

特斯拉的人形機器人(B): Optimus部門與人形機器人的未來競賽

2025年10月，特斯拉Optimus專案的負責人正為一場與伊隆·馬斯克(Elon Musk)的關鍵策略審查會議做準備，辦公室的螢幕上閃爍著最新的內部進度報告。對外，Optimus專案無疑是一場巨大的成功。最新一代Gen 3原型機器人展示了如「功夫」般複雜的動作，甚至在迪士尼電影首映會上與好萊塢明星互動，這些影片在社群媒體上瘋傳，點燃了投資者與公眾的極大熱情¹。然而，在內部，情況遠比表面上看起來複雜。

團隊在技術上取得了非凡的進展，但通往大規模量產、且將成本控制在30,000美元以下的道路依然充滿挑戰。與此同時，螢幕上的新聞快訊不斷彈出：中國的競爭對手優必選(UBTech)剛剛簽署了一份創紀錄的3,500萬美元商業合約，用於其Walker S2人形機器人；而摩根大通(JPMorgan)的最新報告更直指，中國企業將成為這場加速發展的市場中的主要受益者³。

核心的矛盾在此刻顯得尤為尖銳：馬斯克堅定不移地追求一個能夠開創「富足時代」(age of abundance)的通用型機器人宏大願景⁴，而市場的現實卻是，那些採取更務實、更聚焦策略的競爭者正在贏得第一批商業訂單。擺在會議桌上的核心問題是：Optimus專案應該繼續堅持其革命性但長期的願景，還是應該轉向一個更狹窄、更易於近期實現的工業應用，以反擊競爭對手，並立即證明其商業可行性？

馬斯克的哲學：不只是一個機器人

要理解Optimus專案，就必須先理解其在馬斯克宏大藍圖中的定位。這不僅僅是一條新的產品線，而是特斯拉使命的終極體現。馬斯克的論述將Optimus定位為開啟一個「富足未來」的關鍵，在這個未來中，貧困將被消除，全球經濟將被徹底改造⁴。他預測，在卓越的執行力下，特斯拉將成為「迄今為止世界上最有價值的公司」，而Optimus最終將佔據其價值的80%³。這為Optimus專案設定了極高的內部期望，也為其巨大的研發投入提供了正當性。

此專案被視為特斯拉作為一個垂直整合的工程與製造巨頭核心身份的延伸，充分利用了其在電動車、電池技術和人工智慧領域積累的專業知識⁹。就連將特斯拉的法定總部遷至德州，也被視為是為公司下一階段增長奠定基礎的一部分¹²。

「第一個也是最好的客戶」策略

Optimus專案的核心策略之一，是將特斯拉自己的工廠作為其最初的市場。這種模式直接複製了SpaceX發射服務與其主要客戶星鏈(Starlink)之間的共生關係。馬斯克已明確表示，目標是在今年年底前讓「數千台Optimus機器人在特斯拉工廠工作」，並計劃在五年內將年產量擴大到數百萬台⁷。

這個策略為Optimus提供了一個可控的真實世界環境，使其能夠針對與製造直接相關的任務進行快速迭代、數據收集和技術優化。工廠變成了一個「道場」，讓機器人可以在遠離非結構化公共世界的複雜性中學習和進步。這種方法被視為一項重大的競爭優勢，使特斯拉能夠在向外部客戶銷售之前，於內部先行驗證技術、降低風險並展示其價值。

然而，這種「首位客戶」模式是一把雙面刃。雖然它提供了一個寶貴的、受控的試驗場和一個有保障的初始市場，但也存在風險，即創造出的產品可能過於完美地適應特斯拉高度結構化、先進的製造環境，而無法適應其他潛在客戶更混亂、更無序的環境（例如，一般物流、醫療保健、零售業）。特斯拉的超級工廠無疑是世界上最先進、最有秩序的製造設施之一⁴。Optimus將在這種特定背景下接受任務訓練（例如，搬運零件箱、簡單的組裝）。為此環境開發的人工智慧模型和物理能力，可能無法很好地推廣到一個雜亂的倉庫、一條不可預測的醫院走廊或一個動態的建築工地。這就產生了一個策略上的兩難：為滿足特斯拉內部需求而完善機器人，是否會延遲甚至阻礙開發一款能夠在更廣泛市場上取得成功的、真正「通用」的機器人？專注於內部完美化，可能會導致錯失更廣闊的市場機會之窗。

承諾的歷史：Optimus發展時間線

Optimus的公開演進歷程，始終貫穿著一個模式：提出雄心勃勃的承諾，隨後是漸進式的、有時甚至是未能完全兌現的技術展示。理解這種承諾與現實之間的差距，是掌握其所面臨技術挑戰的關鍵。

Optimus專案同時也扮演著行銷與招募工具的雙重角色，這使得外界很難將真正的技術進展與「科技公關」區分開來。那些備受矚目的技術展示，儘管技術上可能有限，卻能產生巨大的公眾興趣，並吸引頂尖的AI和機器人領域人才，這本身就是一項策略資產。最初在2021年的發布會，被廣泛認為是概念性的，甚至帶有戲劇色彩¹⁴。隨後的演示，如分揀積木、做瑜珈和打功夫¹，雖然令人印象深刻，但這些任務可以在受控的、預先編程的或遠端遙控的情境下完成，這一點也受到了批評者的注意¹⁴。然而，這些影片在社群媒體和科技新聞中佔據主導地位，強化了特斯拉作為創新領導者的品牌形象。在競爭激烈的人才市場中，這種宣傳效應是吸引工程師的強大磁石。因此，管理層面臨的挑戰是，如何在製作精美、面向公眾的演示與解決現實世界部署所需的艱深、枯燥的基礎機器人學問題之間，平衡資源的分配。過度強調公關可能會耗盡核心工程團隊的精力。

表1: 特斯拉Optimus發展時間線(2021-2025年)

日期	事件	承諾/規格	展示的能力/現實	備註
2021年8月	AI Day 2021	宣布「Tesla Bot」計畫。身高5呎8吋(173公分), 體重125磅(57公斤), 負載能力45磅(20公斤)。將執行「危險、重複、無聊」的任務 ¹⁴ 。	一位穿著機器人服裝的舞者登台表演。沒有實際原型機展示。	承諾與現實差距巨大, 引發廣泛質疑, 但成功吸引了全球目光。
2022年9月	AI Day 2022	馬斯克預測其價格可能「低於20,000美元」, 並稱其將比其他公司的機器人更有「大腦」 ¹⁷ 。	展示了兩個原型: 1. 「Bumble-C」: 一個使用現成零件製造的開發平台, 能夠在無纜線支撐下獨立行走、揮手、搬運箱子和為植物澆水 ¹⁷ 。2. Optimus Unit 1 : 一個外觀更接近最終設計、使用特斯拉自研零件的原型, 但無法獨立行走, 由工作人員抬上舞台, 僅能揮手 ¹⁸ 。	首次展示了功能性硬體, 證明專案取得實質進展。但能力與波士頓動力(Boston Dynamics)等公司的機器人相比仍有差距 ¹⁶ 。
2023年9月	進度更新影片	機器人能夠自主分揀不同顏色的積木, 透過視覺定位自己的肢體, 並做出瑜珈等更靈活的動作 ¹⁵ 。	影片展示了在受控環境下的任務執行能力。AI能力(基於視覺的端到端神經網路)首次得到具體展示。	顯示軟體與AI整合的進步, 從純粹的機械運動轉向基於AI的任務執行。
2023年12月	Optimus Gen 2 發表	採用全特斯拉設計的致動器與感測器。行走速度提升30%, 重量減輕10公斤。全新的11自由度(DoF)靈巧手, 能夠處理雞蛋等易碎物品 ²¹ 。	影片展示了更流暢的行走、深蹲動作, 以及精細的手部操作(拿起並移動雞蛋)。	硬體上的重大飛躍, 標誌著特斯拉從依賴外部供應商轉向完全垂直整合的決心。

日期	事件	承諾/規格	展示的能力/現實	備註
2024-2025年	各類展示與聲明	馬斯克聲稱Gen 3設計已定案，將擁有「人類的靈巧度」和「理解現實的AI心智」 ⁸ 。預計2025年開始有限度生產，數千台將部署於特斯拉工廠 ⁷ 。	影片展示了在工廠環境中執行任務，以及在迪士尼首映會上表演功夫 ¹ 。	公關活動與實際部署的界線變得模糊。批評者指出許多演示仍依賴遠端遙控 ¹⁴ 。

機器的現實：從第一性原理進行工程設計

「大腦」：對真實世界AI的豪賭

特斯拉的核心策略賭注在於：其從全自動駕駛（FSD）專案中獲得的在「真實世界AI」領域的巨大優勢，將使其能夠在機器人技術上超越競爭對手。馬斯克堅稱，特斯拉「在真實世界AI方面是迄今為止全球最強的」，並將其基於視覺的方法與他聲稱過度依賴感測器的競爭對手進行對比²³。Optimus使用了與特斯拉汽車相同的FSD電腦和AI軟體堆疊，這創造了巨大的效率和數據優勢¹⁹。

其策略是透過與訓練汽車相同的方式來訓練機器人的神經網路：「影像輸入，控制輸出」（video in, controls out）¹⁵。這種端到端的方法旨在繞過脆弱的、手動編寫的行為模式，讓機器人能夠透過觀察人類來學習和適應。然而，將這種模式從二維或三維的駕駛環境，轉化為動態、靈巧的全身操控，挑戰極其巨大。研究指出，整合運動（locomotion）和操作（manipulation）的複雜性極高，這一領域傳統上由基於模型的控制方法主導，而基於學習的方法仍在興起階段²⁴。

特斯拉的AI策略創造了一個潛在的「數據護城河」，但同時也帶來了「典範風險」。透過依賴其基於視覺的端到端學習方法，特斯拉可以積累無與倫比的真實世界物理互動數據集，從而建立起強大的競爭優勢。然而，如果另一種AI典範（例如，更依賴基礎模型或混合模型/學習系統的典範）被證明對通用機器人更有效，特斯拉的整個技術堆疊可能會變得過時。特斯拉FSD策略的核心是收集大量的真實世界駕駛數據來訓練其神經網路，同樣的邏輯也將應用於工廠中的Optimus¹⁹。這些特定於其硬體和環境的數據，可能成為競爭對手無法複製的專有資產。然而，AI領域正在迅速發展。中國的領導者，如宇樹科技的CEO，已經對當前數據密集型的方法（如VLA）表示懷疑，認為更好的模型架構才是關鍵²⁷。如果模型架構或模擬技術的突破，讓競爭對手能用更少的真實世界數據達到更優越的性能，特斯拉的數據優勢就可能被抵銷。這是一個典型的創新者困境：是加倍投入一個已知且成功的典範，還是在快速變化的技術格局中保持靈活性？

「身體」：硬體的演進

從現成零件到客製化設計

在2022年的AI Day活動上，特斯拉展示了兩個原型機：一個是功能性但動作笨拙、由現成致動器

組裝而成的「Bumble-C」；另一個則是外型更流線、更接近最終設計願景但無法行走的版本¹⁷。這展示了初步的概念驗證以及未來的發展方向。

Gen 2及之後

2023年12月發布的Optimus Gen 2標誌著一次重大飛躍，其特色是採用了完全由特斯拉自行設計的致動器、感測器，以及速度更快、更靈巧的11自由度(DoF)雙手²¹。這一轉變表明，特斯拉致力於馬斯克的「第一性原理」方法，即每個零件都由內部設計，以實現大規模生產和成本優化²³。

關鍵技術障礙

- 致動技術：選擇電動致動器而非波士頓動力公司使用的液壓系統，是一項關鍵的設計決策，旨在提高效率並降低維護成本。然而，要達到動態、類人運動所需的扭矩密度、速度和反向驅動性(backdrivability)，是一項重大的工程挑戰。研究強調了不同致動器設計(如串聯彈性致動器 vs. 準直驅致動器)之間的權衡，以及匹配人類性能的困難²⁸。
- 靈巧性與感測：真正的實用性需要一雙不僅能抓握，還能感知觸覺的手。最新的研究，例如具有70%觸覺覆蓋率的F-TAC Hand²⁹，展示了觸覺感測技術的最新水平。特斯拉在其11自由度雙手方面取得了顯著進展，但要達到人類水平的靈巧性，將需要在整合這種豐富感官反饋方面取得突破。

轉向客製化致動器是將製造業視為終極競爭優勢的賭注。透過設計自己的馬達和致動器，特斯拉不僅僅是在製造一個機器人，而是在打造「製造機器的機器」(the machine that builds the machine)⁴。這是一項資本密集型策略，旨在降低物料清單(BOM)成本，但也帶來了巨大的執行風險。馬斯克的目標是製造出一台成本低於汽車的機器人，售價低於20,000美元³¹。分析顯示，目前使用外購零件的BOM成本幾乎是這個數字的兩倍³²。最高的成本來自致動器(馬達、減速器、螺桿)和感測器³²。決定自主設計這些零件²²，是直接針對成本結構的攻擊。這反映了特斯拉在4680電池和一體化壓鑄技術上的策略。成功意味著無可匹敵的成本優勢；失敗則意味著巨大的延遲和資本消耗，因為他們需要解決專業供應商花費數十年才完善的複雜製造問題。

Musk 在一次 Investor Day 上回應：「當年自駕技術也曾被質疑，但我們一步步實現了。Optimus 亦然。」然而，對陳承宇而言，這樣的言論雖能穩定投資信心，卻進一步放大了內部交付壓力——工程師們擔心「過度行銷」導致的信任危機會削弱團隊士氣。

截止目前為止，這些技術障礙，使得Optimus離商業應用還有很大的距離，可以分成三大技術瓶頸：精細動作控制、能源密度、語意理解。

在手部靈巧性上，雖然 Tesla 採用改良型致動器(actuator)與觸覺感測器，但仍難以達成人手的微細協作。2024 年底工廠測試時，一台 Optimus 嘗試安裝電池模組時因偏差0.5公釐造成零件卡死，引發工程安全部門的警示通報。在能源效率上，目前一台機器人平均工作 2.5 小時後需充電，續航時間仍不足以支撐完整班次。在語意理解上，雖能透過語音指令執行簡單任務，但仍無法「理解」動態場景。例如，當工作環境改變或任務流程更新時，它會陷入「等待」狀態。

全球競技場：一場實體AI的競賽

中國的競爭者：速度、規模與務實主義

馬斯克曾公開承認中國的實力，他表示「有信心特斯拉會是第一名」，但「有點擔心排行榜上第二到第十名都會是中國公司」³³。這為一場直接的中美對抗拉開了序幕。

2024 年底，Morgan Stanley 報告指出中國有超過 200 家新創公司投入人形機器人研發，政府亦將該領域列入《製造業中長期科技規劃》。

宇樹科技 (Unitree Robotics) 是中國策略的典型代表。他們利用中國主導的電子產業鏈，以顛覆性的價格生產功能強大的機器人 (例如，G1 人形機器人起價僅 16,000 美元)³⁴。其 CEO 王興興有著清醒的認識，他表示，表演性質的展示 (如跳舞、武術) 具有雙重目的：在解決更困難的「通用」問題的同時，展示技術進步並創造短期商業價值³⁶。他對 AI 也持有一種細緻的看法，質疑數據飢渴的 VLA 模型，並預測機器人的「ChatGPT 時刻」仍需 2 到 5 年²⁷。

與特斯拉不同，中國企業已經在爭取重要的商業合約。優必選 (UBTech) 為其 Walker S2 機器人簽下的 3,500 萬美元合約是一個里程碑事件，標誌著產業從研發轉向部署³。這種務實的、市場驅動的方法，與特斯拉更偏向願景驅動、內部優先的策略形成鮮明對比。

歐洲的模式：產業合作與研究

歐洲呈現了第三種策略模式，其特點是深厚的工業根基和由政府支持的合作研究。歐盟的「展望歐洲」(Horizon Europe) 等計畫，正積極資助如 JARVIS、AI-PRISM 等專案，這些專案專注於人機協作、可信賴 AI 以及在智慧製造中的整合，而非追求一個通用的「登月計畫」³⁷。

歐洲的主要參與者包括：

- **Neura Robotics (德國)**：將其人形機器人 4NE1 定位為「歐洲領先的人形機器人」，專注於為工業流程和日常生活提供「認知機器人技術」。他們的策略與創建一個完整的生態系統「Neuraverse」緊密相連⁴¹。
- **PAL Robotics (西班牙)**：憑藉二十年的經驗，PAL 專注於為實驗室和研究機構提供如 TALOS 人形機器人這樣的高性能研究平台，並提供廣泛的客製化和工程服務。其商業模式旨在推動研究，而非大規模市場產品⁴⁴。

美國的先驅：設定標竿

此部分將特斯拉的努力置於更廣泛的美國產業背景中進行分析。波士頓動力公司 (Boston Dynamics) 被公認為動態運動技術的無可爭議的標竿 (例如其 Atlas 機器人)，但歷史上在商業化方面一直舉步維艱，這凸顯了將卓越工程轉化為可行產品的困難。與此同時，像 Figure AI 這樣由創投支持的新創公司，代表了新一波的競爭力量，它們吸引了大量資金和頂尖人才，專注於物流和製造等特定工業應用。

全球競爭並非單一賽道上的單一競賽，而是三場在同一賽道上進行的不同比賽。特斯拉正在跑一

場馬拉松(通用人工智慧)。中國正在進行一系列有利可圖的短跑(短期商業應用)。歐洲則在進行一場高度技術性的接力賽(協作式工業專業化)。關鍵問題是,短跑的贏家是否能累積足夠的動力和市場份額,在最後幾英里挑戰馬拉松選手。特斯拉的目標是終極大獎:一個通用機器人,這是一條漫長而艱辛的道路。中國公司現在正透過用於特定任務或市場的、技術雖不頂尖但「足夠好」的機器人來獲取收入和部署經驗³。這些收入可以再投資於研發,形成一個良性循環。歐洲公司則在鞏固其在高價值工業自動化市場的地位,這可能是近期最有利可圖的領域。這就造成了一種情況:特斯拉可能在實現其技術願景時,才發現最賺錢的初始市場已經被更專注、更務實的競爭對手佔領。管理層的困境在於如何在長期願景與參與短期衝刺的需求之間取得平衡。

地緣政治緊張局勢和供應鏈主權問題,正為整個產業蒙上一層陰影。馬斯克已經注意到因中國限制稀土磁鐵出口而可能導致的延誤⁴⁵。正如摩根史坦利所強調的,西方公司對亞洲零件供應鏈的嚴重依賴,是一個重大的策略弱點,可能被利用⁴⁶。人形機器人的「身體」是馬達、減速器、感測器和軸承的複雜組合⁴⁶。全球絕大多數這些零件的領先供應商都位於中國和更廣泛的亞洲地區⁴⁶。馬斯克自己的評論證實,關稅和出口管制已經對開發產生了影響⁷。這種依賴性為特斯拉帶來了關鍵風險。一場地緣政治衝突可能瞬間中斷Optimus的生產線。這使得特斯拉的垂直整合策略從單純的成本節約措施,上升到策略必要性和國家安全的層面。

表2:領先人形機器人比較分析

特性/規格	Tesla Optimus Gen 2	Unitree H1	Neura Robotics 4NE1	Boston Dynamics Atlas (Electric)
國家/地區	美國	中國	德國	美國
高度	~173 公分	~180 公分	180 公分	~150 公分
重量	~47 公斤 (Gen 1為57公斤)	~47 公斤	80 公分	~75 公斤
致動技術	電動 (特斯拉自研)	電動 (自研)	電動	電動
手部自由度 (DoF)	11-DoF (每手)	待定 (可選配)	可更換前臂	待定
核心AI策略	真實世界AI (FSD堆疊)、端到端學習	務實AI、對VLA持保留態度	認知機器人、AI平台AURA	模型預測控制、強化學習
主要市場焦點	通用型 (初期為特斯拉工廠)	務實商業應用、性價比	工業流程、日常輔助	技術研發、設定性能標竿
價格點	目標 <	H1:	未公布	未商業化

特性/規格	Tesla Optimus Gen 2	Unitree H1	Neura Robotics 4NE1	Boston Dynamics Atlas (Electric)
	\$20,000	\$90,000, G1: \$16,000		
資料來源	22	35	41	49

人形機器人的剖析：價值鏈與單位經濟學

人形機器人供應鏈：大腦、身體與整合者

摩根史坦利的「人形機器人100強」(Humanoid 100)報告描繪建構一台人形機器人所需的產業生態系統。價值鏈被解構為三個層次：以美國科技巨頭如輝達(NVIDIA)和谷歌(Google)為主導的「大腦」(AI模型、晶片、軟體)；亞洲，特別是中國企業佔據主導地位的「身體」(實體零件)；以及如特斯拉這樣的「整合者」(組裝最終機器人的公司)⁴⁶。

此分析突顯了全球的相互依賴性，以及像特斯拉這樣的西方整合者所面臨的策略挑戰，即必須從其主要的地緣政治和經濟對手那裡採購關鍵零件。

物料清單(BOM)：量化挑戰

根據摩根史坦利的研究，一台Optimus Gen 2的當前物料清單(BOM)成本估計在**50,000至60,000美元**之間³²。主要的成本驅動因素被確定為感測器(約20,000美元)、螺桿(約11,000美元)、馬達(約11,000美元)和減速器(約7,000美元)。

這個數據點與馬斯克聲稱要以「低於20,000美元」的價格生產Optimus的目標形成了直接對比³¹。這個約66%的成本削減目標，量化了Optimus團隊面臨的巨大製造和供應鏈挑戰。

表3: 特斯拉Optimus Gen 2估計物料清單(BOM)

組件部分	估計BOM成本 (美元)	佔總BOM 百分比	主要零件
頭部	~\$2,100	~3.8%	FSD電腦、晶片、攝影機等
肩膀	~\$7,800	~14.2%	6個旋轉致動器(馬達、感測器、減速器、軸承等)
上臂	~\$2,600	~4.7%	2個線性致動器(馬達、感測器、滾珠螺桿等)
手肘	~\$1,100	~2.0%	2個旋轉致動器
前臂	~\$2,200	~3.9%	4個線性致動器
雙手	~\$9,500	~17.2%	12個致動器(無芯馬達、行星減速器、力感測器等)
腰部與骨盆	~\$7,800	~14.2%	6個旋轉致動器
大腿	~\$7,300	~13.2%	4個線性致動器(含行星滾柱螺桿)
小腿	~\$7,300	~13.2%	4個線性致動器(含行星滾柱螺桿)
雙腳	~\$6,700	~12.2%	2個六維力感測器
電池包(軀幹)	~\$300	~0.5%	2.3 kWh, 52V
其他	~\$500	~0.9%	骨架、外殼、熱管理系統等
總計(估計)	~\$55,200	100%	

資料來源: Morgan Stanley Research ³²

市場規模與商業可行性

各方報告從較為保守的(摩根史坦利預測到2040年美國市場將有800萬台機器人, 影響3,570億美元的薪資⁵¹)到極為樂觀的(方舟投資(ARK Invest)預測的26兆美元總潛在市場⁵²)。多數報告都會區分近期可觸及的市場(如製造業和物流業等已有機器人存在的結構化環境)與長期的家庭/消費型機器人願景, 後者面臨著更高的技術和社會接受度障礙⁵³。特斯拉內部的測試以組裝線任務為主, 例如移動零件、輔助裝配等。而中期來看, 行動輔助和服務型場景(如老人照護、家政服務、

商場迎賓等)被視為潛在市場。宇樹的案例顯示,教育與娛樂領域對高性價比機器人需求強勁(數千所院校採用宇樹機器人)。

人形機器人的經濟學受到「價格與勞動力替代比率」的支配。在任何特定行業,其商業可行性取決於機器人的總擁有成本(TCO)是否顯著低於一名人類工人的完全負擔成本。馬斯克設定的20,000美元價格目標並非隨意而為;這是一個經過策略計算的門檻,旨在使Optimus在廣泛的勞動力市場中具有經濟上不可抗拒的吸引力。在美國,一名工廠工人的年薪和福利成本可能超過50,000美元。要使機器人成為一個有吸引力的替代品,其總擁有成本(購買價格+能源+維護/營運壽命)必須低於此數。一台售價20,000美元、壽命5年且營運成本極低的機器人,其年成本約為4,000美元,比人類工人便宜一個數量級。這使得從當前BOM成本降低約66%不僅是一個目標,而是解鎖大眾市場的絕對關鍵。整個專案的成敗,都取決於解決這個製造成本問題。

表4:人形機器人市場預測(2030-2050年)

來源/分析機構	預測時間範圍	市場規模/單位預測	關鍵假設/評論
Morgan Stanley	2040-2050年	到2050年,美國將有6,300萬台機器人,影響3兆美元的薪資。到2050年,全球市場可能超過5兆美元 ⁵¹ 。	採用將在2030年代末隨著技術改進和社會支持增加而加速。主要應用於工業和商業領域。
ARK Invest	~2035年	總潛在市場(TAM)達26兆美元,其中一半來自家庭應用 ⁵² 。	由AI、電池成本下降和製造業進步的融合所驅動。極為樂觀的長期願景。
Goldman Sachs (via ⁶)	2035年	市場規模達380億美元。	相對保守的近期預測,可能更側重於工業和物流應用。
中國市場預測 (via ⁴⁸)	2030-2050年	到2030年達120億元人民幣(約16.4億美元),到2050年超過6兆元人民幣(約8,300億美元)。	受益於成熟的供應鏈、本地應用機會和強大的政府支持。

人形機器人的價值鏈是電動車價值鏈的翻版,這給了特斯拉一個獨特但並非不可逾越的優勢。許多核心零件(馬達、電池、電力電子、壓鑄)和製造原理在先進電動車和人形機器人之間是共通的。摩根史坦利的報告明確指出了電動車和人形機器人供應鏈的重疊之處⁴⁶。特斯拉花了十多年

時間來掌握這些類型零件的大規模製造¹⁰，這讓他們在理解供應商、材料和製造流程方面佔有先機。然而，競爭對手，特別是中國的電動車巨頭如比亞迪（同樣在「整合者」名單上³），也擁有同樣的優勢。因此，特斯拉的電動車經驗是一項強大的資產，但這是一個與其最 formidable 的競爭對手共享的優勢，使其不再是獨特的差異化因素，而將競爭變為一場純粹的執行力競賽。

Optimus的決策點

Optimus的領導團隊現在必須將宏大的願景、嚴峻的技術現實、激烈的全球競爭以及充滿挑戰的單位經濟學，綜合成一份連貫的策略建議，提交給伊隆·馬斯克。分析顯示，儘管長期潛力巨大，但近期的技術、商業和地緣政治風險同樣巨大。擺在Optimus團隊眼前的是三條可能的路徑：

1. 通用主義者的豪賭（「登月計畫」路徑）：繼續當前高風險、高回報的策略。將所有資源集中於解決通用人工智慧（AGI）問題，打造一款無所不能的機器人。
 - 理由：與馬斯克的變革性願景一致⁴。這是一種「贏者全拿」的方法，一旦成功，將創造一個比整個汽車產業更大的市場⁸。能夠充分發揮FSD AI堆疊的潛力。
 - 風險：上市時間極長。技術失敗的機率很高。在特斯拉仍在研發階段時，競爭對手可能已經佔領了整個近期的工業市場，造成無法彌補的市場份額劣勢³。
2. 工業先鋒（「灘頭堡」路徑）：轉向一個聚焦的策略。在特斯拉自己的工廠內，定義5到10個高價值的狹窄任務，並將Optimus執行這些任務的可靠性和效率提升至超人水平。暫緩解決「通用」問題。
 - 理由：在短期內實現清晰、可衡量的投資回報。為特定領域生成大量結構化、高品質的訓練數據。向未來的工業客戶證明機器人的價值和可靠性。透過先解決一個有邊界的問題來降低風險。
 - 風險：可能將「通用」的敘事權讓給競爭對手。存在硬體和軟體過度專為特斯拉獨特環境而設計的風險，使其日後難以適應其他市場。可能被視為缺乏雄心，影響股票估值和人才招募。
3. 平台策略（「iOS」路徑）：專注於完善核心硬體（「身體」）和基礎AI（「大腦」），打造一個穩定、可靠的人形機器人「平台」。向第三方開發者開放API和SDK，讓他們為不同行業（物流、醫療保健等）開發專門的應用程式。
 - 理由：透過外包應用層級的開發，減輕特斯拉的研發負擔。培育一個豐富的專業解決方案生態系統，加速在多個垂直領域的應用普及。創造強大的網路效應，並從機器人的「應用商店」中獲得新的高利潤收入來源。
 - 風險：將控制權和相當一部分的價值讓渡給第三方開發者。這是一個複雜的商業模式，與特斯拉垂直整合的文化有所不同。成功與否取決於吸引和支持一個充滿活力的開發者社群，而這並非特斯拉已證實的核心能力。

個案討論問題

- 作為Optimus部門的負責人，您會向伊隆·馬斯克推薦哪條策略路徑？為什麼？

- 在未來24個月內，Optimus必須達成哪些最關鍵的技術和商業里程碑，以驗證其所選策略的有效性？
- 特斯拉應如何應對來自如宇樹科技這樣行動迅速、務實的中國公司的競爭威脅？
- 伊隆·馬斯克關於「富足時代」的宏大願景，是一個推動商業策略的現實驅動力，還是一個會分散注意力、使人忽略建立可行機器人業務實際挑戰的危險干擾？