



SS1005

**Hands-on Satellite System
Current Status and Perspective of
Space Industry**

Chi-Kuang Chao

Department of Space Science and Engineering

National Central University

2022/5/17



內容



- 全球太空產業發展
- 台灣太空產業現況
- 中大在太空產業的角色
- 結語

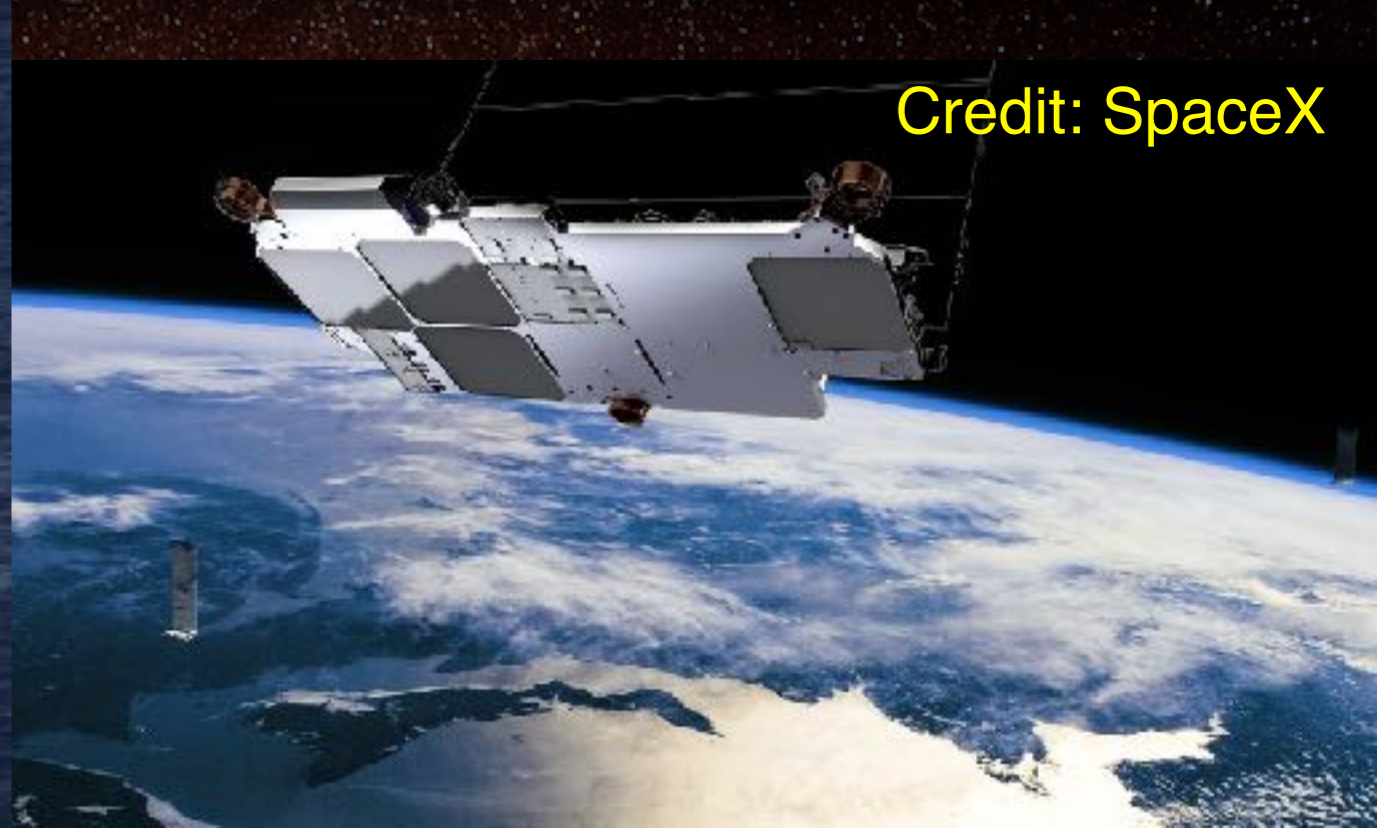


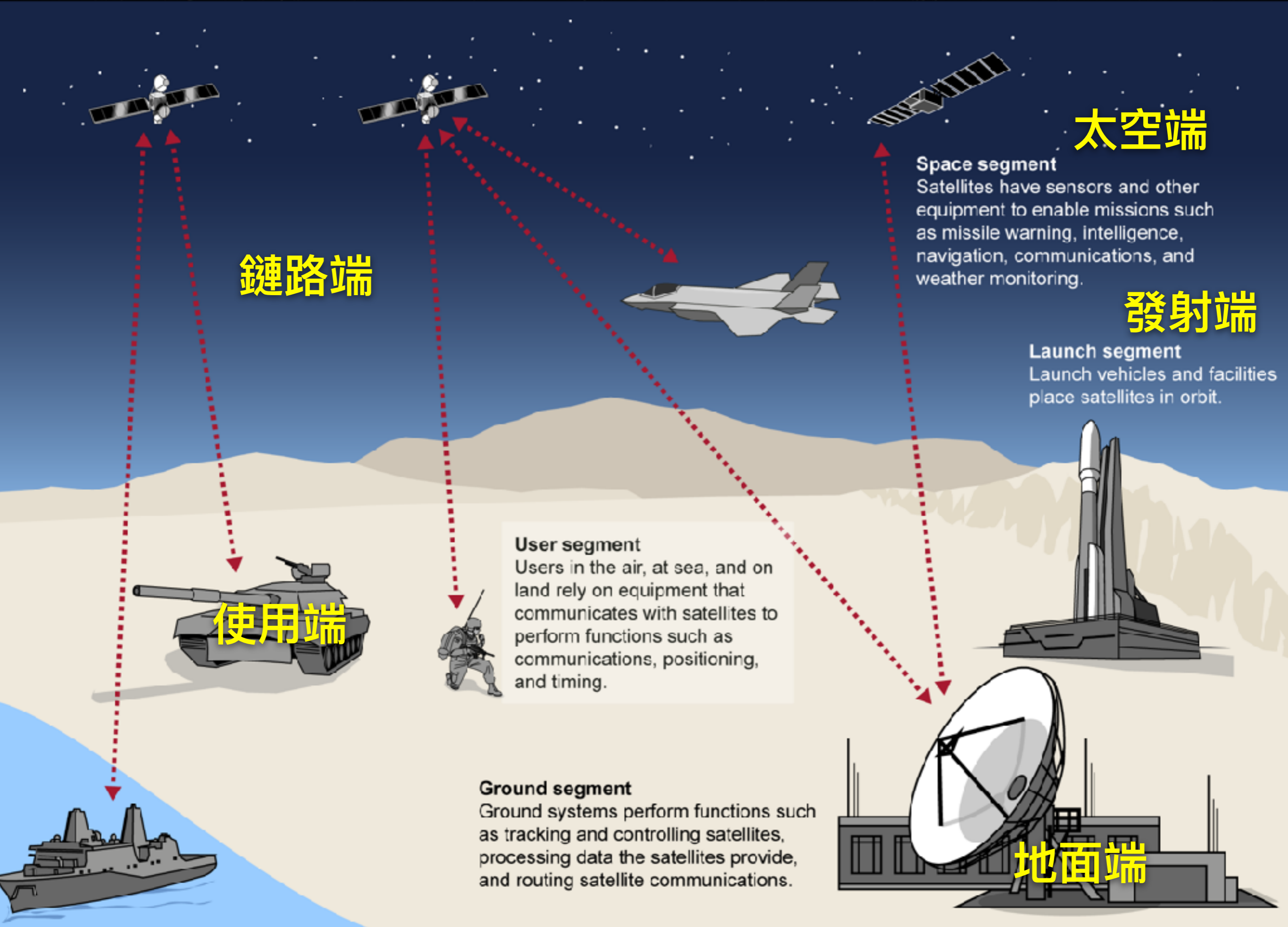


新太空 New Space



- **新太空 (New Space)** 通常泛指近年的**太空商業化**。從政府壟斷太空產業，到私人公司扮演越來越重要的角色。從 **SpaceX** 到 **Google, Apple, Facebook, Amazon** 等 **GAFA** 公司。
- 自 2009 至 2018，共有 **180 億美元** 太空新創投資，單在 2018 年就有 **32.5 億美元** 的投資。預計太空商業將快速成長，下個十年將成長至**數兆美元**。





太空端

Space segment
Satellites have sensors and other equipment to enable missions such as missile warning, intelligence, navigation, communications, and weather monitoring.

發射端

Launch segment
Launch vehicles and facilities place satellites in orbit.

鏈路端

User segment
Users in the air, at sea, and on land rely on equipment that communicates with satellites to perform functions such as communications, positioning, and timing.

Ground segment
Ground systems perform functions such as tracking and controlling satellites, processing data the satellites provide, and routing satellite communications.

使用端

地面端



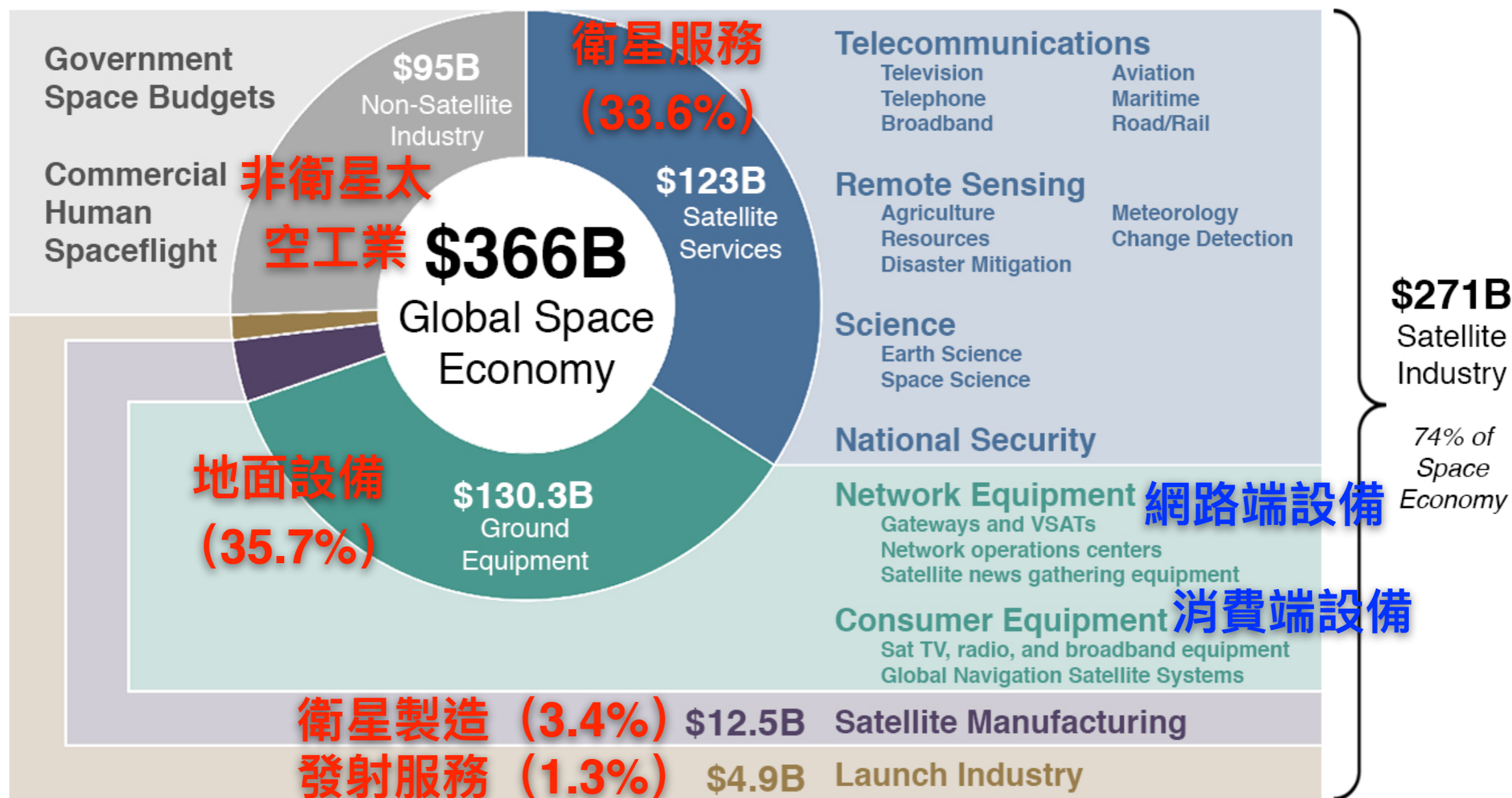
全球太空經濟



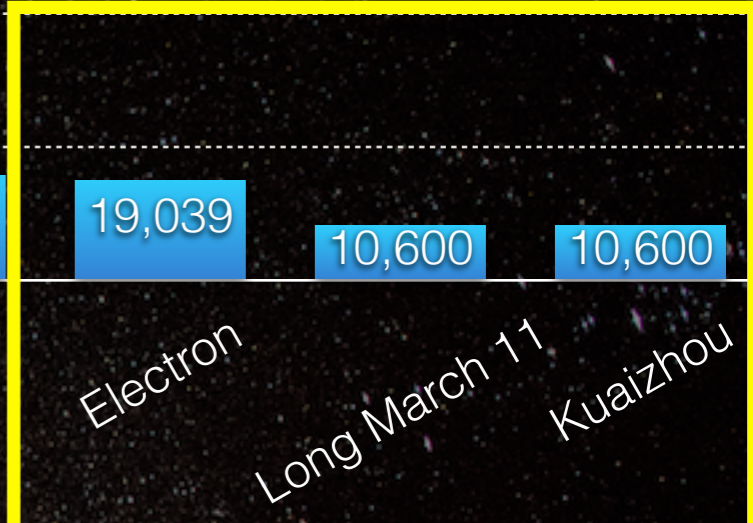
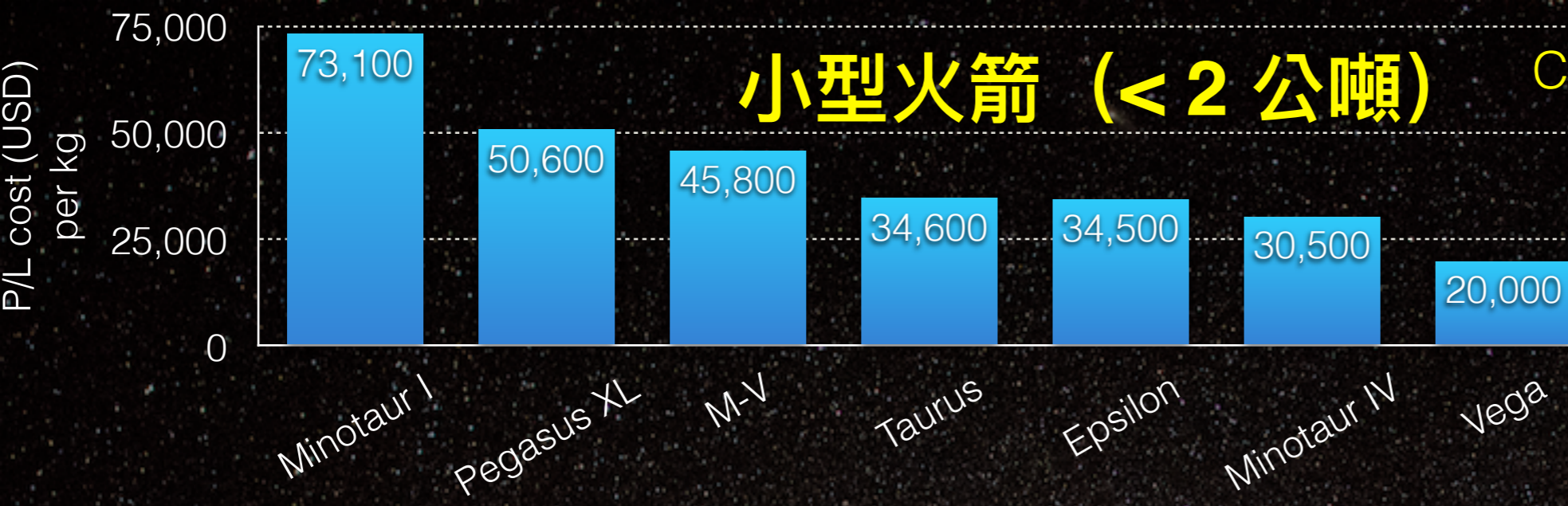
Credit: Bryce Space and Technology, LLC

The Satellite Industry in Context

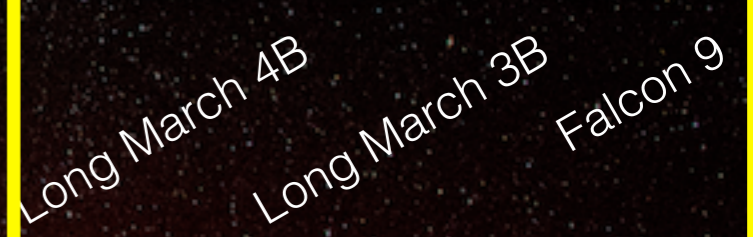
(2019 revenues worldwide, in billions of U.S. dollars)



小型火箭 (< 2 公噸)



中型火箭 (2-20 公噸)



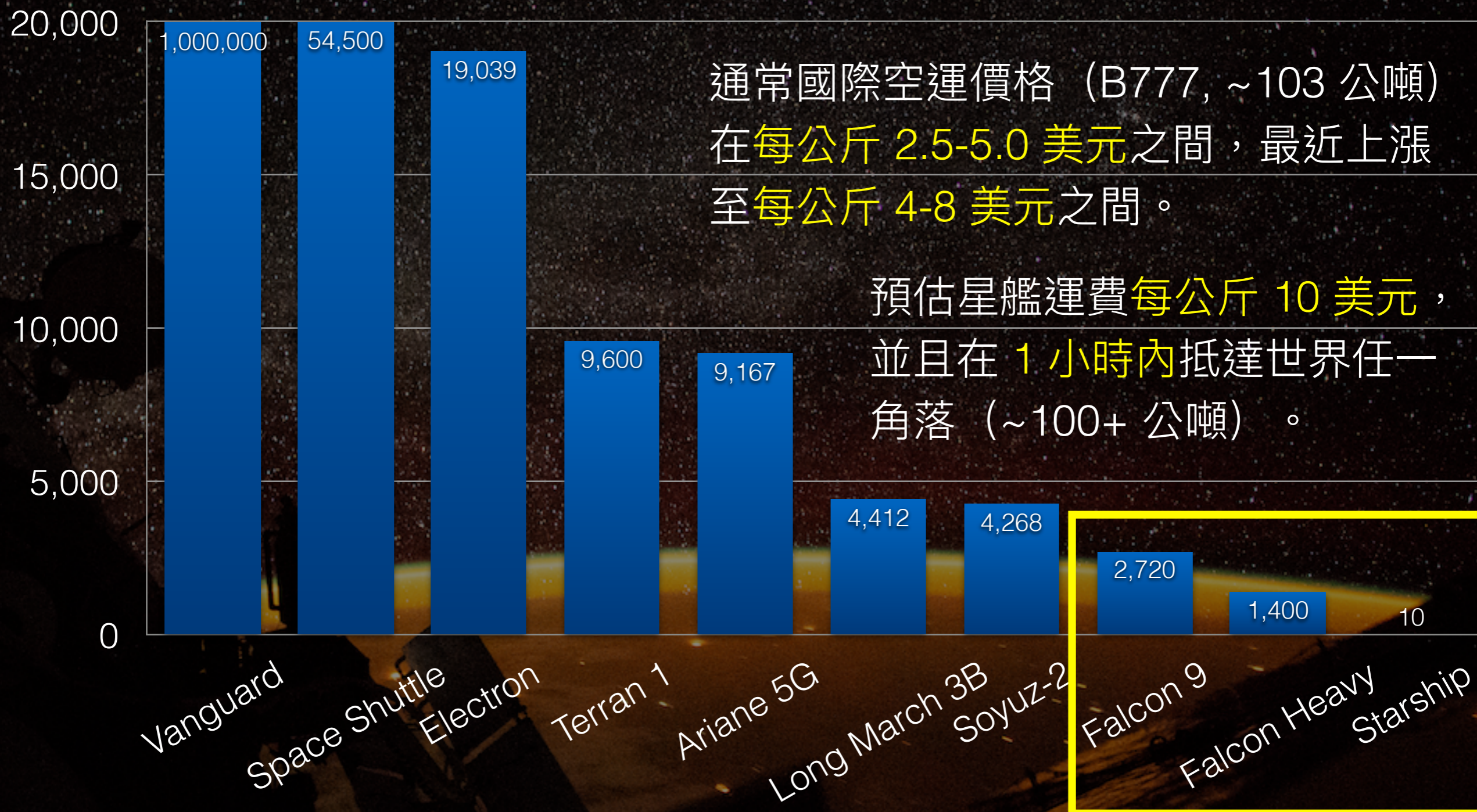
重型火箭 (> 20 公噸)





發射價格大幅下滑

酬載運送費用 (美元 / 公斤)



通常國際空運價格 (B777, ~103 公噸) 在每公斤 2.5-5.0 美元之間，最近上漲至每公斤 4-8 美元之間。

預估星艦運費每公斤 10 美元，並且在 1 小時內抵達世界任一角落 (~100+ 公噸)。

運載火箭

Elon Musk says Raptor engine production is a 'disaster' that puts SpaceX at risk of bankruptcy

This is why you don't check your email on holidays

Loren Grush • Nov 30, 2021, 11:45am EST



Photo by PATRICK PLEUL/POOL/AFP via Getty Images

On Black Friday, SpaceX CEO Elon Musk sent an anxious email to his company's employees, urging them to work over the weekend

on SpaceX's Raptor engine line and describing the production situation as a "crisis." In the email, a copy of which was obtained by *The Verge*, Musk argued that the company faces a "genuine risk of bankruptcy" if production doesn't increase to support a high flight rate of the company's new Starship rocket next year.

The Raptor is SpaceX's massive methane engine that will be used to propel the company's next-generation launch system, called Starship. SpaceX plans to use Starship to take people to deep space, and in April, [NASA awarded SpaceX a \\$2.9 billion contract](#) to develop Starship as a lunar lander to transport astronauts to the Moon's surface as early as 2025. SpaceX has been hard at work developing and testing Starship prototypes at the company's test site in Boca Chica, Texas, though the company has yet to launch the vehicle to orbit.

SpaceX is currently hoping to conduct Starship's first orbital launch in either January or February of 2022, [according to a presentation given by Musk to the National Academies of Sciences](#) on November 17th. However, according to Musk's email, SpaceX needs to launch Starship at least once every two weeks next year to keep the company afloat. And apparently, Raptor engine development isn't on track at the moment.

In the email, first reported by [SpaceExplored](#) and [CNBC](#), Musk claimed that after key senior management departed the company, SpaceX personnel

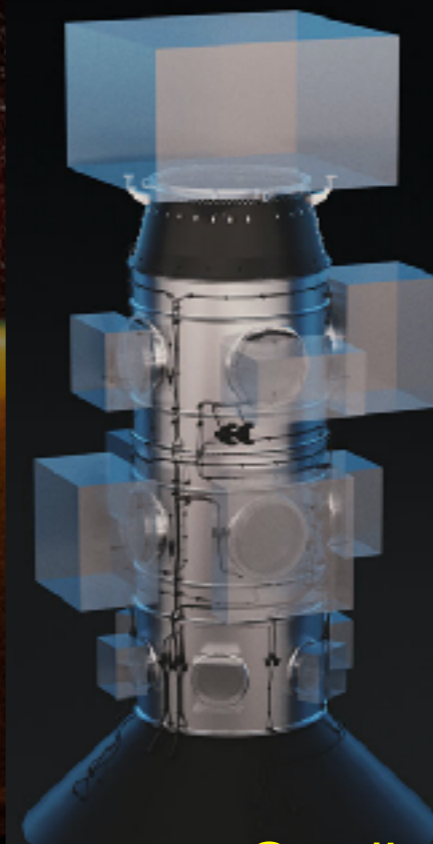
"I will be on the Raptor line all night and through the weekend"



SpaceX Falcon 9 獵鷹九號



- 發射服務價格（全新機）：USD 62M（18.6 億元）
- 可推升 22.8 公噸衛星至低地軌道
→ USD 2,720 / kg（每公斤 8.2 萬元）
- 可一次發射 60 台 Starlink 衛星（每台 260 公斤）
- SpaceX SmallSat Rideshare Program
→ USD 1M（每個任務至多 200 公斤）
→ USD 5,000 / kg（每公斤 15 萬元）
→ USD 30,000 / 3U or 6 kg（發射一台 3U / 6kg 立方衛星也許只要 90 萬元）
- 2010/6/4 首次發射成功。



Credit: SpaceX



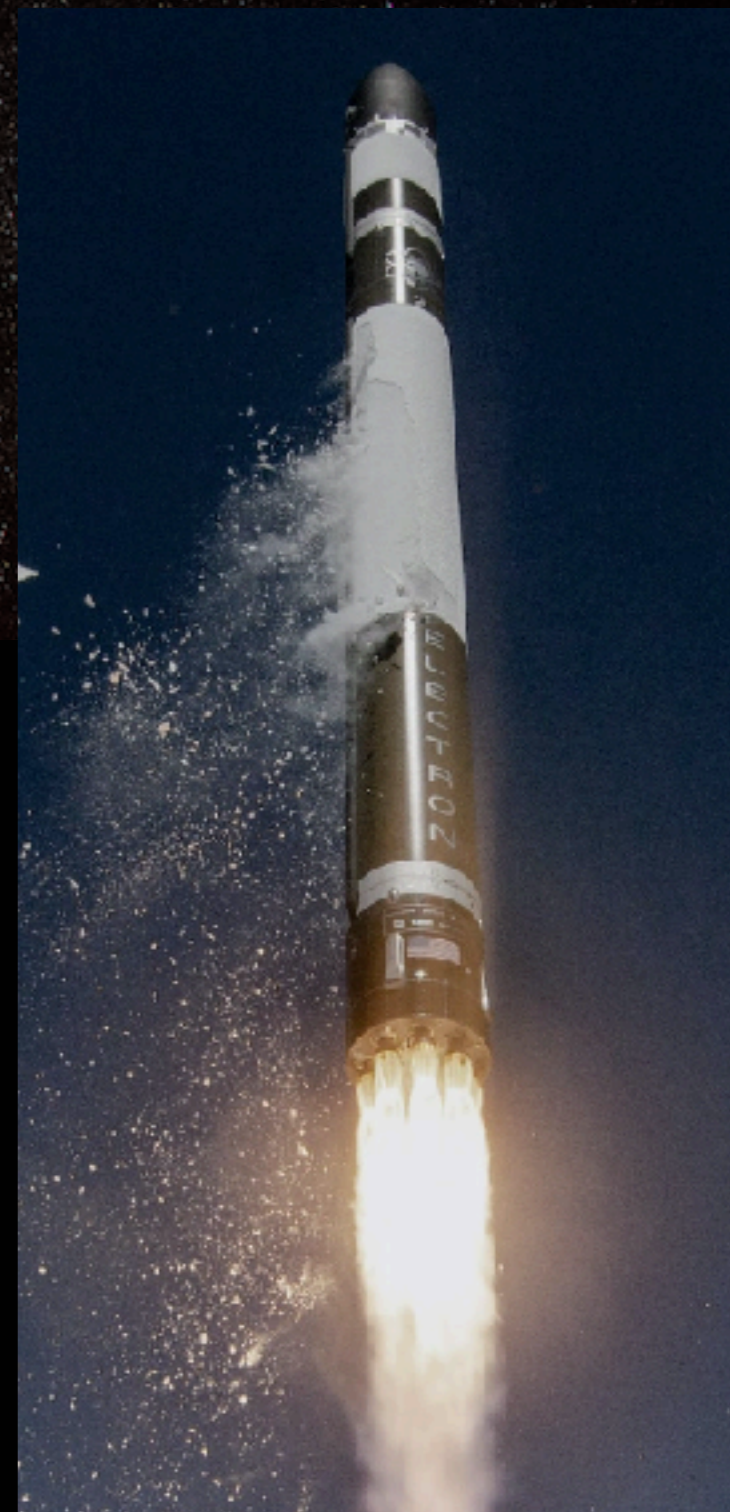
Rocket Lab Electron 電子號



- 發射服務價格：USD 7.5M (2.25 億元)
- 可推升 300 公斤 衛星至低地軌道
→ USD 25,000 / kg (每公斤 75 萬元)
- 2018/11/11 首次發射成功。



Credit: Rocket Lab

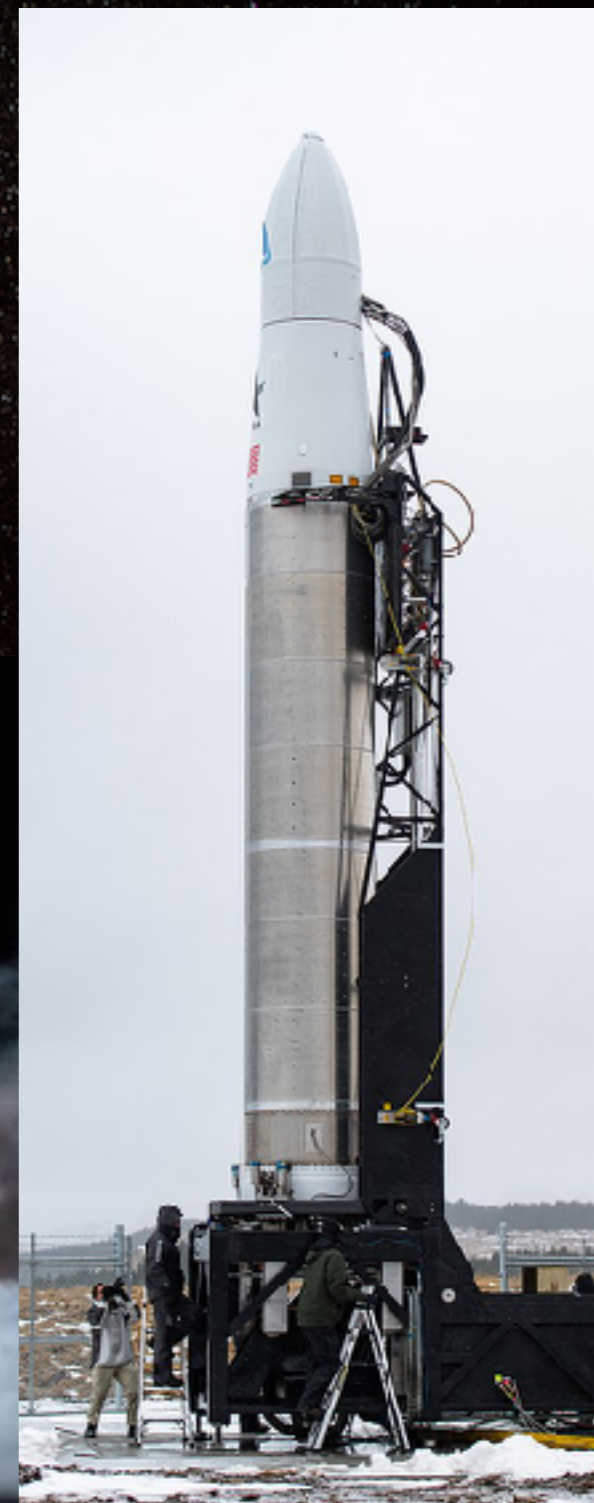
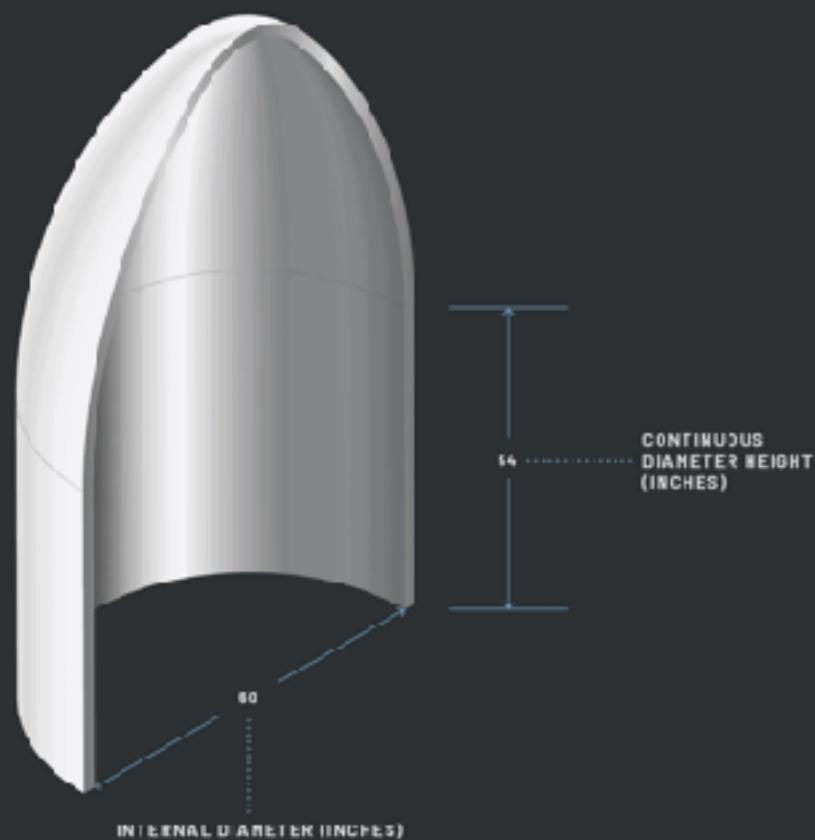




Astra Rocket 3 火箭 3 號



- 發射服務價格：USD 2.5M (0.75 億元)
- 可推升 500 公斤 衛星至 50 km 低地軌道
→ USD 5,000 / kg (每公斤 15 萬元)
- 2021/11/20 首次發射成功。





Spaceflight 發射服務商價格



DETAIL	CONTAINERIZED			SATELLITE CLASS							
PAYLOAD TYPE	3U	6U	12U	50kg	100Kg	150kg	200kg	300kg	450kg	750kg	1,000kg
LENGTH (CM)	34.05	34.05	34.05	80	100	100	100	125	200	300	350
HEIGHT/DIA (CM)	10	10	22.63	40	50	60	80	100	150	200	200
WIDTH (CM)	10	22.63	22.63	40	50	60	80	100	–	–	–
MASS (KG)	5	10	20	50	100	150	200	300	450	750	1000
PRICE-LEO (USD)	\$145k > 5.8*x	\$295k > 5.9*x	\$595k > 5.95*x	\$895k > 3.58x	\$975k > 1.95x	\$1,350k > 1.8x	\$1,350k > 1.3x	\$1,850k	CALL	CALL	CALL
PRICE-GTO (USD)	\$915k	\$1,400k	\$2,750k	\$4,600k	\$8,500k	\$9,800k	\$11,200k	\$14,000k	CALL	CALL	CALL

*: no deployer and electronics were considered.



衛星微型化



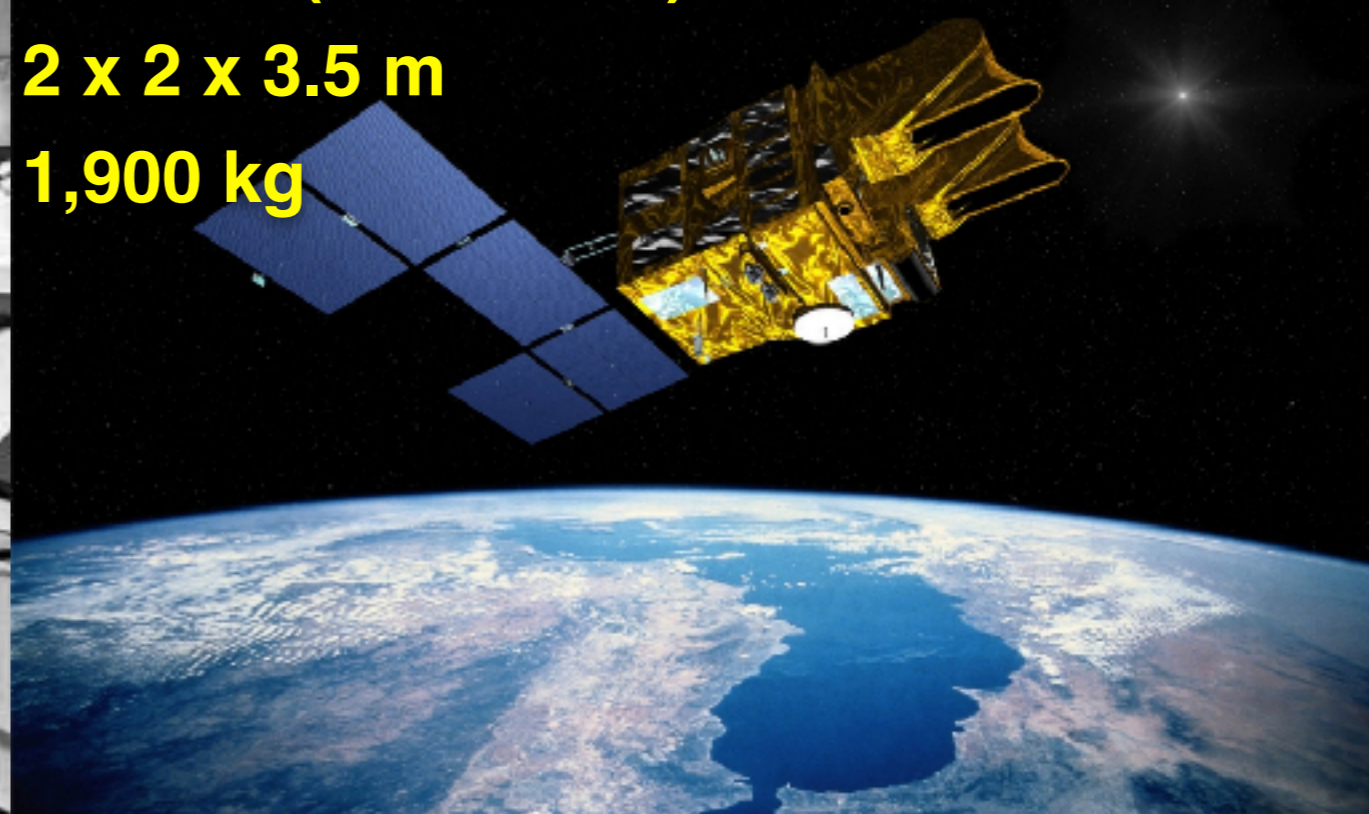
Whirlwind machine (1955)



SPOT-1 (1986-2003)

2 x 2 x 3.5 m

1,900 kg



iPhone 13 (2021)

14.67 x 7.15 x 0.765 cm

174 g



DOVE (2014-)

10 x 10 x 30 cm

5.8 kg





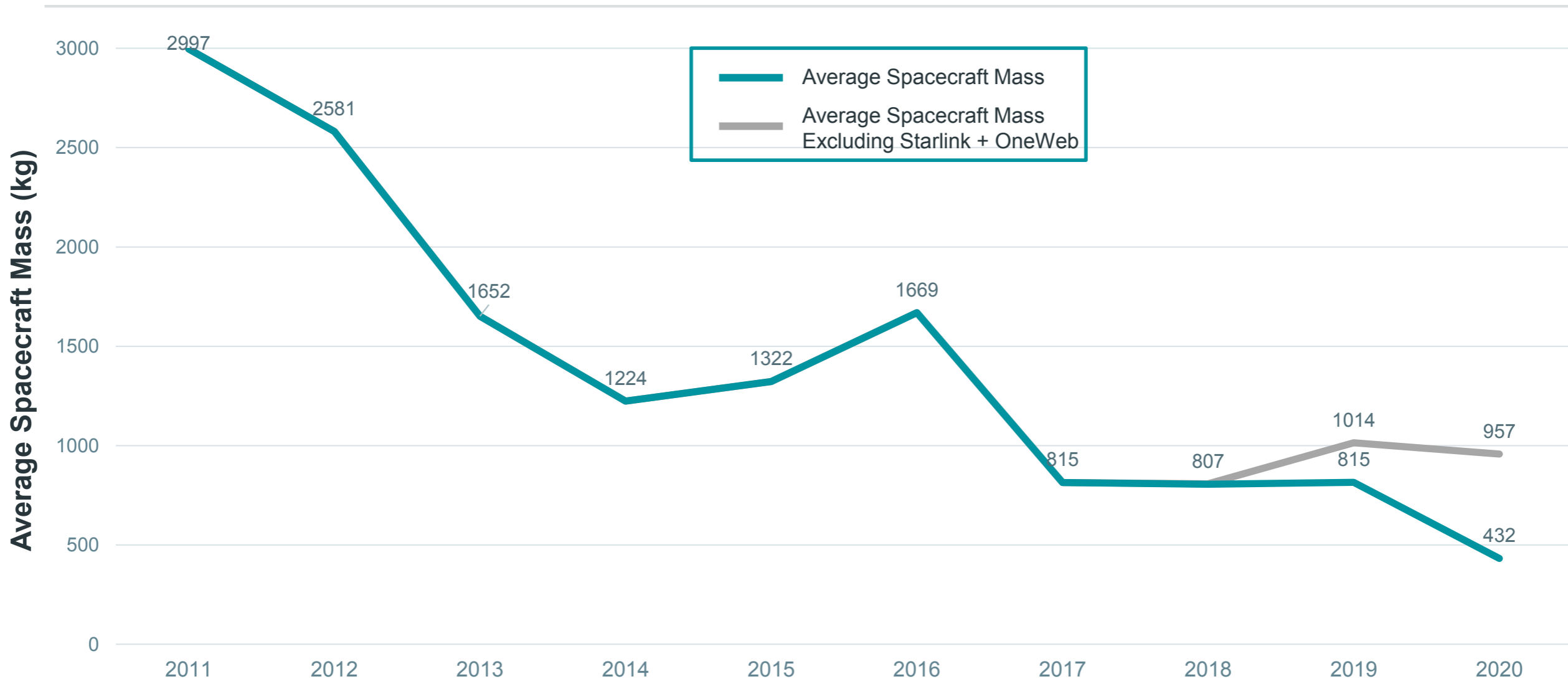
衛星平均重量逐年下降



Average Mass, All Spacecraft 2011 – 2020



Smallsat Mass Trends



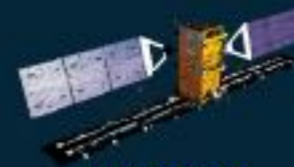
Average spacecraft mass overall is decreasing, driven by deployment of large numbers of smallsats



HOW HEAVY IS A SATELLITE?



LARGE SATELLITE



RADARSAT-2



>1000 kg



RHINO

MEDIUM SATELLITE



CASSIOPE



500-1000 kg



BUFFALO

MINI SATELLITE



SGSAT



100-350 kg



LION

MICRO SATELLITE



M3MSat



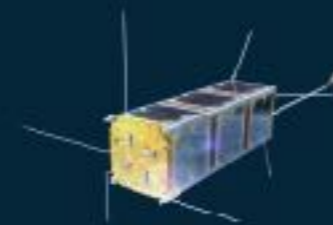
10-100 kg



WOLF

NANO SATELLITE

including CUBESAT



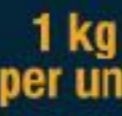
Ex-Altia 1



1-10 kg



RACCOON



1 kg per unit



DUCK

Note: These weights are approximations.

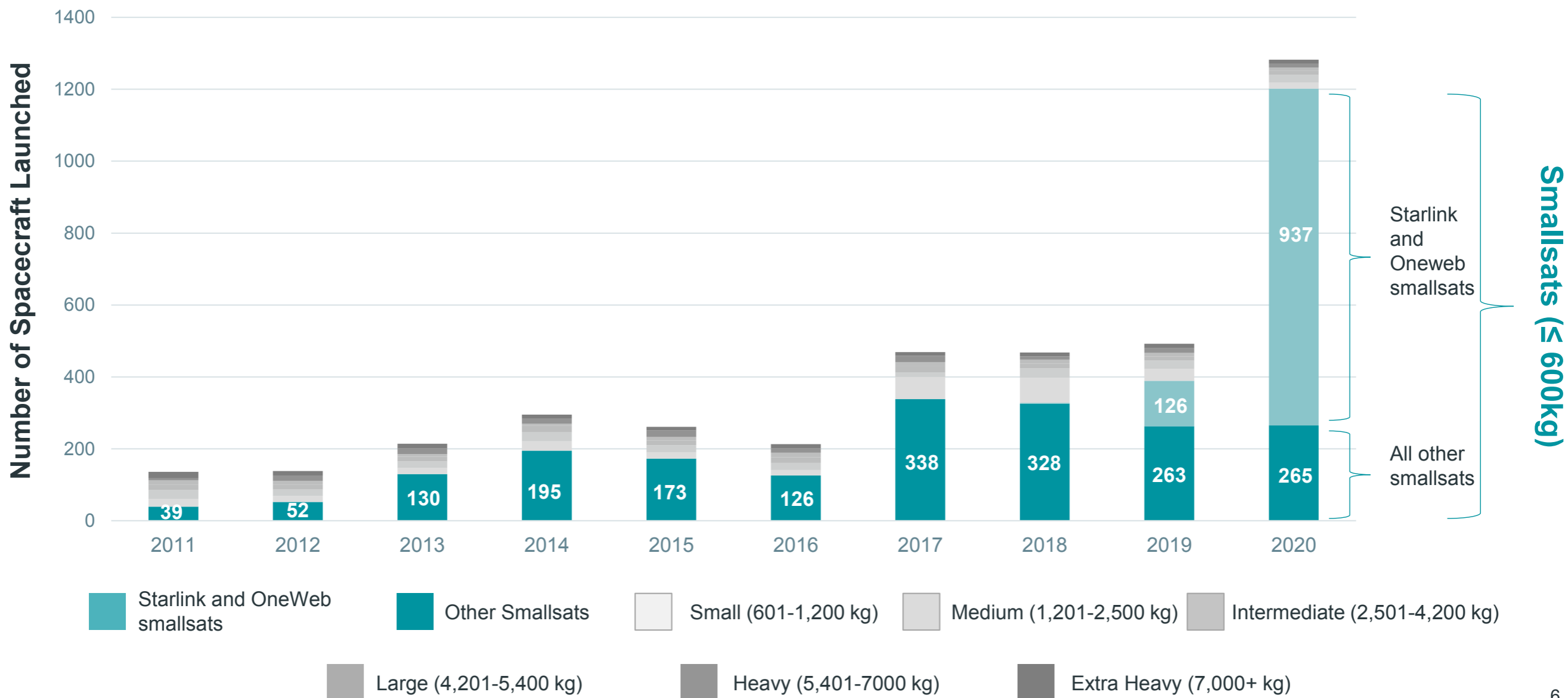


衛星發射數



Spacecraft Launched 2011 – 2020, by Mass Class

Smallsats in Context and Operator/Mission Type Trends

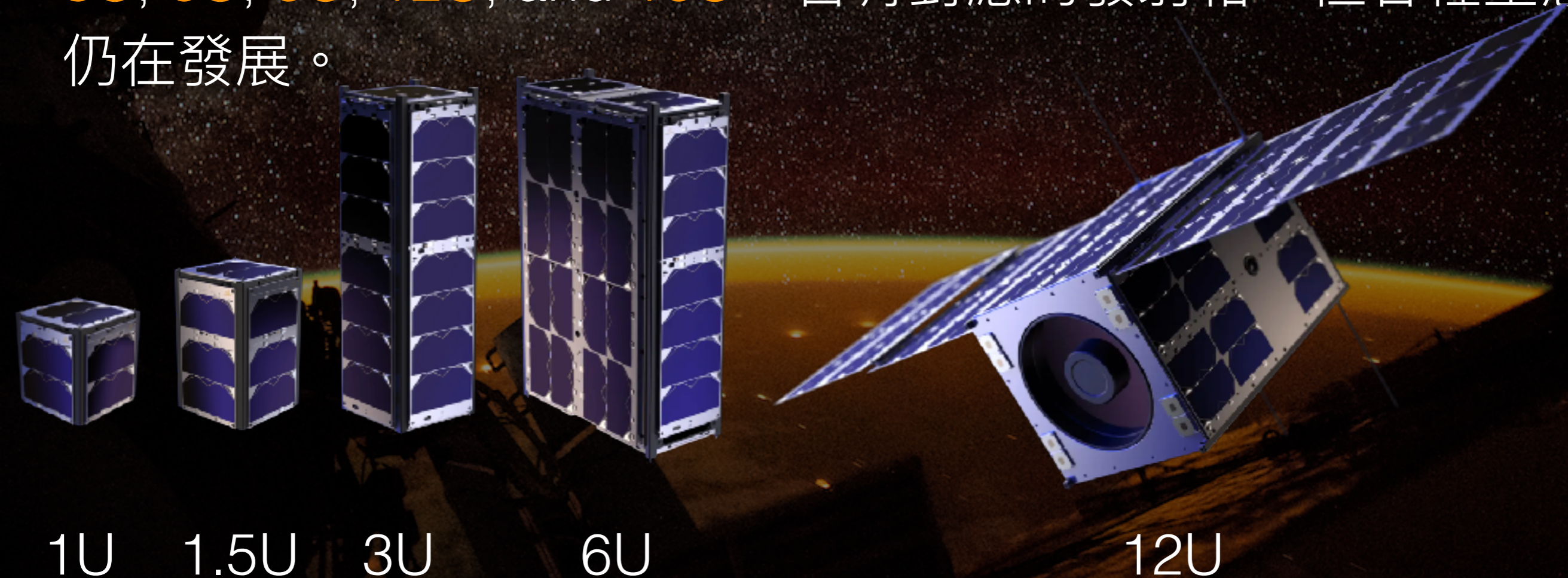


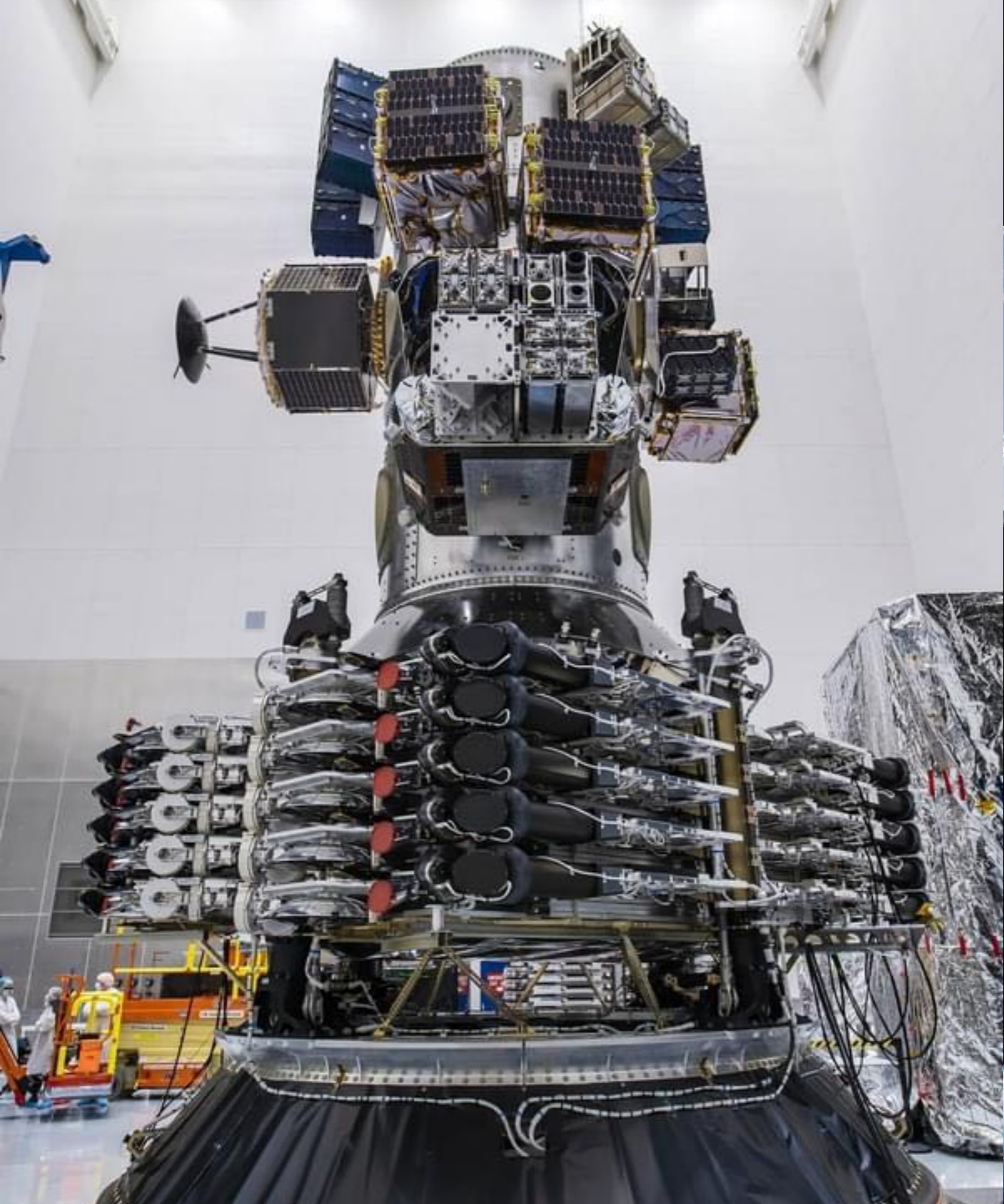


立方衛星 CubeSat 尺寸

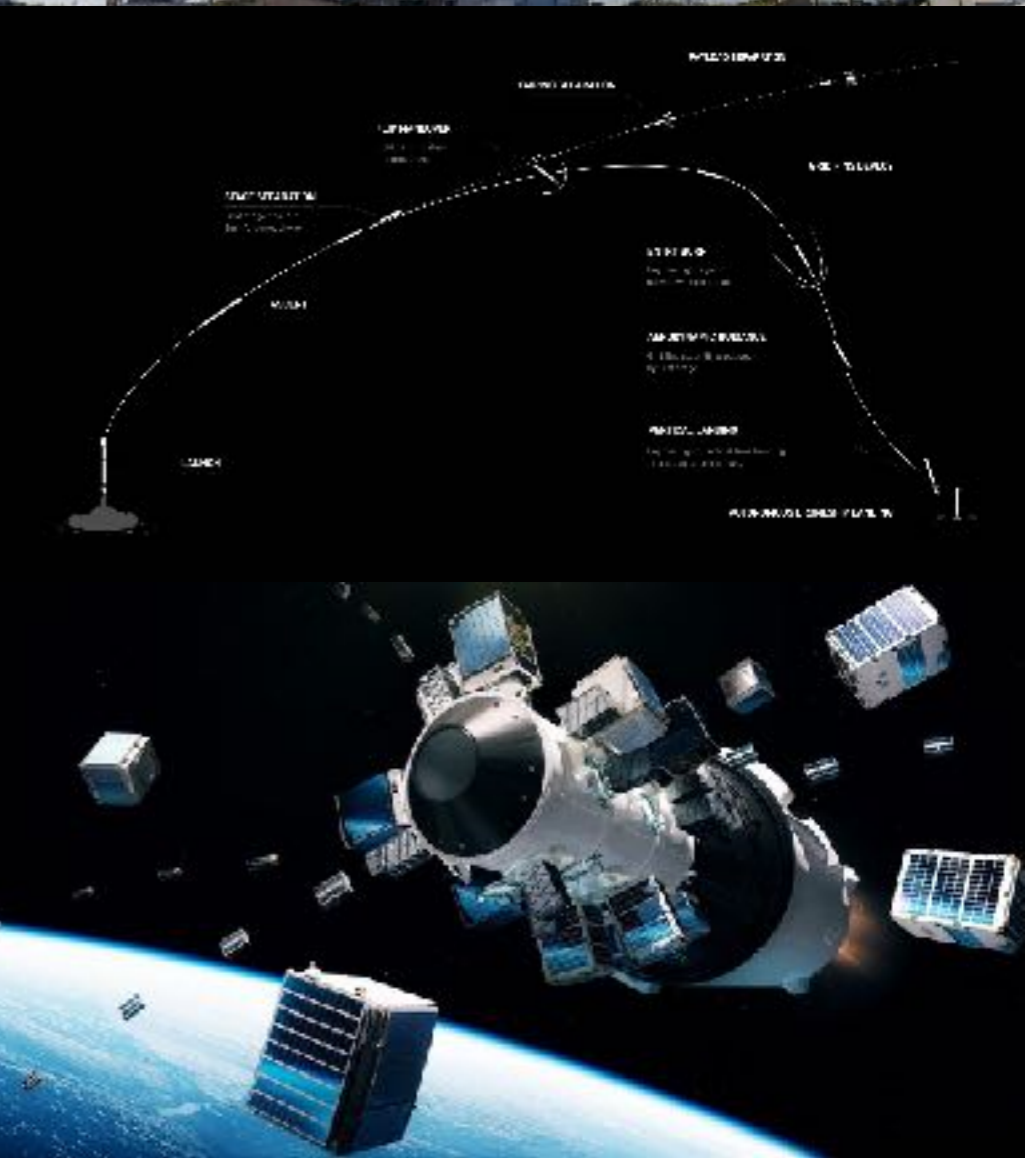


- 立方衛星有各種尺寸，通常用 1U 作為標準單位。1U 的立方衛星，通常指的是邊長 10 公分的立方體，質量約為 1 至 1.33 公斤。近年立方衛星開始有各種尺寸，例如 1.5U, 2U, 3U, 6U, 8U, 12U, and 16U，皆有對應的發射箱，但各種型態仍在發展。





SpaceX Transporter-1 mission breaks a world record for 143 satellites in single launch on 2021/1/24.





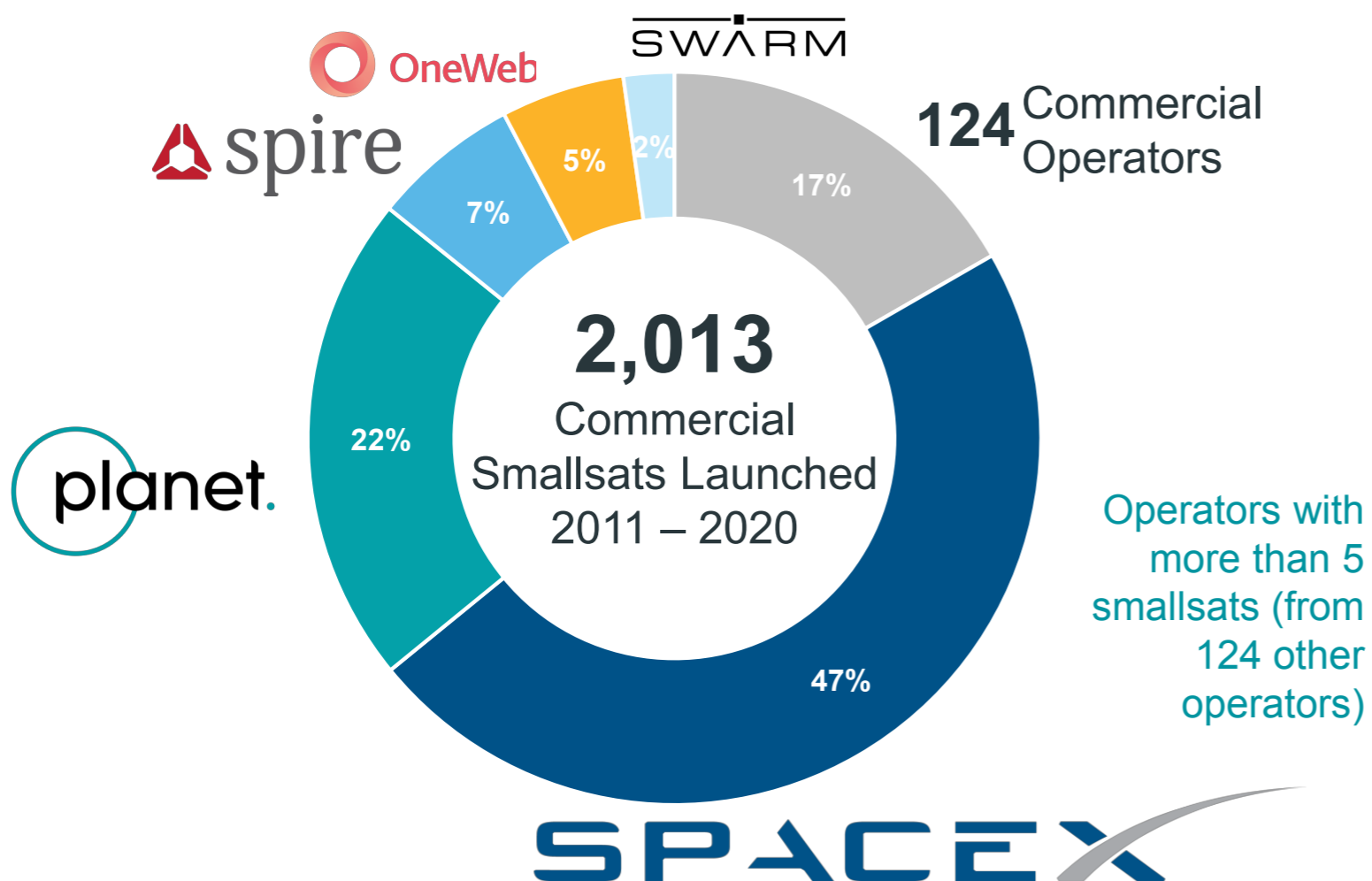
SpaceX 擁有最多的衛星

Commercial Smallsat Operators 2011 – 2020

Smallsats in Context and Operator/Mission Type Trends



83% of smallsats launched 2011 – 2020 are owned by 5 operators



Commercial Operators with more than 5 smallsats*

Operator	# of Smallsats
SpaceX	955
Planet	437
Spire Global	131
OneWeb	110
Swarm Technologies	45
CGSTL	26
Satellopic	20
ORBCOMM	19
Spacety	12
Astro Digital	10
Zuhai Orbita	10
Guodian Gaoke	10
GeoOptics	8
BlackSky	7
Commsat Tech Dev Co.	7
ICEYE	6

*As of the end of 2020

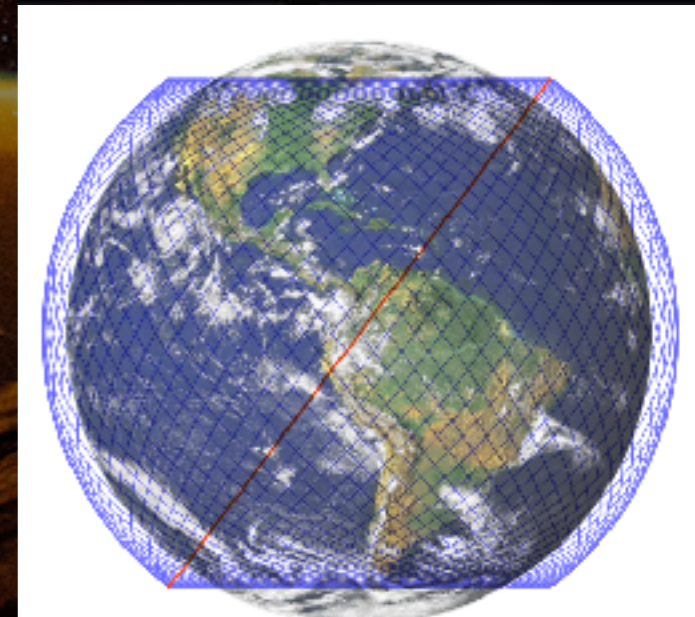


Starlink



Credit: Starlink

- Starlink 已發射 **2,600** 台衛星（失效率 < **3%**，**279** 台除役），先部署 **12,000** 台（> **1 百億美元**），而後 **42,000** 台。每天製造 **4/40** 台（每台佈署約 **1 百萬美元**），每 **2** 星期使用 **獵鷹 9 號 / 星艦** 火箭發射，每次 **60/400** 台。完全運作後，每年產值 **3-5 百億美元**。
- 發射量能：**2018** 年 **2** 台（**1** 次）、**2019** 年 **120** 台（**2** 次）、**2020** 年 **833** 台（**14** 次）、**2021** 年 **989** 台（**18** 次）、**2022** 年 **550** 台（**13** 次），飛行軌道 **550 km@53.0°**，**560 km@97.5°**，**570 km@70°**，**540 km@53.2°**。



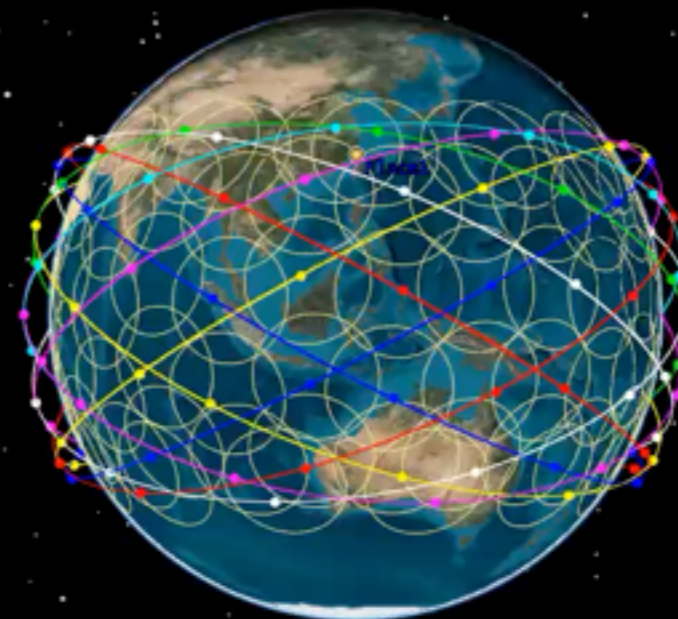


衛星造價比較



- 機構太空過去衛星費用
 - 5 號：29.8 億元（自製 1 台小衛星、酬載、發射）。
 - 7 號：25.4 億元（外購 6 台微衛星，不含酬載與發射）。
 - T 號：7.7 億元（自製 1 台微衛星、酬載） + 5.4 億元（發射）。
- 新太空：飛鼠號 3-5 千萬元（1 顆立方衛星本體、酬載、發射），5 號的 1/60、7 號單台的 1/14、T 號的 1/26。

12 orbital planes (29° inclination) of 12 satellites each.



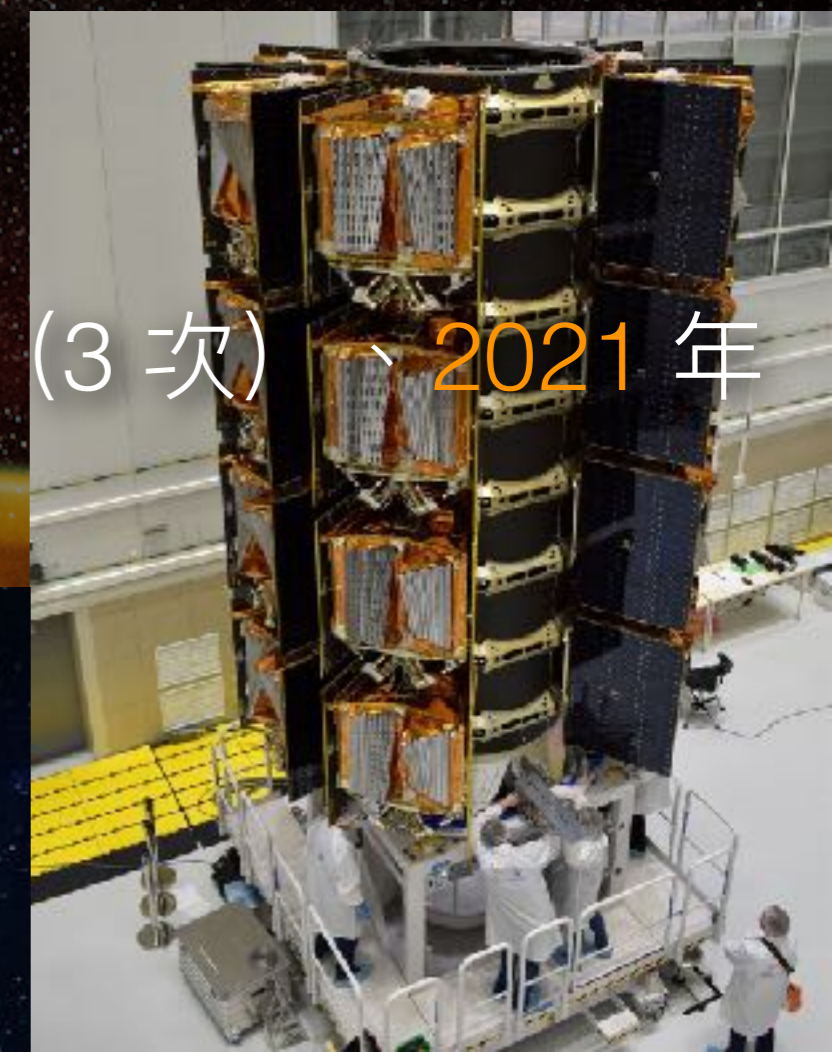


OneWeb 星系

- OneWeb 已發射 **428** 台 (**6** 台除役) ，每次 **34-36** 台 (發射費用 **4 千 8 百萬美金**) 。先部署 **648** 台，而後 **48,000** 台。每天製造 **2** 台 (每台約 **1 百萬美元**) ，每台重約 **150** 公斤。
- 軌道：**86.4°** 軌道 **1,200 km** ，分布在 **12** 個軌道面，每個軌道面有 **54** 台衛星。
- 發射量能：**2019** 年 **6** 台、**2020** 年 **104** 台 (3 次)、**2021** 年 **284** 台 (8 次)、**2022** 年 **34** 台 (1 次) 。



Credit: OneWeb





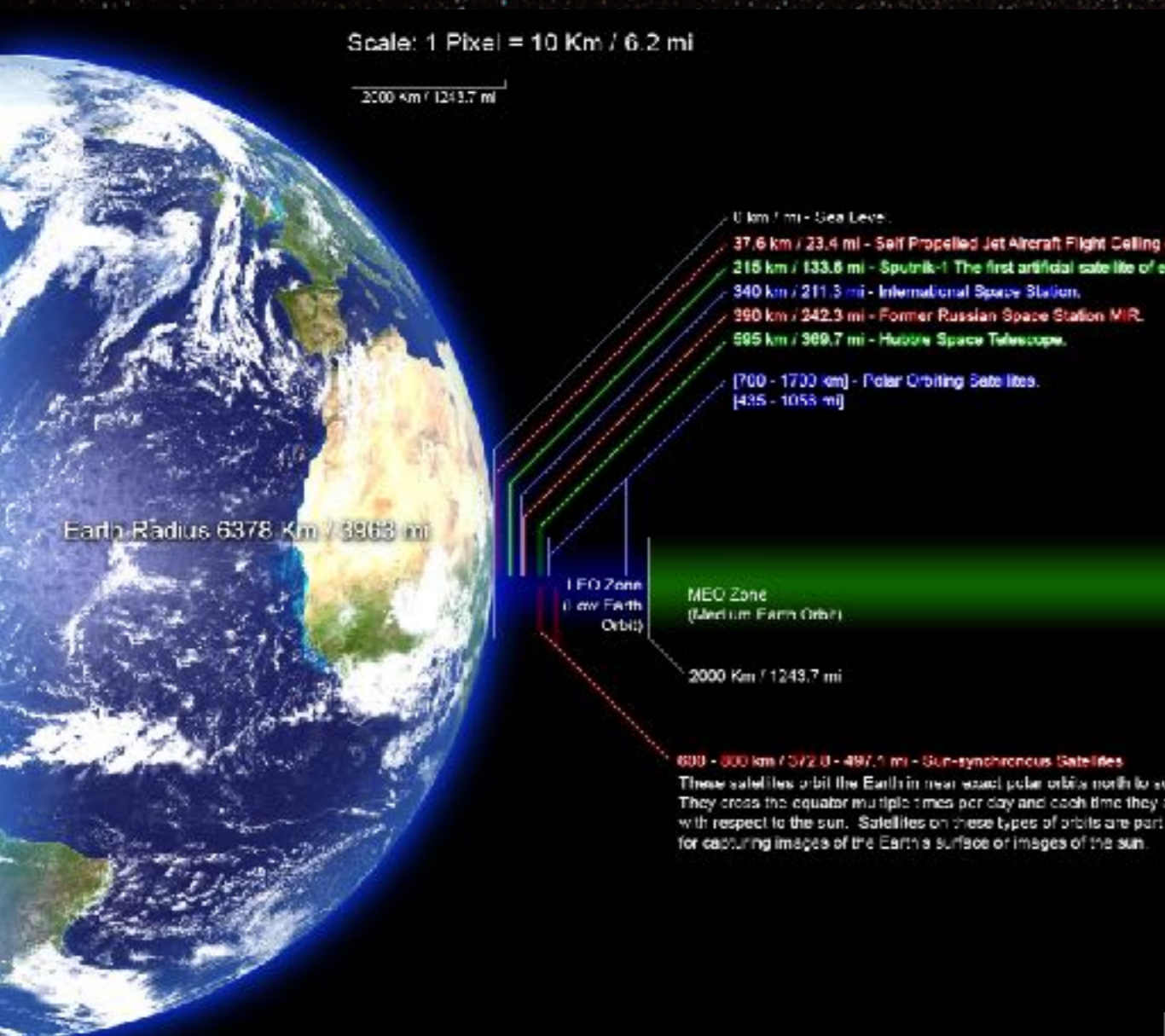
Starlink 軌道計畫調整



- 2019 (12,000 satellites for all phases)
 - 1st shell: 1,440 in a 550 km altitude shell
 - 2nd shell: 2,825 Ku-band and Ka-band spectrum satellites at 1,110 km
 - 3rd shell: 7,500 V-band satellites at 340 km
- 2020 (11,626 satellites for all phases)
 - 1st shell: 1,440 in a 550 km altitude shell at 53.0°
 - 2nd shell: 1,440 in a 540 km shell at 53.2°
 - 3rd shell: 720 in a 570 km shell at 70°
 - 4th shell: 336 in a 560 km shell at 97.6°
 - 5th shell: 172 satellites in a 560 km shell at 97.6°
 - 6th shell: 2,493 satellite in a 335.9 km shell at 42°
 - 7th shell: 2,478 satellite in a 340.8 km shell at 48°
 - 8th shell: 2,547 satellite in a 345.6 km shell at 53°



低軌道衛星



- 飛行距地高度：500-900 km
- 高速運動：7-8 km/s
- 繞地球一圈：90-100 mins
- 低軌衛星的遠距通訊比地表光纖纜線的傳輸速度快。
- 軌道低，氣動力大，軌道壽命短；軌道高，輻射強，元件壽命短。



Altitude	200 km	300 km	400 km	500 km	700 km	900 km
Orbital Lifetime	1 day	1 month	1 year	10 years	100 years	1,000 years



低軌通訊衛星



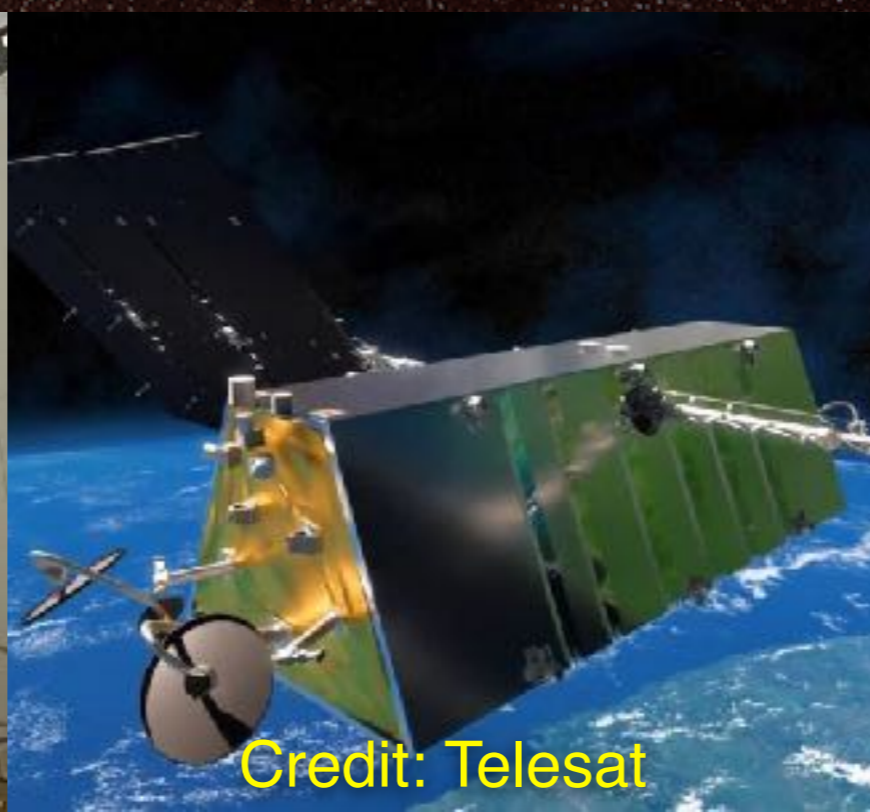
- 目前全球衛星網路，如 SpaceX Starlink (2,600/42K), OneWeb (358/648 → 48K), Telesat Lightspeed (1/298), Amazon Kuiper (0/3,236) 等加速部署，如何在短期大量發射與製造衛星，大幅降低成本、通訊 (每月USD 99-500) 與安裝費 (USD 499-2,500)、增加頻寬 (> 1 Gbps)，已成為關鍵 (全球通訊業 ~USD 2T, 2019)。



Credit: SpaceX



Credit: OneWeb



Credit: Telesat



Credit: Amazon

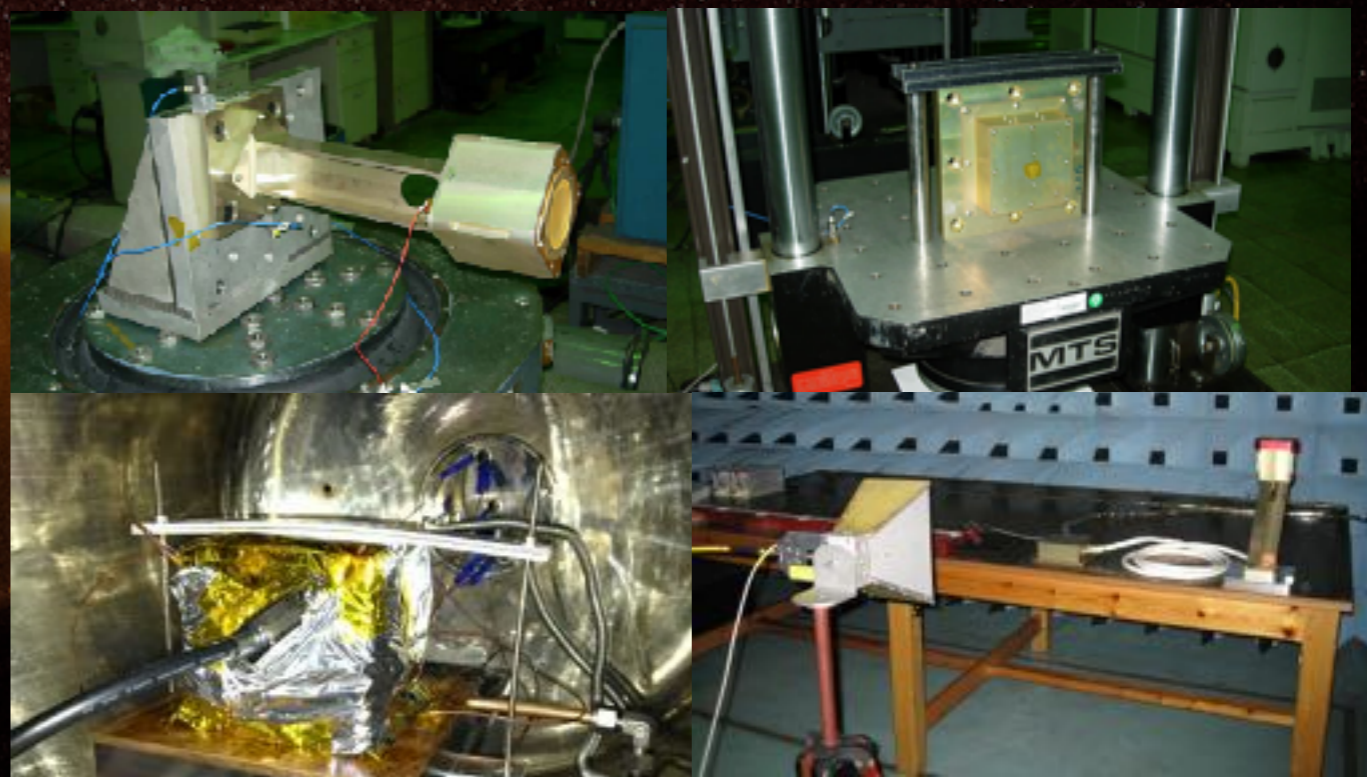


衛星製造量能



- 傳統製造量能：每 4 年生產 1-2 台（研發尚可如此）。
- 現在製造量能：每 1 天生產 4 台（估自 Starlink 發射量）。
- 未來製造量能：每 1 天生產 40 台（估自 Starlink 汰換量）。
- 必須導入現代的電子專業製造服務製造衛星，才能符合未來衛星通訊服務的量能需求。

- 除功能測試外，尚須明瞭衛星整測所需各項太空環境測試：輻射、振動、衝擊、熱真空、電磁相容等。





新興太空國家發展道路

階段 1： 技術獲取期

- 太空科技學習
- 建立太空基礎設施

階段 2： 技術吸收與消化期

- 太空科技吸收與消化
- 衛星自製

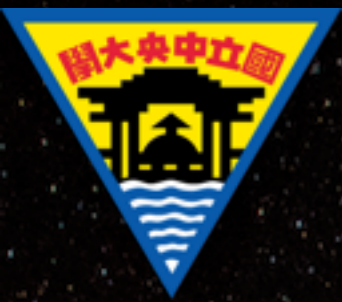
階段 3： 技術創新與擴散期

- 太空科技創新與擴散
- Spin-off
- 建立太空產業

台灣人造衛星發展進程



福爾摩沙衛星	一號	二號	三號	五號	七號
升空時間	88.1.27	93.5.21	95.4.15	106.8.25	108.6.25
除役時間	93.6.17	105.8.19	服役中	服役中	服役中
主要任務	科學實驗	遙測與科學	氣象觀測	接續二號遙測任務	接續三號氣象觀測任務
重大意義	我國第一枚科學實驗衛星	我國第一枚遙測衛星	全球首次以星系方式執行的衛星氣象觀測系統	我國第一枚自主研製的高解析度遙測衛星	我國與美國雙邊最大型的科技合作計畫



第三期國家太空科技發展 長程計畫 (2019-2028)



- 預計 10 年投入 251 億元，結合國內產學研界，創建高成本效益且具競爭力的太空計畫，持續精進本土太空技術，挑戰**尖端太空任務**，擴散太空產業效益，培育**太空科技人才**，建立台灣**太空產業鏈**。
- **先導型高解析度光學遙測衛星及超高解析度智能遙測衛星**：傳承福衛五號的技術經驗，搭載自主研发的光學遙測酬載，解析度更勝福衛五號；科學酬載及關鍵零組件，均是國內自行研發製作。
- **合成孔徑雷達衛星**：搭載主動式雷達，從衛星發射電磁波到地面並接收反射波進行判讀，不受夜間或多雲天氣而影響取像。
- 推動**外太空探索與科學創新**計畫：全球外太空商業化發展趨勢，推動外太空探索、科學觀測及創新應用任務衛星或星系，為未來台灣太空科技永續發展奠定基礎。



臺灣太空產業 (2019-)



- 太空產業為蔡總統連任演說的「六大戰略產業」之一。
- 科技部（太空中心）：第三期國家太空科技發展計畫（251億 / 10年） → 遙測衛星 → 科學酬載 / 科普活動。
- 科技部與經濟部（太空中心、工研院）：Beyond 5G 通訊衛星與地面站（250億 / 4年） → 低軌通訊衛星 → 地面站次系統。
- 國防部（中科院）：衛星次系統 / 環境測試。
- 教育部（中大）：高教深耕 / 特色領域中心－太空科學與科技研究中心（2.5億 / 5年） → 立方衛星 → 協助國內產業獲得飛行履歷，進軍國際太空產業供應鏈。



臺灣太空發展布局與分工



元件/ 次系統	衛星與火箭 製造	發射服務	衛星操作	衛星應用	
火箭	小型發射載具	低地球軌道	低地球軌道	衛星遙測應用	
	中型發射載具	太陽同步軌道	地球同步軌道	導航衛星應用	
	大型發射載具	地球同步軌道		通訊衛星應用	
	超大型發射載具			新太空應用	
衛星	皮奈米衛星				
	微衛星				
	小衛星 (遙測/通訊)				
	中型衛星				
	大型衛星				
地面設備					



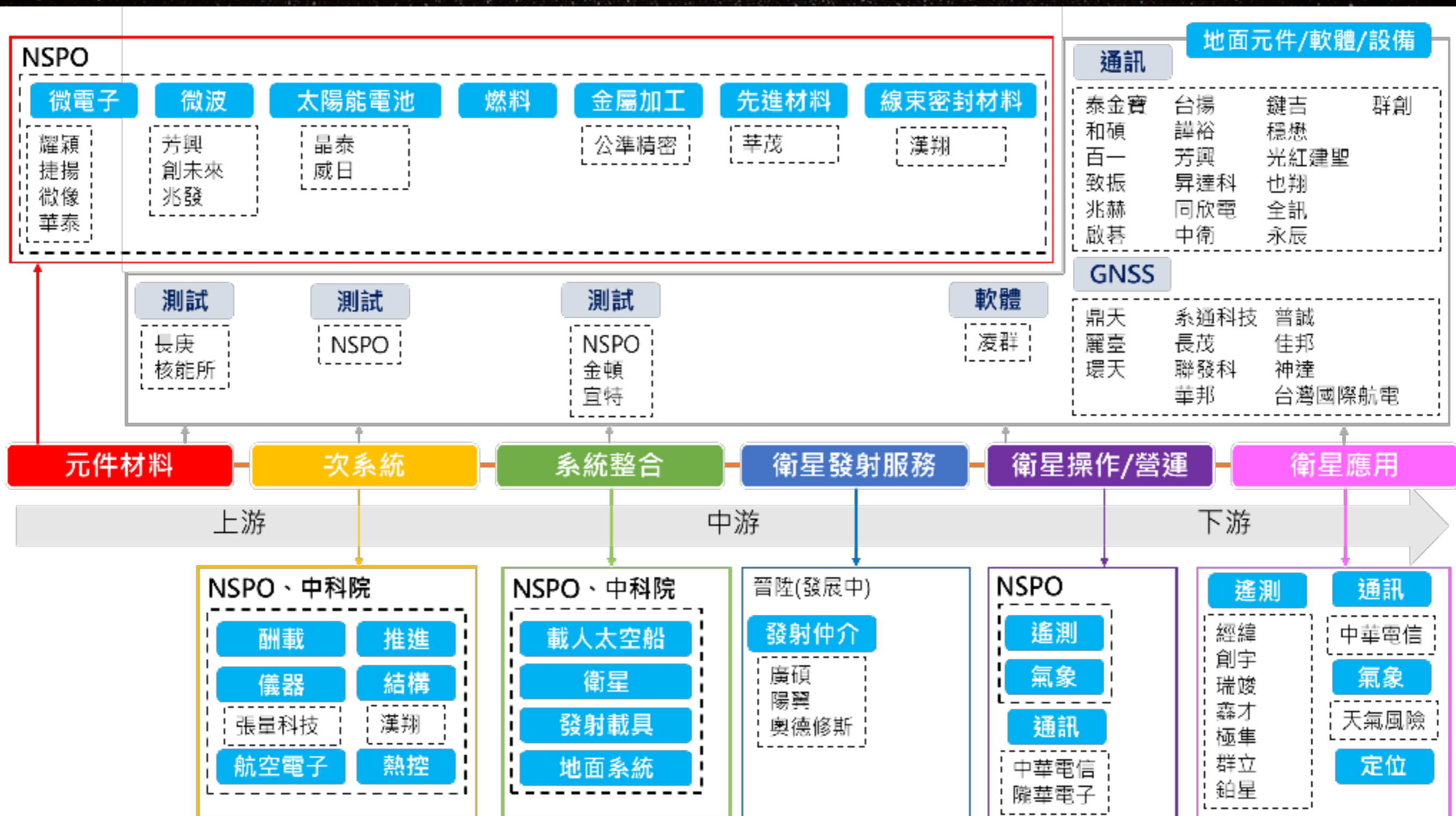
國家太空中心



民間廠商、其他法人



台灣太空產業鏈





太空科學與科技研究中心



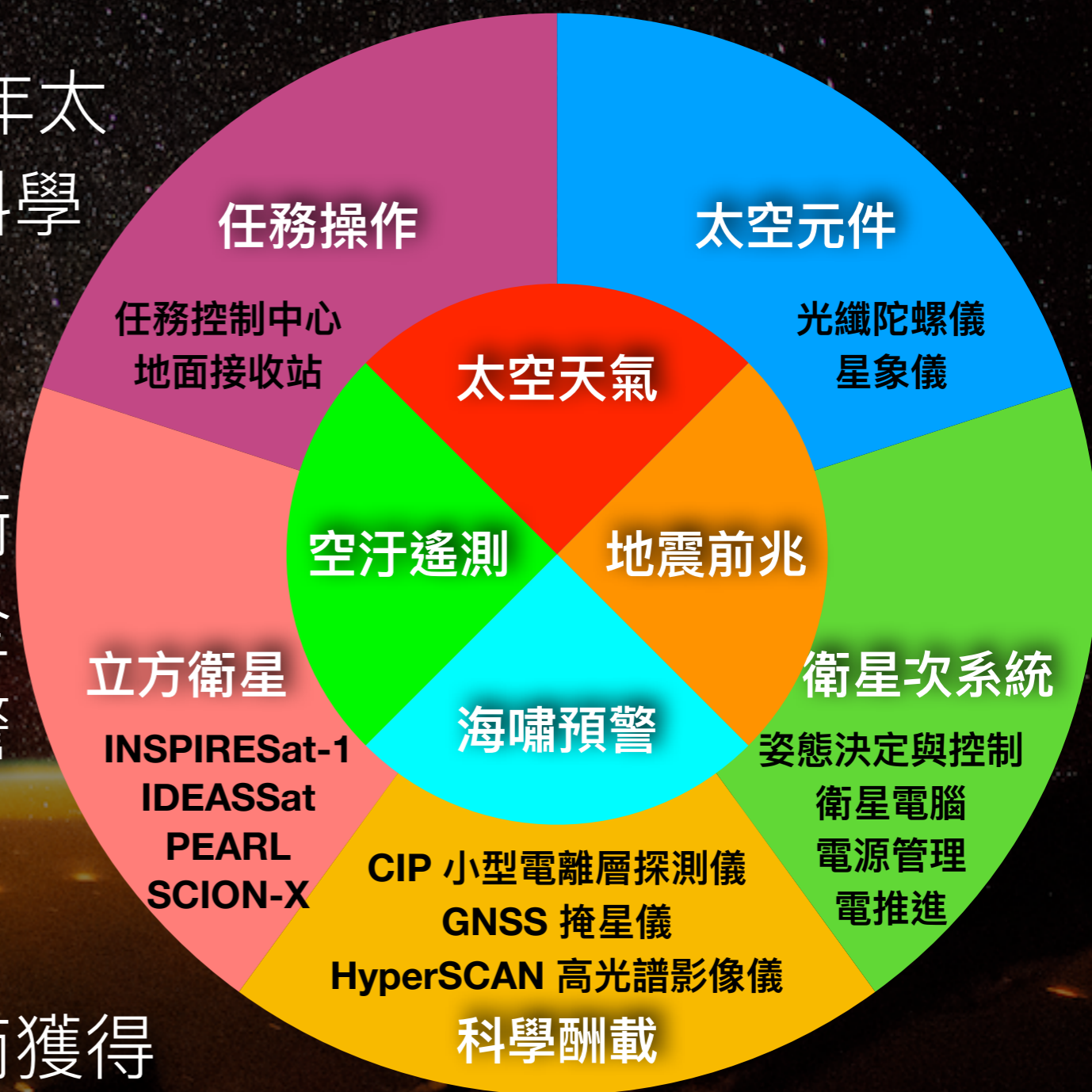
- 整合 60 年太空科學基礎與 30 年太空工程能力，建構太空元件、科學酬載、立方衛星、任務操作。

→ 完備大學級太空中心。

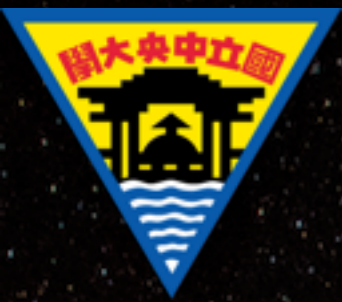
- 進行電離層預報，監測和確保衛星定位、導航、通訊品質與安全，建置地震前兆監測和海嘯預警系統，提升太空科技水準。

→ 推動尖端太空科技應用。

- 完整高教人才培育鏈，協助廠商獲得飛行履歷。→ 推動台灣太空產業。



Center for Astronautical Physics and Engineering (CAPE)



轉型的必要性

- 太空科學
 - 滿足人類的好奇心，累積太空環境的知識。
 - 科研經費下滑侷限研究成果，就業市場有限。
- 太空工程
 - 提升太空科學的研究層次（研製新式酬載）。
 - 證明具有解決實務的問題（執行衛星任務）。
- 太空產業
 - 政府投資有限，太空產業要能獲利，才能吸引資金投入。
 - 在這波太空商業化的浪潮下，培育臺灣太空科技人才，進軍全球太空產業供應鏈。



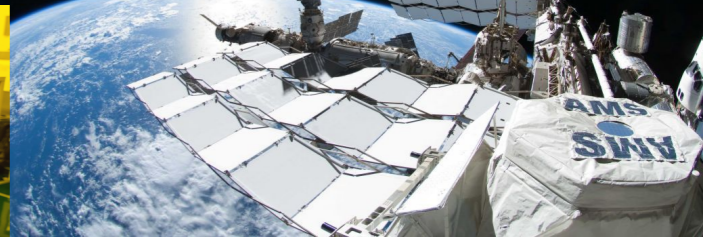
與國內產研對接



- 法人：國家太空中心、國家中山科學研究院、工研院。
- 產業：鴻海集團（衛星科技），芳興科技（衛星地面站），鐳洋科技（無線電模組），創未來科技（通訊酬載），晉陞太空（發射服務），輝能科技（鋰陶瓷電池），捷揚航電（衛星電腦），極星光電（MIOC & FOG），星路科技（低軌通訊）。



NAR Labs 國家實驗研究院
國家太空中心
National Space Organization





太空環境對衛星的影響



- 無法補給（電、燃料）與修復（零件更換）。
- 輻射：非游離輻射的溫度變化與游離輻射（極紫外光、X射線、 γ 射線等）的累積效應（Total Ionization Dose, TID）。
- 高能粒子（電子、離子、宇宙射線）：單粒子效應（Single Event Effect, SEE）。
- 太空碎片：撞擊（1公克物質可穿透1英吋鋁合金）。
- 振動、衝擊、音爆：火箭運送。
- 真空：逸氣與污染、無對流效應。
- 氧原子效應。
- 電磁相容：避免永久磁鐵與電流線圈等。





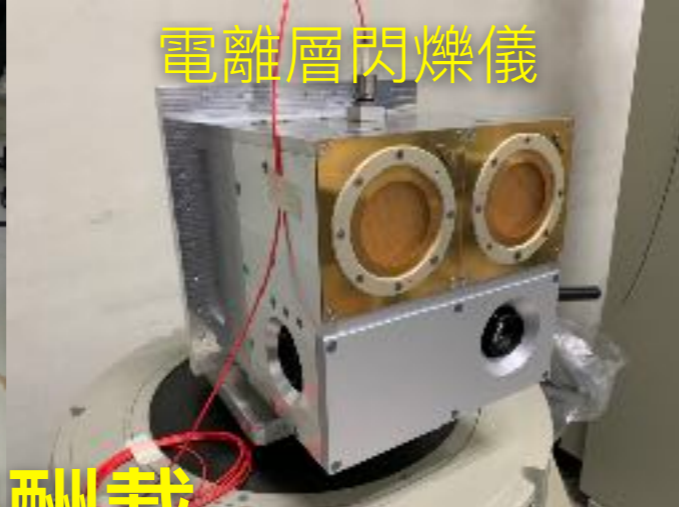
飛行履歷

- 必須升空執行飛行驗證，才能獲得**飛行履歷**。
- 中大具有完整的**太空級衛星次系統與立方衛星**的研製經驗，提供一條龍式的系統工程服務，協助廠商獲取飛行履歷。
 - 提供**太空規格**諮詢服務。
 - 提供**太空環境測試**（熱真空、振動等）服務。
 - 提供**衛星地面站與任務控制中心**任務操作服務。
- 未來將設置**太空產業培訓專班**，提供太空產業知識。

探空火箭用姿態儀



電離層閃爍儀



振動測試



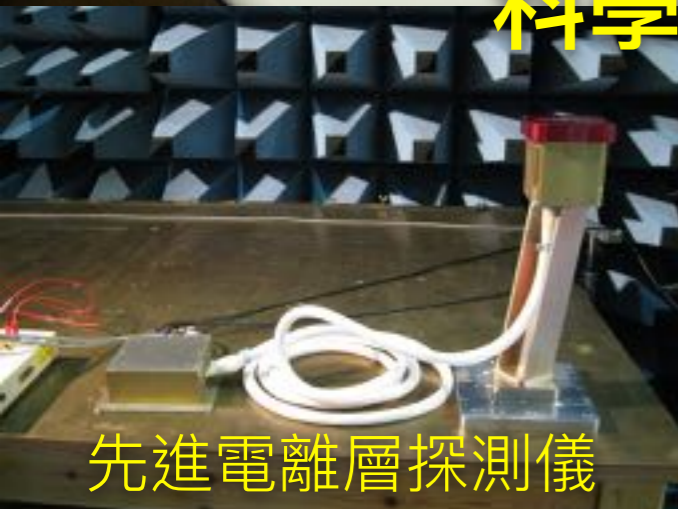
溫度循環測試



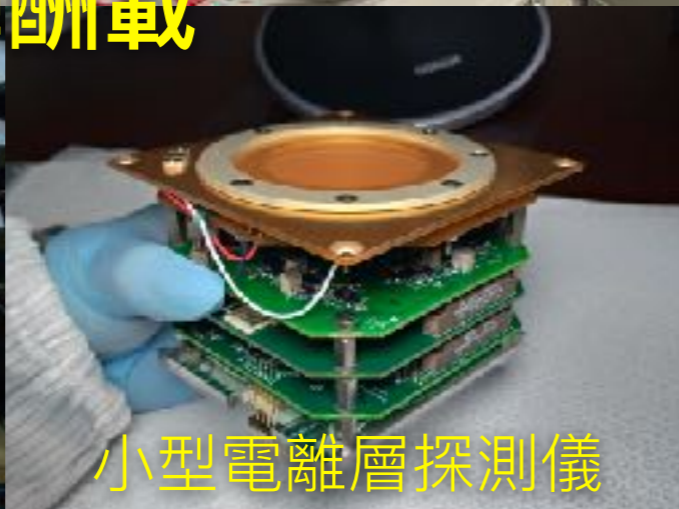
科學酬載

太空環境測試

先進電離層探測儀



小型電離層探測儀



熱真空測試

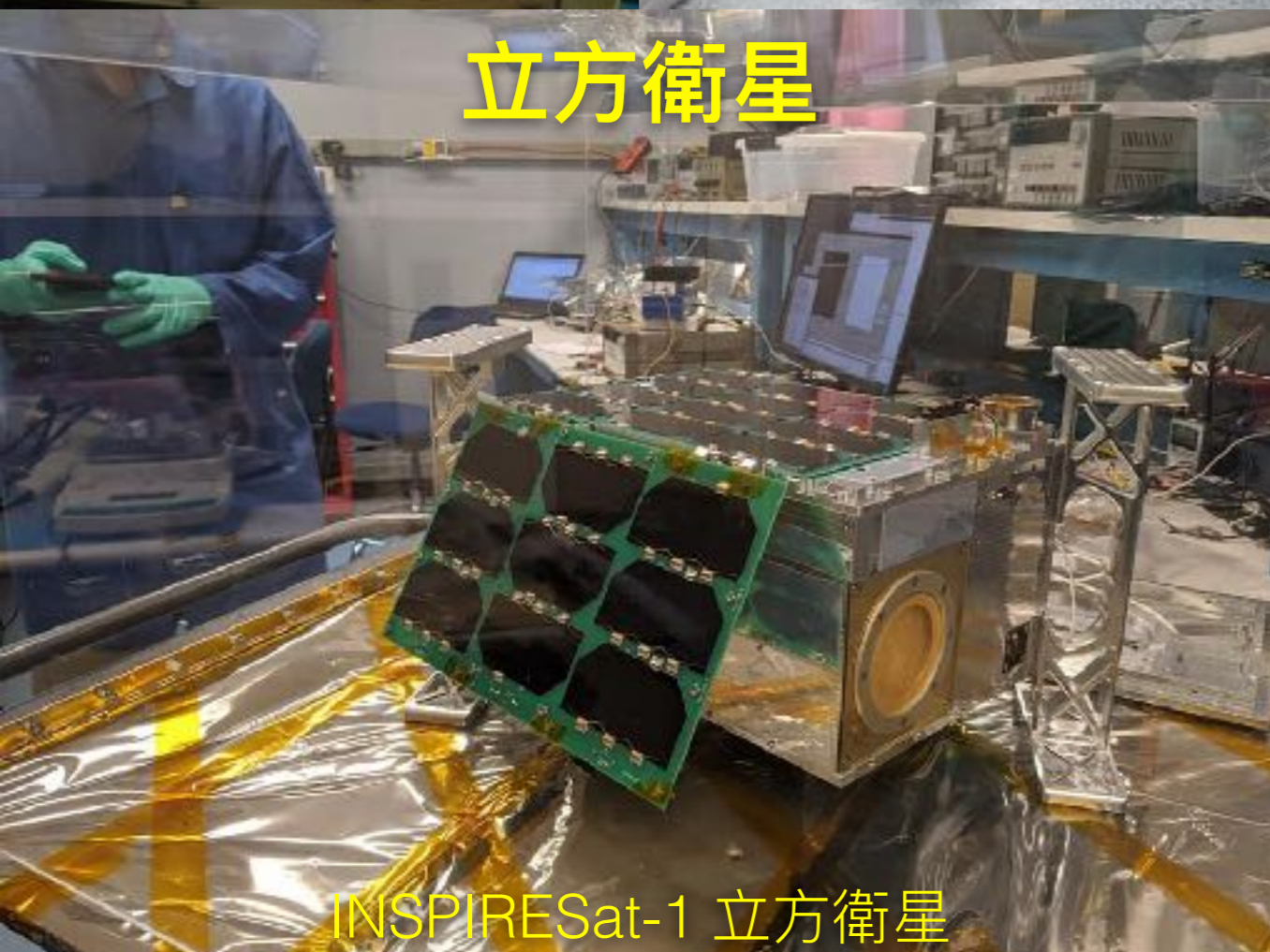


電漿注入測試



立方衛星

任務操作中心



UHF 收發站



衛星任務操作

INSPIRESat-1 立方衛星

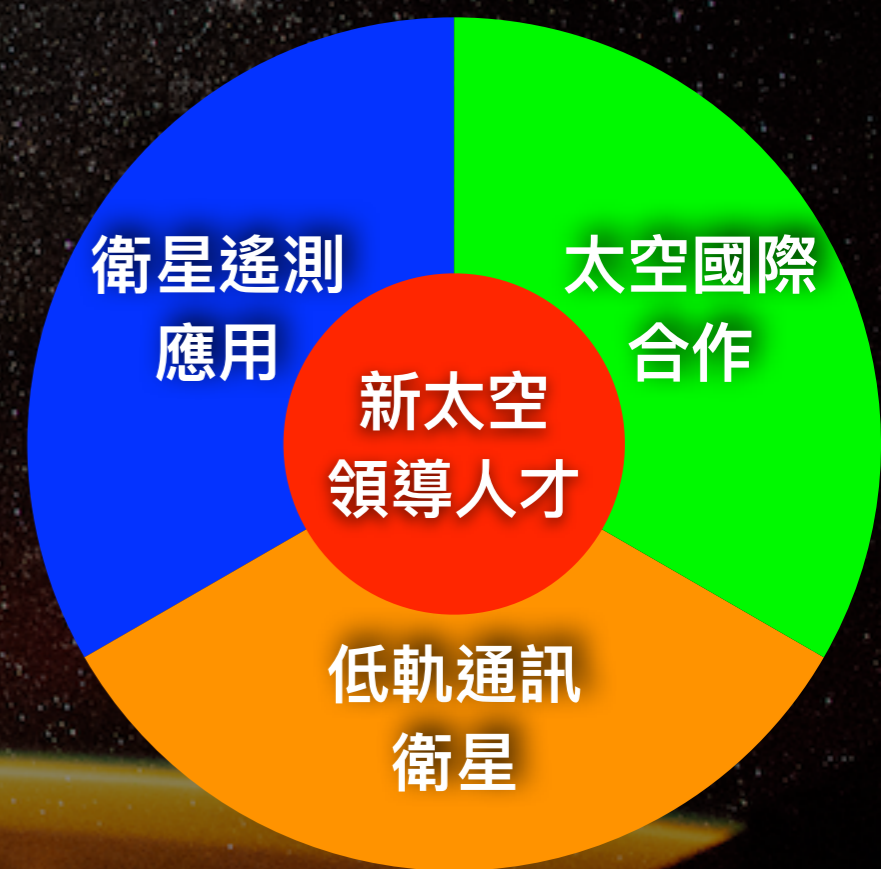
S-band 接收站





未來主軸方向

- **太空國際合作**：提供與研製**科學酬載**，參與**國際小衛星星系**（太空天氣監控）與**外太空探索任務**（探月任務）。
- **低軌通訊衛星**：執行**高通量通訊實驗**與建立**通訊驗測環境**，協助廠商（地面設備、衛星製造）與**國際太空產業供應鏈**接軌。
- **衛星遙測應用**：發展**遙測酬載**與**多功能小衛星平台**，提供**遙測服務**（遠洋漁業）。



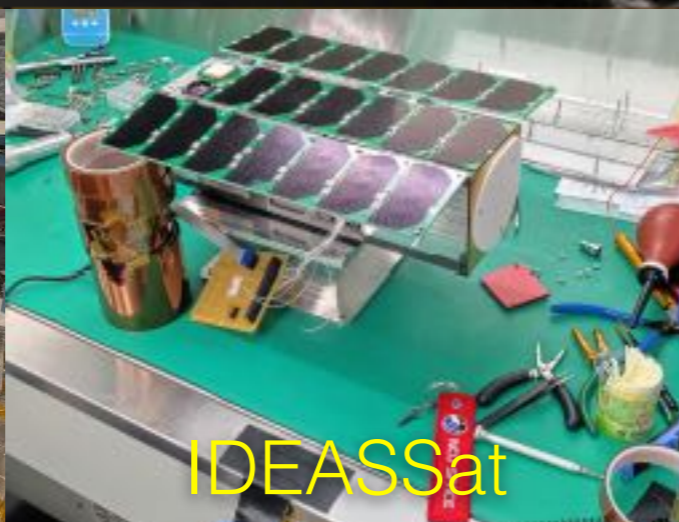
劉正彥講座教授兼中心主任擔任衛星通訊地面設備系統整合旗艦團隊召集人
張起維特聘教授兼中心副主任擔任 COSPAR 建立小衛星星系工作小組成員
趙吉光教授兼系主任擔任台灣太空產業發展協會第一屆與第二屆常務監事



共同參與立方衛星任務



INSPIRESat-1



IDEASSat



S-band Station



MOC