

第三章 智慧製造

總 論

因應全球少量多樣的生產趨勢及減碳需求下，我國政府在智慧製造結合綠色製造雙軸轉型(Twin Transition)上積極部署，並透過政策資源支持，帶動智慧製造與服務供應鏈更趨完整。經濟部產業技術司主責關鍵技術研發，呼應「六大核心戰略產業」、「五加二產業創新計畫」，以及行政院「數位國家・創新經濟發展方案(DIGI+)」等政策方向，運用深厚科技專案研發能量，進行跨法人特色整合互補，聚焦智慧設備、AI生產、智慧加工模組等技術研發，持續深耕智慧製造重點領域技術，實現整廠整線智慧製造場域，鏈結產學研量能進行互補，協助產業技術創新，以提升產業競爭優勢並接軌國際。

► 技術研發措施

經濟部產業技術司為強化智慧製造與減碳趨勢接軌國際，投入「模具產業鏈減碳智慧製造暨關鍵技術」與「智慧加工模組基礎技術」，從製造端扣合減碳議題，以智慧加工模組提升生產效能。此外，聚焦開發「智慧設備暨系統雲端增值服務技術」、「異地產線數位製造投射技術」與「自適應人工智慧生產決策技術」，透過AI及雲端增值應用，達到軟硬結合的綜效，實現更高效、節能及可靠的生產運作系統。在零組件開發面，亦扣合智慧製造核心，聚焦「超臨界精密元件成型開發技術」、「衛星載體關鍵零組件開發應用技術」，加速關鍵零組件開發。全面投入從零組件、系統、設備及生產流程的智慧製造關鍵技術，朝向智慧化生產，降低成本同時提升製程效率與品質，以強化我國智慧製造的技術量能。



計畫名稱／執行單位



產業技術司主管單位

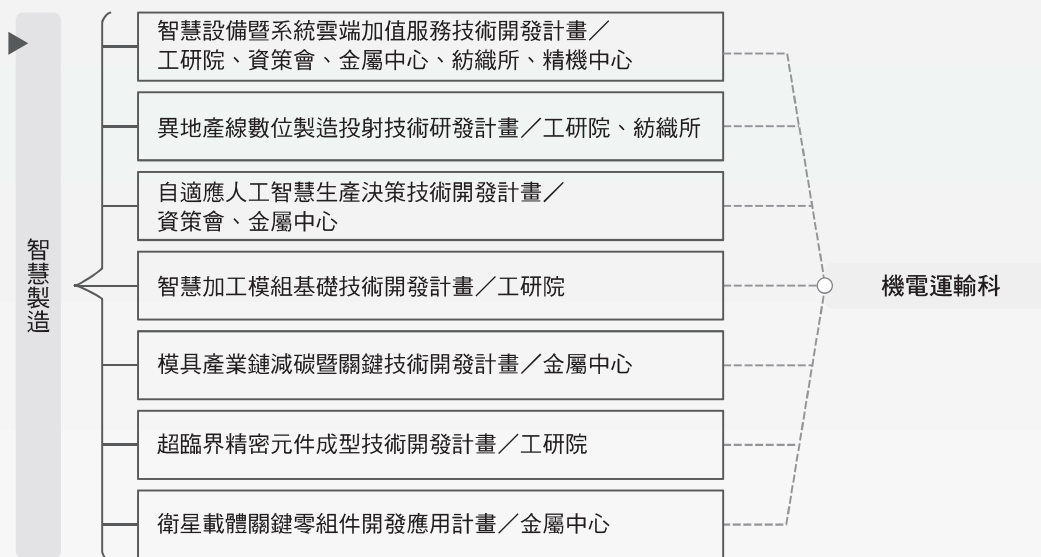


圖2-4-3 經濟部產業技術司法人科技專案—智慧製造相關研發計畫

➤ 法規調適：《產業創新條例》第十條之一

技術研發輔以法規調適，以督促並鼓勵業者投入發展，據此，經濟部為優化產業結構達成智慧升級轉型並鼓勵多元創新應用，制定《產業創新條例》提供智慧機械投抵優惠，規範於第十條之一，現行適用投抵項目為智慧機械、5G、資安等全新軟硬體、技術等，明定研究發展支出金額在同一課稅年度合計達新臺幣百萬元以上、10億元以下，經計畫經核准後可選擇以支出部分比例金額抵減當年度或三年內各年度營所稅，提供研發投資抵減優惠，以促進企業創新，改善產業環境，提升整體產業競爭優勢。

表2-4-3-1 《產業創新條例》授權辦法

訂定單位	授權辦法	辦法內容
經濟部	《產業創新條例》	

➤ 補助獎勵措施

表2-4-3-2 智慧製造相關補助計畫

計畫名稱	目的	申請資訊
A+企業創新研發淬鍊計畫	補助企業投入創新前瞻技術研發，從事創新研發到價值創造之活動，並鏈結跨國企業研發體系，以完備我國產業生態發展，提升國際市場競爭力。	
科研成果價值創造計畫	因應國家科技政策與國際競爭趨勢，以促成、培育學界前瞻技術之新創事業為主軸，配合產業脈動與政策需求規劃產業技術發展藍圖，由經濟部承接學界前階段科研成果及潛力新創團隊，接續協助新創團隊進行商業化發展。	

雲市集奠定產業數位轉型基礎 進階發展GAI邁入下個智機3.0

重點摘要

雲市集建立製造業所需的工業應用App，幫助我國企業數位轉型與增進全球競爭力。面對AI浪潮來襲，AI將成為2030年改變產業發展的關鍵推手，加上當前Chat GPT爆發式的商業應用，我國面對疫後缺工與專精人力斷層問題，應著重應用生成式人工智慧(Generative AI, GAI)，協助企業降低人力成本並改善生產效率，促使智慧機械產業AI化再創新興的藍海價值。

近年受美中貿易戰和全球病毒流行的雙重威脅下，全球許多企業考量關稅、缺工及供應中斷的風險，紛紛將旗下第二生產基地布局規劃朝東南亞國家。隨供應鏈遷移、新設立生產基地，皆需整合性的智慧製造整合方案，且打樣即成品、大量客製化也漸成為我國製造業主流。因應趨勢我國政府為協助製造業導入智慧製造，經濟部產業技術司已長期布局，由法人及產學研合作科技專案「智慧設備暨系統雲端加值服務計畫」，以設備聯網扎根許多基礎建設技術，並強化自主供應能量，逐漸透過智慧軟體App服務開發導入企業，建立雲端服務模式，並鏈結培育系統整合商，擴散應用至金屬切削、電子設備、金屬成型、塑橡膠、紡織設備等五大產業。

機械雲(Machinery Cloud)服務市集是一個重要的工具平台，將各家廠商所開發的工業用服務，透過App的形式放在同一個雲平台，讓大家可以下載使用，促使工業用的軟體App化、標準化和模組化。藉由雲端化的微服務，讓客戶買設備就像買手機一樣，快速在雲端下載各式各樣的服務，為自己與客戶創造更大的價值。智慧機械雲不僅是全球首個針對機械業的App軟體市集，平台上共通性與專用性App，可使中小企業及系統整合商運用這些已開發的軟體進行重組，快速滿足產業需要，加速數位轉型。業者也可透過雲平台快速連結雲端服務系統與終端客戶，進行企業跨國與跨廠自動化資訊整合，提升國際競爭能力。

■ 機械雲軟體App 加速企業數位轉型 ■

將法人在產業技術服務多年的成果，轉化成App加值軟體，提供國內設備廠進行智慧化升級，協助傳統設備商轉型具系統整合能力的製造業服務商，以增加企業科技化人才，提升設備服務附加價值。

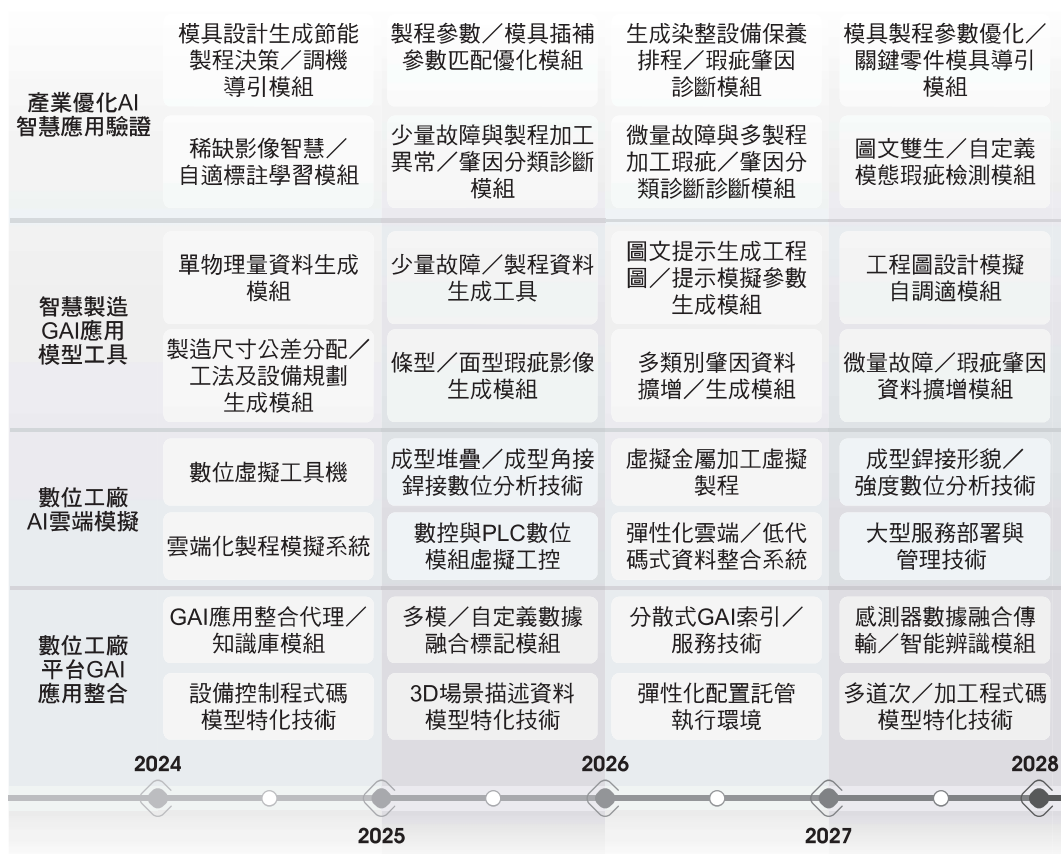
科技專案投入至今，已解決各產業設備不同的困境，如工具機業在不須加裝感測器的狀況下，以設備自主照護技術，提供可分析、可預測、自適化等智慧服務；電子設備導入電漿狀態監測與預測分析，建立智慧化電漿蝕刻設備，協助終端客戶能即時取得設備維護時機點與掌握產品良率達95%；金屬成型設備建立機台模具智慧導引調機技術，可提升設備調整效率50%；塑橡膠設備導入虛擬外觀監測技術，以模內壓力感測進行外觀品質分析，達到全檢品質監測正確率達95%；紡織設備以AI深度學習方法，將設備達到可即時瑕疵偵測，分類準確率達87%。這些智慧化模組，皆協助企業基於原有的專業能力，跨足不同專業領域服務應用，朝向下世代智慧機械設備發展。

■ AI/GAI技術 成為下世代 智慧製造的重要推手 ■

因應智慧製造導入，從設備聯網化、數位化到智慧化，對目前中小企業多以單點應用為主，面對產品多樣及快速迭代的時代，產線生產設計到製程，對於異常或特殊製程參數資料收集難度漸高且完整性不足，導致智慧化AI落地碎片化，且傳統鑑別式AI僅能依現有數據進行模型識別，無法有效應對日益複雜和多變的生產製程情境。再者，我國面臨人口老化與缺工問題，導致專精人力斷層，以AI/GAI模擬老師傅經驗輔助製造，已成為下個創新應用趨勢。以數位觀點檢視智慧工廠，數位化非電子化檔案，而是將資料變成可以統計分析的數據，其次數位優化，則以AI模型建立，將數位資料變成可以決策的依據，透過數據分析結果告知管理者如何做生產判斷，所以我國產業應思考如何以AI/GAI新技術與設備製程結合，使企業將傳統複雜工序智慧化、機械設備快速制定最佳生產策略、檢測產品缺陷即時掌控品質等優勢，應著力投入研發AI/GAI技術模組於智慧製造應用，帶領產業邁入下個智慧機械3.0¹。

1 資料來源：Michael C., Mena I., Roger R., and Lareina Y. (July 20, 2023). *McKinsey Technology Trends Outlook 2023*. Chicago, U.S. McKinsey & Company.

圖2-4-3-1 智慧設備暨系統雲端加值服務技術



GAI可透過大量資料學習訓練，依據輸入資訊，自主產生新的資料／內容，未來輸入與輸出多元資料類型，如：生成文字、語音、圖像、影像、程式碼、3D模型數據等。

小知識



RELATED TECHNOLOGY PROJECTS

相關科技專案

智慧設備暨系統雲端加值服務技術開發計畫（2021~2024年）

執行單位：工業技術研究院、資訊工業策進會、金屬工業研究發展中心、紡織產業綜合研究所、精密機械研究發展中心

以數位製造異地投射 打造強韌製造生態鏈

重點摘要

因應全球供應鏈重組、生產基地遷移趨勢，製造業需借助雲端服務、資安防護及遠距協同工程以快速進行海外產線建置，以及對應的生產管理、自動化系統、製程規劃、製程診斷軟體系統安裝調適，達成高效率數位製造暨營運管理，而這些海外產線建置及軟體系統安裝調適，在本文中統稱為「異地投射」。科技專案「異地產線數位製造投射技術」包括開發數位製造異地投射系統與異地產線智慧化系統技術，透過組合式智慧製造服務平台、沉浸式遠距協同工程與零信任資安防護等共通技術，建置紡織與金屬加工兩產業示範服務方案，並偕同中大型系統服務商建立智慧製造異地技術能量，以協助臺商海外產線數位轉型。

■ 建構組合智慧製造服務平台 拓展數位南向新商機 ■

因應國內外局勢變遷擴充延伸新南向政策，推動我國智慧機械整體解決方案與新南向國家應用產業連結，擴大新南向國家智慧機械輸出服務場域規劃，結合國內數位人才優勢，整合精密機械產業與ICT產業組成國家隊一起推動新南向製造市場。

科技專案發展組合式智慧製造服務平台、沉浸式遠距協同工程、零信任資安防護等共通技術，因應產線資訊化和數位化需求，針對營運五階段²製造增值軟體建置快速組合與資料交換的服務平台，進行數位製造方案布建與彙整生產資訊。提供智慧製造App由定義標準介面進行串接、任務分派、追蹤管理、流程控制與供應鏈資料整合，發展可擴充、客製化之組合式智慧製造工具箱，提供紡織產業與金屬加工產業實際生產情境之服務方案。

■ 製造業遠距調試異常排除 雲端零信任資安防護 ■

透過可擴充機台設備調試、加工製程準備及瑕疵肇因討論之互動場景與資訊模型，建

2 資料來源：DMG MORI (2024)。CELOS X - the future-proof solution for companies in manufacturing. Retrieved from <https://en.dmgmori.com/news-and-media/news/oh-pfronten-2024-celos-x>

立設備認證雲端服務、零信任資安防護³認證模組，研發行動裝置與頭戴式裝置應用軟體與數據蒐集軟體，使用者可在虛擬空間存取產線設備數據圖表，透過零信任資訊安全認證以保障遠端設備調試、製程準備互動情境中，同時存取多種生產數據來源的資訊安全，提供紡織產業與金屬加工產業於異地產線人員快速打樣或瑕疵診斷之技術方案。

■ 紡織跨製程色彩品質匯流 共創供應鏈新價值 ■

紡織產業布料染色品質與紗線上色率息息相關，目前紗線上色率需透過人工肉眼逐錠比對，難以進行全檢。當布料染色異常時，布商只能追溯織布後的染色加工檢驗報告，難以釐清肇因。開發紗線色彩數位化與織造參數匯流軟體，運用組合式平台快速追溯供應鏈上中下游色彩品質，布商可透過沉浸式互動平台快速釐清肇因，減少下游因不同紗線上色均勻度造成成品布染色變異，提高品質與色彩履歷追蹤效率。

針對上游紗廠或織廠在染色品質分級部分，開發紗廠化驗室之自動紗線品質判級技術，以標準環境光源進行襪帶影像擷取，並將每錠染色等級相關資訊轉譯成紗線品質公版資料模型，提供給織廠上機前篩選紗線協助生產排程規劃，可有效減少

成品布色差變異及布料損耗率，提升我國紡織產業跨國生產競爭力。

■ 金屬加工製程異常肇因釐清 線上專家遠端協助 ■

為解決產線升級半自動化後產量增加引發的品管問題，針對核心製程品管問題開發製程特徵異常診斷模組，紀錄加工履歷數據並即時偵測加工異常以避免產出不良品，並透過零信任資安防護邀請製程專家遠端進行製程診斷，根據加工履歷數據釐清肇因。

開發組合式智慧製造服務平台應用於半自動化產線，透過平台資料路由介面進行智慧製造軟體方案整合，建立從規劃、準備、生產、監控、服務等流程的多種軟體串接，快速產生金屬加工智慧製造方案與部署於產線設備，依據使用者需求自動產出生產營運報表，並以金屬加工專用之沉浸式互動場景，建立多人數據看板，依據軟體系統收集、分析結果進行互動討論與快速分析肇因。

發展加工製程特徵異常診斷模組，針對機台內電流與振動訊號進行快速診斷分析，依使用者定義品質區間，提供超出區間範圍之異常即時預警，將加工履歷分析資料匯入沉浸式互動環境，讓位於不同處製程專家可立即透過遠端連線進行肇因分

3 資料來源：J. Wolfgang Goerlich, Wendy Nather, Thu Pham (2021). Zero Trust, Going Beyond the Perimeter. Retrieved from https://www.cisco.com/c/dam/global/en_uk/products/pdfs/zero-trust-going-beyond-the-perimeter.pdf

析，提供親臨現場的遠距服務，提供國內工具機設備業者、終端製造業者應用組合式智慧製造服務平台及沉浸式工具，享受數位轉型帶來的方便效益，拓展數位南向新商機。

圖2-4-3-2 異地產線數位製造投射技術



零信任資安防護概念是永不信任、持續驗證，任何人員或機台設備都必須經過驗證，如多重要素驗證(Multi-Factor Authentication, MFA)其權限才能存取資源，以實現智慧製造的資安堡壘。

小知識

RELATED TECHNOLOGY PROJECTS 相關科技專案

異地產線數位製造投射技術研發計畫（2023~2026年）

自適應智慧製造與遠端互動整合技術開發計畫（2022~2023年）

執行單位：紡織產業綜合研究所、工業技術研究院

AI整合異質生產系統 助力產線節能減碳

重點摘要

工業占全球能源的最大量使用，同時也是碳排放的主要來源之一。近年來，由於供應鏈短缺和淨零排放(Net Zero Emission)等趨勢，全球製造業開始加速採用各種ICT技術，推動智慧化和自動化，以更好地管理產線、產品和品質。在這一趨勢中，AI技術成為備受關注的議題。通過AI，企業可以優化生產、降低能耗，推動工廠綠色能源轉型，並穩定產能規劃，靈活應對供應鏈變化，快速評估交貨期。隨著生產線效率的提升，停機和重工機會減少，自然而然實現了節能減碳的目標。

AI是透過訓練讓系統或電腦設備擁有類比人類思考模式、邏輯和行為能力，並能夠自行持續校正和進化，通過資料分析的過程來實現。許多企業逐漸運用AI來提升營運或生產數位化，但在導入過程中常面臨數據不足、人才缺乏和維運困難等挑戰。為了降低技術門檻，許多科技大廠和資訊業者開發了各種資料處理和機器學習(Machine Learning, ML)自動化工具，促使AI應用能快速普及。科技專案「自適應人工智慧生產決策技術」針對製造業能迅速建立精準的AI模型，可簡化數據分析和建模的繁瑣過程，快速預測產線中的無預警異常。並透過AI演算法提高製程分析技術，可優化產品品質，減少重工帶來的能耗和廢料，幫助產線實現節能減碳。

■ 自動化特徵轉換工具 簡化資料前處理與特徵提取 ■

以往AI模型的主要開發流程為資料處理、資料特徵提取、模型建立、模型訓練、模型評估、模型部署，而傳統的資料前處理和特徵提取通常需要大量的人力和時間，過去在尋

找AI數據特徵時，工程師通常會從專家經驗(Expert Rule)開始，利用專家在特定領域的知識來找出數據中的特徵。然而，專家經驗並非無所不能，其局限性在於人類的認知有時會過於主觀，或者所選擇的特徵覆蓋範圍有限；或在大量的AI數據中，僅對其中一小部分資料適用。而傳統的ML需要大量人機互動進行特徵工程，才能得出結果。比如，訓練一個ML模型來辨別貓和狗的影像，就需要手動設定眼睛、尾巴、耳朵和鼻子等特徵來進行分類。

金屬製造業因加工程序繁複，每個生產線或每站製程需要檢測的參數都不一，因為數據可能來自不同的源頭、格式及標準，這使得數據整合與分析工作變得複雜，直接影響到後續ML模型的性能和準確性。透過科技專案「自適應人工智慧生產決策技術」之自動化特徵轉換工具，以自適應演算法來自動化執行數據清理、缺失值填補、數據轉換等前處理工作，並透過特徵選擇、生成、轉換等方法來提升特徵，方便後續訓練多個ML模型，尤其是可運用在品質檢測與管控，以往都是透過老師傅的經驗來進行品檢，且不具備量化標準，透過資料前處理與特徵提取自動化工具可以提高品質檢測效率與準確性，降低品管成本、有助於企業提升產品品質。

整合異質生產數據

AI助力產線節能減碳

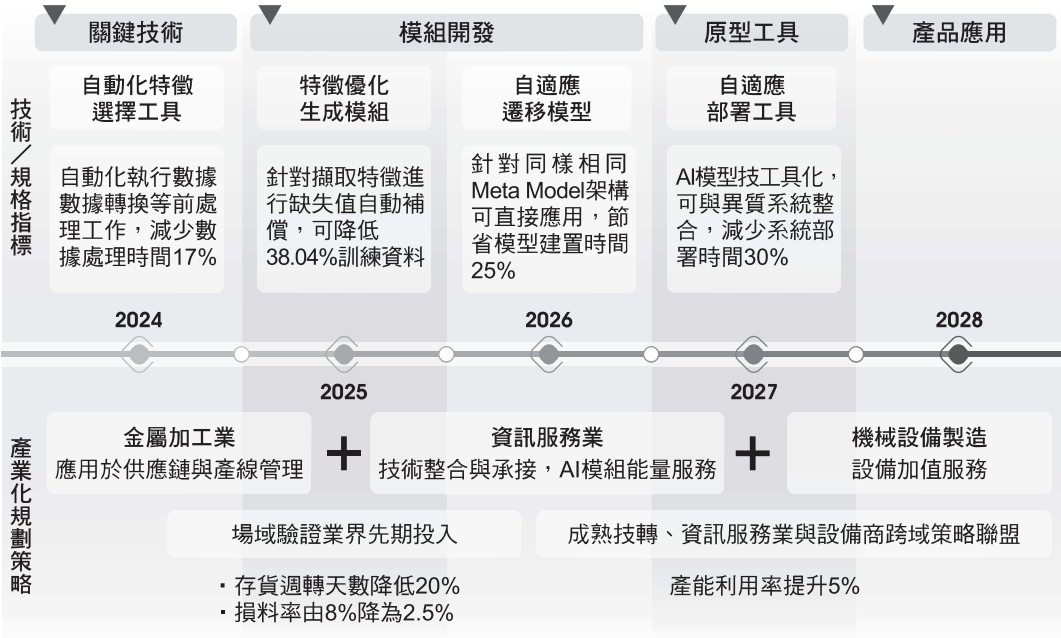
隨著全球走向少量多樣市場及產品銷售週期縮短，全球生產、製造和分銷通路的網絡也因新興國家的整體經濟情勢隨時變動，透過「自適應人工智慧生產決策技術」，可以綜合設備、機台和生產線運算數據，透過自動化特徵轉換工具，快速建立AI模型，以隨時因應市場需求進行產線調動；在供應鏈管理方面，可以在生產前瞭解供應商來料的品質風險，及時進行供應商調配和物料庫存成本管理，降低採購和庫存風險；在品質管制方面，可以通過品質預測，於生產前或中進行調整，提升產品品質和良率，避免重工增加碳排，並減少原料和製程的能源浪費；在製程方面，可以通過智慧排程，根據實際情況規劃最佳生產排程，並利用自適應人工智慧(Adaptive AI)提供最佳決策建議和即時回饋動態調整，使產線以最短時間內恢復合理的生產運作，或者即時做出明確的調整和改善，避免無謂的物料、重工和能源浪費，降低整體製程的能源消耗。

節能減碳是全球的發展趨勢，通過AI技術提升製造業的製程改善和生產效率，可以立即有效實施減碳措施。利用科技專

案在實地驗證和案例回饋，以AI模組化、可擴充的系統來滿足企業需求，並結合物聯網、邊緣計算、感測技術、虛擬實境(Virtual Reality, VR)、擴增實境(Augmented Reality, AR)及AI等技術打造虛實整合系統，可提高生產透明度和效率。通過自我調整AI模型的持續優化和推進，可以協助製造業在多變的全球市場中，賦能產線自我調整決策，快速規劃低能耗的生產排程，助力我國企業逐步實現淨零排放的目標，成為國際綠色供應鏈的重要一環。

圖2-4-3-3 自適應人工智慧生產決策技術

研發藍圖



「自適應人工智慧生產決策」透過數據分析和AI決策，幫助製造工廠即時預估原料庫存和良率風險以避免斷料，並提供設備運作和產品品質改進建議。提升了生產效率並降低保養成本，透過減少物料浪費和能耗，協助產線有效節能減碳。

小知識



RELATED TECHNOLOGY PROJECTS
相關科技專案

自適應人工智慧生產決策技術開發計畫（2024~2028年）

執行單位：資訊工業策進會、金屬工業研究發展中心

推動高階模組智慧自主化 成為臺灣信賴產業之基石

重點摘要

精密加工設備之關鍵加工頭模組，如智慧研磨模組與雷射加工模組，廣泛應用在機械、半導體、電動車(Electric Vehicle, EV)及國防產業中，因應國內產業長期依賴國外技術進口之現況，形成產業鏈之缺口，科技專案投入發展精密關鍵加工頭之自主研發能力，並結合智慧化手段及基礎技術扎根，在全球供應鏈重組的過程中，掌握產業先機，持續地壯大我國科技和經濟，成為我國半導體產業之基石。

因應地緣政治變化及全球供應鏈重組，我國已成為亞洲高階製造中心之重鎮。政府從「五加二產創：智慧機械」推動方案到目前「國家希望工程」之國政規劃，目的在於協助國內產業加速發展戰略性智慧關鍵模組技術，透過智慧製造的策略，以建立我國「護國群山產業」；然而目前我國面臨到高階製造設備技術自主化及關鍵零組件長期依賴國外進口困境，關鍵零組件（如：研磨加工頭、雷射源等）自主研發及智慧化能力不足，導致無法滿足設備業者(Maker)及終端使用者(End User)的需求，無法突破高階關鍵加工模組依賴進口之困境，科技專案投入中長期研發計畫，以補足設備國產自主化及智慧化之能力，成為推動半導體產業，打造我國成經濟日不落國。

■ 研磨模組智慧自主化 讓產業擁抱化合物半導體 ■

在化合物半導體中，碳化矽(Silicon Carbide, SiC)是目前電動車及節能系統中不可或缺的基礎材料之一，其中，大尺寸晶圓加工時間長及穩定度不易掌握等問題，主要關鍵點在於研磨主軸頭技術長期被美、日廠商壟斷，造成我國業者面臨技術仰賴進口困境。透過科技專案投入，從2023年起開發阻尼抑振單元技術、砂輪狀態回饋智慧化技術，以及永磁內藏式馬達可調式驅動單元等關鍵技術^{4,5}，實現高效率、高品質及高穩定性的加工結果，建置國內智慧研磨加工設備及技術國產化之能量。在因應全球朝向2050年淨零碳排目標等需

求上，採用化合物半導體提高用電效率已成為未來全球趨勢，因此在化合物半導體的關鍵加工模組及設備中，透過技術自主化及智慧化方式，進而達到向下兼容及新舊製程智慧融合，有機會可使我國化合物半導體產業的後進者，直接從8吋市場超越領先國際大廠。此舉不僅能夠提高我國的半導體產業水平，同時其智慧加工技術，更可廣泛應用於電路板、金屬加工、航空及國防等加工產業，為國內精密製造業者，改善無頭產業之現況，讓我國產業擁抱化合物半導體，進而帶動國家整體經濟發展，形成國家關鍵的信賴產業。

推動國產雷射加工模組 搶攻電動與低碳車輛新商機

因應淨零排放的大趨勢，電動及低碳車輛產業之相關技術成為各國布局的重點，其中，雷射銲接技術因具有高可靠度、高速及高銲深厚度等優勢，可應用在電動車

的金屬厚件及電池組裝製造上，然因雷射設備關鍵零組件長期被國外大廠所持有，導致我國業者面臨技術仰賴進口困境。透過科技專案投入，開發高能智慧雷射源技術及智慧雷射同軸加工頭技術，可填補國內在車用零組件加工的產業需求。目前我國在藍光雷射源的發展尚處萌芽時期，因此，透過高能智慧雷射源技術，建立國內高功率藍光雷射能量，及智能化共通控制組件，減少跨組件訊號傳輸時間，提升雷射輸出穩定性。同時，搭配智慧雷射同軸加工頭技術，智慧預判雷射加工情況，以提升填料加工品質與良率。整合上述開發技術之智慧雷射加工模組，可協助國內機械設備業者取得先進藍光雷射源，進而跨入精密填料銲、熱處理等高難度、高附加價值應用領域；同時，經由國內設備業及使用者進行產品驗證，以建立關鍵模組可靠度與國際產品競爭能力，未來更可延伸應用擴充至難銲及特殊金屬之大型車體或航太產業，進而打造國家關鍵的信賴產業。

化合物半導體由屬於元素週期表中，兩個或兩個以上不同族的元素組成，如SiC，與單一元素的矽半導體相比，化合物半導體具有優異的材料特性，例如高崩潰電場及高電子遷移率，可實現光電、高頻與高功率的元件及IC。

小知識

- 資料來源：Supriyo Mahata, Piyush Shakya, and Ramesh Babu, N. (2021) : A robust condition monitoring methodology for grinding wheel wear identification using Hilbert Huang transform. *Precision Engineering*, 70, pp.77-91
- 資料來源：Zhu, W. L., & Beaucamp, A. (2020) . Compliant grinding and polishing: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 158, Article 103634.

研發藍圖

圖2-4-3-4 智慧加工模組基礎技術



RELATED TECHNOLOGY PROJECTS 相關科技專案

智慧加工模組基礎技術開發計畫(2023~2026年)

執行單位：工業技術研究院

模具高效減廢設計 強化鑄造節能減碳轉型

重點摘要

模具為工業之母，是產業的基礎科技，科技專案投入模具產業之高效減廢設計、綠色節能製程與先進減碳技術開發，來進行相關產業鏈減碳轉型；並協助導入綠色製程，以利於製程技術升級、生產效率提升與產品高值化之產業整體能力提升。致力協助國內模具供應鏈製造業者提升高階製造能力，降低模具製造業碳排量，並打入綠色供應鏈體系，提升國際接單與競爭力，達到永續經營的目標。

我國高質與基礎鑄件年產量約140萬公噸⁶，熔煉至澆鑄過程之耗能占鑄造總耗能約75%，鑄件原始碳排約280萬公噸二氧化碳當量(CO₂^e, Carbon Dioxide Equivalent)。自2023年起所有基礎鑄件必須符合低碳綠能環保規定，並且也將徵收碳排稅等相關費用，至今全球所推動之節能減碳工程，完全無任何先例經驗可循，所有基礎鑄造業全部陷入困惑與造成痛點。

如今可以透過模具高效減廢設計的數位轉型，澈底解決鑄造產業長久以來無法有效轉型為節能減碳的痛處。其重點做法是將鑄造快速冷卻技術知識整合入模具設計來提高生產效率，藉此減少場域電力需求來降低鑄造成形的耗能達到減碳的目標，以鑄件輸入熱量和模具與水帶走的冷卻效率平衡的演算資料法則，開發鑄造永久模水冷卻設計熱散指引的程式，來產生可靠準確的模具快速冷卻系統，克服鑄造生產縮孔缺陷及提高生產效率（高周轉率）。在產業節能減碳轉型的背景之下，研發與建構資料數位化和減碳成形製程的模具高效減廢設計，有助於推升我國鑄造相關產業設計技術能量及綠色鑄造的推動。藉此鑄造高效減廢設計與循環與低（減）碳的生產技術提升，至2027年如以影響國內30%年產能來

6 資料來源：台灣鑄造品工業同業公會（2024）。鑄造產業特性。檢自<https://www.casting.org.tw/zh-TW/About>。

推估，預計可減少10%的耗能，年減碳量可達約16.8萬噸／年。

■ 高效減廢設計 鑄造減碳生產之利器 ■

針對模具熱平衡的設計，昔日大多用其本身的鑄造經驗，以所謂設計者經驗法則的主觀意志進行調整來完成模具冷卻方案。如今則可依據鑄造領域研究成果及基本理論優化演算來建立冷卻設計熱散指引。只要輸入鑄件幾何資料，便演算出對應的模具厚度和冷卻時間，即可自動產生單模穴水、水霧、激冷管路及多模穴多迴路水冷管路等模具資訊，供設計者進行模具快速冷卻節能設計的依據。

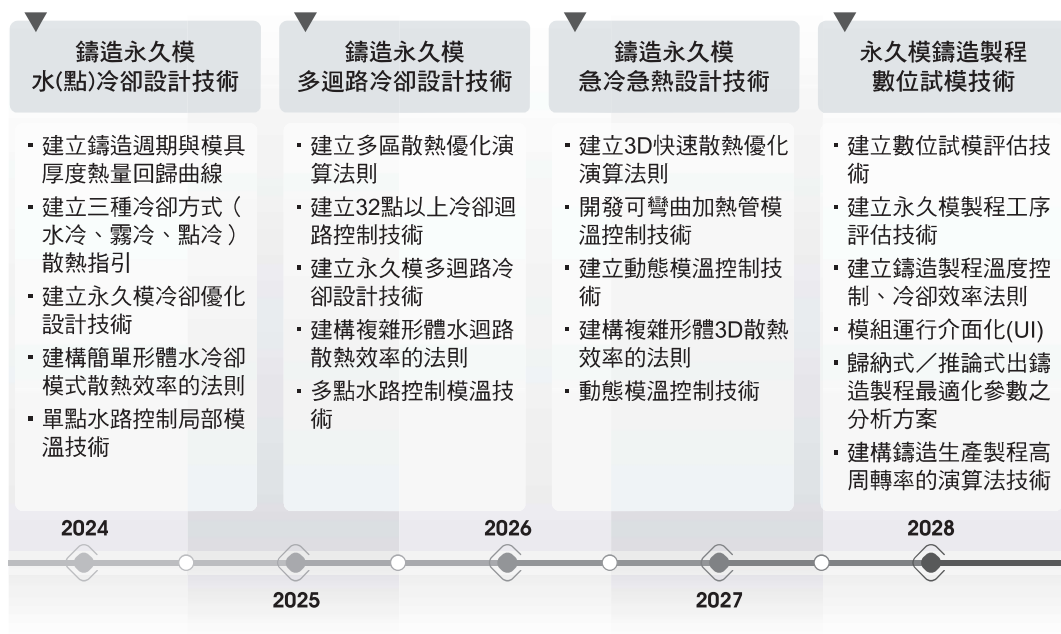
在熱散指引建構過程，以公式演算法則經由模擬分析線性回歸後調整對模具冷卻效率的誤差補正，方能針對使用者輸入的鑄件資料進行適用模具冷卻效率的評估判斷，透過內建熱散介質（水、水霧、激冷、熱管）等資料庫提供凝固時間的評估並演算出詳細的模具冷卻管徑與所需數量來達到熱平衡設計，產出可行的鑄造模具冷卻系統，縮短鑄造週期減少耗能達到減碳生產。

■ 數位試模技術 推動鑄造節能轉型 ■

目前鑄造產業，在金屬永久模製程中，總能耗的40~60%用於提供液態金屬。其餘部分用於實際鑄造過程。熔化過程所需的能量輸入取決於廢料量（通常為5~7%）和熔解損失（2~5%），以及受鑄件重量與總澆注重量（得料率）之比的顯著影響，另外還取決於鑄造設備的差異，如能提高鑄造廠的能源使用效率，而使用電力可以減少50%以上，目前平均值為5,603 kWh／公噸。

所以為了節能目標，採取建立數位試模評估技術的綠色設計為手段。首先運用永久模製程工序評估技術，來建立鑄造製程溫度控制、冷卻效率法則。以歸納式／推論式產出鑄造製程最適化參數之分析方案，建構鑄造生產製程高周轉率的演算法技術，輔助鑄造生產過程的可靠性，藉此數位試模評估系統，便可以達到高周轉率的生產效率要求。因此，溫度控制、冷卻效率設計將是鑄造模具節能減碳生產的重要關鍵。

圖2-4-3-5 模具產業鏈減碳暨關鍵技術



綠色設計意指在產品整個生命週期內，著重考慮產品環境屬性（可拆卸性、可回收性、可維護性、可重複利用性等）並將其作為設計目標，在滿足環境目標要求的同時，保證產品應有的功能、使用壽命、質量等要求。

綠色設計的原則被公認為「3R」的原則，即Reduce、Reuse、Recycle，減少環境汙染、減小能源消耗，產品和零部件的回收再生循環或者重新利用。

小知識



RELATED TECHNOLOGY PROJECTS

相關科技專案

模具產業鏈減碳暨關鍵技術開發計畫（2024~2027年）

執行單位：金屬工業研究發展中心

鐳線瓷嘴精密成型技術 推動半導體封裝元件國產化

重點摘要

我國半導體封裝製程中所使用之鐳線瓷嘴長期由國際大廠所壟斷。科技專案投入超臨界精密元件成型開發技術研發鐳線精密瓷嘴元件，帶領國內半導體封裝廠商與精密元件製造廠商，建立半導體封裝產業關鍵元件產業鏈，推動我國精密鐳線瓷嘴的自主生產，為國內產業爭取更多商機。

隨著半導體產業的蓬勃發展，半導體封裝技術也必須與時俱進，以因應現今IC晶片市場對於輕薄短小與低功耗的需求。在半導體封裝產業中，晶片與外部接腳電信號傳遞需大量應用鐳線接合技術，其對於IC晶片的可靠度與製程良率有著極重要的影響。因此，為滿足現今IC晶片的封裝需求，鐳線接合技術亦須朝向高速化、高可靠度、高密度及微細線徑等方向發展。然而，鐳線接合技術中所使用的瓷嘴尺寸相當微小（瓷嘴尖端 $<150\text{ }\mu\text{m}$ ，出線孔徑 $28\pm 3\text{ }\mu\text{m}$ ），且瓷嘴尖端之撞擊面需根據線徑與線材種類具備不同的角度、硬度及精準尺寸，其製程的複雜度和後加工成本極高，國內廠商均無投入意願，以致目前我國半導體封裝廠商對於鐳線瓷嘴的大量需求只能仰賴國外進口。

為改善這一現狀，科技專案結合國內半導體封裝廠商，致力於開發「鐳線瓷嘴精密成型技術」，建立高精度且低成本的鐳線瓷嘴製程，促進半導體封裝製程關鍵元件的國產化，提升國際競爭力。

開發鐳線瓷嘴精密製造技術 減少後加工需求與生產成本

為解決我國對於精密鐳線瓷嘴之大量需求，科技專案鑽研國產化封裝用鐳線瓷嘴製程

技術，以高流動性陶瓷粉末黏著劑配方設計及導入超臨界流體(Supercritical Fluid, SCF)提升材料流變性質，並搭配模流分析與多模穴模具之機構設計提升產量，達成瓷嘴模具微細尖端處的充填均勻性與近實形(Near Net Shape, NNS)能力，令半成品的瓷嘴尖端尺寸接近成品，減少成品尺寸公差與後加工研磨需求50%，有效降低後加工的工時與製造成本。

此外，因應黃金價格上漲近一倍，針對取代既有金線之銀合金線與銅合金線的線材特性（高硬度／高剪切力），進一步開發陶瓷粉末複合配方製程技術，透過添加特定比例金屬氧化物，經研磨調控粒徑分布與均勻混合後，以適當的溫度進行燒結形成特定晶相，增加試片的緻密性，提高陶瓷材料試片的硬度與抗折強度，以因應銀合金線與銅合金線封裝製程所需之瓷嘴特性。

此科技專案開發之製程技術，符合半導體封裝產業所需之精密鐳線瓷嘴規格⁷，並減少後加工需求與生產成本，有助於國內廠商投入半導體封裝關鍵元件市場，推動我國精密鐳線瓷嘴的自主生產。

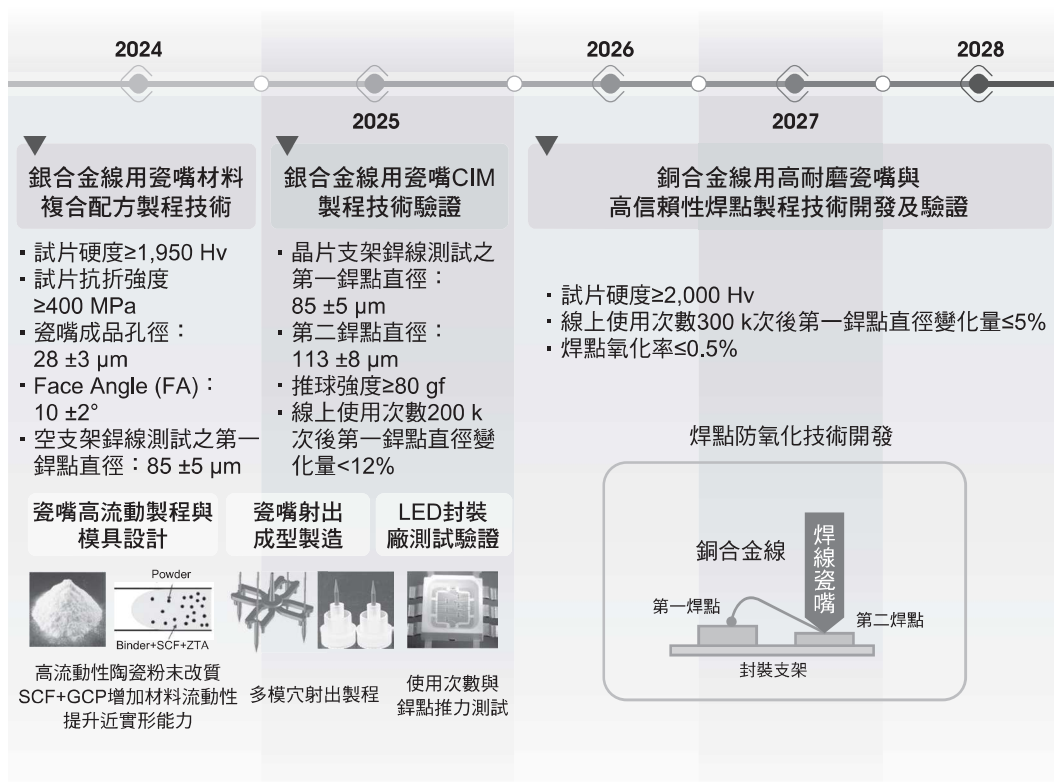
攜手國內半導體封裝廠商 建立半導體關鍵元件產業鏈

我國在全球半導體產業中扮演著重要的角色，惟國內封裝用鐳線瓷嘴卻需大量倚賴進口，且因製造與加工技術困難，全球市場長期由SPT等國際大廠所壟斷。因此，科技專案利用SCF結合陶瓷粉末射出成形技術，可推動比重較高的陶瓷粉末順利充填進入瓷嘴模具微細尖端處，以達到瓷嘴高深寬比與NNS要求，解決傳統成型瓷嘴需先成形數倍於最終尺寸再大量研磨的問題。同時，MMR預測2029年全球封裝線材產值達42億美元⁸，其中的銀合金線與銅合金線市占率將達50%，因此對應銀合金線與銅合金線封裝製程，開發具有高硬度、高耐磨與高抗折強度的瓷嘴，有利減少封裝線材使用成本。未來將導入國內半導體封裝廠商與精密元件製造廠商，建立半導體封裝製程關鍵元件產業鏈，提升精密鐳線瓷嘴之國產化技術能量，有助於打破國內封裝瓷嘴長期受國外大廠壟斷之現象，促成新產線投資新臺幣1.8億元以上，積極搶占國內半導體封裝元件每年新臺幣1億元以上之訂單，為國內產業帶來更多新商機。

7 以LED封裝為例，瓷嘴須符合出線孔徑 $28 \pm 3 \mu\text{m}$ 、第一鐳點直徑： $85 \pm 5 \mu\text{m}$ 及使用壽命等規格要求。

8 資料來源：Maximize Market Research (2023). Bond Wire Packaging Material Market: Global Industry Analysis and Forecast (2023~2029). Retrieved from <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/bond-wire-packaging-material-market/67077/> (Jun 18, 2024)。

圖2-4-3-6 超臨界精密元件成型開發技術



鋁線接合技術可謂是IC與LED等半導體封裝領域的必備利器，其主要利用特殊且精密的瓷嘴，將極細的金線、銀合金線或銅合金線分別於晶片和導線架形成接點，以緊密地連接晶片和導線架，進而將晶片的電路訊號透過導線架向外部傳輸及向內輸入電源。這項技術對於IC與LED晶片的可靠度與製程良率而言至關重要。

小知識

RELATED TECHNOLOGY PROJECTS
相關科技專案

超臨界精密元件成型技術開發計畫（2022~2025年）

執行單位：工業技術研究院

衛星關鍵構件國產化 進軍全球太空產業

重點摘要

科技專案開發「高性能熱塑複材複合成形技術」與「金屬細長管內鈍化鍍膜技術」，協助太空中心進行國產研製，突破國外製造技術限制，將原有從國外進口之關鍵零組件，轉由國內業者自主製造，並獲得國際發明獎項肯定，推動我國下一世代通訊之太空產業技術建立。

賴清德總統於2023年表示因應美中科技經貿競爭及地緣政治變化，低軌衛星(Low Earth Orbits, LEO)將是我國要發展的下一世代通訊，並且賴總統亦於520就職演說，宣示要投入無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、中低軌道衛星等發展，進軍全球太空產業⁹。然而國內缺乏掌握太空規格材料特性，關鍵零組件大多為外國業者壟斷，受制於國外廠商的處理能力和較長的交貨期，不僅增加了成本，還阻礙了國內太空產業的發展。

科技專案「衛星載體關鍵零組件開發應用技術」配合政府循環經濟推動方案與推動循環技術暨材料之研發到量產，建構太空衛星構件輕量化及軌道變換系統鍍膜自主化技術，達到提高結構件產能及成功替換環保燃料，以降低科技升級對環境的衝擊，深耕國內高階製造與衛星應用的研發能量，並獲得美國愛迪生獎項肯定，加持我國產業國際競爭力。

【衛星載體關鍵零組件開發 擺脫國外依賴限制】

低軌衛星因為走向小型化趨勢，目前國內太空衛星結構和零組件，例如用於衛星本體

9 資料來源：總統府新聞（2024年5月20日）。總統發表就職演說宣示打造民主和平繁榮的新臺灣。檢自<https://www.president.gov.tw/News/28428>。

或酬載的蜂巢芯三明治結構，依賴國外進口的高階熱塑複合材料和專業廠商代工，國內關鍵材料和製程技術仍待發展，除此之外，我國太空中心低軌衛星噴射系統，已從過往進口有毒的燃料逐漸替換為國產環保燃料過氧化氫(H₂O₂)，然而衛星噴射系統管件之鍍膜技術均仰賴國外代工，不僅耗時而且將大幅增加成本，更拖緩國內太空產業發展時程。

科技專案透過「複材成形關鍵模組技術」，開發了熱塑複合材料可逸氣蜂巢結構射出成形技術，該技術將碳纖複材面板與蜂巢結構於模具中進行射出接合，節省後續膠合組裝時間。專案整合了國內產品設計業者、國產碳纖熱塑複材、關鍵模組和設備規格等方面的技術，使得蜂巢產品在太空中的極端溫差下更不容易變形。同時每個蜂巢間具有可逸氣孔設計，避免衛星結構件從大氣進入真空環境時，因為氣壓差造成膨脹破壞。以全碳纖維蜂巢結構衛星太陽能板作為終端測試載具，透過自動化製程增加生產量5倍以上，提高了我國碳纖複材結構件產能，解決人力缺乏的問題，同時兼具易回收的特性，有利於後續循環再利用。

科技專案投入「金屬細長管內鈍化鍍膜技術」，使用高溫氣體產生超薄的矽基

薄膜，結合多通道噴嘴設計可精準控制氣體質量與流量，可於4毫米管徑之複雜形狀下沉積高均勻性、緻密的薄膜，實現優異的抗腐蝕特性，鍍於衛星噴射系統不銹鋼管內壁，形成鈍化保護膜降低過氧化氫輸送時的分解率，提高管件使用壽命並維持其功能性，協助我國太空中心達到成功替換環保燃料。同時，透過建構國內金屬表面整合之鍍膜產品試製推廣平台，不僅提升太空產業國際競爭力，並且擴延應用於高端產業用途之關鍵元件開發，如：半導體、醫療及航空等。

■ 榮獲美國愛迪生航太獎項 促動進軍國際太空產業 ■

科技專案以衛星載體關鍵零組件為技術驗證目標，並獲得素有「創新界奧斯卡獎」美譽的2024年美國愛迪生發明獎中的航太科技類獎項殊榮，推動國內發展低軌衛星構件製造產業鏈，提升我國產業國際競爭力，促進下一代通訊的低軌衛星發展，並成就我國金屬零組件與複材系統關聯業者整合，預計可促成投資新臺幣9,000萬元以上、衍生產值2億元以上。我國具有完整高端製造廠商體系散布於各產業中，透過國家太空計畫政策契機，整合產學研各界進行先導性研究與試製，提供

產業創新解決方案，為進軍國際太空產業之願景，帶來更具多樣性的突破性變革與發展，驅動美好未來。

圖2-4-3-7 衛星載體關鍵零組件開發應用技術



熱塑碳纖維複合材料是由「碳纖維」加「塑膠」所組成，碳纖維本身抗拉力非常強，而塑膠材料給人不夠堅固的感覺，但是因為科技進步，現今高階熱塑碳纖維複合材料採用是「碳纖維」加「高性能工程塑膠」，已可達到航空及太空領域的極端需求，並且兼具熱塑材料可回收及可快速成型量產特性。

小知識

RELATED TECHNOLOGY PROJECTS 相關科技專案

衛星載體關鍵零組件開發應用計畫（2023~2024年）

執行單位：金屬工業研究發展中心

非常感謝您的閱覽，懇請撥冗填寫問卷調查回饋您的寶貴意見

<https://tier.surveycake.biz/s/n2eQ1>

