

AiR

Journal of Automation Intelligence and Robotics



智慧自動化產業期刊

2026

08

no.

58

Industrial AI

Engineered for
Deterministic Edge Performance



Embodied AI

具身人工智慧：從感知到現實世界機器人的行動



See it in action

Real-time sensing. Predictable response.

From perception to control, Intel turns intelligence into reliable real-world action

Intel Powers Industrial AI



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



台灣機器人與 智慧自動化展

Taiwan Automation Intelligence and
Robot Show



台北國際 自動化工業大展

Automation Taipei

2027 / 8 / 4 (Wed.) - 7 (Sat.)
台北南港展覽館一、二館

展出項目



智慧製造相關



製造設備



關鍵零組件



AI 人工智慧



智慧服務(商業應用)



服務型機器人

主辦單位

TAIROA 社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

經濟日報

展昭國際企業股份有限公司



TAIROS



Automation



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

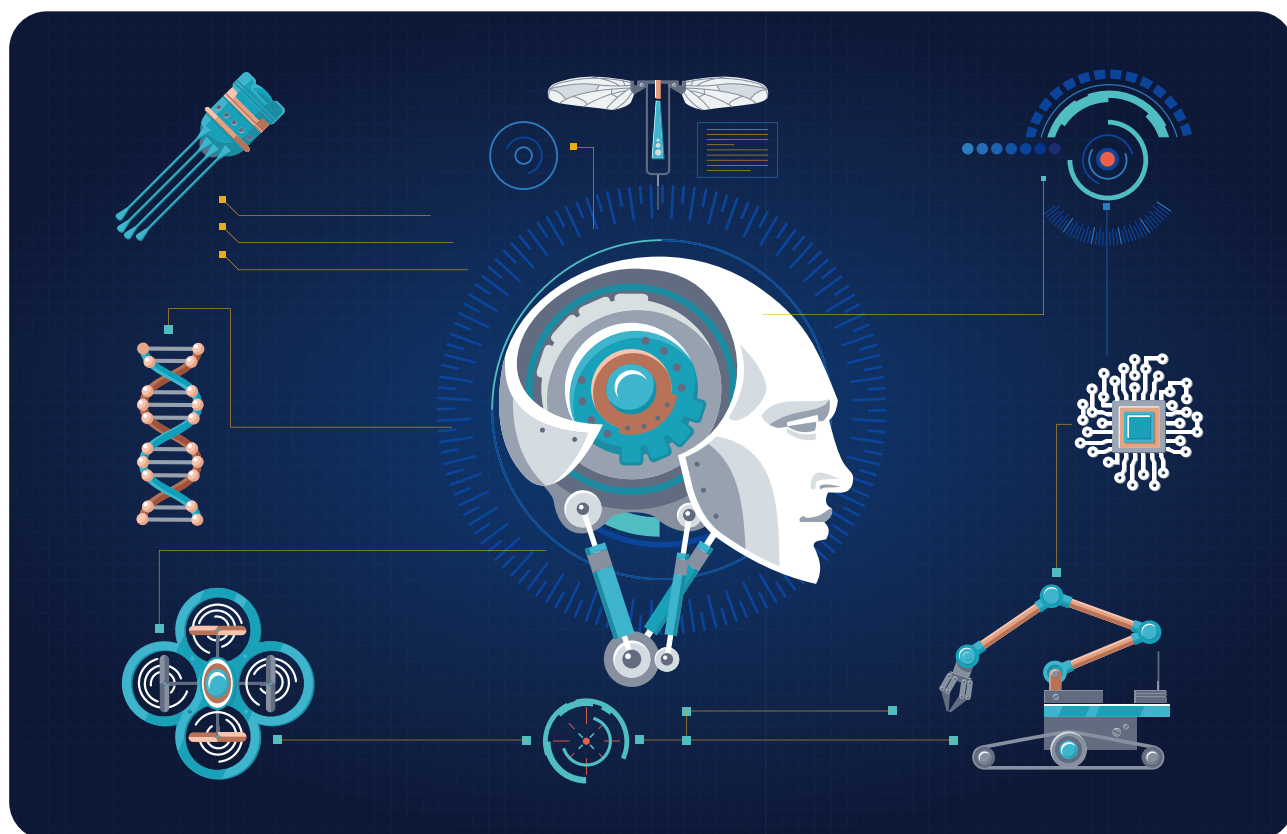
2026 - 2027 國際展覽資訊一覽表

智動協會 2026.07 製

2026 國際展覽行事曆		
08/19-08/22	台灣機器人與智慧自動化展 (TAIROS) 暨 台北國際自動化工業大展 (Automation Taipei)	協會主辦
09/05-09/13	2026 波蘭 MSPO 國防工業展 暨 無人機與機器人商機考察團 波蘭 凱爾策 Targi Kielce 展覽館	協會組參訪團
10/12-10/16	上海工博會 中國 上海國家會展中心	
11/04-11/07	韓國機器人展覽會 (Robot World) 韓國 國際展覽中心 (KINTEX)	參展優惠
11/11-11/13	日本人形機器人展 - 秋展 (Humanoid Robot Expo Tokyo - Autumn) 日本 東京國際展覽中心 (Tokyo Big Sight)	
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	
11/18-11/21	泰國曼谷工業及金屬加工展覽會 Metalex 泰國 曼谷國際貿易展覽中心	協會參展
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
11/24-11/26	歐洲工業自動化展 (Smart Production Solutions) 德國 紐倫堡展覽中心	
12/02-12/04	日本機器人展 (RoboNext) 日本 INTEX 大阪國際展覽中心	參展優惠
2027 國際展覽行事曆		
01/06-01/09	美國國際消費性電子展 (CES) 美國 Las Vegas Convention Center, Venetian Expo	
02/17-02/19	Factory Innovation Week 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)	
03/10-03/12	泰國電子智慧製造系列展 (Intelligent Asia Thailand) 泰國 曼谷國際貿易展覽中心 (BITEC)	
04/05-04/08	德國漢諾威工業展 (Hannover Messe) 德國 漢諾威展覽中心	
04/21-04/23	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)	協會擬申請參展補助
05/05-05/08	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)	

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 (Mika)、#22 (Iris)、#26 (Eva)



市場焦點

08 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

具身智慧的感知與控制系統

24 具身智慧趨勢觀察：國際創新動向與 臺灣技術布局

工研院產科國際所
岳俊豪組長、黃仲宏經理

32 From Perception to Understanding: Industrial AI's Make-or-Break Phase

Nagesh Puppala – General Manager,
Physical AI & Robotics, Client
Computing & Physical AI Group,
Intel Corporation Intel Corporation Roger Tang

44 從邊界偵測到空間智慧：LiDAR 與 3D 視覺如何驅動具身智慧的現實落地

台灣西克股份有限公司
陳映羽行銷經理

50 從演算法到行動力：人形機器人如何 落實具身人工智慧的最後一哩

圖策科技股份有限公司
陳懋國

人形機器人的 Embodied AI

58 人形機器人的感知與環境理解：走向 真實世界的 Physical AI

達明機器人股份有限公司
王若喬

64 以工業機器人開放式平台加速 Physical AI 之實現

台灣發那科股份有限公司 ROBOT 營業部

Embodied AI 系統整合與落地

72 Physical AI 與數位孿生加速智慧零售 虛實整合升級

研華股份有限公司
簡安琪 / Product Marketing

76 從虛擬到實體：以數位孿生驅動 Embodied AI 的系統整合與智慧製造

達梭系統台灣股份有限公司
Joe Chen



84 以多模態感知、情境理解與自主決策重 塑醫療服務流程的人機協作模式

中國醫藥大學附設醫院

92 破解 Sim-to-Real 難題：硬體補償技術 在具身機器人中的角色

和椿科技股份有限公司

100 驅動智慧製造的隱形心臟：AI 行星減速 機與預測性維護實務

宇隆科技股份有限公司
陳俊皓協理、廖柏愷研發工程師

好書推薦

106



卓越心態

路易斯·豪斯 Lewis Howes

108



精準決策

麥斯·貝澤 Max H. Bazerman
唐·摩爾 Don A. Moore

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 115 年 08 月號
發行期數 期刊，全彩印刷
發行數量 1,000-3,000 本 / 期
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、辜莉婷、劉如芳、孔家榆
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 找誰設計工作室
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，部分圖片來源 Freepik - Magnific.com。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。

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）傳遞到各領域對智能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。

AIR 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			會員		會員		
封底	70,000			130,000		240,000		
封面裡	50,000			90,000		160,000		
封底裡	50,000			90,000		160,000		
內頁廣告	30,000			50,000		92,000		

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	8,000	13,000	18,000	30 天
LINE 社群	免費	☑	☑	不限次	虛擬展館 - 輪播 Banner (含每月電子報)	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	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	產業消息 - 大型橫幅 Banner (含每月電子報)	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	免費	免費	8,000	1 / 季
TAIROA B2B	15,000	20,000	25,000	30 天	產業消息 - 新聞稿曝光 (含每月電子報 + 推薦文章置放)	8,000	9,600	12,800	2 篇
首頁大型 Banner (含每月電子報)	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	10,000	15,000	20,000	30 天		48,000	56,000	80,000	2 場
活動大型橫幅 Banner (含每月電子報)	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	8,000	13,000	18,000	30 天		24,000	32,000	40,000	2 次
產業地圖 - 精選產品 (含每月電子報)	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

Fairino

● TWD 299,000

ReBeL

● TWD 298,200

DOBOT

● TWD 336,000

依需求與預算，
打造專屬你的機器人解決方案



電話:+886 4-2358 1000

info@igus.net

www.igus.com

40850台中市南屯區工業區24路35號5樓



German Technology

Lebai

● TWD 360,000

CGXI

● TWD 390,000

Unitree

● TWD 630,000

協作機器人貼身夥伴



更多關於
triflex® R 纖維棒



查找屬於您的機器人:
線上設備配置器



Triflex® R 纖維棒模組



Triflex® R TRE
三維拖鏈



Triflex® R TRC
三維拖鏈

- 適用於各種直徑的通用機械手臂
- 適用於igus® triflex® R系列TRC / TRE / TRL，尺寸30和40
- 緊湊，流暢的設計
- 纖薄輕巧的設計
- 也可以與波紋浪管系統結合使用
- 只需幾個步驟即可組裝和翻新
- igus® 協作型手臂配件產品系列中的低成本附加件



chainflex® CFROBOT
耐扭轉電纜

igus.tw/triflex

German Technology

台灣易格斯有限公司 40850台中市南屯區工業區24路35號5樓 電話:04-2358-1000 www.igus.com.tw



經濟與景氣指標

景氣概況本次發布日期為 6 月 26 日；臺灣採購經理人指數本次發布日期為 7 月 1 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

地緣政治局勢迎來關鍵轉機，美伊雙方已簽署諒解備忘錄，積極推動停火協議及恢復荷姆茲海峽正常通航，全球能源供應緊張的局面可望獲得紓解，惟相關協議後續執行成效仍有待觀察。整體而言，雖然未來仍不排除局部衝突再度升溫的可能，但相較於先前數月，美伊關係已趨於緩和，地緣政治風險亦有所降溫。

在國內產業方面，受惠於 AI 需求持續擴張，半導體相關供應鏈營運表現穩健成長，帶動電子機械業景氣維持擴張態勢。展望未來，隨著荷姆茲海峽可望恢復通航，原料供應壓力得以緩解並有助降低成本。然而，化學工業仍

面臨終端需求疲弱及市場競爭加劇等挑戰。相較之下，電子機械業在 AI 應用及高階半導體需求持續成長的支撐下，景氣展望相對樂觀。

整體而言，製造業者對當月及未來半年景氣展望多持審慎持平態度，但看好比例仍高於看壞比例；服務業方面，5 月受惠於 AI 題材熱絡，股市價漲量增且企業放款需求增加，挹注金融相關產業營運穩健成長，餐旅業則受勞動節連假及母親節檔期帶動，旅遊與聚餐需求升溫，景氣表現同步改善。營造業方面，雖仍面臨營建廢棄物去化問題及營建成本上升壓力，仍受惠於科技廠辦工程加速推進，及公共工程陸續完成前置作業，5 月景氣表現已有所改善。展望未來，在基礎建設與 AI 相關建廠需求支撐下，未來半年景氣可望持續成長；不動產業則受中東情勢影響鈍化及新青安政策落日前買盤釋出帶動，5 月交易量較上月回升。惟在信用管制未鬆綁及市場觀望氣氛延續下，未來半年房市仍將呈現量縮價穩格局。

觀察近期國際經濟情勢，2026 年 5 月美國製造業採購經理指數 (PMI) 持續位於擴張區間，顯示製造業景氣持續改善，生產、新訂單、就業及存貨指數皆較上月上升；服務業亦維持穩定擴張，商業活動及新訂單指數同步上揚，惟就業指數連續三個月低於榮枯線，顯示企業對人力聘僱仍保持審慎；歐元區方面，5 月經濟觀察指標 (ESI) 小幅回升，儘管工業信心略為下滑，但服務業與消費者信心改善，顯示內需動能已略有回溫；日本製造業 PMI 雖較上月下滑，但仍維持擴張，惟投入成本大幅

上升，加上中東戰事造成供應商交貨時間拉長，持續壓抑企業營運；中國製造業 PMI 小幅下滑至榮枯線，但仍維持擴張，非製造業 PMI 則受五一長假帶動回升至擴張區間，顯示服務業景氣有所回溫；東南亞地區製造業 PMI 連續 11 個月位於榮枯線之上，且為 3 個月來首次回升，主要受新訂單與產出改善帶動，惟部分國家仍受需求轉弱與成本上升影響，區域景氣復甦力道仍呈分歧。

▼美國方面

根據美國商務部經濟分析局 (BEA) 最新公布資料，2026 年第一季美國經濟成長數值；第一季 GDP 成長年增率 (yoy) 較先前下修 0.1 個百分點來到 2.6%。在內需表現上，美國第一季的民間消費與民間投資成長年增率分別為 2.3% 與 -1.4%。此外，在 2026 年全年 GDP 表現方面，S&P Global 最新發布預測值為 2.1%，較前次預測值上修 0.2 個百分點。在就業市場方面，2026 年 5 月美國失業率維持在 4.3%，與 4 月持平；5 月新增非農就業人數則由 4 月修正後的 17.9 萬人略為放緩至 17.2 萬人。就業市場方面，新增之就業機會主要集中於餐旅業、政府部門、建築業與健康照顧業；物價方面，受中東衝突推升國際能源價格影響，能源類商品依舊是拉高整體物價上漲的主因。5 月能源類價格年增率由 4 月的 17.5% 進一步擴大至 23.0%，顯示能源成本壓力持續升高。在能源價格漲幅擴大的帶動下，2026 年 5 月消費者物價指數 (CPI) 年增率由 4 月的 3.8% 上升至 4.2%，創 2023 年 4 月以來最大

漲幅；核心 CPI 年增率則由 2.8% 微升至 2.9%；2026 年 5 月零售銷售額年增 6.9%，較 4 月提高 2.1 個百分點，顯示內需消費維持穩健成長。

就各業別表現觀察，零售端受國際油價持續走升帶動，相關消費支出顯著擴增，加油站銷售額已連續 3 個月維持雙位數成長；此外，汽車相關銷售年增率由負轉正，建築園藝、食品飲料與電子商務銷售年增率亦明顯走強，進一步支撐整體零售市場表現；5 月工業生產年增率由 4 月的 1.4% 升至 1.7%，主要受石油與天然氣鑽探產出大幅增加所帶動，隨著國際油價維持高檔，能源業者增產意願提升，相關生產活動擴增，成為支撐製造業成長的重要因素之一。

在美國經濟景氣方面，美國供應管理協會 (ISM) 公布 2026 年 5 月製造業 PMI 為 54.0，較 4 月的 52.7 上升 1.3 點，已連續 5 個月維持在擴張區間。從分項指數觀察，5 月生產、就業、存貨及新訂單指數皆較 4 月上升；供應商交貨指數則持平在 4 月水準；此外，美國 ISM 公布 2026 年 5 月非製造業 PMI 為 54.5，較 4 月上升 0.9 點，顯示服務業景氣持續改善，並維持穩定擴張態勢。從細項指標來看，商業活動指數及新訂單指數同步上揚，顯示企業營運與市場需求有所增溫；惟就業指數已連續 3 個月低於 50 榮枯線，反映企業對未來經濟前景仍存疑慮，在人力聘僱方面保持審慎。

▼歐洲方面

根據歐盟統計局 (Eurostat) 最新發布資

料，2026 年第一季歐元區 (EA21) 經濟成長率為 0.3%，較 2025 年第四季的 1.2% 明顯放緩，顯示經濟復甦動能有所減弱。從支出面觀察，家庭最終消費支出與政府最終消費支出仍維持正成長，持續作為支撐內需之角色；然而，固定資本形成表現疲弱，加上國外淨需求轉為負貢獻，成為拖累本季經濟成長的主要因素。在外部需求仍顯疲弱及貿易動能不足影響下，歐元區經濟成長力道趨緩，但內需仍為支撐經濟的重要來源。此外，在 2026 年全年度的歐元區 GDP 方面，S&P Global 最新發布預測值為 0.2%，較前次預測值下修 0.3 個百分點。

就業市場方面，歐元區 2026 年 4 月失業率持平於 6.3%。同時，4 月失業人數較上月減少 8.4 萬人；物價方面，受服務類價格持續上漲及能源價格維持高檔影響，歐元區整體通膨壓力進一步升溫。2026 年 5 月歐元區整體 CPI 年增率為 3.2%，較 4 月增加 0.2 個百分點，核心 CPI 年增率則為 2.5%，較 4 月增加 0.3 個百分點；歐元區 2026 年 4 月零售銷售年增率由 3 月的 1.9% 下降至 1.0%。就主要細項觀察，非食品、能源零售銷售年增表現轉弱，加上資通訊產品零售銷售年增率亦較上月明顯下滑，反映終端消費力道依舊不振；歐元區 4 月工業產年增率由 3 月的 -2.8% 回升至 0.3%，主要受資本財、能源及中間財生產改善帶動。然而，耐久消費財及非耐久消費財生產仍維持負成長，再次印證消費需求依然偏弱，整體工業景氣雖有回穩，但復甦力道仍不均衡。

在歐洲經濟景氣方面，參考歐盟委員會

公布的經濟觀察指標 (ESI)，歐元區 2026 年 5 月的 ESI 為 93.5 點，較上月修正後數值增加 0.3 點。5 月工業信心小幅下滑，主因在於經理人對未來生產前景及成品庫存水準的評估轉弱，雖然當前訂單水準評估有所改善，但整體仍呈現下滑趨勢；服務業信心則由前月低點回升，主要反映經理人對過去營運狀況及未來需求展望看法改善，但對過去需求的評估則持續惡化；消費者信心小幅回升，主因為民眾對未來家庭財務狀況、整體經濟前景及未來一年大額消費意願的悲觀情緒有所緩解，此外，對過去家庭財務狀況的評價大致持平。

▼日本方面

根據日本內閣府公布 2026 年第一季 GDP 年增率第二次速報值為 0.4%，較第一次速報減少 0.2 個百分點，主要係民間非住宅投資年增率下修 1.6 個百分點，民間消費及政府消費增速皆上調 0.2 個百分點。日本財務省公布，2026 年 5 月出口額為 9 兆 5,116 億日圓，年增 17.0%，為連續第 9 個月維持正成長，主要受半導體等電子產品出口年增率逾 6 成、非鐵金屬產品增速逾 45%；進口額為 9 兆 8,902 億日圓，年增 12.5%，為連續第 4 個月呈現正成長，主要係半導體、通訊設備、非鐵金屬等電子產品進口年增率皆逾 48%。在 2026 年全年 GDP 預測方面，S&P Global 最新預測值，GDP 年增率為 0.6%，與前次預測值持平。在就業市場方面，依據日本總務省資料，2026 年 4 月經季節調整後失業率為 2.5%，較 3 月數值下降 0.2

個百分點。物價方面，2026 年 5 月 CPI 年增率為 1.5%，較 4 月上升 0.1 個百分點；核心 CPI 年增率在政府持續抑制公用事業價格等措施下，年增率由 4 月的 1.9% 降至 1.8%。在工業生產方面，2026 年 4 月工業生產指數年增率由 3 月 2.4% 降至 2.0%，主要受化學、石油石化製品及金屬製品等產業減產所致。

在日本經濟景氣方面，參考 S&P Global 引用 au Jibun Bank 發布的日本 2026 年 5 月製造業 PMI 為 54.5，較 4 月數值下降 0.6 點，主要係投入成本創下 2022 年 9 月以來最大增幅，加上因中東地緣衝突導致供應商交貨時間急遽拉長所致。服務業 PMI 由 4 月 51.0 下滑至 50.0，回落至榮枯線附近，主要係物價上揚影響家庭購買力，新訂單增速降至 23 個月以來新低，加上國內需求明顯萎縮，新業務動能顯著放緩。

▼中國方面

根據中國國家統計局資料，2026 年 5 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 4.5%，較 4 月數值上升 0.4 個百分點；社會消費品零售額年增率 -0.6%，較 4 月數值下滑 0.8 個百分點，其中商品零售、餐飲年增率分別為 -0.7%、0.6%。1-5 月全國（不含農戶）固定資產投資年增率為 -4.1%，其中民間固定資產投資年增率 -7.1%。房地產指標方面，1-5 月房地產開發投資年增率為 -16.2%，其中商品房銷售額及面積增速分別為 -10.8% 及 -13.5%。

依據中國海關總署發布 2026 年 5 月貿易額 6,481 億美元，年增 22.6%，其中進出口分別年增 27.4% 及 19.4%。在 2026 年中國 GDP 預測方面，S&P Global 最新發布預測值為 4.5%，與前次預測值持平。就業方面，2026 年 5 月全國城鎮調查失業率為 5.1%，較 4 月下降 0.1 個百分點。物價方面，2026 年 5 月全國居民消費價格 (CPI) 年增率為 1.2%，漲幅與 4 月持平，核心物價年增率為 1.1%，較 4 月下降 0.1 個百分點。

在景氣指標方面，依據中國國家統計局公布 2026 年 5 月製造業 PMI 為 50.0%，較 4 月數值下降 0.3 個百分點，其中新訂單及原材料庫存等指標較上月明顯轉弱，致整體指標小幅下滑，而製造業活動仍維持在榮枯線之上。非製造業 PMI 指數方面，5 月為 50.1%，較 4 月數值增加 0.7 個百分點，主要受五一長假效應，帶動新訂單、投入品價格及銷售價格等指標明顯升溫，致整體非製造業活動回升至擴張區間。

▼國內情勢方面

首先在對外貿易方面，全球人工智慧 (AI) 基礎建設投資熱潮強勁，帶動高階伺服器、半導體等產品需求持續上升，加上電子產業供應鏈漲價效應逐步顯現，推升 2026 年 5 月出口年增率由 4 月的 39.0% 進一步擴大至 51.7%。進口方面，在 AI 產業鏈國際分工深化及出口衍生需求雙重帶動，電子零組件與資通訊產品進口持續成長；同時，在國際原油及基本金屬等原物料價格攀升的推動下，使 5 月進口年增率由

4 月的 29.2% 大幅上升至 54.9%，整體進口動能維持強勁。累計 2026 年 1 至 5 月，出口較 2025 年同期成長 48.7%，進口成長 37.8%，出超金額達 852.1 億美元，年增 95.2%。

物價方面，受中東動盪局勢影響，國際油價維持高檔，帶動零售汽油價格、機票價格及國外旅遊團費年增率上升；此外，天候異常變化亦推升蔬菜價格，使 5 月油料費與運輸費年增率均較 4 月明顯擴大，兩者合計對消費者物價指數年增率貢獻約 0.64 個百分點，較 4 月增加 0.19 個百分點。另一方面，4 月下旬豪雨造成蔬菜供給受影響，加上去年同期天候穩定、蔬菜價格基期偏低，進一步推升食物類價格年增率。綜合上述因素，5 月整體 CPI 年增率由 4 月的 1.73% 上升至 2.20%，創 2025 年 4 月以來新高；核心 CPI 年增率亦由 1.90% 升至 2.12%，顯示整體物價漲勢較前月有升溫跡象；PPI 方面，國際石化原料價格持續攀升，帶動化學材料及塑橡膠產品生產者物價年增率走高。另一方面，受 AI 熱潮帶動，電子供應鏈需求強勁、產能持續滿載，漲價效應逐步反映於產品價格，使電子零組件及電子產品生產者物價指數年增率同步上升。5 月整體 PPI 年增率由 4 月的 8.83% 升至 14.11%，創 2022 年 6 月以來新高。累計 2026 年 1 至 5 月，CPI 年增率為 1.52%，PPI 年增率則為 4.90%。

國內生產方面，受惠於人工智慧、高效能運算及雲端資料服務等應用需求持續擴增，挹注資訊電子產業生產動能穩步成長，然而，部分傳統產業因市場競爭及需求回升力道尚緩，抵

銷了部分增幅。3 月製造業生產指數為 139.92，較上月增加 26.81%，與上年同月相比成長 30.73%。總計 2026 年第一季工業生產較去年同期成長 24.63%，其中製造業成長 26.52%。

勞動市場方面，5 月失業率為 3.27%，較上月及上年同月均下降 0.03 個百分點。1 至 5 月失業率平均為 3.30%，較上年同期下降 0.02 個百分點。在勞僱雙方協商減少工時方面，截至 2026 年 5 月底，實施減班休息的勞工人數為 3,760 人。其中，以金屬機電工業受影響最為明顯，減班休息人數占整體約 74%，仍為各產業中占比最高的類別。薪資方面，2026 年 4 月本國籍全時受僱員工每人平均總薪資為 60,960 元，年增 3.66%；經常性薪資為 52,063 元，年增 3.16%。若扣除物價因素，1 至 4 月累計實質經常性薪資與實質總薪資平均數，分別較去年同期成長 1.61% 及 1.95%。

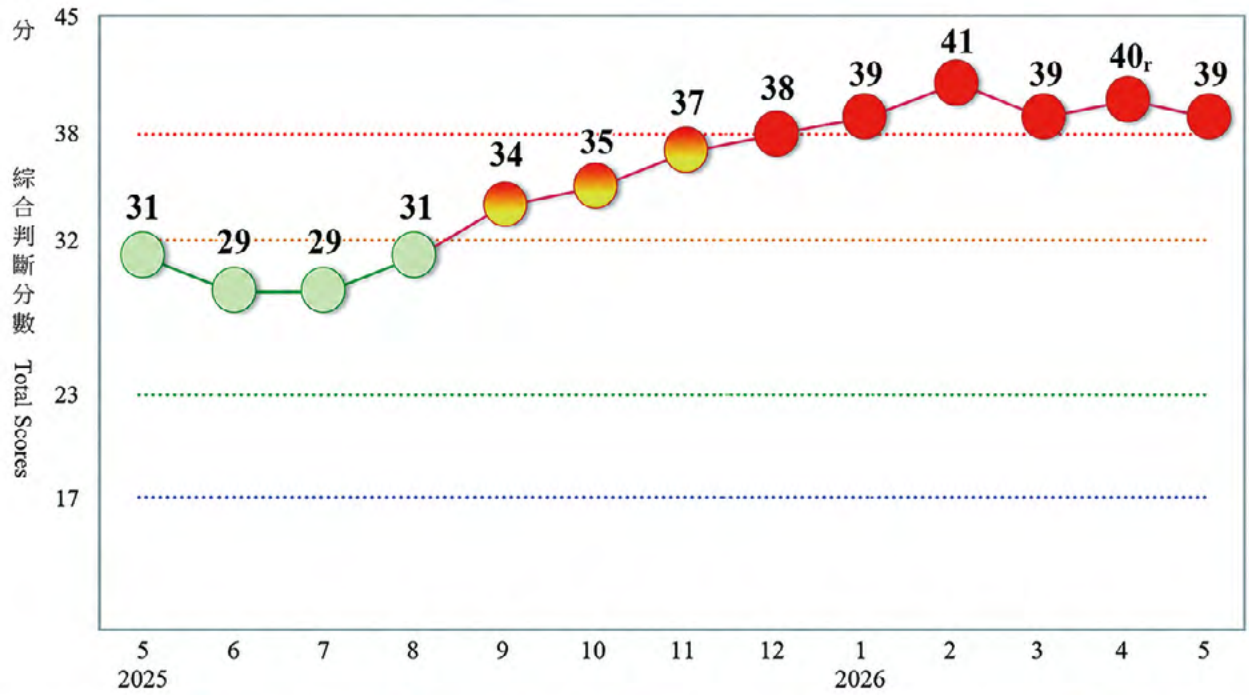
國內金融市場方面，5 月本國五大銀行（台銀、合庫銀、土銀、華銀及一銀）新承做放款加權平均利率為 2.208%，較 4 月的 2.206% 增加 0.002 個百分點。股市方面，儘管中東戰事持續干擾金融市場並加劇波動，但市場對 AI 產業發展前景仍維持樂觀態度，加上輝達財測表現強勁，以及超微宣布對台投資 100 億美元計畫，帶動資金持續流向台積電等大型權值股及 AI 供應鏈族群。在利多消息推波助瀾下，相關類股普遍上揚，推升台股屢創歷史新高，台灣加權指數於 5 月底收在 44,732.94 點，較 4 月底大漲 14.92%，單日平均成交量為 1 兆 3,167.6 億元。匯率

方面，隨著金融市場對美伊達成和平協議的樂觀情緒升溫，國際油價回落，外資轉為買股匯入，伴隨國際美元走弱，帶動新臺幣匯率走升，新臺幣於 5 月底收在 31.384 元兌 1 美元，較 4 月底升值 0.84%。

▼一、景氣對策信號

2026 年 5 月分數為 39 分，較上月上修值 40 分減少 1 分，燈號續呈紅燈。9 項構成項目中，貨幣總計數 M1B 轉為黃紅燈，增加 1 分；工業及服務業加班工時轉為綠燈、製造業銷售量指數則轉呈黃紅燈，各減少 1 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 8.2% 增為 9.4%，燈號由綠燈轉呈黃紅燈。
- **股價指數變動率：**由上月 87.4% 增為 97.1%，燈號續呈紅燈。
- **工業生產指數變動率：**由上月上修值 14.5% 減為 11.4%，燈號續呈紅燈。
- **工業及服務業加班工時變動率：**上月上修至 4.3%，燈號修正為黃紅燈，本月降為 0.9%，燈號由黃紅燈轉呈綠燈。
- **海關出口值變動率：**由上月 36.7% 增為 58.8%，燈號續呈紅燈。
- **機械及電機設備進口值變動率：**由上月 39.2% 增為 66.7%，燈號續呈紅燈。
- **製造業銷售量指數變動率：**由上月下修值 10.5% 降為 9.3%，燈號由紅燈轉呈黃紅燈。
- **批發、零售及餐飲業營業額變動率：**由上月 17.4% 增為 27.4%，燈號續呈紅燈。



綜合判斷說明：●紅燈（45-38），●黃紅燈（37-32），●綠燈（31-23），●黃藍燈（22-17），●藍燈（16-9）

圖 1. 近一年景氣對策信號走勢圖（國家發展委員會）。

景氣對策信號	燈號 分數	2025年								2026年				
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
													燈號 %	燈號 %
綜合判斷		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
貨幣總計數M1B		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.2	9.4
股價指數		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	87.4	97.1
工業生產指數		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	14.5r	11.4
工業及服務業加班工時		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	4.3r	0.9
海關出口值		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	36.7	58.8
機械及電機設備進口值		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	39.2	66.7
製造業銷售量指數		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	10.5r	9.3
批發、零售及餐飲業營業額		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	17.4	27.4
製造業營業氣候測驗點		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	96.92r	99.58

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 2. 一年來景氣對策信號（國家發展委員會）。

二、景氣指標

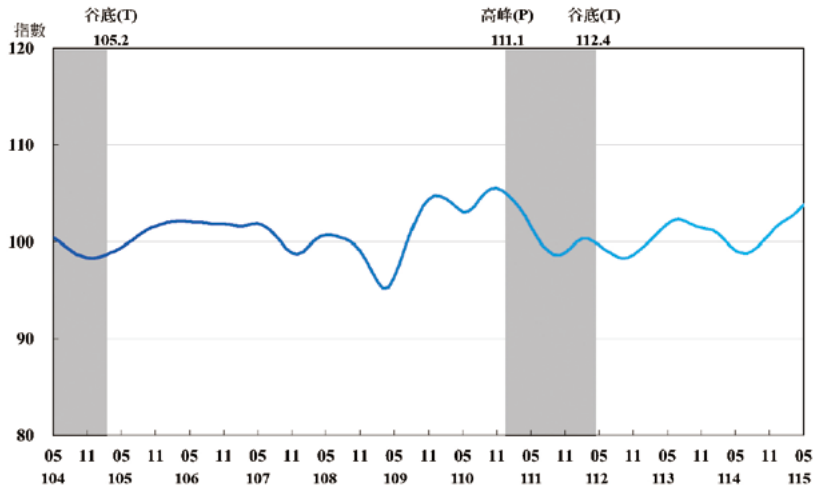
(一) 領先指標

領先指標不含趨勢指數為 103.81，較上月上升 0.55%（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)		115 年 (2026)				
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
不含趨勢指數	100.79	101.42	101.93	102.25	102.68	103.24	103.81
較上月變動 (%)	0.65	0.63	0.50	0.32	0.41	0.550	0.547
構成項目 ¹							
外銷訂單動向指數 ²	100.36	100.83	101.04	100.95	100.87	100.93	101.05
實質貨幣總計數 M1B	100.05	100.14	100.24	100.35	100.48	100.64	100.80
股價指數	99.88	100.16	100.48	100.83	101.22	101.65	102.11
工業及服務業受僱員工淨進入率 ³	99.97	100.04	100.097	100.098	100.08	100.07	100.06
建築物開工樓地板面積 ⁴	99.35	99.33	99.31	99.28	99.27	99.20	98.99
實質半導體設備進口值	100.39	100.18	100.06	100.04	100.14	100.33	100.54
製造業營業氣候測驗點	99.79	100.11	100.37	100.55	100.69	100.83	100.99

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。



註：陰影區表景氣循環收縮期，以下圖同。

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，5 項較上月上升，分別為：股價指數、實質半導體設備進口值、實質貨幣總計數 M1B、製造業營業氣候測驗點、外銷訂單動向指數；其餘 2 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。

(二) 同時指標

同時指標不含趨勢指數為 108.11，較上月上升 1.00%（詳表 2、圖 4）。

表 2. 景氣同時指標（國家發展委員會）

指數

項 目	114 年 (2025)		115 年 (2026)				
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
不含趨勢指數	102.17	102.90	103.85	104.90	106.00	107.03	108.11
較上月變動 (%)	0.55	0.71	0.92	1.02	1.04	0.97	1.00
構成項目							
工業生產指數	100.80	101.04	101.28	101.50	101.68	101.82	101.95
電力（企業）總用電量	99.70	99.83	100.20	100.74	101.39	102.11	102.91
製造業銷售量指數	100.88	101.14	101.37	101.55	101.65	101.70	101.75
批發、零售及餐飲業營業額	98.88	99.76	100.90	102.17	103.51	104.79	106.04
工業及服務業加班工時	100.23	100.19	100.12	100.02	99.87	99.71	99.54
實質海關出口值	102.06	101.87	101.61	101.35	101.17	100.99	100.86
實質機械及電機設備進口值	100.81	100.91	101.07	101.22	101.36	101.47	101.57

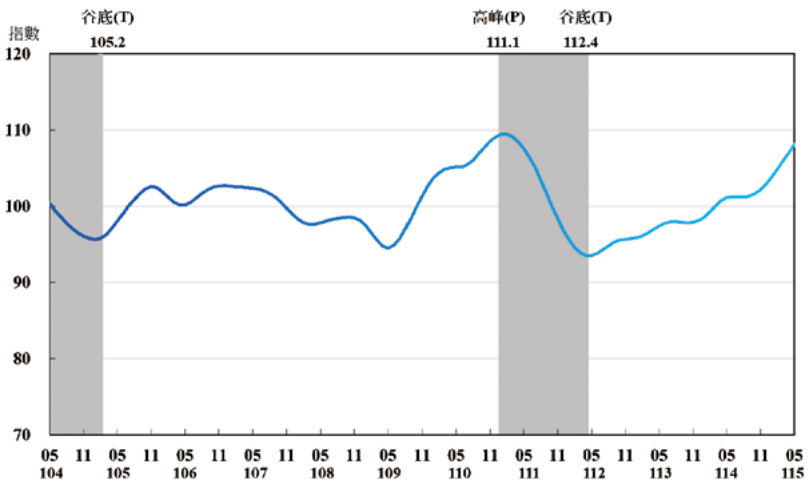


圖 4. 同時指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）。

7 個構成項目經去除長期趨勢後，5 項較上月上升，分別為：批發、零售及餐飲業營業額、電力（企業）總用電量、工業生產指數、實質機械及電機設備進口值、製造業銷售量指數；其餘 2 項較上月下滑，分別為：工業及服務業加班工時、實質海關出口值。

(三) 落後指標

落後指標不含趨勢指數為 102.90，較上月上升 1.52%（詳表 3、圖 5）。

表 3. 景氣落後指標（國家發展委員會）

指數

項 目	114 年 (2025)		115 年 (2026)				
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
不含趨勢指數	97.88	97.97	98.28	98.91	99.96	101.36	102.90
較上月變動 (%)	0.004	0.10	0.31	0.64	1.06	1.40	1.52
構成項目							
失業率 ¹	99.82	99.79	99.765	99.756	99.752	99.755	99.763
製造業單位產出勞動成本指數	99.51	99.21	98.88	98.52	98.20	97.94	97.69
五大銀行新承做放款平均利率	99.47	99.34	99.25	99.21	99.24	99.32	99.41
全體金融機構放款與投資	99.67	99.78	99.99	100.31	100.75	101.29	101.89
製造業存貨價值	99.17	99.61	100.15	100.85	101.73	102.74	103.80

註：1. 失業率取倒數計算。

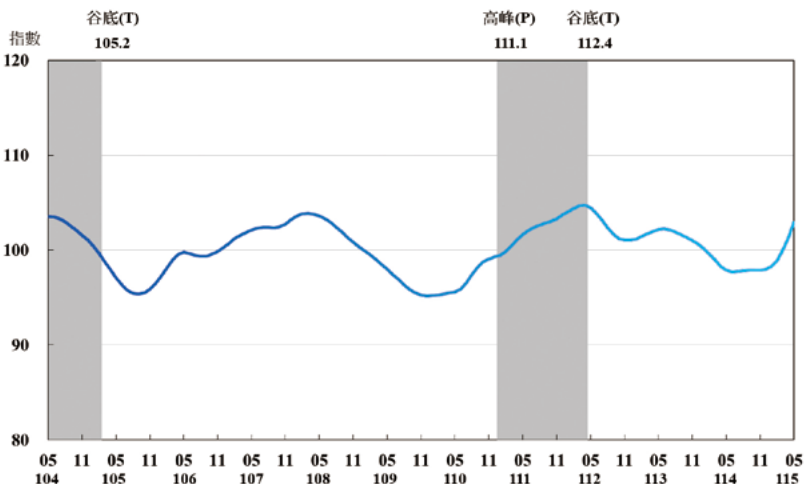


圖 5. 落後指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）。

5 個構成項目經去除長期趨勢後，4 項較上月上升，分別為：製造業存貨價值、全體金融機構放款與投資、五大銀行新承做放款平均利率、失業率（取倒數）；僅製造業單位產出勞動成本指數較上月下滑。

▼三、製造業採購經理人指數 (PMI)

2026 年 6 月經季節調整後之臺灣製造業採購經理人指數（PMI）¹ 已連續 9 個月擴張，指數由 2021 年 9 月以來最快擴張速度（61.4%）微幅回跌 0.7 個百分點至 60.7%。

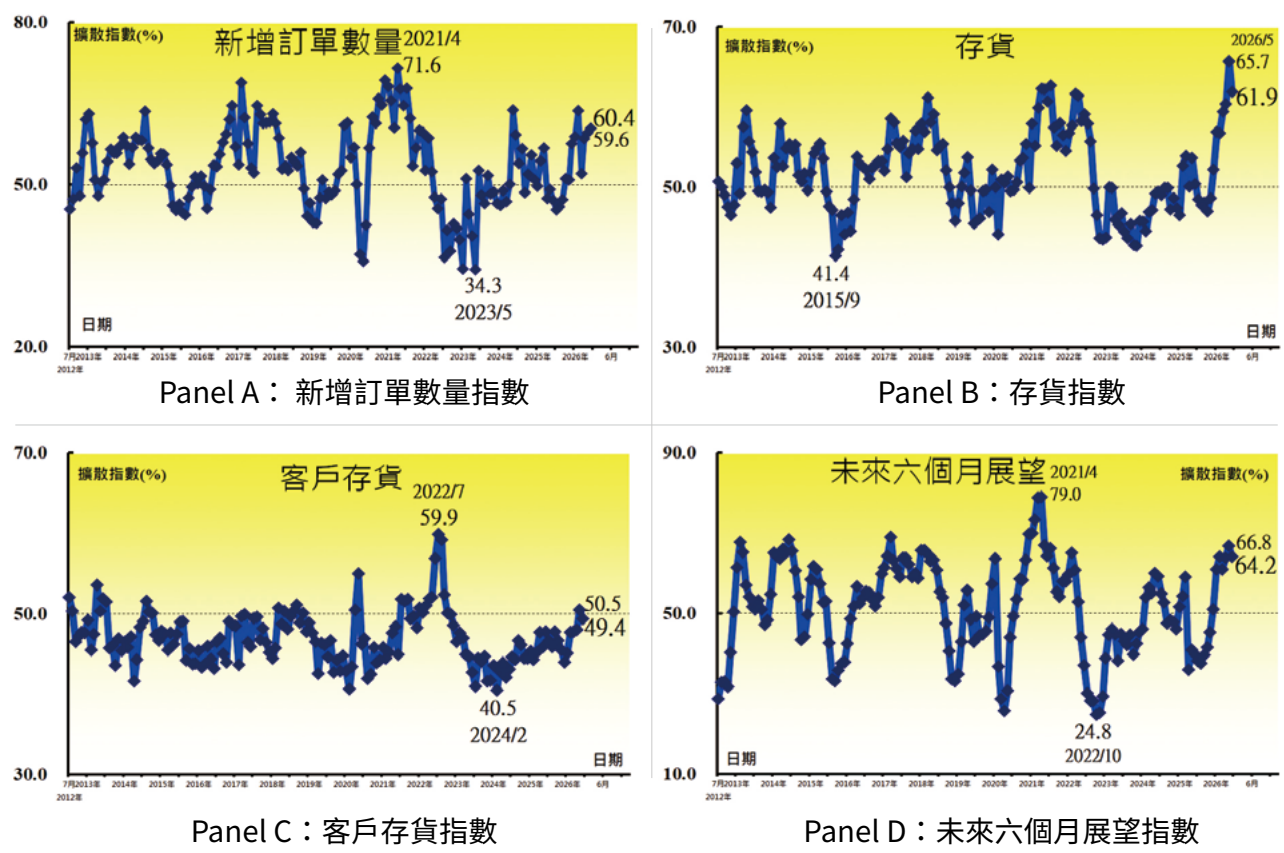


圖 6. 本月製造業值得關注之指標（中華經濟研究院）。

- 5 項組成指標中，經季調之新增訂單、生產與人力僱用持續擴張，供應商交貨時間上升（高於 50.0%），存貨持續擴張。

1 中華經濟研究院受國家發展委員會（前經建會）委託，並與中華採購與供應管理協會合作進行臺灣製造業採購經理人指數調查。自 2012 年 11 月起正式發布臺灣製造業採購經理人指數，2018 年 4 月起發布季節調整後 PMI 並於每年 4 月視模型檢定結果回溯調整 (Revisions) 一次，2021 年 3 月起發布製造業產業別報告。中經院針對有相對穩定季節性之 PMI 總指標，以及新增訂單、生產與人力僱用三指標分別進行季節調整，供應商交貨時間與存貨則因季節性不穩定，故不作任何調整。PMI 5 項組成指標外之 6 項擴散指標以及產業別數據則全數為未經季節調整後之原始數據，會受到當月與前月工作天數所影響，故數值仍會反映一定程度之季節性。由於 X-13ARIMA-SEATS 最適合季節調整之序列長度需 5~7 年以上，故非製造業經理人指數 (NMI) 仍未進行季節調整。

- 經季節調整後之新增訂單指數回升 0.8 個百分點至 60.4%，連續第 9 個月擴張。
- 生產指數已連續第 3 個月擴張，指數續揚 0.8 個百分點至 58.7%。
- 未來 6 個月展望指數已連續 7 個月擴張，指數回跌 2.6 個百分點至 64.2%，連續第 6 個月維持在 60.0% 以上的擴張速度。惟六大產業中，食品暨紡織產業與交通工具產業之未來展望仍回報緊縮。
- 2026 年 6 月末經季節調整之六大產業 PMI 全數擴張，各產業依擴張速度排序為電子暨光學產業 (66.1%)、電力暨機械設備產業 (60.2%)、交通工具產業 (57.6%)、食品暨紡織產業 (57.0%)、基礎原物料產業 (52.7%) 與化學暨生技醫療產業 (50.9%)。

六大產業中，四大產業回報未來 6 個月展望呈現擴張，各產業依擴張速度排序為電子暨光學產業 (69.9%)、電力暨機械設備產業 (63.1%)、基礎原物料產業 (55.7%) 與化學暨生技醫療產業 (51.1%)。食品暨紡織產業 (43.5%) 與交通工具產業 (45.2%) 則回報未來 6 個月展望呈現緊縮。

表 4. 2026 年 6 月臺灣製造業採購經理人指數（中華經濟研究院）

單位：%

	2026 年 6 月	2026 年 5 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	60.7	61.4	-0.7	擴張	趨緩	9	50.9	66.1	57.0	52.7	57.6	60.2
新增訂單數量	60.4	59.6	+0.8	擴張	加快	9	47.7	66.7	56.5	56.8	52.4	64.3
生產數量	58.7	57.9	+0.8	擴張	加快	3	47.4	66.7	54.3	52.3	69.0	59.5
人力僱用數量	55.4	52.7	+2.7	擴張	加快	8	50.0	59.3	58.7	47.7	50.0	60.7
供應商交貨時間	66.9	71.2	-4.3	上升	趨緩	19	55.7	72.2	65.2	52.3	59.5	58.3
存貨	61.9	65.7	-3.8	擴張	趨緩	7	53.4	65.7	50.0	54.5	57.1	58.3
客戶存貨	49.4	50.5	-1.1	過低	前月為過高	1	50.0	49.5	45.7	52.3	47.6	46.4
原物料價格	76.3	85.6	-9.3	上升	趨緩	21	51.1	81.0	65.2	61.4	85.7	84.5
未完成訂單	60.9	63.2	-2.3	擴張	趨緩	7	50.0	66.7	47.8	46.6	47.6	59.5
新增出口訂單	63.1	64.4	-1.3	擴張	趨緩	7	48.9	67.6	47.8	55.7	57.1	60.7
進口原物料數量	65	63.3	+1.7	擴張	加快	7	51.1	70.4	45.7	55.7	59.5	60.7
未來六個月展望	64.2	66.8	-2.6	擴張	趨緩	7	51.1	69.9	43.5	55.7	45.2	63.1
生產用物資 (平均天數)	46	48					35	54	45	57	25	40
維修與作業耗材 (平均天數)	38	39					30	39	38	47	30	36
資本支出 (平均天數)	72	71					61	78	61	72	102	60

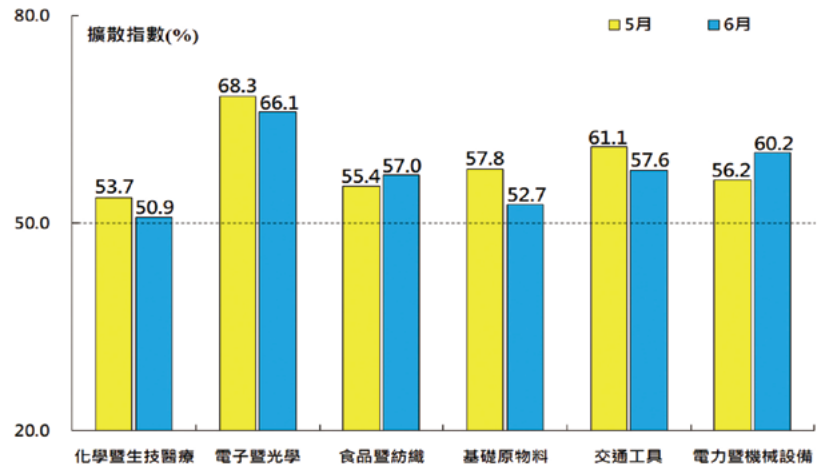


圖 7. 產業別 PMI 示意圖（中華經濟研究院）。

▼ 四、非製造業經理人指數 (NMI)

2026 年 6 月未經季節調整之臺灣非製造業 NMI 已連續 16 個月擴張，指數續揚 1.7 個百分點至 59.9%，為 2021 年 12 月以來最快擴張速度。

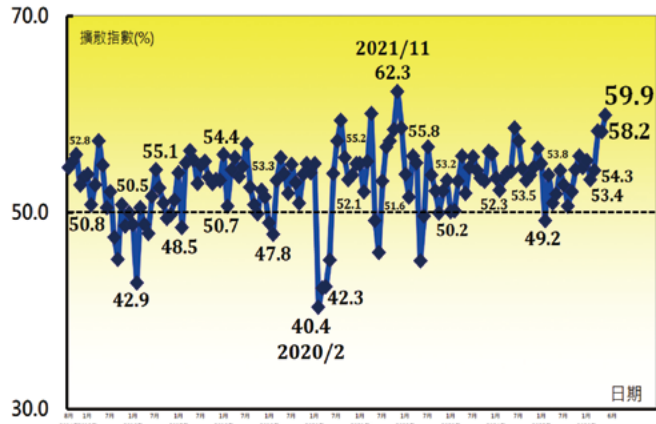


圖 8. 台灣非製造業 NMI 時間序列走勢圖（中華經濟研究院）。

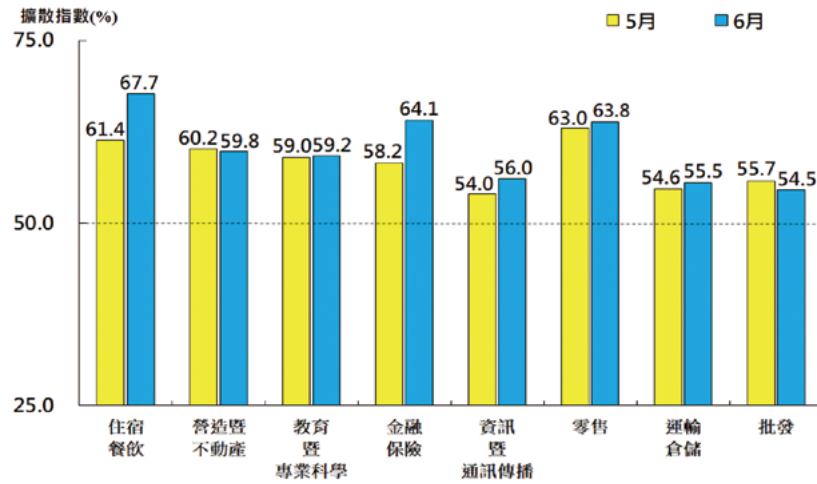


圖 9. 產業別 NMI 示意圖（中華經濟研究院）。

- 4 項組成指標中，商業活動、新增訂單與人力僱用持續擴張，供應商交貨時間上升（高於 50.0%）。
- 未經季節調整之商業活動已連續 3 個月維持在 60.0% 以上的擴張速度，指數為 62.7%，與前月相比擴張速度維持不變。
- 人力僱用指數回升 5.1 個百分點至 58.7%，為 2021 年 12 月以來最快擴張速度。
- 供應商交貨時間（受託工作完成時間）已連續 37 個月上升（高於 50.0%），指數回升 3.9 個百分點至 58.0%，為 2022 年 5 月以來最快上升速度。
- 服務收費價格指數已連續 73 個月上升（高於 50.0%），指數回升 1.1 個百分點至 60.7%。
- 未來 6 個月展望指數躍升 6.5 個百分點至 63.5%，為 2024 年 6 月以來最快擴張速度。
- 八大產業中，全數產業 NMI 皆呈現擴張，依擴張速度排序為住宿餐飲業 (67.7%)、金融保險業 (64.1%)、零售業 (63.8%)、營造暨不動產業 (59.8%)、教育暨專業科學業 (59.2%)、資訊暨通訊傳播業 (56.0%)、運輸倉儲業 (55.5%) 與批發業 (54.5%)。
- 八大產業中，全數產業回報未來 6 個月展望呈現擴張，各產業依擴張速度排序為零售業 (72.5%)、住宿餐飲業 (70.8%)、教育暨專業科學業 (67.1%)、金融保險業 (65.4%)、營造暨不動產業 (60.9%)、批發業 (59.4%)、運輸倉儲業 (58.0%) 與資訊暨通訊傳播業 (57.1%)。

表 5. 2026 年 6 月臺灣非製造業採購經理人指數（中華經濟研究院）

單位：%

	2026 年 6 月	2026 年 5 月	百分點變化	方向 Direction	速度 Rate of Change	趨勢 (Trend) 連續月份	產業別							
							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
台灣 NMI	59.9	58.2	+1.7	擴張	加快	16	67.7	59.8	59.2	54.1	56.0	63.8	55.5	54.5
商業活動	62.7	62.7	+0.0	擴張	不變	4	83.3	57.8	64.5	74.4	47.6	75.0	60.0	52.1
新增訂單	60.2	62.3	-2.1	擴張	趨緩	10	79.2	56.3	60.5	67.9	64.3	60.0	58.0	51.2
人力僱用	58.7	53.6	+5.1	擴張	加快	40	58.3	67.2	52.6	60.3	59.5	57.5	52.0	51.0
供應商交貨時間	58.0	54.1	+3.9	上升	加快	37	50.0	57.8	59.2	53.8	52.4	62.5	52.0	63.5
存貨	54.1	53.6	+0.5	擴張	加快	15	62.5	56.3	50.0	57.7	52.4	62.5	50.0	43.8

單位：％

	2026 年 6 月	2026 年 5 月	百分點 變化	方向 Direction	速度 Rate of Change	趨勢 (Trend) 連續月份	產業別							
							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
採購價格	69.9	69.6	+0.3	上升	加快	126	70.8	71.9	64.5	59.0	61.9	80.0	64.0	74.0
未完成訂單	55.7	55.9	-0.2	擴張	趨緩	6	66.7	54.7	53.9	62.8	52.4	65.0	64.0	45.8
服務輸出 / 出口	56.7	59.8	-3.1	擴張	趨緩	7	62.5	66.7	53.1	57.1	62.5	50.0	60.7	45.9
服務輸入 / 進口	56.9	58.3	-1.4	擴張	趨緩	10	50.0	47.2	55.6	50.0	65.0	56.3	53.3	56.9
服務收費價格	60.7	59.6	+1.1	上升	加快	73	70.8	56.5	55.9	64.1	54.8	57.5	62.0	66.0
存貨觀感	51.6	50.2	+1.4	過高	加快	21	54.2	50.0	48.7	53.8	47.6	55.0	50.0	51.0
未來六個月展望	63.5	57.0	+6.5	擴張	加快	6	70.8	60.9	67.1	65.4	57.1	72.5	58.0	59.4

▼ 五、未來半年個別產業景氣預測（以 2026 年 1 月為預測基準月）

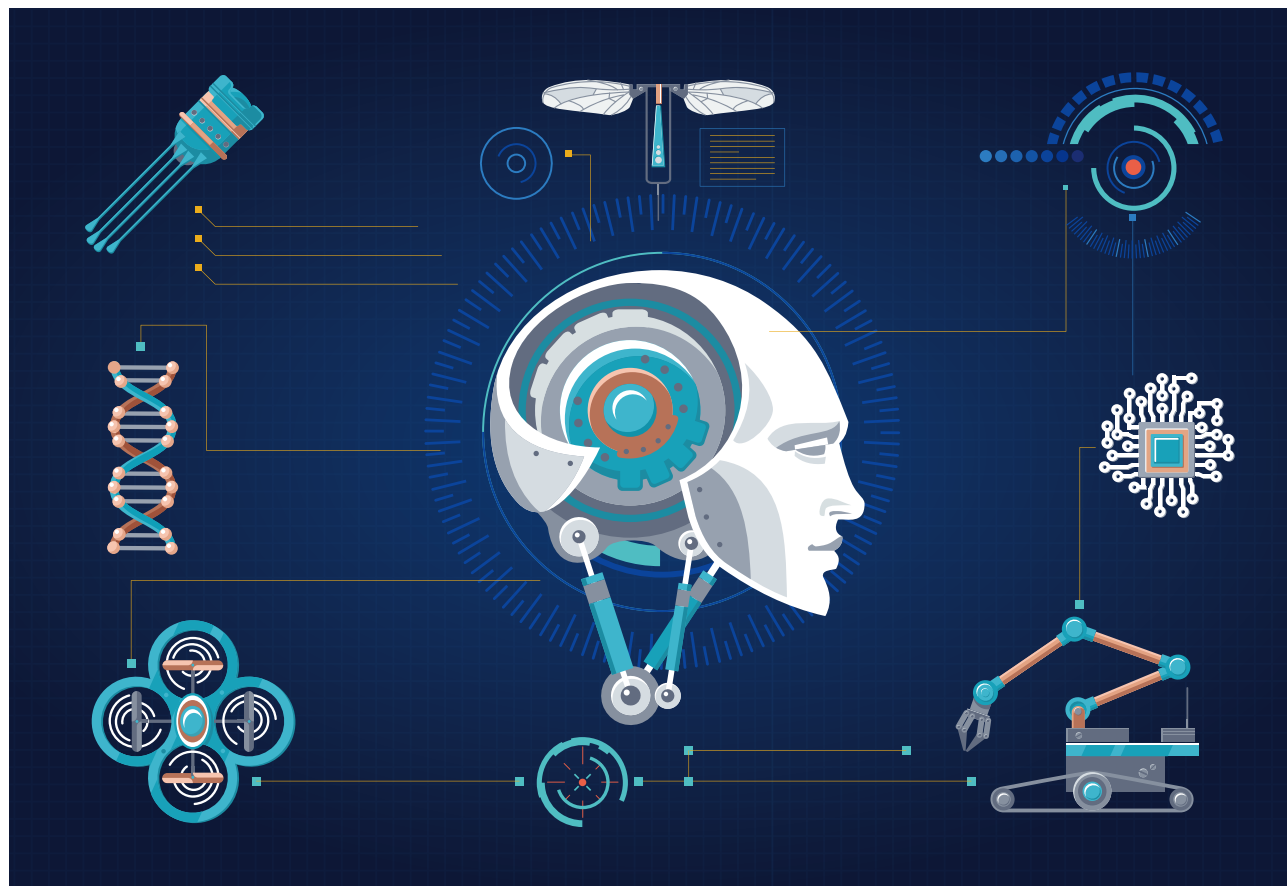


會期 2026年12月2日(週三)→4日(週五) 10:00~17:00
僅12月4日(週五)為16:00結束

會場 大阪國際展覽中心(Intex Osaka)

主辦 Japan Robot Association 日刊工業新聞社
The Nikkan Kogyo Shimbun

Website



具身智慧趨勢觀察： 國際創新動向與 臺灣技術布局

具身智慧 (Embodied AI) 是人工智慧發展的重要新階段。隨著大型 AI 模型、算力與感測技術的成熟，人工智慧正從過去主要運作於數位世界的演算法，逐漸走向能與真實環境互動的實體智慧 (Physical AI)。當 AI 發展具備感知、決策與行動能力，透過機器人、無人機等載具，就能在製造、醫療、物流等場域執行任務。2026 年 CES 展會上，NVIDIA 黃仁勳執行長形容此一轉變為「Physical AI 的 ChatGPT 時刻」，隨模型、算力與資料逐漸成熟，具身智慧正從研究與示範階段邁向可大規模部署的應用階段。國際上，具身智慧的發展主要有三個方向，首先是 AI 平台

文 | 工研院產科國際所
岳俊豪組長、黃仲宏經理

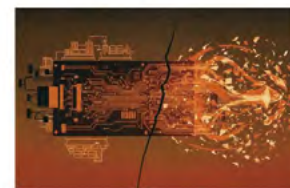
企業建立機器人智慧基礎設施，例如 NVIDIA 的邊緣 AI 晶片、機器人開發平台與數位模擬環境。其次是通用機器人的發展，尤其是人型機器人成為全球科技與新創企業競逐的焦點，期望打造多場景適用的新型態勞動力，如 Boston Dynamics、Tesla、Agility Robotics 與 Apptronik 等。第三則是具身智慧核心技術的突破，包括多模態感知、世界模型、強化學習與模擬訓練等技術，使機器人具備更高程度的自主決策與運動控制能力。臺灣具備發展具身智慧的重要基礎，一方面是臺灣在半導體與 AI 晶片領域具全球領先優勢，能提供具身智慧所需的算力與邊緣運算能力；其次，臺灣長期累積的精密機械與自動化設備產業，也為機器人關鍵零組件與系統整合提供重要基礎；而臺灣在智慧製造、醫療、物流等垂直應用場域，亦具有良好的產業實驗環境。展望未來，具身智慧技術將朝向通用型機器人、群體智慧與軟體定義機器人的方向發展，而機器人產業競爭也將從單一硬體能力，轉向 AI 模型、軟體平台與應用生態系的整體競爭。對臺灣而言，若能結合半導體、精密機械與 AI 技術優勢，並透過國際合作與應用場域建構，有機會在下一波全球具身智慧產業競合中扮演關鍵角色。

▼一、從生成式 AI 走向具身智慧的時代

近年人工智慧 (AI) 的快速進展，正推動科技產業走入新的發展階段。過去十年，AI 技術多聚焦於「數位世界」的應用，例如影像辨識、語音辨識、推薦系統等。自 2022 年底 ChatGPT 問世後，以大型語言模型 (Large Language Model, LLM) 為代表的生成式 AI (Generative AI) 迅速成為主流，使 AI 開始具備理解與生成內容的能力，進一步改變人機互動的模式。2025 年初在美國消費性電子大展 (CES) 上，NVIDIA 執行長黃仁勳指出，AI 的下一個重要發展方向，正逐漸延伸到「物理世界」，亦即實體式 AI (Physical AI)，或所謂的「具身智慧」(Embodied AI)。具身智慧的核心概念，是讓 AI 不僅能理解資訊，也能透過「身體」與環境互動。換言之，AI 不再只是運行於雲端或電腦中的演算法，而是透過機器人、無人載具、自動化設備等實際載體，結合感知、決策與行動能力，在真實環境中執行任務。

推動具身智慧快速發展的原因，主要有三項結構性力量（圖 1）。首先是人工智慧模型與算力的突破，大型模型、多模態感知與強

● AI技術快速更迭 ● 地緣政治與國防安全 ● 勞動力短缺與高齡化



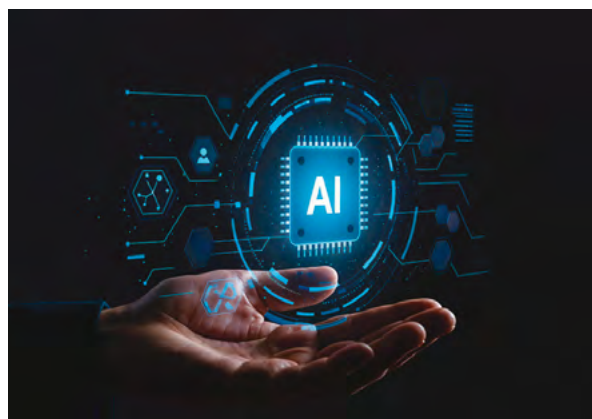
資料來源：工研院產科國際所



圖 1. 全球三大結構性改變驅動具身智慧的科技發展。

化學習技術的進步，使 AI 能更有效理解環境並進行決策。其次是地緣政治與國防需求的變化，從俄烏戰爭到今年的美以伊戰爭，國際局勢緊張使無人系統與自主機器人成為各國強化國防科技的重要方向，進一步帶動產業與技術投資。第三則是全球人口結構變化帶來的勞動力短缺問題，隨著高齡與少子化趨勢加劇，製造、物流與服務業對自動化與機器人需求持續上升，而具身智慧可提供一種新型態的勞動力，能長時間運作不間斷。在此背景下，機器人與無人系統逐漸成為 AI 技術的重要載體。從物流倉儲機器人、工業協作機器人，到無人機群甚至人型機器人，各類具身智慧系統正快速發展。科技企業、研究機構與新創公司紛紛投入相關領域，使具身智慧漸成為下一波科技產業競爭的焦點。

整體而言，若生成式 AI 被視為 AI 在「數位世界」的革命，那麼具身智慧則可能代表 AI 在「物理世界」的重要突破。未來十年，AI 不僅是資訊處理工具，更可能成為新型態的「智慧勞動力」，在工業、物流、醫療、服務與國防等領域發揮關鍵作用。



▼二、國際具身智慧技術趨勢

全球具身智慧技術正處於快速發展階段，主要由科技企業、機器人公司與研究機構共同推動。整體發展可從三個層面觀察：第一是 AI 平台與算力基礎設施的建立；第二是機器人與自主系統產品的快速演進；第三則是具身智慧核心技術的突破。

AI 平台企業：打造機器人大腦的基礎設施

在具身智慧發展過程中，人工智慧平台扮演關鍵角色，加速機器人在現實世界的部署。相較於過去機器人產業以硬體為主，近年產業發展逐漸轉向「軟體與 AI 平台主導」，其中以美國科技公司 NVIDIA 的布局最具代表性。NVIDIA 近年積極推動機器人 AI 生態系，透過 Jetson 系列邊緣運算晶片、Isaac 機器人開發平台，以及 Omniverse/Cosmos 數位模擬環境，建立完整的機器人 AI 開發基礎設施。這些技術使開發者能在虛擬環境中訓練機器人模型，再將模型部署至實體機器人上，大幅降低開發成本與時間。此外，NVIDIA 也推出專為機器人設計的大型模型（如 GROOT），嘗試建立「通用型機器人 AI 模型」，使不同機器人能共享相同的智慧架構。這種發展模式與過去 PC 產業的「Wintel 架構」相似，即由少數平台企業提供核心技術，整個產業生態系則建立在其平台之上。在今年 CES 大會上，NVIDIA 也以相同「複製貼上」的邏輯，推出自駕車使用的 Alpamayo 自動駕駛模型，讓機器人和車輛能在複雜環境中進行感知、推理和決策（圖 2）。



資料來源：工研院產科國際所

圖 2. NVIDIA 積極打造機器人大腦的基礎設施。

隨著算力、模擬平台與 AI 模型逐漸整合，未來機器人產業可能形成類似智慧手機產業的生態結構（如 Android 與 iOS 兩大系統）：由少數 AI 平台業者提供核心技術，而各類機器人廠商則基於此平台開發不同應用產品。

通用型機器人崛起：人型機器人成為焦點

另一重要趨勢，是通用型機器人 (General-purpose robots) 的快速發展，其中，人型機器人 (Humanoid Robot) 特別受到關注。近年多家新創公司投入人型機器人開發，例如美國新創公司 Figure AI 推出 Figure 01 人型機器人，強調與大型 AI 模型整合，具備自然語言互動與自主操作能力；Tesla 則持續發展 Optimus 機器人，希望將其應用於製造與物流場景；Agility Robotics 的 Digit 機

器人已開始在物流倉儲領域進行商業試驗；NASA 支持的 Apptronik 公司則發展 Apollo 人型機器人，聚焦工業與醫療應用。

通用型機器人另一發展方向是高動態與仿生機器人，強調靈活性與複雜環境的適應能力。例如 Boston Dynamics 開發的 Atlas 與 Spot 機器人，能在複雜環境中進行跳躍、翻轉與高難度動作，展現高度靈活性。中國宇樹科技 (Unitree Robotics) 也在足型機器人領域快速崛起，其四足機器人與人型機器人產品在成本與性能方面具備高度競爭力，主要應用於巡檢、救災、軍事與研究等場景。仿生機器人的發展，主要依賴強化學習 (Reinforcement Learning) 與模擬訓練技術。透過大量模擬環境訓練，AI 模型能學習如何控制複雜的機械結構，使機器人逐漸具備接近生物體的運動能力。

人型機器人之所以快速發展，主要原因在於人類社會的環境與工具大多依人體設計，例如門把、樓梯與工具設備等，因此人型機器人更容易適應既有環境。此外，大量與人類動作相關的資料，也有助於 AI 模型進行訓練。然而，人型機器人的發展仍面臨多項技術挑戰，包括高自由度動作控制、能源效率與安全性等問題。因此，短期內人型機器人仍將以特定場景應用為主，例如物流搬運、工業操作或服務型應用；在成本和終端使用者接受度也面臨挑戰，邁向成熟產品仍須約 5-10 年的發展時間。

具身智慧核心技術突破

具身智慧系統通常可分為「大腦」與「小腦」兩部分。「機器人大腦」主要負責感知、理解與決策，例如環境感知、多模態融合、語言理解與任務規劃；而「機器人小腦」則負責運動控制與動作執行，例如姿態控制、關節運動與操作能力。近年 AI 研究提出多種與具身智慧相關的模型概念，例如世界模型 (World Model)、大行為模型 (Behavior Model) 與多模態感知模型等。透過結合感測器資料、模擬環境與強化學習，AI 能逐漸學習在複雜環境中完成任務。

此外，「模擬先於實體」(Sim-to-Real) 的開發模式也逐漸成為主流。透過數位孿生與模擬環境，研究人員可先在虛擬世界訓練機器人，再將學習成果轉移至實體系統，這種方式大幅提高開發效率，也降低實驗成本。另一重要趨勢是，全球具身智慧正從「單一載具」的發展，逐漸邁向「多機協作與群體智慧」的階段。未來機器人不僅能自主完成任務，也可能透過網路與 AI 系統協同運作，形成大規模智慧系統，進一步改變製造、物流與服務等產業的運作模式。

▼ 三、臺灣具身智慧布局與創新

從近年國內外重要機器人相關展會，例如 AUTOMATICA、CES、IREX、TAIROS 中可觀察到，產業正由技術展示轉向實際應用落地，AI 藉由硬體落地實體世界，機器人

是具身智慧的代表形式，特別是人型機器人。不過，人型機器人目前仍面臨兩大核心瓶頸。其一為能效問題，高性能機器人普遍存在高功耗現象，例如 75 公斤等級機器人功耗可能超過 4 kWh；其二為環境適應能力不足，在複雜光源與地形條件下，感知系統仍存在不易辨識的挑戰。在此背景下，國內技術的創新方向之一是一體化的伺服關節技術，透過將驅動、傳動與感測系統整合於單一模組中，可有效縮減體積並將轉矩密度提升至原先的 2 至 3 倍，以此優化整體功率密度與動態性能。

未來重點技術突破將聚焦於三大方向：首先是關節模組創新，包括高轉矩密度與高效率設計；其次為材料技術革新，例如碳纖維等輕量化結構的導入；最後則為演算法升級，透過大模型與強化學習提升機器人自主決策與環境理解能力。例如透過直驅電機提升能效、採用碳纖維骨架減重，導入世界模型強化認知能力，或者是透過全身柔順控制提升操作精度。世界模型是 NVIDIA、Google、Meta、OpenAI 等科技巨頭正致力發展的 AI 技術，它要讓機器人不只是理解資料，而是理解「世界如何運作」，不過世界模型不會讓機器人的智慧一步到位，切勿期待機器人能立即透過通用大模型一次解決所有問題。未來發展將採取階段式的推進，透過逐一具體應用場景 (Scenario-by-scenario) 的突破來累積大規模導入的優勢，而非仰賴通用能力的瞬間躍升。

具身智慧逐步落地，應用場景多元

從產業基礎、技術成熟度與市場環境來看，具身智慧未來的發展將會走一條「從專用到通用」的路徑，應用場景也會逐步往外擴展。短期來看，會先在「高價值、需求明確」的場域落地，例如工業製造與安全巡檢。像汽車製造中的鎖螺絲、3C 電子產品的精密組裝等應用，正帶動精細力控與人機協作技術快速成熟；而在電力巡檢、礦區巡視等場景也已經出現可收費的商業模式，並逐步從人機協作走向部分替代甚至無人化，RaaS（訂閱式機器人服務）將成為主流模式。

中期來看，隨著技術更穩定、成本下降，具身智慧技術會開始進入商業服務與高價值民生領域。像手術機器人、復健機器人等因為醫療價值明確，會較早實現商業化；而送餐、導覽等服務機器人，則會從單次銷售轉向訂閱或 RaaS 模式，透過規模化營運來建立穩定收入。長期來看，最終的應用會落在家庭場景，例如居家照護與生活助理。不過家庭環境複雜、任務零碎，需要機器人具備更好的世界理解、多模態整合與人類行為判斷能力。隨著高齡化社會需求增加，未來家庭機器人有機會成為居家照護的重要補位工具，提供安全監測、行動輔助與陪伴等功能（圖 3）。



圖 3. 臺灣具身智慧場景與應用落地的發展。

具身智慧的發展將演變成可規模化的勞動力

具身智慧的發展，可以看成從「理解世界→個體行動→群體協作」一路往上演進。未來像機器人、自駕車、無人機等智慧體，會逐步具備物理常識、因果推理與空間理解能力，進一步成為可大規模部署的勞動力。技術路徑將從「單體智慧」走向「群體智慧」，一開始是單一機器人能完成感知、理解到行

動的閉環，在真實環境中持續學習、提升決策與操作能力；當單體能力成熟後，就會進一步發展成多機協作，透過分工與協調，形成更高層次的群體智能。在這個過程中，如前述的世界模型是關鍵技術，它讓系統能夠理解環境、做因果推論、規劃任務，並具備跨場景的泛化能力，而不再是僅會後空翻的好看頭。

但是觀察許多投入的業者，我們發現目前最大的瓶頸之一在於，高品質的數據蒐集仍有挑戰。未來若能在不同場域大量部署機器人，透過實際運作產生數據，再回饋訓練模型，就能形成一個正向循環。當世界模型逐漸成熟並能落地應用後，也會反過來強化機器人

的自主能力與協作能力，最終形成「資料－模型－具身－資料」的循環，讓具身智慧真正具備規模化部署的條件。整體來看，未來競爭關鍵會落在三個面向：更準確的物理世界模擬能力、更有效率的資料優化機制，以及可擴展的多機協作架構（圖 4）。

具身智慧技術與產品體系構建路徑

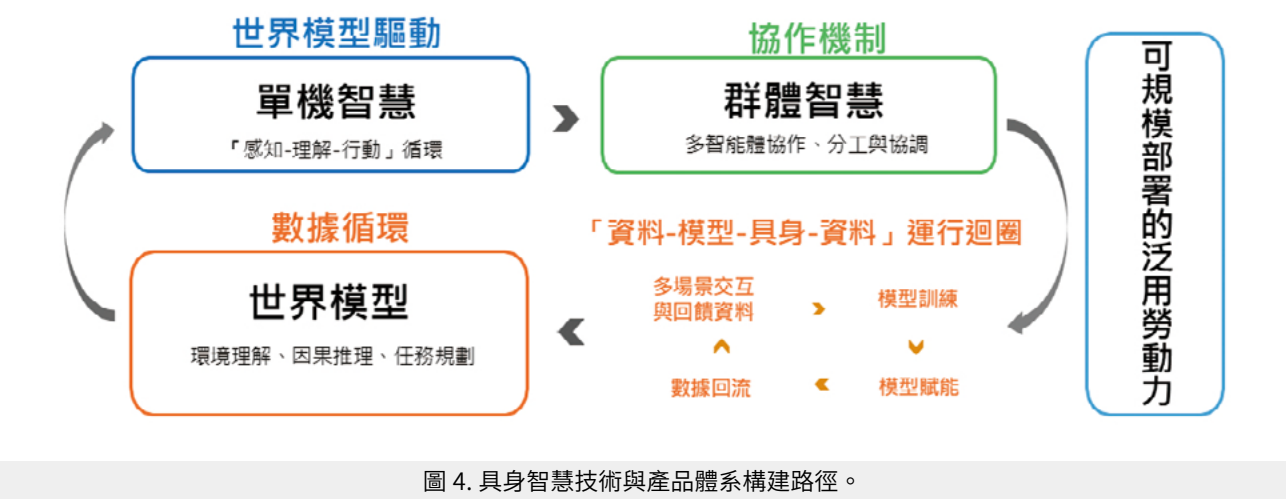


圖 4. 具身智慧技術與產品體系構建路徑。

臺灣在半導體產業具備全球領先地位，高階製程與產能均居國際前段班；同時精密機械產業在技術研發能力與產業鏈完整度上亦具高度競爭力，涵蓋旗艦型企業、利基型廠商以及機器人新創團隊。這些優勢相互整合，為具身智慧在垂直場域的應用發展奠定良好基礎。若結合半導體製造與精密機械等優勢產業，導入具身智慧技術進行加值，可進一步發展出特定場域的產品、服務與系統整合解決方案，成為驅動產業升級與價值提升的重要動能。

平台與垂直應用協同發展，企業將確立生態定位並積極布局

臺灣在具身智慧的競爭重點已出現明顯轉變，許多業者不再只是朝向單一技術或應用的突破，而是轉向「整體實力」的競爭，包括技術根基、獲利模式與供應鏈體系的整合（圖 5）。

整體來看，產業競爭會有三個主要趨勢。第一，競爭從單點技術轉向系統整合能力，

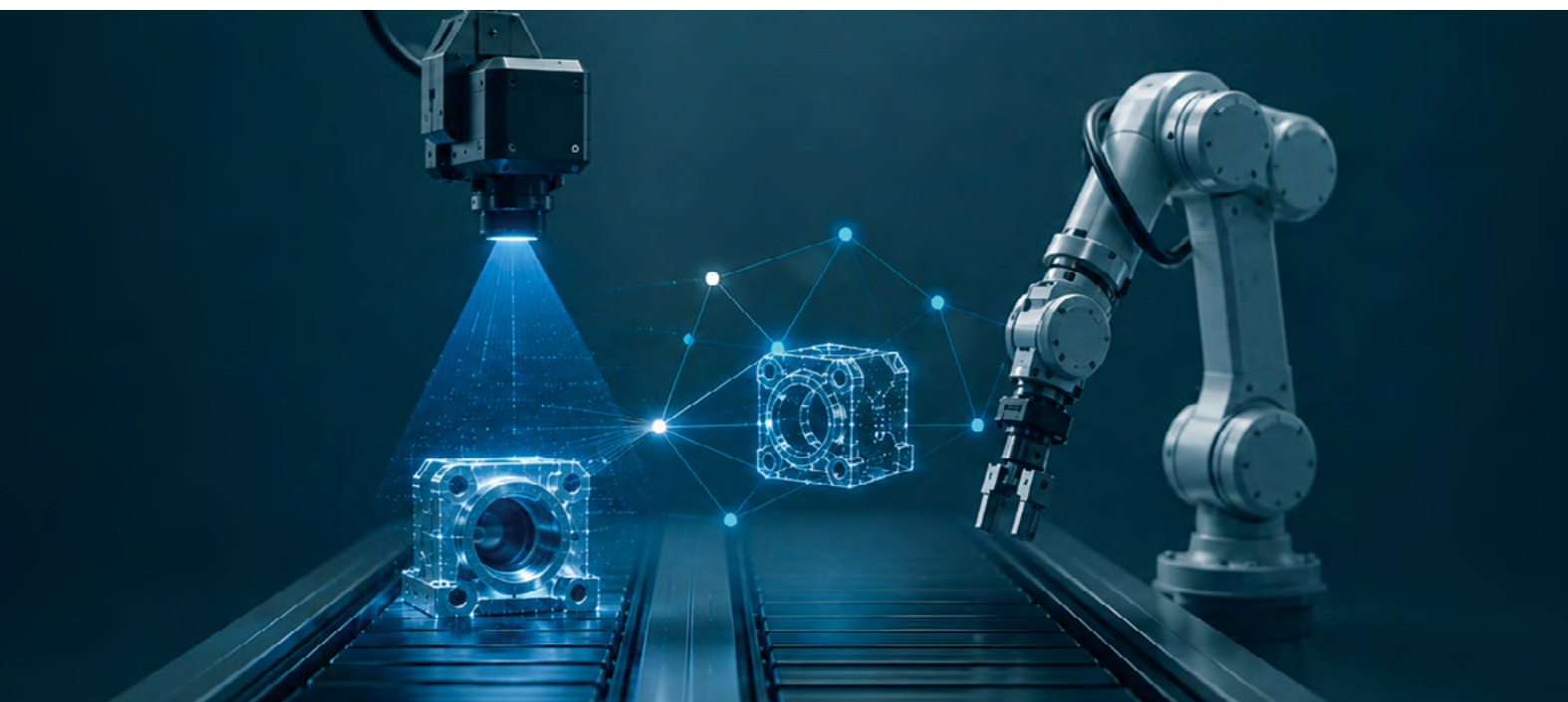


圖 5. 具身智慧的競爭格局與創新演進。

單一模型、硬體或展示已經不夠，企業需要同時具備大模型、軟硬整合、工具鏈以及實際交付與維運能力。第二，競爭關鍵從資金轉向場域與供應鏈，真正有價值的是能夠持續產生收入的應用場景，以及掌握關鍵零組件與在地供應鏈的能力。第三，產業將進入加速整合階段，缺乏技術深度或只靠整合與概念驗證的業者，會在量產成本、穩定性與快速迭代的壓力下面臨挑戰。

產業結構未來會形成「平台＋應用」的雙軌發展。一方面是通用平台，由大型企業主導，透過大模型、世界模型與標準化硬體建立基礎能力，並從賣設備轉向平台與 RaaS 服務；另一方面是垂直應用模組，由各產業玩家負責，重點在於場域經驗、專用技術與實際商業模式，透過結合平台來解決特定產業問題。整體而言，未來臺灣在具身智慧布局與創新不僅有技術比拼，而是會擴展到供應鏈整合、製造能力、全球服務體系以及資本運作的全面競爭。





From Perception to Understanding: Industrial AI's Make-or-Break Phase

▼ Executive Summary

Industrial AI is entering a make-or-break phase. After a decade of eye-catching benchmarks, the question for factories, warehouses, and hospitals isn't whether models can classify images—it's whether machines behave reliably when reality refuses to sit still. The decisive shift is from model-first demos to system-level engineering that couples spatial perception, multi-sensor fusion, scene reasoning, and edge AI under real-time constraints. In this architecture-first world, milliseconds matter, connectivity can't be assumed, and safety is measured in behavior, not promises. Leaders who invest in deterministic edge platforms, time-aware dataflows, and graceful degradation will see compound gains in uptime, throughput, and trust. The winners won't necessarily flaunt the flashiest models—they'll deploy machines that simply do the right thing, again and again, when it matters most.

Nagesh Puppala – General Manager,
Physical AI & Robotics, Client
Computing & Physical AI Group,
Intel Corporation



Editor's Sidebar: **Five Things to Watch**

- Timing discipline: budgeted latency and jitter from sensor to actuation.
- Fusion by design: multiple modalities with explicit degraded-mode policies.
- Edge-first autonomy: safety-critical loops run locally, cloud augments—not controls.
- Lifecycle readiness: monitoring for drift, versioned models, safe rollbacks.
- Human-aware behavior: predictable yielding, legible motion, clear operator handoffs.

Industrial automation is having a moment of truth. After years of headline-grabbing model benchmarks and glossy demos, the real question for executives isn't whether AI can recognize a part or classify an image. It's whether intelligent machines can operate reliably in the places where reliability is non-negotiable: factories running three shifts, warehouses measured in football fields, and hospitals where the cost of a mistake is counted in more than dollars. In those environments, conditions change constantly. A worker steps into a shared space. A pallet is nudged a few inches off mark. Lighting fluctuates as a loading dock door cycles open. A robot hesitates for a beat, misreads distance by a few centimeters, or loses context when an object becomes occluded—and the entire flow stutters. Uptime is threatened. Throughput slips. Confidence erodes.

This is the crucible in which embodied intelligence is being tested. Not intelligence as an abstract capability, but intelligence that is embedded in the physical world—perceiving, interpreting, and acting with consistency when reality is unruly.

▼ The Operational Bar Has Shifted

“In the physical world, time isn't a nice-to-have; it's the canvas for safety and control.”

For decades, automation largely worked by narrowing the problem. Fixed cells and fixtures, guarded spaces, and tightly constrained inputs made it possible to engineer repeatable outcomes with finite sensing and modest compute. The system didn't need to understand the full world around it because the world had already been simplified for the system.

That era is ending. Manufacturing lines are increasingly reconfigurable to match shorter product cycles. Warehouses handle more SKUs and higher volumes with less predictable flow. Mobile robots routinely traverse spaces shared with people, forklifts, and constantly shifting inventory. Healthcare and service environments, by definition, center on humans and variability.

When variability goes up, the tolerance for inconsistency goes down. A robot that performs beautifully in a controlled demo but wobbles when the scene changes isn't just a weak investment—it's a risk. The mandate is expanding from 'Can it see?' to 'Can it understand?' and from 'Can it predict?' to 'Will it behave correctly on time, every time?'

▼ Why Embedded AI Has Become Non-Optional

“*A perfect inference at the wrong time is a bad decision.*”

In the physical world, time isn't a nice-to-have. It's the canvas on which safety, control, and coordination are painted. The gap between a correct decision and a safe action is measured in milliseconds. That's why embedded AI—compute placed near sensors and actuators, running locally at the edge—has moved from an architectural preference to an operational necessity.

The reason is simple: you can't fence in latency. Networks fluctuate. Connectivity drops or congests. Cloud round trips, no matter how optimized, introduce variability. And variability in perception-to-control timing is precisely what physical systems can't absorb at scale. If your perception pipeline answers 'turn left' when the controller has already committed to 'go straight,' you're not running an AI system—you're gambling.

Embedded AI synchronizes perception, reasoning, and action within strict timing windows. It sustains behavior through hiccups in connectivity and keeps privacy-sensitive data local when policy or common sense demands it. It also aligns with the demands of multi-sensor fusion—the increasingly standard approach of combining vision, depth, inertial data, and sometimes lidar or radar into a single operational picture. Each modality adds information—and processing load. Fusion requires concurrent,

deterministic pipelines that can ingest, transform, and reason over multiple streams in parallel, then hand results to motion planners and safety controllers without breaking stride.

This is pushing edge platforms toward heterogeneous compute—orchestrating CPUs, GPUs, and AI accelerators as a unified system rather than an assortment of parts. This is where Intel's approach is focused—bringing together CPUs, GPUs, and AI accelerators into unified edge platforms that can orchestrate these workloads in real time. The goal is not just performance, but predictable, deterministic execution across perception, fusion, and control pipelines operating under industrial constraints. The goal isn't raw horsepower for its own sake; it's coordinated horsepower that respects timing constraints, maintains synchronization, and scales without degrading behavior as scenes grow more complex.

▼ Four Capabilities That Separate Demonstrations from Deployments

“*Reliability is engineered at the system level—not discovered in a benchmark.*”

Across industries, successful deployments coalesce around four capabilities. If any one is missing, reliability erodes.

A conventional camera tells you a lot about appearance—edges, textures, colors, motion in the image plane—but little about space. Robots,

however, act in three dimensions. They need to know not just that an object exists, but precisely where it is, how it's oriented, and whether a path is free. Depth sensing—via stereo, structured light, or time-of-flight—closes that gap by providing actionable geometry. In practical deployments, depth-sensing technologies such as those offered by RealSense, an independent company, have played a critical role in bringing spatial perception into real-world systems. By providing real-time, high-resolution depth data that integrates directly into perception pipelines, these solutions enable robots to move beyond visual interpretation toward actionable spatial understanding. This allows systems to operate more reliably in dynamic environments—supporting navigation, manipulation, and human-aware interaction under conditions where traditional vision alone is insufficient.

Spatial perception turns 'looking' into navigating, grasping, and collaborating. Autonomous mobile robots use it to localize and avoid obstacles that appear without warning. Manipulators use it to determine object pose and reachability. Safety systems use it to maintain protective envelopes around people in shared work cells. Without geometric grounding, perception collapses into guesswork as soon as the world stops playing nice.

No single sensor tells the whole truth. Vision can be fooled by glare; depth can struggle with certain materials; inertial sensors drift; lidar sees structure but not texture. Fusion stitches together multiple imperfect signals into a coherent operational view that's more reliable than any single feed.

In practice, fusion is an architectural challenge. Streams arrive at different rates

and with different latencies. Some are bursty; others are steady. The system must synchronize and align them in time, then reason over the combined picture within a tight control loop. That demands careful workload partitioning, predictable scheduling, and well-designed buffers—plus the ability to degrade gracefully when one modality degrades or disappears.

Recognition answers 'what.' Reasoning answers 'what's happening,' 'what might happen next,' and 'what should I do about it.' Scene reasoning fuses spatial and visual cues with context and time: relationships between objects, motion trajectories, intent inference, and risk estimation. It's the difference between seeing a cart and predicting that the cart will cross your path in two seconds unless you slow and reroute.

Real-time scene reasoning is computation-heavy and unforgiving of jitter. Systems that do it well don't just detect objects; they model a scene and then act in ways that are legible and safe to humans. The business payoff is measured in fewer interventions, smoother handoffs, and higher confidence to deploy in less scripted environments.



“*Intelligence in the real world is measured by behavior.*”

A perfect inference at the wrong time is a bad decision. Industrial systems must meet precise timing budgets that couple perception to actuation. That requires deterministic execution across heterogeneous components, predictable memory movement, and orchestration that prioritizes the right work at the right moment. The ‘system’ isn’t just a neural network; it’s an end-to-end pipeline whose latency and jitter must be engineered, not assumed.

▼ Where the Value Is Proving Out

The most telling use cases share a theme: they don’t have the luxury of inconsistency.

High-mix manufacturing. Lines reconfigure around shorter runs and frequent changeovers. Robots must adapt to new part geometries, positions, and orientations without sacrificing takt time or safety. Spatial perception and scene reasoning move the system beyond rigid fixtures toward more flexible, collaborative cells.

Dense warehouse automation. Mobile fleets navigate shifting aisles, parked pallets, and human coworkers while pushing for tighter service-level agreements. Multi-sensor fusion and deterministic edge control keep the fleet flowing even when connectivity hiccups or lighting changes.

Healthcare logistics and service. Robots handle routine tasks—deliveries, sanitation, supply movement—in settings calibrated for

human comfort, not machine predictability. Embedded AI supports privacy, while scene reasoning produces behavior that’s legible and acceptable in human-centered spaces.

In each case, the measure of success isn’t a single KPI. It’s the combined outcome: uptime, throughput, safety incidents avoided, interventions reduced, training time shortened, and confidence gained to expand deployment.

▼ Architecture Is Strategy

There’s a quiet shift underway from model-first thinking to architecture-first thinking. The most valuable systems aren’t the ones with the most sophisticated neural nets in isolation; they’re the ones that sustain correct behavior under load, in context, at scale.

Three architectural patterns are emerging: unified, heterogeneous edge platforms; time-aware dataflow; and degradation with intent. These patterns are not theoretical—they depend on platforms capable of coordinating



heterogeneous compute, enforcing timing discipline, and integrating sensing with real-time processing at the edge. This is where Intel is investing—enabling system-level architectures that sustain multimodal workloads and maintain consistent behavior as complexity scales.

CPUs, GPUs, and AI accelerators work together under a common orchestration layer. Perception pipelines, fusion, planning, and control are placed where they make the most sense—latency-sensitive loops remain local; batch-like optimization and learning can move to the edge cluster or cloud.

Pipelines are built for predictability. Frames and sensor readings are timestamped, synchronized, and fused with explicit budgets. Memory movement is treated as a first-class cost, not an afterthought. Systems prioritize bounded latency over peak throughput when safety demands it.

When conditions degrade, behavior degrades gracefully. If a depth stream is occluded, planning falls back to safe-speed envelopes and wider berth rules. If connectivity drops, autonomy persists locally with conservative policies. The system remains useful—and safe—through uncertainty.

▼ The Economics: Where the ROI Hides (and Where It Doesn’t)

The implication for buyers is straightforward: evaluating AI solutions increasingly means evaluating system behavior and the architectural choices that produce it, not just the performance of a single model on a static dataset.

Leaders often ask, ‘What’s the payback period?’ The honest answer is: it depends what you count. Savings rarely come only from labor substitution or a single headline metric. The durable ROI shows up in places that are less photogenic but more consequential.

Downtime avoided. A system that fails rarely but unpredictably can cost more than a slower system that never fails. Avoiding unplanned stops is often the largest line item in the business case. **Yield and quality stability.** Small reductions in rework and scrap, especially in high-value manufacturing, punch above their weight. **Flexibility premiums.** The ability to reconfigure for new products, layouts, or demand spikes without weeks of re-engineering becomes a competitive asset.

Safety and liability. Fewer near misses and recordables aren’t just moral wins; they’re financial ones—lower insurance, fewer claims, less downtime investigating incidents. **IT/OT simplicity.** Embedded AI that keeps sensitive data local and reduces network load can lower infrastructure costs and compliance burdens.

▼ What Good Looks Like: A Practical Blueprint

The red flag is ‘efficiency’ that depends on conditions staying perfect. Sustainable ROI is built on systems that behave predictably when conditions are anything but.

Executives don’t need to be roboticists, but they do need a radar for engineering signals that predict success or trouble. The following checklist captures the patterns seen in resilient deployments.

Explicit timing budgets for perception, fusion, planning, and control—documented, tested, and enforceable. Sensor redundancy with policies for how the system behaves when one modality degrades or fails. Spatial perception quality that is characterized in the real environment, not only on a vendor spec sheet. Real-time orchestration across heterogeneous processors with visibility into where each workload runs and why. Edge-first autonomy with cloud used for fleet coordination, analytics, and learning—not for any decision that can't tolerate delay.

Human-aware policies that make robot behavior legible to people: clear yielding, predictable motion, and conservative responses to ambiguity. Lifecycle planning for data, models, and updates—how you monitor drift, validate changes, and roll out improvements without halting operations. Security posture that treats the robot as part of the enterprise: signed builds, least-privilege access, and segmented networks. Standards-based integration with existing industrial systems and protocols to avoid brittle custom glue.

Degradation plans that are intentionally designed, tested, and reviewed—not left to chance.

▼ Common Failure Modes—and How to Avoid Them

Patterns repeat across sites and industries. Knowing them in advance can save months.

The overfit demo. A system shines in a curated pilot zone but falters in real flow.

Remedy: make pilots messy on purpose. Vary lighting, layouts, and traffic. Introduce 'unknown unknowns' and insist on stable behavior before scaling. **The cloud crutch.** Latency-sensitive loops depend on off-device inference. It works until the day it doesn't. Remedy: keep safety-critical loops local and treat the network as helpful, not guaranteed.

The single-sensor bet. A design leans on one modality and then gets blindsided by a corner case (reflective surfaces, dust, occlusion). Remedy: fuse modalities and define policies for degraded operation. **The data drift surprise.** Performance decays over weeks as the environment shifts or slight changes accumulate. Remedy: implement continuous monitoring for drift and a repeatable process for model updates with rollback.

The integration tax. Disparate components are bolted together without a system view, causing hidden jitter and unreliable behavior. Remedy: treat orchestration and timing as first-class design problems, not as 'we'll optimize later.

▼ Safety Isn't a Compliance Checkbox

Safety standards and certifications matter, but they are not a proxy for safe behavior. True safety emerges from design choices made early: speed and separation monitoring that is conservative when uncertain; perception pipelines that fail safe, not fast; planners that prefer predictable trajectories over clever shortcuts; and user interfaces that let operators understand—at a glance—what the machine is doing and why.

In human-robot collaboration, legibility is a safety feature. A machine that signals intent, yields consistently, and slows in ambiguity earns trust. Operators intuitively adapt, incidents fall, and throughput often rises—not because the robot moves faster, but because people stop compensating for it.

▼ The Data Lifecycle at the Edge

Data is the fuel; models are the engine. But you can't run a fleet by revving in neutral. Purposeful data strategy separates learning from operations without blurring safety lines.

On-device triage. Not every frame is gold. Smart buffering and sampling reduce storage without losing rare, valuable events.

Privacy by design. Keep sensitive data local where appropriate; anonymize and encrypt when sharing is necessary. Align with policy and regulation from the outset.

Versioned models and explainable updates. Each change to a model or policy should be traceable, testable, and reversible. Shadow



deployments can compare new behavior against old without risking production.

Feedback loops that respect OT realities. IT-style continuous delivery doesn't translate directly to shop floors. Updates must align with maintenance windows, safety reviews, and operator training.

▼ Build, Buy, or Blend?

The old dichotomy—build vs. buy—misses nuance. The winning pattern is often to blend: buy platforms that handle the system-level heavy lifting (orchestration, timing, fusion frameworks, safety envelopes), and build the last-mile logic that captures your process knowledge and differentiates your operation.

Buy when it's plumbing—real-time OS integration, heterogeneous workload schedulers, sensor drivers, fleet coordination, security hardening. Reinventing these rarely pays back.

Build when it's your secret sauce—task logic, domain-specific perception, data labeling policies that capture what 'good' means in your context, KPIs tied to your economics.

Partner when your environment is truly unique or your scale justifies co-development. The goal is to control what matters without owning an undue maintenance burden.

▼ The Ecosystem Question

No vendor, however capable, can single-handedly deliver embodied intelligence. The work spans hardware, middleware, perception, planning, safety, and integration into

legacy systems. What matters is an ecosystem that plays well together: sensors that speak reliable time, compute that respects real-time constraints, frameworks that allow deterministic pipelines, and interfaces that meet operators where they work.

The litmus test is practical: how quickly can you go from a proof of concept to a production-ready deployment that survives real conditions? Ecosystems that prize interoperability and transparency compress that journey. Those that demand bespoke glue code and black-box assumptions prolong it.

▼ How Leaders Are Preparing—Without Waiting for Perfection

Pragmatic leaders are moving on two tracks.

Track one is operational: identify a constrained, high-value workflow and harden it with embedded perception and edge autonomy. Make the pilot messy. Measure not just accuracy but behavior: mean time between interventions, latency distributions, safety margins, and the cost of drift. Treat success not as a proof of intelligence but as proof of consistency.

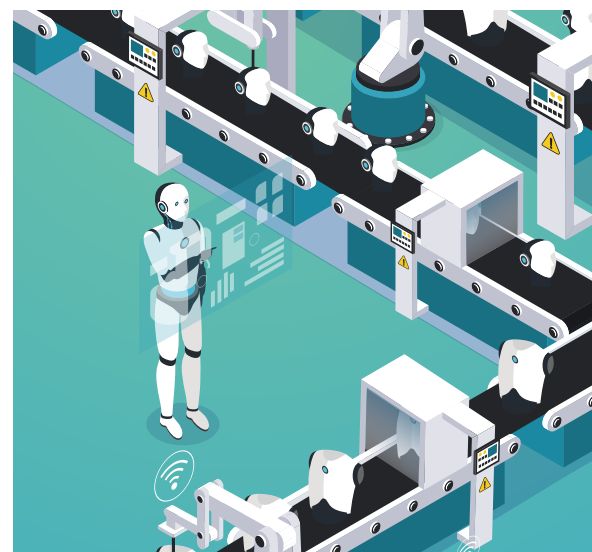
Track two is architectural: invest in the platform capabilities you'll need regardless of use case—time-synchronized sensing, heterogeneous compute orchestration, deterministic networking across the cell or facility, and a lifecycle strategy for data and models. This isn't speculative spend; it's the substrate that makes use-case wins repeatable rather than heroic one-offs.

Together, the two tracks create a flywheel: each successful operational win feeds the architecture with real constraints and data; the maturing architecture, in turn, lowers the cost and risk of the next operational win.

▼ Metrics That Actually Matter

Savvy teams are refreshing their dashboards. Instead of celebrating top-1 accuracy or per-frame F1 scores in isolation, they're tracking metrics that map to operational outcomes.

- End-to-end latency and jitter from sensor capture to actuation command.
- Mean time between interventions (MTBI) and intervention severity (how disruptive when they occur).
- Safe throughput: rate achieved while maintaining safety margins, not just peak bursts.
- Degraded-mode performance: output when one sensor or stream is compromised.
- Recovery time after a fault or environment change.



Drift indicators tied to real data distributions, not abstract benchmarks. Operator trust signals: time to proficiency, error rates during handoffs, and adoption without supervision.

When these move in the right direction, topline performance tends to follow.

▼ Three Illustrative Deployment Scenarios

The following scenarios illustrate common patterns and potential outcomes observed across industrial deployments. A high-mix electronics plant struggled with frequent changeovers that required re-teaching pick-and-place jobs. The breakthrough wasn't a clever new model but better spatial perception, paired with template-free grasp planning and tight timing guarantees between perception and robot control. Results: faster changeovers, fewer mis-picks, and operators reporting higher trust. The plant didn't run faster by courting risk; it ran faster by removing uncertainty.

A regional distribution center deployed a fleet of AMRs that initially performed well—until seasonal lighting changes and ad-hoc pallet staging pushed them into frequent pausing. Adding a secondary depth modality and re-architecting the fusion pipeline for deterministic execution restored flow. Importantly, the system implemented a conservative degraded mode: slowing and widening passing distances whenever confidence dropped. Throughput recovered, and safety incidents fell.

A hospital system piloting service robots confronted the realities of privacy and unpredictable human movement. The edge-first

design allowed sensitive data to remain on-site, while scene reasoning made robot behavior legible: approaching hall intersections slowly, yielding early, and signaling intent. The system's success was judged less by speed and more by the absence of complaints and interventions—a reminder that in human-centered spaces, social compatibility is an operational metric.

▼ The Road Ahead: From Point Solutions to Platforms

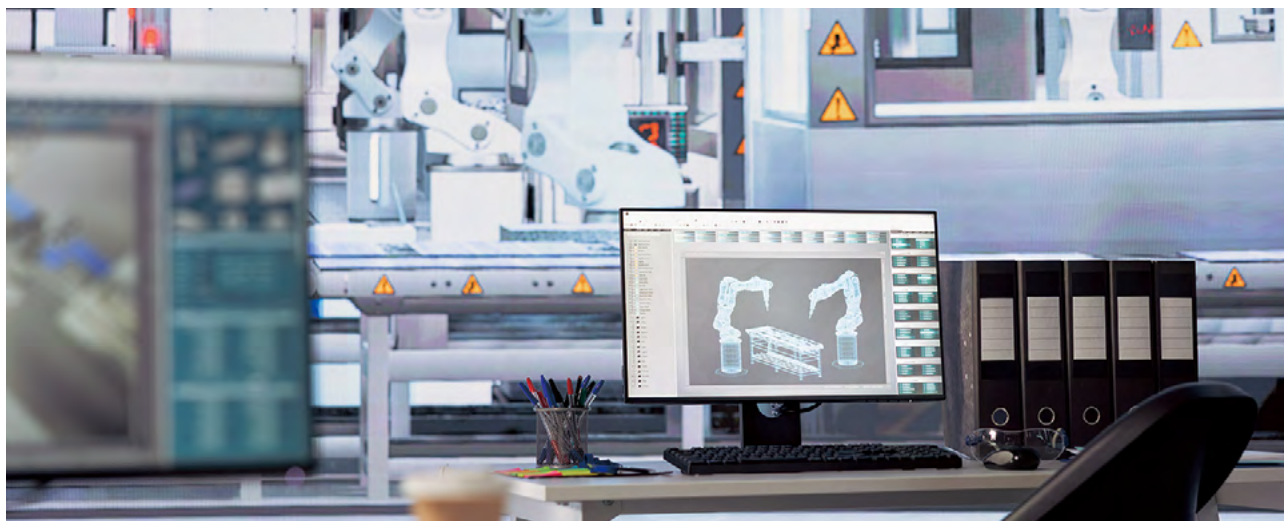
The industry's trajectory is clear. Early gains came from point solutions that excelled in narrow tasks. The next gains will come from platforms that make reliable behavior repeatable across tasks and sites. This doesn't mean monolithic stacks; it means modular systems with well-defined contracts, time-aware interfaces, and the ability to host evolving models without destabilizing the whole.

Several developments will accelerate the shift: more efficient multimodal models that natively integrate visual, geometric, and temporal cues; better developer tooling for time-synchronized pipelines; standardized safety envelopes; and simulation-to-real workflows that focus on timing fidelity and policy robustness.

▼ What This Means for Decision Makers

As these mature, the barrier to entry drops—not because the problem is easier, but because the scaffolding is stronger.

Industrial leaders face a deceptively simple choice. They can chase the newest model claims and hope for a step change, or



they can invest in system-level capabilities that make today's intelligence behave reliably under tomorrow's conditions. The first path is exciting but brittle. The second is quieter but compoundingly valuable.

A useful framing question: If the environment gets messier—more SKUs, new layouts, different lighting, shared spaces—will my system's behavior remain predictable? If the answer depends too heavily on perfect connectivity, a single sensor, or a black-box promise, you may be scaling fragility rather than resilience.

As these systems scale, the challenge becomes less about isolated model performance and more about coordinated system behavior. Platforms that can integrate sensing, compute, and control within real-time constraints will define what is deployable—and what remains a demonstration.

▼ The Bottom Line

The market is no longer asking what AI

could do. It's asking whether AI systems can be trusted to do the right thing, at the right time, in the real world. That reframes embodied intelligence from a collection of clever models into an engineering discipline: spatial perception for geometric truth, multi-sensor fusion for reliability, scene reasoning for context, and edge AI for deterministic action.

In the end, intelligence in the physical world isn't measured by predictions on a static dataset. It's measured by behavior—consistent, legible, and safe behavior that earns the trust of operators and the confidence of managers to deploy at scale. The organizations that win the next decade of industrial automation won't necessarily be the ones with the flashiest demonstrations. They'll be the ones whose machines simply do the right thing, again and again, when it matters most.

The views expressed are based on industry observations and do not constitute specific deployment guidance.

EMK
ELECTRONICS MANUFACTURING KOREA

NEPCON
MICROELECTRONICS KOREA

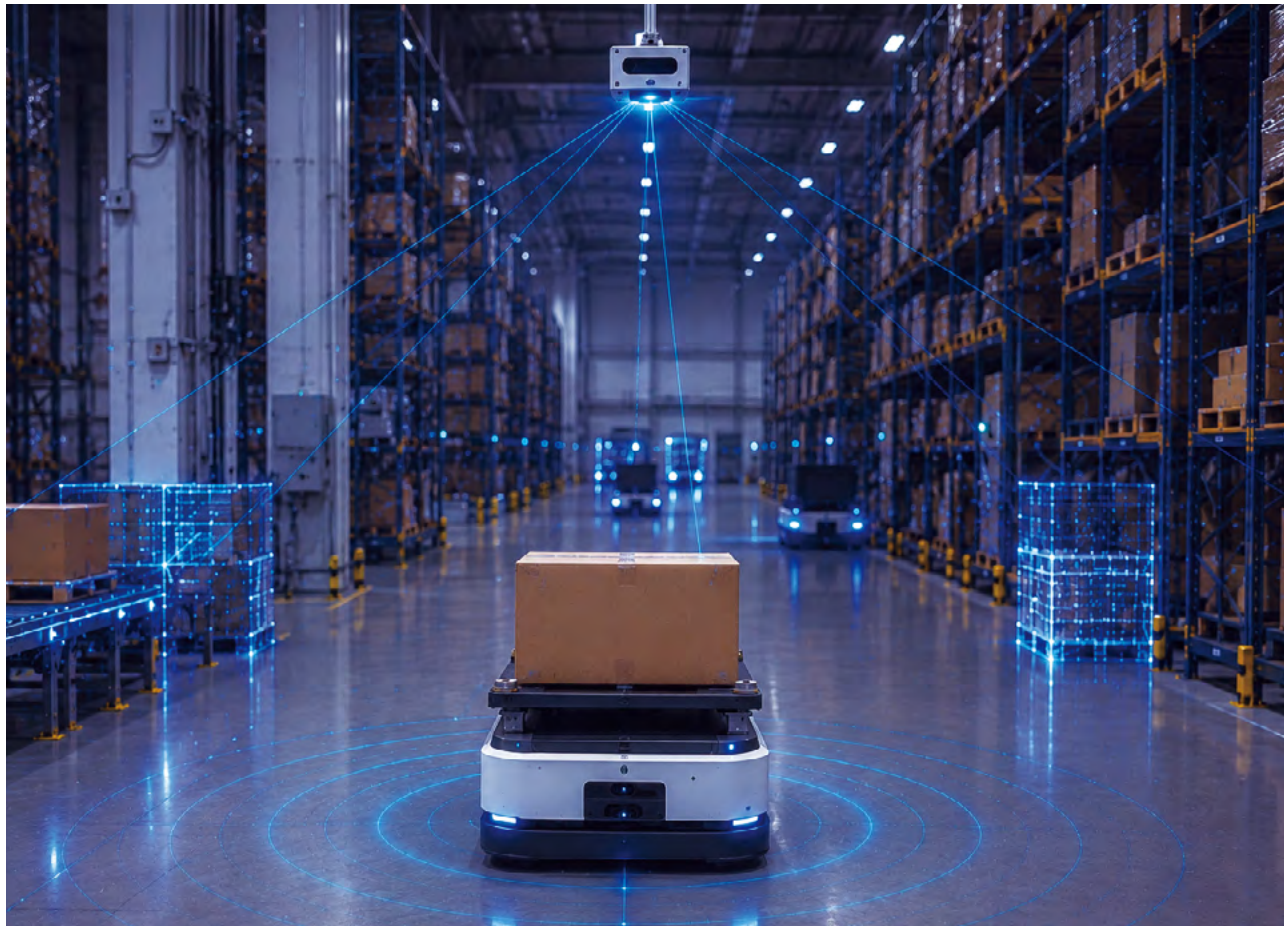
-  SMT/PCB & NEPCON KOREA
-  Semiconductor Packaging Technology
-  Electronic Components/Materials
-  Testing/Inspection/Measurement Technology
-  Smart Manufacturing Technology
-  Robot Technology
-  Green Factory Technology



**AUTOMOTIVE
WORLD**  KOREA

-  Automotive Electronics Technology
-  Autonomous Driving Technology
-  EV, HEV & FCV Technology
-  Automotive Software
-  MaaS Solution

2027. 4. 21(Wed) - 23(Fri), coex



從邊界偵測 到空間智慧： LiDAR 與 3D 視覺 如何驅動具身智慧 的現實落地

文 | 台灣西克股份有限公司
陳映羽行銷經理

具身智慧 (Embodied AI) 已成為 2026 年全球自動化產業轉型的戰略分水嶺。智慧體的行動上限，完全受限於感知層的數據保真度、數據通訊的透明度以及產業合規性的深度。本文深度探討 SICK 如何透過 LiDAR 與 3D 視覺技術，結合 IO-Link 智慧通訊標準、SICK AppSpace 開發平台、以及 SICK 數位解決方案 (Digital Solutions)，解決從虛擬模擬到現實環境 (Sim-to-Real) 的技術斷層。透過對台灣半導體及精密製造產業的深度解構，本文將論證：精準感知、數據透明化與國際安全標準 (SEMI S2/S17) 的整合，即是驅動具身智慧從理論走入工業實境的能力本質。

▼ 具身智慧——自動化產業的範式轉移與物理挑戰

在 2026 年，工業自動化已正式超越了單純的「預設程序執行」，邁向「情境感知與自主決策」的新紀元。具身智慧的核心，在於智慧體 (Intelligent Agent) 必須具備物理實體，並在非結構化的動態環境中執行精準任務。

台灣製造業的轉型陣痛與契機

台灣製造業正面臨全球供應鏈重組、淨零轉型與勞動力缺口的「三難困境」。產線的大量客製化 (Mass Customization) 與無人化需求，要求機器人必須具備「類人」的感知能力。然而，台灣工廠現場存在著複雜的光影變化、高頻震動、懸浮粉塵以及高動態的物流動線，這對 AI 演算法而言是極大的生存挑戰。

第一性原理：感知品質決定智慧上限

從第一性原理 (First Principles Thinking) 出發：感知層的數據品質 (Data Quality)，決定了智慧體與物理世界交互的保真度。SICK 認為，具身智慧落地的關鍵，在於如何將混亂的物理訊號轉化為精確的數位邏輯。若沒有高品質、高可靠性的物理數據輸入，AI 的輸出僅是「模擬的幻覺」。

▼ LiDAR 技術：建構機器人的空間世界觀與抗噪物理邏輯

LiDAR (光學雷達) 是具身智慧實現自主移動 (Navigation) 與環境映射 (Mapping) 的

基石。在緊湊且變動迅速的工廠環境中，光學數據的穩定性是前提。

Time-of-Flight (ToF) 的本質與 HDDM+ 技術

LiDAR 透過測量雷射脈衝往返時間來計算距離。然而，環境中的強烈焊弧光、高頻閃爍光源或懸浮粉塵常導致測距失效。SICK 專利的 HDDM+ (High Definition Distance Measurement) 技術，其核心在於「統計學上的多次回波分析」。感測器在極短時間內發射數千個脈衝，並對接收到的回波進行機率分佈計算。這使感測器能分辨出哪些是「真實物體」，哪些是「粉塵或霧氣」，確保 AI 接收到的點雲 (Point Cloud) 數據是經過精確分析的真實座標。

從平面到多線掃描：實現機器人對空間環境的理解

傳統 2D LiDAR 僅能偵測單一水平面。SICK 的多線式 LiDAR (如 multiScan 系列) 則提供了寬廣的縱向視場角 (FoV)，為 AI 建立了可靠的世界觀：

- 工作空間判斷：在三維立體空間中的地板、斜坡與階梯等，這對於 AMR 除了在基本障礙物的處理外，在跨越廠際坡道或不平整路面時，都是必須克服的難題。透過 SICK 的多線式 3D-LiDAR 協助，AMR 得以在複雜工作環境下持續保持正常運作。
- 懸空物體偵測：在工廠環境或倉儲環境中，3D LiDAR 確保了機器人能偵測到位於水平面以上的貨架挑出物或懸掛設備，實現立體空間防護。

▼ 3D 視覺與深度成像：從「看見」到「細部理解」

如果 LiDAR 是機器人的遠程雷達，那麼 3D 視覺相機就是其執行精細動作（如抓取、組裝）的近身感知神經。

3D 技術路徑的戰略取舍

SICK 針對具身智慧的不同應用場景，提供兩大主流視覺路徑：

- **3D ToF 相機（如 Visionary-T 系列）**：採用快照式成像。其低延遲 (Low Latency) 特性，讓 AMR 在高速行駛中仍能保持對環境的即時理解。
- **主動式立體視覺（Active Stereo，如 Visionary-S 系列）**：針對高精度需求的零件辨識，能在挑戰性表面（如金屬反光或深色表面）上構建深度解析度達亞毫米級的 3D 模型。

數據品質對 AI 推理的決定性影響

「垃圾進，垃圾出 (Garbage In, Garbage Out)」是 AI 訓練的鐵律。SICK 在感測器端即進行數據預處理，包含邊緣增強、噪訊抑制與空洞填補，提升 AI 對物體姿態判斷的精準度，這對於需要毫米級精度的機器手臂操作而言，是成功落地的核心。

▼ 工業應用的即時定位系統 (RTL)

場內的資產位置資訊是常見的管理痛點，如何讓使用者連續並即時掌握車輛、工件、工

具及物料的所處位置與運動情況，是 SICK 在未來工廠的重點任務。透過明確識別並定位資產，縮短搜尋時間，減少損失與混淆的情況。例如透過在物料移動時自動進行預約，實現流程的自動化與優化。

SICK 的 Coriva System 是一個基於超寬帶技術、適合工業應用的即時定位系統 (RTLS)。它可即時確定車輛、工件、物料等資產的準確位置。採集到的位置資料可用於資產的連續追蹤與追溯，從而能夠連續監控貨物移動與材料處理流程。

此系統包括被定位的可移動的超寬帶標籤 (CorivaTag)，以及固定安裝在定位區域內的基礎設施 (CorivaSat)。軟體 (CorivaEngine) 則計算可移動裝置所處的位置。採集到的位置資料可經由標準化介面傳遞至 omlox Hub。Coriva System 獲得 omlox 認證，從而為此全球首個針對工業定位系統的開放式標準提供支援。



▼ IO-Link：具身智慧的神經末梢與數據透明化路徑

在具身智慧的架構中，IO-Link 不僅是通訊介面，它是感測器數據從「數位訊號」升級為「智慧資訊」的關鍵通道。

從「訊號」到「參數」的進化

透過 SICK 的 IO-Link 智慧感測器，AI 演算法可以讀取更深層的元數據：

- 受光強度百分比 (Remission)：用於預判鏡頭是否髒污或環境光度變化。
- 內部溫度與運作時數：提供設備即時運作狀況的資訊，實現真正的「預測性維護」。

遠端配置與高彈性產線

IO-Link 支援自動化參數分配。當生產品項改變時，系統可以透過軟體指令直接更改感測器的偵測門檻值，無須人工調整，這為具身智慧提供了「軟體定義硬體」的靈活性。

全方位安全——現在與未來

IO-Link Safety 通訊介面能夠為自動化機器設備的 IO-Link 擴充功能安全元件。此項技術面向未來，不受製造商限制，並且具有開放性：安全與非安全資料共同傳輸並用於機器控制。

RFID 安全開關 safeIDS 在生產流程中提供了高度靈活，效能等級高達 e。搭配 IO-Link Safety Master 及安全控制器一道，safeIDS 能夠安全辨識物體與位置。此安全開

關能夠非常方便地安裝並投入運作。憑藉 IO-Link Safety 通訊介面，除了獲得可靠的識別資料，還將獲得連續的診斷資料。因此，在快速切換流程的同時，還能自動重新啟動機器。例如，這將確保機器人應用實現靈活生產，乃至單次批量。

▼ 高端產業合規性：半導體 SEMI S2/S17 的跨界賦能

在具身智慧進入半導體製造端時，各項安全指標必須符合 SEMI S2（環境、健康與安全準則）與 SEMI S17（無人搬運車安全準則）。在半導體產業，產能是與時間的賽跑。一旦因安全事故停機，損失往往以百萬美元計。安全，是半導體競賽中的策略性投資。

SEMI S2：具身智慧的環境健康與安全底線

SEMI S2 是半導體設備的最基本「門檻」，涵蓋了電氣安全、機械危害與化學防護。當具身智慧進入半導體製造場域，依賴安全光達 (Safety LiDAR) 的資料進行導航和人員安全防護，因此在雷射等級及故障安全 (Fail-Safe) 上的要求不能妥協。再者，為擴增具人員防護範圍，可採用效能等級為 PL c、且獲得安全認證的 3D 視覺光飛行時間量測攝影機 safeVisionary2 進行安全的三維環境檢知，幫助使用者提高應用的安全性與效率。安全光柵也是工廠生產現場常見的人員安全設備，deTec4 安全光柵的 DCM4 物件圖樣辨識 (Object pattern recognition) 可在無須額外訊號的情況下，實現人員與物料的區分。

安全光柵以水平防護區域方式安裝，用於偵測通過防護區域的物件。在物件經由進入區 (Entry area) 進入防護區域，並由離開區 (Exit area) 離開防護區域。進入區與離開區皆位於安全光柵的邊緣位置，其中物件是否被判定為有效物件，取決於軟體 (Safety Designer) 中的設定組態，透過軟體設定，可以使得機器人與人在現場工作協作順暢。在合適的應用中，物件圖樣辨識可作為屏蔽功能 (Muting) 的替代方案。然而，使用物件圖樣辨識前，必須依據實際應用情境進行審慎的風險分析。此功能僅應在可明確證明其能提升系統可靠性，進而提升系統安全性的情況下使用。另外，具身智慧應具備實體急停鈕讓使用者可在緊急情況進行緊急停止 (E-Stop)，進而確保現場人員安全。

SEMI S17：無人搬運系統的安全演算法基石

在未來具身智慧普及前，半導體廠內亦對日益盛行的 AMR 與 AGV，SEMI S17 對於無人搬運系統的安全功能、感測範圍與負載穩定性提出了明確規範。

- 避障邏輯的合規化：SICK 的 LiDAR 解決方案能與 AI 導航完美契合，根據 S17 要求的減速與停止曲線動態調整掃描區域。這意味著具身智慧在執行路徑規劃時，其底層約束不僅是「不碰撞」，而是符合「SEMI 標準的安全行為模型」。
- 潔淨室環境的感知韌性：在高度精密且光潔度極高的半導體環境中，傳統感測器常因地面反射產生虛假訊號。SICK 透過符合 S17 規範的高動態範圍感測技術，確保機

器人在高光滑平面上依然能維持絕對定位精度。

▼數位解決方案 (Digital Solutions)：數位孿生的深度進化

數位化已不再只是未來的概念，而是當今企業的核心競爭力。SICK 的數位解決方案可讓數位孿生從「靜態鏡像」提升至「動態決策引擎」。

從感測器到決策 (From Sensor to Decision)

數位孿生的真實價值在於優化整個價值鏈。SICK 協助讓使用者數據透明化，讓複雜的產線過程可視化。

- 數據回饋：數位孿生不僅呈現幾何形狀，還整合了感測器的即時狀態數據。這讓開發者能在數位環境中模擬各種生產情境，衍生出對規劃、控制與優化的價值洞察。
- 具身智慧可靠性：透過全端數位化路徑，企業能獲得更高的設備可用性 (Plant Availability) 與製程可靠性，確保具身智慧在實際部署前已完成數百萬次的「決策壓力測試」。

網路安全與數據主權 (Cybersecurity)

在具身智慧與雲端平台對接的過程中，數據安全是不可逾越的底線。SICK 數位解決方案強調網路安全架構，確保感測器數據在傳輸至數位孿生系統時，具備嚴密的加密與身分認證機制，守護台灣高科技產業的智慧財產。

▼虛擬調試 (Virtual Commissioning)：解決 Sim-to-Real 的最後一哩路

高保真感測器模型 (High-Fidelity Models)

SICK 為旗下的 LiDAR 與 3D 相機建立了精準的數位模型，包含了符合 SEMI 標準的物理噪訊參數。這讓 AI 在虛擬訓練階段，就學會了如何處理「半導體等級」的精細數據。

縮短轉化週期與降低成本

虛擬調試能預先排除「高光滑平面定位失效」等極端案例，減少現場試機成本。對於追求快速量產的台灣半導體與電子零組件廠商而言，這是確保專案如期上線的關鍵。

▼台灣產業應用實務：解決方案之本質解構

半導體產業：SEMI 規範下的具身實踐

在台灣半導體廠生產環境，從前段、先進封裝到封裝測試場域，具身智慧機器人必須

在極窄巷道運送 FOUP。SICK 結合微型感測器與符合 SEMI S2/S17 的安全控制邏輯，將「安全感測」與「精準檢測」合而為一。

▼SICK 的使命——為智慧工廠賦予感知靈魂

具身智慧的發展，不僅是演算法與運算力的進步，更是一場關於對物理世界理解深度與數據轉化能力的競爭。**SICK 的使命始終如一：我們不只是感測器的製造者，更是智慧工廠感知靈魂的賦能者。**

透過 LiDAR 和 3D 視覺的宏觀感知、IO-Link 的智慧連結與數位解決方案的深度整合，我們正在為機器人構建一套足以支撐 AI 靈魂的物理與數位架構。SICK 將持續致力於提供最精準的物理真實數據，確保每一道發射出去並帶著真相回傳的雷射脈衝，都能成為驅動台灣製造業走向更安全、更透明、更具競爭力的關鍵動能。



從演算法到行動力：人形機器人 如何落實具身人工智慧的最後一哩

為什麼人形機器人最關鍵的不是 AI，
而是讓 AI 在真實世界裡活下來？



文 | 圖策科技股份有限公司
陳懋國

過去兩年，生成式 AI 的進步讓全世界重新認識人工智慧。大型語言模型可以撰寫程式、分析文件、展現接近人類的推理能力。於是很多人相信，當 AI 足夠聰明，人形機器人自然就會出現。但我在人形機器人小腦——也就是運動控制與全身協調——的開發現場待得越久，越確定一件事：

會思考，跟會行動，從來不是同一件事。

大型語言模型可以告訴你怎麼拿起桌上的杯子，但它不知道地板有多滑，不知道哪一顆關節正在過熱，不知道重心已經偏離支撐面，更不知道跌倒時該怎麼保護自己。這也是為什麼，具身人工智慧 (Embodied AI) 真正困難的地方，從來不是智慧，而是行動。過去的 AI 主要活在數位世界裡，未來的 AI，必須走進物理世界。而人形機器人，正是這場轉變最重要、也最艱難的載體。

本文想從四個層面，談談這條「最後一哩」究竟長什麼樣子：AI、機構、控制如何被迫成為一體；AI 的價值如何從「判斷」躍遷到「行動」；為什麼人形是整合難度的頂點；以及這條路最終會走向哪些產業場景。

▼一、人形機器人的主角，從來不是馬達

剛開始投入這個領域時，我跟大多數機械背景的工程師一樣，第一個關心的是硬體。關節需要多大的扭矩？減速比要多少？馬達功率夠不夠？散熱能不能撐住？

這些問題當然重要——沒有足夠的力量，機器人連站都站不起來。但越深入，越發現一件違反直覺的事：即使裝上全世界最好的馬達，也不一定做得出最好的機器人。因為真正困難的，不是讓某一顆關節動起來，而是讓全身協同動起來。想想人類走路，看似只是腿在動，實際上是全身的即時協調：腳掌感受地面反作用力，小腿與大腿調整角度，骨盆改變姿態，手臂自然擺動維持平衡，眼睛持續觀察前方，前庭系統監控姿態——整個過程在毫秒等級內完成。人形機器人也是如此。真正的瓶頸從來不是單一關節的峰值力矩，而是全身控制 (Whole-Body Control, WBC) 的協調能力。

*Walking is not a motor problem.
It is a system problem.*

這也是為什麼，這個產業正在從單純追求「大扭矩」，轉向追求「高頻寬控制、高反應速度、全身協調」。

這條協調鏈背後，其實是三個相互拉扯的工程目標：

- **輕量化**：自重每增加一分，步態能耗比就惡化一分，每個關節的力矩需求也跟著倍增，形成惡性循環。
- **高剛性**：機體一旦受力形變，控制器賴以估算的剛體動力學模型就會失準——機器人試圖把連接器插進 0.5mm 公差的孔位時，這個形變足以讓整個動作失敗。
- **高功率密度**：關節模組整合力矩馬達、減速機、力矩感測器與編碼器，其功率密度與後驅動性 (backdrivability)，直接決定機器人撞到人時，關節是被輕易推開，還是剛性對抗。

而串連這三者的，是控制系統——AI 與機構之間的神經網路。任務層的 AI 用相對悠閒的速度規劃「要做什麼」，運動層的 WBC 以每秒數百次的頻率決定「全身怎麼動」，驅動層的伺服迴路再以每秒上千次的頻率，把指令變成真正的電流與力矩。這三層只要有一層時序沒對齊，輕則動作顫抖，重則直接跌倒。所以「AI+ 機構 + 控制」從來不是三個獨立的模組相加，而是一條容不下任何一環掉鏈子的協同鎖鏈。

▼二、從「會判斷」到「會行動」：AI 與控制之間的鴻溝

這幾年最熱門的技術之一，是 Vision-Language-Action (VLA) 模型。許多人把它當成機器人的「大腦」——透過攝影機理解環境，透過語言理解任務，再產生行動策略。例

如：「請把桌上的水瓶拿給我。」VLA 可以理解哪個是水瓶、水瓶在哪、該怎麼規劃拿取的順序。但問題是：VLA 決定要拿水瓶之後，誰真正把這件事做完？

這正是許多討論忽略的地方。一個可用的人形機器人系統，大致要走過幾個層級：VLA 決定要做什麼；動作策略 (learned policy) 決定怎麼做——伸手、彎腰、跨步；全身控制 (WBC) 決定每一顆關節如何協同；驅動器與致動器最後把指令變成真實世界裡的扭矩。

不同架構在這幾層的邊界未必清楚一致——有些 VLA 已經嘗試端到端直接輸出底層動作，省略中間的策略層——但概念上，這四個層級大致對應了「決定」與「執行」之間必須跨越的距離。這就像人類自己。大腦決定要拿杯子，但真正讓手伸出去的，是神經系統、肌肉系統、骨骼系統的共同合作。

目前產業對「大腦」的討論遠多於「身體」。但實際上，多數機器人的失敗案例，都發生在身體那一端——不是不知道要做什麼，而是做不到。

傳統 AI 的挑戰是理解世界。具身 AI 的挑戰是改變世界。

感知—行動落差：辨識容易，操作難

AI 辨識物件的準確率早已超越人類；同

一套系統試圖伸手抓取那個物件，卻往往漏洞百出。辨識是單向的：世界輸入資訊，系統輸出標籤。操作是雙向的：系統輸出力量，世界回饋阻力、形變、滑動。

接觸力學、摩擦係數的不確定性、物件形變的非線性——這些回饋閉環裡的物理複雜性，是純感知系統完全不需要面對的。

Sim-to-Real：真正的戰場

為了壓低訓練成本，這個領域大量依賴 MuJoCo、Isaac Sim、Gazebo 這類物理引擎。

在真實世界裡，機器人摔一次可能損失數萬甚至數十萬元；在模擬世界裡，機器人可以摔一百萬次而不用付出任何代價。

但模擬世界終究不是真實世界。模擬世界裡的摩擦係數是已知常數，真實世界隨濕度、磨損持續變化。模擬世界裡的關節沒有齒隙、沒有溫度漂移；真實的諧波減速機在高扭矩下會有可觀的剛性損失。

這就是 Sim-to-Real Gap——目前整個產業最大的瓶頸之一。域隨機化（在訓練時刻意擾動摩擦力、質量分佈等參數，逼策略學會穩健而非死記）、系統辨識（用真實硬體量測誤差回頭校正模擬模型）、以及「模擬預訓練＋真實資料微調」的混合策略，是目前業界對抗這道落差的主要手段。但這些手段本身都不是一次性的——真實資料的蒐集

速度、實驗迭代的周期，才是決定誰能真正縮小落差的關鍵變數。

未來的競爭，不一定是誰的模型最大，而是誰能最快跑完 Sim-to-Real 的迭代循環。

因為真正有價值的，不是模擬世界裡的成功，而是真實世界裡的成功。

▼三、真正限制人形機器人的，可能不是 AI

一個常被問到的問題是：為什麼一定要做人形？

倉儲機器人可以是輪式的，手術機器人可以是固定臂式的，焊接機器人可以是六軸工業臂。選擇人形，意味著主動承擔比上述所

有形態都更高的機械與控制複雜性。理由是相容性。樓梯、走廊、椅子、門把、工具——人類文明幾千年來，都是圍繞著兩條腿、兩條手臂、大約 1.7 公尺高的身體在設計。

一台會走路的人形機器人，理論上不需要改造任何既有環境，就能執行過去只有人能做的事。這種「零改造部署」，對企業用戶有很大的吸引力。

但雙足行走天生是一個不穩定的動態系統——人類能夠輕鬆走路，是因為小腦與脊髓經過數百萬年演化調校。而機器人卻要在有限的計算資源與機械精度下，即時複製這套機制。這也是為什麼，本田 ASIMO 的靜態行走，走到 Boston Dynamics Atlas、Unitree H1 的動態奔跑，花了超過三十年。



零力矩點 (ZMP) 方法確保腳掌接觸面合力矩為零，換取靜態穩定；模型預測控制 (MPC) 允許機器人短暫失去靜態穩定來換取速度與效率；強化學習則讓機器人在大量地形模擬中，學到傳統控制器難以手寫的應對行為。如果雙足行走是「下半身的挑戰」，靈巧操作就是同樣難解、甚至更難解的「上半身挑戰」。

人類的手有 27 個自由度，配備超過一萬個機械感受器。目前量產機型的手指自由度大多只有 6 到 12 個，觸覺感測的解析度也遠不足以支撐精密操作。這就是為什麼機器人搬箱子、按按鈕、拿瓶罐都還行，但插連接器、剝線、縫紉，可靠性仍遠低於人類。

真正卡住產業的，往往是物理極限

如果你去看現在主要的人形機器人公司——Tesla、Figure AI、Agility Robotics、Unitree——會發現一件有趣的事：它們面對的問題其實高度相似。不是模型不夠聰明，而是關節壽命有限、散熱困難、控制延遲、系統可靠性不足。

很多人以為未來的競爭是 AI 模型的競爭，但越看這個產業的實際工程現場，越懷疑這個假設。現況更像是：大家都有足夠聰明的大腦，但還沒有足夠成熟的身體。

■ AI 再聰明，也無法違反熱力學定律。

關節溫度一旦超過限制，系統就必須降載——這不是演算法可以談判的事。

人類能連續工作 8 小時以上，目前多數人形機器人的有效工作時間，仍普遍落在數小時量級，雖然部分廠商已宣稱朝更長續航邁進，但距離真正的全日可靠運作，還有一段工程上要扎實補完的路。

這也是為什麼，人形機器人的硬體成本與可靠性，正在跟演算法同等重要的位置上被重新評估——低壓伺服生態系的成熟（Kollmorgen、maxon、Inovance 等廠商的低壓力矩馬達搭配諧波或行星減速機）、EtherCAT 等即時匯流排的普及，正在把多關節同步控制，從高端機器人的特權變成中端系統的標準配備，把原型機動輒數百萬美元的成本，逐步壓向十萬美元，甚至更低的量產目標。

▼四、從工廠走向產業：具身智慧真正落地的戰場

具身 AI 的工程瓶頸越清楚，越能看出它落地的順序——不是哪裡最有願景，而是哪裡的环境最寬容。

製造業：最近的一哩

環境可控、任務重複、已有大量人工流程可供觀察學習——這讓製造業成為人形機器人最接近商業化的場景。



Tesla 的 Optimus 把自家工廠當成最大的測試場，用真實任務的累積迭代推動能力演進。

這個切入點通常不是直接取代固定工位的工業機器臂——那裡固定臂仍有明顯優勢——而是補上「搬運與物流的最後一哩」：在產線之間移動零件、處理入庫出庫、進行質量檢測與分揀，這正是輪式 AMR 難以完全覆蓋的灰色地帶。

物流倉儲：結構化環境的最佳練兵場

Amazon 與 Agility Robotics 的合作，是這個場景的標誌性案例。Digit 在倉庫裡執行拖盤搬運任務，證明了雙足機器人能在半結構化環境中完成重複性物流工作。現階段

它還比不上人工作業的靈活性，但它展示的路徑——從高重複性的單一任務起步，逐步擴展能力邊界——已被視為一條可行的產業化模式。

醫療與長照：高社會價值，也最嚴苛

台灣、日本、南韓、歐洲這些高齡化地區，正面臨長照人力嚴重短缺的結構性問題。人形機器人若能在這個場景發揮作用，社會價值會遠超商業價值。但醫療長照場景對可靠性的要求最嚴苛——機器人必須面對認知功能受損的長者而不造成任何身體傷害，必須在雜亂、昏暗、狹窄的居家環境裡穩定運行。這些要求遠超過目前的技術邊界，估計需要十年以上的演進才能可靠部署。

更現實的起步點，是醫院後勤：藥品與餐食配送、病房消毒清潔、醫療廢棄物搬運——環境相對可控，靈巧操作需求也相對較低。

危險作業：機器去人不該去的地方

核電廠維護、深海高空作業、災難搜救、有毒化學品處理——這些場景對人類風險極高，又超出固定自動化設備的能力範圍。福島事故後，日本研究機構大幅加速遠端遙控人形機器人的研發，試圖讓機器人代替人類進入高輻射區域。DARPA 機器人挑戰賽則在更早的階段，集中展示了人形機器人在模擬災難環境中執行複合任務的可能性與當時的侷限。



家庭服務：最遠，但最常被想起的願景

家庭環境的非結構化程度，是所有場景裡最高的——每個家的格局不同，孩子和寵物的行為不可預測，任務種類遠超任何訓練集能涵蓋的範圍。要等到大型多模態模型的泛化能力顯著提升、硬體成本壓到消費者能接受的範圍，這個願景才會真正落地。Stanford 的 Mobile ALOHA 平台，已經用低成本雙臂遙控機器人結合模仿學習，展示了部分家庭任務的可行性，為這條最長的路，找到了第一個立足點。

台灣的位置在哪裡？

這個問題我被問過很多次：台灣會不會錯過人形機器人這波浪潮？

我的看法剛好相反。

台灣不會是擁有最大基礎模型 (Foundation Model) 的地方，但台灣同時具備精密機械、馬達技術、電力電子、PCB、感測器、半導體與高密度供應鏈——而人形機器人本質上正是一個高度跨領域整合的產品。如果未來這個產業的分工，會像電動車產業一樣展開——美國主導 AI 與軟體平台，中國主導大規模製造與供應鏈——那麼台灣最有機會卡位的位置，是系統整合與關鍵零組件。

台灣真正的優勢不是成本，是高速協同能力。



從設計、打樣、測試到量產，台灣供應鏈能在極短時間內完成跨領域合作，而這正是人形機器人最需要的能力——因為它不是單一技術的突破，而是整個系統的協同。

▼ 結語：讓 AI 在真實世界中活下來

過去兩年，整個產業都在討論 AI 是否足夠聰明。

但在人形機器人的世界裡，真正的問題已經換了一個。不再只是讓 AI 看懂世界，而是讓 AI 能夠在真實世界裡工作——能在工廠裡穩定運轉 8 小時，能跌倒後自己站起來，能在不同環境中持續完成任務，能承受數萬次

重複動作而不失效。到那個時候，我們討論的就不再只是人工智慧，而是真正的具身智慧。

從某種程度來說，具身人工智慧的最後一哩，不是演算法，是工程；不是模型，是系統；不是讓 AI 更聰明，而是讓 AI 在真實世界中活下來。

這條路，比打造一個更大的模型困難得多。但它也更接近人類科技發展的下一個重要里程碑。當 AI 開始擁有身體，人類將第一次看到智慧真正走出螢幕，進入物理世界。而人形機器人，或許正是這場變革的起點。



達明機器人展示人形機器人與 AI 協作手臂協同作業，應用於伺服器組裝流程，展現 Physical AI 在高價值製造場域的落地能力。

人形機器人的感知與環境理解：走向真實世界的 Physical AI

文 | 達明機器人股份有限公司
王若喬

▼導言：具身人工智慧的典範轉移與工業落地挑戰

隨著生成式人工智慧與大語言模型在數位領域取得突破性進展，自動化產業正迎來一場深遠的典範轉移——「Embodied AI（具身人工智慧，亦稱 Physical AI）」已成為下一代智慧製造的核心動能。具身人工智慧的核心科學命題，在於如何讓數位算力跨越虛擬邊界，轉化為實體物理世界中的精準行動。

在製造業與高階自動化現場，這項技術的落地面臨著巨大挑戰。傳統的工業機器人高

度依賴結構化環境與預先編寫的固定軌跡，面對高度客製化、非結構化且動態變化的現代產線，傳統方案往往面臨部署週期長、客製化成本高昂的瓶頸。如何建立端到端的開發流程，打通「資料採集、大模型訓練、邊緣端推論、實體致動」的完整鏈條，是當前產學研各界共同關注的焦點。

台灣作為全球 AI 硬體供應鏈的樞紐，具備深厚的運算硬體優勢。要將此數位算力落地為工廠產線的實體生產力，必須構建跨平台的智慧賦能架構。本文將探討如何透過整合多模態感知、虛實整合技術與新型態的「雙 AI 引擎戰略」，架構出同時適用於協作機器人 (Cobot) 與人形機器人 (Humanoid) 的統一智能框架，藉此降低製造業導入高階自動化的總擁有成本。

▼一、多模態感知架構與深度學習整合：構建高品質工業數據基石

具身人工智慧要在充滿不確定性的工業現場做出正確決策，首要任務是建立高精度的多模態感知架構，並解決高品質訓練數據稀缺的痛點。

專家經驗數位化：高精度多模態數據採集

在傳統的機器人教學中，操作人員需透過教導盒逐步拉動或點選座標，這對於需要高度靈巧度的工業任務顯得捉襟見肘。

當前的技術實踐轉向利用人類專家示範來採集多模態數據。透過虛擬實境 (VR) 裝置與專屬的穿戴式動作捕捉衣，結合高保真遠端操作 (Teleoperation) 技術（如 NVIDIA Isaac Teleop）與即時動作重定向演算法，系統能夠在人類操作的同時，同步控制虛擬環境中的數位孿生體與現實中的實體機器人。這種感知採集模式能將人類在複雜、非結構化環境中的細緻動作與操作經驗精準數位化，為後續的深度學習模型提供核心的多模態示範數據，相較於傳統方式，大幅提升了機器人學習高靈巧度工業任務的效率。

世界模型與 VLA 多模態模型的深度整合

單靠人類有限的示範數據，尚不足以讓機器人應對千變萬化的現實場景。因此，現代具身 AI 架構引入了「世界模型 (World Models)」與「VLA (Vision-Language-Action) 模型」的深度融合：

- **數據擴充與泛化 (Generalization)**：透過開放式世界模型（如 NVIDIA Cosmos 3），系統能基於少量的現實採集樣本，進行高擬真的現實世界資料生成與物理模擬。這不僅解決了邊緣個案數據不足的問題，更大幅提升了模型的泛化能力。
- **視、言、動一體化推理**：開放式推理 VLA 模型（如 NVIDIA Isaac GR00T 1.7）將視覺語意、自然語言指令與機器人致動器控制壓縮至單一神經網路中。在這種架構下，機器人具備進階的視覺感知、語言理解與動作推理能力，不再只是執行固定指令，

而能理解人類意圖、判讀環境並進行任務層級的決策。

▼二、即時動作感知與互動判斷策略：邊緣推論與感知融合的挑戰

當多模態大模型訓練完成後，如何將其部署至現場端的機器人本體，並在毫秒級的延遲限制下做出即時互動判斷，是具身 AI 走向實用化的核心硬體與演算法挑戰。

影像邊緣推論與高階算力支撐

VLA 多模態大模型通常包含龐大的參數，這對邊緣端的算力帶來了極端的挑戰。在技術架構上，必須整合專為 Physical AI 打造的基礎架構，以高性能加速運算硬體為核心，方能在不顯著犧牲精準度的前提下，確保大模型在實體機器人系統中執行時，具備足夠的即時動作感知與低延遲推論能力。

感知融合 (Sensor Fusion) 與動態安全機制

工業環境充滿干擾，單一的視覺感測器極易因遮擋、光影變化而失效。因此，具身 AI 的動作驅動高度依賴感知融合技術：

- **多路感測資訊串聯**：系統需透過高效率的平台將視覺感測器、深度感測元件、手眼相機以及致動元件與 AI 功能進行時間與空間的高效串聯。
- **即時避障與互動策略**：透過軟硬體的高度整合，機器人能同時消化多路感測資訊，在動態且非結構化的生產環境中持續評估周遭狀態，即時修正致動器的輸出，實現靈巧避障與安全的人機協同互動。

▼三、感知資訊在行為規劃中的關鍵角色：從軌跡導向到任務層級決策

傳統的工業自動化行為規劃是「軌跡導向」的，機器人僅執行硬編碼的空間幾何路

徑。具身人工智慧的本質突破，在於將感知資訊深度整合進決策模組，賦予機器人「情境認知」能力，進而走向「任務導向」的自主決策。

情境認知如何重塑行為選擇

當多模態 VLA 模型賦予機器人環境語意理解能力後，行為規劃模組便具備了彈性拆解任務的能力，感知資訊不再只是修正路徑的參數，而是行為決策的觸發條件：

- **非結構化環境的自主調適**：在面對動態無序、物件位置偏移或夾取失敗等突發情境時，傳統機器人會直接報警停機。而具身 AI 系統則能透過持續的環境感知反饋，理解人類意圖、判讀環境。
- **自主修正與任務拆解**：決策模組會自主將大任務即時重構，進行任務層級的決策。這種基於情境認知的動態行為規劃，讓機

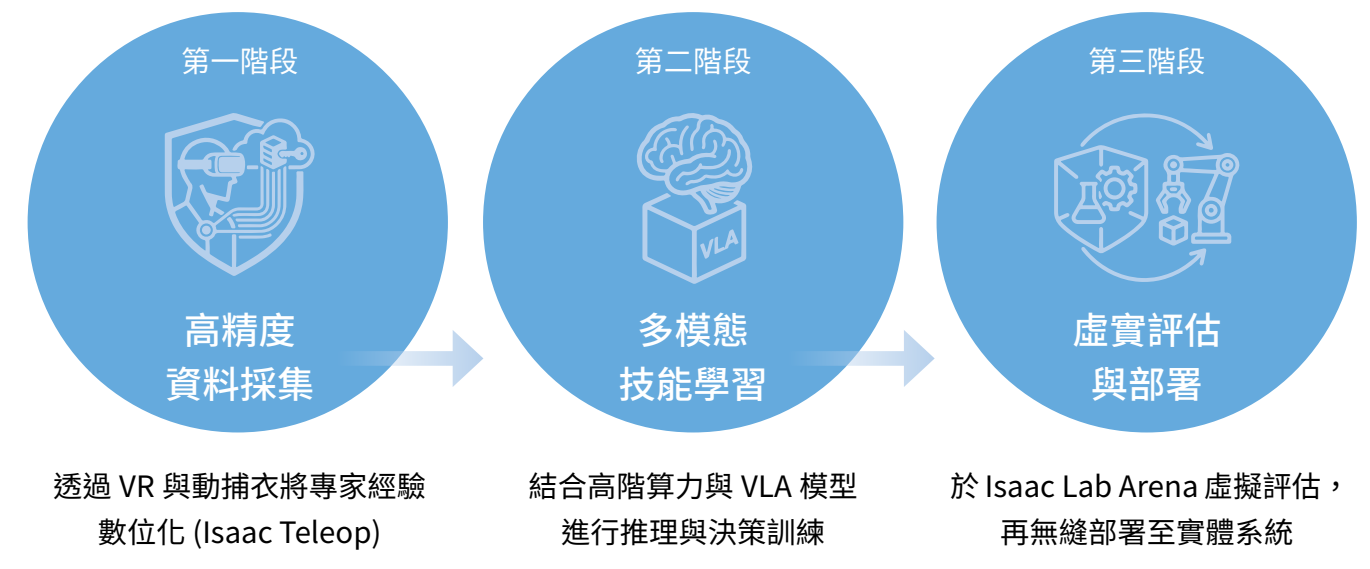
器人不再受限於固定指令，大幅提升了自動化系統在面對高客製化產線時的韌性與自適應力。

▼四、實務應用案例分享：高價值工業場景與技術鏈條實踐

為驗證上述「多模態感知、邊緣推論、感知融合與行為規劃」架構的可行性，達明機器人正積極導入虛實整合與雙引擎部署策略，並在高價值製造場景中取得突破性成效。

虛實整合：虛擬評估與實機部署流程

為了將實體工廠的測試與出錯成本降至最低，具身 AI 的技能訓練導入了端到端、三階段的虛實彌合架構：



在模型投入實際產線前，訓練完成的模型會先於虛擬仿真環境（如 NVIDIA Isaac Lab Arena）中進行高強度的虛擬評估與物理碰撞測試。確認虛擬表現達標後，再無縫部署至實體機器人系統中，有效縮短了建置週期並縮短數位開發與現實世界之間的差距。

雙引擎戰略應用：AI 伺服器製造產線之動態無序抓取

在半導體封裝、高階電子組裝與智慧物流等高價值產業中，物件種類繁多且組裝精度要求極高，自動化系統必須滿足超高精準度、即時適應力與操作可靠性的嚴格要求。

在實際的工業應用案例中，具身智慧系統展現了高度的泛化價值。其核心價值在於「跨平台的智慧賦能」與「AI 雙引擎戰略」：

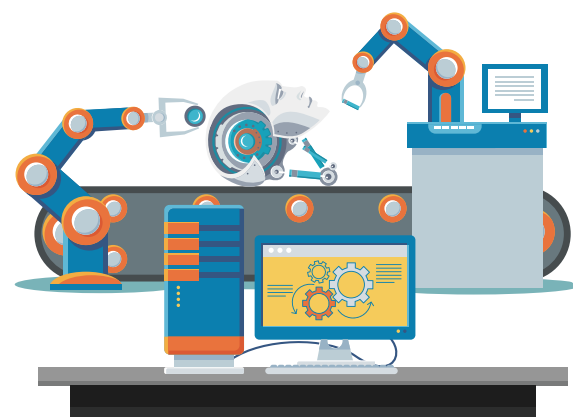
- **跨平台的智慧中樞**：此架構不單是為人型機器人（如 TM Xplore I）量身打造，更可作為共享的 AI 開發框架。企業能將相同的 AI 視覺與 VLA 多模態模型快速導入既有的 AI Cobot（協作機器人）產線，或部署至未來的人型機器人應用，極大化研發投資報酬率。
- **實體產線的技術革命**：在實務展示的「AI 伺服器製造流程」中，面對動態且非結構化的生產環境，具備具身智慧的實體機器人系統超越了傳統的純物料搬運。它能透過即時的感知融合與動作推理，在產線中執行複雜的電子組裝與動態無序抓取。這項實踐證明了，Physical AI 開發架構能完

美融入既有產線，有效解決高價值產業對柔性製造與動態適應力的嚴苛要求。

▼五、結論：構建可規模化的 Physical AI 價值生態系

具身人工智慧 (Embodied AI) 的崛起，正加速推動全球工業自動化邁向全面自主化的新階段。從多模態感知的整合、邊緣端高階算力的推論優化，到基於情境認知的行為規劃，這項技術的核心價值在於串聯從資料採集、算力支撐到終端部署的完整鏈條。

未來的發展趨勢將不再侷限於單一機器人形態的突破，而是建構一個可規模化、能創造價值的 Physical AI 生態系。透過將驚人的數位算力轉化為實體產線的真實生產力與獲利能力，不僅降低了企業導入 AI 機器人的技術門檻，更縮短了從數位孿生開發到真實生產部署的距離。透過全球硬體供應鏈、高階加速算力平台與機器人軟硬體系統的深化合作，具身智慧的端到端開發套件將正式成為推動全球高階自動化落地的重要轉折點。



智動化技術 人才媒合活動

因應國際趨勢及產業競爭力需求，企業紛紛投入智慧製造，朝向數位化、智慧化轉型而「人才」便是產業升級的關鍵要素。為招募更多菁英投入智動化產業，將於2026年3月至8月辦理**人才媒合活動**。

本活動共邀請上銀科技、大銀微系統、復盛應用科技、新呈工業、鴻準精密，多家智慧製造領域的優質企業，提供超過250個職缺，**優渥薪資最高達10萬/月**。

相關職缺及活動已公告於TAIROA官網，專屬網頁請掃右方QRcode了解詳情。

主辦單位

TAIROA
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

贊助企業

HIWIN
上銀科技

大銀微系統

HIWIN MIKROSYSTEM

復盛應用科技

FUSHENG PRECISION

HIWIN
上銀科技

上銀科技

~歡迎加入我們的陣容-讓應用/實體AI真正落地的場域~
上銀科技為傳動控制與系統科技世界領導品牌，專注於高速、高精密、環保節能特性之關鍵零組件的研發與製造，是企業實踐智慧工廠的最佳夥伴。產品系列包括：滾珠螺桿、線性滑軌、特殊軸承、諧波減速機、Torque Motor迴轉工作台、工業機器人、晶圓機器人及醫療機器人。
上銀科技擁有多個海外據點，如：德國、美國、義大利、日本、瑞士、捷克、法國、新加坡、韓國、中國蘇州、保加利亞等，提供世界級的舞台。

您可至上銀科技線上履歷頁面投遞履歷
或自備履歷投遞至 recruiting@hiwin.tw

大銀微系統
HIWIN MIKROSYSTEM

大銀微系統為傳動控制與系統科技之機電整合者，是全球少數能同時提供線性馬達、力矩馬達及奈米級定位平台等解決方案之廠家。技術水平與德、日、美等先進國家並駕齊驅，客戶群涵蓋半導體、面板、工具機、自動化及醫療等產業，銷售實績遍佈全球。
大銀微系統擁有豐富的全球整合資源、多元的訓練管道，歡迎各領域人才加入大銀行列，提升您的職涯高度、定義您的新未來！

您可至大銀微系統之「104人力銀行」
或線上履歷頁面投遞履歷

活動窗口

04-2358-1866 #51 凌小姐 / joy@tairoa.org
台灣機器人與智慧自動化展(TAIROS)
2025智動化產業技術人才媒合活動



生成式 AI 語音操作 Robot 於 TMTS 展示。

以工業機器人 開放式平台加速 Physical AI 之實現

▼概要

AI 的進化速度已超乎任何常理與規則，正在影響你我的生活。但假如我們把場景放到工廠的生產線，大多 AI 技術仍未達實用階段或落實於設備上。這是因為所謂的 AI，即人工智慧，未擁有物理上的實體，如果是協助回答問題、生成圖片或影片、製作簡報等，可以簡單透過 PC 或手機來輸出結果。而 PC 或手機並非工廠生產線的輸出主體，如何讓 AI 技術實現，不但對製造業是一個課題，對設備商更是一個挑戰。

文 | 台灣發那科股份有限公司 ROBOT 營業部

讓我們把焦點從泛用 AI 技術轉向 Physical AI。所謂的 Physical AI（實體 AI），就是指具有物理定律的知識、具備感知能力，在實體世界能與環境互動的 AI 系統，將 AI 從虛擬世界的「生成內容」轉向實體世界的「行動」，很可能是解決目前勞動力不足問題的關鍵技術。

做為工業機器人的全球領導廠商，FANUC 在 2025 年 12 月 iREX（東京國際機器人展）發表了與 NVIDIA 的技術合作，展示 FANUC 工業機器人的開放式平台，來加速 Physical AI 的實現。2026 年 3 月更於 TMTS（台灣國際工具機展）亮相，在台灣的製造業引起不少關注。接下來的 TAIROS 台灣機器人與智慧自動化展／台北國際自動化工業大展會展出什麼內容，且讓我們拭目以待。

具體來說，FANUC 的開放式平台 (Open Platform) 以 3 個主軸來提供：

- 對應 ROS2
- 可於 Robot 控制器中直接執行 Python
- 0.001 秒超高速外部輸入指令的 Stream Motion 功能

此技術與人類的模式非常相似，即所謂的「感覺・思考・行動」。由感測器來感知環境變化，接著以 AI 思考（分析、判斷決策），最後用工業機器人來進行物理的／實體的行動。

▼為什麼是工業機器人

Physical AI 的應用場景，目前常見的有工業機器人、自主移動機器人 (AMR)／無人自走車 (AGV)、無人機等。其中最廣泛被應用於各種製程、擁有不同大小尺寸／作業範圍／負重能力、既有技術穩定、相對成本合理的，就是工業機器人了。加上工業機器人已經與機器視覺、力覺感測器等 sensor 有結合並落實應用的實例，是實現 Physical AI 的最佳選擇。

近年標榜安全、介面友善、學習門檻低的協作機器人，由於能與人類在共同空間中協同作業，在彈性製造、智慧生產的場景更常被採用。因此接下來將有許多實現 Physical AI 的場景，會使用到工業機器人、協作機器人等已廣為採用的「機械手臂」。

在提供實際事例之前，讓我們先進一步說明開放式平台的 3 個主軸。

ROS2

ROS2 (Robot Operating System 2) 是由 Open Robotics 所開發的開源機器人軟體框架，簡單地說，軟體開發人員可以透過 ROS2 來控制工業機器人、AMR/AGV、無人機等，不再需要另外熟練各品牌獨自的程式語言。

FANUC 以往給人「架構較為封閉」的誤解，這次透過 ROS2 的對應，應能完全消除

此疑慮。FANUC 已經於 GitHub 上公布官方的 ROS2 driver，並開放原始碼，任何人都可以使用。GitHub 是一個基於 Git 的雲端程式碼託管平台與開源社群，開發者可在 GitHub 上共享程式碼，為世界上最大的代碼託管網站。使用者可以透過網際網路，在 GitHub 下載 FANUC 的 ros2_control driver。FANUC 的專頁上也提供技術問答的官方支援，除了提問，亦可參考過去相關問答，同時得到版次更新、相關技術內容等重要資訊。

換言之，任何使用者都可以在 PC 上開發 AI 軟體，或使用開放原始碼的 AI 軟體，任意替換組合，藉由 ROS2 來驅動 FANUC Robot。這樣 AI 的開發者就有廣闊的實體機種能選用，包含選擇像 CRX 一樣的協作機器人、或最大高達 2300kg 搬運能力的多種機械手臂。目前在 GitHub 上已公開 ros2_control driver 有支援的實體 Robot 控制器版本、Robot 機種等，並隨時更新中。



Python

Python 是一種廣泛使用的高階、直譯式、通用型程式語言，廣泛地在開發 AI 時被使用。FANUC Robot 的新控制器 R-50iA 能「不透過 PC」，直接執行 Python 程式。專用的 Python 函式庫 (Python library) 可以取得 Robot 的 I/O 或數值暫存器 (如 R[] 等) 的資訊，或直接下動作命令給 Robot。

因此 AI 開發者可以直接用 Python 撰寫相關程式，寫入 R-50iA 控制器後直接執行。不一定要學習 FANUC Robot 的程式語法，用 Python 也可以控制工業機器人。（* 目前僅支援 Python 原生函式庫）

Stream Motion

當我們從 3D 視覺感測器等偵測到真實世界的位置資訊，傳送到 Robot 控制器所耗費的時間，哪怕只有 0.5 秒，都屬於延遲，使瞬息萬變的資訊無法達到「即時性」，對 Physical AI 形成使用上的瓶頸。

為解決這個問題，FANUC 提供「超高速傳送位置資訊指令」的 Stream Motion 功能，能將 PC 傳送給 Robot 的動作指令，以業界最高標準的 0.001 秒來執行。如此，例如軌跡生成軟體所生成的動作軌跡，就能達到即時的 Robot 控制，在感測器偵測到環境改變時，瞬間傳送資訊，達成高度 Physical AI。也許有點不好理解，等一下我們會以實際的

事例進行說明。

我們將以 4 個活用事例，來簡單瞭解 FANUC 的開放式平台，如何加速 Physical AI 的實現。這 4 個事例也是 2025 年 12 月的 iREX（東京國際機器人展）的公開展示內容，FANUC 的 YouTube 頻道上可以看到的影片。

事例 1

◆生成式 AI 語音操作 Robot



以往我們要讓工業機器人執行動作時，必須撰寫程式，雖然不難，但需經過適當的學習與實作才能完成，光是一個簡單取放動作，也有可能要耗費數個小時撰寫。協作機器人的出現，讓初學者的學習門檻更為降低，除了手拉教導的直覺操作，圖形化的程式介面也提升了撰寫程式的效率。但，有沒有可能更簡單？

從這個事例我們看到，出一張嘴就可以寫好程式讓 Robot 動起來。如照片中的配置，桌面上有紅、藍、黃 3 個骰子，以及標註數字 1～6 的 6 個區域。我們只要對著麥克風用自然語言說：「把紅色骰子拿起來骰，骰到什麼數字，就把黃色骰子放到那個數字區域。」協作機器人 CRX 就會理解你的意思，自行撰寫 Python 程式並立即執行，完成動作。

這個系統以 AI 語音轉文字功能先將你說的話轉成文字，以生成式 AI 來理解（當然，用 NVIDIA 的算力），並自動生成相對應的

Python 程式，然後傳送到 R-50iA 控制器執行，一邊用安裝在手上的視覺感測器偵測環境，一邊執行動作命令。

因為是 AI，不論中文、英文、日文，都可以理解。不需要特定句型，用自然的方式說出來就好。透過軟體甚至能將收到的韓文、法文、泰文自動翻譯成能處理的語言，再生成 Python 程式。

例如以下幾個命令都是可以順利執行的。

「讓 3 個骰子的點數都呈現 4。」

「把黃色骰子拿起來骰，直到出現 6 為止。」

「將藍色骰子與紅色骰子互換。」

「將所有骰子堆疊在區域 6。」

「翻轉紅色骰子，使骰子的點數總和變成 9。」

甚至，「把 3 個骰子疊成金字塔。」

我們在 2026 年 3 月 TMTS（台灣國際工具機展）展出時，遇到很有趣的來賓說出我們沒有想過的命令。

「依照紅、黃、藍的順序排列，讓點數呈現等差數列。」CRX 也正確執行了。

從這個事例我們可以知道，利用 AI 的技術，即使面對複雜的命令，機械手臂也可以臨機應變，不再需要事先考慮各種可能性，編寫複雜架構的程式。

事例 2

◆不會撞到人 AI Robot

我們都知道，當人類與機械手臂在共同空間需要一起作業時，必須使用安全的協作機器人 (Cobot 或 Collaborative Robot)，這樣萬一兩者產生碰撞，協作機器人會在安全的力量偵測下自動停止，避免人類被撞傷。

不過這是一種被動機制，只能保證撞到会停，也不會造成難以復原的嚴重傷害，但不能保證不會痛，也無法保證一定不會撞到。如果需要做到更主動式的防護，則需要使用其他感測器，偵測並預測即將發生碰撞之前，讓機器人停止、甚至改變路徑退避。

在這個事例我們使用了市售的 ZED 3D 視覺感測器，來偵測空間中的人類動作。其 AI 軟體可以對照人體模型，讓協作機器人知道人的位置，進而變更原定路徑，主動退避以免與



人類碰撞。若偵測到人已離開碰撞區域，則協作機器人可以回到原本的動作路徑上。

跟現存具備「接觸停止」功能的協作機器人相比，除了從被動變成主動防護之外，因為機器人動作沒有停止，代表原本的任務不會中斷，仍可被執行。另外，隨著人在空間中進行各種動作，協作機器人可以即時應變，更靈活地修正動作路徑。利用 NVIDIA 的高速運算能力，AI 可以有效地即時偵測，並透過 ROS2 控制 Robot 改變動作。

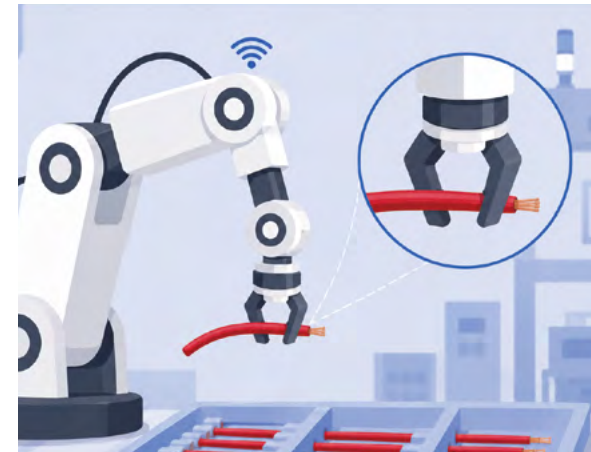
不過這個事例並非完美沒有缺點，若人類包含肢體的動作進入感測器的視野死角，就無法被偵測出來，甚至出現判斷的錯誤，還是有可能產生碰撞。（當然，此時 CRX 的接觸停止功能就接替提供防護了。）

事例 3

◆雙手的柔軟配線

長期以來機器人自動化的瓶頸，往往出現在一些柔軟物體的應用，其中線纜 (cable) 的各種製程就是非常具有代表性的領域。柔軟的線材位置不固定、形狀不固定，因此程式無法用固定位置來教導，視覺系統也無法補正。

另外，線材夾持的力量不能太大、也不能太小。力量太大有可能把線夾變形，甚至把裡面的芯線夾斷，力量太小有可能會產生夾持位置產生不穩定的滑動，使後續動作無法按照預定計畫進行。



在這個事例，FANUC 使用 2 支協作機器人來取代人類的雙手，搭配 FingerVision 的觸覺感測器夾爪，讓線材夾持力量搭配雙手動作調整，穩定夾住線材的固定位置不產生滑動。因此即使「適當繃緊線材」這樣的困難動作都能達成，進而完成複雜的配線工作。觸覺感測器夾爪使用了 AI 技術，讓這個系統可以像人類一樣有「手感」，雙手協調並輕輕捏著線，繞過各個原桿，最後固定在夾頭上。

事例 4

◆跟隨移動中的零件鎖上螺絲

鎖螺絲是一個常見的機械手臂自動化應用，技術相當成熟，通常對靜止的零件鎖螺絲不會有什麼問題。（因為位置誤差、或螺絲起子下壓力量不足或過大，也可能造成失敗，建議尋求有經驗的專業廠商協助。）不過如果被鎖螺絲的目標零件，是擺放在移動中的輸送帶上（俗稱流水線），就不是那麼容易了。

這個事例中，Inbolt 的 3D 感測器與電動

螺絲起子套件，可經由實體 AI 軟體，即時偵測目標零件的位置變化，調整機器人的動作。

為了提高「即時性」，3D 感測器除了需要以 AI 高速即時偵測零件位置，也需要立刻調整協作機器人的動作。這時候僅需 0.001 秒的 Stream Motion 功能，就能派上用場了。我們可以看到在輸送帶上移動的零件，也能正確地一邊移動，一邊以設定好的扭力被正確地鎖上螺絲。即使故意把零件以任意角度轉來轉去，電動螺絲起子也跟立即跟隨，並鎖上螺絲。



▼展開 AI 應用的各種可能性

從以上的 4 個事例，我們看到在過去難以達成的、更聰明的機器人自動化，可以藉由 AI 的力量來完成。我們相信有更多已經開發完成的 AI 技術，可以應用在類似的製造現場。因此不能被既有的框架綁住，各個領域的廠商都可以將開發的 AI 功能應用於機械手臂，讓機械手臂做為 AI 的實體。



雖然事例中都是使用 CRX 協作機器人，但 AI 的開放式平台與各種功能並不限於協作機器人。一般黃色的工業機器人，也具備相同的功能，可以做為 AI 的執行硬體。而工業機器人有更多樣化的機種，從小到大，擴大了更多可能性。我們希望藉由這些應用拋磚引玉，激發出更多想法。例如 AI 軟體的開發商，或許可以考慮加上機械手臂來執行各種 AI 功能，也許更接近人類、更聰明的機械手臂，可以完成像人類一樣的細膩動作。

▼ 結語

FANUC 的開放式平台，目的並不是當成商品來銷售，而是對市場與使用者傳達

一個想法。任何機械手臂的使用者，都可以利用開源軟體，或自行開發，加上 FANUC Robot，建構各式各樣的實體 AI 系統。而這些架構充滿接近無限的可能性，能將現有的各種 AI 資源進行最大化的利用，我們相信，Physical AI 會提供自動化更先進的技術，進而解決各種難題。

最後我們想邀請您，跟我們一起採取行動，將想法化為實際，以 FANUC 機械手臂來執行你的智慧。

M.AX the Future with AI Robotics

ROBOT WORLD 2026

R O B O T W O R L D

2026. 11. 4.(星期三) ~ 2026. 11. 7.(星期六), Hall 3~5, KINTEX





Physical AI 與數位孿生 加速智慧零售 虛實整合升級

當生成式 AI 邁入成熟階段，產業焦點也開始轉向更具挑戰性的 Physical AI（物理 AI）——也就是讓 AI 真正走進實體場域，與人類協作、完成各項複雜任務。在此趨勢下，具備移動與操作能力的 Mobile Manipulator Robot（MMR，移動式協作機器人）正逐漸成為產業自動化的關鍵型態，使機器人不再僅限於固定工位，而能在動態環境中執行抓取、搬運與服務等複合任務。

面對此一轉變，研華攜手僑捷科技與 NVIDIA 生態系夥伴，共同推動 NVIDIA Omniverse™ 機器人應用落地，透過軟硬整合與場域模擬技術，加速智慧化轉型。

在零售場域，這意味著 AI 不僅要理解環境，還需能在多變的實體空間中執行任務，如補貨、理貨與商品管理。這類應用正是 MMR 技術的典型場景——機器人需要一邊在店內移動，一邊完成精細的抓取與放置動作，對感知、導航與機械操作能力皆提出高度要求。針對這一挑戰，僑捷科技客戶有利康智慧零售服務機器人展現了 Physical AI 在實務應用中的可能性，透過 NVIDIA Omniverse™ 軟體模擬真實零售場景，讓機器人得以在其中進行訓練，再回到實體門市執行補貨與理貨等工作，不僅能回應零售業長期面臨的缺工壓力，更揭示 AI 正從「理解世界」走向「參與世界」的產業新階段。

文 | 研華股份有限公司
簡安琪 / Product Marketing

▼從戰情室儀表板到 Physical AI：數位孿生的價值轉折

「數位孿生技術是實踐物理 AI 的關鍵，但這個概念其實已經提出很多年了。」有利康總經理鄧子平指出，早期的數位孿生應用以戰情室儀表板為主，僅方便管理者即時掌握設備或場域狀態，並未真正參與任務執行，其價值僅停留在可視化層次。

真正的價值轉折，發生在 AI 與物理模擬能力逐步成熟之後，尤其 NVIDIA Omniverse™ 平台推出後，讓數位孿生應用得以從 Real to Simulation 走向 Simulation to Real——機器人可以先在虛擬世界中進行大量模擬訓練，學習如何執行任務及應對各種狀況，再將訓練成果部署至真實場域，一改過去只能依賴工程師撰寫規則與手動調校的開發模式。這對於 MMR 這類需要同時處理移動與操作任務的複合型機器人而言尤為關鍵，因為其行為不僅涉及機械手臂的運動學，也包含路徑規劃與環境互動等多重變數，若缺乏高擬真的虛擬環境，將難以在實際場域中穩定運作。

鄧子平認為，傳統 rule-based 的做法不僅成本高、開發周期長且不易擴充，使機器人只能處理相對單純的任務；而 NVIDIA Omniverse™ 所建構的虛實整合環境，則讓機器人得以在此反覆訓練、提高執行任務的能力，才能承擔具高度不確定性與複雜度的工作，為工業與零售等場域的自動化開啟全新的發展可能。

▼為何零售業是 Physical AI 的最佳試煉場？

以零售業自動化為例，缺工是近年零售業面臨的最大壓力之一，尤其在部分地區或部分營業時段，如：夜班，即便業者提高薪資，也難以補足人力，自動化成為克服缺工挑戰的最優解。然而，現今的零售自動化多集中在前端，透過顧客自助結帳的方式，降低交易流程中的人力需求，至於補貨、理貨、過期品下架等後端作業，仍高度仰賴人工執行，而有利康所開發的智慧零售服務機器人，正是針對此一痛點而生。

鄧子平表示，零售門市本身就是一個高度多樣且充滿變動性的環境，店內商品不僅數量龐大，尺寸、材質與包裝型態各異，且經常隨促銷與季節更迭而調整。若以傳統 rule-based 方式訓練機器人拿取與放置商品，工程師勢必得為每一類商品建立對應的規則與動作邏輯，不僅開發周期冗長、成本高，也難以兼顧精準與未來擴充性。為此，有利康選擇 NVIDIA Omniverse™ 作為主要開發平台。NVIDIA Omniverse™ 以 USD(Universal Scene Description) 為基礎，能建構高度貼近真實世界的虛擬環境，讓機器人在其中進行數萬或數億次的取放與定位訓練。此外，平台亦可設定更完整且細緻的物理參數，包括尺寸、重量、表面摩擦力與材質特性等，即便面對洋芋片、麵包等使用柔性材質包裝的商品，NVIDIA Omniverse™ 仍能精準模擬其物理特性，使機器人得以在虛擬環境中反覆優化抓取策略，確保進入真

實場域後，仍能維持穩定且可靠的操作表現。對於 MMR 而言，這樣的模擬不僅涵蓋單次抓取動作，還包括移動過程中的姿態變化、貨架間距與抓取角度等多重因素，使整體訓練更貼近真實營運情境。

▼從軟體模擬到硬體選型，確保機器人在真實世界的運作穩定性

然而，從虛擬場景走向真實門市，並非單純將模型下載至機器人即可完成。僑健科技 Innovation Team Leader 林榮輝指出，真正的挑戰在於如何縮短虛擬與實體之間的落差，讓訓練成果能夠穩定轉化為現場可執行的動作。首先，虛擬場景必須高度貼近真實環境，包括貨架高度、商品擺放密度、光源變化與動線規劃等細節，都會影響機器人的辨識與抓取判斷。若虛擬模型與實際場域存在偏差，即使 AI 訓練次數再多，也可能在現場出現誤判或操作失誤。因此，在導入過程中，團隊需不斷比對實際門市狀況，調整參數與場景設定，建立更精準的對應關係。



其次，團隊亦需進行大量環境測試，並與門市人員密切溝通，盤點真實營運中可能出現的各種情境，例如：動線臨時被其他物品遮擋、商品擺放位置改變等，並在虛擬場景中進行模擬測試，瞭解機器人的反應與決策邏輯是否恰當，以確保其在實際運作時仍能維持正常運作。除了場景建構與環境測試之外，硬體同樣是影響機器人穩定運作的關鍵因素。零售場域講求營運不中斷，一旦系統頻繁停機或需要人工介入排除異常，不僅影響效率，也會削弱導入自動化的價值。因此，在設計整體解決方案時，必須同步考量硬體的運算效能與長時間運作穩定性，並為後續規模化部署預作準備。

▼研華以完整產品線與穩定性，打造 Physical AI 的關鍵運算基礎

研華作為 NVIDIA Elite Partner 認證夥伴，在 GPU 伺服器與邊緣運算領域擁有完整產品線與整合經驗，為有利康後續專案提供穩定的運算基礎。

舉例來說，研華的塔式 GPU 伺服器 SKY-602E3 具備彈性擴充與高效能運算能力，且體積相當輕巧，適合部署在零售門市等中小型場域；而最新推出的 NVIDIA MGX 架構 GPU 伺服器 SKY-622G4，可搭載 NVIDIA RTX PRO™ 6000 Max-Q Blackwell 高階顯示卡，支援各類 AI 與高效能運算需求，同時亦適用於基於 NVIDIA Omniverse™ 的 Physical AI 模擬應用。林榮輝坦言，在過去專案中，

打造 Physical AI 的關鍵運算基礎

塔式輕巧型 GPU 伺服器

SKY-602E3 + NVIDIA® RTX PRO™
4000 SFF Blackwell

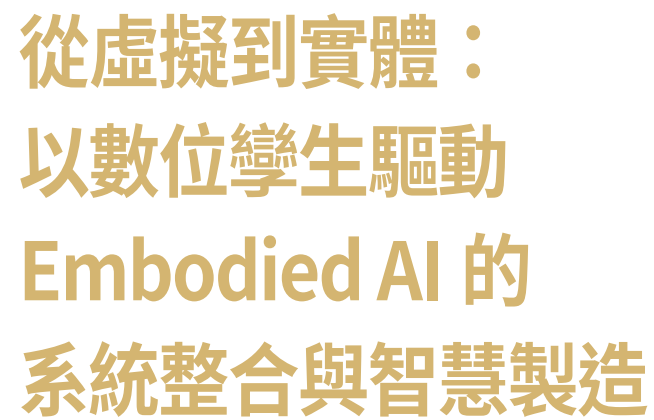
MGX 架構 GPU 伺服器

SKY-622G4 + NVIDIA RTX PRO™
6000 Max-Q Blackwell

僑健曾經採用不同品牌的硬體設備，卻屢屢遇到系統不穩定或突然停機的情況，導致客戶第一時間質疑軟體系統的穩定性，團隊必須投入大量時間排查問題來源。

這樣的經驗讓僑健在後續規劃專案時，更加重視硬體品牌的穩定度與技術支援能力，也因此與研華展開長期且緊密的技術合作。以本次智慧零售服務機器人應用為例，僑健已著手評估導入研華 GPU 伺服器的可行性，並進行實際測試。對此，鄧子平亦認為，選擇具工規設計與完整技術支援體系的硬體品牌，有助於降低整合風險與後續維運成本。因此，在未來新專案中，研華將成為優先納入評估的硬體合作夥伴，為智慧機器人應用建立更標準化、可複製的運算基礎。

展望未來，有利康將持續精進智慧零售服務機器人的能力，並逐步拓展至更多具高度人力需求的場域，如手搖飲門市、清潔作業與長照機構等。研華也將深化與僑健及有利康的合作，提供可以長時間穩定運行的硬體與技術支援，加速 Physical AI 在各類場域的實際落地，為自動化應用開啟更具韌性與效率的未來。



當這種在「真空環境」下長大的 AI 進入實體工廠，災難便隨之而來：移動速度過快導致慣性甩動、抓取力道不足造成工件滑落、或是因為無法預測材料的應力形變而損壞精密零件。這就是學界所說的「模擬到現實的鴻溝 (Sim-to-Real Gap)」。

要跨越這條鴻溝，機器人需要的不僅是 3D 圖像，而是一個具備物理真實性的科學環境。

「虛擬雙生體驗」(Virtual Twin Experience)：科學驅動的訓練場

您有沒有想過為什麼 Embodied AI 機器人也需要「虛擬世界」？移動載體的虛擬訓練場？為什麼這些機器狗、無人車、無人機，在正式上崗前，都必須先關在「數位孿生 (Digital Twin)」的虛擬世界裡瘋狂特訓？為什麼不能直接在馬路上練？



圖片來源／達梭系統

核心原因其實很務實：成本、風險、效率，以及學習品質都是一個可快速建構、可持續驗證的「虛擬訓練場」所考量的範圍。而過往的「數位孿生」來做移動載體模擬真正的三大原因：

(1) 如何突破物理時空的限制（快、多、廣）

在真實的世界裡，一輛無人車收集真實世界的路況資料與模擬，一天只能跑 24 小時，而且需要工程人員陪伴與監督。而要達到可以拿來做 AI 訓練與模擬需要數萬到百萬

小時的模擬學習，在現實上的學習成本是非常高的。然而在數位孿生的架構下，搭配目前雲架構的虛擬環境，可以同時開啟 1,000 個數位孿生場景。這意味著機器人可以在 1 小時內累積現實中需要跑 1,000 小時才能獲得的「駕駛經驗」。這對需要大量數據的 AI 訓練（強化學習）是剛需也是運作成本上需要權衡的重點之一。

(2) 「特殊應變」的安全性

在有限的特定場景模擬，AI 能夠透過學

習來反映真實世界應用實踐，但是如果遇到尚未訓練過的特殊場景時，各家 AI 的應變能力將受到真實世界的挑戰。而這些極端案例如測試自動駕駛，我們無法真的叫一個小孩衝到車子前面、或者模擬來車擦撞等場景。但在數位孿生，你可以隨意設定「最倒楣的劇本」

（如：爆胎、黑夜大雨中的逆光、感測器突然故障）。機器人在虛擬世界撞毀一萬次也沒關係，它會從失敗中學會如何避免悲劇，而減少造成任何傷亡或財產損失。

在自動駕駛的開發過程中，最令人心驚膽顫的詞莫過於「碰撞」。為了確保自動駕駛車 (AV) 安全上路，傳統做法是把實體車送進實驗室，真槍實彈地往牆上撞。但問題來了：一輛搭載頂級感測器與 AI 大腦的原型車造價動輒數千萬，撞一次心痛一次，且現實中「碰撞」的組合有無數種——側撞、追撞、連環撞、甚至是撞到路燈後翻覆。我們不可能把所有可能都「撞」一遍。而這就是達梭系統仿真模擬大顯身手的時刻，過往在工業軟件模擬，針對汽車碰撞分析已經有非常成熟的模擬技術，大幅改善車輛的安全設計。這些碰撞分析可協助自動駕駛場景在碰撞前 0.1 秒做出損傷最小的「緊急避障動作」。這些都是在真實世界難以達到的模擬。

(3) 硬體未到，軟體先行（開發成本）

在傳統的工業開發流程中，「等待」是最昂貴的成本。想像一下，如果你要研發一台全新的人形機器人，流程通常是：設計圖紙、等待零件加工、組裝硬體，幾個月後，

軟體工程師才能把寫好的 AI 程式灌進去測試。這時，最崩潰的劇情往往發生了：AI 跑起來後發現，機器人的重心設計太高，導致它走兩步就摔倒。這意味著原本的硬體結構要砍掉重練，幾百萬的打樣費和數月的時間直接丟進水裡。這種「先硬後軟」的線性模式，已經跟不上 AI 時代的速度。唯有透過 MBSE (Model Based System Engineering) 系統工程，才能將需求轉向邏輯設計、功能規劃與詳細設計連接後才能達到軟體先行的目標。達梭系統所定義的「虛擬雙生體驗」，與市場上一般的數位孿生有著本質上的不同。我們強調的是「由科學驅動 (Science-based)」。這不是一張漂亮的圖片，而是一個由數學公式、物理定律與材料科學交織而成的虛擬宇宙。

• CATIA：定義精確的幾何與結構

在 3DEXPERIENCE 平台上，一切始於 CATIA。它不只定義了外型，更定義了產品的「數位定義 (Single Source of Truth)」。這包含零件的重心 (CG)、轉動慣量以及精確的運動學耦合。對於 Embodied AI 來說，這提供了最基礎的空間感與結構邏輯，讓 AI 知道機器手臂的每一個關節在物理極限內能如何運動。

• SIMULIA：注入物理常識的「神經元」

如果 CATIA 給了機器人骨架，那麼 SIMULIA 則賦予了它感知物理世界的能力。透過多物理量仿真 (Multiphysics Simulation)，我們可以在虛擬環境中模擬

應力分布、流體力學、電磁感應、甚至熱傳導。

舉例來說，當機器人進行高速焊接任務時，SIMULIA 能即時計算熱脹冷縮對精度的影響。當 AI 在這個環境中進行強化學習 (Reinforcement Learning) 時，它會「學習」到：在特定溫度下，我必須調整路徑補償，才能維持焊接品質。這種具備物理常識的訓練，讓 AI 的決策不再是盲目的機率計算，而是基於科學規律的判斷。而這些工業領域中的 V&V(Verification and Validation) 長期累積的 Knowhow, 都是工業 AI 所需學習的知識。

改善現實的試驗場：在虛擬中「跌倒」萬次，在現實中「穩健」行走

虛擬雙生不只是真實世界的複製品，它是改善現實世界的試驗場。對於 Embodied AI 而言，這個「試驗場」的價值在於失敗的成本。在實體工廠中，一次昂貴的碰撞可能導致整條生產線停工數天；但在 3DEXPERIENCE 的虛擬雙生中，AI 可以在數千台伺服器上同時進行異構環境下的訓練。它可以在虛擬世界中經歷一萬次碰撞、一萬次跌倒，並從中學習如何避障、如何維持平衡、如何優化路徑。

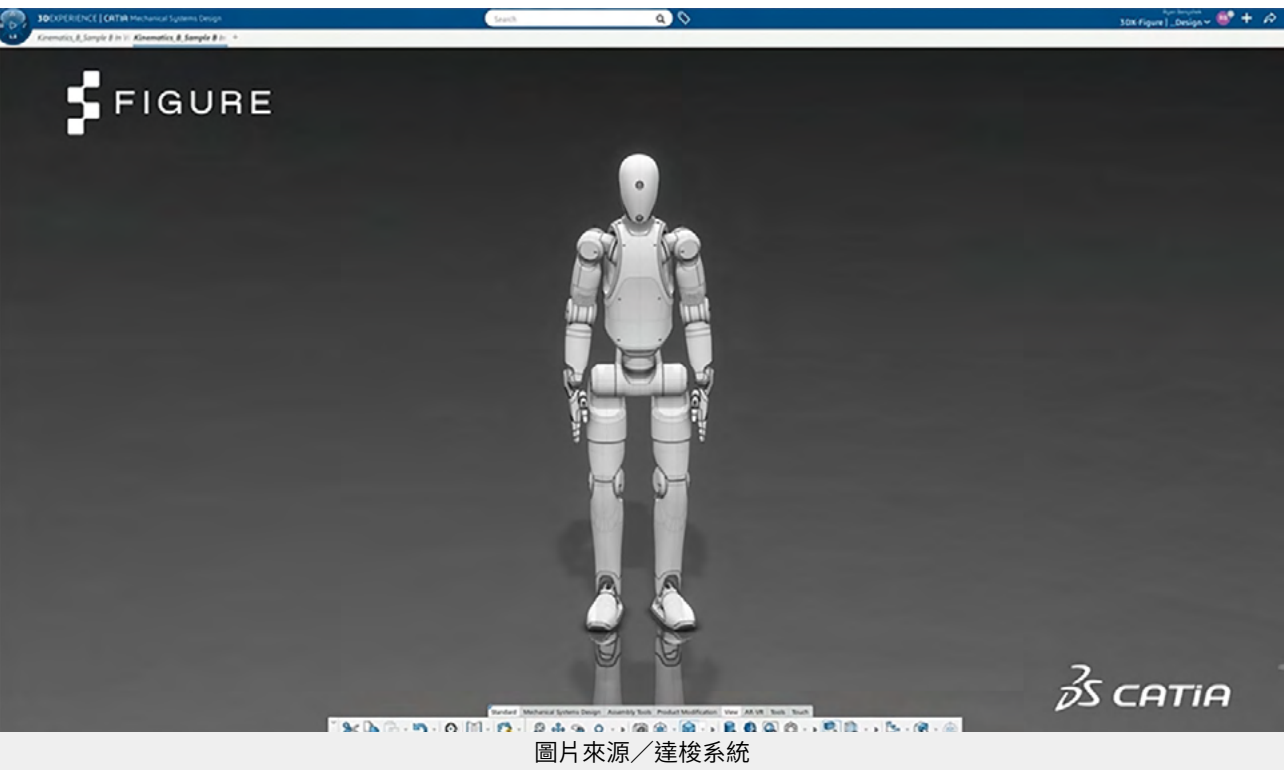
從實務經驗來看，數位孿生 (Digital Twin) 或進一步所稱的虛擬孿生 (Virtual Twin)，已不再只是用於驗證設計或優化製程的工具，而是逐漸成為 AI 學習、測試與

迭代的核⼼環境。特別是在台灣以高混低量與快速導入著稱的製造模式下，企業若能在虛擬環境中提前發現問題並完成調整，將大幅降低實體產線的試錯成本。然而建置這樣的虛擬場域必須從最基礎的建模開始，如何快速打造一比一的虛擬與真實的環境來實踐工業 AI 的架構，成了每個訓練場域必須克服的難題。而這正是達梭系統的核心競爭力，3DEXPERIENCE 平台提供的「科學級模擬」與「工業級協同」不只是視覺上的模型，而是具備物理真實性的環境。透過其在數位工廠解決方案中的深厚基礎，企業已能在虛擬環境中快速建置高擬真的產線模型，並進行完整的製造流程驗證。

無論是電子組裝產線的快速切換，或半導體設備的精密組裝流程，皆可先於虛擬環境中完成驗證與優化，再導入實體產線，減少現場試錯與對資深人員經驗的依賴，並加速新產品導入 (NPI) 的整體效率。這樣的虛擬訓練場將進一步延伸至更高階的 AI 應用場景，特別是人形機器人 (Humanoid Robot) 的發展。隨著虛擬環境與物理模擬精度的提升，結合如 NVIDIA Omniverse 等即時模擬平台，DELMIA 所建立的數位工廠模型可望成為人形機器人訓練的重要基礎場域。透過跨平台整合，AI 不僅能在虛擬產線中學習操作設備與執行任務，更能理解人機協作情境與動態環境變化，進一步強化其在真實世界中的適應能力。

▼【實務案例分析】當虛擬測試遇上瓶頸：為何 Embodied AI 的成功取決於「回饋前端」的設計韌性？

在智慧製造與具身智慧 (Embodied AI) 的研發過程中，許多企業容易陷入一個誤區：認為只要有強大的演算法和足夠次數的模擬驗證，機器人就能完美落地。然而，達梭系統在協助如 Figure AI 等頂尖人形機器人公司時，發現了一個現況——**如果前端的硬體設計 (DNA) 本身存在缺陷，後續的模擬與 AI 訓練只會成為一場徒勞。**



模擬不是萬靈丹：當「虛擬實驗場」發現問題時

在 3DEXPERIENCE 平台的虛擬實驗場中，我們不只是在驗證 AI 會不會走路，更是在測試硬體的極限。當我們在模擬中發現機器手臂在抓取重物時產生非預期的震顫，或者在特定角度下運動範圍 (Range of Motion) 受限

時，這往往不是演算法的問題，而是硬體結構、重心配置或電路佈線 (Wiring) 的干涉所致。為機器人建立了「數位模型系統」，使查找問題更加容易，必須從整體需求到感測器的資料流、控制決策邏輯，到致動器的行為回饋，皆在虛擬環境中被完整定義與驗證。這使得 AI 不再是後期整合的附加元件，而是一開始就內建於系統架構中的核心能力。這能力漸

漸取代傳統流程會試圖透過修改軟體代碼來「彌補」硬體不足，並在 Embodied AI 複雜與快速發展的世界裡，這會增加大腦的運算負荷並降低運算反應速度。**真正的解決之道，是即時將測試數據回饋到前端的 CATIA 模型中找到瓶頸並進行修改。**

CATIA 與 3DEXPERIENCE：實現「設計—驗證—修正」的快速迭代

根據達梭系統官方的研究，開發人形機器人 (Humanoid) 時，早期數位驗證 (Early Digital Validation) 的價值在於「發現設計的可行性」。

- **機械可行性回饋：**透過 CATIA，工程師可以即時發現機器人的關節干涉問題。如果模擬顯示某個馬達在特定負載下會過熱，這項數據會立即回饋給機械工程團隊，調整材料密度或優化重量配置 (Weight Optimization)。
- **早期數位驗證 (Early Digital Validation)：**CATIA 讓工程師能在製造實體原型前，先行模擬複雜任務，並精確校核機器人的運動範圍 (Ranges of Motion) 與機械可行性，確保設計方案在虛擬階段即具備實作價值。
- **真實物理約束 (Real-World Constraints)：**3DEXPERIENCE 平台 將頂尖工業設計與高階機械工程深度整合，全面支援重量優化、電路佈線 (Wiring) 與 PCB 配置等關鍵實體約束，讓虛擬模型與現實物理環境無縫對接。

- **加速協作 (Accelerated Collaboration)：**透過 3DEXPERIENCE 雲端平台實現即時協作。不同領域的團隊（包括機械、工業設計與控制工程師）能即時查看並針對設計變更進行同步作業。這不僅顯著縮短了設計週期，更確保了各跨部門目標的一致性。

避免「垃圾進，垃圾出」：設計仿真一體化的重要性

如果前端設計（產生的數據）是錯誤的，後續的 AI 強化學習 (Reinforcement Learning) 就像是在沙地上蓋大樓。不能只是重複地驗證與模擬，更重要的是「**設計仿真一體化 (MODSIM)**」。在 3DEXPERIENCE 平台中，模擬結果不再是一份死板的報告，而是驅動設計修改的指令。這種「從後端回饋前端」的閉環機制，讓機器人研發不再是單向的流水線，而是一個有機的進化過程。這正是為什麼 Figure AI 能在極短時間內將人形機器人從構想轉化為具備實戰能力的機械，因為他們在虛擬階段就解決了實體錯誤。

▼從數位模型到實體行動——機器人研發的加速引擎

如果說第一部分回答了 Embodied AI 「在哪裡學習」，那麼這一部分的核心問題是：Embodied AI 如何被快速打造，並有效遷移到不同型態的機器人身。在達梭系統的架構中，關鍵在於建立一個從系統定義、設計驗證到場域部署的連續閉環，讓

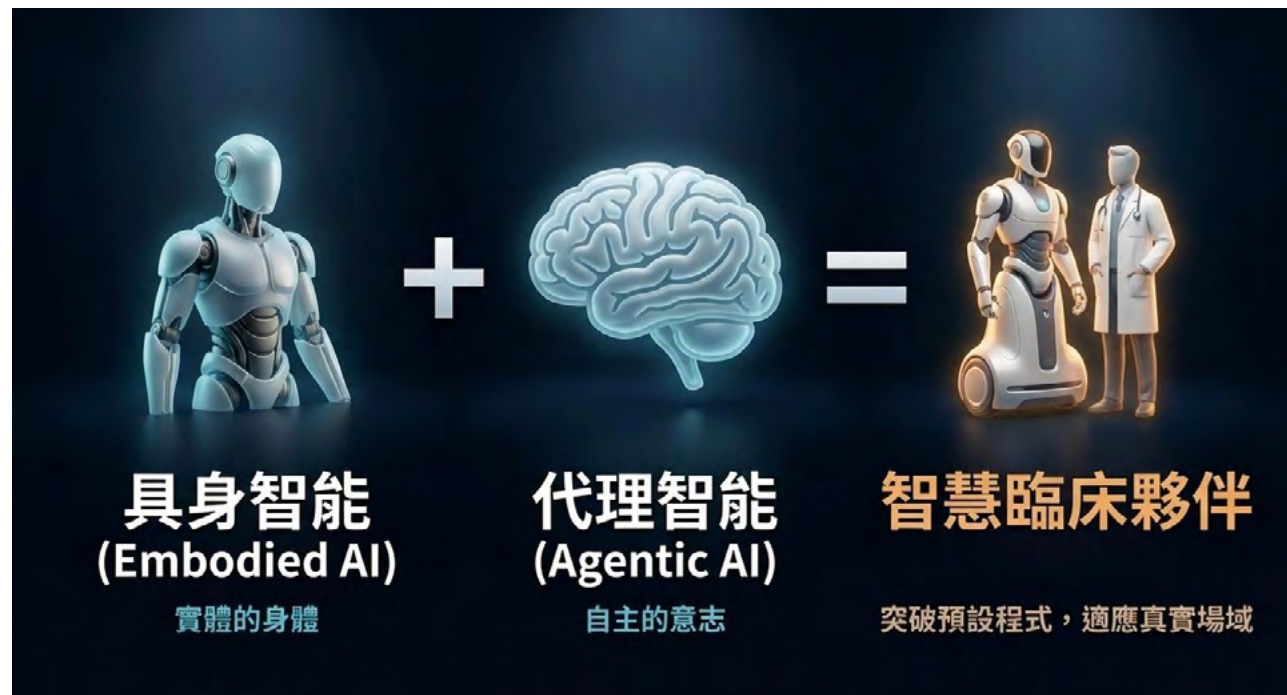
Embodied AI 不再受限於單一硬體，而能被規模化複製。

在系統層，CATIA Magic 所支撐的 MBSE (Model-Based Systems Engineering)，為機器人建立了「數位模型系統」。從整體需求到感測器的資料流、控制決策邏輯，到致動器的行為回饋，皆在虛擬環境中被完整定義與驗證。這使得 AI 不再是後期整合的附加元件，而是一開始就內建於系統架構中的核心能力。在這類開發模式中，達梭的虛擬雙生與系統工程能力，使團隊能在硬體尚未完全成熟前，就先完成動作驗證、控制邏輯測試與場景模擬，降低反覆打樣的成本，並加速從原型到量產的過程。

▼結論：軟體賦能硬體的最高境界

軟體定義製造的價值，在於它提供了「容錯」與「修正」的空間。達梭系統的角色，就是確保當機器人在虛擬實驗場跌倒時，工程師能第一時間找出是哪一個模型（軟體）或哪一根骨骼（設計）出了問題，並在實體原型誕生前完成「進化」。在此脈絡下，數位孿生已從傳統的模擬工具，轉變為 Embodied AI 的核心設計藍圖與訓練場域。透過整合設計建模、場域掃描、物理模擬與數位工廠等能力，企業得以在虛擬環境中提前驗證產品與製程，並讓 AI 在其中進行大規模學習與迭代 AI 與機器人將能在更接近真實環境的條件下完成學習與驗證，並加速其在實際產線中的應用。屆時，製造現場將不再只是執行既定流程的場域，而是與虛擬世界持續互動、共同演進的智慧系統。





以多模態感知、情境理解與自主決策 重塑醫療服務流程的人機協作模式

從 Embodied AI 與 Agentic AI 的技術願景 出發，探討醫療場域人 機協作的現況與未來

文 | 中國醫藥大學附設醫院

▼一、前言：當 Embodied AI 遇上 Agentic AI，醫療場域的新可能

Embodied AI（具身人工智慧）是近年人工智慧發展中最受矚目的技術方向之一。不同於傳統僅存在於雲端或螢幕上的 AI 系統，Embodied AI 強調將智慧賦予具有實體形態的載體——機器人，使其能夠在真實世界中感知環境、理解情境，並做出自主決策與行動。而幾乎同一時期，另一股技術浪潮——Agentic AI（代理型人工智慧）——也從大型語言模型 (LLM) 的生態中迅速崛起。Agentic AI 強調 AI

系統不再只是被動地回應指令，而是能夠自主設定子目標、規劃執行策略、呼叫外部工具、並根據環境回饋持續調整行動。

當 Embodied AI 賦予機器人「身體」，而 Agentic AI 賦予機器人「自主意志」，兩者的交匯便開啟了一個全新的技術模式：機器人不再只是執行預設程式的自動化設備，而是能夠在真實環境中持續運行「感知—推理—行動 (Perception-Reasoning-Action, PRA)」循環的智慧體。PRA 循環是理解 Embodied AI 運作邏輯的核心框架——機器人透過多模態感測器來感知環境 (Perception)，利用 AI 模型對所感知的資訊進行推理與決策 (Reasoning)，再將決策轉化為具體的物理行動或互動行為 (Action)，而行動的結果又會成為下一輪感知的輸入，形成一個持續迭代、不斷適應的閉環。PRA 循環的深度與廣度，決定了一台 Embodied AI 機器人的智慧層級。

具身智能的核心：PRA 運作循環



在所有應用場景中，醫療場域無疑是最具挑戰性，也最具社會意義的驗證環境。醫院是一個高度動態、多元且對安全性要求極為嚴格的場域：人員密集且流動頻繁，空間配置複雜，臨床流程環環相扣。與此同時，全球醫療體系正面臨嚴峻的人力危機——根據世界衛生組織 (WHO) 估計，2030 年全球醫務人員缺口預估達 1,000 萬人以上^{1,2}，其中護理人員佔約半數³；台灣衛福部 2023 年「護理人力政策整備計畫」亦指出，至 2030 年台灣需增加 5.5 萬名護理人員⁴。這種「高需求、高複雜度、高人力缺口」的三重特性，使醫療場域成為 Embodied AI 與 Agentic AI 技術落地最迫切的方向。

本文將以 PRA 循環為分析架構，探討 Embodied AI 在醫療場域中從感知到行動的技術路徑與落地挑戰，並以中國醫藥大學附設醫院（以下簡稱中醫大附醫）與長聯科技合作開發的生成式 AI 照護型機器人「愛寶 (EirBot)」為案例⁵，觀察台灣醫療體系在此趨勢下的初步實踐。

- 1 WHO, Global Strategy on Human Resources for Health: Workforce 2030, 2016. <https://www.who.int/publications/i/item/97892415111131>
- 2 Boniol M. et al., "The global health workforce stock and distribution in 2020 and 2030," BMJ Global Health, 2022, 7(6). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9237893/>
- 3 Project HOPE, "The Global Health Care Worker Shortage: 10 Numbers to Note," 2024. <https://www.projecthope.org/news-stories/story/the-global-health-care-worker-shortage-10-numbers-to-note/>
- 4 衛生福利部，「護理人力政策整備 12 項策略計畫」，行政院第 3873 次院會報告，2023 年 9 月 28 日。 <https://www.mohw.gov.tw/cp-16-76213-1.html>
- 5 環球生技月刊，「中醫大附醫攜手長聯科技 明年初導入 30 台愛寶機器人大推智慧照護」，2025 年 12 月 2 日。 <https://news.gbimonthly.com/tw/article/show.php?num=82096>

▼二、Perception（感知）：醫療場域的多模態感知挑戰

2.1 PRA 循環的起點：為什麼醫療場域需要多模態融合

PRA 循環始於感知 (Perception)——機器人必須透過感測器接收來自環境的多元訊號，建立對周遭世界的即時認知。在醫療環境中，這項挑戰格外嚴峻。一台具備完整具身智慧的醫療機器人，至少需要同時整合多種異質性的感知模態：空間感知、視覺感知與語言感知。

在空間感知層面，LiDAR 光達感測這類技術可以提供精確的三維空間掃描，結合即時定位與地圖建構 (Simultaneous Localization And Mapping)，使機器人能在複雜的醫院空間中自主導航。醫院走廊上隨時有推床、藥車、輪椅與人員交錯移動，空間感知系統必須同時處理靜態障礙物迴避、動態目標的即時追蹤與路徑預判，其技術複雜度遠高於倉儲或工廠等相對規範化的環境。

視覺感知是 Embodied AI 從「移動」邁向「理解」的關鍵橋樑。深度視覺鏡頭與電腦視覺演算法的結合，使機器人不僅能辨識物體的形狀與距離，更能對所見的場景進行語義層級的理解。在醫療場域中，視覺感知承載著多層次的辨識任務：辨識人員身分（確認面前是哪一位患者，以提供正確的個人化服務）、區分角色（區分患者、護理師、醫師、訪客，因

為對不同角色的應對方式截然不同）、以及偵測人體狀態（判斷患者步態是否穩定、是否有跌倒風險、面部表情是否透露不適等）。更進階的視覺感知還包括對醫療設備狀態的判讀——例如辨識點滴袋的剩餘量、監測儀器螢幕上的異常數值等。這些視覺資訊若能與空間感知資料進行融合，機器人便能從「看見一個物體」躍升到「理解這個場景正在發生什麼事」，這正是 Embodied AI 在感知層最核心的技術跨越。

語言感知同樣不可或缺。在醫療場域中，語音與自然語言 (Natural Language) 是人機互動最直覺的介面——患者不會操作觸控面板，但會開口提問；護理師在雙手忙碌時也更傾向用語音下達指令。然而，醫療場域的語言環境充滿挑戰：患者可能使用方言或帶有口音，提問內容涉及醫療專業術語，且經常以隱晦或間接的方式表達症狀與疑慮，語音辨識需要極高的穩健性 (Robustness)。多模態感知的終極目標，是讓這三個維度的資訊形成互補與交叉驗證——空間感知告訴機器人「這裡有一個人正在走」，視覺感知告訴它「這個人步態不穩」，語言感知則讓它聽見「我頭好暈」——三者融合後，機器人便可以真正「感知」到一個需要關注的臨床情境。

2.2 務實的起步：從核心感知建立穩定的 PRA 基礎

面對多模態感知的理想願景，當前多數進入臨床場域的醫療機器人選擇了務實的切入

策略：先掌握「空間導航」與「語音互動」兩項核心感知能力，在視覺感知上則聚焦於身分辨識等基礎功能，再逐步擴展到行為偵測與環境監控等進階模態。這種「先建立穩定的基礎 PRA 循環，再逐步豐富感知維度」的路徑，反映了 Embodied AI 在真實高風險場域落地的合理策略——不追求一步到位的感知全覆蓋，而是在風險可控的範圍內先啟動循環、累積場域經驗，為日後引入更豐富的感知模態奠定基礎。台灣中醫大附醫與長聯科技合作的愛寶便是此策略的一個實例，其第一代產品以自主移動底盤搭配語音辨識與手圈身分辨識，先建立基本的空間與互動感知能力⁶。

▼三、Reasoning（推理）：從生成式 AI 到 Agentic AI 的理解與決策

3.1 生成式 AI 帶來的推理躍進

PRA 循環的第二步是推理 (Reasoning)——機器人對感知到的資訊進行分析、理解與決策。這是整個循環中最能體現「智慧」的環節。傳統的機器人推理依賴規則引擎與決策樹——開發者預先定義「若 A 則 B」的邏輯，機器人僅在預設範圍內做出回應。這種模式在結構化的工業環境中運作良好，但面對醫療場域中千變萬化的臨床情境，規則引擎的侷限性便暴露無遺。

6 經濟日報，「長佳智能法說會照護機器人原型機亮相四大功能一次展示」，2025 年 9 月 25 日。<https://money.udn.com/money/story/5724/9029053>



生成式 AI——特別是大型語言模型 (Large Language Model；LLM)——的出現，為機器人的推理能力帶來了質的躍進。LLM 具備強大的語言理解、知識整合與推理生成能力，使機器人能夠處理開放式的問題、理解語義的細微差異、並生成具有脈絡感的回應。在醫療場域中，這意味著機器人能夠回答沒有唯一正確答案的臨床問題，並根據當前的醫學實證給出嚴謹而有分寸的回應；能夠理解患者話語背後可能隱含的焦慮或不適；能夠根據不同患者的認知水準動態調整衛教說明的深度與用詞。這些能力在規則引擎時代是無法想像的。

此外，地端推論 (On-Premise Inference) 架構的成熟，解決了醫療 AI 的一大關鍵瓶頸——資料安全。透過在醫院內部署 AI 推論伺服器，搭配機器人端的邊緣運算晶片，形成「雲端訓練、地端推論、邊緣控制」的三層架構，

既確保推理的即時性，也嚴格保障醫療資料不外洩。這種架構設計使得生成式 AI 得以在對資安要求極高的醫療場域中安全運行，為 PRA 循環的推理層提供了可靠的基礎設施。

3.2 Agentic AI：從被動回應到目標導向的主動推理

生成式 AI 極大地提升了機器人在語言互動上的推理能力，但它仍然是「回應式」的——等待輸入，然後生成輸出。Agentic AI 的核心突破，在於將推理從「被動回應」推進到「目標導向的主動規劃」。一個具備 Agentic 能力的 Embodied AI 系統，能夠自主設定階段性目標、將複雜任務分解為可執行的子任務、動態評估環境狀態以調整策略、並在必要時呼叫外部工具或系統來完成任務。

對照醫療場域的需求，Agentic 推理的潛力令人期待。想像一台具備完整 Agentic 能力的病房機器人：它在巡房過程中透過視覺感知觀察到某位患者面色蒼白且反應遲緩，主動判斷可能的風險等級，自行決定先進行基本生理量測、同時通報護理站請求人員確認、並暫時調整其他任務的優先序。這種「觀察→推理→規劃→行動→修正」的連續自主循環，正是 Agentic AI 在 Embodied AI 框架中的終極願景。然而，這一願景在當前技術條件下仍處於早期探索階段，多數醫療機器人的推理能力主要體現在語言互動層面，在更廣義的環境情境推理與跨任務自主規劃上，仍有相當的發展空間。

這也揭示了一個重要的產業觀點：Embodied AI 的落地不必等到完整的 Agentic 能力成熟才能啟程。在現有技術基礎上，先以生成式 AI 的語言推理能力建立穩定的 PRA 基礎循環，便能在真實場域中創造實質價值，同時為下一階段引入更進階的主動推理與自主決策能力，累積關鍵的場域經驗與數據資產。

▼四、Action（行動）與系統整合：讓 PRA 循環在臨床場域中穩定運轉

4.1 行動層：安全、合情、與臨床流程的嵌合

PRA 循環的第三步是行動 (Action)——將推理的結果轉化為具體的物理行動或互動行為，對真實世界產生實質影響。在 Embodied AI 的框架中，行動層面臨的挑戰不僅是機械控制的精確度，更在於行動必須「合情合理」——符合當下的臨床情境、遵守醫療安全規範、並與周遭的人員形成協調的互動。一個在走廊上橫衝直撞的送物機器人，即使送物效率極高，也無法在醫療場域中生存。

行動層的另一個關鍵特性是「閉環回饋」。行動的結果會改變環境狀態，而這些改變又成為下一輪感知的輸入——機器人完成一次衛教諮詢後，患者的後續提問便是行動效果的回饋信號；物品送達後，護理師的接收確認或異常通報也是下一輪 PRA 循環的觸發點。這種持續的閉環迭代，使得 Embodied AI 的行動能力能夠隨著運行時間的累積而持續優化，展現出越來越強的環境適應力。



目前已進入臨床場域的醫療機器人，行動能力大多聚焦在標準化的服務場景：環境導覽、衛教諮詢、物品運送、遠距視訊等。這些看似基礎的服務，精準切中了護理師日常工作中最耗時的重複性任務。在 PRA 循環尚處基礎階段時，將行動聚焦在風險較低、流程較明確的服務類型上，並非技術的妥協，而是高風險場域中合理的風險管理策略——先在安全邊際較高的任務中建立穩定的 PRA 運行紀錄，再逐步擴展到更需要自主判斷的複雜臨床行動。

4.2 系統整合：從單機智慧到生態智慧

要讓 PRA 循環長期穩定運轉，單靠機器人自身的能力遠遠不夠。真正的瓶頸往往在於系統整合——機器人必須與醫院既有的資訊生態系深度串接，才能從「獨立運作的智慧設備」進化為「嵌入醫療生態系的協作節點」。在資

訊層面，機器人的推理引擎需要與醫院資訊系統 (HIS)、電子病歷 (EMR) 串接，在確認患者身分後即時調取相關診療資訊與照護計畫。沒有這層串接，推理就缺乏「個人化」的基礎。在運算層面，「地端推論」架構使 AI 推論在防火牆內完成，兼顧即時性與資安需求。

更長遠的視野是，機器人應成為醫院智慧生態系中的一個節點，而非一座孤島。當機器人能夠接入院內的 AI 戰情中心——匯集影像判讀、生命徵象監測、病房定位等多維度資訊——它的 PRA 循環便能獲得遠超自身感測器的環境認知，做出更全面的判斷⁷。這種「系統智慧」意味著機器人的推理不再僅依賴它「自己看到的」，而是能夠整合「整個醫院看到的」。系統整合能力，才是 Embodied AI 從「展示品」走向「臨床工具」的分水嶺。

7 商業周刊，「醫療機器人連上 AI 大腦 中醫大附醫 X 長聯科技共創『愛寶』量產在即」，2025 年 12 月 17 日。<https://www.businessweekly.com.tw/business/indep/1006206>

▼五、人機協作的展望：PRA 循環的三階段
深化路徑

5.1 從分擔到感知延伸，再到真正的協作

將 Embodied AI 在醫療場域的發展路線對應到 PRA 循環的深化程度，可以描繪出一條清晰的三階段演進路徑。

第一階段——基礎循環（現階段）：感知以空間導航、基礎視覺辨識與語音互動為主，推理以生成式 AI 的語言理解為核心，行動聚焦在標準化的照護服務。核心價值是「分擔」——接手高頻率、標準化的溝通與服務任務，讓專業人力聚焦在需要臨床判斷的核心醫療行

為上。中醫大附醫與長聯科技合作的愛寶機器人即定位於此階段，以導覽、衛教、送物、遠距視訊等服務分擔護理師約 30% 的非醫療性工作負荷，已於 2025 年底起在院內進行場域驗證⁸。

第二階段——深度循環（近期發展方向）：感知擴展到非接觸式生理量測、行為偵測與環境監控，視覺感知從身分辨識延伸到狀態辨識與設備監控；推理開始整合多模態資訊進行更全面的情境判斷；行動從標準化服務延伸到主動提醒、風險警示與初步的照護建議。核心價值是「感知延伸」——機器人成為護理師的「第二雙眼睛」，持續監測人力無法全時覆蓋的環境資訊。

第三階段——Agentic 循環（長期願景）：機器人具備持續性的環境認知模型 (World Model)，能夠自主規劃任務排程、動態協調與人員的互動方式、並在複雜情境中進行目標導向的自主決策。核心價值是「協作」——機器人從「工具」進化為真正的「臨床夥伴」，與醫護團隊形成有機的協作關係。

5.2 漸進式深化：先落地，再進化

這三個階段不是截然分開的跳躍，而是連續的漸進式深化。每一階段的場域驗證經驗、臨床數據累積與技術迭代，都是下一階段的必要基礎。Embodied AI 的能力無法在實驗室中憑空成熟，它必須在真實的臨床環境中，透過一輪又一輪的 PRA 循環運行，才能逐步逼近 Agentic 臨床夥伴的願景。

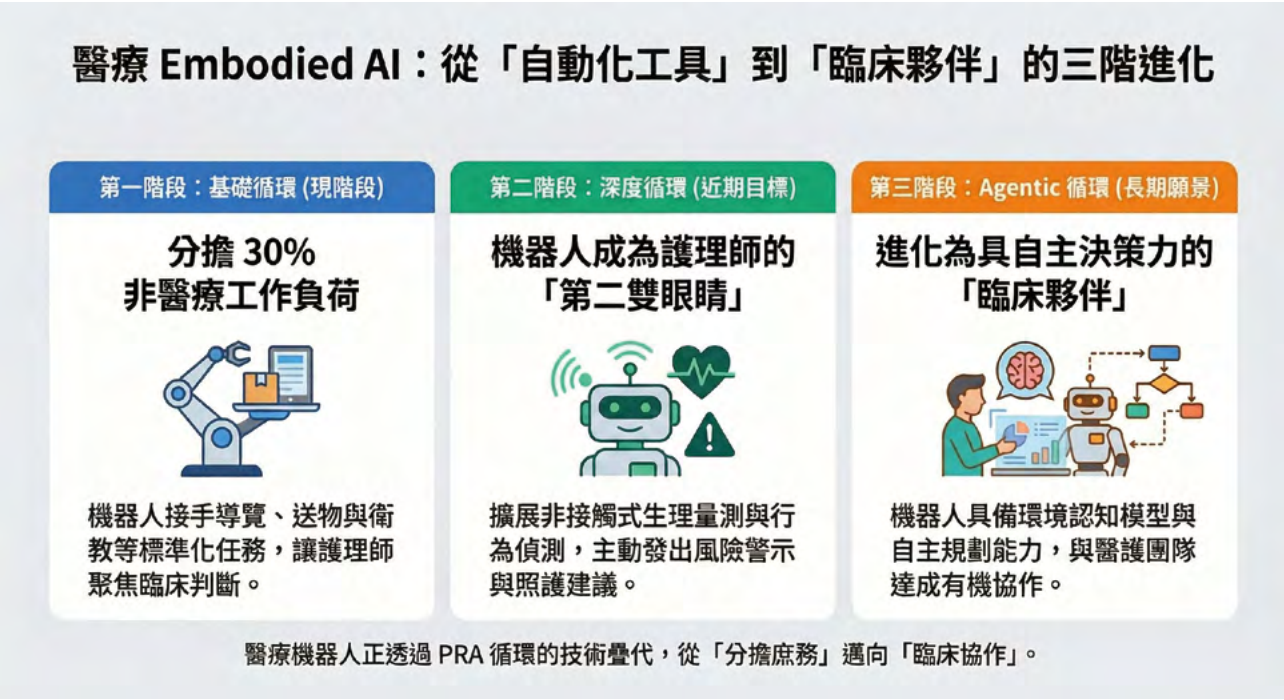
在這一點上，「醫院主導開發」的共創模式展現了獨特的加速優勢。當醫院不只是被動的使用者，而是從需求定義開始就深度參與開發——由臨床團隊主導功能設計、在院內場域即時驗證與回饋、以持續的臨床數據餵養 AI 模型的迭代——PRA 循環中每一個環節的設計決策都能緊密扣合真實的使用情境。中醫大附醫的經驗顯示，這種共創模式能將原型機的開發時程壓縮至五個月以內⁹，關鍵正在於臨床場域的即時回饋大幅縮短了從設計到驗證的循環週期。

▼六、結語：在 PRA 循環中，起步正是最重要的一步

Embodied AI 與 Agentic AI 的交匯，正在為醫療場域的人機協作開啟前所未有的可能性。從多模態的環境感知——空間、視覺與語言的深度融合——到基於生成式 AI 與 Agentic 架構的情境推理，再到安全、合情且能與臨床流程深度嵌合的智慧行動——PRA 循環的每一個環節都蘊含著技術突破的機會，也伴隨著真實世界的嚴峻挑戰。

完整的 Agentic Embodied AI ——機器人在複雜的臨床環境中自主感知、主動推理並做出恰當決策——仍是產業與學界共同努力的遠程目標。但正如當前台灣醫療體系的實踐所展示的，這段旅程不必等到所有技術完美成熟才能啟程。從護理師最迫切的痛點出發，先建立穩定可靠的基礎 PRA 循環，在真實臨床環境中創造實質價值，再逐步深化感知的廣度、推理的深度與行動的自主性——這種「先落地、再進化」的策略，或許正是 Embodied AI 在高複雜度場域中最可行的發展路徑。

每一次感知的豐富、每一次推理的深化、每一次行動的優化，都在推動 Embodied AI 向下一個智慧層級邁進。起步，正是最重要的一步——而對台灣的醫療體系與科技產業而言，最重要的，是我們已經開始轉動這個循環。



8 經濟日報，「長佳智能法說會照護機器人原型機亮相 四大功能一次展示」，2025 年 9 月 25 日。<https://money.udn.com/money/story/5724/9029053>

9 生策會報導，「醫院自己打造護理機器人！中醫大主導 × 長聯研發，實現『醫療主權 AI』」，2025 年 10 月 21 日。<https://www.cmuh.cmu.edu.tw/NewsInfo/NewsArticle?no=9638>



和椿科技專注在生產製造場景，目標以最短調試週期上線作業。

破解 Sim-to-Real 難題：硬體補償技術在具身機器人中的角色

文 | 和椿科技股份有限公司

▼一、當模擬遇上現實的那一刻

想像一台機器人在虛擬環境中接受了數以億計次的訓練。在那個完美的世界裡，物理法則被精確定義，每一個關節的扭矩輸出都精確無誤，地板平整如鏡，光線均勻而穩定。這台機器人在模擬器中學會了拾取精密零件、組裝螺絲、甚至搬運易碎品——它的成績幾乎完美。

然而，當同一台機器人被部署到真實的工廠產線上時，問題接踵而來。它伸手抓取零件時，手指輕微抖動；試圖精準鎖緊螺絲時，力道忽強忽弱；遇上稍微不平整的工作檯面，動作路徑便開始偏移。幾個小時後，

一個價值數萬元的精密模具因為力道控制失誤而受損。

這就是機器人領域中令工程師最為頭疼的「Sim-to-Real」落差問題——模擬訓練與現實部署之間那道難以逾越的鴻溝。隨著具身人工智慧 (Embodied AI) 進入產業應用的加速期，這道鴻溝已不再只是學術研究的課題，而是決定具身機器人能否真正規模化落地的核心門檻。本文將從硬體補償技術的視角，深入剖析 Sim-to-Real 落差的本質成因，並探討如何透過系統性的技術手段，讓機器人真正「讀懂」現實世界。

▼二、模擬的局限與簡化：完美世界裡訓練出來的缺陷

強化學習 (Reinforcement Learning, RL) 的興起，為機器人訓練帶來了前所未有的突破。透過在虛擬環境中反覆試錯與優化，AI 模型得以在相對低成本的條件下，累積大量的行為策略。然而，這套方法隱含著一個根本性的前提假設：模擬環境必須足夠接近現實。

現實的情況卻大相逕庭。

齒輪背隙 (Backlash)：工業機器人的傳動系統由大量齒輪組成，每一組齒輪之間不可避免地存在細微的間隙。當電機改變旋轉方向時，這個間隙會造成短暫的「空行程」——關節尚未移動，但電機已經轉動。在模擬器中，背隙

通常被忽略或過度簡化；而在現實中，幾十微米的時間間隙足以讓精密組裝動作差之毫釐，失之千里。

摩擦力的非線性特性：靜摩擦力 (Static Friction) 與動摩擦力 (Kinetic Friction) 的切換是高度非線性的物理現象，且會隨著溫度、磨損程度與潤滑狀態的變化而持續改變。模擬器通常採用簡化的庫侖摩擦力模型，無法準確重現機器人在冷機、熱機、或使用一年後的真實摩擦特性。

重力補償的盲點：機器人在不同姿態下，各關節所承受的重力負載差異顯著。加上末端執行器 (End-Effector) 夾取不同重量的工件時，整個系統的重力分佈隨之改變。模擬器中的重力建模往往依賴設計規格，而非實測數據，導致誤差在多關節串聯後被指數級放大。

振動與結構柔性：高速運動的機械臂會激發機械結構的固有頻率，產生不可忽視的振動。長懸臂的末端在快速加減速過程中會出現彈性形變，這些動態特性在模擬環境中幾乎從未被完整捕捉。

這四類誤差來源相互疊加，使得即便是全球頂尖的機器人研究機構，也面臨訓練效果在真實部署中大幅衰退的困境。根據業界的實際觀察，部分複雜操作任務從模擬到現實的成功率落差可高達 40% 至 60%。

▼三、從視覺導航走向力覺感知：具身 AI 的力覺革命

傳統的工業機器人依賴「位置控制」——機器人按照預設的軌跡運動，並不在意沿途遇到了什麼阻力。這種方式在高度結構化的環境中行之有效，但一旦遇到變異性高的任務，便顯得脆弱且危險。

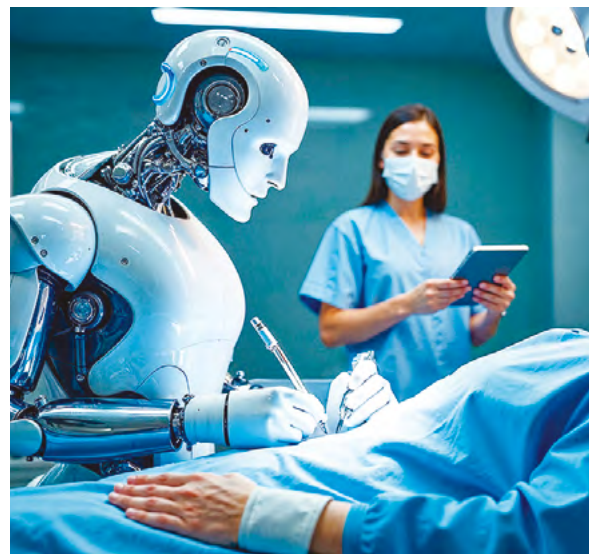
具身 AI 的出現，從根本上改變了我們對機器人「感知」的定義。傳統的電腦視覺系統賦予了機器人「眼睛」——它能辨識物件、判斷位置、規劃路徑。然而，在智慧醫療、精密電子組裝、或柔性物料處理等高精度應用場域中，「看見」只是必要條件，而非充分條件。機器人更需要「感覺」——感覺到接觸的力道、感覺到材料的硬度、感覺到組裝過程中細微的阻力變化。

力反饋 (Force Feedback) 是連接機器人與物理世界的核心橋樑。以精密電子組裝為例，當機器人插入一個 FPC 排線接頭時，所需施力僅在 0.1 至 0.5 牛頓之間；力道過小無法完成連接，力道稍大則可能損毀接頭甚至整塊電路板。這種毫牛頓級的力道感知，遠超出任何視覺系統的辨識能力，只有透過高精度的六維力／力矩感測器 (6-axis F/T Sensor) 才能實現。

在智慧醫療的手術輔助機器人場景中，力覺控制更是生死攸關的技術。手術機器人在操作時，必須即時感知組織的軟硬度差異，

在切開健康組織與腫瘤邊緣時保持精準的力道控制。任何失控的瞬間都可能造成無法挽回的後果。現階段主流的外科手術機器人系統，已將觸覺反饋列為核心技術指標之一。更進一步，多模態感知的同步對齊是具身 AI 落地的技術難關。視覺感測器的數據採集頻率通常在 30 至 60Hz；而力覺感測器的採樣頻率往往需要達到 1000Hz 以上，才能捕捉到接觸瞬間的動態衝擊。然而，單純的頻率對齊並不足夠，更關鍵的挑戰在於「控制循環的延遲 (Latency)」。

在精密力控 (Force Control) 場景中，如果力覺回饋到執行器的閉環延遲過高，系統會因為補償滯後而引發不穩定的震盪 (Instability)。因此，「低延遲閉環控制」是硬體補償系統的神經準則——只有確保感知、運算與執行在毫秒級內完成同步，AI 模型所「感知」到的物理世界才能與現實精確銜接，避免在訓練數據層面就埋下 Sim-to-Real 落差的種子。



▼四、硬體補償技術：填平落差的工程藝術

面對上述種種誤差來源，學術界和產業界發展出多個層次的補償策略，形成了一套從感測、建模到控制的完整技術體系。

層次一：精密感測與狀態估測

有效的補償必須建立在準確的感測基礎之上。高解析度的編碼器 (Encoder) 提供關節角度的精確回饋；慣性量測單元 (IMU) 捕捉機械結構的加速度與振動；末端執行器整合的力／力矩感測器則提供接觸力的即時數據。這三類感測器的融合，構成了硬體補償系統的「神經末梢」。

值得注意的是，感測器本身的精度並非越高越好——更關鍵的是感測器在長期使用後的「漂移特性」。在工廠環境中，溫度、濕度、振動都會影響感測器的零點偏移。因此，自動零點校準 (Auto-zeroing) 與溫度補償演算法，是工業級具身 AI 系統不可或缺的基礎功能。

層次二：動力學模型辨識與補償

透過系統辨識 (System Identification) 技術，可以在機器人實際運行過程中，持續學習和更新關節摩擦力模型、質量慣性參數與剛度特性。這套「自學習」的補償模型，能夠隨著機械系統的磨損老化而自動調整，確保補償效果不因時間推移而衰退。

齒輪背隙的補償尤其需要精巧的控制策略。除了在控制層面引入預測性前饋補償之外，部分高端系統採用「背隙學習網路」——利用深度學習模型，從歷史運動數據中識別不同溫度、負載條件下的背隙特性，並在運動指令層提前進行補償。

層次三：領域隨機化 (Domain Randomization)

這是從訓練策略層面應對 Sim-to-Real 落差的重要手段。在模擬訓練過程中，刻意引入「擾動數據」——對摩擦係數、質量參數、感測器噪聲等進行隨機擾動，迫使 AI 模型學習到更具泛化能力的控制策略。

不過，單純的領域隨機化有時會使模型因追求「絕對安全」而過於保守，進而犧牲作業性能。為了突破此侷限，現代具身 AI 已演進至「在線系統辨識 (Online System ID)」與適應性控制的結合。這意味著機器人不再僅僅依賴預設的泛化模型，而是在運作過程中，即時識別當下的物理特徵並修正參數。這種「邊走邊學」的能力，讓機器人能從容應對環境的不確定性，根據 Google DeepMind 與 UC Berkeley 的研究，這類策略能將複雜任務的遷移成功率再提升 20% 至 35%。

層次四：真實數據的迭代優化

沒有任何補償技術能夠完全替代真實世界的數據。高品質的真實場景數據採集，配合嚴格的多模態對齊處理，是持續優化補償模型的根本。

這個過程要求工程師具備跨越人機界線的思維——理解機器人的視角與感知邊界，在數據採集時刻意覆蓋邊緣案例 (Edge Cases)：不標準的工件方向、異常的光照條件、輕微的表面污染。這些「失敗樣本」的數據，對於訓練機器人的異常處理能力，其價值甚至高於正常情況的成功樣本。



真實場景數據採集示意圖。

▼五、工業級長效穩定度：規模化落地的生存考驗

當具身機器人從實驗室走向工廠，面對的不只是單一任務的成功率挑戰，而是在長達 8,760 小時的年度連續運行中保持穩定性的生存考驗。

工廠環境對具身機器人提出了極為苛刻的要求：

- **熱循環疲勞**：機器人每日從冷機狀態啟動，運行至熱平衡，再關機冷卻。數千次的溫度循環，會導致機械結構的細微形變積累，最終影響定位精度。
- **機械磨耗的非線性演化**：傳動系統的磨損初期緩慢，達到臨界閾值後往往急遽加速，形成難以預測的失效曲線。
- **環境干擾的長期積累**：切削液、金屬粉塵與振動的長期影響，會逐漸侵蝕感測器的精度與結構的完整性。

應對這些挑戰，工業級具身 AI 系統需要建立「健康監控」機制——透過持續監測關節電流、振動頻譜與定位誤差的趨勢性變化，在設備失效前即時預警。這種「預測性維護 (Predictive Maintenance)」的能力，是具身機器人能否在工廠環境中規模化部署的關鍵門檻之一。

硬體補償技術在此扮演雙重角色：一方面，即時補償當前的系統誤差，維持作業精度；另一方面，通過對補償量的長期追蹤，建立設備健康狀態的數字指紋，為維護決策提供數據依據。當補償模型的修正量持續超出設定閾值時，系統自動判定需要進行預防性維護——這比等待設備顯性故障再停線維修，節省了難以估計的生產損失。

▼六、從數據採集到快速部署：和椿科技的技術路徑

台灣製造業的靈魂在於「少量多樣、快速換線」。不同於特斯拉德州超級工廠那樣超大規模、單一產品的標準化環境，台灣精密加工廠往往在同一條產線上，一天內需要切換數個不同的產品品項。每次換線，機器人面對的是不同重量、不同材質、不同夾持點的全新工件。這對 Sim-to-Real 的補償策略提出了更高要求：補償模型不只要適應單一工況，更必須具備跨工況的快速自適應能力。

面對這項挑戰，和椿科技目前將技術力量集中於前述「層次四」——真實數據的迭代

優化，並以此作為驅動機器人快速部署上線的核心引擎。

和椿的數據採集方法論，核心在於三個關鍵環節的精細化處理。第一是動作數據的高保真捕捉：透過多模態感測器陣列，同步記錄機器人在執行真實工廠作業時的關節力矩、末端位姿與視覺影像，確保每一筆數據都忠實還原物理世界的完整狀態，而非模擬環境的理想化近似。

第二是動作空間的歸一化處理：台灣產線的動作數據往往具有高度個人化與場域特性——不同師傅的操作手法、不同機台的空間佈局，都會在原始數據中留下不一致的「噪音」。和椿的工程流程會對收集到的示範動作進行歸一化轉換，將人類操作員的物理動作，系統性地轉譯為機器人可學習、可復現的標準化動作表徵，最大化每一筆數據的訓練價值。

第三是邊緣案例的刻意覆蓋：在數據採集規劃階段，和椿便針對目標工站預先定義「高風險情境清單」——包含非標準工件方向、異常光照條件、輕微表面污染等真實產線中必然出現的變異情況。透過刻意採集這些邊緣案例的成功與失敗數據，訓練出的模型才能在真實部署後，對產線的隨機性保有足夠的容忍度，而不會在第一個「課本上沒教的狀況」面前失效。

這套「以數採訓練驅動快速部署」的路徑，目標是讓機器人在完成指定工站的數採訓練後，能夠以最短的調試週期直接上線作業——無須為每個工廠、每條產線重新從零開始訓練，而是藉由真實數據的迭代積累，持續縮短從「學習」到「上崗」的距離。這正是和椿在具身 AI 落地路徑上，最務實也最具長期競爭價值的技術積累方向。

▼七、展望：從補償走向自癒

硬體補償技術在具身機器人中的角色，正在經歷一場深刻的典範轉移。

過去，補償技術主要是「事後修正」——在偵測到誤差後進行被動補償。未來的具身 AI 系統，將走向「主動預測」的範式：AI 模型在每一個動作執行前，已能預測當前環境條件、機械狀態與任務需求組合下的最佳補償策略，並在動作執行過程中持續調試。

更長遠的願景是「自癒型具身 AI」——機器人能夠自主診斷自身的機械損耗程度，通過調整控制策略來補償硬體退化，延長有效作業壽命；同時主動識別自身能力邊界，在任務超出補償範圍之前及時發出維護請求，而非等待故障發生後才停線。這樣的系統，才真正具備工業級部署的成熟度。

▼八、結語：物理世界的精確對位

Sim-to-Real 的本質，是一個「語言翻譯」問題。

模擬器說的是數學的語言——精確、完整、可控；而現實世界說的是物理的語言——混沌、多變、充滿不確定性。硬體補償技術，正是這兩種語言之間的翻譯器。它不能消除現實世界的複雜性，但能幫助機器人更準確地理解和應對這種複雜性。

台灣製造業正站在轉型的深水區。面對 2030 年的勞動力缺口，引進具身 AI 不再是選擇，而是生存的必要條件。然而，一台無法穩定運作於真實產線的機器人，無論其 AI 模型多麼先進，都不過是昂貴的展示品。只有真正攻克 Sim-to-Real 的技術難題，讓機器人能夠精準感覺、持久穩定、自主適應，具身 AI 才能真正承擔起台灣製造業「永不間斷運作權」的重任。

這是一場關於精準、關於耐久、也關於理解現實世界語言的長期工程。而硬體補償技術，正是這場工程中最不可或缺的基石。

本文作者和椿科技專注於精密運動控制與具身智能系統整合，為台灣製造業提供從數據採集、力覺控制到系統落地的完整解決方案。

掌握AI × 機器人趨勢，
2026年AI智慧機器人工程師證照
搶先布局未來職場！！

2026考試日程

『AI智慧機器人工程師』證照 『機器人工程師』證照 『自動化工程師』證照

6月 12月

第33屆 自動化工程師
第19屆 機器人工程師

校園巡迴&報名時間
03.02-04.30

學科考試時間
06.13 (六)
自動化術科：06.14(日)

第34屆 自動化工程師
第20屆 機器人工程師
第1屆 AI智慧機器人工程師

校園巡迴&報名時間
09.01-10.30

學科考試時間
12.12 (六)

證照考試說明會
歡迎來信預約

考試報名及相關
資訊請上協會官網
www.tairoa.org.tw

洽詢窗口
02-23931413
exam@tairoa.org.tw

主辦單位

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



驅動智慧製造的隱形心臟：AI 行星減速機與預測性維護實務

文 | 宇隆科技股份有限公司
陳俊皓協理、廖柏愷研發工程師

▼從自動化邁向具身智慧自主化

在全球製造業邁向工業 5.0(Industry 5.0)的關鍵轉型期，產線的核心追求已從過往單純提高速度與產量的傳統自動化，演進為強調人機安全協作、環境永續發展與系統高度韌性的新典範。在這場變革中，具身人工智慧(Embodied AI)的崛起打破了傳統工業自動化長期存在的資訊孤島，讓人工智慧不再只是雲端或虛擬世界的演算法，而是擁有物理載體的實體系統。

對智慧製造而言，這代表產線正在從「自動化」邁向「自主化」。設備不再只是依照固定邏輯執行動作，而是需要能夠理解自身狀態、即時回饋資訊，甚至提前預測異常風險。

而在這樣的發展趨勢下，過去被視為基礎傳動元件的減速機，也開始出現新的角色定位。除了扭矩輸出與精密傳動之外，未來的減速機也可能成為智慧設備中的「感知節點」，協助設備建立健康管理與預測性維護能力。

宇隆 (TURVO) 目前正全力開發中的 AI 行星減速機，即是以此方向作為研發核心。透過將高靈敏度感測技術、邊緣數據分析與深度學習 AI 模型進行深度原生整合。不僅協助智慧設備顯著提升維運自主化，更為產線提供了長時間運行的卓越穩定性。這項創舉，正為全球工業界示範了何謂智慧傳動元件的最佳開發模式。

▼預測與健康管理 (PHM) 的核心運作機制

回顧過去的工業 4.0 或是傳統自動化產線，主要透過 PLC、感測器與既定控制邏輯，讓設備依照固定流程完成作業。這類型系統的核心目標，在於提升生產效率、降低人工作業與提高製程穩定性。

傳統工廠在維護核心元件時，往往面臨極大痛點。**傳統減速機**如同一個「物理黑盒」，僅能依據既定程式（如 PLC 或 CNC G-code）做被動的機械執行；它既缺乏對自身健康狀態的自知能力，也無法對突發的磨損做出即時應變，往往導致企業陷入「不壞不修、一壞即停」的非計畫性停機困境，造成巨大的營運損失。

為了解決這項痛點，引進預測與健康管理 (PHM) 與預測性維護 (PdM) 成為企業升級的當

務之急。在實務部署上，若在每個減速機上強加大量外部感測器，不僅會大幅拉高硬體採購成本，更會增加線路維護的複雜度。新一代的**AI 智慧行星減速機**則採用軟硬整合的創新路徑：

- **多模態時序訊號讀取**：系統直接讀取或經由驅動器內建單元，擷取行星減速機運轉過程中的溫度、角速度與微幅振動等時序數據。
- **人工神經網路 (ANN) 特徵分析**：利用邊緣端的深度學習模型，針對非線性扭矩與軌跡誤差進行時序建模與運算。
- **早期故障預測與異常感知**：演算法能在機械結構發生目視或肉眼可覺察的損傷前（如齒面微裂、軸承初期磨損），精準捕捉到高頻訊號的微幅異變。

這種「自帶邊緣運算大腦」的狀態自知能力，能協助用戶端提早數週規劃維修，真正實現零突發停機 (ZDT, Zero Downtime) 的理想境界。同時，這也代表設備角色正在發生根本性改變。以減速機為例，傳統減速機主要關注背隙、壽命與輸出性能，但在自主化設備需求提升後，設備端也開始重視：

- 是否能掌握內部磨耗狀態
- 是否能提早發現異常
- 是否能降低突發停機風險

因此，讓減速機具備感測與健康監測能力，正逐漸成為智慧傳動系統的重要發展方向。

▼產線場景升級：邊緣自主感知與零突發停機

智慧工廠的發展，已不再只是單一設備的自動化，而是朝向整體系統協同運作的架構演進。

在現代化工廠的管理實務中，這場技術革命深刻地顛覆了現場設備維護工程師的日常工作流與資源調配模式。傳統上，製程線長與維修團隊往往高度依賴過往經驗、點檢表或傳統的物理量測來判斷機台異狀，這種方式難以標準化且存在極大的資訊盲區。而導入部署於地端的「人工神經網路 (ANN) 特徵分析」後，底層的運作邏輯發生了根本性轉變。該技術將原本隱蔽且斷續的機械運轉訊號，即時轉化為高維度的數位健康指標。這意味著管理決策不再盲目依賴人工感官的直覺判斷，而是轉由標準化、數據化的智能矩陣進行全天候的行為校準，為產線建立起客觀且透明的運作基準線。

這種由數據驅動的轉變，直接催生了維護策略的質變，全面落實了「早期故障預測與異常感知」的全新流程。當系統在元件性能剛出現極細微衰退的萌芽階段時，便能透過高靈敏度的數位感知網路釋放預警，這比傳統的閾值警報或異常紅燈要提前得更多。此一前瞻性的時間窗口，為工廠管理層帶來了前所未有的「策略主動權」。設備工程團隊得以從過去狼狽的事後搶修、緊急追料，轉變為能夠從容進行的計畫性預防維護。

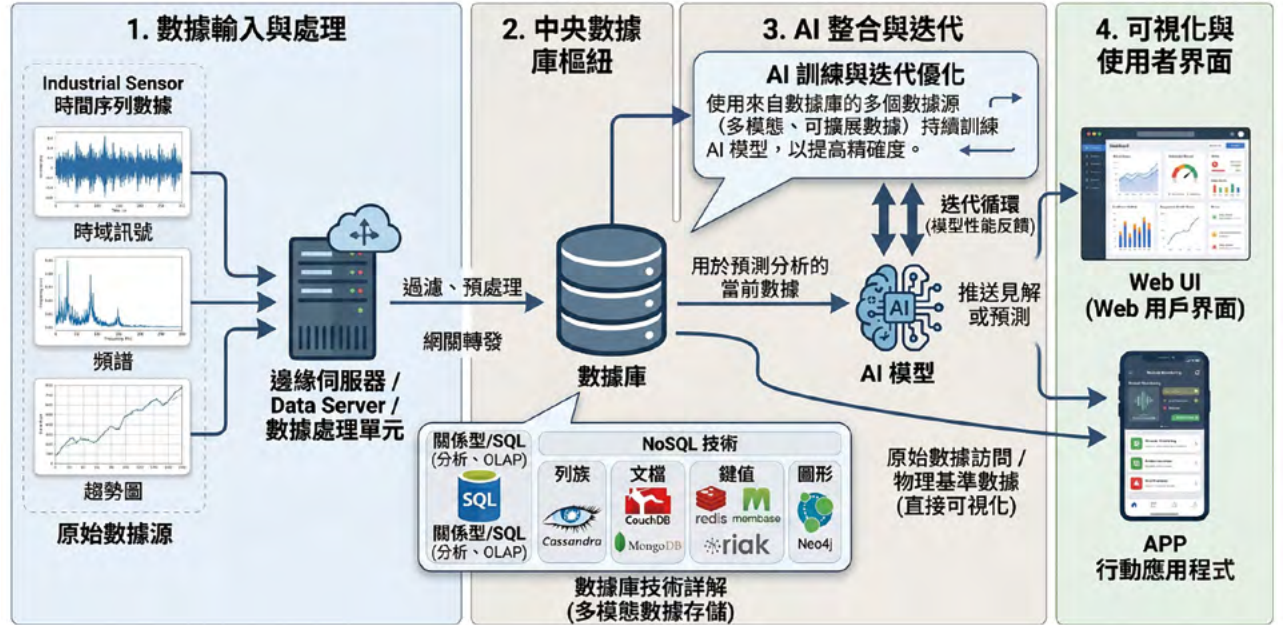
這項管理升級的最終效益，在於徹底消除了工廠營運中最具破壞性的「非預期混亂」。當核心傳動元件具備了自主報告健康的實力，物料供應鏈的零件庫存調配、技術人員的排班調度，以及生產排程的動態調整，都能在極度可控且不干擾整體產能的前提下完美對接。這不僅讓設備管理告別了高成本的突發危機處理，更從本質上優化了整體設備效率 (OEE) 與資產回報率，為智慧工廠的高效平穩運轉構築了具備高度韌性的維運新典範。

未來，在雲端（大數據分析層），則負責處理跨廠區、長週期、巨量資料的倉儲與模型優化。地端上傳的減速機健康趨勢數據，會在雲端進行大規模機器學習與模型再訓練。透過雲端大數據，管理者能在一面螢幕上，遠端監控位於全球不同廠區的所有設備健康指標。當雲端模型隨著數據累積而變得更精準後，還能透過 OTA（空中下載技術）將優化後的演算法反向派發至各廠區地端，形成一個持續自我進化的智慧維運閉環。

▼工業物聯網與 AI 預測性維護系統架構

在現代智慧工廠中，針對 AGV（無人搬運車）車隊與核心傳動機構（如減速機、高頻齒輪）的維運模式，已全面邁向主動式預測性維護。

工業物聯網振動監測與 AI 預測架構



1. 數據輸入與處理：

- **原始數據源：**工業感測器 (Industrial Sensor) 收集的時序序列數據，在圖中被細分為時域訊號、頻譜（頻域）與趨勢圖。
- **邊緣計算：**數據首先進入「邊緣伺服器 (Edge Server) / Data Server」，在此處進行過濾、預處理與網關轉發，避免無用數據塞爆後端網路。

2. 中央數據庫樞紐：

- **多模態數據存儲（核心技術詳解）：**這裡展示了強大的後端數據底座，包含：
 - **關係型／SQL（分析、OLAP）：**用於結構化數據分析。
 - **NoSQL 技術：**包含列族 (Cassandra)、文檔 (CouchDB, MongoDB)、鍵值 (redis, riak) 與圖形 (Neo4j)，用來處理各種非結構化的複雜工業大數據。

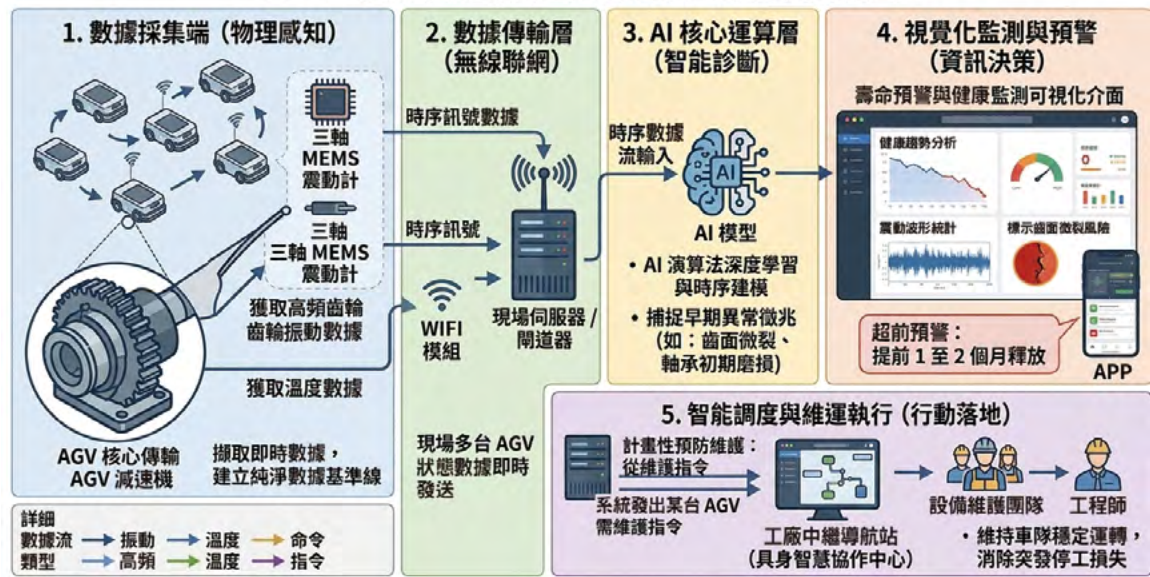
3. AI 整合與迭代：

- **雙向反饋機制（迭代循環）：**數據庫將當前數據推給 AI 模型進行預測預析；同時，來自數據庫的多個數據源（多模態、可擴展數據）會持續對 AI 模型進行持續訓練與迭代優化，形成模型性能反饋的閉環，不斷提高預測精確度。

4. 可視化與使用者界面：

- **數據分流推送：*** AI 預測後的「見解或預測結果」會推送到 Web UI（網頁用戶界面）與 APP（行動應用程式）。
 - 同時，數據庫的「原始數據訪問／物理基準數據」也可以直接可視化呈現在界面上，供工程師進行人工比對。

AGV 車隊智慧維運與預測性維護架構圖



1. 數據採集端（物理感知）：

- **核心對象：**針對 AGV 的核心傳動系統（如 AGV 減速機）。
- **感測技術：**部署「三軸 MEMS 震動計」與溫度感測器，專門用來獲取高頻的齒輪振動數據與溫度數據。
- **目標：**在設備健康時擷取即時數據，建立「純淨數據基準線 (Baseline)」。

2. 數據傳輸層（無線聯網）：

- 現場的多台 AGV 會透過 WIFI 模組，將時序訊號與數據即時發送至「現場伺服器／閘道器 (Gateway)」。

3. AI 核心運算層（智能診斷）：

- **核心技術：**輸入時序數據流，利用 AI 演算法進行深度學習與時序建模。
- **核心價值：**專門捕捉肉眼無法覺察的早期異常徵兆（如齒面微裂、軸承初期磨損）。

4. 視覺化監測與預警（資訊決策）：

- 將 AI 的診斷結果轉化為可視化介面 (Web

看板與手機 APP)，提供健康趨勢分析、震動波形統計，並標示齒面微裂風險。

- **亮點：**具備超前預警能力，可在故障發生前 1 至 2 個月提前釋放警訊。

5. 智能調度與維運執行（行動落地）：

- 系統發出維護指令後，透過工廠的「中繼導航站（智慧協作中心）」進行計畫性預防維護。
- 最終指引操設備維護團隊與工程師精準維修，消除突發性停工損失。

▼關鍵支撐能力：精密機構決定落地成敗

雖然 AI 與大數據分析已成為不可逆的智慧製造趨勢，但對自動化與機械產業而言，真正決定技術能否落地的核心，仍然回歸到機構本身的品質與穩定性。身為傳動系統的工程專家，我們必須強調一個核心定律：「垃圾進，垃圾出 (Garbage In, Garbage Out)」。

AI 預兆診斷模型的建立，高度仰賴長時間、連續且穩定的高質量數據來源。如果行星減速機本身的機械結構不穩定、造機工藝粗糙，感測器擷取到的時序數據將充滿因結構形變、異常晃動所產生的「機械雜訊」。這會使 AI 大腦陷入誤判，直接導致預測模型失效。因此，我們推出的精密行星減速機系列，正是專為解決此一落地痛點而生，以極致的硬體工藝為 AI 築起最穩固的物理根基。

- **極致背隙控制，建構純淨數據基準線：**宇隆所開發的行星減速機，產品透過高標準的齒輪加工與先進的製程管理，將背隙 (Backlash) 控制在極窄的超精密範圍內。這種高精度的傳動表現，消除了機械反向間隙造成的訊號突波，為地端邊緣 AI 提供極度純淨、可重複且高度可靠的「物理基準數據」。
- **高剛性與高扭矩響應，精準執行 AI 最佳化指令：**當 AI 邊緣上位控制器計算出最節能、最流暢的運動軌跡時，必須仰賴具備**高剛性與高扭矩響應**的減速機實體來精確執行，能確保在高速瞬態響應下，完美對接 AI 的毫秒級動態控制指令，不產生任何軌跡補償滯後。
- **精密防護與高維運效能，優化企業 TCO 與 LCC：**對於中小型企业與系統整合商 (SI) 而言，多自由度系統（如多軸多聯手臂、AMR 輪足機構）的實體損耗與維護效率，是評估智慧製造方案能否跨越商業化門檻的分水嶺。結合內建的 PHM 預兆診斷演算法，能主動穩定多自由度系統的動態行為，大幅避免不必要的實體磨損。這不僅延長了機械本身的壽命，更實質降低了企業的

總體擁有成本 (TCO) 與壽期效益 (LCC)。

再聰明的 AI 大腦，依然需要強固、精準的機械執行端作為骨骼。本公司的減速機正是那具通過市場嚴苛驗證的「強固機械骨骼」，而 AI 預兆診斷的作用，則是為這具骨骼增添一雙智慧雙翼，兩者缺一不可。

▼結語

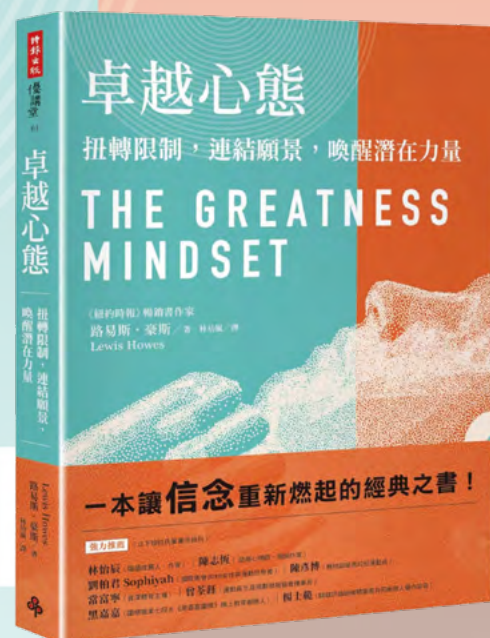
從自動化走向自主化，已成為智慧製造的重要發展方向。

引進 AI 行星減速機與預測性維護實務，其效益絕不僅止於提升產能與避免非計畫性停機，更深遠的經濟與社會價值在於推進企業的 ESG 永續製造與淨零碳排 (Net Zero) 目標。在實務運作中，系統透過分析減速機的角速度與角加速度，能夠即時進行能耗與路徑的最佳化運算。本公司高精密行星減速機憑藉優異的傳動效率，能有效減少因磨損、不當摩擦或軌跡誤差所帶來的無謂電力消耗，直接響應製造業的減碳指標。

未來，隨著具身 AI 與智慧機器人應用在全球多元現場持續擴大，如何讓設備具備長時間自主運作與高精準度的預測性維護能力，將成為智慧製造能否真正全面落地的核心金鑰。宇隆將憑藉「極致機械工藝＋原生 AI PHM 大腦」，與全球生態系攜手並進，共同驅動智慧製造更具韌性、更具經濟回報率的嶄新未來。

卓越心態

扭轉限制，連結願景，喚醒潛在力量



THE GREAT MINDSET

Lewis Howes

New York Times Bestselling Author

作者簡介

路易斯·豪斯 Lewis Howes

《紐約時報》暢銷書作家、專題講者及業界領先的節目主持人，也曾是雙料全美最佳運動員、前職業橄欖球員及美國國家男子手球隊選手。他的節目《卓越學校》(The School of Greatness) 是全球最受歡迎的 Podcast 節目之一，下載次數已超過 5 億次。曾受白宮和歐巴馬總統的認可，獲選為全美 30 歲以下百大企業家之一，也曾獲《艾倫秀》、《今日秀》、《紐約時報》、《時人》、《富比士》、《Fast Company》、《ESPN》、《Entrepreneur》、《運動畫刊》及《Men's Health》等主要媒體的訪問或報導。

一本讓信念重新燃起的經典之書！

閱讀本書，會讓你發現獨特的天賦和才華，追求自己的意義使命，並對周遭的人產生最大的正面影響。其實，卓越一直在你心中，現在，該是喚醒它的時刻了！

《紐約時報》暢銷書作者路易斯·豪斯藉由分享他的突破性發現，來闡述人們如何改寫過去，推動自己走向強大、豐盛的未來。你將透過這些發人深省的真实故事、來自業界領導者具科學依據的策略，以及循序漸進的指引，學會如何：

- 明確定義一個有意義的使命，來強化你在目前人生階段的目標
- 找出自我懷疑的根源，並克服阻礙你前進的恐懼
- 改變自己的思考方式，結束自我阻撓的想法，過著豐富的生活
- 展現你的卓越，盡可能對周遭的人產生正面影響
- 藉由應用《卓越心態》中的單元和策略，你將得以設計出夢想中的生活，並讓夢想成真

如何追求卓越？

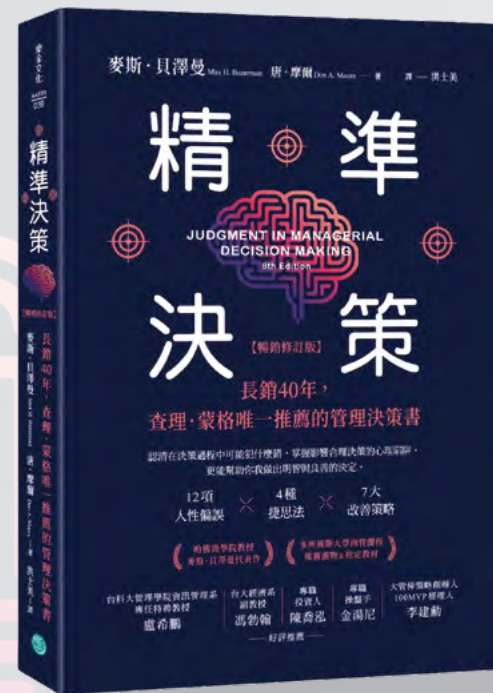
- 勇敢地提出問題。使不可能變為可能
- 給自己許可。喚起每一天並走過障礙
- 接受挑戰。利用 30、60 或 90 天的挑戰實現這一目標
- 定義你的卓越目標。使你有能力但不會讓你感到不堪重負
- 徵求支持。透過習慣和常規獲得內部支持，幫助你堅持下去
- 完成任務。分享實際完成任務和進行有意義活動的關鍵。
- 慶祝！你足夠了，成為你真實的自己，不論結果如何

精準決策

【暢銷修訂版】

長銷 40 年，
查理·蒙格唯一推薦的管理決策書

JUDGMENT IN MANAGERIAL
DECISION MAKING



作者簡介

麥斯·貝澤 Max H. Bazerman

哈佛商學院傑西·伊西多·史特勞斯 (Jesse Isidor Straus) 講座教授，教學和研究重點放在談判、行為經濟學和倫理學。曾擔任教職、提供企業顧問服務，也為 30 個國家的政府提供諮詢。曾任眾多刊物編撰委員，榮獲許多專業機構的肯定與表揚，包括：倫敦大學榮譽博士學位、亞斯本研究所 (Aspen Institute) 商業暨社會類終身成就獎、美國管理學會 (Academy of Management) 傑出教育獎等。

至今已為世界各地數百個組織提供顧問、教學和講座服務，涵蓋企業、政府到非營利組織。道德村協會 (Ethisphere) 評為「商業倫理 100 位最具影響力人物」之一。

我們總以為自己可以做到理性判斷，卻受到許多慣性思維影響而不自知

在你我的日常生活中，充斥著大大小小、各式各樣的選擇，小至吃什麼、穿什麼，大到決定幾百萬的交易等，使我們無時無刻都必須做出判斷。

在面臨抉擇關頭時，我們通常相信自己可以客觀地權衡事實，做出理性且深思熟慮的決定。然而，哈佛商學院教授麥斯·貝澤曼與加州大學柏克萊分校哈斯商學院教授唐·摩爾，透過本書的研究結果告訴我們，每個人在某種程度上會受到大腦捷思法的影響，不自覺地做了錯誤選擇。

本書清晰盤點每個人都會出現的 4 種捷思法與 12 項人性偏誤，並提供改變或改進決策過程的 7 大實用策略幫助讀者加以克服，從而做

出更合理、精準的優質決定：

- 使用決策分析工具
- 參考具有經驗的專業知識
- 採用「去除判斷偏誤」的策略
- 使用類比推理
- 採納局外人觀點
- 了解他人的偏誤
- 設計「推導出正面結果」的系統

認清在決策過程中可能犯什麼錯，掌握影響合理決策的心理陷阱，更能幫助你我做出明智與良善的決定。

查理·蒙格：「這是我讀過關於『管理決策』最有用的一本書！」

作者簡介

唐·摩爾 Don A. Moore

加州大學柏克萊分校哈斯商學院（全美頂級商學院之一）領導力講座教授、西北大學組織行為學博士。他的研究興趣著重於認知心理學中的「過度自信」。

譯者簡介

洪士美

專業譯者，中央廣播電台節目主持人。譯作有：《下重注的選股智慧：顛覆分散投資配置，巴菲特、蒙格等 8 位卓越投資者的超凡布局心法》、《讓幸福流進來的賺錢框架：愛錢不丟臉，告別金錢焦慮，財務自由和成就感我全都要！》等。

autoMEX PENANG

MALAYSIA'S GATEWAY TO
**AUTOMATION TECHNOLOGY
& SMART MANUFACTURING
SOLUTIONS**

3-5

NOV 2026

SETIA SPICE
CONVENTION
CENTRE
PENANG



STAY
CONNECTED

Organised By:



Strategic Partner:



METALTECH & AUTOMEX
www.automex.com.my



VIETNAM INDUSTRIAL & MANUFACTURING FAIR 2026/27

CATALYZING THE MANUFACTURING REVOLUTION IN VIETNAM

VIMF



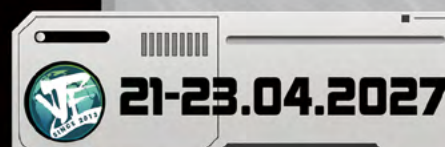
VIAF

THE INDUSTRY'S BIGGEST MODERN
MANUFACTURING, ADVANCED ENGINEERING
AND STRONG SUPPORTING INDUSTRIES IN
VIETNAM

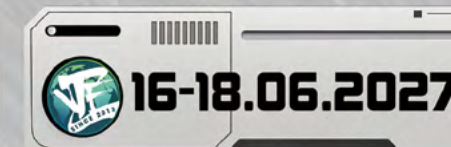


04-06.11.2026

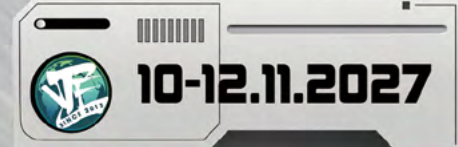
NORTHERN CHAPTER
BAC NINH



NORTHEAST SECTION
HAI PHONG



SOUTHERN CHAPTER
BINH DUONG



NORTHERN CHAPTER
BAC NINH



www.vietnamindustrialfiesta.com



register@vietnamindustrialfiesta.com



+ 84 906 472 029 + 84 968 127 379



社團法人台灣智慧自動化
與機器人協會

115 年度 – 課程資訊

開課時間	課程名稱	課程時數	開課地點
8/24、8/25 8/31、9/1	【免費課程】 機器學習與 AutoML：從 AI 原理到實務應用	30	台中
9/31、9/4 9/10、9/11	AI 數位雙生虛擬機台開發與智慧製造應用實務	30	台中
9/17、9/18 9/24、9/25	工業鑑別式 AI 與 AI 行動相機實務課程 - 從 AI 基礎理論到 AI 產線落地實作	30	台中
10/5	MXCA 工業無線網路實作班	7	台北
10/6	MXCP 工業無線網路實作班	7	台北
10/7、10/8 10/14、10/15	工業鑑別式 AI 與智慧視覺應用實務課程 - 從 AI 模型建構到產線檢測實戰	30	台中
10/29-10/30	MXCA 工業網路通訊基礎架構實作班	14	台北
11/26-11/27	MXCP 工業網路通訊 - 進階實作班	14	台北

◎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 B2B 智動化與機器人展館

一站式採購平台

90+ COMPANIES

400+ PRODUCTS



主題展館：

- 工業機器人
- 關鍵零組件
- 永續製造
- 自動化設備
- 5G 製造
- AI製造



支援超過 40 種語言

突破語言限制，拓展全球商機

AI 採購助理

自動化採購流程，智慧比對製造商，並透過 AI 協助決策。



Welcome to visit



Embodied AI

具身人工智慧：從感知到現實世界機器人的行動

www.tairoa.org.tw

TAIROA 台中 × TAIRQA 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, Xincheng S. Rd.,
Zhongzheng Dist., Taipei City 100, Taiwan
TEL: 886-2-2393-1413
FAX: 02-2393-1405
EMAIL: exam@tairoa.org.tw



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

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