

太空科技發展趨勢

林姿伶

一、前言

太空科技展現人類共同探索與挑戰未知的精神，揭示物理學深度與創新研究的最新進展，並不斷推動科技發展，邁向新的高峰。全球各地的公司與政府機構都紛紛投入此競技場上競爭，希望能在太空產業留下足跡，並將太空技術應用在各種領域，因此，新技術與新應用不斷出現。為了充分發揮開放、自主的太空經濟潛力，所有的太空活動都需要政府、企業、學術界、投資者和公民，以及利益相關者之間的合作。

受益於過去 30 多年的太空科技演進，現今的太空產業相較於 1990 年代主要的差異之處包含科技的大幅進步、成本的降低、應用和使用案例的改變、資金的來源以及全球的競爭。科技的進步大幅度的改善太空相關設備的性能，包含衛星的傳輸速率、通訊波段的使用、地面設備追蹤衛星的準確度，以及更加頻繁的衛星發射次數。成本方面，像是發射成本、衛星成本、光學影像及合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 影像成本的降低，進而擴大商機。應用案例方面，過去的太空研發主要集中在科學探索、軍事和個人通訊，科學探索驅使國際太空站的建設、大型太空望遠鏡的發射以及行星探測任務；然而，當前的太空產業已經開始轉向開發具有商業價值和生產潛力的應用，並且逐漸擴大至超越政府、航太和國防部門的客戶群。同時，運載酬載的能力增強，為小型科學任務提供更多進入太空的機會，太空研發資金來源已不再完全依賴於政府、大型製造商或電信公司。

國科會於 2023 年 5 月發布，將與經濟部、教育部及其他相關部會合作，共同促進太空科技的進步，將重點發展四大領域：衛星製造、發射服務、地面設備以及應用服務。為了培育相關人才，將在大學中設立太空系統工程研究所、進行跨大學合作研究，並提供專業培訓課程，目的在為太空科技帶來更多新血。

二、太空科技發展趨勢

現今太空領域的發展趨勢，可能會受到多種因素的影響而加速或減緩，包含市場表現、通貨膨脹、軌道碎片的增加、需求增長的速度、替代地球技術的發展和採用、地緣政治因素以及技術進步的速度。

依據 Business Wire 研究報告顯示，2021 年，全球太空產業的市場價值估計在 3800 至 3880 億美元，預測在 2025 至 2026 年，太空產業之市場成長將達到 5400 億美元。全球太空市場可以分為上游與下游兩部分，下游產業為我們的日常生活中常見的衛星運營與服務提供商，包含衛星通訊、地球觀測、定位、導航與時態服務，以及其他由太空資源或資料提供的各種商業/科學用途；而下游產業高度依賴於上游產業，特別是發射服務與運營，為太空產業價值鏈中不可或缺的一環，包含衛星與太空飛行器的設計、製造、推進系統、發射系統等。

無論是大企業或是新創公司，正在採用更先進的技術，推出新的設計，以縮短產品的開發週期。2023 年 SpaceTech Analytics 的研究報告針對 1 萬多家太空科技公司進行調查，結果顯示，美國的太空科技公司數量在全球位居領先地位，占全球 56.4%，其次是英國，占 6.5%，再來依序為加拿大、中國、德國及印度，分別為 5.3%、4.7%、4.1%及 3.6%。

研究人員們認為，下一個太空時代可能朝四種方向發展，主要的決定因素為太空可產生的商業價值程度以及業界執行協同治理的程度，基於這兩個因素間的相互作用，可能會有以下四種不同的發展情境：

第一種情境為開放的太空經濟模式，其特點是前所未見的技術革新。這是由全球合作、大量的資金注入和健康的競爭共同驅動的結果。在此背景下，太空經濟透過持續創新的應用場景，如普及全球通訊，來提升及增進地球居民的生活品質。

第二種情境為霸權爭奪模式，太空活動持續增加並持續獲得投資，但其管理模式仍受制於有限的框架，若沒有適當的治理方法來推廣合作與開放，太空活動可能僅限制於少數的先進國家和大型企業，從長期角度看，缺乏良性競爭可能會阻礙太空全部潛力的實現。

第三種情境為太空潛力遭遇瓶頸，受到技術、經濟和監管上的挑戰，發展受到拖延。雖然太空通訊、地球觀測和相關研究的傳統功能依然運作，但充滿活力的太空經濟尚未完全發揮，在最壞的狀況下，由於軌道碎片問題加劇，許多太空活動可能完全受阻停止。

第四種情境為以國家安全為首的模式，此模式源於一連串太空危機事件，這些危機促使各國政府將太空活動的監管和責任重新歸於國家主導。為此，政府可能會實施更為嚴格的監管措施。雖然這樣的措施可能為太空的長期治理提供穩定性，但也可能抬高太空活動的總成本、抑制市場創新、冷卻投資熱情。在這種情境下，技術的商業化僅次於國家安全的利益，而許多先進技術可能會被列為機密。

三、國際政策動態

(一)美國太空科技發展與重要事件

1.美國太空總署(NASA)

1958 年，美國國家航空暨太空法案(National Aeronautics and Space Act)成立，隨之創立美國太空總署 NASA，該組織的使命是促進國際社會參與太空科學發現與太空探索，並且與數十個國家建立合作夥伴關係，同時積極推動太空經濟發展。美國太空總署 NASA 為太空科技制定發展策略，策略目標包含(1)透過新的科學發現擴展人類知識；(2)將人類的存在擴展到月球和火星，以進行永續的長期探索、開發、利用；(3)促進經濟成長並推動創新，應對國家挑戰；(4)增強能力與運營，促進當前與未來任務的成功。上述策略目標以安全、誠信、包容、團隊合作及卓越作為該組織的核心價值觀。

2.阿提米絲計畫

自 1972 年阿波羅登月計畫(Project Apollo)結束後，美國太空總署 NASA 再度挑戰探月任務，制定「阿提米絲計畫(Artemis)」，2022 年 11 月，已展開首次任務，阿提米絲一號(Artemis I)執行為期 25.5 天的探月之旅，在 2022 年 12 月，任務成功完成，獵戶座太空船(Orion)安全返回地球，成功實現無人試航目標。

近年來，美中俄三大國家都積極投入太空計畫的發展，中國正推動多項宏大的太空計畫，建立國際月球科研站，與美國太空總署 NASA 的阿提米絲登月計畫相互競爭。過去，國際太空站是由美國與俄羅斯共同維護，但俄羅斯已表示將於 2024 年退出國際太空站，並建立自己的太空站，面對這樣的情況，美國正在尋求減少對俄羅斯的依賴，並自主維護國際太空站。

就美國而言，阿提米絲計畫不僅是推進科學研究發展，還涉及國際競爭、太空秩序建立、推動性別平等的理念，以及人類探索太空的渴望與遠大抱負。為了確保透明度，美國太空總署 NASA 要求合作夥伴國家公開其自己的政策與計畫，並鼓勵他們使用或建立開放的國際標準，以確保系統間的順暢協作與互操作性(Interoperability)。當太空人遇到危險時，依據救援協議(Rescue Agreement)，合作國應提供必要的援助以確保他們的安全。至 2022 年 10 月止，已有 21 個國家簽署協議。此外，也強調彼此尊重，防止任何形式的有害干擾，同時著手於月球、火星和小行星的資源開採與利用，希望全球都能分享這些資源的好處，保障太空環境的安全性與永續性。

(二)歐洲太空科技發展與重要事件

1.歐洲太空總署(ESA)

歐洲正在進行一系列太空科技重點項目，其目的為推動太空科學研究、太空技術創新，以及太空探索。這些重點項目將進一步推動歐洲太空科技的發展，帶來科學、技術及社會進步，透過執行重點項目獲得的訊息，提供管理者、救援隊伍與相關機構即時情報，以制訂環境政策、支援關鍵決策，並應用於城市管理、自然保護、農業、林業、漁業、民防、交通和旅遊業等領域，從而創造新商機。

2.哥白尼計畫 Copernicus Programme

哥白尼計畫由歐盟委員會(European Commission, EC)、歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)、歐洲氣象衛星開發組織(European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT)共同合作資助、協調和管理。哥白尼系統提供多元監測服務：哥白尼大氣監測服務(Copernicus Atmosphere Monitoring Service, CAMS)專注於大氣成分如溫室氣體和懸浮微粒，支援空氣質量和氣候相關決策；哥白尼海洋環境監測服務(Copernicus Marine Environment Monitoring Service, CMEMS)提供海洋與生態系統資訊，有助於歐盟的綠色發展；哥白尼土地監測服務 Copernicus Land Monitoring Service, CLMS)針對土地覆蓋和利用、農業與水循環等提供地理空間資訊，支援城市規劃和環境管理；哥白尼氣候變化服務(Copernicus Climate Change Service, C3S)專注於氣候變化的監測和預測，協助歐盟的氣候政策制定；哥白尼緊急管理服務(Copernicus Emergency Management Service, CEMS)為緊急管理提供地理空間資料，加速災後恢復；而哥白尼安全服務(Copernicus Security Service)則專注於海上和邊境監控，確保歐盟的安全。

3.伽利略定位系統 Galileo

伽利略定位系統是歐洲獨立的系統，由歐洲太空總署 ESA 設計、開發及部署，系統的精度高達 20 厘米，不僅能提供高準確度、高可靠度的定位訊息，還能夠與其它的衛星導航系統結合使用，廣泛地應用於手機、汽車、鐵路、航空等領域。從 2016 年 12 月起，Galileo 開始為政府機構、企業、公民提供服務。開放服務(Open Service, OS)提供大眾市場的免費定位和導航；公共監督管理服務(Public Regulated Service, PRS)為歐盟授權用戶如國防和警察提供加密服務，確保在緊急或危機時的運作；而搜索與救援服務(Search and Rescue Service, SAR)透過 Galileo 的「Return Link」功能，在求救情境下確認求救訊號已被接收，協助國際衛星搜救組織的救援行動。

4.歐洲地球同步衛星導航增強系統 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

EGNOS 是歐洲的區域衛星增強系統(Satellite-Based Augmentation System , SBAS)，由歐洲太空總署 ESA、歐盟委員會 EC、歐洲空中航行安全組織(Eurocontrol)三方共同管理，用以提高全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)性能，提供航空、海事、陸地用戶安全導航服務。EGNOS 提供多元服務，EGNOS 開放服務(Open Service, OS)允許免費使用，主要校正 GNSS 訊號誤差來提高定位精度，但主要針對非安全操作。EGNO 生命安全服務(Safety-of-Life, SoL)專注於航空，能在垂直引導下著陸，提高飛行安全，減少延誤和油耗，且使中小型機場能提供更安全的降落。而 EGNOS 數據存取服務(EGNOS Data Access Service, EDAS)讓用戶連接至 EGNOS，接收衛星導航的資訊。

5.政府衛星通訊 GOVSATCOM

GOVSATCOM 的目標是為用戶提供可靠、安全且具有成本效益的衛星通訊(Satcom)服務，包含三大面向：一為建立更寬廣的衛星通訊系統之地理覆蓋區域，協助執行各種太空行動與任務，並有效利用現有資產，實現軍民合作，讓歐盟及其成員國從中受益；二為確保歐洲在技術、資產、運營、服務方面，有自主決策與行動的能力，不受外部因素制約，提高保護歐洲與全球公民與人道主義之能力；三為確保歐盟政府與國防行動在各種情況下都能夠安全、可靠地進行通訊，有效地執行任務，保護國家安全，保障資訊的機密性、完整性、不可否認性(Non-repudiation)、真實性(Integrity)，同時防止資訊被攔截與入侵。危機管理支援軍事和民用救援通訊；邊境和海上監控能即時發送關鍵訊息，縮短事件反應時間；關鍵基礎設施管理重視通訊安全，使用加密技術保護資訊免於外泄或被篡改；此外，遙控駕駛航空器系統和物聯網技術提升系統反應速度，實現快速、精確的訊息傳遞。

6.IRIS² 計畫 (Infrastructure For Resilience, Interconnection And Security By Satellites)

IRIS² 為歐盟的太空通訊計畫，透過提升通訊能力的品質、增加安全性，以及創新技術與國際合作之推動，加速歐洲的競爭力。IRIS² 採用漸進式方法，預計在 2024 年開始提供服務，在 2027 年達到全面運營的能力。IRIS² 特點如下：提供多種通訊軌道或通訊頻段選擇，以滿足多樣化的通訊服務(包含軍事需求)；充分利用歐洲的衛星和通訊資產，確保通訊的自主性與可靠性能力，減少對外部地區的依賴；透過歐洲新太空時代(New Space)獲得的知識與技術，應用於連接歐

洲與具有地緣戰略的地理區域(例如非洲、北極)，提高歐洲的競爭力。

7.太空交通管理(Space Traffic Management, STM)

全球有多個組織與國家正致力於發展太空交通管理系統及其相關政策，歐盟也正在積極推動太空交通管理的議程，制定規範與參與方法，以安全、永續、有效的方式進入太空、在太空進行活動，以及返回地球，同時維護歐盟及其成員國的利益，包含四大面向：一為建立包容且透明的諮詢機制，收集所有相關歐盟夥伴的 STM 需求，評估影響性；二為提升歐盟太空監視與追蹤技術(Space Surveillance and Tracking, SST)的能力，運用人工智慧、量子技術、自動防撞系統等先進技術，確保歐洲的自主權、自我決策能力；三為建立實施規則、標準、指導方針，管理與監督太空活動，確保太空交通的安全、有效、秩序；四為推廣歐盟 STM 至全球各地，透過國際合作與共同努力，保護太空資源。

(三)日本太空科技發展與重要事件

1.日本太空機構(JAXA)

日本政府在 2008 年通過《宇宙基本法》，目的在宣示太空開發的基本原則，為太空產業的利用奠定基礎；2016 年生效的《太空活動法》與《衛星遙感法》，制定火箭與衛星發射任務的實施許可、規範標準，推動民間企業參與太空開發；2020 年的太空基本計畫，以及 2021 年的《太空資源法》，皆為日本政府支持民間進行太空探索與開發而提供的政策措施，藉以提供更多的商業機會，推動日本太空產業的發展。

JAXA 由太空與航太科學研究所(Institute of Space and Astronautical Science, ISAS)、日本國家航空實驗室(National Aerospace Laboratory of Japan, NAL)、國家太空開發事業團(National Space Development Agency of Japan, NASDA)三個機構組成，在太空科學、太空技術及太空應用領域都有著卓越的成就與貢獻，其目標為推進太空科學和太空技術的發展，提高國家的科技水平和國際競爭力；強化國家的太空安全和太空防衛能力，確保國家在太空領域的安全與利益；其主要任務為發展衛星與火箭技術、科學研究、探索太陽系與宇宙、地球觀測，藉以推動日本的太空科學、技術、應用之發展，並擴大國際合作，參與國際太空合作項目，增進國家利益。

2.JAXA 火箭與技術

愛普瑟隆固態燃料火箭的設計，可縮短火箭安裝到發射台後的漫長作業程序，以及發射火箭的準備時間，加速太空商業發展。該火箭可降低震動、噪音與衝擊，

非常適合搭載衛星，目前開發的 Epsilon-5 火箭，最多可同時發射 9 枚衛星至目標軌道，未來將有助於小型衛星之市場成長。

日本的 H3 運載火箭是 JAXA 與日本企業合作的產物，以用戶需求為出發點，製造出靈活、高度可靠、成本低、易使用之火箭。為了增強推力，該火箭使用「膨脹排放循環」技術，確保燃燒的平穩性，降低損壞和失敗的風險，同時，於火箭引擎中導入 3D 列印新技術，讓引擎架構更簡易，以降低成本。

3.JAXA 衛星技術

日本透過多款衛星，致力於太空科學研究與地球觀測。全球氣候觀測衛星 GCOM-C 專注於從太空觀測氣候變化；陸地區域觀測衛星 2 號 ALOS-2 提供公共安全與環境保護的資料，且對地震、火山活動有卓越的監測能力；溫室氣體觀測衛星 GOSAT-2 針對大氣中的溫室氣體進行細節觀察，助於國際氣候政策制定；全球降雨觀測計畫 GPM 與雙頻降水雷達 DPR 則提供精確的全球降雨狀況；水循環變動觀測衛星 GCOM-W 則觀測各類水文氣象參數；而大地三號與大地四號衛星則主要提供地表的持續觀測及早期異常事件預測。這些衛星合力強化了日本在氣候、環境與災害預測等領域的能力。

(四)臺灣太空科技發展與重要事件

1.國家太空中心(TASA)

太空科技具有巨大的潛力，它不僅能推進各項前沿技術的研發和創新，更有助於提升國家競爭力，增進民生的福祉。臺灣於 1979 年 11 月成立國家太空科技發展長程計畫規劃小組。隨後，國科會進一步建立「國家太空計畫室籌備處」，該組織現今已發展成為「國家太空中心」，並成為我國太空計畫的核心執行機關。目前，國家太空中心正進行第三期太空計畫(2019 至 2028 年)，以衛星技術發展為主軸，目的為逐步實踐臺灣於太空科技領域的遠大理想，藉由執行衛星計畫，支援國家任務，促進科學研究，並帶動產業發展。此外，培育人才、尖端技術的研發和太空產業的建立都是其重要使命。

2.臺灣太空計畫

臺灣的太空計畫有三期，第一期（80 年至 95 年），成功執行了福衛一、二、三號的任務，共發射 8 枚衛星，並進行了相關的科學實驗，為臺灣的太空科技發展打下了堅實的基礎；第二期（93 年至 107 年），以福衛五號和七號計畫為主軸，不僅推動學術研究，更促進了相關產業的發展，從而全面加強了我國的太空科技發展能力。第三期（108 年至 117 年），計劃每年發射一枚衛星，使其成為國土安

全和自然環境監測的高端科技工具。在天然災害發生時，這些衛星能提供實時影像，迅速監控國土安全和環境變化，同時還可以監測如森林過度開發、地層下陷等情況，以精確評估災害的影響範圍。除此之外，我們也著手推進外太空探索和科學創新的計畫。

2021 年 5 月，立法院正式通過「太空發展法」，同年 11 月，全台首座短期科研火箭發射場落腳屏東旭海，並於 2022 年 1 月正式啟用。同月，針對太空發展法發布四項相關子法，分別為：「發射載具及太空載具登錄作業辦法」、「發射載具發射許可及太空事故處理辦法」、「發射場域土地之選址設置營運管理補償及回饋辦法」及「民間太空載具資訊提供及補償辦法」，以確保太空發展法的完善執行。

3.臺灣太空發展重要歷程

1991 年：太空發展長程(15 年)計畫，成立國家太空計畫室籌備處。

1997 年：福爾摩沙衛星一號發射成功，拍攝第一張海洋水色影像(已結束任務)。

2004 年：福爾摩沙衛星二號發射成功，拍攝第一張遙測影像(已結束任務)。

2005 年：國家太空計畫室更名「國家太空中心」。

2006 年：福衛三號發射成功，建立氣象、電離層及氣候衛星星系觀測系統(已結束任務)。

2017 年：臺灣首顆完全自主研发的光學遙測衛星「福衛五號」發射成功。

2019 年：台美大型國際合作案，建立氣象衛星系統「福衛七號」發射成功，延續福衛三號的氣象任務。

2021 年：立方衛星「飛鼠」、「玉山」發射成功；太空產業列入臺灣六大核心戰略產業；太空發展法三讀通過。

2023 年：臺灣第一顆自行設計製造的氣象衛星「獵風者衛星」，為太空中心自行設計製造，搭載全球導航衛星系統反射訊號接收儀(GNSS)，與福衛七號共同執行大氣觀測任務，於 2023 年 10 月升空。

四、太空產業的新興應用

1.衛星物聯網的應用

衛星可為地球上偏遠地區或困難到達地區提供網路訊號，物聯網可透過有線

或無線的方式，互相連接通訊系統上的各種裝置；衛星物聯網則是當物聯網設備移動到非地面網路訊號的區域時，會從蜂巢式網路(Cellular Network)之地面連接方式切換成衛星通訊之連接方式，帶來更便利的通訊服務。近年來，隨著通訊服務需求增加、高速寬頻技術提升，以及政府與企業的資金投入，正在推動衛星物聯網市場成長；過去，GEO 衛星為衛星物聯網的主要技術，現在，正轉向使用 LEO 衛星；相較於 GEO 衛星，LEO 衛星有小於 30 毫秒之低延遲特性，以及 100 Mbps 之高網路涵蓋率。

衛星的關鍵技術包含先進的電子技術與運載火箭技術，其相關研發投入也越來越多，進而帶動衛星物聯網之垂直產業應用需求，詳如表一所示。

表一：衛星物聯網的應用概述

應用領域	概述
運輸與物流	DHL、UPS、FedEx 物流業者目前正在其運輸與追蹤系統中，使用車載資通訊系統來追蹤他們的貨物，以提供更好的客戶服務；然而，並非每個區域都有行動通訊服務，除了住宅區之外，道路與高速公路上的蜂巢式網路涵蓋率品質參差不齊，對於跟蹤車輛、貨櫃，提供運輸路線、貨物溫度資料之應用困難，帶給物流業者挑戰。衛星物聯網可解決上述問題，透過低功率車載資通訊系統、5G 窄頻物聯網(NB-IoT)傳輸模式，提供通訊連接，無論在何處都可以直接連接到太空中的衛星。
軍事國防	物聯網與衛星網路的結合應用於感測器與軍事設備，可讓軍事人員更加了解自身所處之環境，從而協助完成軍事作戰、後勤保障、情報搜集之任務，增加軍隊的防禦能力、任務的成功率，藉以提升國家的軍事競爭力。
農業	精準農業讓農民能夠更有效地管理人力、資源、農場，同時提高農作物生產力，增進農產品利潤；然而，雖然農村地區生產糧食的土地廣闊，但缺乏基礎設施，通訊品質不佳，造成精準農業執行上的困難。藉由衛星物聯網技術，以通訊衛星來接收與發送涵蓋全球之訊號，可提供低成本的連接服務，提高執行精準農業的可行性，幫助農業實現永續發展。
海事	依據經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)的研究報告顯示，全球貿易大約有 90% 貨物是透過海運；然而，海上的網路與通訊能力有限，造成業者訊息傳遞的限制。近年來，越來越多的海運業務

	<p>使用衛星物聯網來追蹤貨櫃，藉由衛星物聯網之車載資通訊系統(Telematics)，進行網路連接功能，追蹤跨越海洋的貨櫃、找回遺失或被盜的車輛，或是在緊急情況下向船舶發出警報，提供相關訊息。目前，西班牙 Sateliot 公司與德國 Sensefinity 公司合作，在智慧貨櫃中導入 5G 物聯網衛星技術，以防止貨物損壞，也能減少食物浪費、碳排放，為海事產業的永續發展提供貢獻。</p>
石油與天然氣	<p>石油鑽油平台是位於海上的大型的結構設施，用於鑽井提取石油和天然氣；然而，由於石油鑽井平台與行動通訊基地台、通訊站之連接距離太遠，或是某些石油設施必需在水下環境進行通訊，導致業者開採石油與天然氣之困難度增加。有鑒於此，應用衛星物聯網，可提供業者高可靠度的網路連接功能，確保開採地點，以及提供高安全度的危險負載通知，遵從各項安全規範，還能用於油田基礎設施、設備之監控，藉以提高生產力、減少支出。</p>
能源	<p>電力公司正在將物聯網技術整合於智慧電錶、智慧電網系統，以控制並改善能源的供應與消耗，進行電力的自動化生產與分配；進一步將衛星物聯網技術運用於該產業，透過衛星訊號與地面設備連接，可大幅增加訊號涵蓋範圍，提供偏遠地區更好的通訊連接服務，為能源產業打造永續環境。</p>
生醫	<p>生醫產業將物聯網技術應用於遠程患者監測系統(Remote Patient Monitoring, RPM) 與遠程去中心化臨床試驗(Decentralized Clinical Trials, DCT)，以改善患者的診斷過程與治療效果。近年來，歐洲太空總署(ESA)的 TelAny 計畫(Telecommunication Anywhere)，透過衛星通訊技術，結合醫療、軟體、電信的專家經驗，讓醫生遠距監控與治療急診病患或慢性病患者，即時提供有效的虛擬診斷與治療方法，提高患者的治療效果，其項目包含使用植入體內的設備監測患者並獲取生命訊號、處理遠洋船舶上的緊急醫療需求。</p>

透過衛星物聯網，各產業不僅能夠獲得更加精確和即時的資訊，還能大幅提高其運營效率，為商業和社會帶來了巨大的益處。隨著技術的持續進步，我們可以預期，在未來，衛星物聯網將在更多的領域中發揮其優勢，推動全球的科技和經濟發展。

2. 星載遙測綠色應用案例

星載遙測對人類社會永續發展相當重要，可支持之綠色應用涵蓋：了解氣候變遷；實現經濟和產業的綠色轉型；保護生物多樣性、生態系統和環境等，表二為綠色應用案例概述。

表二：星載遙測之綠色應用案例概述

項目	案例概述說明
了解氣候變遷：測量北極海冰範圍	歐洲氣象衛星開發組織(EUMETSAT)利用衛星觀測近 40 年(1981-2020 年)北極海冰範圍(Arctic Sea ice Extent)，數據顯示近十年來海冰範圍已顯著低於 1981 年到 2010 年期間的中位值，且 2020 年海冰範圍已較 1979 年縮小了約一個格陵蘭島的面積。
實現經濟和產業綠色轉型：實現精準與智慧農業	Airbus Intelligence 所提供之軟體解決方案，能透過衛星影像分析，監測與管理農田與農作物生長，並提供作物播種、施肥、灌溉、收成等相關資訊，以改善農業生產，實現精準與智慧農業。
保護生物多樣性、生態系統和環境：監測大氣污染	Copernicus Sentinel-5P satellite 地球觀測衛星提供義大利北部大氣中二氧化氮的濃度資訊，有助於了解此空氣污染對環境以及人類與動物健康之負面影響，例如導致環境退化(Environmental Degradation)或誘發其他空氣污染物。

星載遙測技術目前在技術與數據的使用上仍面臨諸多挑戰，如改善解析度等，但由於其對目前社會面臨之挑戰有極大助益，包括提升對氣候變遷的認知、實現經濟和產業綠色轉型以及保護環境與生物多樣性等，未來將持續吸引各國與業者之關注與投入。

3. 人工智慧/機器學習在太空產業的應用

人工智慧(AI)/機器學習(ML)是太空產業的關鍵技術，應用於太空探索、衛星服務、太空碎片管理等領域，能夠增強數據處理、自主決策，讓執行任務的能力發揮最佳效果。將 AI 與 ML 技術，再結合量子計算、先進材料等尖端技術，將能協助處理更困難的太空科技問題，因應探索太空的各種挑戰，更進一步地改變太空產業，推動太空探索與資源利用的永續發展。然而，太空中的環境充斥著真空、電漿、原子氧(Atomic Oxygen)、輻射、太空碎片、溫度極高或極低等極端條件，使得 AI/ML 技術於太空科技的應用面臨極大的障礙與挑戰，因此，需要尋

求適合的元件與材料來因應這些挑戰，保護 AI 系統避免受損壞且正常運作。AI/ML 在太空產業中的應用概述，詳如表三所示。

表三：AI/ML 在太空產業中的應用概述

應用領域	概述
衛星酬載 (Satellite Payload)	在地球觀測與太空探測，AI 的演算法能夠高效處理圖像數據資料，提供準確的陸地測繪資訊、氣候監測資訊。在太空碎片處理，AI 技術可以分析衛星軌道與碎片的分佈狀況，預測碎片軌跡與衝撞風險，並提供碎片清除策略，以及協助規劃與執行衛星壽命終止(End-of-life, EOL)措施。也可以用於衛星光學系統中的儀器校準，並依據環境條件變化，自動調整光學特性，幫助實現衛星執行任務，提高任務效率，獲得最佳成果。在太空輻射監控，AI 技術可以提高數據處理與分析的效率、準確性，亦有助於評估輻射風險。在衛星遙測，AI 技術可以幫忙辨識地表特徵、分類地物類型、監測環境變化、預測氣候趨勢。
衛星網路管理	為了讓衛星系統能夠自主地運營與管理，衛星網路管理涉及多個面向，包含網路效能、網路資源分配、故障檢測與修復。在網路效能方面，藉由 AI/ML 技術，驅動網路管理工具，並運用先進的演算法與數據分析方法，動態調整訊號強度、訊框同步(Frame Synchronization)、路由協定(Routing Protocol)等參數，實現網路效能的最佳化。在網路資源分配，藉由 AI 技術，可依據即時網路狀況、用戶需求、訊號品質要求，動態分配網路資源，實現更高效的網路資源利用。在故障檢測與修復，藉由 AI 技術，可以主動辨識網路故障並啟動糾正措施，自行恢復網路功能，最大限度地減少用戶影響。此外，AI 系統還能即時檢測網路威脅，透過數據資料的分析，辨識危險模式，避免衛星網路遭受攻擊，維護通訊服務的安全性。
衛星效能管理	衛星效能管理用於監控各種衛星次系統的狀態與性能，包含電源、通訊系統、推進系統的異常檢測情況與故障預測。AI 驅動的性能監測系統，藉由 ML 技術即時分析遙測數據，快速辨識與糾正潛在的系統異常；並利用支持向量機(Support Vector Machine, SVM)或神經網路(Neural Network,

	<p>NN)等監督學習算法，在歷史遙測數據集上進行訓練，區分系統的「正常」和「異常」狀態，及早檢測導致系統故障、異常狀況之發生；以及利用時間序列分析(Time Series Analysis)和預測建模(Predictive Modeling)技術，在系統故障發生前，提供預測性維護功能、預測未來的系統狀態。此外，也能在自主決策系統中使用強化學習演算法(Reinforcement Learning Algorithm)，讓衛星在不同的環境狀態下，能採取最佳的行動指令。</p>
<p>姿態與軌道控制系統 (Altitude and Orbital Control System, AOCS)</p>	<p>姿態與軌道控制系統(AOCS)對於太空飛行器的性能極為重要，其依據太空任務的複雜性、太空中操作的限制性，將方向(姿態)與軌跡(軌道)保持在所需參數內。AI 技術可以提供該系統自主控制的能力、增進操作效率。星象追蹤儀(Star Tracker)用於確定衛星姿態的精確度，使用 AI 技術中的卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)，開發能夠快速且準確識別星圖的辨識系統。過去太空飛行器的迷失演算法，既複雜又緩慢，藉由 AI/ML 技術，不僅能提高運算速度，還能尋找數據模式(Data Modeling)及其相關性，減少太空迷失情況的發生。另外，藉由 AI/ML 技術，能依據即時遙測之動態數據來調整推力，將衛星推進系統性能達到最佳化，進而減少推進劑的使用量，延長衛星的使用壽命。此外，藉由 AI/ML 技術，也能依據飛行器與其他物體的相對位置，評估潛在的碰撞風險，避免執行動態任務遭受碰撞，增加飛行器運作的安全性。</p>
<p>衛星數據處理</p>	<p>AI 技術在衛星數據處理中發揮著重要的作用，它能夠自動化地處理、清理、分析大量數據，協助使用者從大量數據中，獲取有價值、有意義且可操作的資訊，以利後續制定相應的策略或採取有效的行動。將衛星數據應用於科學研究、環境監測、天氣預測等領域具有重要意義，為推動科學技術的發展發揮著關鍵作用。</p>
<p>外太空任務</p>	<p>大多數地球軌道以外的探索任務，面臨著艱難且長期的挑戰，常常出現許多無法避免的限制，像是目標飛行器與系統之間的通訊無法連接，因此，任務從規劃到執行的各個階段，都需要 AI 技術的協助。開發人員將 AI 技術用於外太</p>

	空探索的自動化流程，在無需手動輸入的狀況下，各個系統能夠自動地檢測、預測、解決異常情況。目前為外太空任務的初始階段，主要集中在月球探測，後續將朝向更遠的目標，像是火星或小行星，因此，AI 技術的開發需求將持續存在，以支持外太空任務之運作。
--	---

隨著太空科技的發展，我們越來越依賴 AI/ML 技術，以實現更高效和更安全的太空任務。未來的太空時代，AI/ML 將作為我們探索宇宙、拓展視野的關鍵技術，引領我們進入新太空時代。

五、結語

臺灣在太空科技人才培育方面，展現了遠見的策略與堅定的決心。政府積極與各大學合作，新增太空系統工程研究所、強化學術研究，例如陽明交大、成大、逢甲及北科大四所學府，已在 112 學年開設太空科技相關研究所。此外，國家太空中心也在今年度計劃招攬超過 100 名太空領域的專業人才，彰顯臺灣對太空科技人才的高度期待。同時，憑藉臺灣在電子、精密機械、光電及 AI 領域的產業基礎與技術累積，為臺灣未來的太空科技發展奠定堅實的基石，以及獨特的競爭優勢。目前，臺灣電子產業已有不少公司陸續投入太空產業、聚焦低軌衛星商機，像是近期中央大學與鴻海公司的產學合作，研製開發臺灣業界第一顆實驗低軌通訊衛星，以及宏基集團成立智探太空，投入立方衛星的設計研發製造。

另一方面，面對國家安全需求與災害防救的實際挑戰，我們可以透過發展立方衛星、衛星 IOT，以及結合 AI 技術的衛星影像解析，不僅能增強臺灣的國防安全，也能提升對災害的即時應對和預測能力。此外，積極發展太空產業的基礎設施，將有助於建立完整的本土太空產業鏈，從衛星元件與次系統的製造，到衛星的發射、操作，以及後續的應用都可以實現自主研發與生產，不僅能強化臺灣的太空技術，也將為本土企業帶來更多的發展機會和國際市場的競爭力。未來，透過結合臺灣的產業優勢與國家需求，積極發展太空科技產業鏈，臺灣將在太空領域獲得更大的發展空間和國際影響力。

臺灣在太空科技領域擁有深厚的產業基礎，加上政府的政策支持，以及積極尋求國際合作，期望能幫助臺灣帶來新的機會與視野，讓臺灣在全球太空科技競爭中占有一席之地。

參考資料：

1. Mckinsey, The role of space in driving sustainability, security, and development on Earth, 2022.
2. Keysight Technologies, Defying Gravity-Challenges, Opportunities, And Innovations In The Space Tech Industry, 2023.
3. 行政院全球資訊網，推動我國太空科技發展(2022)。(取自：
<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/f441e557-77fd-41a6-b200-41a4a49c8cca>)
4. 國科會新聞稿(2023)，國科會第 5 次委員會議提出太空科技發展策略及政府協助企業數位轉型及促進數位平權之成果。(取自：
<https://www.nstc.gov.tw/folksonomy/detail/52c95e68-4ef2-495a-a845-1e5f4e6a3339?l=ch>)
5. 中時新聞網(2023)，2022 年太空產業產值達 2158 億元 4 大學成立太空研究所。(取自：https://www.chinatimes.com/realtimenews/20230529003622-260405?ctrack=pc_main_rtime_p05&chdtv)
6. 工商時報(2023)，智探衛星上太空 明年底看 8 枚。(取自：
<https://www.ctee.com.tw/news/20230922700177-439901>)
7. National Aeronautics and Space Administration, Aerospace Safety Advisory Panel Annual Report, 2023.
8. National Aeronautics and Space Administration, Economic Impact Report, 2022.
9. National Aeronautics and Space Administration, NASA'S Moon To Mars, 2023 Strategy And Objectives Development.
10. Frost & Sullivan, Overview of Space Programs in Select Countries & Provisions for Collaboration.
11. European Commission, EU Space Programme Overview, 2022.
12. European Commission, Copernicus Europe's Eyes On Earth, 2022.
13. European Commission, Galileo Next Generation And Secure Connectivity, 2023.
14. European Commission, IRIS²: Infrastructure For Resilience, Interconnectivity And Security By Satellite, 2023.
15. European Commission, An EU Approach For Space Traffic Mangement, 2022.
16. European Space Agency, EGNOS SYSTEM. (取自:<https://egnos-user-support.essp-sas.eu/egnos-system/about-egnos>)
17. JAXA, JAXA 要覽 2022-2023, 2022.
18. Frost & Sullivan, Growth Opportunities for a Global Space Policy Framework, 2022.
19. National Space Policy Secretariat, Cabinet Office, Japan, Outline of the Basic Plan on Space Policy, 2020.
20. Frost & Sullivan, Artificial Intelligence/Machine Learning Solutions in the Space

Industry, 2023.

21. Frost & Sullivan, Global Artificial Intelligence in Space Growth Opportunities, 2022.
22. SpaceTech Analytics, SpaceTech Industry Analytical Framework, 2023.