



本期內容

- 專題報導：拜登總統太空政策初探
SpaceX Starlink 發展觀察
太空雷射光通訊趨勢(Part I)
- 活動回顧：2020 全球太空產業重點回顧
- 活動預告：台捷(克)太空科技產業研討會
台灣製玉山與飛鼠衛星 美東時間 21 日發射
飛奔到太空 2021 立方衛星微重力實作營隊
- 重要會務報告：第二屆第一次會員大會暨理監事改選會議

發行人：林俊良

編輯群：黃楓台、梁尹綺

專題報導

拜登總統太空政策初探 文/國家太空中心黃楓台

前言

西元 2020 年美國總統大選結果大致底定，代表民主黨的喬·拜登 (Joe Biden) 贏得此次選舉，將在 2021 年 1 月 20 日正式就任。毫無疑問地，新任總統要如何處理美國與中國間的各式問題，以及應對目前仍無減緩跡象的 Covid-19 議題，這將是拜登上任後的首要課題，也是全球關注的焦點。與前面幾項問題相比，太空政策或許不是拜登政府首要解決的項目，但是美國作為全球太空領域的龍頭，拜登任何的決策都將會對人類的太空發展產生重大的影響。

事實上，拜登作為一個政治領導人物，他對太空的態度是相當隱晦的。根據媒體描述：儘管拜登在政治上是一個大家熟知的人物，但他在參議院工作數十年，以及在歐巴馬時代擔任副總統八年之後，但是他對太空的看法以及他對美國國家航空暨太空總署(NASA)的規劃仍是相當不明顯¹。在去年競選總統過程中，拜登鮮少提及他對太空的想法，喬治華盛頓大學太空政

策研究所前所長洛格斯登(John Logsdon)甚至說：「令我驚訝的一件事是，拜登競選活動沒有發表太空政策聲明」²。唯一讓人印象深刻的是去年夏天他在 NASA 完成飛龍號試飛任務的發射和返回後表示：作為總統，我期待領導一項大膽的太空計畫，該計畫將繼續派遣太空人英雄，通過對研究和技術的投資來擴大我們的探索以及科學前緣(expand our exploration and scientific frontiers)，以幫助地球上的數百萬人³。在川普總統時代，(1)提出阿提米絲(Artemis)計畫以及(2)成立太空軍，這兩個太空發展方向是否會在拜登總統時代延續下去，或是有所改變，受到全球矚目。另外，拜登總統是否會提出新的太空計畫亦受到大家的關注。本文綜整網路新聞與智庫分析相關論點，讓我們進一步了解美國未來四年可能的太空政策及其走向。

¹ Jeff Foust, From the moon to the Earth: How the Biden administration might reshape NASA, SpaceNews, November 20, 2020.

² 同[1]

³ Miriam Kramer, Hans Nichols, How NASA and the Space Force might fare under Biden, Axios, October, 27, 2020

拜登總統的太空政策

●阿提米絲計畫會取消嗎？

阿提米絲計畫(阿提米絲是希臘神話女神·阿波羅的孿生姐姐)是美國 NASA 的一項太空探索計畫，目標是重返月球並且登陸火星，該計畫包含首次將一名女太空人送至月球。2019 年 5 月美國總統川普表示，全力支持該計畫，希望在 2024 年實現重返月球⁴。跟先前阿波羅計畫相比，阿提米絲計畫的目標，不僅僅是返回月球再度插上美國國旗以及獲得另一個腳印而已，川普政府的計畫是在月球表面建立一個永久性的基地以進行資源探勘與採集，因為他們了解到月球和近地小行星是維持人類在月軌內空間(cislunar space)從事經濟活動的資源基礎⁵。

美國 NASA 去年 5 月發表「阿提米絲協議」(Artemis Accords)作為未來探索月球的新準則，將開採月球資源以及建立安全區納入其中，積極邀請盟國加入，截至目前已有美國、澳洲、加拿大、日本、盧森堡、意大利、英國及阿聯酋等 8 個國家完成簽署。「阿提米絲協議」企圖在未來月球探索建立長期標準，在月球基地建立安全區域，避免將來各國在月球發生衝突，同時也允許私人企業擁有開採的月球資源的權利⁶。在過去，美國載人太空任務計畫都會受到政權輪替的影響⁷，因此一般皆認為拜登上台後勢必也會對於「阿提米絲計畫」進行調整。但是會不會進一步取消該計畫呢？

誠如前面所述，拜登總統很少對太空發展提出相關論述，但是一份民主黨以「建立更強大、更公平的經濟」(Building a Stronger, Fairer Economy)為題的文件可以提供一些線索做為參考。該份文件表示民主黨：支持 NASA 的工作，使美國人重返月球、超越火星，邁出探索我們太陽系的下一步⁸。另外，已有多個美國盟國加入「阿提米絲協議」，礙於友邦國家的壓力，美國很難單方面取消該計畫⁹。一個可能的方向是將推遲原 2024 年末與川普第二任任期結束綁在一起首位美國女性登陸月球的規劃¹⁰。

●太空軍會解散嗎？

西元 2019 年 12 月，美國眾議院和參議院通過 2020

財政年度的國防授權法案，該法案授權國防部成立太空軍，同年 12 月 20 日川普總統在安德魯斯聯合基地的簽署成為法律，太空軍成為美國在陸、海、空、海軍陸戰隊、海岸防衛隊的第六個軍種¹¹。太空軍的成立，再次證明美國不只是將太空視為科學探索與商業發展的場域，而是一個潛在的戰區。在川普政府時代成立的新軍種，會在拜登正式上任後解散嗎？現實的狀況是，美國的戰略對手中國和俄羅斯在太空領域能力不斷增強，中國人民解放軍戰略支援部隊和俄羅斯太空部隊更是早在美國太空軍成立前就已設置，美國在國防與安全利益受到中俄兩國的威脅。這兩國不會因為美國解散太空軍，就會放棄反衛星系統或是太空軍事部門的發展。面對此一局勢，拜登政府為了美國利益，需要製定明確的太空國防政策與能力，而美國太空軍則是扮演一個重要的角色¹²。未來美國太空軍應該會保留下來，而其後續發展需要進一步的觀察。

●拜登太空計畫可能的新元素是什麼？

拜登希望在進入白宮後重新加入《巴黎氣候協定》國際倡議，並不斷強調 2030 年《永續發展目標》(Sustainable Development Goals)和《仙台減少災害風險框架》(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction)等全球主要倡議，而太空科技是提供了解和應對氣候變化的一項重要工具¹³。

實際上，拜登已經暗示，他認為 NASA 的功能是更加專注於應對氣候變化帶來的全球挑戰。這肯定意味著在拜登上任後可能會在新的衛星計畫與科學研究上投入更多資金，以監測不斷變化的天氣模式和海平面上升，並應對氣候變化引起的極端天氣¹⁴。

結論：川規拜隨？

實際上，美國無論民主黨與共和黨怎樣輪替，在太空政策都有一個長期以來的原則與目標，而這些原則與目標反映了美國的核心價值觀與國家利益。在這些利益中，最重要的是確保美國在太空領域以及太空活動的永續性、安全性，以及在國際領導地位¹⁵。也因此拜登政府或許會在太空計畫上做出不同的選擇，但其實背後的戰略思維都是在確保美國不論是政府部門

⁴ 維基百科 阿提米絲計畫

⁵ Malcolm Davis, Biden's space policy: boldly going ... where?, The Strategist, The Australian Strategic Policy Institute Blog, December 10, 2020.

⁶ 自由時報，NASA「阿提米絲協議」已 8 國簽署 誓言建最大太空探索聯盟，October 14, 2020.

⁷ Ian Whittaker, Gareth Dorrian, From Space Force to Artemis: what Joe Biden presidency may mean in orbit and beyond, The Conversation, November, 11, 2020.

⁸ 同[7]

⁹ 同[7]

¹⁰ 同[1] [3] [5]

¹¹ 維基百科 美國太空軍

¹² 同[5]

¹³ The Secure World Foundation staff, Building Back Better: Critical first issues for a successful Biden space policy, SpaceNews, December 4, 2020.

¹⁴ 同[5]

¹⁵ 同[13]

或是私人企業能夠在未來持續利用太空，以獲取最大國家安全以及商業上的利益。

前部署速度，估計第一期星系(1,584 顆)可望於 2021-2022 年建置完成。

SpaceX Starlink 發展觀察

文/資策會分析師顧馨文

一、前言

隨著衛星製造低成本趨勢及商業火箭產業成形，近年低軌衛星寬頻通訊成為國際資本與技術投入焦點，知名大廠如 SpaceX、OneWeb 及 Amazon 等已啟動相關布局。SpaceX 具備全球領先之火箭發射能力、擁有衛星發射成本低之優勢，加上創辦人 Elon Musk 籌資及經營公司能力，預期該公司可望成為全球低軌寬頻衛星營運商領導業者，目前其 Starlink 計畫進度亦領先競爭對手，故本文從星系部署及服務提供等進行觀察及分析，提供關注本議題者之參考。

二、Starlink 星系規劃與部署

(一) 第一代星系 (Ku/Ka 頻段)

2016 年 11 月 SpaceX 提出建置 Ku/Ka 頻段低軌衛星星系及運營固定式衛星通訊服務之計畫，包括第一期部署 1,600 顆衛星、軌道高度 1,150 公里，及第二期部署 2,825 顆衛星、軌道高度 1,110-1,325 公里，2018 年 3 月獲 FCC 批准。後續，該公司就第一期及第二期星系，分別申請降低軌道高度至 550 公里及 540-570 公里，同時微調衛星數量 (參見下表)。

期程	第一期(先期)		第二期(後期)	
	原規劃	調整後	原規劃	調整後
衛星數量 (顆)	1,600	1,584	2,825	2,780
軌道高度 (公里)	1,150	550	1,110-1,325	540-570

使用頻段方面，為了快速部署將設計簡單化，第一期用戶終端(User terminal)、閘道器(Gateway)及地面控制站(TT&C)與衛星間皆使用 Ku 頻段，至第二期增加更高頻的 Ka 頻段於閘道器與衛星間通訊，細節列於下表。

SpaceX 於 2018 年成功發射 2 顆實驗衛星，2019 年開始以每次發射 60 顆衛星部署星系，自 2019 年 11 月起約每月發射一次，截至 2020 年 11 月底共發射 893 顆衛星，已有 580 顆在軌可提供服務。若維持目

通訊類型	第一期使用頻段 (GHz)	第二期使用頻段 (GHz)
用戶終端/下行	10.7-12.7	10.7-12.7
閘道器/下行	10.7-12.7	10.7-12.7, 17.8-18.6, 18.8-19.3, 19.7-20.2
用戶終端/上行	14.0-14.5	12.75-13.25, 14.0-14.5
閘道器/上行	14.0-14.5	14.0-14.5, 27.5-29.1, 29.5-30.0
地面控制站/下行	12.15-12.25	12.15-12.25, 18.55-18.60
地面控制站/上行	13.85-14.00	13.85-14.00

(二) 第一代星系 (Q/V 頻段)

2017 年 3 月 SpaceX 提出擴增星系，在上述 Ku/Ka 頻段(次)星系外，增加 7,518 顆衛星以 Q/V 頻段通訊的(次)星系，於 2018 年 11 月獲 FCC 批准。該次星系軌道高度更低、介於 335-345 公里，已是極低軌道衛星(VLEO)，具體通訊頻段則見下表。SpaceX 表示整合這兩個次星系，將可提供全球覆蓋且強固的寬頻服務。

通訊類型	使用頻段 (GHz)
用戶終端/下行、閘道器/下行	37.5-42.5
用戶終端/上行、閘道器/上行	47.2-50.2, 50.4-52.4
地面控制站/下行	37.5-37.75
地面控制站/上行	47.2-47.45

(三) 第二代星系

有鑑於個人及企業對於寬頻需求持續攀升，地面行動通訊邁入 5G 時代，為讓全球(特別是偏遠地區)皆能享有相當於 5G 行動通訊水準的寬頻服務，SpaceX 於 2020 年 5 月申請建置第二代星系及提供固定式衛星通訊服務。依據其規畫，第二代星系將由 3 萬顆衛星組成，單顆傳輸數據容量提升為目前衛星之 3 倍，衛星軌道高度介於 328-614 公里，其中 85%低於 400 公里。通訊頻段部分，用戶終端與衛星間使用 Ku 及 Ka 頻段，閘道器與衛星間使用 Ka 及 E 頻段，具體如下表所示。目前該計畫仍待 FCC 批准。

通訊型態	使用頻段 (GHz)
用戶終端/下行	10.7-12.75, 17.8-18.6, 18.8-19.3, 19.7-20.2
閘道器/下行	17.8-18.6, 18.8-19.3, 71.0-76.0
使用者/上行	12.75-13.25, 14.0-14.5, 28.35-29.1, 29.5-30.0
閘道器/上行	27.5-29.1, 29.5-30.0, 81.0-86.0
地面控制站/下行	12.15-12.25, 18.55-18.60
地面控制站/上行	13.85-14.00

三、Starlink 用戶終端測試

SpaceX 自 2020 年 7 月起開始對 Starlink 進行 Private beta test，即由該公司員工或其友人以用戶終端取得通訊相關數據，接續於 10 月底啟動名為 “Better Than Nothing Beta” 之 Public beta test，邀請居住於北緯 44.9 度至 51.1 度之美國及加拿大地區民眾申請，該公司表示：參與測試者可望體驗 50-150Mbps 傳輸(下行)速度及 20-40ms 時間延遲。檢視參與測試者於 reddit 網站分享之測試數據(7/1-11/30 共 136 筆，皆經 Ookla Speedtest 確認，分析如下表)，下行速度與 SpaceX 所稱差異不大，時間延遲則較不如預期。整體而言，Starlink 通訊效能與 4G 行通通訊約為同級。

測試項目	最小值	平均值	最大值	90% 數據區間	4G 行動 通訊 (載 波聚合)
下行速度 (Mbps)	0.67	99.45	208.63	49 180	45 150
上行速度 (Mbps)	4.39	16.40	47.74	7 25	13 39
延遲時間 (ms)	15	40	256	16 55	~50

四、Starlink 服務布局

(一) 國內布局

SpaceX 於 2020 年 11 月底宣布 Public beta test 將持續至 2021 年 1 月底或 2 月初，推估可望於 2021 年 2 月正式在美國推出服務。若以 Starlink 在 Public beta test 期間的平均通訊品質及終端設備與服務價格，與目前市場主要衛星寬頻通訊服務 HughesNet 及 Viasat 比較 (如下表)，Starlink 服務具相當競爭力。若後續三家廠商維持同樣的服務內容(假設 Starlink 上網數據量不低於竟競爭對手)與價格，預計 HughesNet 及 Viasat 將受一定程度的衝擊。

廠商/服務	Starlink (beta test)	HughesNet	Viasat
通訊技術	低軌衛星通訊	同步衛星通訊	同步衛星通訊
下行速度	~100Mbps	25Mbps	12/25/50 /100Mbps
延遲時間	~40ms	600-800ms	600-800ms
上網數據量	測試版不受限	10/20/30/50GB	80/120/ 200/300GB
月費	99 美元	59/69/99/149 美元	50/70/100/150 美元
設備價格	499 美元	449 美元	300 美元

用戶規模方面，SpaceX 原向 FCC 申請 100 萬台終端設備，後增至 500 萬台，推估其短期(未來 1-3 年)用戶數目標應在數百萬等級。而 FCC 以鄉村數位機會基金(Rural Digital Opportunity Fund)推動偏遠地區寬頻通訊服務，2020 年 12 月已進行第一階段競標，SpaceX 為得標企業之一(也是唯一的衛星服務業者)，後續將依得標承諾在美國 35 州、約 64 萬個地點提供服務。

(二) 海外布局

初步觀察 SpaceX 對於 Starlink 海外布局，似以地廣人稀、衛星通訊需求高的國家為優先。就 Starlink 已在加拿大南部提供 Public beta test 觀之，加拿大應是 Starlink 海外服務的第一站。事實上，Starlink 服務申請已獲(2020 年 11 月)加拿大主管機關批准，並正在該國東部 St. John's 市建置閘道器。澳洲方面，SpaceX 於 2020 年 8 月取得通訊服務的執照，也獲准在澳洲南部建置共 4 個閘道器。另在紐西蘭，SpaceX 在 2019 年 9 月即進行公司登記，亦有設置閘道器規劃，地點為南島的 Awarua、Cromwell 及北島的 Wellsford。

該公司亦展現在歐洲提供服務之企圖心。德國政府於 2020 年 12 月批准 SpaceX 頻率使用權(如 10.95-12.75Ghz、14.0-14.5Ghz 等)讓其得以提供 Starlink 服務，唯不能造成對既有服務(如同步衛星通訊)之干擾。法國政府於 2020 年 6-8 月間已批准 SpaceX 於 Gravelines、Villenave-d'Orbon 及 Belin-Beliet 建置閘道器，可通訊範圍涵蓋英國、愛爾蘭與法國之大部分地區，以及西班牙、葡萄牙之部分地區。另據希臘媒體報導，SpaceX 已洽詢該國主管機關，欲申請衛星通訊服務執照。

五、結語

歷經數年布局投入，SpaceX 可望於 2021 年完成 Starlink 第一代(第一期)星系大部分部署，並正式於美國及海外推出寬頻通訊服務，海外部分除加拿大外，已拿到服務許可的澳洲及德國亦有機會。由此，2021 年將是 Starlink 展現初步成績的一年，其實際表現及對相關產業的影響，有待持續關注。

參考資料：

1. <https://fcc.report/company/SpaceX-Services-Inc>
2. <https://www.reddit.com/r/Starlink/>
3. https://www.reddit.com/r/Starlink/comments/i9w09n/list_of_confirmed_starlink_speed_tests/
4. <https://www.satellitetoday.com/broadband/2020/10/28/spacex-launches-better-than-nothing-public-starlink-beta-with-99-month-service/>
5. <https://www.cnbc.com/2020/06/28/one-of-spacexs-most-ambitious-projects-remains-on-the-ground-for-now.html>
6. <https://www.fcc.gov/document/auction-904-winning-bidders>

太空雷射光通訊趨勢(Part I)

文/國家太空中心方振洲

一、前言

太空雷射光通訊主要採用地面上的自由空間雷射通訊 (Free-Space Laser Communications，簡稱 FSLC) 的技術，然後將其應用到太 (深 / 高) 空。與傳統的射頻設備相比，太空雷射光通訊系統可以在更短的時間內使用更低的功率傳輸更多資訊，因為它具有以下優勢：重量輕、尺寸小、高資料速率、大通訊容量、高方向性、更好訊噪比、無干擾問題、天線小、功耗低、安全性高、高頻譜使用率、難攔截、無法規限制、不須申請執照、以及無需國際電信聯盟 (ITU) 進行頻率協調等。歐洲太空總署(ESA)與 Airbus 集團合作已於 2016 年將太空雷射光通訊進入商業運轉。

二、太空雷射光通訊的應用

太空雷射光通訊的通信範圍可達數百至數千公里，適用於衛星至地面及衛星間服務，也可以應用在數百萬公里的深空，以及行星際距離的通訊、地球觀測、衛星上/下行鏈路、精密農業、以及鐵路、航運和

能源基礎設施的監控，另外還有地面和海洋的應用。過去幾年，包括歐洲、美國和日本的國防產業和太空機構的重大投資，讓光放大器、雷射、以及攔取、追蹤和指向 (ATP)技術進入新一波的發展，也促進了新創公司的紛紛成立。下章節簡述太空雷射光通訊發展簡史。

三、太空雷射光通訊發展簡史[1-3]

2010 年以前歷史

美國研究太空雷射通訊技術至今已有 50 多年的歷史，早期該技術主要由美國國防部和國家航空暨太空總署(NASA)以及推進噴射實驗室(JPL)進行。1992 年，美國 NASA 執行 GOPEX(Galileo Optical EXperiment)計畫，在距離地球 1,400 萬公里的伽利略號太空船上的照相儀成功偵測及接收到從地球發射的脈衝雷射光訊號。1994 年，日本國家情報通信研究機構 (NICT) 的 ETS-VI (Engineering Test Satellite VI)同步衛星，成功實現了世界上第一個地球同步軌道(GEO, Geosynchronous Earth Orbit)對地的雷射光通訊技術展示，當時資料速率是 1Mbps。2001年11月，ESA使用ARTEMIS (Advanced Relay TEchnology MISSION Satellite)同步衛星與在低地球軌道(LEO, Low Earth Orbit)的 SOPT4 遙測衛星，衛星上安裝了 SILEX (Semiconductor Laser Inter-satellite Link Experiment) 儀器，成功展示了第一個衛星間鏈路(ISL, Inter-Satellite Link)雷射通訊實驗。

2005 年 8 月，日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA) 使用在低地球軌道上運行的 OICETS (Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite) 衛星搭載 LUCE(Laser-Utilizing Communications Equipment)酬載，成功展示了與 ARTEMIS 衛星的雙向雷射通訊實驗。同年德國航空太空中心 (DLR) 成功展示 HAP(High-Altitude Platform)對地(to-GND)的雷射通訊。DLR 也利用一個高空氣球和 OICETS 衛星完成雷射通訊。

2006 年，ARTEMIS 衛星與安裝在飛機上的 LOLA (Liaison Optique Laser Aéroportée) 機載儀器成功進行雷射通訊展示。之後同年 JAXA 及 NICT 利用 OICETS 酬載實現了首次低地球軌道至地面雷射通訊展示實驗。2007 年，美國的 NFIRE 衛星與德國 TerraSAR-X 衛星，成功展示了世界上首次低地球軌道到低地球軌道的雷射通訊實驗。這兩顆衛星上都安裝德國 Tesat 公司所開發的 LCT (laser communication terminal)。隔年 2008 年，DLR 成功展示了首次飛機到地面的雷射通訊實驗。

2010-2020 年

2011 年中國的海洋 2A (HY-2A) 衛星安裝了中國第一枚雷射通訊酬載 (Laser Communication Equipment, 簡稱 LCE), 成功展示了雷射通訊及衛星雷射測距 (SLR) 實驗。2013 年 9 月, NASA 的 LADEE (Lunar Atmosphere Dust Environment Explorer) 探索太空船用其上的 LLCD (Lunar Laser Communications Demonstration) 儀器首次展示了從月球到地球的雷射通訊實驗。同年 11 月, DLR 首次進行了高速(>1Gbps)自噴射飛機與地面的雷射通訊展示實驗。

2014 年, ESA 成功在 AlphaSat 同步衛星和 Sentinel 1A 遙測衛星上展示了首次高速(>1Gbps)的地球同步軌道至低地球軌道雷射通訊實驗, 這兩顆衛星上安裝了 Tesat 公司的 LCT。同年 6 月, NICT 成功首次在 SOCRATES (Space Optical Communications Research Advanced Technology Satellite) 微衛星上安裝了 SOTA (Small Optical Transponder) 進行了首次的低地球軌道對地雷射通訊和量子金鑰傳輸(Quantum Key Distribution, 簡稱 QKD)實驗。同年 11 月, ESA 的歐洲資料中繼系統 (EDRS), 又稱為太空資訊公路 (Space Data Highway), 首次展示了 Gbps 級的雷射通訊系統和商業運營服務。同年 12 月, NASA 宣佈其貓眼石 (OPALS, Optical PAYload for Lasercomm Science) 任務首次成功展示從國際太空站(ISS)傳輸高解析畫質資料到地面的雷射通訊實驗。

2015 年, 谷歌的熱氣球網際網路服務計畫 (Project Loon) 在 18 至 25 公里的高度飛行氣球, 成功首次展示相距 100 公里的氣球間雷射通訊實驗。隔年 DLR 首次展示了超高速(>1Tbps)的模擬同步軌道環境的地面實驗。之後同年, ESA 與 Airbus 集團合作開始第一個商業雷射星際鏈路服務, 它使用 Tesat 公司的 LCTs 雷射通訊終端裝置, 以傳輸速率 1.8Gbps 進行低地球軌道至地球同步軌道傳輸, 再將資料傳輸到地面。同年 8 月, 中國科學院成功發射“墨子”號量子科學衛星, 成功實現了首次太空量子糾纏實驗。

2018 年 6 月, 臉書 Aquila 計畫與德國 Mynaric 公司合作成功進行了雙向 10 Gbps 的飛機對地雷射通訊實驗。2019 年 1 月, NICT 發射了 RISESat 衛星, 其上安裝了重量只有 0.7 公斤世界上最輕的 VSOTA (Very Small Optical Transponder) 雷射通訊裝置, 進行低地球軌道至地雷射通訊實驗。目前 NICT 將此改良的 VSOTA 安裝在 3U 及 6U 的立方衛

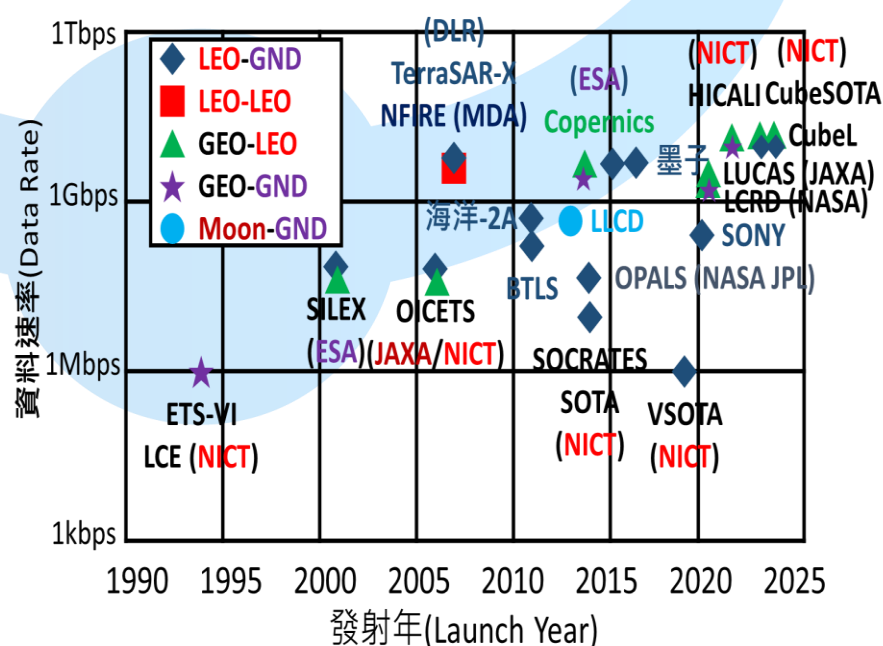
星上, 與國立東京大學的計畫正在發展進行中。

2020 年以後

2020 年 4 月, JAXA 和索尼公司合作發展的 SOLISS (Small Optical Link for International Space Station) 儀器, 成功在 ISS 與 NICT 的光學地面站建立了雙向雷射通訊實驗。2020 年 11 月, 日本發射了 JDRS-1 資料中繼衛星, 其上安裝了 LUCAS (Laser Utilising Communication System) 酬載, 將衛星的遙測資料透過此衛星進行低地球軌道至地球同步軌道雷射通訊, 然後再將資料傳回地面。

NASA 預計在 2021 年初發射 LCRD (Laser Communications Relay Demonstration) 雷射通訊中繼展示同步衛星, 是 TDRS (Tracking and Data Relay Satellite) 衛星的下一代雷射光版本。它也會於安裝在國際太空站上的 ILLUMA-T (Integrated LCRD Low-Earth Orbit User Modem and Amplifier Terminal) 終端裝置進行 1.2Gbps 的雷射通訊實驗。預計在 2022 年發射的 Psyche 任務將進行深空雷射光通訊測試。該系統與傳統方式相比, 預計將衛星的通信性能和效率提高 10 到 100 倍。NICT 將在 2022 年發射用 ETS-9 工程測試衛星, 其上的 HICALI (High-speed Communication with Advanced Laser Instrument) 終端裝置, 計畫以 10 Gbps 的資料速率展示與地面的雙向雷射光通訊實驗, 並計畫在 2023 年用立方衛星進行低地球軌道至地球同步軌道的相同高速雷射光通訊實驗。

圖一為以上所述之太空雷射光通訊的發展趨勢圖[4]。表一則列出了低地球軌道到地面的雷射光通訊終端裝置的主要規格[2]。



圖一 太空雷射光通訊的發展趨勢圖 [5]

	LUCE	LCT	LCE	OPALS	SOTA	OSIRISv2	MCLCD	OSIRISv1
衛星	OICETS (570 kg)	NFIRE (494 kg)	Haiyang-2A (1500 kg)	ISS (420 tons)	SOCRATES (48 kg)	BIROS (130 kg)	Micius (墨子) (631 kg)	Flying laptop (120 kg)
國家 / 機構	JAXA, Japan	DoD-MDA, USA	SOA, China	NASA-JPL, USA	NICT, Japan	DLR, Germany	CAS, China	DLR, Germany
發射日期	Aug 23, 2005	April 24, 2007	Aug 16, 2011	April 18, 2014	May 24, 2014	June 22, 2016	Aug 15, 2016	July 14, 2017
LEO 高度	610 km	495 km	971 km	408 km	628 km	~500 km	~500 km	~600 km
重量	100 kg	35 kg	67.8 kg	~180 kg	5.9 kg	1.65 kg	-	1.34 kg
信標	808 nm	No beacon	-	976 nm	1 μ m	1.56 μ m	532 nm	No beacon
	CW			CW	CW	Modulated	CW	
下鏈波長	847 nm	1064 nm	-	1550 nm	800, 980, 1549 nm	1545, 1550 nm	1549.731 nm	-
調變	On-Off Keying	Homodyne BPSK	-	On-Off Keying	On-Off Keying	On-Off Keying	DPSK	On-Off Keying
最大資料速率	50 Mbps	5.6 Gbps	504 Mbps	50 Mbps	10 Mbps	1 Gbps	5.12 Gbps	200 Mbps

表一 低地球軌道到地面雷射光通訊終端裝置的主要規格[2]

四、太空光通訊技術爆發

經由以上實驗及展示，雷射光通訊具重量輕、尺寸小、高資料速率、大通訊容量、功耗低、安全性高...等優勢。SpaceWorks 公司曾估計，未來五年預計將發射約 700 顆通訊用途之用奈米(微)衛星。這些將用於服務和支持快速增長的物聯網(IOT)以及機器對機器 (M2M) 的市場。表二為營運及發展中的太空 (含大氣) 雷射光通訊計畫[1]。目前主要營運廠商或相關新創公司，計有：Archangel Lightworks、Astrogate Labs、Ball Aerospace、Blue Cubed、BridgeComm、EXA、Fibertek、Golbriak Space、Hensoldt、Honeywell、Hyperion、LF、LGS Innovations、Mostcom JSC、Mynaric、Odysseus Space、Sony、Space Inventor、Stellar Project、Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL)、Tesat-Spacecom、Thales Alenia Space、Transcelestial、Waptel...等。其中有多家皆已有產品問世，且有些的儀器輕巧到可以安裝在立方衛星上。

計畫名稱	計畫描述	環境 / 情境	資料速率	供應商	近 況
European Data Relay System (EDRS)	LEO地球觀測衛星到GEO衛星的資料中繼，並用於情報、監視和偵察任務	GEO, LEO / 太空到太空	1.8 Gbps	Tesat-Spacecom	營運中
STARLINK	巨型衛星系系的全球電信服務	LEO / 太空到太空	-	SpaceX / Starlink	試營運中
Telesat LEO Constellation	巨型衛星系系的全球電信服務	LEO / 太空到太空	-	NA	發展中
Laser Light Communications	用於全球電信服務的衛星系系，在太空中建構光骨幹網	MEO / 太空到太空 太空到地面	100 Gbps	Ball Aerospace	發展中
BridgeComm	LEO地球觀測衛星的下游，直接將資料傳輸到地面	LEO / 太空到地面	1 Gbps	SSTL	發展中
Cloud Constellation	在衛星上進行資料安全存儲並確保洲際間連接安全	LEO / 太空到太空	-	NA	發展中
Analytical Space	用於地球觀測衛星的混合RF /光學資料中繼網絡	LEO / 太空到地面	-	NA	發展中
Google Project Loon	平流層氣球網路為農村和偏遠地區提供電信服務	平流層 / 大氣到大氣	0.155 Gbps	NA	發展中
Airborne Wireless Network	商用飛機網路提供電信和機上娛樂	對流層 / 大氣到大氣	10 Gbps	Mynaric	發展中

表二 營運及發展中的太空(含大氣)雷射光通訊計畫 [1]

六、結論

本文概述了目前蓬勃發展中的太空雷射光通訊的應用、發展簡史、發展趨勢、以及相關商業計畫。有關雷射光通訊技術過去發展時遭遇的困難，相關的CCSDS 標準以及目前與未來發展所面臨的挑戰將留在下次介紹。SpaceX 在 2020 年 11 月的 Starlink-15 (L16)發射任務後，其衛星間雷射光通訊的試驗結果令人期待。希望由本文的介紹，激發國內廠商參與光通訊的興趣。

參考文獻:

[1] Laser communication in space (太空雷射光通訊) 維基百科，
https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_communication_in_space，資料擷取日期：2021-1-1。

[2] Carrasco-Casado A., Mata-Calvo R. (2020) Space Optical Links for Communication Networks. In: Mukherjee B., Tomkos I., Tornatore M., Winzer P., Zhao Y. (eds) Springer Handbook of Optical Networks. Springer Handbooks. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-16250-4_34

[3] Morio Toyoshima, Trends in Laser Communications in Space Report on International Workshop
 “GOLCE2010,” Space Japan Review, No. 70, October / November 2010.

[4] Morio Toyoshima, Satellite-Ground Optical Communications, UQCC2015, Sep. 28, 2015.

活動回顧

2020 全球太空產業重點回顧

文/國家太空中心吳珮琳

2020 年無疑是詭譎多變的一年，延燒整年的新冠肺炎疫情打亂多數太空產業發展的步調，不過仍有業者按表操課，依計畫時程逐步完成目標，在太空科技發展的歷史上留下重要的里程碑。以下依發生時間先後，回顧 2020 全球太空產業大事紀要。

MEV-1 為 IS-901 提供在軌服務^{1,2}

Mission Extension Vehicle-1 (MEV-1)是由 Northrop Grumman 公司製造的任務延長飛行器，並由該公司的全資子公司 SpaceLogistics 提供在軌

服務。2020 年 2 月 MEV-1 與 Intelsat 901 (IS-901) 通訊衛星成功對接，讓已經耗盡燃料的 IS-901 通訊衛星還能透過 MEV-1 的推進器和燃料繼續在地球同步軌道(Geostationary Earth Orbit, GEO)上提供服務。透過此舉，IS-901 可再服役 5 年才退休，隨後 MEV-1 與 IS-901 解除對接，繼續為其他衛星提供壽命延長服務。MEV-1 的成功經驗驗證了在軌服務的技術可行性，SpaceLogistics 公司也表示將持續開發新技術，在衛星壽命延長的基礎上拓展在軌服務的範疇。除此之外，衛星任務壽命的延長，也大幅降低了衛星營運商的成本，因為光是衛星的製造與發射就耗資數億美元，而衛星延壽服務每年僅需支付 1300 萬美元的費用(以本案為例)。下一顆飛行器 MEV-2 已經在 2020 年 8 月升空，預計 2021 年與 Intelsat 10-02 對接。

C-band 頻譜拍賣³

C-band 是指頻率在 4-8GHz 的無線電波波段，上行頻率範圍在 5.925-6.425GHz，下行頻率範圍在 3.7-4.2GHz，上下行帶寬各為 500MHz，兼具高網速及大覆蓋範圍的優點，是 5G 通訊首選。

因此，為了加速 5G 電信發展，美國聯邦通信委員會(Federal Communications Commission, FCC)在 2020 年 2 月就 C-band 的公開拍賣方案進行表決。依據其公開聲明，3.7-3.98GHz 的頻段(共 280MHz 頻寬)將用於行動通訊、3.98-4.0GHz(共 20MHz 頻寬)作為護衛頻帶(guard band)、4.0-4.2GHz(共 200MHz 頻寬)則留給現有衛星操作使用(即現有衛星所占用的 C-band 頻譜將轉移到這個範圍內繼續提供服務)，並預計在 2025 年 12 月 5 日前提供使用。此外，若是符合資格的衛星營運商承諾並能夠依照 FCC 的時間表盡早完成清理頻譜的工作，將可獲得總計 97 億美元的補償(獎勵)費用。

此次拍賣已於 2020 年 12 月 8 日開始，在美國新年假期之前，出價總額已超過 698 億美元，預期金額還會持續攀升，為美國財政部帶來可觀收入。

OneWeb 申請破產保護^{4,5}

由於新冠肺炎疫情影響，軟銀旗下的願景基金緊縮投資，拒絕 OneWeb 在 2020 年 3 月提出的追加融資要求，以至於 OneWeb 公司在同月 27 日正式向美國法院申請破產保護，希望透過重組計畫為公司尋求一線生機。該公司最具價值的資產之一不外乎是破產前就成功發射的 74 顆衛星，因為其佔據了部分的軌道資源。因此在破產拍賣階段不斷傳出 Amazon 公

司有意願收購該公司部分資產，不過最終由英國政府和印度跨國集團(Bharti Global Limited.)贏得拍賣，並在同年 10 月獲得 FCC 批准。OneWeb 在收購重組後，積極佈署其衛星星系，在 12 月 18 日這天再送 36 顆衛星升空，並計劃在 2022 年提供全球衛星寬頻網路服務。

Intelsat 申請破產保護以獲取 C-band 頻譜清理獎勵費用^{6,7}

Intelsat 是全球數一數二的衛星營運商之一，受新冠肺炎疫情影響加劇了本就龐大的債務負擔，最終在 2020 年 5 月提交了破產保護申請，申請破產保護期間總債務已近 150 億美元。對此，Intelsat 表示申請破產保護是為了能夠參與 C-band 頻譜的加速清理工作。如果能在 FCC 規定的時程前完成清理工作，將可獲得 48.7 億美元的補償(獎勵)費用，大幅緩減債務壓力。此外，Intelsat 也獲得 10 億美元的融資(Debtor-in-Possession financing, DIP financing)，除了用作頻譜清理的成本支出外，也提供公司重組和基本營運使用。同年 8 月 Intelsat 宣布撥出 4 億美元收購 Gogo 公司的商用航空業務，表示隨著未來對機載通訊(in-flight connectivity, IFC)的需求增長，Intelsat 也將從中受益，該收購已於該年 12 月完成。目前，Intelsat 尚未脫離破產程序，能否在破產保護中再次崛起值得觀察。

SpaceX 成功載人上太空^{8,9}

2020 年 5 月 30 日搭載 Crew Dragon 的 Falcon 9 火箭由甘迺迪太空中心(Kennedy Space Center)發射升空，不過這次 Crew Dragon 運載的不是貨物而是兩名 NASA 太空人 Bob Behnken 和 Doug Hurley，目的地是國際太空站(International Space Station, ISS)。這是美國自 2011 年以後，首次從其境內將人送上太空，且太空梭和火箭還是由私人企業開發製造的，終結俄羅斯長久以來壟斷此業務的局面。Bob Behnken 和 Doug Hurley 在 ISS 停留約兩個月後，再次搭乘 Crew Dragon 順利返回地球。兩次任務的成功，開啟了 SpaceX 定期運載太空人至 ISS 的任務，四名太空人在同年 11 月順利登上 ISS，預計停留約六個月。SpaceX 的成功為人類重返月球和登陸火星奠定技術基礎，並且在太空商業化也取得重大的進展。

奔向火星 美、中、阿聯酋相繼發射探測器

2020 年 7 月是近期最適合發射火星探測器的窗口，除了登陸經驗最多的美國之外，中國和阿拉伯聯

合大公國(阿聯酋)也來挑戰火星探測任務。雖然都是火星探測，但各自有不同的任務和使命要完成。美國毅力號(Perseverance)主要是探尋火星上的生命跡象、收集火星岩石和土壤的樣品、執行機智號(Ingenuity)小型直升機的動力飛行展示以及測試新一代的著陸技術。天問一號是中國首次的火星探測任務，若是成功著陸主要將探測火星表面的物質和元素、以及探測火星內部和淺層地質的結構。阿聯酋希望號(Hoban Probe)是一個探測軌道器，會像衛星一樣繞著火星運行，主要探究火星氣象和氣候變化。這些探測器預計在 2021 年 2 月抵達火星，屆時適逢中國建黨百年和阿聯酋成立 50 周年，顯示非美國家角逐太空的野心。

「Better than Nothing」 Starlink 開放公测^{10,11,12}

截至 2020 年 10 月 SpaceX 已成功發射近 900 顆衛星，並開始向北美地區的使用者寄送測試邀請。這項測試被取名為「Better than Nothing Beta program」，這是因為衛星的數量和地面設備的建置還不完全，網路連線速度大概介於 50-150Mb/s，延遲則是 20-40ms，甚至會有短暫斷線的情形。不過，依據一些參與測試的使用者回饋，網路速度已可突破 160Mb/s，優於美國 95% 的寬頻速度，比預期的表現要好。第二輪的測試預計在 2021 年執行，範圍可能比第一次來更廣闊，同時也推遲了 Starlink 正式提供商轉服務的時間。此外，在 2020 年年底，SpaceX 還獲得約 8.85 億美元的補助，要為那些無法上網的美國郊區客戶提供高速寬頻連網服務。

儘管新冠肺炎疫情擾亂原有太空產業運行，但 2020 年仍是太空產業非常重要的一年，包含 SpaceLogistics 公司提供 GEO 在軌服務、SpaceX 在載人任務和衛星網絡測試取得成功等。2021 年，新冠肺炎疫情的影響力仍在，人們透過遠端工作和其他防止病毒傳播的措施中找到前進的方法，不同國家的探測車將在火星上聚會、SpaceX 逐步完成各項太空商業計畫、波音公司預計測試載人飛行任務等，都值得持續關注。

參考資料

- 1: <https://www.intelsat.com/global-network/satellite-network/launches/intelsat-901/>
- 2: <http://spaceref.com/communication-satellites/mev-1-docks-with-is-901-to-extend-its-life-span.html>
- 3: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-362743A1.pdf>
- 4: <https://spacenews.com/bankruptcy-court-approves->

[oneweb-sale/](#)

5: <https://www.reuters.com/article/oneweb-bankruptcy-idUSL4N2I63KF>

6: <https://fortune.com/2020/05/14/intelsat-bankruptcy-chapter-11/>

7:

<https://www.satellitetoday.com/business/2020/12/01/intelsat-completes-gogo-commercial-aviation-acquisition/>

8: <https://www.scientificamerican.com/article/spacex-crew-dragon-docks-with-space-station/>

9: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-astronauts-to-discuss-historic-spacex-crew-dragon-test-flight>

10:

<https://www.satellitetoday.com/broadband/2020/10/28/spacex-launches-better-than-nothing-public-starlink-beta-with-99-month-service/>

11: <https://www.orlandosentinel.com/space/os-bz-starlink-program-update-20201201-fkypjtdsmfctbaeonshxafsks4-story.html>

12: <https://tech.hindustantimes.com/tech/news/spacex-gets-886-million-from-us-fcc-for-satellite-broadband-network-71607412724672.html>

活動預告

台捷(克)太空科技產業研討會

1 月 19 日下午 3 時 30 分假台北國際會議中心 101AB 會議室舉辦「台捷(克)太空科技產業研討會」，針對「通訊及觀測衛星」、「火箭」等太空相關產業進行研討會議。

會議說明：

1、全球低軌道衛星通訊為未來太空發展趨勢，歐盟、英美等政府及廠商紛紛啟動衛星通訊計畫，捷克與台灣相繼投入發展捷克交通運輸部發布國家太空計畫，每年投資逾 12 億克朗研發具高附加價值及前瞻之技術和應用，如用於衛星的軟性太陽能電池板、火箭零件、先進材料以及在運輸和農業中應用衛星數據，目標於國內生產精密衛星系統及小型衛星，以增加捷克在國際太空供應鏈的市占率。我行政院於 2019 年發布第 3 期太空計畫，規劃投入新台幣 251 億元發展各類衛星，未來應用於追蹤探測陸海空資訊、快速監測國土安全、精準氣象預測，並於重大天災時提供即時影像。因應 5G 無線通訊高傳輸要求，低軌衛星商機爆發，我科技部及經濟部推動 B5G 衛星通訊計畫，包含通訊衛星研製以及地面通訊設備發展，預計明年正

式啟動，以刺激衛星通訊產業。

2、近期台捷關係升溫，雙方太空產業於本年對接洽談，共同為台捷太空科技發展開啟新頁。台灣長年與捷克等中歐地區國家進行人造衛星領域合作，而捷克太空產業聯盟會長 Mr. Petr Bares 在本年訪台與我航太代表商進行貿易洽談，尋求合作契機。此外，我國家太空中心亦與捷克科學院簽署合作備忘錄，締造突破性發展。台灣擁有製造研發衛星的能力，可成為衛星零組件、地面接收設備的重要研發製造中心，而捷克直至本年，已成為歐盟與國際航太供應鏈重要成員，包含發射器、衛星以及地面接收設備等。台捷可針對此良機，進一步加深配合，建立產業合作關係。本會議為現場會議，將與捷克視訊連線進行。

會議聯絡資訊

會議連絡人：林先生

電話：(02) 2528-8833 轉分機 28, 22

電傳：(02) 2742-5342

電子信箱：andrewlin@cieca.org.tw

台灣製玉山與飛鼠衛星 美東時間 21 日發射

國研院國家太空中心 2017 年遴選 3 組國內團隊，研製 3 顆立方衛星。其中，中央大學團隊製作的飛鼠衛星以及騰暉等公司製作的玉山衛星，預計在美東時間 1 月 21 日早上，由 SpaceX Falcon-9 獵鷹九號火箭發射，預計進入 500-550 公里高太陽同步軌道。這是台灣第一次有兩顆立方衛星同時發射的活動。

飛奔到太空 2021 立方衛星微重力實作營隊

主旨：培養國內學生實作太空實驗裝置的能力，並參與太空中心的立方衛星計畫。

主辦單位：國家太空中心

活動地點：國家太空中心(2 天), 國立陽明交通大學(3 天)

活動時間：2021/2/1~2/5

招收名額：40 名 (分 10 組)

參加資格：高中/高職(含同等學歷)以上學生

報名期間：2021/1/1~2021/1/28。

活動費用(暫定)：活動費用 8000 元/人，早鳥價 7500 元/人，曾參加 iCASE2020 太空實驗設計競賽的學員

價 6000 元/人。不含住宿及交通，含實驗材料及保險。

報名方式：網路線上報名。

繳費、退費、注意事項、防疫措施等，比照「衛星任務計畫營 2021 Winter」辦理。

官方網址：<https://nspo2021.nebulax.tw/>



重要會務報告

第二屆第一次會員大會暨理監事改選會議

本會將於 2 月下旬召開第二屆第一次會員大會，敬邀會員撥冗出席，本次會員大會將進行理監事改選作業，隨即召開第二屆第一次理、監事會議。

1、依規需聲明確認推派會員代表是否續派或改派，無變動則免填，如欲改派會員代表，請填寫會員申請書於 1/22 前回覆本會，逾期不聲明，視為續派。

2、請會員於 1 月 22 日前填寫回覆：出席日期調查、出席報名表、第二屆理監事參選意願調查。

3、重要會議請務必參加，若無法親自出席本次會議，亦須填寫「出席委託書」委託其他會員代理，每位會員以代理一人為限，並於當天由受委託者攜帶至報到處。

為達到法定出席人數，惠請會員撥冗並踴躍出席，參與選舉與各項會務討論，並藉此機會相互交流聯誼。會員大會出席日期調查完畢，以 e-mail 寄送開會通知。

感謝各位協助以利會員大會順利進行，如有未盡事項或任何問題，歡迎不吝來信或來電指教，謝謝。

◆上述內容的調查表，請參照主旨為：台灣太空產業發展協會【重要通知】第二屆第一次會員大會籌備作業敬請協助，電子郵件附件。