點與終點座標轉換為TWD97格式後，分別儲存於元件參數欄位(StarPoint與EndPoint)，如圖10所示。自動化程式(圖11)邏輯分為五部分：

1. 選取專案基準點：使用SelectModelElement選取專案基準點(圖12)。
2. 選取所有元素：透過Categories與All Element of Category獲取所有管元件，並用Element.GetLocation讀取元件座標(圖13)。
3. 整理元素與參數：將取得的資料與參數欄位進行排序(圖14)。
4. 取得元素座標：獲取管元件起終點XYZ座標與基準點的絕對座標，並將座標換算

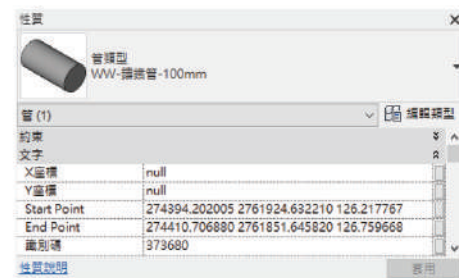


圖10. StartPoint與EndPoint座標之參數(以鑄鐵管為例)

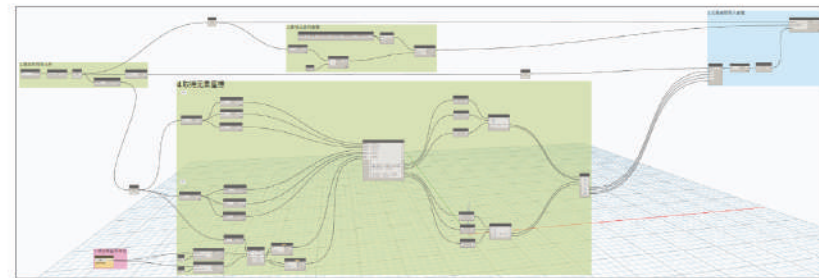


圖11. TWD97地理位置資訊建立(線)

1. 選取專案基準點

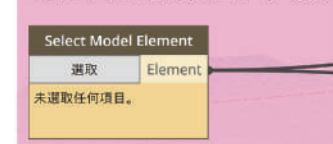


圖12. TWD97地理位置資訊建立(線)之一

2. 選取所有管元件



圖13. TWD97地理位置資訊建立(線)之二

3. 整理元素與參數

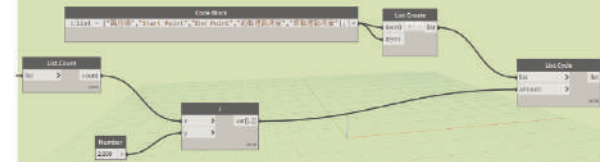


圖14. TWD97地理位置資訊建立(線)之三

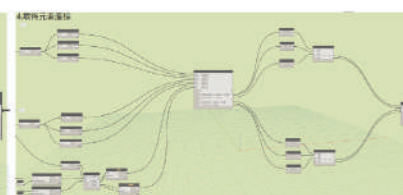


圖15. TWD97地理位置資訊建立(線)之四

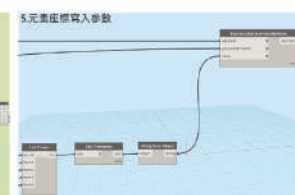


圖16. TWD97地理位置資訊建立(線)之五

為TWD97(圖15)。

5. 元素座標寫入參數：使用Element.SetParameterByName將TWD97座標寫入元件參數欄位(圖16)。

► 2.3 GML自動化

2.3.1 設備GML產生

透過自動化程式，讀取儲存在參數欄位的資訊(如 X 座標、Y 座標、管理單位、設置日期等)，並編寫為 XML 格式，生成 GML 檔案，如圖 17 所示。自動化程式(圖 18)邏輯分為四部分。

1. 輸入檔案路徑、元件名稱、類別碼：此部分(圖 19)主要手動輸入必要資訊，設定 GML 檔

案儲存位置，並輸入目標元件的名稱與類別碼，類別碼參照「公共設施管線資料標準」[1]。

2. 取得元件之參數內容(類型)：此部分(圖 20)讀取設備元件的類型參數，使用Element.GetParameterByName 節點獲得相對應屬性資料，並用 Python Script 節點整理為 XML 格式。

3. 取得元件之參數內容(例證)：此部分(圖 21)與第二部分相似，讀取設備元件的例證參數，並使用 Python Script 節點整理為 XML 格式。
4. 匯出GML檔：此部分(圖22)使用 FileSystem.AppendText 節點匯出 GML 檔，並將檔案以「.gml」形式儲存至指定路徑。



圖17. 設備GML格式範例

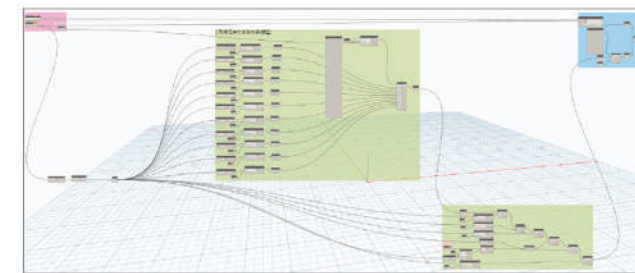


圖18. 設備GML產生

1. 輸入檔案路徑、元件名稱、類別碼



圖19. 設備GML產生之一

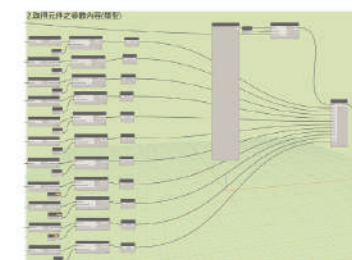


圖20. 設備GML產生之二

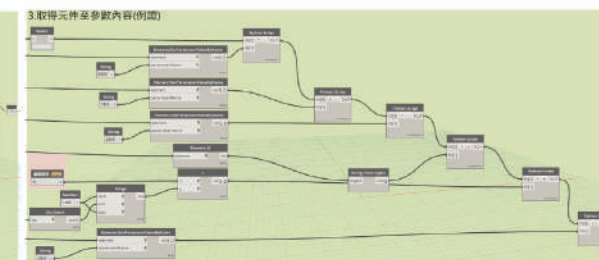


圖21. 設備GML產生之三

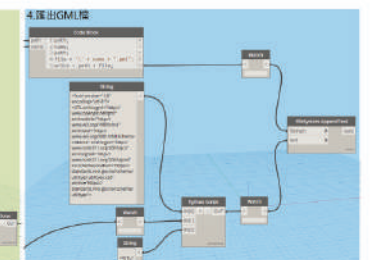


圖22. 設備GML產生之四

2.3.2管線GML產生

透過自動化程式，讀取儲存在參數欄位的資訊(如StarPoint、EndPoint、起點埋設深度、終點埋設深度、長度等)，並編寫為 XML 格式，生成 GML 檔案，如圖 23 所示。自動化程式(圖 24)邏輯分為四部分。

- 1.輸入檔案路徑、類別碼：此部分(圖25)手動輸入必要資訊，設定GML檔案儲存位置，並輸入類別碼，類別碼參照「公共設施管線資料標準」[1]。
- 2.取得元件之參數內容(類型)：此部分(圖 26)讀取設備元件的類型參數，使用 Element.Get ParameterValueByName 節點獲得相對應屬性資料，並用 Python Script 節點整理為 XML 格式。
- 3.取得元件之參數內容(例證)：此部分(圖 27)與第二部分相似，讀取設備元件的例證參數，並使用 Python Script 節點整理為 XML 格式。
- 4.匯出 GML 檔：此部分(圖28)使用 FileSystem.AppendText 節點匯出 GML 檔，並將檔案以「.gml」形式儲存至指定路徑。



圖23. 管線GML格式範例

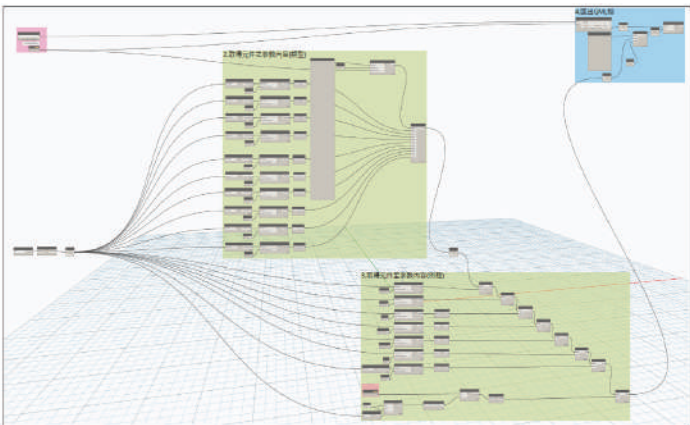


圖24. 管線GML產生



圖25. 管線GML產生之一

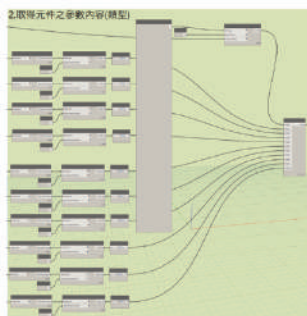


圖26. 管線GML產生之二

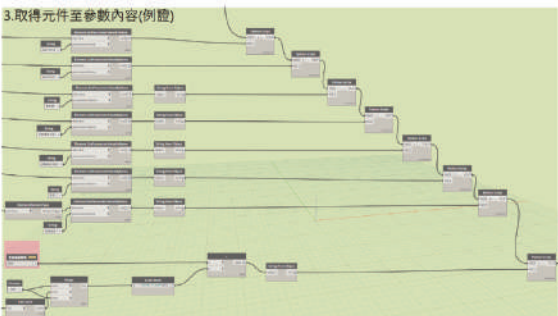


圖27. 管線GML產生之三

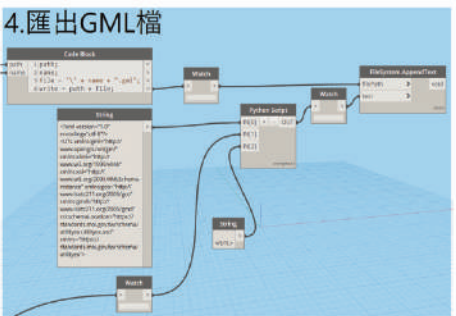


圖28. 管線GML產生之四

三、實際案例應用與分析

本研究以某路段之道路工程做為實際應用案例(以下簡稱本案例)，使用本研究開發之自動化程式，產生GML檔，再以「Web版公共設施管線資料標準第二版GML檢核程式」驗證其正確性。

▶ 3.1 案例簡介

本節說明本案之地理位置與工程範圍，並探討本案應建置GML檔案之設施設備名稱與數量。

本案例為道路工程，如圖 29中的A點至B點，全長約220公尺。GML建置需求如表1，分別為人手孔、開關閥、號誌、電桿及電管，一共五類。設備類一共45項，管線類一共447項，數量眾多，手動建置並不理想。

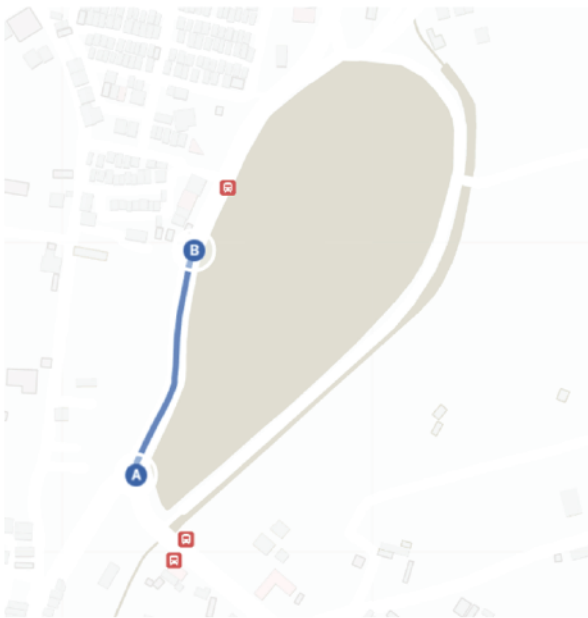


圖29. 本案例工程範圍

表1. 本案例GML需求

設施類別	類 別	類 型	數量	合計
設 備	人手孔	c行人孔蓋	6	20
		手孔(號誌)	4	
		陰井	10	
	開關閥	柱立式開關箱	1	1
	號 誌	紅綠燈	5	5
		高低臂LED路燈	6	
管 線	電 管	單臂LED路燈	7	13
		電管	447	447

▶ 3.2 GML檔建置成果

本案包含以下設施：

- 1.人手孔類別：三項設施設備，合計20處，分別為 C 行人孔蓋、手孔(號誌)及陰井。
- 2.開關閥類別：一項設施設備，合計1處，為柱立式開關箱。
- 3.號誌類別：一項設施設備，合計5處，為紅綠燈。
- 4.電桿類別：二項設施設備，合計1處，分別為高低臂LED路燈及單臂LED路燈。
- 5.電管類別：一項管線設施，合計447處，為電管。

以上設施設備之查驗結果見圖30至圖37。從圖 30 至圖 37 的結果可見，GML 成功通過設施管線資料標準第二版 GML 檢核程式，符合機關需求。

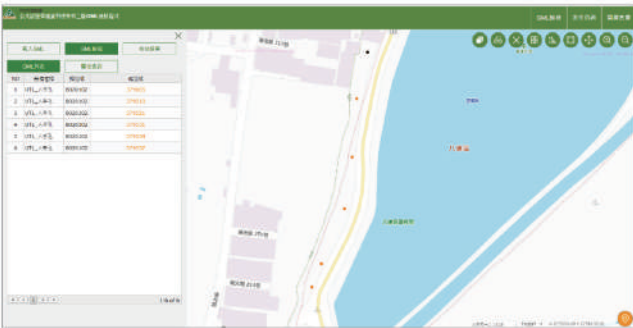


圖30. c行人孔蓋查驗結果



圖31. 手孔(號誌)查驗結果

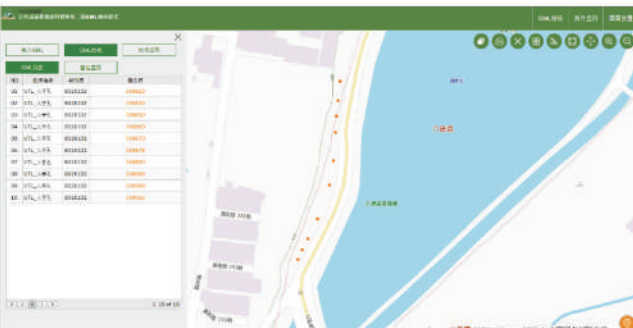


圖32. 陰井查驗結果

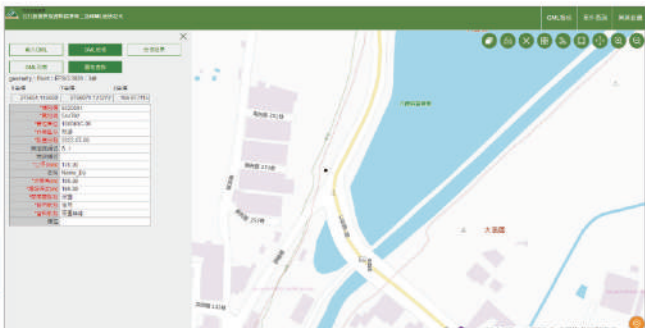


圖33. 柱立式開關箱查驗結果

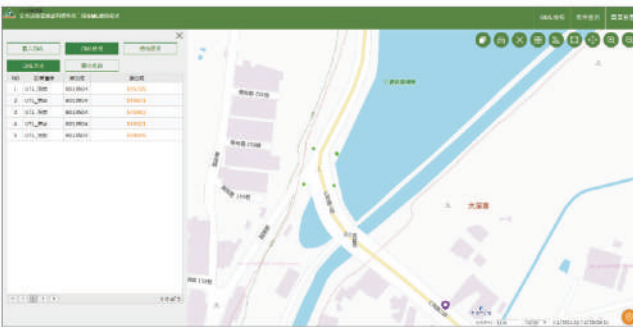


圖34. 紅綠燈查驗結果



圖35. 高低臂LED路燈查驗結果

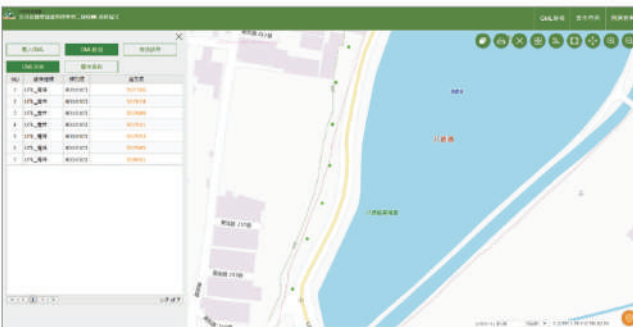


圖36. 單臂LED路燈查驗結果

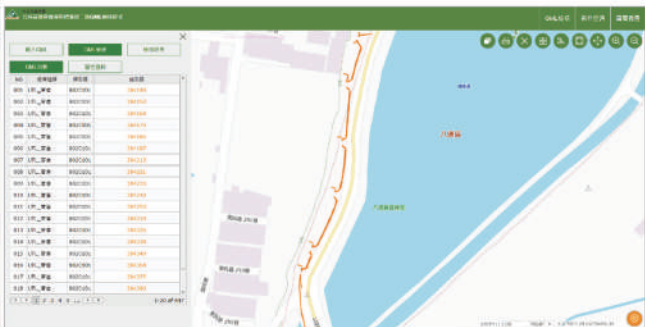


圖37. 電管查驗結果

► 3.3 自動化效益分析

傳統 GML 建置方法主要依賴手動操作，且設備與管線座標需實際測量，這樣會消耗大量人力，且測量隊需等完工後才能作業，常導致 GML 作業時間不足。利用BIM模型中的設備與管線座標完成GML建置，可克服這些問題，利用虛擬模型導出真實設施座標，顯著提高效率。

然而，手動建置GML會造成重工，本案透過自動化程式將 BIM 模型中的 GML 所需資訊導出並以 XML 格式完成建置。

手動建置 GML 需六步驟，每個設施約300秒(圖 38)。

以本案為例，手動建置 GML 檔的時間估計為2460分鐘，自動化建置僅需 14 分鐘(表 2)。效率差異達99.43%，顯示營建自動化能大幅節省人力成本並提高正確性。

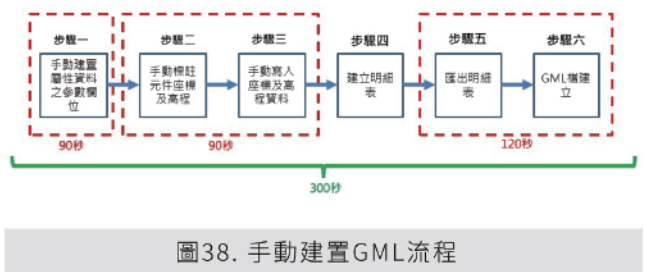


圖38. 手動建置GML流程

表2. 實際案例效益

	設備與管段 數量(個)	建置GML 耗時推估(分)	時間差 (分)	節省時間 百分比
本研究 自動化建置	492	14	2446	99.43%
傳統手動 建置		2460		

四、結論

BIM與GML同時推行，已經是目前營建專案的趨勢，在竣工階段常常需要與時間賽跑，作業時間往往因此縮短，若以營建自動化的概念輔助工程，本研究提出BIM與公共設施管道自動化資訊交換研究，可提供兩者並存但作業整合的效率化作法，帶來極大的效益。

本研究透過Dynamo與Python編寫程式，以研究案例為例，人工手動建置GML檔時間為2460分鐘，而自動化建置GML檔時間為14分鐘，節省時間百分比達99.43%以上，由此可知營建自動化帶來的效益，有效節省人力成本並提高正確性。

參考文獻

- 1.內政部營建署，「公共設施管線資料標準」(2020)。
- 2.桃園市政府養護工程處，「三維公共管線資料格式與作業規範」(2019)。





應用專案集管理分析亞馬遜通用人工智慧工業用機器人兵團的戰略發展佈局

公司重要戰略目標的實現，例如數位轉型、綠色轉型等，都牽動著公司能否持續地成長發展或是不被時代淘汰。可是單一專案成功往往並不等於戰略目標的實現，因為專案(Project)只跟交付標的有關。而戰略目標往往是跟收益(或效益)有關，收益(或效益)通常需要仰賴多個有相互關聯特性的專案來達成，稱為專案集(Program)。舉例來說，一個新產品研發專案的成功並不等於公司整體收益的提升。因為專案經理只對新產

品能如期、如質、如預算研發出來負責，後續賣的好不好就不是他的責任，而是專案集經理(Program Manager)的責任。因為收益還需要依賴一系列與新產品有關的其它專案(如新產品生產製造專案、新產品運輸物流專案、新產品行銷促銷專案等)順利推動與高度整合，才能有機會達成。所以『專案集管理(Program Management)』是將有相依關係的多個專案，進行整體性的監控和治理，以達成單獨執行這些專案無法達成的效益。

■專案集管理不易的”痛點”分析

專案集管理者稱為專案集經理，負責眾多專案之間的相互配合與最後總體成果。專案集經理其實就像交響樂團的指揮家，除了要確保所有專案進行節奏的正確性與掌控專案集路徑發展的流暢性，還要產生具體效益(讓觀眾對於整場演出感到很滿意)。由上述可知，指揮家像專案集經理，演奏家像專案經理。由於兩個角色所需職能差異很大，所以好的演奏家不一定是好的指揮家。因此好的專案經理，不一定是專案集經理的合適人選。

因為專案集管理關心的重點是“專案集如何為組織帶來收益或效益”，可是收益與效益不會自然發生，需要進行整體戰略佈局，建構相應的專案集路徑圖。實現戰略目標的專案集往往執行時間長達三至五年，所以受到外在環境變化的影響很大。因此專案集經理必須要能預見變化的轉折點，在戰略一致性的前提下，動態調整專案集路徑圖，以免預期收益或效益無法達成。

然而專案集路徑圖怎麼畫?戰略佈局的邏輯又是甚麼?

■專案集管理”解方”~破框架懂佈局

本文提出兩種專案集管理的戰略佈局邏輯思維，與其相對應的專案集路徑圖繪製方式。並實際應用分析亞馬遜通用人工智慧工業用機器人兵團的戰略發展佈局。

■專案集管理的戰略佈局思維邏輯①「充足籌碼」與「清楚痛點」

我們先藉由亞馬遜工業用機器人發展佈局為例，來解說與展現「充足籌碼」與「清楚痛點」的專案集戰略佈局邏輯。參考成毛真的『amazon稱霸全球的戰略』一書與天下雜誌、遠見雜誌在此方面的報導，來繪製專案集路徑圖。由於本案例主要目的是讓大家迅速明瞭專案集管理的佈局概念，因此適度簡化工業用機器人的實際發展流程與專業解說描述，請對於“詳細發展流程”與“專業知識細節”有興趣的讀者，再自行參考相關書籍或網路資訊。

為了提升倉庫自動化，亞馬遜在2012年併購自主移動式機器人公司 Kiva Systems。這個併購專案獲得開啟工業用機器人發展的『關鍵籌碼-Kiva機器人』，以利於亞馬遜物流中心部署。使用Kiva機器人可以協助搬運貨架，配合自動化訂單管理系統，能有效解決『倉庫貨件處理時間久的痛點』。讓一整車貨件的處理時間由以往的數小時，縮減至30分鐘，就算收到大量訂單，也能確保有效率地出貨。上述的專案集路徑圖，如圖1所示。

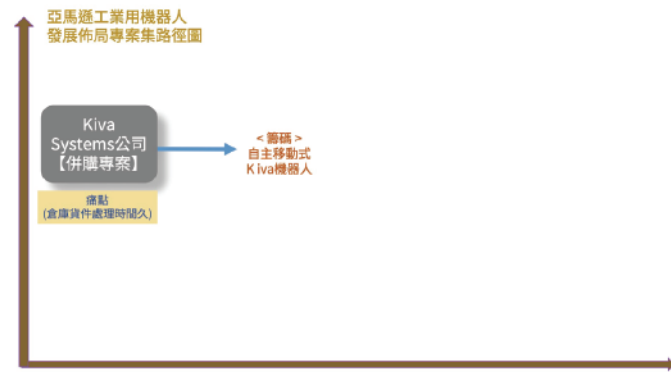


圖1.亞馬遜工業用機器人發展佈局專案集路徑圖(Kiva Systems公司併購專案)

另一方面，商務人士在使用自家公司電腦時，都要連到伺服器。會計人員要使用財務會計系統或業務人員需要客戶資料庫時，連上伺服器就能使用這些系統。然而一般公司要開發自己的伺服器往往要數年的時間，投資金額巨大。清楚了『**伺服器建置既費時又花錢的痛點**』後，亞馬遜便有了雲端服務事業的發想，並誕生『**亞馬遜網路服務公司 (Amazon Web Services, 簡稱AWS)**』，在本案例我們把AWS當成一個事業發展專案的落實成果。AWS準備了巨大的伺服器在線上提供各種企業相關系統服務(包括運算、儲存、資料庫、網路、資料分析、機器學習和人工智慧、IoT、安全性等服務)，比起公司使用各自開發的系統，AWS的共享系統價格更便宜、性能更好。亞馬遜獲利最高的是AWS，AWS的營業收益還成為其他事業部門的重要投資金額來源。上述的專案集路徑圖，如圖2所示。

2012年買下Kiva Systems公司後，這十多年來，亞馬遜已經成功打造出『**工業用機器人兵團**』。除了產出能處理多元工作任務的機器人，還持續改良開發全自動化行動機器人，讓員工與機器人在物流中心裡能夠安全互動與協作。而不同類型的機器人相遇

時，也會互相避讓，不會像Kiva機器人有『**被侷限在特定無人區域運作的痛點**』。此外，AWS也扮演亞馬遜發展機器人的關鍵角色，例如：訓練機器人辨識物品時，資料會存放在AWS的資料庫中；而模型運行時，遇到複雜工作就得上AWS雲端進行。由上述可知「Kiva機器人」與「AWS」，是多元任務機器人與全自動化機器人開發的【**關鍵基礎籌碼**】。最後產出的工業用機器人兵團，可視為是一系列相關開發專案的落實。前述的專案集路徑圖，如圖3所示。

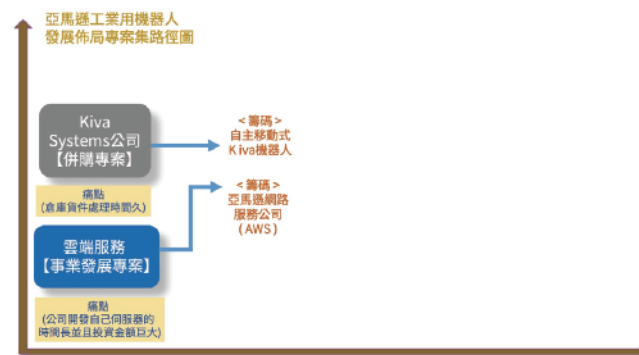


圖2.亞馬遜工業用機器人發展佈局專案集路徑圖(雲端服務事業發展專案)

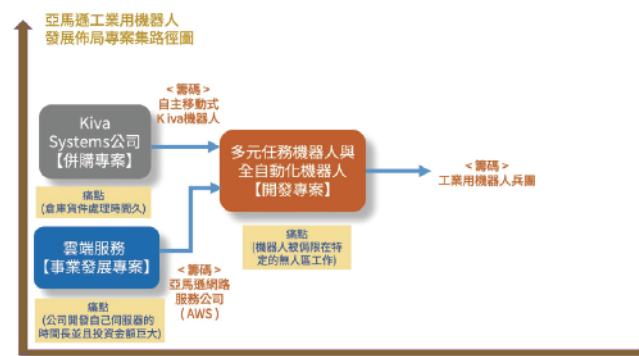


圖3.亞馬遜工業用機器人發展佈局專案集路徑圖(多元任務與全自動化機器人開發專案)

亞馬遜的工業用機器人兵團，已經能在倉庫內自由穿梭。然而如何讓機器人能夠真正在任何環境下、安全的執行任何自動化任務，並具備任何類型的實施形式。那就得發展

具有「通用人工智慧 (Artificial General Intelligence, 簡稱 AGI)」的機器人，一種達到人類智慧水準的機器人。亞馬遜投資的 Skild AI公司就是在構建『**機器人基礎模型 (Robotic Foundation Model)**』，可以視為《**通用人工智慧機器人**》所需最重要的「**大腦**」。這個投資專案，其實就是要解決亞馬遜『**缺少此項關鍵技術的痛點**』。前述的專案集路徑圖，如圖4所示。

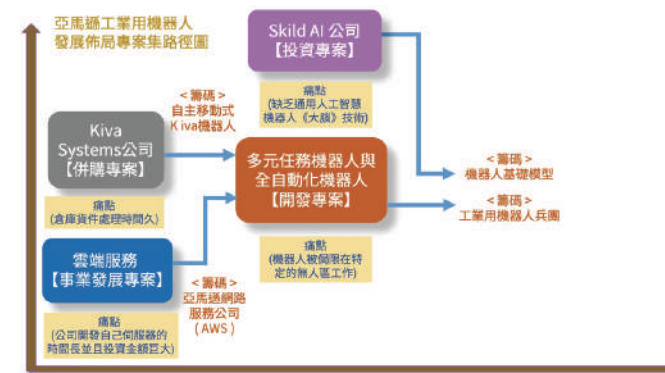


圖4.亞馬遜工業用機器人發展佈局專案集路徑圖(Skild AI公司投資專案)

一旦充足了「**機器人基礎模型**」與「**工業用機器人兵團**」這兩項【**關鍵基礎籌碼**】，相信亞馬遜在通用人工智慧工業用機器人的開發專案就會順利展開，以建構出威力更強大的『**通用人工智慧工業用機器人兵團**』。

併購專案、事業發展專案、開發專案、投資專案構成了亞馬遜工業用機器人發展佈局的專案集路徑圖，如圖5所示。隨著這些專案的一一落實，讓工業用機器人技術逐步精進。並為亞馬遜帶來不斷提升物流效率、大幅降低成本的持續性效益。

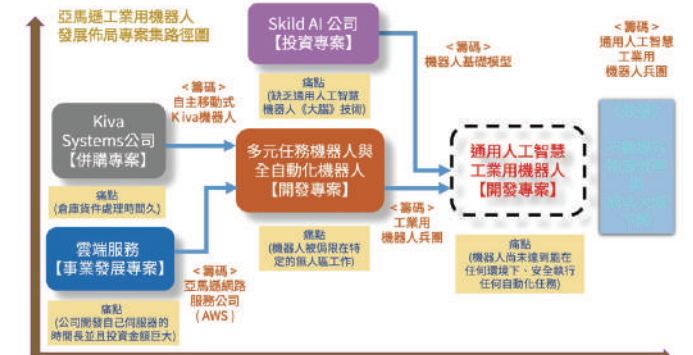


圖5.亞馬遜工業用機器人發展佈局專案集路徑圖(通用人工智慧工業用機器人開發專案)

專案集管理的戰略佈局思維邏輯②「先為不可勝，以待敵之可勝」

談到跟戰略佈局思維有關的經典書籍，就不得不提『**孫子兵法**』。

「昔之善戰者，先為不可勝，以待敵之可勝。」《孫子兵法·軍形篇》

「不可勝者，守也；可勝者，攻也。」《孫子兵法·軍形篇》

孫子兵法這兩段話的意思就是，「從前善於指揮作戰的人，先要創造不被敵人戰勝的條件，然後等待可以戰勝敵人的有利時機。」；「想要不被敵人戰勝，在於我方防守嚴密；想要戰勝敵人，在於我方進攻得當。」

轉換成現代的說法，我認為《先為不可勝》與《不可勝者，守也》很類似『**優化**』的概念~企業應用新工具和新技術來提升其營運效能或強化客戶體驗，讓自己不被現有市場淘汰。《以待敵之可勝》與《可勝者，攻也》很類似『**轉型**』的概念~一旦發現有利的時機可能來臨，企業先利用新工具和新技術來開發新產品或新服務，隨後大舉向市場推出新商業模式以創造收益。像前述的AWS一開始的目的，只是為了讓亞馬遜內

部的零售事業更順暢而開發的系統，後來向外提供的雲端服務就變成了商品來販售，還成為亞馬遜獲利最高的事業部門。

接著我們藉由直接修改圖3，來讓大家更快掌握「先為不可勝，以待敵之可勝」佈局的專案集路徑圖，如圖6所示。圖6前面三個專案(Kiva Systems公司併購專案、雲端服務事業發展專案、多元任務機器人與全自動化機器人開發專案)的實施就是屬於『先為不可勝，守也』的階段，其目的就是應用「Kiva機器人」與「AWS」來開發出「工業用機器人兵團」，以提升亞馬遜物流效率、大幅降低成本。圖6後面第四個專案(工業用機器人服務事業發展專案)的實施就是屬於『以待敵之可勝，攻也』的階段，其目的就是發現更嚴峻的大缺工時代可能到來，先應用「工業用機器人兵團」來發展出新服務，隨後大舉向市場推出新服務事業來創造營業收益。

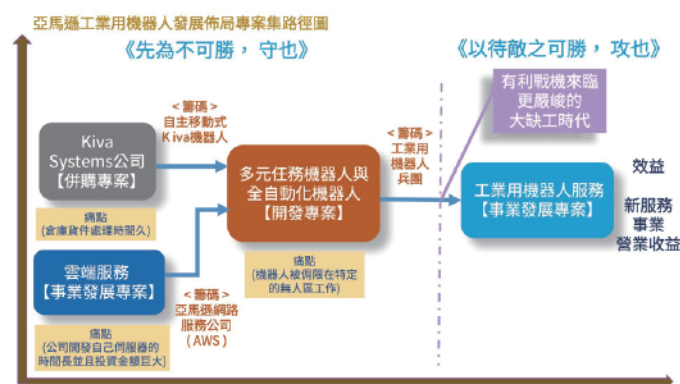


圖6. 亞馬遜「先為不可勝，以待敵之可勝」佈局的專案集路徑圖

面對瞬息萬變的大環境(如: AI科技、疫情、氣候變遷、國際政治風險、通貨膨脹、隨時不知會從哪裡冒出來的新名詞等)，公司唯一不變的生存準則就是「變」，專案集成立的目

的就是為了變。專案集的成敗直接關係到組織戰略能否實現，所以專案集經理必須隨時評估各項專案在公司整體戰略目標中，扮演甚麼關鍵角色、具有多大的價值。公司要開專案很容易，但是能毅然決然中止或取消會窮忙的專案，才是真功夫。因此國外大企業如亞馬遜、AT&T、IBM等，不僅有設置專案集經理，更會要求經驗、資歷與管理能力比較好的高階主管來擔任。『時代升級，專案管理的思維也要升級』，公司唯有重視專案集管理，才能擺脫「同維競爭」的「惡性循環」。只有「跨維競爭」，才能達成「彎道超車」。

本文主要內容摘自：《一頁紙做兩倍事，高效專案工作法》，天下雜誌出版/2025.08

台灣機器人產學聯盟

Taiwan Robotics Industry-Academia Alliance

成立宗旨

整合產業界、學界與政府力量，促進機器人產業跨域合作
因應工業4.0與智能化時代潮流並國際接軌，進而創造商機，
攜手力拼台灣機器人產業升級與繁榮

期盼聯盟透過下列七大項目

培育優秀人才、帶動機器人產業、促進台灣製造業轉型升級
為邁向智慧製造提供更大的貢獻，超過百間聯盟成員歡迎您的加入！



更多關於台灣機器人產學聯盟

歡迎加入



2025第五屆機器人智動系統優質獎 智動化產業最高榮譽—— 臺灣智慧製造實力傲視全球

社團法人臺灣智慧自動化與機器人協會

由經濟部產業發展署指導，精密機械研究發展中心委託台灣智慧自動化與機器人協會共同舉辦的「機器人智動系統優質獎」，今年已邁入第五屆，本屆頒獎典禮於台灣機器人與智慧自動化展期間隆重舉行，展示臺灣在智慧製造與機器人技術領域的卓越實力與創新潛力。自首屆以來，共有97家企業、120項產品及57位優秀人才參與，這些企業與人才在不斷創新中，對臺灣智慧製造及機器人技術的發展做出重要貢獻。

本屆「機器人智動系統優質獎」共吸引23件創新應用研發類作品及11位傑出人才參選，涵蓋機械製造、醫療器材、資訊電子及系統整合等多元領域，顯示智慧自動化技術在各行業中的廣泛應用與快速發展。經過嚴格評選，最終選出8件優質產品與解決方案，以及4位在各自領域做出突出貢獻的優秀人才，這些獲獎作品充分體現臺灣在智慧製造與機器人應用領域的競爭力。

在評選過程中，評審委員特別關注創新技術的實際應用成果，尤其是在智慧自動化系統整合、機器人技術及關鍵零組件開發等方面的

突破，這些成就不僅對產業升級與轉型提供強而有力的支持，也彰顯人才在研發、導入及系統整合中的關鍵作用，推動著整體技術創新與產業發展。

「機器人智動系統優質獎」不僅對獲獎者給予高度肯定，更進一步促進機器人與智慧自動化技術的普及與發展。經濟部產業發展署透過此平台激勵企業與人才持續創新，並協助企業擴展市場、提高曝光度，許多獲獎者因此在企業內部獲得晉升，並獲得更多發展機會。此外，精機中心與智動協會也持續協助企業參加國內外展會的宣傳機會，進一步提升其市場能見度與商機。

希望透過獎項，持續推動臺灣智慧製造與機器人產業升級，並強化臺灣在全球供應鏈中的競爭力，為臺灣在全球市場的發展奠定更加堅實的基礎。



圖1. 2025第五屆機器人智動系統優質獎經濟部產業發展署、委辦單位、執行單位與得獎者合影

機器人智動系統優質獎 獎項介紹

(一) 創新應用研發類

系統整合技術、機器人及其關鍵零組件等應用於生產製造，就產品與系統整合技術與服務，本身品質精進、技術研發、加值應用等創新，從舊有產品與系統改善且和指標廠商相比，趨近或超越同類產品。獎項分為2組，說明如下：

1. 機器人及關鍵零組件研發組：限國產製品，

包含機器人及其關鍵零組件，如控制器、減速機、馬達/驅動器、感測、通訊、軟體技術等自主研发產品。

2. 系統整合應用組：提供機器人智動系統整合解決方案，解決方案內需具有智慧製造元素與系統整合技術。系統整合技術包含智慧機械/機器人技術、物聯網技術、網宇實體技術、精實管理技術等。



圖2. 2025第五屆機器人智動系統優質獎經濟部產業發展署、委辦單位、執行單位與創新應用研發類參賽廠商合影

(二) 人才類

機器人智動系統整合人員包含自動化規劃、智動控制系統、機構、資訊等相關技術工程、設計與管理階層人才。獎項分為2組，說明如下：

1. 傑出工程師獎：從事機器人自動化設備/單元、供應鏈、整線、整廠系統整合之規畫設計、技術之開發，具有特殊貢獻，允當楷模者。
2. 傑出團隊領導獎：實際帶領團隊進行機器人自動化設備/單元、供應鏈、整線、整廠系統整合之規畫設計、技術之開發或專案之推動、管理與應用，具有特殊貢獻，足為產業楷模者。



圖3. 2025第五屆機器人智動系統優質獎經濟部產業發展署、委辦單位、執行單位與人才類參賽者合影

第五屆機器人智動系統優質獎—得獎作品介紹

創新應用研發類：機器人及關鍵零組件研發獎



★特優獎：RCH-100E高速放電銑削頭 / 上銀科技股份有限公司

產品介紹 →

高速放電銑削頭RCH-100E為全球首創，結合力矩馬達直驅技術，精度為傳統3倍、轉速提升15倍，可長時間高速運轉，原本以Z軸上下進行的放電加工，升級為具分度、同動與主軸功能的放電銑削，效率提升5倍、精度達2微米，設備內建感測系統，能主動回饋使用狀況，便於維護。採輕量材質設計，減少設備重量30%，並降低銅電極耗量70%，節能又省成本。

★特優獎：仿生機器人關節電機模組(M1-140) / 東元電機股份有限公司



產品介紹 →

東元M1-140仿生機器人關節電機模組為高整合驅動器，具備高扭矩與高效率輸出，結合高精度編碼器以提升控制穩定性與延長機器人運作時間，適用於災區巡檢等複雜場域，模組採用鎂鋰合金(Mg-Li)，減重達43%，提升續航力與機動性，厚度僅15mm，利於空間受限環境應用；搭配單股繞線技術與H級絕緣材料，增強系統穩定性與高溫耐受性。此外，支援多軸串接應用，強化全身協調控制，產品由臺灣自研自製，支援客製化，推動關鍵零組件國產化。

★優良獎：行星減速機，TUH110-007 / 宇隆科技股份有限公司



產品介紹 →

此減速機專為工具機應用設計，採雙支撐圓錐滾子軸承，提升徑向與軸向負載能力；選用SUS416不銹鋼並搭配DIN2等級高精度齒輪，經滲碳與研磨，背隙小於1弧分，運轉穩定，並使用專用潤滑劑壽命達兩萬小時，具IP67防水等級。

結構經有限元素分析驗證，並導入電化學加工技術，確保齒輪與臂架同心度控制在1微米內，輸出端跳動低於2微米，實現高定位精度與穩定性。

★優良獎：諧波減速機用薄型軸承 / 東培工業股份有限公司



產品介紹 →

東培工業推出符合諧波減速機需求的薄型軸承，具備取代日本進口產品的實力，提升自主供應能力並幫助下游廠商降低成本、提升競爭力，該軸承以一般深溝滾珠軸承為基準，在相同材料與熱處理條件下，設計出比68、69系列更薄的內外環，製造時嚴格控管變形問題，展現高超加工工藝，其壽命達L10=10,000小時，能穩定應對諧波減速機持續的橢圓波形變化，成為波產生器的關鍵零件。

創新應用研發類：系統整合應用獎

★特優獎：機器手臂立體定位導航手術設備 / 鈦隼生物科技股份有限公司



產品介紹 →

鈦隼生物科技開發的腦部手術導航機器人，定位為「機器輔助視覺導航機器人」，相較於傳統立體定位手術及現今常見的微創技術，在多項指標上皆展現顯著優勢，在一般狀況下同類設備需要30~70分鐘準備時間，此案例只要15分鐘內即可開始手術，其手術傷口數量與大小均明顯減少，所需鑽孔數亦大幅降低，手術時間由傳統約4小時甚至更長，縮短至1小時以內，病患定位時間由傳統1小時，縮短為2-3分鐘，大幅提升手術效率與病患舒適度。

★特優獎：貼壁式攀附智能車維運系統 / 佐翼科技股份有限公司



產品介紹 →

本系統核心載具—貼壁式檢測攀附智能車，採用永久磁鐵吸附機構，具備90度垂直壁面行走能力，最高可於135度傾斜表面執行作業，實現高牆面無需鷹架的自主移動，大幅降低鷹架搭設所需時間與成本，並有效提升高空作業的安全性，車體整合VIO即時定位模組，能於作業過程中同步記錄量測數據與對應座標，實現高精度資料回饋與追蹤。

以直徑與高度各約10公尺之大型桶槽為例，透過智能車高機動性與智慧導航功能，能於4至6小時內完成超過600個膜厚或壁厚量測點，工時縮短50-67%，成本相較傳統減少8-9成，工程期間不停機照常運轉，生產零影響。

★優良獎：下肢復健機器人MRG-P110 / 上銀科技股份有限公司



產品介紹 →

HIWIN下肢復健機器人具備100%臺灣自主研發與製造的優勢，提供更具成本效益的復健解決方案，其引進成本僅為歐美同類型機器人的四分之一，降幅高達75%；此外，HIWIN亦提供租賃服務，協助資源較有限的醫療院所降低設備門檻，擴大應用機會。在自費使用方面，歐美步態訓練機器人每次

訓練（約30分鐘）費用約為3,600至6,000元不等，而HIWIN下肢復健機器人每次僅需600至1,000元，平均費用降低約83%，大幅提升一般民眾的可負擔性。透過此高可近性的復健設備，讓不同經濟條件的病患皆能享有精準醫療與智能復健的機會。

★優良獎：3D空氣極光自動化打粗設備 (型號:ATM3) / 大氣電漿股份有限公司



產品介紹 →

本系統在鞋業應用展現高度效益，不僅將打粗效率提升至每分鐘6隻鞋底、為傳統作業的6倍，且僅需一人操作，降低人力依賴與製程瓶頸。自動化QC系統可精準辨識不良品，並透過再次處理降低材料浪費。整體製程無粉塵、低耗能，兼具減碳與安全效益，亦支援多種鞋底材質與複雜結構，因應市場多樣需求。

此外，本技術亦成功擴展至其他產業，如照明產品的抑菌防塵鍍膜、生醫隱形眼鏡的親水性提升、運動器材與食品模具的貼合與表面改質，展現跨產業應用的高彈性與附加價值。

人才類：傑出工程師獎

• 余志宏技術副處長
• 均豪精密工業股份有限公司



余志宏技術副處長擁有超過19年智慧系統整合與機器人應用經驗，具備FPD顯示器、半導體與智慧製造等產業背景，從基層工程師晉升至專案經理，熟稔系統規劃、產品驗證與應用推廣，主導多項自動化設備智能化開發，成功帶領團隊完成多款工廠應用平台產品。

專精彈性系統整合與智能功能開發，推動智慧設備導入產線，已完成逾120台設備建置，並導入10餘項大型自動化整線專案，亦積極投入AI學習與健康診斷系統，協助產品升級，屢獲創新獎項肯定，展現卓越的技術領導力與實績。

• 張維庭總工程師
• 佐翼科技股份有限公司



張維庭總工程師任職期間，主導「貼壁式攀附智能維護」及「工安智慧巡檢機器人」等專案，專注於開發桶槽智能維修與清洗機器人系統，團隊成功研發多款桶槽檢測、清洗、除鏽、噴塗機器人，將傳統維修流程轉變為智慧化與自動化。這些創新技術克服高風險、耗時的人工除鏽噴塗作業難題，有效解決大型桶槽高空、長工期、惡劣環境等挑戰，大幅縮短工期，降低人力成本與風險，並提升維修效率與品質，此外，導入自動除鏽技術顯著改善了作業環境，懸浮微粒粒徑降低逾55%，VOCs逸散量也大幅減少，顯著保障了作業人員的健康與安全。

人才類：傑出團隊領導獎

- 張啓舜系統設計資深課長
- 台達電子股份有限公司



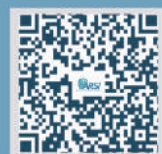
張啓舜課長專精於機器人系統設計與軟體架構，自2014年加入台達以來，歷任多項技術職務，目前擔任技術部門主管，負責跨部門協調、流程制定與技術導入，帶領團隊完成多項具競爭力的機器人專案，並主導核心技術平台建置，涵蓋運動控制、操作介面與應用模組，並推動AI Open Robot Platform與功能安全等次世代技術。張課長亦打造整合ME、EE、FE等職能的Twin設計平台，導入Smart Design精神，有效加速開發、提升品質與降低成本。

- 呂志濠處長
- 新漢股份有限公司

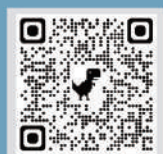


呂志濠處長積極整合產官學研資源，帶領團隊成功推動多項智慧與綠色製造專案，促進集團內部數位轉型，成果備受肯定。在其領導下，團隊協助新漢榮獲2024《HBR數位轉型鼎格獎－韌性供應鏈轉型楷模獎》，並善用政府科專資源，協助各事業單位加速產品與解決方案創新，也推動案例經驗內化為行銷資產，透過成果發表、示範觀摩與交流媒合，擴大集團AIoT智慧製造方案的影響力，此外，亦擔任國際智能製造推動協會秘書長，並促成「新漢AIoT數位轉型加速器」成立，打造跨界生態系，攜手合作夥伴推動產業升級轉型，展現卓越的團隊領導與產業影響力。

誠摯歡迎各界持續關注「機器人智動系統優質獎」，獎項不僅是展示創新實力的寶貴機會，更是分享卓越成果、拓展商業網絡的重要平台。



ARSi 機器人智動系統優質獎
Youtube頻道



ARSi 機器人智動系統優質獎
TAIROA B2B 線上展館

TAIROS

TAIPEI
Automation

台灣機器人與 台北國際 智慧自動化展 自動化工業大展

Taiwan Automation Intelligence and
Robot Show

Automation Taipei

2026/8/19(三) - 22(六)
台北南港展覽館一、二館



展出項目 Exhibit Profile

- 智慧製造相關
Smart Manufacturing
- 製造設備
Industrial Supply
- 關鍵零組件
Key Components
- AI 人工智慧
Artificial Intelligence (AI)
- 智慧服務(商業應用)
Smart Services (Business Application)
- 服務型機器人
Service Robot

參展諮詢 Contact Us

社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association

陳怡樺小姐 Ms. Fion Chen #14

TEL: +886-4-2358-1866

E-MAIL: service@tairoa.org.tw

展昭國際企業股份有限公司

Chan Chao International Co., Ltd.

黃妹博小姐 Ms. Candy Huang #122 / 林鈺婷小姐 Ms. Ivy Lin #192

TEL: +886-2-2659-6000

E-mail: automation@chanchao.com.tw

主辦單位 Organizers

社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association

經濟日報

Economic Daily News

展昭國際企業股份有限公司

Chan Chao International Co., Ltd.



TAIROS



Automation



智動化產業資安藍圖

文 社團法人臺灣智慧自動化與機器人協會

“

智慧自動化與機器人領域的業者可根據自身現況規劃資安導入的階段性策略，考量短期規劃、中長期規劃及發展規劃，逐步強化企業資安防護與管理能力。

”

(1) 產業資安短期目標

短期規劃應以導入人機資管管理制度為基礎，參考ISO 9001、ISO 27001、ISO 22301、IEC 62443等國際標準，建立基本的品質管理、資訊安全、業務持續及工業控制系統安全框架。中長期規劃則聚焦於資訊作業委外安全管理及供應商風險評估，依循ISO/IEC 27036:2023，評估供應鏈風險並強化委外作業的安全管控。

在執行面，企業需實施端點防護、內網監控、維護合規、第三方驗證、資安滲透測試、資源管理、特權帳號管理、身份驗證、網路防火及模型平台等措施，確保日常運作的安全性。

防禦面則包括無線隔離、多因子驗證、WAF防火牆、APT防護、OT、SOC等先進工具，結合教育訓練及加監工具，提升對內外部威脅的防禦能力，並透過自動化/可視化管理平台實現高效監控。

在管理面，應進行資源需求分析(BIA)、設計因應策略、測試與維護、發展營運持續計劃；同時強化資產管理、風險管理、風險管理等機制，透過雲端服務管理及資料安全事件處理機制，找出潛在漏洞並持續改善。此外，企業可結合內外部資源，定期檢視資安措施，確保與外部威脅及法規同步演進，從而達成資安長期合規與業務持續的目標，如下圖1：



圖1. 台灣智慧自動化與機器人協會產業資安治理藍圖

資安政策制定與導入

由高階管理層參考ISO 9001、ISO 27001、ISO 22301及IEC 62443等標準，制定資安政策並推動組織執行，確保短期規劃的基礎建立。

供應鏈與委外安全管理

依循ISO/IEC 27036:2023，針對中長期規劃評估供應鏈風險，強化委外作業安全管控與資源調度。

日常資安作業執行

實施端點防護、內網監控、WAF防火牆及SOC等工具，參考指引執行具體防護與監控作業，提升日常運作安全性。

風險評估與持續改善

透過BIA分析、測試與維護，結合雲端服務管理及內外部稽核，定期檢視並優化資安措施以應對外部威脅。

(2) 產業資安中期目標

為能進一步打造安全可靠的智慧自動化與機器人產業供應鏈，強化資安防護能量及保護智慧自動化與機器人產業的資安，從而提升產業整體資通訊安全，依據企業目前的資安方案部署現況，並參考其他產業的最佳實例，企業可根據自身現況與資源需求，循序建立從基礎到先進的資安防護與管理架構，初始階段應聚焦於提升資安意識與規範，建立全面的治理與風險評估機制，涵蓋政策制定與合規性檢查；隨後進入IT/OT整合安全管理層面，實施端點防護、內網監控、網路防火牆及多因子驗證等技術措施，確保基礎設施與關鍵系統的安全性；中階階段可導入SCADA、PLC、MES等工業控制與製造執行系統，以及ERP、TPIAS、ISO 27001、TISAX等標準化的IT與供應鏈安全解決方案，進一步強化核心業務與外部合作夥伴的資安防護；高階階段則應整合AI驅動的威脅情報分析、自動化管理平台及EDR、DLP等先進工具，實現即時威

脅檢測、數據洩露防護與系統優化；最終透過定期稽核、持續訓練與跨部門協作，確保資安措施與外部威脅及法規要求同步演進，達成長期穩定的資安治理與業務持續運作目標，如下圖2：

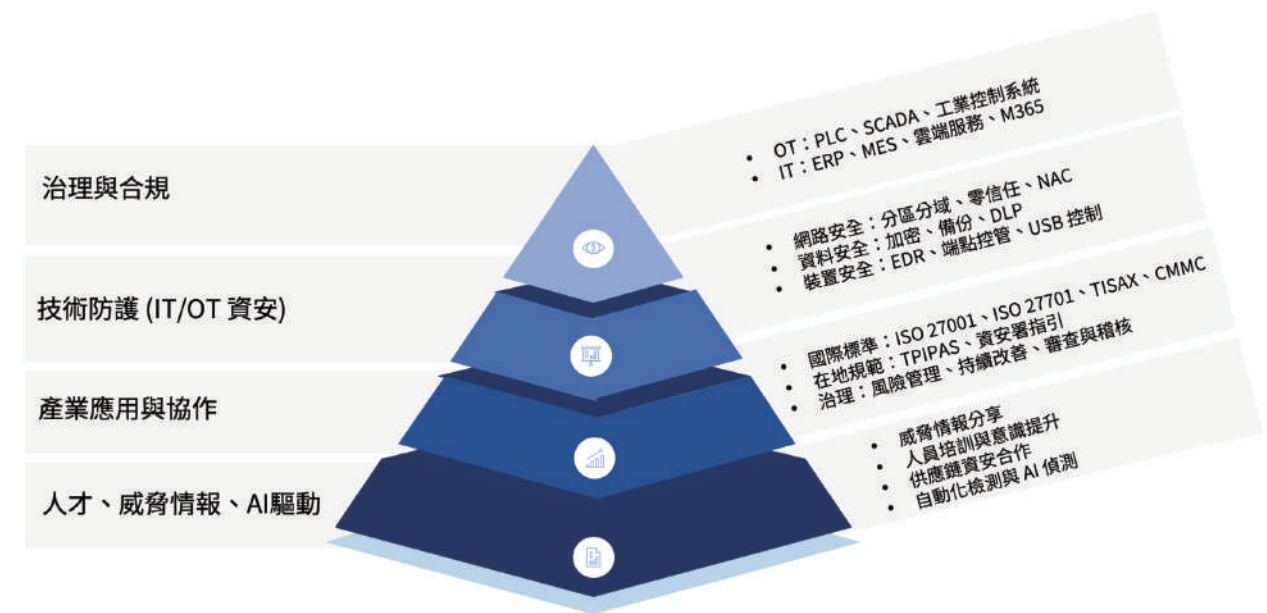


圖2. 智慧自動化與機器人產業SIG資安藍圖架構

● 資安意識與規範建立

從基礎層次開始，企業應強化資安意識教育與治理機制，制定政策並進行風險評估，奠定IT/OT整合安全管理的基础。

強工業控制與供應鏈安全管理，保護核心業務。

● 先進威脅防護與自動化

利用AI驅動的威脅情報、EDR、DLP等工具，實現即時威脅檢測與數據洩露防護，並透過自動化平台優化資安作業。

● IT/OT安全技術實施

在中階層次，導入端點防護、內網監控、網路防火牆及多因子驗證等技術，確保IT與OT系統的基礎安全與穩定運行。

● 工業與供應鏈安全強化

結合SCADA、PLC、MES及ERP、TPIAS等系統，參考ISO 27001、TISAX標準，加

(3) 產業資安長期強化方向

智慧自動化與機器人領域業者可根據 NIST 資安框架 (Cybersecurity Framework) 之 CDM (Cyber Defense Matrix) 架構，全面整合技術 (Technology)、程序 (Process) 與人員 (People) 三個層面，循序實施識別 (Identify)、防護 (Protect)、偵測 (Detect)、回應 (Respond) 及恢復 (Recover) 五大階段，以強化企業整體資安防禦能力。在識別階段，應透過資產管理、風險評估及治理機制，涵蓋裝置 (如智慧管理)、應用程式 (如 APP 管理)、網路 (如網路管理)、資料 (如資料分類與標記) 及人員 (如多因子認證與權限管理)，建立全面資產清冊與風險地圖；在防護階段，導入 AV/HIPS 終端防護、RASP/WAF 應用防護、FW/IDS/VPN 網路防護、DRM/DLP 資料防護，以及資安教育訓練與社交工程防範，構建多層防線阻擋威脅入侵；在偵測階段，利用 EDR/MDR/XDR 端點偵測、UEBA/UBA 使用者行為分析、NDR 網路偵測及異常偵測工具，實現即時監控與警報機制，及時發現潛在攻擊；在回應階段，透過網路偵測回應與異常偵測，結合事件處理程序，快速隔離威脅、調查根因並減輕損害；在恢復階段，則聚焦於異常恢復、資料備份與復原，確保業務持續性，並透過人員訓練與程序優化，持續改善資安架構。此外，企業應定期進行模擬演練與稽核，結合內外部資源，確保該架構與最新威脅情資及法規要求同步演進，從而達成長期資安合規與韌性目標。

● 資產識別與風險評估

在識別階段，企業應建立裝置、應用程式、網路、資料及人員的資產清冊，透過風險評估與治理機制，制定全面的資安策略。

● 多層防護措施實施

在防護階段，導入 AV/HIPS 終端防護、RASP/WAF 應用防護、FW/IDS/VPN 網路防護及 DRM/DLP 資料防護，並結合教育訓練強化人員意識。

● 即時威脅偵測：

在偵測階段，利用 EDR/MDR/XDR 端點偵測、UEBA/UBA 使用者行為分析及 NDR 網路偵測，實現持續監控與異常警報。

● 快速回應與威脅隔離

在回應階段，透過網路偵測與異常處理，快速隔離威脅、調查攻擊根源並減輕潛在損害。

● 恢復與持續改善

在恢復階段，執行異常恢復與資料復原，結合人員訓練與程序優化，確保業務韌性並持續提升資安效能。



智動化 與 機器人線上展館 DIGITAL EXHIBITION

最可靠的自動化供應商一次掌握

60+ Companies 300+ Products



主題展館



Thai



Vietnamese



Malay





先進智造AI應用特訓營

強化AI應用實力，接軌產業智慧化新浪潮

隨著人工智慧AI與生成式AI技術的突破性發展，智慧製造正全面邁向數位化、智能化與永續化的新時代。各產業紛紛導入AI以優化製程、提升效率與創造價值，因此具備跨域整合與AI應用實力的專業人才，已成為企業最迫切的需求關鍵。

本特訓致力於協助企業與學界緊密連結，打造智慧製造人才培育平台，為在校生與應屆畢業生創造深入產業實境的學習與實作機會，佐以理論與實務並重的訓練模式。智動協會每年暑假期間舉辦特訓營，至今已持續辦理七屆。每年邀請至少5家廠商參與，提供實際專案與企業導師指導，協助學員提早接軌職場，縮短從校園到產業的落差。透過產學共創的合作模式，不僅為學員開啟產業職涯之門，也讓企業能夠提前發掘與培育具潛力的新世代人才。

▼ 以下為2025先進智造AI應用特訓營的亮點：
專業培訓：為強化學員AI技術實務應用能力，課程設計以「理論×實戰×趨勢」為核心，規劃為期五天的密集訓練。課程內容涵蓋：

- 智慧工廠AI加值技術與應用
- 機械視覺與人工智慧於機器人領域的整合實務
- 機械手臂與AI技術操作實作
- 個人化AI語音助理 (TTS) 應用開發
- Python數據分析與機器學習應用實務

課程透過業界專家與學界師資的共同授課，帶領學員掌握AI於智慧製造、視覺辨識、自動化控制及生成式語音等前沿應用趨勢，並透過案例分析與專題實作，培育可直接轉化為產業生產力的技術。

企業專案實作：學員參與為期八週的企業專案或專業實習，由企業導師親自指導，實際參與AI應用於製造現場的專案執行。此階段不僅強化專業技術與團隊協作能力，也讓學生在真實工作情境中累積產業經驗，培養面對未來職場的解決問題思維。

多元就業機會：參與特訓營的學員將學習更強的AI應用能力與跨域整合思維，能快速投入智慧製造、機器人、自動化、AI軟體服務等新興領域。此訓練計畫成為學生邁向產業的最佳跳板，也為企業注入新能量，推動產業升級與永續發展。

提高產業競爭力：特訓營不僅強化學員的實務能力，也協助企業提前接觸優質青年人才，縮短培訓週期，提升研發與創新效率。透過這項產學合作平台，為產業注入長期動能，提升企業的競爭力。

智慧製造的核心價值，不僅在於技術的突破，更在於人才的成長與產業的共榮。「先進智造AI應用特訓營」以扎實的訓練課程與跨域合作為基礎，讓學員透過實踐累積經驗，並以行動連結產業現場。這不僅是一場培訓，更有一股推動製造業升級與社會永續發展的力量。未來，智動協會將持續凝聚人才、技術與產業的能量，為台灣智造注入持續創新的動能，開創更具韌性的產業未來。



特別感謝今年8家協作企業(依照筆畫)：上銀科技(股)有限公司、台灣三菱電機自動化(股)公司、台灣發那科(股)公司、台灣庫卡(股)公司、立普思(股)有限公司、和碩聯合科技(股)股份有限公司、所羅門(股)有限公司、喬威進科技(股)有限公司。

13位學生來自學校：日本東京大學、國立台灣大學、國立台灣科技大學、國立中央大學、國立勤益科技大學、國立高雄大學、中原大學、元智大學、台北城市科技大學。

技術 ≠ 永續競爭力

管理者如何打造自動化人才的舞台，
自動化競爭力，決勝於人才養成

文 所羅門股份有限公司 視覺事業處資深經理 吳尚宇

工程師三大核心能力：跨域、現場、持續學習

自動化人才的養成，並不僅限於程式設計或硬體知識的累積。依據我的觀察，以下三項能力最為關鍵：

1. 跨域整合力

自動化專案往往同時涉及機構設計、電控、光學、影像處理與AI演算法。若只專注單一領域，容易遇到瓶頸。程式背景的同仁嘗試接觸硬體調整，或機械背景的同仁挑戰AI模型標註與驗證，都是必經的跨越。這樣的跨域歷練，正是工程師最珍貴的競爭力。

2. 現場應變力

設計再完整，到了現場仍可能因光線變化、產品公差或產線節拍而失效。我常提醒團隊：真正的課堂在現場。能否快速定位問題並提出替代方案，才是專案成功的關鍵。例如，在某次導入過程中，因光源不穩導致影像辨識準確度下降，我們即時調整了光學模組並優化演算法，最終才使專案如期完成。

3. 持續學習力

自動化技術更新速度極快，從傳統影像處理到深度學習的普及就是最好例子。保持學習的好奇心，比一次性的知識積累更重要。我常建議實習生為自己設定「每月一個新主題」

隨著智慧製造與產業轉型加速，自動化技術已是企業競爭力的關鍵。然而，真正決定產業能否持續向前的，並非技術突破本身，而是能否養成一群懂得跨域整合、現場應變並保持學習動力的人才。多年帶領實習生與團隊的經驗，讓我深刻體會：技術會日新月異，但人才的養成才是能否讓技術落地的核心力量。

用「沒有標準答案」的任務跳脫學習框架

許多實習生初入產業時，仍帶著學校教育的慣性，習慣尋找唯一正確的答案。但在自動化現場，往往沒有固定解答，而是必須在限制條件下找到「最適合的方案」。

因此，我常安排一些「沒有標準解答」的任務，讓他們體會問題的多樣性。例如，針對同一檢測需求，我會鼓勵從三個角度思考：光學架構設計、影像演算法調整，以及AI模型訓練。這些練習，讓實習生不只學會工具操作，更學會在多變環境下尋找最優解。

同時，我強調「提問比答案更重要」。遇到困難時，我不會立刻給出解法，而是反問：「你覺得可能原因是什麼？」、「如果資源有限，你會怎麼取捨？」這種訓練能培養出拆解問題與獨立思考的能力。對年輕工程師而言，提問力與思考力，往往比一時的解答更有價值。

的小目標，例如熟悉一個新框架或閱讀一篇最新研究論文。當學習成為習慣，他們便能在技術浪潮中不斷進化。

技術管理不是要求一致，
而是觀察並放大每個人的優勢

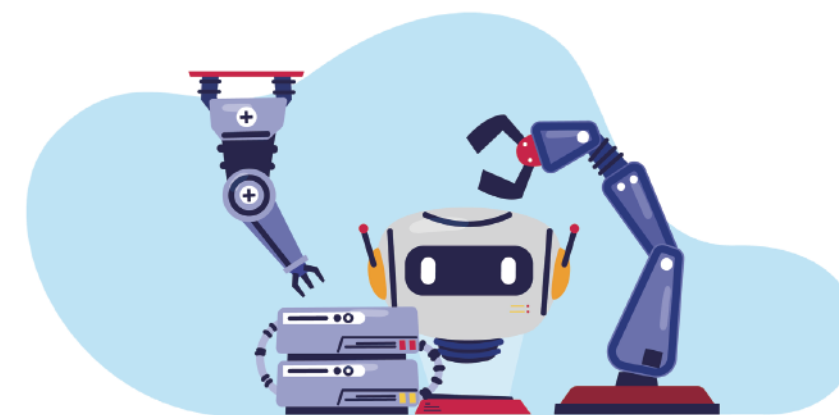
在帶領團隊時，我始終相信：管理的重點不是要求每個人一樣，而是找到他們的強項，並放在最適合的位置。我常用NBA球隊的比喻：團隊成員就像球星，有人擅長外線投籃，有人以防守見長，也有人能在關鍵時刻扭轉局勢。身為管理者，我的責任不是自己上場得分，而是設計戰術、分配資源，讓每個人發揮所長。例如，對影像處理敏銳的成員，就讓他專注於模型調校；擅長溝通的同仁，則負責客戶對接與跨部門協調；而對現場應變力特別強的人，則安排在產線導入與測試的第一線。當每個人都能在熱愛的領域發光發熱，團隊就能產生超越個人總和的能量。

技術 ≠ 永續競爭力，
若人才不足，專案無法落地

自動化並非單純提升效率的工具，它也是推動產業升級的關鍵力量。但如果缺乏人才養成，再先進的技術也難以落地。更重要的是，自動化人才應該肩負社會責任：如何讓技術改善工作環境、提升品質，而非單純取代人力，這是所有工程師都該深思的課題。

打造自動化產業的長期韌性

帶領實習生與團隊的過程，讓我更清楚看到自動化人才養成的本質：跨域整合力、現場應變力與持續學習力。而管理者的角色，是為團隊搭建舞台，讓每位成員在合適的位置展現價值。唯有如此，團隊才能在快速變動的產業浪潮中站穩腳步，持續前行，為產業創造長期的韌性與價值。



AI時代的Mentorship

引導激發工程新星的潛能

和碩聯合科技股份有限公司 AI競爭力中心-軟體研發一處-軟體設計四部-軟體一課 機器學習工程師 張舜程
和碩聯合科技股份有限公司 新產品發展事業處-人工智慧發展處-產品研發二部-一課 軟體研發工程師 林智敏

作為培訓實習生的mentor，我深信人才培育的真諦不在於單向輸出知識，而在於創造環境讓潛能自然迸發。近期指導臺大電機系林禹融同學的實習歷程，正是對此理念的深刻印證。才加入AI model團隊，便以驚人速度掌握專案追蹤系統、每日進度匯報機制及敏捷開發流程，更在短短兩週內深入理解並參與開發當前業界前沿的Agentic AI系統—從Agent架構設計到MCP協作機制，展現出對尖端技術的敏銳觸覺。這種適應力遠超預期，而真正令我動容的是他「主動思考」的特質：面對複雜技術難題，他從不被動等待答案，而是先獨立釐清問題本質，再透過深度討論尋求突破。例如在Agentic AI調試階段，他主動發現MCP工具調用的瓶頸，三天內提出優化方案並驗證可行性，這種問題驅動力正是優秀工程師的核心素養。

作為Mentor的角色，始終定位為「思考催化劑」而非「答案提供者」。當他提出技術疑問時，我習慣以引導式提問激發獨立思考：「這個架構的trade-off 可能有哪些？」「若從用戶體驗角度切入，會如何調整？」這種互動不僅加速技術理解，更培養了結構化思維。

更珍貴的是，他總在午餐時主動分享學界最新研究動態，我們借此探討學術成果向產業落地的轉化關鍵。他逐漸學會用商業語言詮釋技術價值，也體認到「學術完美」與「產業可行」之間的微妙平衡。

最令我欣慰的是實習生的溝通能力的蛻變。初期面對跨部門協作時略顯拘謹，但兩個月後，他已能自信地在產品會議中闡述技術邏輯，甚至主動協調設計與工程團隊的資源分配。這種從「被動執行」到「主動溝通」的轉變，正是實戰環境賦予的無價禮物。我始終認為，真正的培養不是塑造標準化人才，而是幫助年輕人發現自身獨特優勢—該實習生展現的快速學習力、問題驅動思維與全力以赴的態度，正是他未來突破行業邊界的利器。當年輕人才帶著這份熱忱投入實戰，我們只需為他們點亮一盞引路的燈，剩下的光芒，將由他們自己點亮。

今年的暑期實習計畫中，我們團隊的專案主題聚焦於**工業機器人操作與智慧製造技術整合**，旨在透過虛擬環境進行操作流程驗證，並嘗試導入**One-shot Pose Estimation**與**Imitation Learning (模仿學習)**等人工智

慧方法，以提升機器人在複雜任務情境中的靈活度與精準度。此專案兼具研究探索與實務挑戰的特性，讓學生得以親身體驗智慧製造現場的技術應用與產業需求。

該實習生於第二階段加入團隊後，迅速展現出優異的學習能力與高度適應力。他主要負責建立並訓練**YOLO物件偵測模型**，同時設計**合成數據生成流程**，有效解決了資料量不足的問題，使模型能穩定支援整體專案需求。在完成主要任務後，他更主動投入系統整合與流程優化，協助其他成員確保跨模組協作順暢。整體而言，他在技術能力、執行效率與團隊合作上皆表現出色，為專案成果的落實貢獻了關鍵力量。

對學生而言，本次實習提供了難得的學習機會，使他能首次接觸**機器人控制、數位學生 (Digital Twin) 與AI整合應用**等新興技術，進一步理解產業實際面臨的挑戰與發展趨勢。透過企業資源與真實專案的實務參與，學生不

僅體會到學校課程與產業應用之間的落差，更在過程中重新思考自身的學習方向，對專業知識的價值與應用產生更深層的體悟。

對我們而言，學生的加入為團隊注入了新鮮的思維與創新方法，使我們能從不同角度重新審視問題並激發新的靈感。他們的積極投入與真誠回饋，促進了雙向的知識交流，不僅提升了專案成果的深度與廣度，也展現出實習在**培育AI新世代人才與促進技術創新**上的雙重價值。令人欣慰的是，實習生對人工智慧與智慧製造領域展現出高度興趣與熱忱，這更加堅定了我們持續推動此計畫的信心與意義。

綜上所述，該實習生表現傑出、態度積極，並在短時間內展現出優異的專業潛力與問題解決能力。我們對其表現深表肯定，也相信本次實習不僅為學生開啟AI與自動化領域的學習契機，更為團隊注入了嶄新的能量與視野。



先進智造AI應用特訓營實習心得

文 國立臺灣大學電機工程學系 三年級 林禹融

“很榮幸能錄取這次的實習，我所在的部門是 AI Model Team，專注於人工智慧模型的研究與開發，並將成果應用於公司各項業務。”

工作流程與 Scrum 模式

和碩的研發團隊採用Scrum敏捷開發流程。每個Sprint週期約為兩週，開端由主管提出任務方向，團隊再將任務細分為以小時為單位的工作項目，方便自由分工與進度掌握。每天會舉行Daily Meeting，討論前一日完成的事項、遇到的問題，以及當日規劃；Sprint結束時，則需向主管呈報成果，並進行檢討會議以交流經驗。

這樣的制度讓主管能即時掌握進度，也促進了任務的推進。不過，對新成員而言，如何精準拆解並估算工時是一大挑戰，需要在實踐中逐步調整。透過這段過程，我也學會了更有效地規劃任務、分配時間，這對未來的專案執行將大有幫助。

團隊成員大致分為 Research、Engineering、Application三個角色，雖然各自有主要分工，但實務上常需跨領域協作。我在實習期間共參與了兩個Sprint，並完成

了兩個專案主題：

1. AI Agent：

公司在軟體開發中，常因解決bug的人力有限而形成瓶頸。為提升效率，我們建立了一個紀錄過往bug與解法的資料庫，並透過RAG技術結合大型語言模型(LLM)進行分析。這樣工程師在面對新問題時，就能快速查詢相關案例，並獲得 AI 提供的參考解決方案。

在這個過程中，我不僅參與了系統的設計，更實際利用AI agent來完成這項任務，讓它能夠主動搜尋、整理並推薦最佳解法，真正發揮了輔助工程師的作用。此外，我們還新增了一項修改工作紀錄的MCP功能，讓開發人員在提交或更新紀錄時，不必再耗費大量時間撰寫細節，由AI自動生成或調整紀錄，進一步減少人力成本。這些功能不僅提升了效率，也展現了AI在實務應用中的價值。

2. 工廠自動化數位學生：

在伺服器自動化組裝中，部分步驟（如電線、網路線插拔與繞線）仍需仰賴人工操作，這是未來「關燈工廠」（全自動化工廠）必須解決的挑戰。為此，公司開始探索利用機器手臂完成伺服器組裝的可行性，其中涉

及物件偵測、3D預測與模仿學習等技術。參與這個專案，讓我有機會接觸到學校課程未曾涵蓋的領域。

透過這些題目，我不僅加深了對企業應用需求的理解，也熟悉了業界常用的工具與框架，例如Milvus（向量資料庫）與YOLO（即時物件偵測模型），讓我體會到產業更強調快速整合與功能穩定，而非從零開始的純研發。

實習的意義：學習與社會化

這段實習對我而言，最大的收穫並不僅止於技術，更包含「社會化」這門必修課。過程中我兩度更換專案，這不只是技術上的挑戰，更是心境上的掙扎。第一次是因為原先的任務偏向前端開發，與我期待的AI方向不完全契合。雖然當下心情有些失落，但我選擇冷靜表達想法，最終成功轉入更符合專業的AI Agent專案。這讓我體會到，適時表達需求與溝通，能換來更契合的舞台。

第二次則是在Sprint檢討會議後，我察覺團隊存在重複開發的問題，若繼續投入，學習成效恐怕有限。當時心中也曾猶豫：更換題目代表重新學習、重新融入新團隊，甚至擔心造成他人負擔。但與mentor討論後，他提醒我：「實習的重點就是學習，正因為時間有限，更要勇於嘗試。」這讓我鼓起勇氣，轉換至數位學生主題。

這段過程，讓我深刻體會到社會化的學習：在團隊中，技術並非唯一的課題，如何平衡自我期待與團隊需求、如何在有限的時間內建立信任並尋求支持，這些都是在學校

難以獲得的經驗。

感想結語

總結這段八週的實習，我獲得了寶貴的收穫。除了技術上的成長，更重要的是在人際協作與心態調整上，也經歷了一次社會化的洗禮。我由衷感謝和碩提供的機會，也感謝主管與mentor的悉心指導，以及同事們在專案過程中的合作與支持。這次實習不僅拓展了我的視野，也讓我更確立未來要在AI領域持續深耕，並將所學應用到更廣泛的場景中。

先進智造AI應用特訓營實習心得

國立臺灣科技大學電機工程系 三年級 林子閔

我曾是國際技能競賽「機器人系統整合」職類的選手，長期以來對自動化控制與機械手臂技術懷抱熱忱。能從競賽場域跨足業界，參與由台灣智慧自動化與機器人協會舉辦的「先進製造AI應用特訓營」，並透過媒合機制進入KUKA Taiwan實習，對我而言，是從理論邁向實務、從競賽走向產業的一個重要里程碑。

在為期兩個月的實習歷程中，我不僅深化了AMR與機械手臂整合技術，更在跨團隊合作與現場問題解決中累積了寶貴的經驗。

實習初期，我專注於熟悉KUKA機械手臂與AMR系統的應用操作。透過KUKA.WorkVisual與KRL語言，我學會了進行點位編程與路徑設計；同時參與AMR地圖建置、任務派發與流程規劃。這些實作讓我深刻體會到，系統整合的挑戰不在單一設備，而在跨模組協作的精準銜接。例如，AMR完成搬運後必須與機械手臂精確對位，任何微小誤差都可能導致整個任務失敗，進而反映出智慧製造中「人機協作」與「AI校正」的重要性。

在專案測試階段，我負責展示流程的調整與Debug。每次除錯都是一堂課—從定位偏差、訊號延遲到軟體設定不一致，皆需以

系統化思維逐一排除。這些經驗訓練了我更細膩的觀察力與邏輯分析能力，也讓我深刻理解到：「在AI與自動化領域，細節即是成敗的分界。」

進入中期後，我的重點轉向ROS 2控制架構與運動規劃。我嘗試將KUKA的KRL程式（例如A-Z字母軌跡）轉換為ROS 2+MoveIt環境下可執行的控制碼。過程中，我比較了多種插補方式，分析其穩定性與平滑度，並導入時間最佳化演算法與路徑規劃器，成功降低動作不連續與超時問題。

同時，我自行開發了一套Python工具與圖形化介面(GUI)，可自動將文字轉換為點位檔案，具備縮放、偏移與批次輸出功能，大幅提升測試效率。雖然在逆運動學解算器整合上仍面臨挑戰，但這段經驗讓我對AI軌跡生成與運動控制的核心原理有更深入的理解。

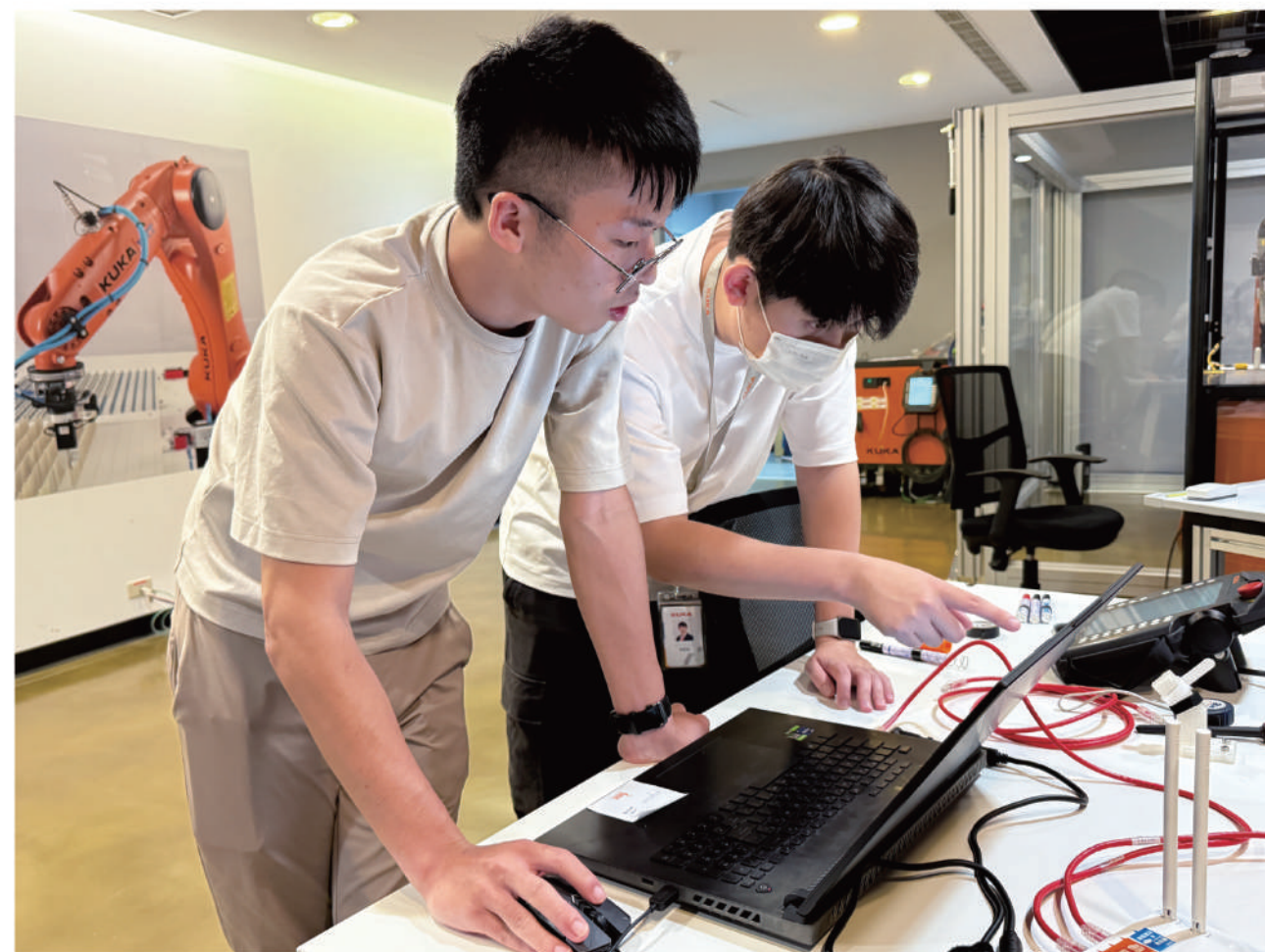
在實習後期，我聚焦於ROS 2系統整合與自動轉譯工具的開發。我設計並實作了一個可將KUKA KRL程式自動轉換為ROS 2環境下C++控制碼的工具。該系統能解析src/dat檔案，進行補點插值、姿態固定、自動路徑平滑化，並整合GUI操作介面，使控制流程更加高效且具可擴充性。

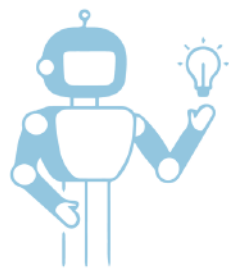
實機測試期間，經多次迭代後，我導入安全防抖、容錯機制、回Home指令以及速度／加速度Scaling模組，顯著提升了系統穩定性與實作效率。這讓我深刻體會到，從「語言到動作」的過程不僅是程式轉換，更是將理論演算法轉化為智慧行為的核心橋樑。

此外，我也參與跨國技術討論，與國外工程師及合作廠商共同解決ROS與KUKA整合中的通訊異常與版本相容性問題。這段經驗讓我學會如何以工程紀律撰寫技術紀錄、清晰表達問題並追蹤修正進度，強化了我在國際協作與專案管理上的能力。

整體而言，這段特訓營與實習歷程，讓我從單一模組的操作員，成長為能以系統觀點思考整體架構的工程師。我學會從問題中尋找解方，從失敗中累積洞察，並深刻體悟「AI智慧製造的價值，體現在持續優化與細節掌控之中」。

未來，我期許自己考取電機技師資格，持續深耕電力系統、AI應用與自動化整合領域，並將國際競賽與實務經驗回饋至技能教育現場，成為推動智慧製造發展與培育AI人才的連結者，將先進技術轉化為產業與教育的雙重動能。





台灣機器人產學聯盟 為AI機器人教育注入新動能



近年機器人技術應用已遍及科技、醫療、汽車、服務及觀光等多種產業，持續擴大的市場也間接帶動技術人才的需求，為培育更有實戰力的人才，越來越多以機器人為主題的競賽及活動持續跟進辦理，甚至已向下扎根至國中小學之中。這些現象都揭示著在台灣，機器人產業普及化已是現在進行式，而普及化的過程中，資訊的傳遞及資源的獲得更是在科技進步快速的環境下，扮演極重要的角色。產學間不管在技術或人才之間皆有密不可分的關聯，更應該加強學術間交流以達到資訊及資源的最大效益化。

「台灣機器人產學聯盟」於10月23日舉辦年度交流盛會，同時第三度舉辦好評如潮的「教具捐贈媒合」活動，由捐贈媒合為開端，成為開啟產學合作的第一根橄欖枝，奠定穩固的產業根基從學界教育開始落實。並成功獲得11家業界廠商積極響應，捐贈30種商品成為學校教具，為學界培訓機器人及智慧製造專業人才注入新能量。

- 上銀科技股份有限公司，捐贈史卡拉機器手臂、DATORKER諧波式減速機、交叉滾柱軸承、滾珠螺桿軸承、軸承座、KK系列單軸機器人、KA系列單軸機器人、線性滑軌、滾珠螺桿。

- 台灣三菱電機自動化股份有限公司，捐贈IQ-R教導實習機。
- 台灣和泉電氣股份有限公司，捐贈SE2L型ADVANCED安全雷射掃描器。
- 立普思股份有限公司，捐贈AE430-DK 3D DEPTH CAMERA & DEVELOPMENT KIT。
- 伊斯酷軟體科技股份有限公司，捐贈RPA（機器人流程自動化）。
- 研華股份有限公司，捐贈研華高性能嵌入式無風扇工業電腦。
- 原見精機股份有限公司，捐贈KUKA SCARA 6KG 的T-SKIN PAD。
- 健椿工業股份有限公司，捐贈「轉化・傳承・創造」三合一的創新產學合作實習活動，《技X藝》永續傳承。
- 斯邁德科技股份有限公司，捐贈區域型光幕-M系列、N系列、MSB系列、VNC系列、NF系列、安全型光幕-T2F系列、T2系列、1000+系列、ST系列、電梯專用光幕-EL系列。
- 新代科技股份有限公司，捐贈LEANTEC機器人型號-Y。
- 瞻營全電子股份有限公司，捐贈ETHERCAT主站:QEC-M-02。

秉持產學間人才與技術相輔相成，為產業未來蓄力，活動積極協助產學交流，獲得85組媒合紀錄的好成績，有望提升產業技術深度也為台灣人才競爭力奠定穩固基石。

日益漸增的各項競賽也是培育並鼓勵人才積極加入產業的一大契機，會中特別邀請三位講者，國立雲林科技大學夏郭賢主任分享「漫談機器人技能競賽」，廣泛介紹多種為學界辦理的競賽類別；國立台灣科技大學林柏廷主任分享「機器人系統的避碰路徑規劃」技術，為競賽後的學生指明未來學研方向，讓競賽成為踏入專業的全新起點；以及上銀科技股份有限公司吳文加處長分享「走向AI機器人時代」，展現從教學、競賽到未來應用的發展機會，帶動現場廣泛討論。



今年度聯盟為了更緊密整合各區域資源，成立分區小聯盟，將全台灣劃分為五大區域：北基宜花區、桃竹苗金區、中彰投區、雲嘉南區以及高屏東區。今年特邀請五小聯盟的盟主來進行執行成果分享，會中也進行會旗交接，由中彰投聯盟盟主-嶺東科大陳仁龍校長，交接會旗給明年主辦方，雲嘉南區-崑山科大鐘俊顏副校長（代李天祥校長出席）。今年很多學界貴賓給予高度肯定，交流會提供很多實用的資源，不管是硬體設備、教材分享或是人脈與知識啟發，值得帶回校內發展，也會持續致力於機器人與智慧製造教育推廣。

更歡迎廣大各界單位與聯盟一同邁入2026年度交流會在雲嘉南！



市場戰略： 企業如何制定最優目標與路線？ 科特勒諮詢團隊經典解題

MARKET—ORIENTED
STRATEGY FOR CEOS



市場戰略

企業如何制定最優目標與路線？
科特勒諮詢團隊經典解題

行銷學大師科特勒的經典獻禮

菲利浦·科特勒 Philip Kotler、密爾頓·科特勒 Milton Kotler
曹虎、王賽、喬林

合著

好書推薦

——行銷學大師科特勒90歲的經典獻禮，科特勒與他的共事諮詢團隊將回到起點，面對他們客戶最需要解決的問題——為什麼行銷失去了效果，什麼樣的行銷才能帶來業務增長？

本書是一本解釋什麼是行銷的最本質意義，以及如何操作它的思考與習作書。它既是寫給執行長、參與公司最高層戰略的策略思考者，更直接一點說——是寫給每一家企業的中長期規畫書。

科特勒與他的研究諮詢團隊在這本直指核心的最新著作中，顛覆過往行銷僅限於商品傳播及促販設計的功能想像，他與合著者們首先即指出了「增長」是企業永恆面對的任務，而真正意義的「行銷」是市場戰略的實現。

本書既有商業讀者們可能已熟知的如「品牌戰略」、「市場分隔」等概念的重驗本質與

新作法論證，也有如書中指出的「許多企業都宣稱自己有的」數位市場戰略的新領域主張。

在簡明扼要的七個章節主題中，科特勒與合著團隊將說明每家企業命運的關鍵大事：如何打造能實現增長的市場戰略？什麼才是對的市場戰略？有什麼資源路徑可以讓執行長帶領公司通往增長的目標，又該如何規畫？

在充滿資本雜音以及新數位工具的當前商業環境中，本書是導正企業尋回真正發展本質的策略經典，一生事業均投入在行銷學的大師科特勒，將為企業揭示出一幅「可以如何建構未來」的實用地圖。



作者簡介

菲利浦·科特勒 (Philip Kotler)

菲利浦科特勒是當今世界公認的現代行銷學的奠基人，被譽為「市場行銷學之父」。其中《市場行銷管理：分析，計畫，實施和控制》第一版於1967年出版，翻譯成14語言，被業界贊為「行銷聖經」，成為無數企業的行銷體系基礎。現為美國科特勒諮詢集團 (KMG) 首席顧問，全球合夥人。

米爾頓·科特勒 (Milton Kotler)

美國科特勒諮詢集團 (KMG) 的全球總裁，美國美中商務委員會 (SUBC) 主席及創始人。他在行銷學領域有深厚的造詣，研究發展大量的行銷分析和系統工具，是業界公認的全員行銷、迂迴行銷、城市行銷、關係行銷、戰略行銷計畫、行銷工程和戰略計畫資訊系統管理應用方面的領導先鋒。

曹虎 (Tiger Cao)

科特勒諮詢集團 (KMG) 全球合夥人，中國區總裁、中國對外友好聯絡會理事、使匯深科技基金管理合夥人、麻省劍橋「源創力孵化器」聯合創始人。曹博士先後獲得生物化學學士，MBA和消費者行為學博士。

王賽 (Sam Wang)

王賽博士，CEO諮詢顧問，科特勒諮詢集團 (KMG) 管理合夥人。十五年來他的顧問服務遍及大量中國大陸的頂級企業家和CEO，並以數位化市場增長戰略的諮詢顧問身份，為世界500強、千億級企業集團與創新型公司的CEO提供深度的市場戰略決策服務。

喬林 (Collin Qiao)

科特勒諮詢集團 (中國) 戰略諮詢總監，管理合夥人。他的諮詢專長在於：公司戰略規劃、區域經濟戰略，集團管控設計、公司金融、行銷戰略與管理。



2026年國際展覽資訊一覽表

2026年國際展覽行事曆		
01/21-01/23	日本國際機器人研發暨技術大展 RoboDEX 日本 東京國際展覽中心 (Tokyo Big Sight)	參展優惠
03/04-03/06	SPS廣州國際智慧製造技術與裝備展覽會 中國 廣州中國進出口商品交易會展館	參展優惠
03/11-03/13	泰國電子智慧製造系列展 2026 Intelligent Asia Thailand 泰國 曼谷國際貿易展覽中心 (BITEC)	擬申請貿易署補助
04/08-04/10	日本名古屋工業製造週 Manufacturing World Nagoya 2026 日本 名古屋市國際展示場Portmesse Nagoya	
04/08-04/10	韓國國際電子製造關連展 EMK 韓國 首爾COEX展覽中心	參展優惠
04/15-04/17	日本AI人工智慧應用展 AI EXPO TOKYO (春展) 日本 東京國際展覽中心 (Tokyo Big Sight)	組參展團 貿易署從優補助
04/20-04/24	德國漢諾威工業展 Hannover Messe 德國 漢諾威展覽中心	
05/20-05/23	馬來西亞工具機暨金屬加工設備展 Metaltech 馬來西亞 吉隆坡馬來西亞國際貿易展覽中心 (MITEC)	擬組技術交流 參訪團
06/17-06/20	泰國製造業博覽會 Manufacturing Expo 泰國 曼谷國際貿易展覽中心 (BITEC)	擬協會參展
06/22-06/25	美國芝加哥自動化技術展 Automate Show 美國 芝加哥McCormick Place	擬組技術交流 參訪團
07/01-07/04	2026年越南胡志明市工具機暨金屬加工設備 MTA Vietnam 2026 越南 西貢展覽會議中心 (SECC)	
07/22-07/24	亞洲半導體展 Semiconductor Asia Expo (SMAX 2026) 馬來西亞 檳城地下國際會議展覽中心 (SPICE)	擬協會參展
08/19-08/22	台灣機器人與智慧自動化展 TAIROS 台北國際自動化工業大展 Automation Taipei 台灣 臺北南港展覽館	協會主辦
10/12-10/16	上海工博會 中國 上海 國家會展中心	
未定	韓國機器人展覽會 Robotworld 韓國 國際展覽中心 (KINTEX)	參展優惠
11/05-11/07	2026年越南工業與製造業博覽會 VIMF-Vietnam Industrial & Manufacturing Fair 2026 越南 北寧金盆文化中心 Kinh Bac Cultural Center	擬協會參展
11/11-11/13	日本AI人工智慧應用展 AI EXPO TOKYO (秋展) 日本 千葉幕張展覽館	參展優惠
11/25-11/27	Factory Innovation Week日本國際機器人研發暨技術大展 RoboDEX 日本 名古屋國際展示場 (Port Messe Nagoya)	參展優惠

備註：本表籌組參展為預訂行程，將依實際獲得貿易署補助後執行，歡迎洽詢業務組，
電話04-2358-1866 #14 (Fion)、#22 (Iris)、#26 (Eva)



社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 —115年度課程資訊

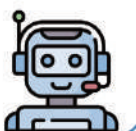
課程名稱	課程名稱	課程時數	開課地點
2/26-2/27	從感知型AI到認知生成和決策型AI: 深度生成建模Python實作	12	台中
3/12-13	工業大數據分析與智慧應用	12	台中
3/26-3/27	AI Agent x MCP應用實作班	12	台北
4/16-17	人工智慧於製造及物流的應用	12	台北
4/29-30	智慧機械手臂技術開發與實務應用培訓班	12	台中
5/14-15	生成式AI雲端應用開發	12	台北
5/28-5/29	AI視覺與機器人系統整合關鍵技術與優化	12	台北
6/4-6/5	大型語言模型LLM企業應用	12	台中
6/11-6/12	AI x AMR自主移動機器人技術整合應用	12	台北
6/25-6/26	使用 GitHub Copilot 提高 Coding 生產力	12	台中
7/9-7/10	AI深度學習於電腦視覺與時序建模應用	12	台北
7/16-7/17	AI核心技術於製造與物流智慧化的應用實務	12	台北
7/30-7/31	工控與工業物聯網暨大數據AI應用	12	台中

更多課程請上網查詢：<http://www.tairoa.org.tw/> 洽詢專線：04-23581866*51凌小姐、*52王小姐

- ▶ 公司有培訓計畫及需求嗎？智動協會可提供您智慧自動化及機器人領域的「客製化」培訓課程規劃及辦理！歡迎您來電詢問企業包班詳情。
 - ▶ 智動協會提供海外人才培訓服務，歡迎企業及團體與我們連繫。
- *智動協會保有課程更動權利，並設有最低開班人數10人；
如未達開班標準，學員自付金額將全數退還。



課程詳情
請掃QR CODE





TAIROA 台中 ✕ TAIROA 台北

40852 台中市南屯區精科路26號4樓
4F., No. 26, Jingke Rd., Nantun Dist.,
Taichung City 40852, Taiwan
TEL:886-4-2358-1866
FAX:04-2358-1566
EMAIL:service@tairoa.org.tw

10059 台北市新生南路一段50號6樓603室
Rm. 603, 6F.,No 50, Sec. 1, Xinsheng S. Rd.,
Zhongzheng Dist., Taipei City 100, Taiwan
TEL:886-2-2393-1413
FAX:02-2393-1405
EMAIL:exam@tairoa.org.tw

www.tairoa.org.tw

印刷品

如無法投遞，請退回至：
台中市南屯區精科路 26 號 4 樓

定價
NT\$500