

人形機器人與人工智慧的融合： 現況與展望

盧冠芸

資深產業分析師兼組長

產業情報研究所

財團法人資訊工業策進會

2025.03.19



人形機器人成為「物理AI」重要載具



Elon Musk
(Tesla執行長)

- Tesla AI Day展示人形機器人「Optimus」原型，2023年12月推出第二代，大幅升級軟硬體功能 (2022.09.30)
- 2024年沙烏地阿拉伯未來投資倡議高峰會 (Future Investment Initiative, FII) 表示**2040年人形機器人數量將超越人類**，屆時將有100億台，且價格在2 - 2.5萬美元之間 (2024.10.28)

- ITF World 2023表示，AI的下一個浪潮將是「具身智慧」 (Embodied Intelligence)，意即能理解、推理、並與物理世界互動的智慧系統 (2023.05.16)
- CES 2025公布「物理智慧」 (Physical AI) 時代將到來，發布多個人形機器人訓練平台，並表示未來三種機器人 (汽車、無人機、人形機器人) 將實現大規模生產，產量最大的將是人形機器人 (2025.01.07)



黃仁勳
(NVIDIA執行長)



David Holz
(Midjourney創辦人)

- 2040年代，地球上將有10億個人形機器人；2060年代，整個太陽系將有1,000億個機器人 (多數為外星機器人) (2024.01.16)

- 受訪時表示，接下來數十年的挑戰是如何擴大人形機器人生產規模，並將足夠數量供應到市場。長期來看，每個家庭都會想要人形機器人，如同汽車與手機勞動力市場也會有數十億個 (2024.11.11)



Brett Adcock
(Figure AI創辦人)

資料來源：Elon Musk、黃仁勳、David Holz、Brett Adcock、MIC整理，2025年3月



人形機器人定義與特徵

定義	<ul style="list-style-type: none">• 模仿人類形態（頭部、軀幹、手臂、腳）的雙腳機器人• 與人類合作以提高生產力和效率的通用機器人
特徵 / 結構	<ul style="list-style-type: none">• 先進的感測器、伺服驅動器（或執行器）和機器人運算的組合• 能夠執行與人體關節類似的自由度（DoF）的各種運動
學習 / 原理	<ul style="list-style-type: none">• 在模擬和真實環境中基於人工智慧的學習• 經過學習後，將優化後的模型載入到機器人上，進行自主運作
發展課題	<ul style="list-style-type: none">• 設計困難：雙足行走平衡、精密驅動器、電池容量• 缺乏資料：難以確保人員流動和環境資料• 先進的AI運算：需要多自由度控制和即時處理

資料來源：MIC · 2025年3月

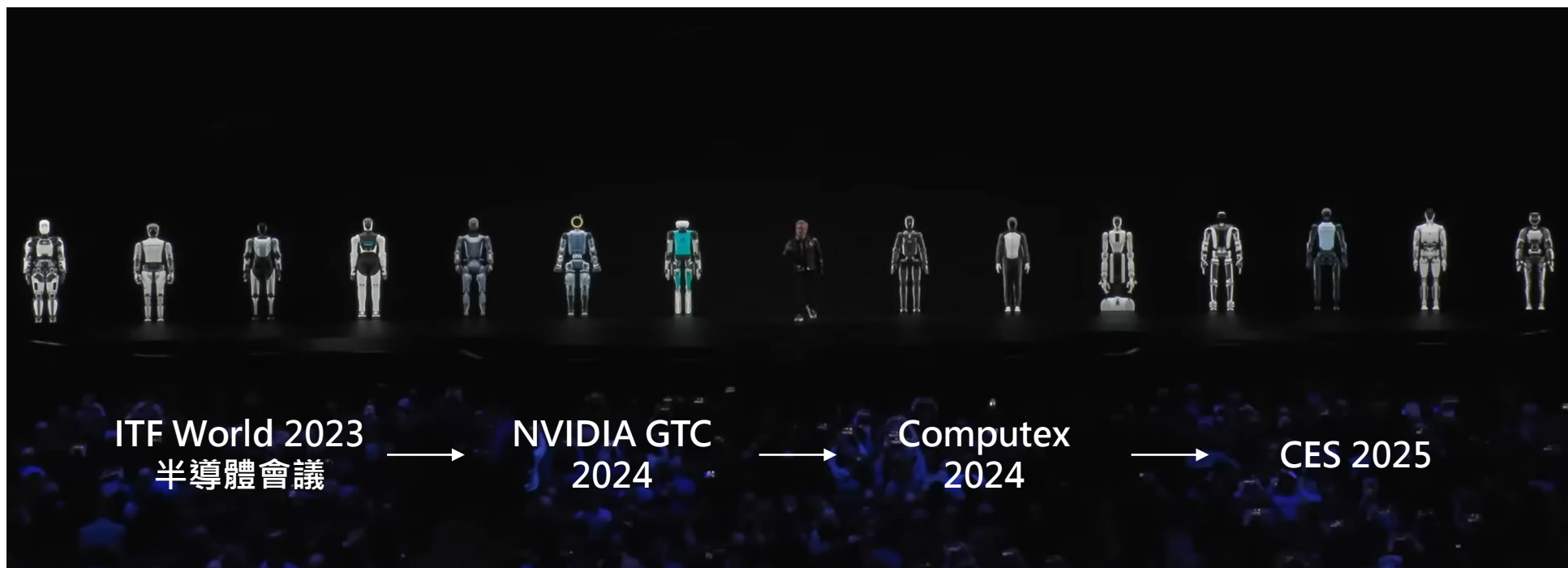
簡報大綱

- 人形機器人與AI融合之發展現況
- 人形機器人與AI融合之應用趨勢
- 人形機器人與AI融合之未來展望
- 結論

人形機器人與AI融合之發展現況



AI新進化，超越數位空間擴展到物理世界的 「物理AI」(Physical AI)



資料來源：CES 2025 NVIDIA Keynote · MIC整理 · 2025年3月

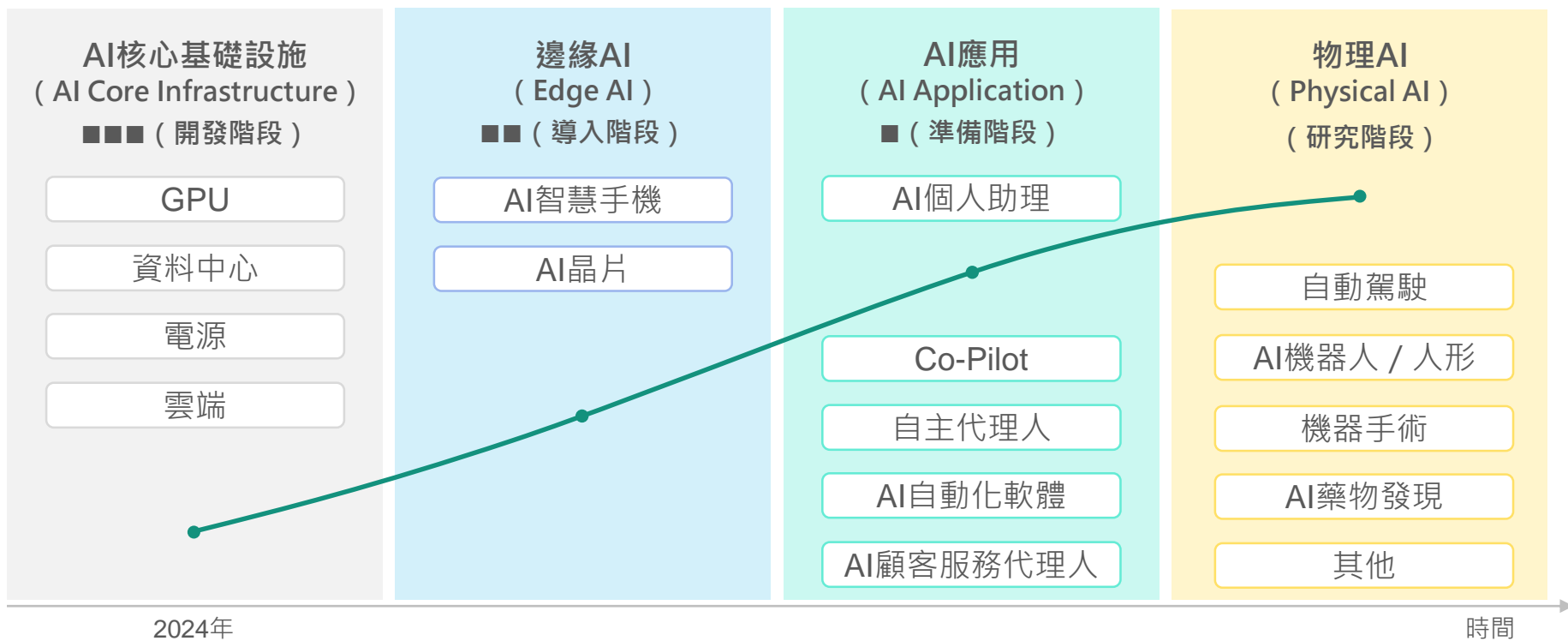
- 繪圖晶片大廠輝達 (NVIDIA) 執行長黃仁勳執行長自2023年便開始強調生成式AI之後，人形機器人將成為AI的載體、能成為「具身智慧」(Embodied Intelligence)，CES 2025更提到「物理智慧」(Physical AI) 時代將到來，強調包含人形機器人在內的技術將處於中心位置
- AI僅透過文本、圖像等數位資料學習的知識，其缺點是不理解物理世界和規律，因此，AI要認識、學習和理解物理現實環境，需要人形機器人等物理形體，讓AI擁有身體，從數位走向現實世界



理解物理世界，生成式AI尚缺文本資料學習

■ AI滲透率 ■ 市場規模與發展流程

各技術階段的AI發展流程和市場滲透率



資料來源：MIC · 2025年3月

- AI核心基礎設施 (AI Core Infrastructure)：運作AI的核心基礎設施，如圖形處理單元 (GPU)、雲端和資料中心
- 邊緣AI (Edge AI)：AI再行動、物聯網 (IoT)、邊緣設備等領域的應用
- AI應用 (AI Application)：AI為實際企業或使用者的提供價值 (應用服務、軟體等) 的階段
- 物理AI (Physical AI)：直接與實體環境互動的AI，如機器人與自動駕駛



直覺化訓練，教導相同體格機器人更便利

專用型機器人



- + 技術取得容易；機械和運算強度較低
- + 在需要有限靈活度、重複性任務中非常有效
- 無法有效執行需要高度靈活度或智慧的任務
- 安裝環境需要對工作場域進行大幅度調整來適應

人形機器人



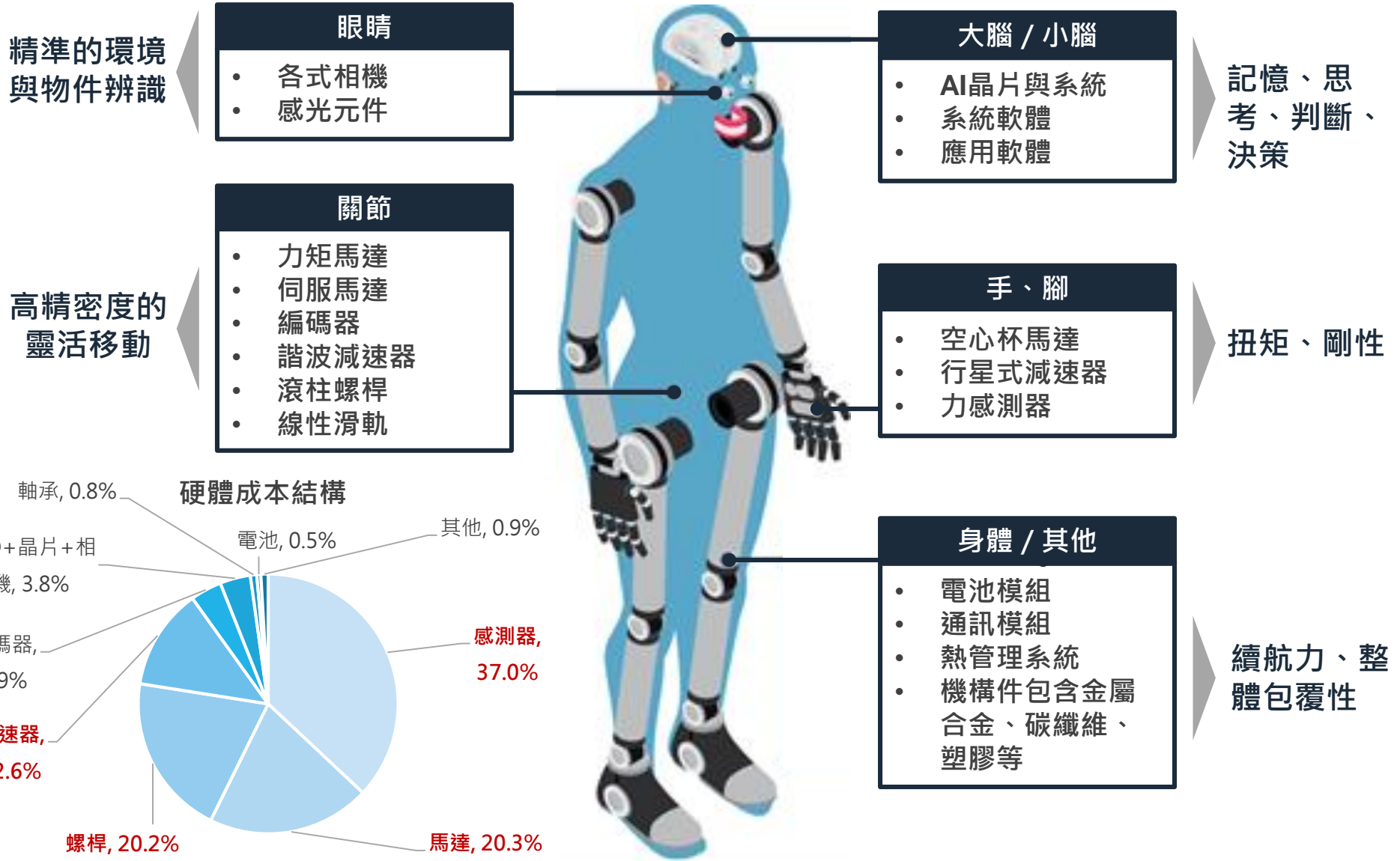
- + 能夠完成高度靈活和智慧的複雜任務
- + 修改現有工作場域或方法的需求有限；可與人互換
- 技術尚在開發中；需要高度先進的AI和機械工程
- 可能需要大量的訓練 / 反覆試驗

資料來源：KUKA、Unitree、MIC整理，2025年3月

- 黃仁勳執行長近期表示：最容易適應這個世界的機器人還是人形機器人，因為人類為自己創造這個世界；人類也會比其他類型的機器人擁有最多的資料來訓練這些機器人，因為彼此擁有類似的體格



人形機器人組成結構分為腦、身體與整合



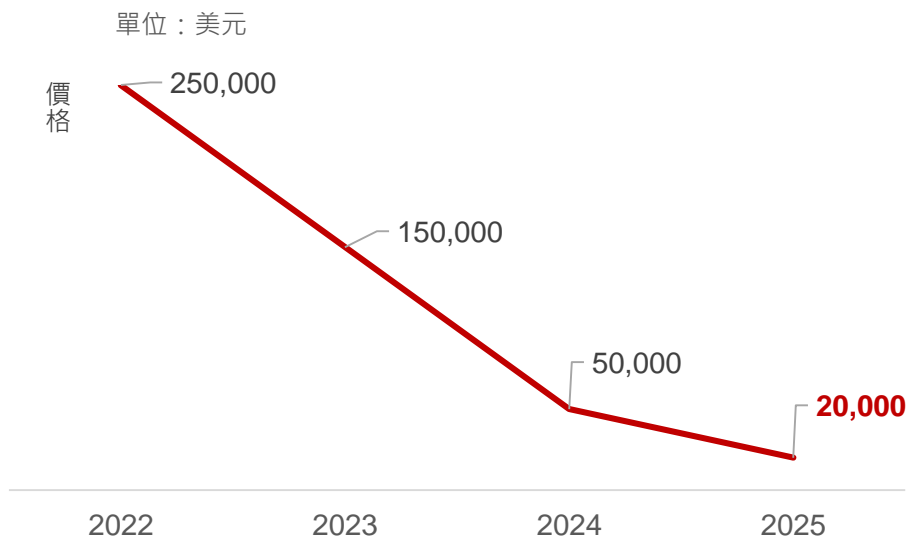


全球量產體制正在形成，單價有望大幅下降

Amazon導入Digit到物流中心搬運應用



人形機器人單價(反映造價)降幅



資料來源：Amazon、Agility Robotics、Goldman Sachs、MIC整理，2025年3月

- 人形機器人製造成本已從2022年25萬美元，在2023年降至15萬美元，降幅達40%，人形機器人價格從住宅價格下降到汽車價格
- BMW、Amazon等跨國企業正式導入人形機器人，量產體制正在建立，未來透過大規模量產零組件實現規模經濟，並在通用技術標準化取得進展，人形機器人價格將有望進一步降低
- Tesla Optimus的目標是透過量產，將價格降低到2萬美元（約新台幣64萬元）水準
- 若能達2萬美元的價格水準，將能夠透過機器人即服務（Robot as a Service, RaaS）的商業模式，將人形機器人迅速擴散到工廠和商業設施，進入普及階段

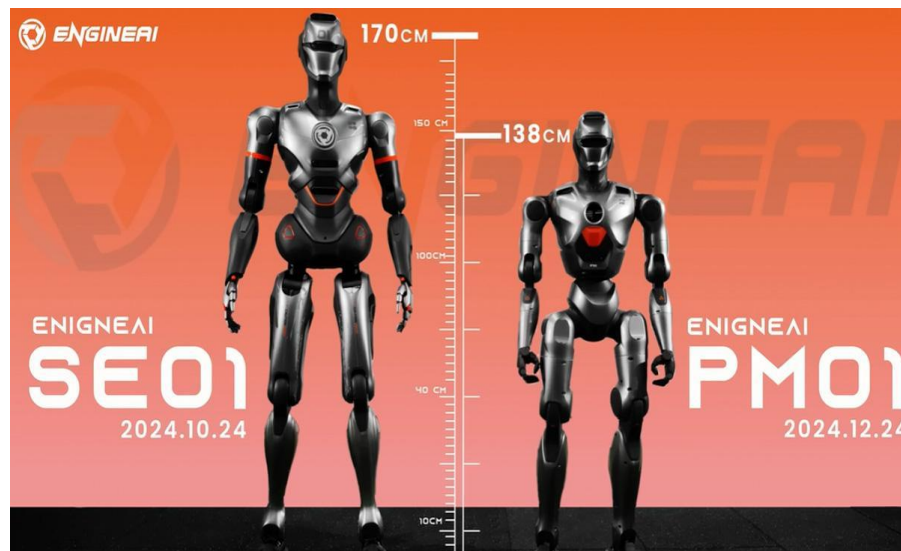


低價機型的推出和租賃導入緩解進入障礙

Figure 02採租賃模式進入BMW產線應用



EngineAI的PM01開發者版搶攻低價市場



資料來源：Figure AI、EngineAI、MIC整理，2025年3月

- 美國Figure AI開發人形機器人Figure 02具有連續5小時運行和每小時移動5公里的高性能，同時，租賃成本低於每個月500美元，受到市場關注
- 中國眾擎機器人公司（EngineAI）發布PM01人形機器人，以8.8萬人民幣（約新台幣40萬元）上市，透過價格競爭力進入市場，加速低價型號的上市



零組件標準化和生產過程效率化將降低成本

伺服驅動系統從液壓轉為電動

Boston Dynamics Atlas



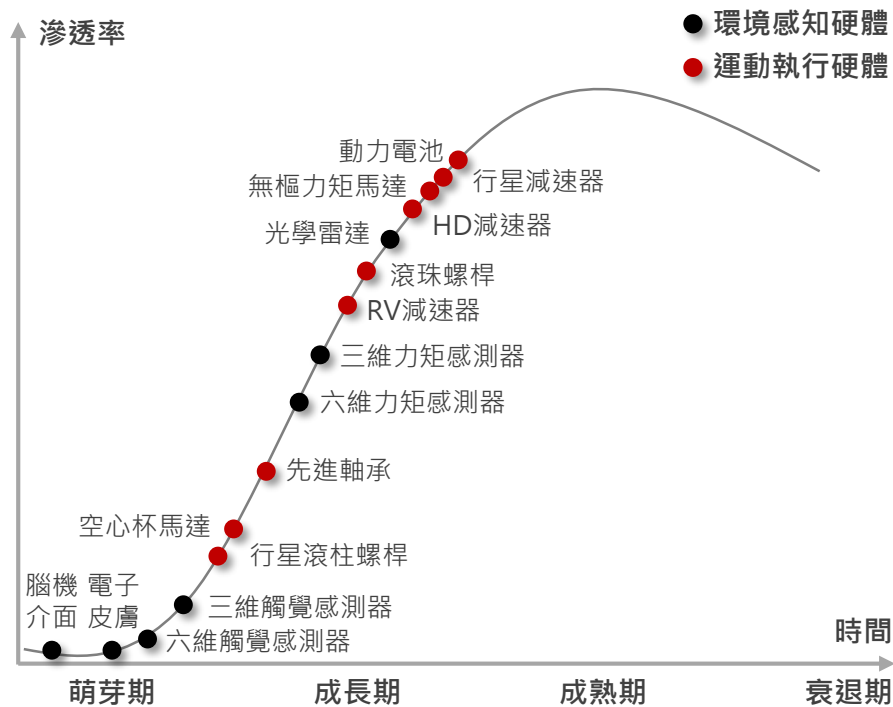
Boston Dynamics All New Atlas



伺服驅動器（馬達或致動器）類別

類別	特性
電磁	多用於剛體機器人，但特別是考慮到有限的電池容量和產生的電池附加重量，輸出與重量的比率需要提高
液壓	經常用於需要高功率的系統之液壓驅動器由於便攜性問題，對移動機器人的應用有限
氣動	傳動裝置較為輕便，在軟體機器人較受普遍，但考慮到能源的便攜性和空氣的壓縮性，精確控制等需要進一步研究
智慧材料	電活性聚合物等智慧材料在輸出與重量有潛力，但輸出較小，傾向產生位移，需要與傳統控制系統不同的特殊功率

人形機器人核心硬體的產品生命週期

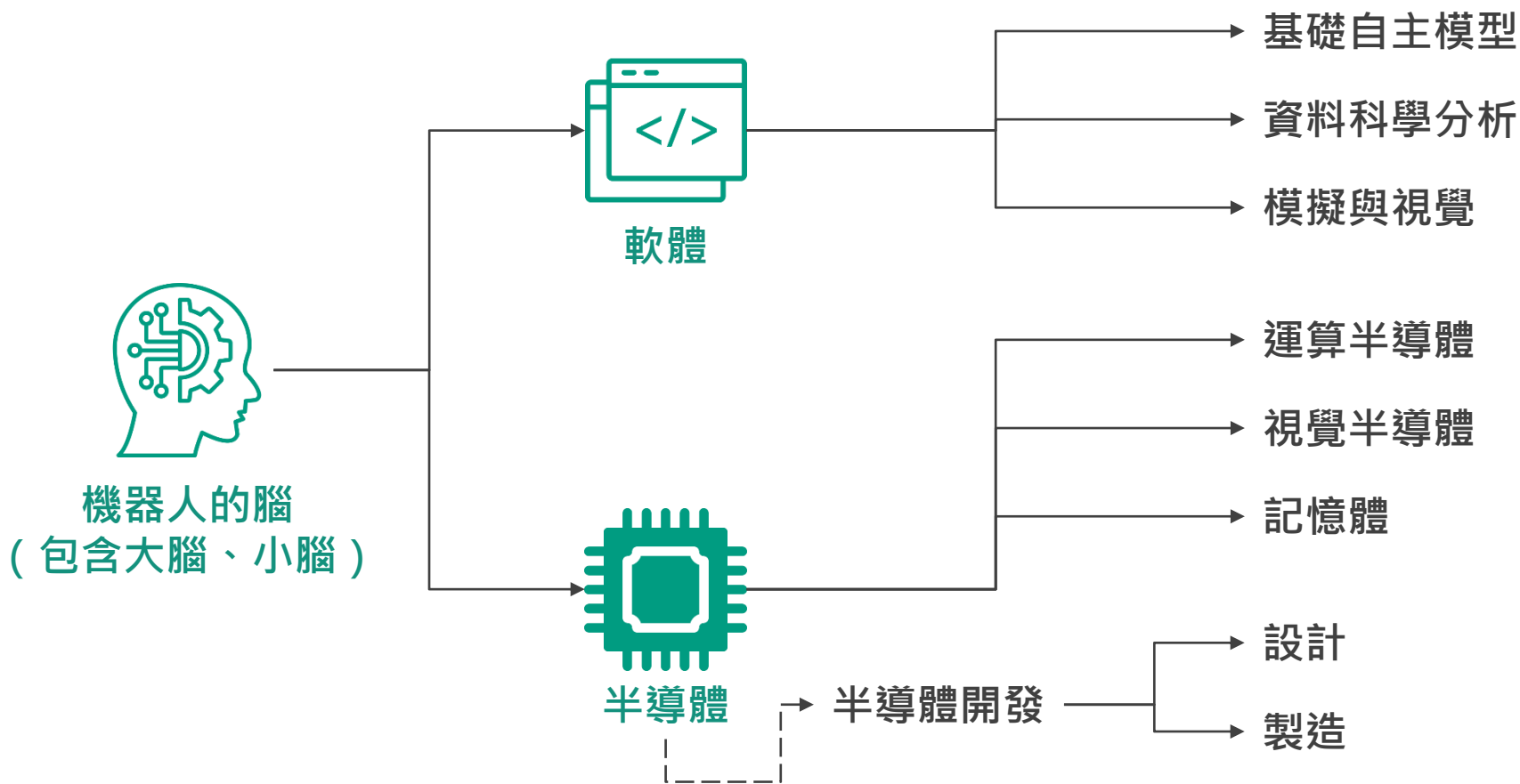


資料來源：Boston Dynamics、Computing Community Consortium (CCC)、Morgan Stanley、MIC整理、2025年3月

- 製造成本比重最大的伺服驅動系統如驅動器（Actuator）/ 馬達從液壓式轉變為電動式
- 人形機器人專用生產線的建立和核心零組件的模組化提高生產效率，電池感測器等主要零組件的價格也持續下降
- 製造商的大規模投資擴充研發和生產基礎設施，預計在未來5年內將持續下降到目前價格的一半

人形機器人與AI融合之應用趨勢

人形機器人之腦由軟體 / AI模型與半導體組成

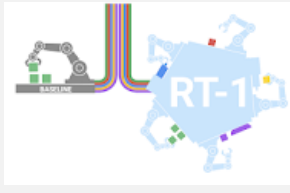






資料來源：MIC · 2025年3月

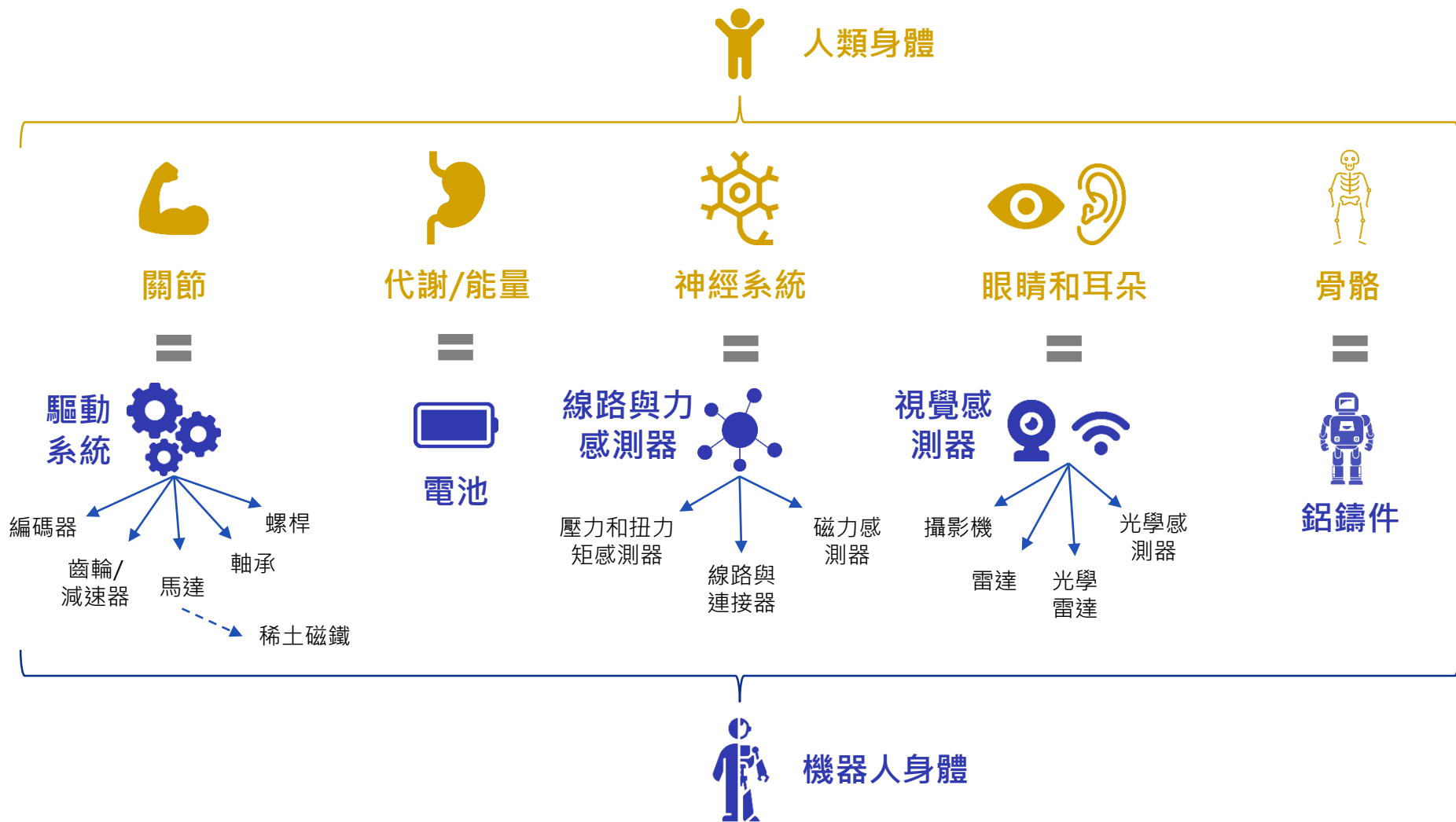
- 人形機器人之腦 (包含大腦與小腦) 主要分為半導體、軟體 / AI模型，相關模型係為實現人形機器人自主性 (包含訓練與推理) 所必備的



基於AI的機器人軟體技術持續完善

領域	主要技術	開發企業	主要特徵	應用現況	產品圖像
基礎模型 (Foundation Model)	RT-1	Google	基於大規模資料學習提升通用機器人能力	提高非學習任務的成功率	
機器人訓練平台	GR00T	NVIDIA	自然語言理解與行為模仿	虛擬環境訓練與實際應用	
動作學習模型	Large Motion Model (LAM)	Multiple	學習人類行為模式，獨立運動	能夠執行多個單位任務	
機器人作業系統	ROS、ISSAC	Open Robotics、NVIDIA	感測器、驅動器和AI演算法的整合管理，開源	協作機器人、仿真擴展	
物理AI (Physical AI)	COSMOS	NVIDIA	支援機器人學習和模擬，開源	數位雙生解決方案與Omniverse整合	

人形機器人身體涵蓋運動、動力、感測與結構



資料來源：MIC · 2025年3月

- 人形機器人之身體 (或軀幹) 包含實現人形運動、動力 (配電)、感測和結構的零組件



人形更為通用，但仍需要為應用情境優化

企業/產品名稱	圖示	國家	製造	物流	服務	健康照護	建設	軍事
Tesla / Optimus Gen2			●	●	●	◐	-	-
Boston Dynamics / Atlas			●	●	-	-	◐	◐
Figure AI / Figure 02			●	●	●	◐	-	-
Agility Robotics / Digit			◐	●	●	-	-	-
Apptроник / A1			-	●	●	◐	◐	◐
Sanctuary AI / Phoenix			-	●	●	-	-	-
1X Technologies / Neo			◐	●	●	●	-	-
Unitree / G1			●	●	-	-	-	-
UBTECH / Walker			●	●	●	◐	-	-
Fourier / GR-1			-	◐	◐	●	-	-

資料來源：各公司，MIC整理，2025年3月



製造領域：提高生產力與減少不良率



Figure 02採租賃模式進入BMW產線應用



Helix模型結合控制與語言提示且能多機合作



資料來源：Figure AI、BMW、MIC整理，2025年3月

- 應用：Figure AI於2月發表Helix機器學習模型，讓機器人透過視覺感測及語言提示作業相互配合，能控制機身更大範圍、訓練更快速簡易，讓機器人在製造場域應用更廣，並有機會進入居家應用
- 實績：Figure AI人形機器人已部署至BMW的汽車產線上組裝車身配件，而搭載Helix模型的機器人，則能讓複數機器人系統合作，其展示影片便是兩台機器人收拾與合作傳遞、整理物品
- 效益：在生產體系連續24小時運作，提高生產力，在需要高度判斷的瑕疵（品質）檢測過程，也將提高精準度來降低最終產品不良率



物流領域：少量多樣的揀貨與包裝自動化



放棄液壓馬達改採電動馬達設計



為汽車廠零件排序的物流任務



資料來源：Boston Dynamics、Hyundai Motor Group、MIC整理、2025年3月

- 應用：Boston Dynamics（現代汽車集團收購）於2024年4月發表新款Atlas人形機器人，放棄液壓馬達、改採電動馬達設計，讓Atlas能以最有效的方式移動並完成任務，優先部署於現代汽車
- 實績：Boston Dynamics與RAI Institute合作，將Atlas部署至現代汽車集團，學習從狹窄的庫存區將零件依照產線所需的正確順序重新分類到料架，完整的零件排序涵蓋數千種不同的零件
- 效益：零件排序任務具有一定複雜性，單調、重複性高，且對人體工學具有挑戰性，Atlas目前的部署讓涉及物流少量多樣的揀貨和包裝等業務自動化露出曙光，未來，將是人形機器人關鍵應用



服務領域：接待導引與照護輔助成焦點



使用針織尼龍材質製成外層「服裝」



執行包括沖泡咖啡、洗衣服以及打掃等家務工作



資料來源：1X · MIC整理 · 2025年3月

- 應用：1X發表家用機器人NEO Gamma，為其設計類似肌肉的結構和觸感柔軟的外型，並用於測試居家環境的各項任務，包含沖泡咖啡、洗衣服以及打掃等家務工作，且能在室內與室外輕聲移動
- 實績：NEO Gamma最顯著的改進集中在AI，包含建立一個多用途全身控制器優化運動控制效能、配備改良的通用的視覺操控模型（在不同情境擷取多樣物體）、內建LLM實現自然對話和肢體語言
- 效益：NEO Gamma設計理念是平易近人，能補充而非破壞生活空間，因此，在硬體有許多調整和升級，強化人機溝通互動並降低噪音，放眼未來服務應用，期望強化接待導引與照護輔助等



各業種因人形機器人的通用性獲得更多效益

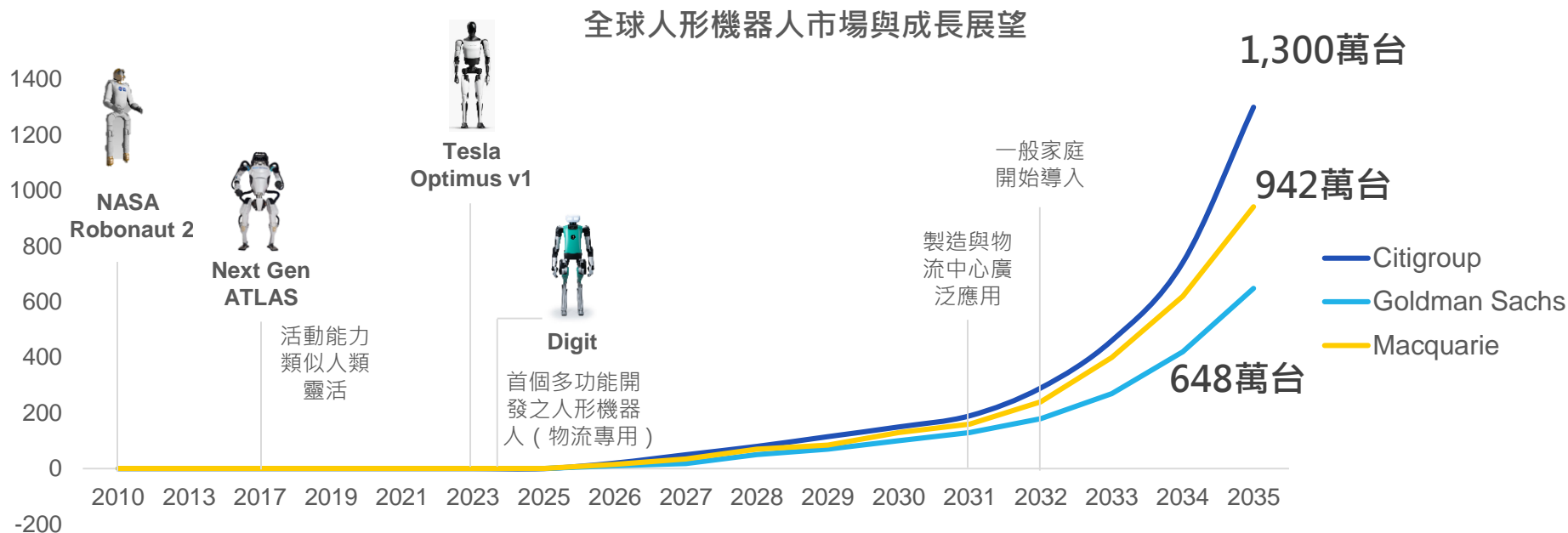
	應用案例	導入企業	預期效益	導入時間
製造領域	<ul style="list-style-type: none"> • 汽車零組件組裝 • 品質檢查 • 設備維護 	BMW、Tesla、Magna	<ul style="list-style-type: none"> • 提高生產力 • 降低不良率 • 降低人力成本 	2024年
物流領域	<ul style="list-style-type: none"> • 貨物揀貨 / 包裝 • 庫存管理 • 出貨支持 	Amazon、DHL、GXO Logistics	<ul style="list-style-type: none"> • 提高產量 • 減少錯誤投放 • 24小時運行 	2024年
健康照護	<ul style="list-style-type: none"> • 病人護理 • 復健支持 • 防疫 / 消毒 	Mayo Clinic、Hippocratic AI、Hanson Robotics	<ul style="list-style-type: none"> • 減少服務人員的負擔 • 降低感染風險 • 24小時監測 	2025年
服務領域	<ul style="list-style-type: none"> • 飯店服務 • 賣場導引 • 清潔 / 管理 	Hilton、Starbucks、Unitree	<ul style="list-style-type: none"> • 提高顧客滿意度 • 擴大營運時間 • 降低人力成本 	2026年

資料來源：MIC · 2025年3月

人形機器人與AI融合之未來展望



國際投資機構紛紛上修人形機器人市場預測



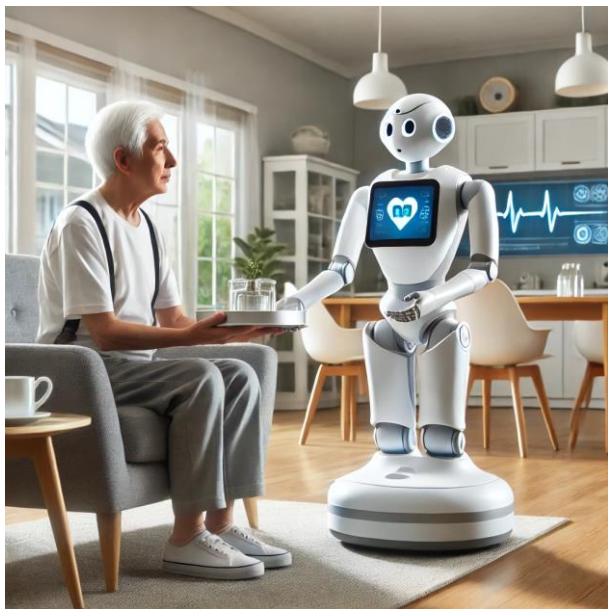
資料來源：Citigroup、Goldman Sachs、Macquarie、MIC整理、2025年3月

- 花旗集團 (Citigroup) 預測，全球人形機器人2035年出貨量達1,300萬台、2050年達6.5億台
- 高盛 (Goldman Sachs) 根據基本、強勢、弱勢、最佳等4種情境，未來在基本情境中，全球人形機器人市場將達到2030年292萬台、2035年648萬台，2026年至2035年間將保持每年50%的高成長率
- 麥格理 (Macquarie) 全球2030年達116萬台 (普及率0.85%)、2035年942萬台 (普及率8.52%)
- 摩根士丹利 (Morgan Stanley) 認為人形機器人比自動駕駛車更快普及，僅僅在美國，2040年將有800萬台，2050年達到6,300萬台，可能影響75%的職業、40%員工，以及3兆美元的薪資

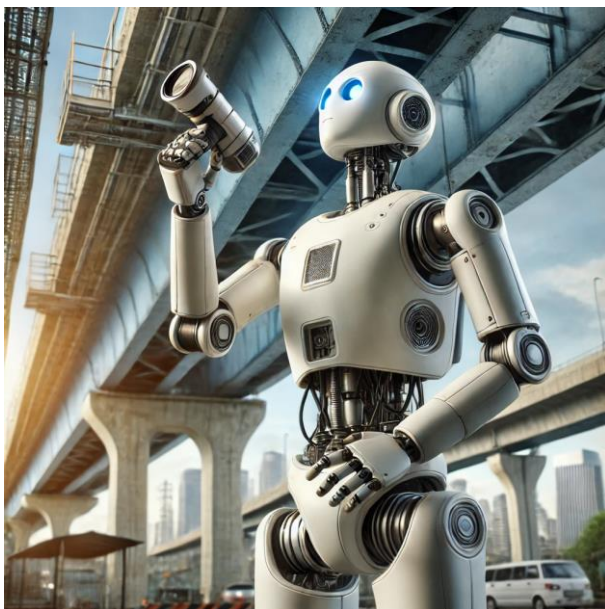


社會結構變化將推升人形機器人需求

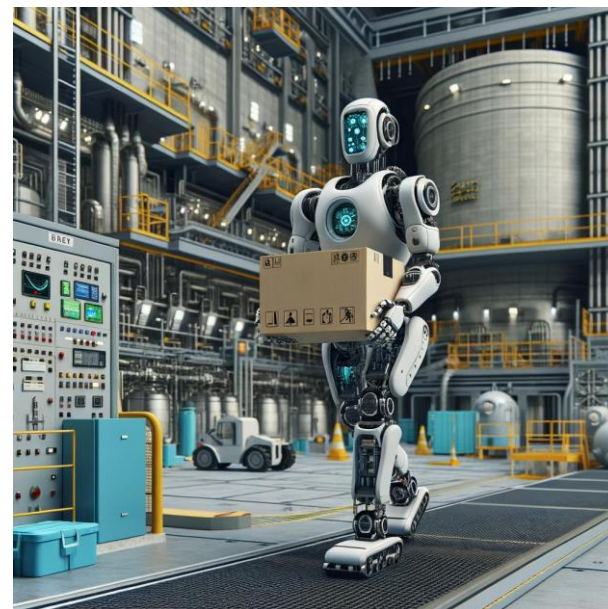
機器人輔助家事照護



基礎設施檢修或建設



搬運或特殊環境作業



資料來源：MIC · 2025年3月

- 低生育率、高齡化加速、嬰兒潮熟練工人一代退休，以及難以招募到員工的「3D」工作，包含骯髒（Dirty）、困難（Difficult）、危險（Dangerous）等社會結構轉變，促進人形機器人的需求
- 高齡人口比例增加，帶動照護人力需求增加；而基礎設施老化的檢修，或是特殊環境作業，都需要機器人的輔助或執行
- 美國等已開發國家，卡車司機、教師、護理師、飛機駕駛員等職業的人力短缺現象嚴重，甚至擁有14億人口的中國大陸，農村、工廠、療養機構的人力不足，糧食自給率和工廠利用率都持續下降

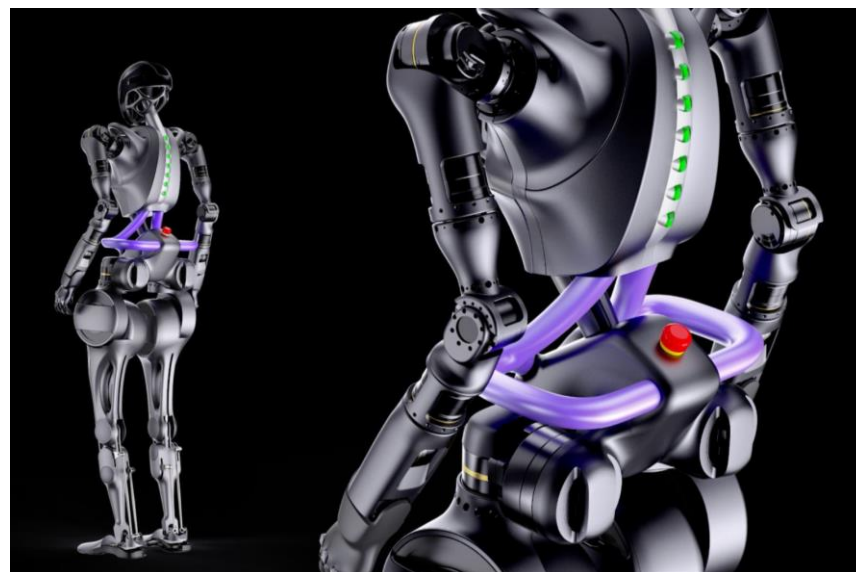


應用始於製造、物流，而後擴散至服務領域

Tesla將其Optimus Gen3用於汽車產線部分作業



Fourier目前被訓練作為家事或基礎照顧使用



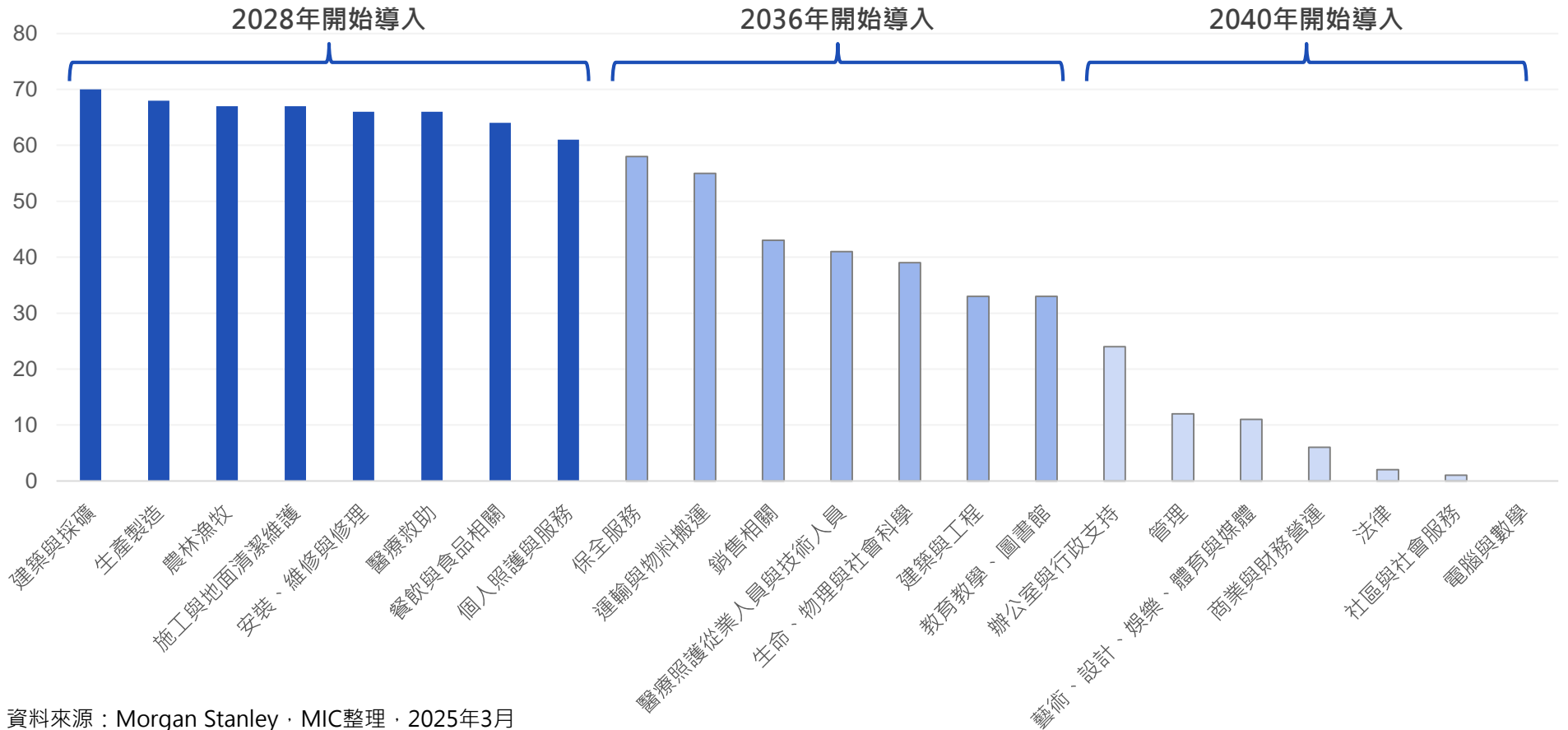
資料來源：Tesla、傅立葉 (Fourier) · MIC整理 · 2025年3月

- 人形機器人預計從2024年開始在製造、物流領域開始試運行，而後，分階段導入至服務、健康護理領域，2026年後將正式形成商業化市場
- 全球汽車製造商開始將人形機器人導入到生產線，先用於搬運和簡易組裝作業；Amazon、DHL等物流公司則透過單獨的驗證測試，讓人形機器人在其倉庫中心內監控和輔助包裝作業的自動化
- 未來人力較為短缺的產業如服務業、醫療照護等，預計2025年後將導入人形機器人用於顧客接待或病患照顧，抑或是休閒娛樂等領域



2028年產業開始大幅導入人形機器人

美國主要產業的人形機器人導入時機展望



資料來源：Morgan Stanley · MIC整理 · 2025年3月

- 具身智慧風潮下，人形機器人的導入率將比自動駕駛車更快，原因在於自動駕駛車的營運環境和安全規範較為複雜、普及的難度更高
- 預計人形機器人將在2028年左右普及到製造業、醫療業、建設業、農業等人類覺得危險、辛苦、不願從事的產業、職業，但各業種的導入率仍會存在差異



全球100家核心上市公司力拼人形機器人

腦

基礎模型	資料科學與分析	模擬與視覺軟體	半導體(視覺、運算)	半導體(記憶體)	半導體(設計)	半導體(製造)
Alphabet, Meta, Microsoft, NVIDIA, Baidu	ORACLE, Palantir, Microsoft	HEXAGON, NVIDIA, Meta, Dassault Systèmes, Alphabet, SIEMENS	intel, NVIDIA, mobileye, Qualcomm, Ambarella, Horizon Robotics	SAMSUNG, micron, SK hynix	arm, synopsys, cadence	tsmc, SAMSUNG, intel

身體

驅動(致動)系統		感測器	電池	半導體(類比)	機身/配線/散熱	多元自動化
軸承	驅動器	雷達與光達	EVE Energy, SAMSUNG, SAMSUNG SDI, LG Energy Solution, CATL	ALLEGRO, ANALOG DEVICES, infineon, NXP, RENESAS, onsemi, ST, life.augmented	鋁鑄件	Honeywell, Rockwell Automation, SIEMENS, FOXCONN
螺絲螺桿	編碼器	壓力/扭力矩			MAGNA, XUSHENG	
齒輪/減速器	馬達	攝影機/視覺	Melexis, SONY, HEXAGON, onsemi, TEXAS INSTRUMENTS	Amphenol, TE, APTIV	電線與連接器	RA, SIEMENS, FOXCONN
稀土磁鐵	稀土磁鐵	攝影機/視覺			散熱	

系統整合

TESLA, amazon, Alibaba	BYD, Alibaba
Apple	SAMSUNG
UBTECH	RAINBOW ROBOTICS
SONY	LG
TOYOTA	HYUNDAI
广汽集團 GAC GROUP	ESTUN AUTOMATION
Tencent 腾讯	
MI xiaomi	ABB
TERADYNE	
Midea NAVER	
FOXCONN	
XPENG	

結論



結論

- 通用的人形機器人受惠於生成式AI發展、量產提升價格競爭力以及全球高齡化
 - ◆ 具身智慧、物理智慧會將AI嵌入物理實體，目前電動車、自駕車遇冷，資本市場將目光望向人形機器人，期望創造讓人類以最自然方式教導機器人學習技能與互動
 - ◆ 整體而言，三大力量將推升人形機器人商業化，包含：①生成式AI發展、②量產提升價格競爭力、③全球高齡化拉動市場成長
- 人形機器人發展尚在初期階段，製造與物流開始場域試驗，台灣供應鏈應思考多重布局
 - ◆ 供應鏈韌性與生產基地遷移推進機器人市場成長，近期市場技術與應用聚焦通用型的人形機器人，生產製造和物流運輸領域將有先導案例，透過實際應用預計會留下利基應用
 - ◆ 台灣機器人供應鏈完整，有望從應用上發展整合方案，開發關鍵模組技術產品切入人形機器人供應體系；此外，晶片生態系與資通訊供應鏈完備，有望從關鍵零組件、機器人量產與組裝等，成為相關供應鏈關鍵要角



MIC 產業提昇的關鍵力量
Thank You

盧冠芸 資深產業分析師兼組長

lisalu@iii.org.tw

產業情報研究所

智慧財產權暨引用聲明

- 本活動所提供之講義內容或其他文件資料，均受著作權法之保護，非經資策會或其他相關權利人之事前書面同意，任何人不得以任何形式為重製、轉載、傳輸或其他任何商業用途之行為
- 本講義內容所引用之各公司名稱、商標與產品示意照片之所有權皆屬各公司所有
- 本講義全部或部分內容為資策會產業情報研究所整理及分析所得，由於產業變動快速，資策會並不保證本活動所使用之研究方法及研究成果於未來或其他狀況下仍具備正確性與完整性，請台端於引用時，務必注意發布日期、立論之假設及當時情境