



ITRI

Industrial Technology
Research Institute

LEO communication system development, integrations and test

ICL 蔡華龍 (Hua-Lung Tsai PhD)

hltsai@itri.org.tw

111年08月25日



Outline

- 全球低軌衛星趨勢
- 台灣衛星產業發展機會
- 台灣低軌衛星計畫簡介
- 低軌道衛星系統驗測簡介
- 結論



全球衛星產業市場規模



衛星製造

衛星製造產值高度集中於美國(65%)，占整體市場約**4.5%**。然衛星製造因微小化，使得成本降低，進而提高生產數量，且由於生命週期較短，故**衛星製造之全球市場仍維持逐年緩步成長**。

衛星發射服務

衛星發射產值亦有40%集中於美國，佔整體衛星產業產值約**2%**。進入**門檻相對高**，作為星系組網**初期成本主要影響因素**。2020年由於衛星發射數量較2019年成長近2.8倍，支持發射業務營收明顯成長。

衛星地面設備

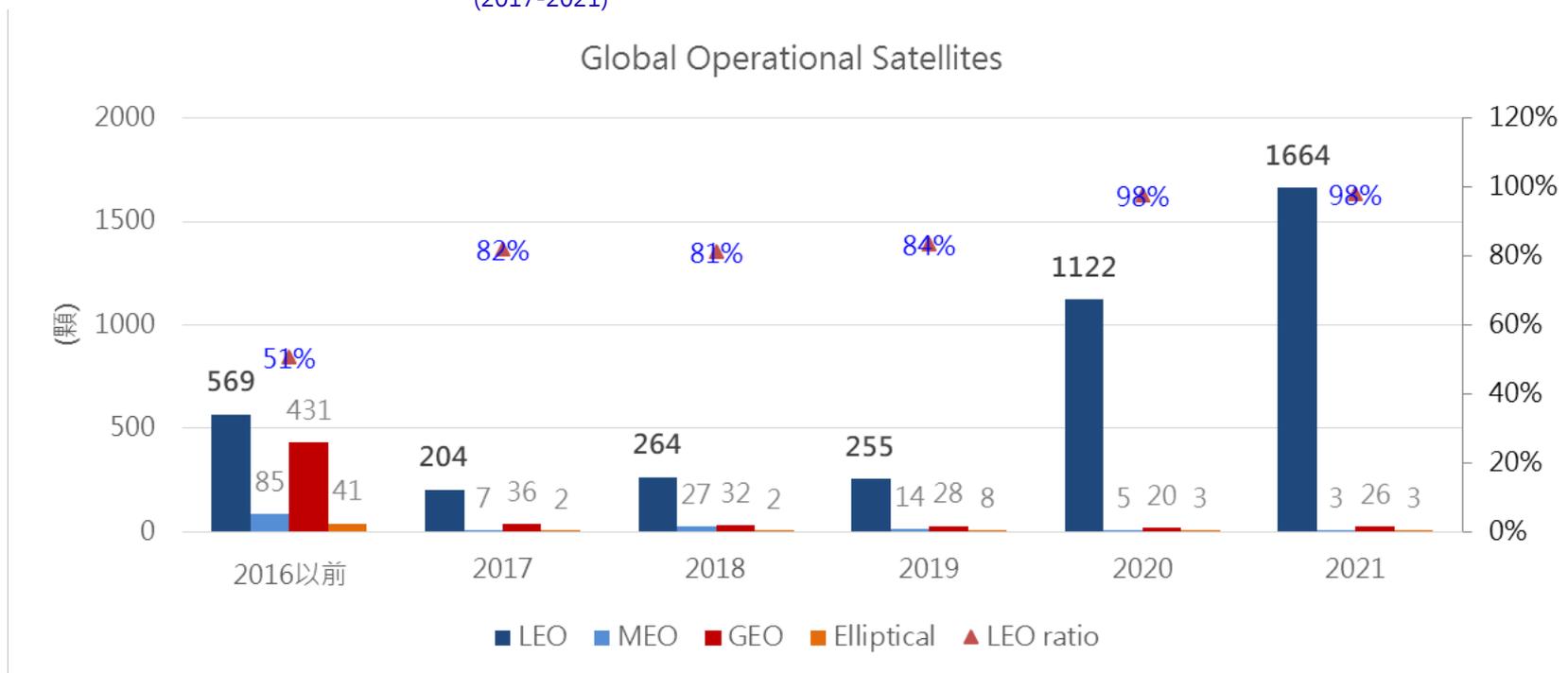
衛星地面設備產值佔整體的**50%**，包含GNSS、消費性裝置、網路裝置等次產品。2020年面臨疫情衝擊，影響部分訂單交貨遞延，唯因GNSS需求成長，反轉消費性與網路裝置產值下滑趨勢。

衛星服務

衛星服務產值佔整體的**43.5%**。2020年各項衛星服務大多小幅下滑，唯遙測應用在疫情期間有所成長。其中，營收比重最大的**衛星電視(74%)**，則產值仍逐年遞減，使全年服務產值下滑4%。

全球營運衛星規模

- 根據UCS統計，累計至2021年，全球營運中衛星共計**4,851**顆，其中**84%**來自**LEO**衛星。其中LEO衛星又以**通訊任務為主**，佔**64%**；遙測任務次之(24%)、技術發展任務與其他則佔12%。
- 尤以2019年起，Starlink與Oneweb低軌寬頻通訊衛星星系計劃啟動發射後，LEO數量急遽成長。
 - LEO衛星CAGR₍₂₀₁₇₋₂₀₂₁₎=**69%**
 - MEO衛星CAGR₍₂₀₁₇₋₂₀₂₁₎=**-19%**
 - GEO衛星CAGR₍₂₀₁₇₋₂₀₂₁₎=**-8%**

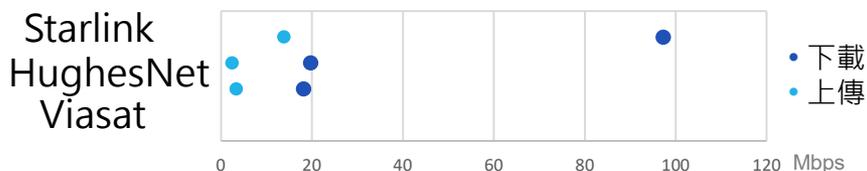


傳統衛星業者亦加入低軌寬頻通訊衛星發展

低軌衛星營運商

- Starlink：12,000顆，預估投入300億美元
- OneWeb：2,000顆，目前投入24億美元
- Telesat：1,600顆，預估投入50億美元
- Kuiper：3,236顆，預估投入100億美元

Starlink與傳統衛星通訊業者傳輸速度比較



高軌衛星營運商

- 高軌衛星業者加入低軌衛星服務：
 - Eutelsat投資OneWeb：2021年4月，全球三大固定衛星營運商之一的Eutelsat，投入5.5億美元，獲得OneWeb 24%股權
 - Viasat把高軌衛星發射計畫改成低軌：Viasat計畫在2022年發射300顆低軌衛星，配合新一代高軌衛星，組成衛星網路，為全球飛機提供Wi-Fi服務

星 其 部 他 署 低 計 軌 畫 衛

- 南韓：與韓華系統合作，預計投入5,000億韓元(約4.4億美元)，在2030年完成佈署共2,000顆低軌衛星，2025年將提供服務
- 中國大陸：去年向ITU申請12,992顆的衛星頻譜，今年成立中國衛星網絡集團有限公司，整合國內資源建立衛星通訊網路
- 歐盟：將打造一個結合LEO、GEO和MEO軌道的衛星通訊網路，為整個歐洲提供高速寬頻網路，目前進行商業可行性研究，預計在年底提出規劃
- 日本：將支持有20顆衛星的小型衛星星座的建立，並應用在包含導彈防禦、寬頻通訊和災害應變等領域

看好低軌衛星在寬頻服務市場之商機，如Eutelsat、Viasat等傳統高軌衛星通訊業者亦投入發展；歐盟、中國大陸等亦整合國家資源發展低軌衛星通訊網路。

低軌衛星提供FSS，FSS ESIM & MSS等服務 適合使用Ku-band還是Ka-band?

- **Ku-band**可用頻寬較小(約2.5GHz)，頻段使用率高(BSS & 地面5G)；目前服務商和供應鏈主要用在**FSS & BSS**業務；如果主攻現有**Starlink & OneWeb**市場以及**固定式 FSS**服務，**Ku-band**為可行的選項。
- **Ka-band**頻寬較大(約5GHz)，可用在所有FSS，FSS ESIM & MSS服務，特別是**地面站可移動的服務**限制較小。如果主攻**移動性 (i.e. FSS ESIM & MSS)** & **寬頻服務**，**Ka-band**為相對較具擴充性的選項。

FSS & BSS

- Ku-band上有許多既有廣播衛星服務(BSS)，BSS有頻段優先使用權，FSS不得造成干擾

FSS服務
(如衛星寬頻)

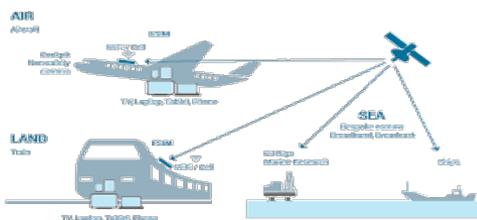


BSS服務
(如衛星電視)



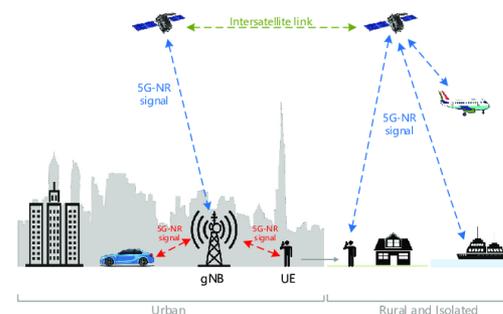
FSS ESIM

- 移動式地面站(ESIM)將偏好使用Ka-band
 - ✓ ITU已將17.7-19.7及27.5-29.5GHz劃分ESIM使用
 - ✓ WRC-23將討論Ka部分頻段提供低軌衛星ESIM使用*



MSS

- Ka-band上的移動衛星服務(MSS)頻率使用優先層級較高
 - ✓ Ku-band之MSS頻率使用權為次級，不得干擾BSS/FSS等服務使用



*ESIM原本僅提供GSO使用

ITU and FCC對Ku/Ka-band的頻率規範現況

- **Ku-band (總頻寬約2.5GHz)**主要被規畫使用在BSS以及FSS業務；MSS (14.0-14.5 GHz)目前只允許以GEO提供，同時被定義為次要(secondary)業務。
- **Ka-band (總頻寬約5GHz)**中多個頻段(19.7-20.2; 29.5-30)將FSS、MSS劃分為共同主要(primary)業務，在ITU的頻率協調(Frequency Coordination)規範下可和諧使用

(GHz)	ITU & FCC的頻率規範	
10.7-12.7 (DL)	<ul style="list-style-type: none"> • 10.7-12.7可提供BSS/FSS等業務使用，未劃分MSS使用 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Region 1: 10.7-11.7 之FSS(地對空)限定廣播衛星feeder link用途; 11.7-12.5 優先提供BSS使用 ✓ Region 2: 12.2-12.7 優先提供BSS、FSS GSO使用 ✓ Region 3: 11.7-12.2 優先提供BSS使用 	
14-14.5 (UL)	<ul style="list-style-type: none"> • 可提供FSS、MSS等業務使用 (<u>MSS為次要業務</u>，不能對FSS造成有害干擾) 	Ku-band
17.7-20.2 (DL)	<ul style="list-style-type: none"> • 17.7-19.7 可提供FSS等業務使用，未劃分MSS使用 (補充: <u>ESIM; WRC-23</u>) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 18.1-18.4 之FSS(地對空)限定廣播衛星feeder link用途 ✓ 17.7-17.8 Region 2優先提供BSS使用 • <u>19.7-20.2</u> 可提供FSS、MSS等業務使用 (<u>共同主要業務</u>) 	
27.5-30 (UL)	<ul style="list-style-type: none"> • 27.5-29.5 可提供FSS等業務使用，未劃分MSS使用(補充: <u>ESIM; WRC-23</u>) • <u>29.5-30</u> 可提供FSS或MSS等業務使用 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 29.5-30 Region 2可提供FSS、MSS等業務使用 (<u>共同主要業務</u>) ✓ 29.9-30 Region 1、3可提供FSS、MSS等業務使用 (<u>共同主要業務</u>) 	Ka-band

固定衛星業務 (FSS, Fixed-Satellite Service) 移動衛星業務 (MSS, Mobile-Satellite Service) 廣播衛星業務 (BSS, Broadcasting-Satellite Service)

3GPP R17考慮將Ka、V-band納入NTN頻段

- 3GPP於TR 38.913下世代接取技術情境與需求研究技術報告中，提出在公路、偏鄉等地區地面通訊難以到達之區域，可以衛星作為地面網路的延伸，該衛星不僅可提供語音及數據之傳輸，亦可進行IoT、廣播及其他延遲容忍度較高之服務所用
- 在高速、大容量的衛星布建情境下，於3GPP RAN4中探討運用Ka-band、V-band之可行性

Attributes	布建情境1	布建情境2	布建情境3
使用頻段	DL及UL皆使用1.5 or 2 GHz頻段	DL使用20 GHz附近頻段 UL使用30 GHz附近頻段	使用 40 or 50 GHz
雙工	FDD	FDD	FDD
衛星架構	Bent-pipe*	Bent-pipe, On-Board Processing	Bent-pipe, On-Board Processing
於5G架構下之衛星系統位置	接取網路	回傳網路	回傳網路
系統頻寬(DL + UL)	最多2*10 MHz	最多2*250 MHz	最多2 * 1000 MHz
衛星軌道高度	GEO, LEO	LEO, MEO, GEO	LEO, MEO, GEO
UE分布	100%室外	100%室外	100%室外
UE行動性	Fixed, Portable, Mobile*	Fixed, Portable, Mobile	Fixed, Portable, Mobile



其他主要衛星公司頻段及產品資訊

Company	# Sat.	Band	Type	Product/Info.
Kepler Communications	360	Ku-band to & from Earth Ka-band for MSS, Inter-Satellite Link	LEO	MSS Customer/GW terminal, Control System
Mangata Networks	791	Ka- & V-band for Feeder Link Ka-band for Service Link	MEO	UT, GW, SON/NOC TT&C control solution
New Spectrum Satellite	15	Ka-band for Feeder Link	Virtual GEO	GEO framework Ground Track
Telesat	1,671	Ka-band	LEO	FSS
SES/O3b	70	Ka-band for MEO and GSO, Ku-band for LEO Feeder Link	LEO, MEO, GSO	FSS in Ku, MSS in Ka Satellite, GW, services
SpaceX/Starlink	30,000	Ku- & Ka-band for LEO V-band for VLEO (GEN1) Ku-, Ka-, E-Band for GEN2 system	LEO, VLEO	Space/ground segment, UT, services
Viasat	288	Ka-band and V-band	LEO, MEO	FSS
WorldVu/OneWeb	48,000	Ku- & Ka-band	LEO	WTO covered services MSS collectively with FSS

Source: "New FCC processing round prompts license requests for 81,195 NGSO satellites," by Christian Frhr. von der Ropp, 2020/05/27
<https://www.linkedin.com/pulse/new-fcc-processing-round-prompts-license-requests-frhr-von-der-ropp>

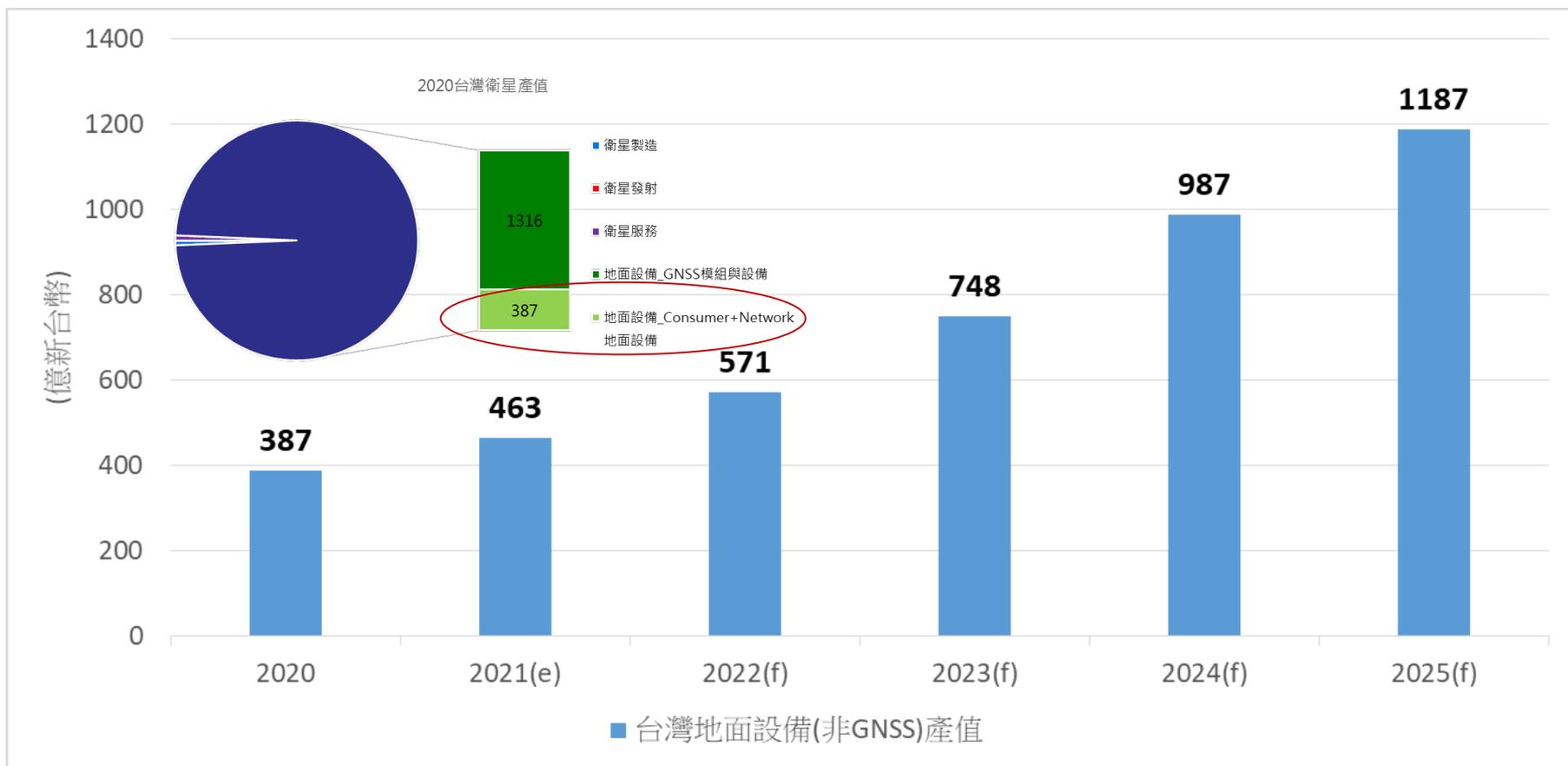


Outline

- 全球低軌衛星趨勢
- **台灣衛星產業發展機會**
- 台灣低軌衛星計畫簡介
- 低軌道衛星系統驗測簡介
- 結論

台灣衛星地面設備產業預估

- 台灣衛星產業由於市場規模與外銷需求多集中於地面設備，已具備在網通、半導體、電路板、射頻微波等技術的發展基礎。
- 考量國際趨勢LEO寬頻衛星落地商機，將可望帶動Consumer+Network衛星地面設備商機，尤其是發展關鍵相位陣列天線技術與產品上，因此，計劃投入效益預期將拉抬此次產業表現。



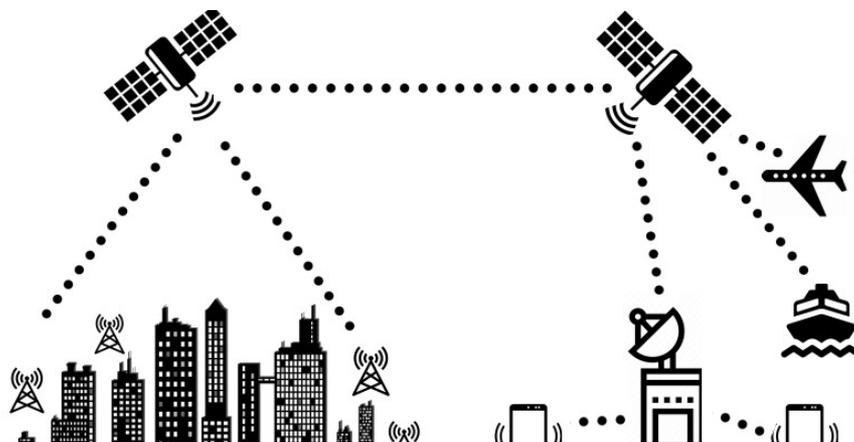
台灣低軌衛星產業需求

■ 產業需求

- 2024年國際預估將累計發射超過6,000顆低軌通訊衛星，將帶來龐大地面接收設備商機。為與快速移動的低軌衛星連結，地面設備成本昂貴，台灣雖已切入國際衛星供應鏈，但主要集中於零組件供應及組裝代工，缺乏關鍵技術自主化能量。

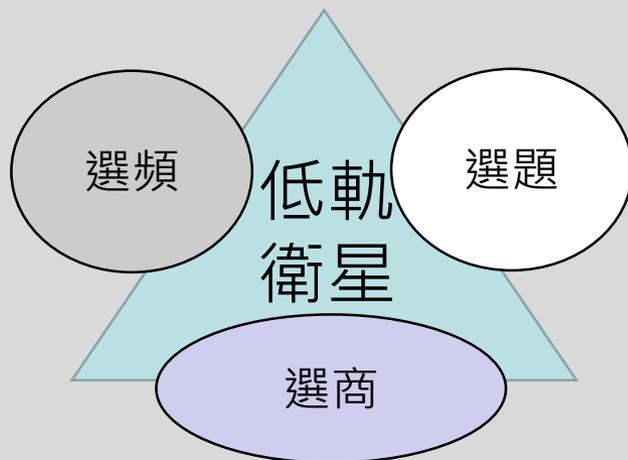
■ 目標

- 開發低軌衛星基頻通訊系統收發技術，相容國際衛星通訊標準規格，為台廠建立基頻關鍵技術自主化能量，帶動產業升級。
- 發展二顆高效能低軌通訊實驗衛星，部署在高度約600公里及約29度或53度傾角之軌道上，進行在軌從衛星到地面站的通訊測試與驗證。



低軌衛星產業尋找台灣機會

- 從國際趨勢、頻寬、應用服務選擇具擴充性的頻段。



- 低軌衛星高速移動，通訊系統複雜，盤點實力，開發關鍵技術：基頻通訊技術、晶片、驗測能量。

- 台灣廠商5G產業鏈具備地面設備開發基礎
- 台灣廠商已有接獲SpaceX, OneWeb等國際大廠PoC訂單，但無自主開發技術能量。



訂規格

訂定系統規格



研技術

研發關鍵技術



穩通訊

穩定通訊品質



取門票

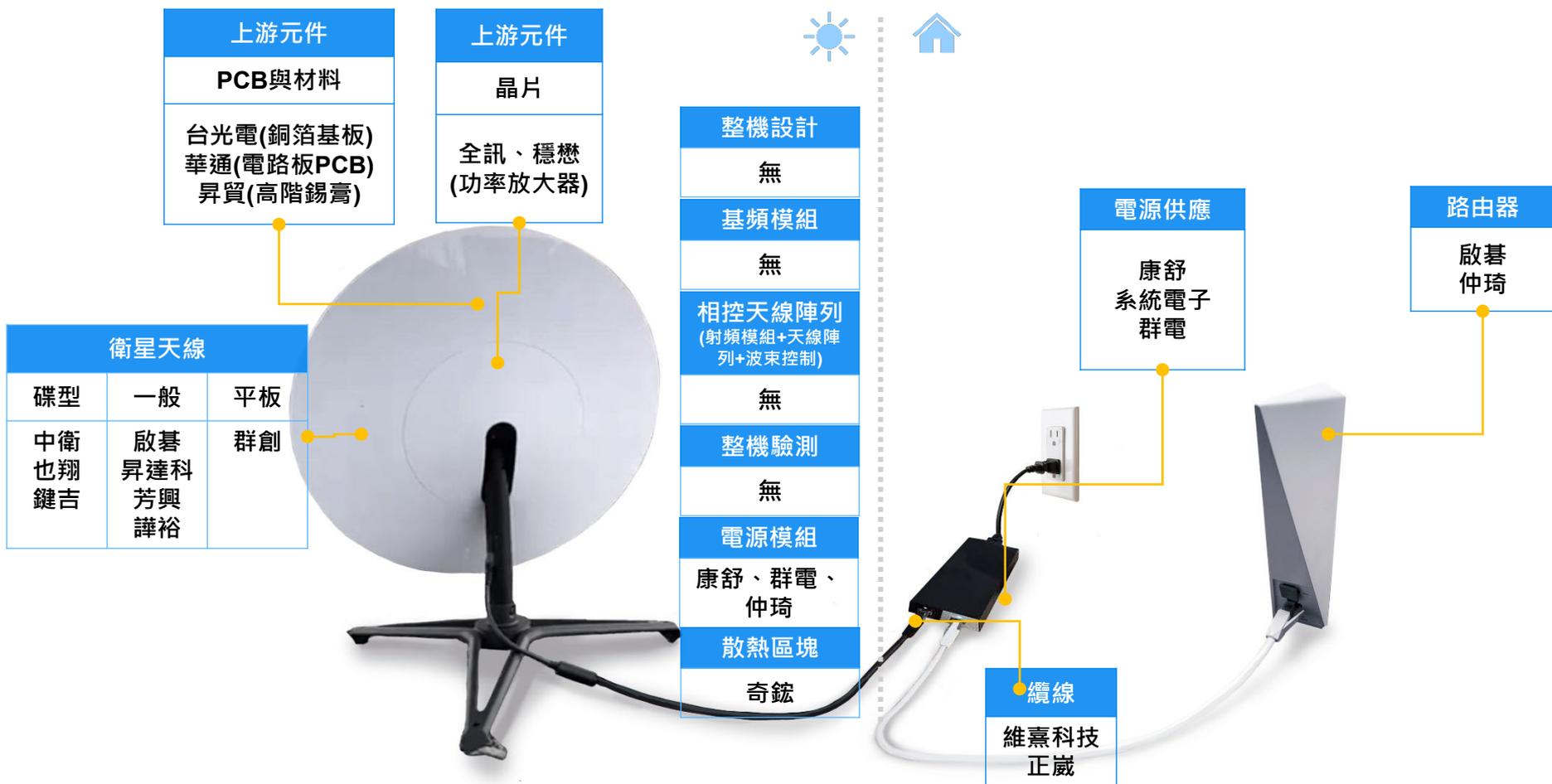
取得上太空
門票



搶訂單

搶國際大廠
訂單

台灣廠商地面設備供應鏈現況與技術缺口



- 台灣廠商雖已長期耕耘衛星地面設備產業，但多以衛星電視、衛星導航相關供應鏈為主。
- 傳統衛星天線、上游元件、電源供應、路由器等廠商已有能量，但**缺乏基頻模組、波束成形相控天線陣列與整機之解決方案**，仍仰賴國外衛星營運商。



我國低軌衛星頻段規劃

- 我國頻率分配下，Ka、Ku頻段FSS主要業務之一，MSS在Ku為次要業務，Ka頻段上部分劃分為主要業務
 - 低軌衛星相關技術開發、測試，需要申請實驗頻率使用
- (單位：GHz)

國際低軌衛星業者主要使用頻段	我國頻率分配現況	實驗頻譜現況	我國頻率使用現況
10.7-12.7	10.7-11.7 FSS為主要業務之一		10.7-11.7 固定通信業務微波鏈路
	11.7-12.2 BSS為主要業務之一		11.45-12.75 衛星廣播電視 (下鏈)
	12.2-12.75 FSS為主要業務之一		
14-14.5	14-14.5 FSS為主要業務之一，MSS為次要業務		14-14.5 衛星固定通信、衛星廣播電視 (上鏈)、移動式地球電台
17.7-20.2	17.7-19.7 FSS為主要業務之一	17.8-19.3 低軌衛星創新實驗頻段	17.3-17.8 衛星廣播電視 (上鏈)
			17.7-19.7 固定/行動通信業務微波鏈路
	19.7-20.1 FSS為主要業務，MSS為次要業務		17.7-19.7 固定通信業務微波鏈路 18.6-18.8 衛星廣播電視 (下鏈)
	20.1-20.2 FSS、MSS為主要業務		
27.5-30	27.5-28.5 FSS為主要業務之一	27.5-27.9 低軌衛星創新實驗頻段	27.5-30 衛星廣播電視 (上鏈)
	28.5-29.5 FSS為主要業務之一		
	29.5-29.9 FSS為主要業務，MSS為次要業務		27.9-29.5 供行動寬頻業務使用，執照期限至129年
	29.9-30 FSS、MSS為主要業務		



Outline

- 全球低軌衛星趨勢
- 台灣衛星產業發展機會
- **台灣低軌衛星計畫簡介**
- 低軌道衛星系統驗測簡介
- 結論

Beyond 5G低軌衛星計畫整體目標



- 建立**台灣第一顆國產自主發展之通訊衛星**以及相關衛星產業技術能量，提升太空通訊科技發展，驗證**國產自主發展技術**的通訊酬載、地面通訊設備
- 建立**國內第一個低軌衛星通訊實證場域**，提供國內廠商地面站通訊相關產品實證的經驗與環境，累積相關能量為**切入國際供應鏈做準備**
- 2025發射第一顆實驗衛星
- 2026 發射第二顆實驗衛星

Taiwan LEO Application Scenarios

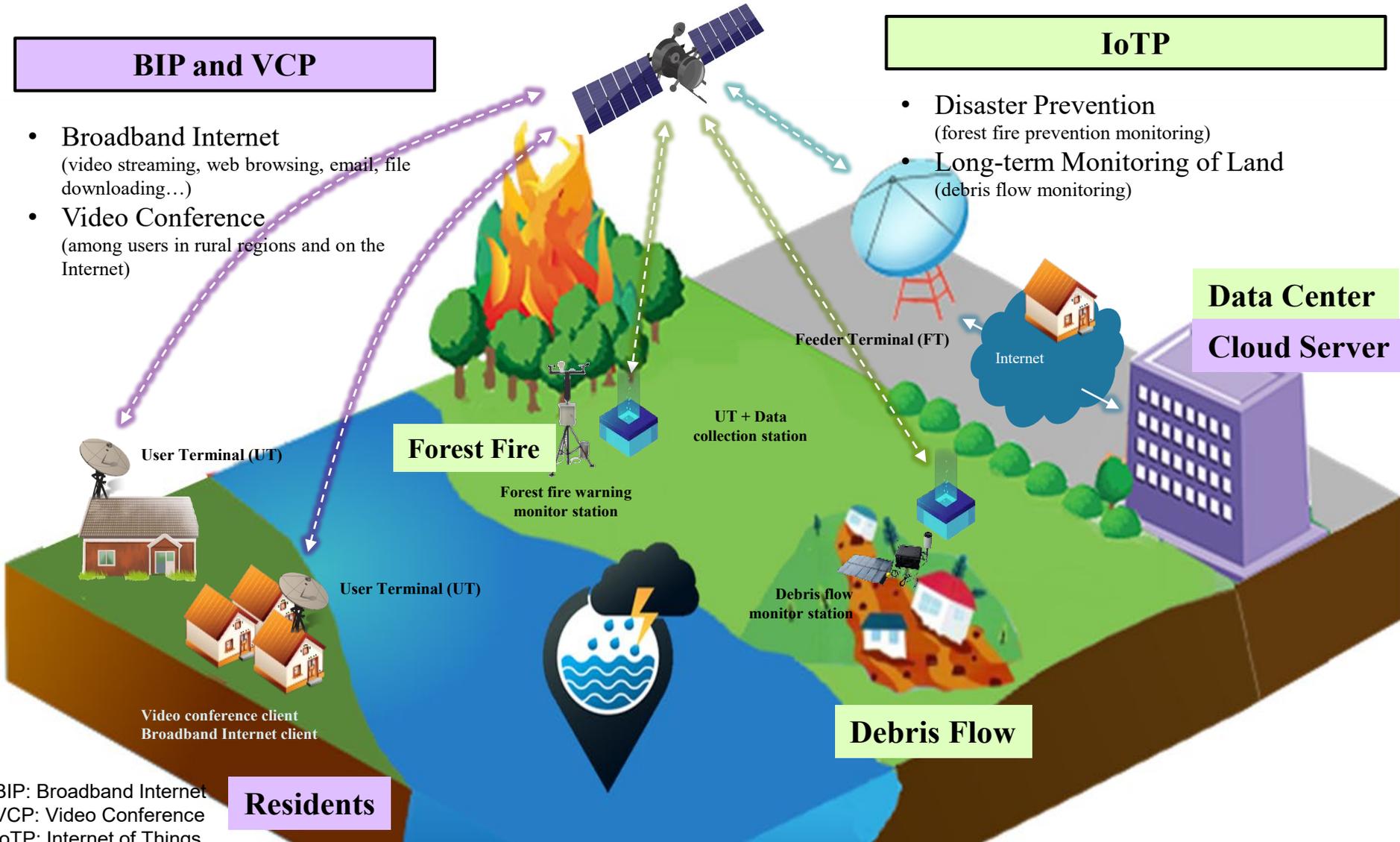
BIP and VCP

- **Broadband Internet**
(video streaming, web browsing, email, file downloading...)
- **Video Conference**
(among users in rural regions and on the Internet)

IoTP

- **Disaster Prevention**
(forest fire prevention monitoring)
- **Long-term Monitoring of Land**
(debris flow monitoring)

Data Center
Cloud Server

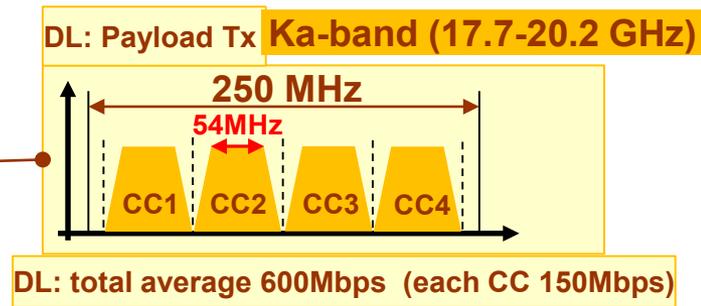
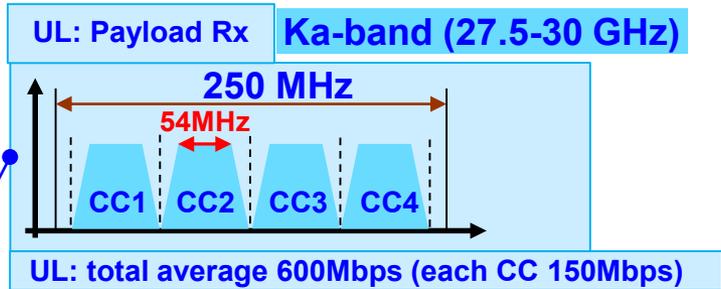


Residents

BIP: Broadband Internet
VCP: Video Conference
IoTP: Internet of Things

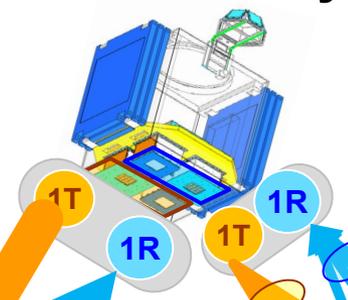
通訊酬載與地面設備通訊鏈路圖

LEO Satellite Payload

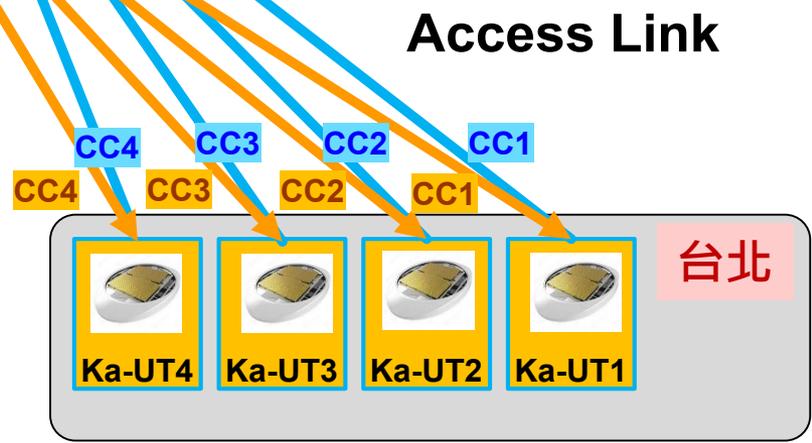


Feeder Link

- ✓ Beam separated in space
→ same band as access link used;
- ✓ Symmetric feeder and access traffic
→ same data rate as access link planned



Larger Antenna (Dish) + Larger Modem

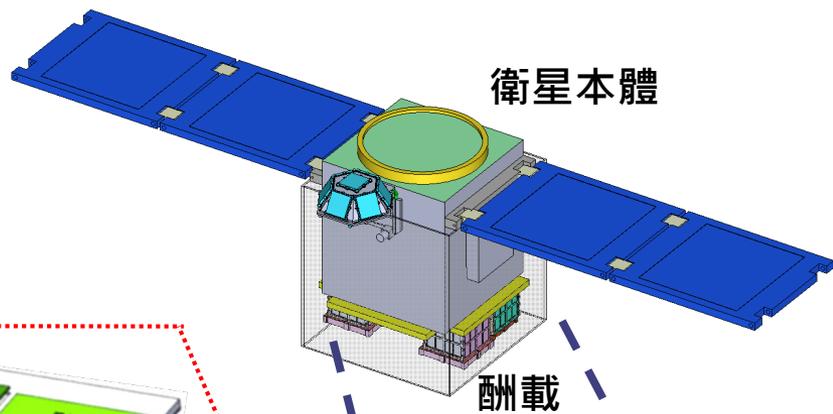


Ka-UT: Ka User Terminal
Ka-FT: Ka Feeder Terminal
SNOS: satellite network operating system
CC: Component Carrier

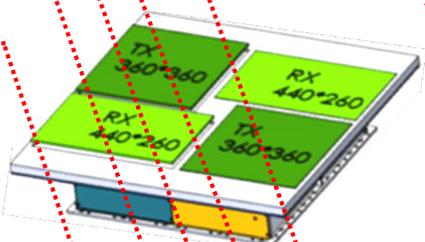
Access Link

衛星通訊酬載與技術項關聯圖

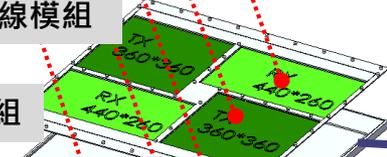
1.1.1 通訊酬載基頻與通訊協定技術
1.1.2 酬載天線與射頻模組開發
1.1.3 通訊酬載資源配置與監測管理技術
1.2.1 太空環境酬載電源系統與COTS強化
1.2.2 太空環境熱管理方案
1.3.1 酬載備援次系統技術與整合
1.3.2 酬載與地面系統整合與驗測
3.1 太空環境機構組件開發
3.2 高通量熱管模組與散熱系統開發



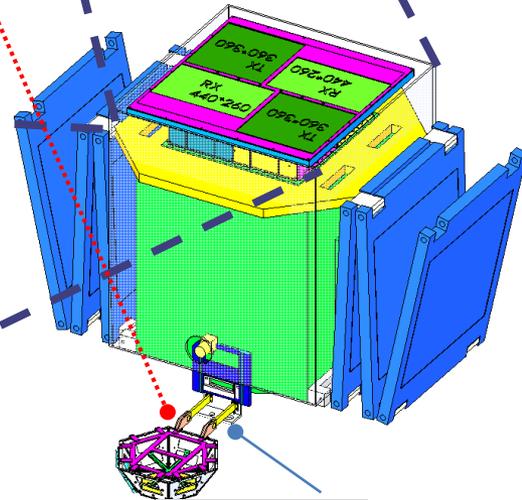
酬載 (底面朝上)



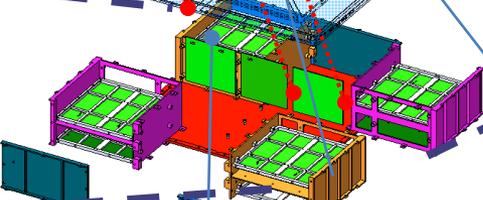
TX 天線模組



RX 天線模組



GEO Relay
天線模組



Antenna PCB
、PA板搭載

PCB板、散熱元件
搭載

Achievements Completed

完成制定整體通訊系統規格提升至國際水準：
傳輸、重量、電力、可靠性

Data Rate

The communication system levels to the international standard

- ◆ 提升系統規格至 **Ave. rate 600Mbps** 和 **Peak rate 800Mbps**

Weight

設計高度整合、輕量、可擴充之太空環境機構組件

- ◆ Developed the **5-in-1 module** (array antenna payload + 2TX / 2RX payload computer unit), and the module could be expanded
- ◆ Lightweight integrated payload structure. **Payload weight reduct to 28.6%**

Power

滿足多電源啟動順序的保護功能

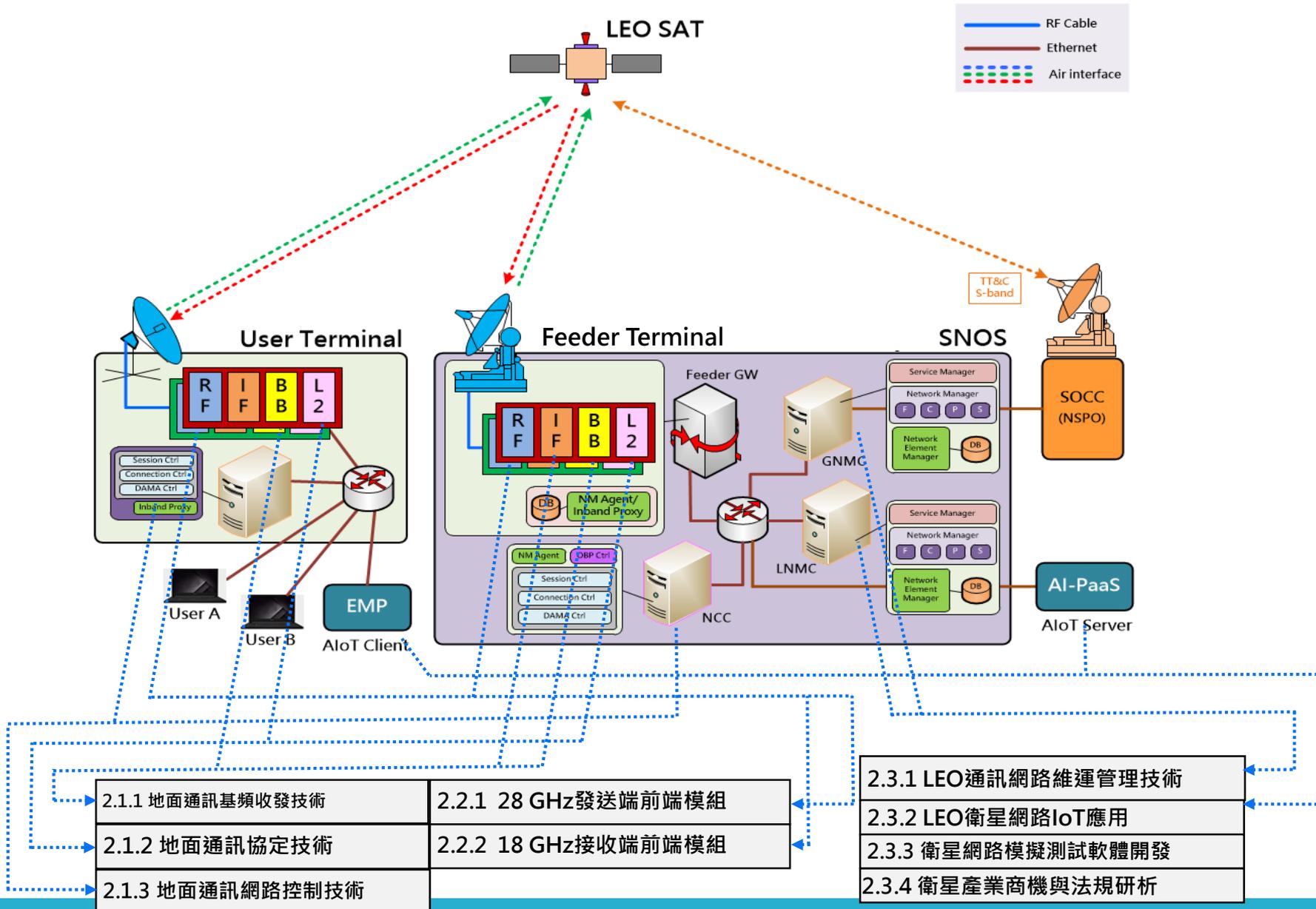
- ◆ Power supply startup sequence including PCB Power Consumption, Power Budget, Power On Sequence, Parts Stress and Radiation analysis to **fulfill multiple voltage sources situation.**

Reliability

設計可靠性環測和驗測

- ◆ Environment and Parts Testing including : **TID, SEE, EMI, EMC Test progress.**

地面設備開發與技術項關聯圖



2.1.1 地面通訊基頻收發技術
2.1.2 地面通訊協定技術
2.1.3 地面通訊網路控制技術

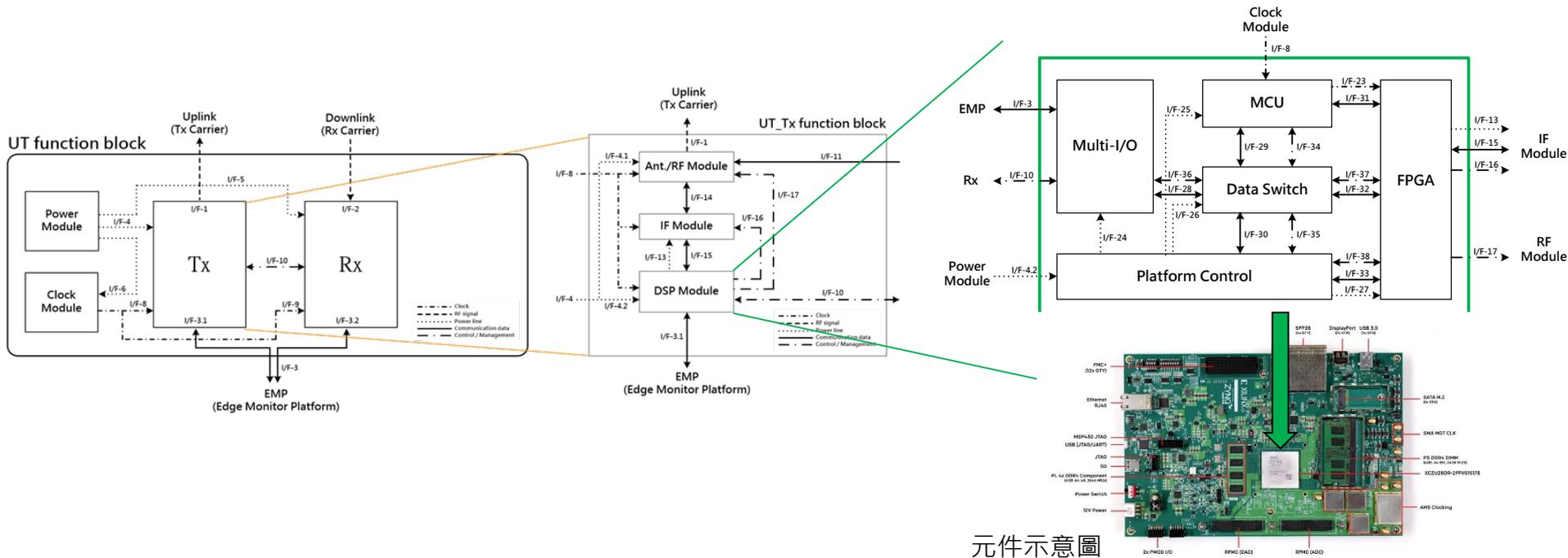
2.2.1 28 GHz發送端前端模組
2.2.2 18 GHz接收端前端模組

2.3.1 LEO通訊網路維運管理技術
2.3.2 LEO衛星網路IoT應用
2.3.3 衛星網路模擬測試軟體開發
2.3.4 衛星產業商機與法規研析

低軌道通訊硬體(HW)技術開發

■ 重點工作項目

- **開發** 酬載與UT通訊軟體定義無線電平台，**整合** 基頻下行鏈路DSP功能區塊，依通訊協定處理封包資料
- **整合** 射頻RF天線陣列控制與中頻IF區塊控制電路，支援通訊演算法所需硬體加速算力。
- **整合** 嵌入式系統介面周邊，制定開放式介面定義支援各種陣列天線連接。

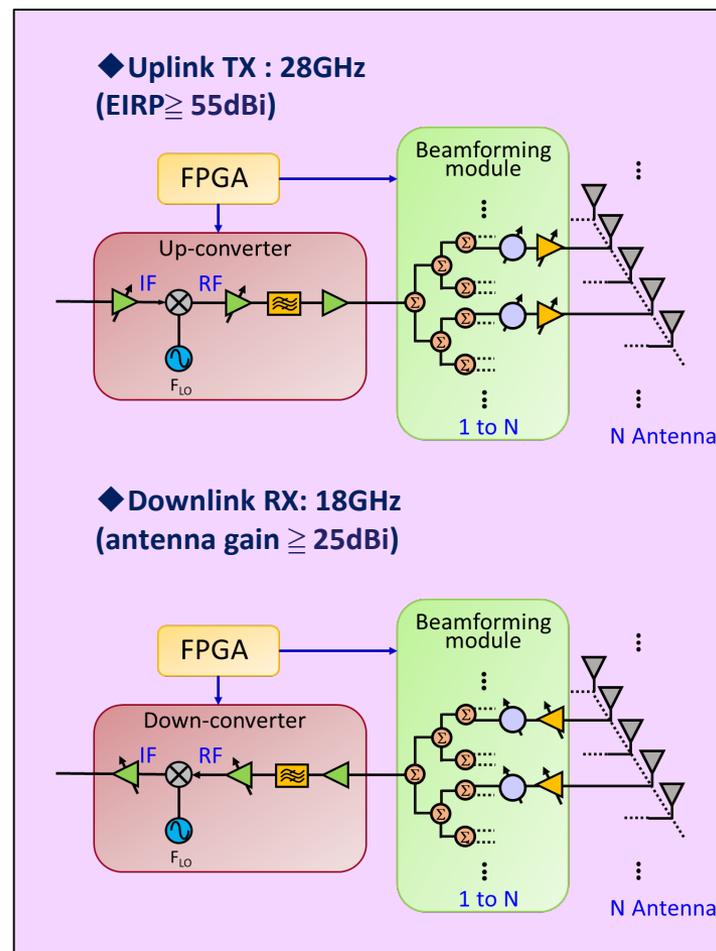


元件示意圖

低軌道通訊天線技術開發 地面天線與射頻模組開發

■ 重點工作項目

- 開發28GHz發射端EIRP \geq 53dBi之天線陣列次模組。
- 開發18GHz接收端天線增益 \geq 22dBi之天線陣列次模組。
- 開發28GHz發射端EIRP \geq 73.5dBi之天線陣列系統。
- 開發18GHz接收端天線增益 \geq 32dBi之天線陣列系統。



產品示意圖

低軌道通訊基頻與通訊協定技術

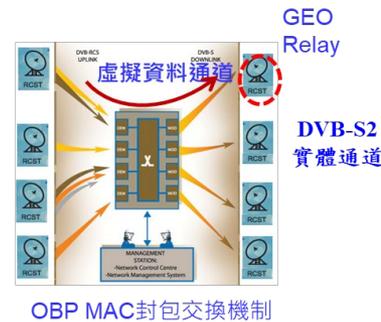
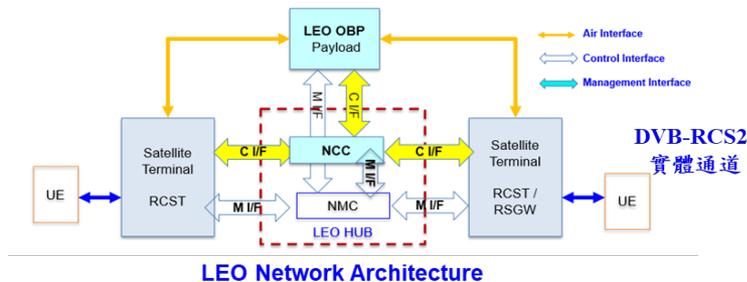
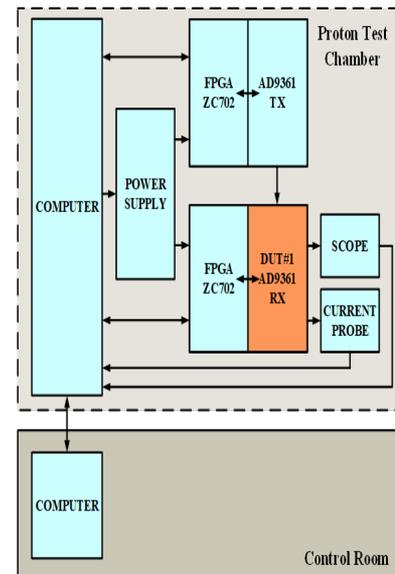
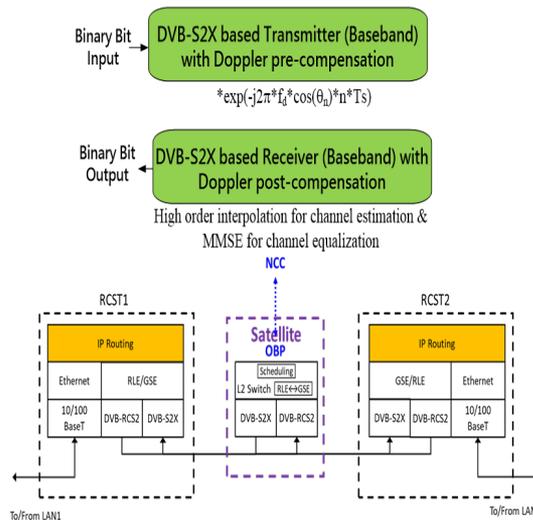
■ 重點工作項目

➤ 基頻與通訊協定技術

- 都卜勒效應補償技術
 - 在傳送端與接收端補償都卜勒效應
- 通訊協定L2資料轉接技術
 - 依照地面站指示進行資料轉換
- 中頻與類比數位模組雛型開發與驗證

➤ 通訊資源配置與網路管理技術

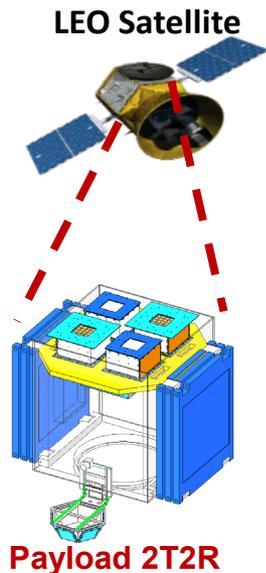
- 通訊資源配置技術
- 通訊監測管理技術



OBP MAC封包交換機制

LEO Communication Payload (CPL) benchmark

- PL 2T2R: In payload, 1T1R for feeder link and 1T1R for access link



✓ Both 1T1R in Ka-band (Feeder link and Access link) has the same PL specification as follows,

(1) Per TX specification [1]

Higher TX EIRP reduces ground terminal's requirement, ex: antenna aperture size. It also benefits MSS services, i.e. no EPFD limit.

Parameter	Telesat	OneWeb	SpaceX	ITRI	
Frequency	18.5	13.5	13.5	18.5	GHz
Bandwidth	0.25	0.25	0.25	0.25*	GHz
EIRP	36	34.6	36.7	47.5 (0°) 44.5 (52.5°)	dBW
Data Rate	558.7	599.4	674.3	ave.: 600 peak: 800	Mbps

(2) Per RX specification [1]

Parameter	Telesat	OneWeb	SpaceX	ITRI	
Frequency	28.5	28.5	28.5	28.5	GHz
Bandwidth	2.1	0.25	0.5	0.25*	GHz
Rx antenna gain	31.8	37.8	40.9	39 (0°), 36 (52.5°)	dBi
Data Rate	NA	NA	NA	ave.: 600 peak: 800	Mbps

[1] Inigo del Portillo, Bruce G. Cameron, Edward F. Crawley" Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband," Acta Astronautica, Volume 159, June 2019, Pages 123-135

*includes channelization and guard band (total effective bandwidth is 216MHz)



Outline

- 全球低軌衛星趨勢
- 台灣衛星產業發展機會
- 台灣低軌衛星計畫簡介
- 低軌道衛星系統驗測簡介
- 結論



通訊酬載設計、整合、測試要點

太空環境

1958年1月31日，美國第一顆人造衛星探險者一號升空，當升至 800 公里高空時，衛星上所載蓋革計數器讀數突然下降至 0。到 1958 年 3 月 26 日探險者三號升空時，又發生了同樣的情況。范艾倫認為，這是因為存在極大量的輻射導致計數器達到飽和而失靈造成的。因此，同年7月26日發射探險者四號時，他在計數器前端加入一小片薄鉛以阻擋部分輻射。果然，新的衛星證實了他的猜測。

20世紀初，挪威數學及天文物理學家斯托默就從理論上證明，地球周圍存在一個帶電粒子捕獲區。它是由地球磁場俘獲太陽風中的帶電粒子所形成的。一般來說，內輻射帶裡高能質子多，外輻射帶裡高能電子多。

輻射帶對保護地球有著很好的作用，它能俘獲從太陽和其他天體向地球射來的高能粒子，使它們不能到達地面，從而避免了高能粒子對人類和其他生物的致命威脅。

另一方面，由於輻射帶里的高能粒子會對人類身體造成巨大傷害。因此，它又是人類進行星際轉移的巨大障礙。

輻射帶對人造衛星影響較大，因此在人造衛星設計過程中需要對其敏感元件進行保護性設計，特別是運行軌道需穿越相關高度的觀測類衛星。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/范艾倫輻射帶>

通訊酬載設計、整合、測試要點

范艾倫輻射帶 (Van Allen radiation belt)

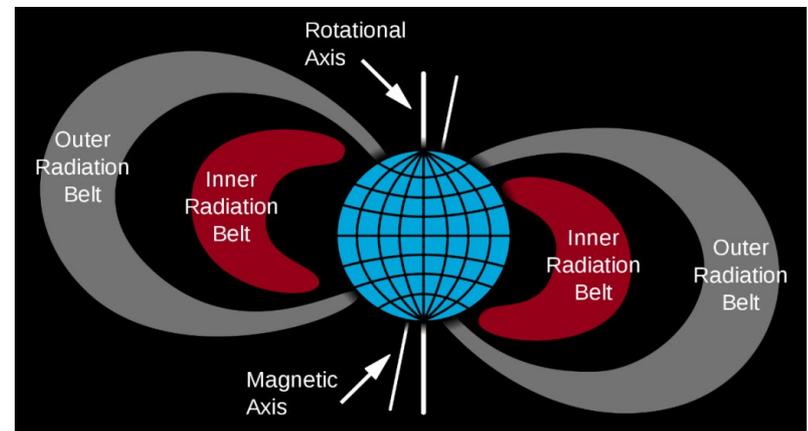
范艾倫輻射帶是在地球附近的近層宇宙空間中包圍著地球的大量帶電粒子聚集而成的輪胎狀輻射層，由美國物理學家詹姆斯·范·艾倫發現並以他的名字命名。范艾倫帶粒子的主要來源是被地球磁場俘獲的太陽風粒子，這些帶電粒子在范艾倫帶兩轉折點間來回運動。當太陽發生磁暴時，地球磁層受擾動變形，而侷限在范艾倫帶的高能帶電粒子大量洩出，並隨磁力線於地球的極區進入大氣層，激發空氣分子產生美麗的極光。范艾倫輻射帶一般情況下分為內外兩層，海拔高度處在約500至58000公里之間，內外層之間存在范艾倫帶縫，縫中輻射很少，偶爾會因為太陽風暴等突發情況臨時被破壞分離導致多層產生。

內圈

范艾倫輻射帶內圈通常分布於 0.2~2 倍地球半徑高度（即海平面上約2000~5000公里高度），在某些特定情況下，如太陽活動強烈或南大西洋異常區內，其高度邊界可能會被壓縮至海平面上方 200 公里。

外圈

范艾倫輻射帶外圈主要由地球磁層捕獲的高能（0.1-10MeV）電子組成。它比內帶更易變，因為更容易受太陽活動的影響。形狀幾乎是環形的，起始於三個高度，並延伸到地球表面以上 60000~100000 公里



<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8C%83%E8%89%BE%E4%BC%A6%E8%BE%90%E5%B0%84%E5%B8%A6>

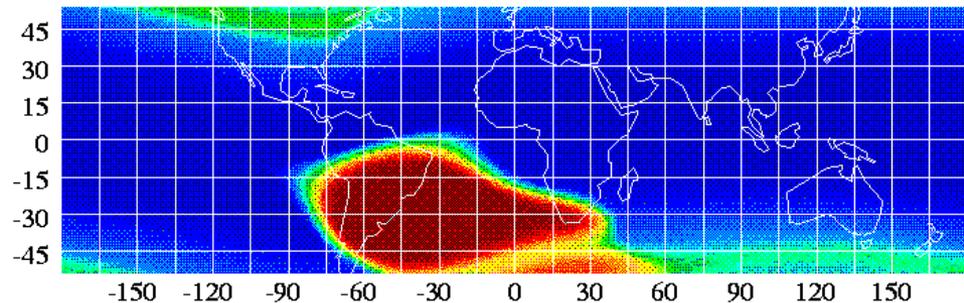
通訊酬載設計、整合、測試要點

南大西洋異常區(South Atlantic Anomaly, SAA)

南大西洋異常區(South Atlantic Anomaly)是地球上一片地磁最弱的區域，覆蓋範圍遍及南美洲南部及南大西洋海域。由於該區的地磁較其他地區弱，阻擋太陽粒子的范艾倫輻射帶在該區域上空形成一凹陷部份，容讓粒子可以到達更接近地球的位置，導致穿越該區域上空的人造衛星受粒子影響而出現運作異常。

太陽粒子可以嚴重影響人造衛星及太空站的運作。低軌度的人造衛星受范艾倫輻射帶保護而免受太陽粒子的威脅。但由於異常區的輻射帶較接近地球表面，因此人造衛星穿越南大西洋上空時，有可能直接受到太陽粒子撞擊而出現運作異常。

過去，哈伯太空望遠鏡(軌道高度590公里)亦曾在穿越該區域上空時出現運作異常。現時每當哈伯望遠鏡穿越該區時都會停止運作。曾在該區域上空執行任務的太空人報稱在視野範圍內見到流星。國際太空站則需要添加保護層而免受影響。



<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8D%97%E5%A4%A7%E8%A5%BF%E6%B4%8B%E7%95%B0%E5%B8%B8%E5%8D%80>

通訊酬載設計、整合、測試要點

高能粒子對電子產品的影響

太空輻射對半導體的影響可分為兩大類：總電離劑量效應（**Total Ionized Dose, TID**）和單一事件效應（**Single Event Effects, SEE**）[2]。總電離劑量效應是半導體元件長期暴露於電子和質子所產生的累積效應。當電子和質子輻射被電子元件的絕緣介電層捕捉而於其中產生過量電荷時，會使互補式金氧半導體（**Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS**）元件的操作門檻電壓逐漸改變而造成元件特性的退化。經過足夠時間之後，元件便可能完全失效。

單一事件效應是單個離子穿過敏感的電路區域而導致電路操作失常的一種電子干擾。單一事件效應可能是非破壞性的，也可能具有破壞性，最常見的是：單一事件擾動（**Single Event Upset, SEU**）和單一事件閃鎖（**Single Event Latchup, SEL**）。單一事件擾動指的是由於輻射衝擊導致記憶體或暫存器的儲存內容狀態受到改變。單一事件擾動現象很常見，通常不具破壞性。至於單一事件閃鎖則是當一單一高能粒子打到半導體元件時，粒子能量因拉塞福散射（**Rutherford Scattering**）效應[5]而被傳到半導體晶格，進而將晶格內的電子激發至導帶。此生成的電子-電洞對會產生低阻抗的傳輸寄生路徑，導致元件功能異常。這種現象常引發後續的破壞性，對**CMOS**元件影響很大。**CMOS**元件內部有交叉耦合的正回授寄生雙極性接面型電晶體（**Bipolar Junction Transistor, BJT**）元件對，此寄生電路在正常情況下不會啟動，可是一旦有一單一帶電粒子入射而產生瞬態電流，就可能觸發此正回授機制而使元件的電源與接地間產生大電流並進而造成不可修復的傷害。

<https://ictjournal.itri.org.tw/content/Messagess/contents.aspx?&MmmID=654304432061644411&CatID=654313611231473607&MSID=1127367024747235543>

通訊酬載設計、整合、測試要點

因應對策簡介

最簡單的方法是屏蔽。屏蔽會增加衛星酬載的重量，一般是最後考慮的手段。除了用**屏蔽**降低游離輻射的能量之外，採用先進製程減低介電層的補獲能力，或者使用寬能隙半導體都能增加半導體元件的輻射耐受度。

除此之外，也可以利用電路邏輯操作來增加半導體電路在衛星任務中的可靠度。例如，面對**SEU**問題，可採用**錯誤檢測並配合模組重啟來處理**。再者，由於**SEU**本身的機率本質，於是可設計具多數決投票機制（**voting mechanism**）的邏輯電路，例如**三重模組冗餘（Triple Modulo Redundancy, TMR）**，來提升輻射環境下邏輯運算的可信度，而其代價是需使用較多邏輯閘數。

對於**SEL** 問題，**則可以設計過電流檢測電路配合電源重啟來解決**。當然，備援機制是衛星任務須考慮使用的，因為當上述手法一時都無法將問題排除時，使用備品便是必須的。

<https://ictjournal.itri.org.tw/content/Messagess/contents.aspx?&MmmID=654304432061644411&CatID=654313611231473607&MSID=1127367024747235543>



Outline

- 全球低軌衛星趨勢
- 台灣衛星產業發展機會
- 台灣低軌衛星計畫簡介
- 低軌道衛星系統驗測簡介
- **結論**

結論

- ITRI

- 擔任著台灣LEO通訊系統設計與規劃腳色
- 協助台灣產業技術合作、升級及驗測
 - 包含著LEO 通訊酬載與地面接收設備
- 推動低軌通訊衛星產業，期待能有相對應之各機構與產業供應鏈，未來能夠一起來合作