

國立成功大學

交通管理科學系碩士在職專班

碩士論文

我國低軌道固定衛星服務相關監理機制之研究

—以 SpaceX 星鏈計畫(Starlink)為例

A Study on Taiwan's Low Earth Orbit FSS Regulations

—The Case of SpaceX's Starlink

研究生：周傳凱

指導教授：陳文字 博士

中華民國一一一年十二月

國立成功大學

碩士在職專班論文

我國低軌道固定衛星服務相關監理機制之研究 -  
以SpaceX星鏈計畫(Starlink)為例

A Study on Taiwan' s Low Earth Orbit FSS Regulations - The Case  
of SpaceX' s Starlink

研究生：周傳凱

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

林 洞 君

盧筱涵

陳 文 宇

指導教授：陳 文 宇

單位主管：鄧 永 祥

(單位主管是否簽章授權由各院、系(所、學位學程)自訂)

中華民國 111 年 12 月 26 日

## 摘要

隨著全球衛星通信技術迅速發展，低軌道衛星能提供負擔得起的衛星寬頻服務。低軌衛星技術易於部署到地面基礎設施受限的農村和偏遠地區，解決數位落差問題，滿足各種地理環境下的工業物聯網連線需求，因而備受全球關注。

全球低軌衛星業者之中，SpaceX 憑藉產業領先的發射能力，在衛星部署領域上處於領先地位。SpaceX 的星鏈計劃(Starlink)已成功地在美國提供初始測試服務，並計劃進入台灣市場提供固定衛星通訊服務。然而，Starlink 衛星地球電臺上鏈頻率與國內行動業務頻段相同，可能造成有害干擾；另隨著衛星服務範圍的擴大，衛星終端用戶可能任意地安裝設置衛星地球電臺，而對既有業務或飛航安全產生干擾風險。由於低軌衛星服務牽涉到不同層面的監理議題，未來 Starlink 衛星服務的推出，國內現行衛星監理架構可能將面臨巨大的挑戰。

因此，本研究以文獻分析法，針對國外低軌道衛星服務發展及相關監理議題進行蒐集和分析，並採個案研究與比較分析法，研究聚焦在衛星頻譜申請與外資管制、衛星業務授權與執照管理、衛星地球電臺設置使用、衛星干擾協調管理以及衛星電臺設備器材認證等議題。上述主題均與先進國家的低軌衛星監理有關，經與國內現行制度對比分析研究，我們能夠瞭解各國衛星監理實務措施，進而為台灣未來引進低軌道固定衛星服務提出具體建議。

綜此，本研究希冀透過論文的研究結果及建議，能拋磚引玉作為我國未來低軌道衛星服務發展之政策參考。

**關鍵字：**低軌道衛星、固定衛星服務、頻譜管理、干擾協調、衛星器材認證

# **Extended Abstract**

## **A Study on Taiwan's Low Earth Orbit FSS Regulations – The Case of SpaceX's Starlink**

Student : Chuan-Kai Chou

Adviser : Wen-Tzu Chen

Department of Transportation and Communication Management Science,  
National Cheng Kung University

### **SUMMARY**

With the rapid development of global satellite technology, low-earth orbit (LEO) satellites can provide affordable satellite broadband services. This LEO technology has attracted global attention due to easily deploying to rural and remote areas with limited ground infrastructure, solving the problem of digital gap, and accomplishing the needs of industrial IoT connections in various geographical environments.

One of LEO companies, SpaceX takes the lead in satellite deployment with its industry-leading launch capabilities. SpaceX's Starlink project has successively provided initial test services in the US and plans to enter Taiwan market to provide fixed satellite services. However, the uplink frequency of the Starlink satellite earth station is the same with the domestic mobile service and may cause harmful interference. In addition, with the expansion of the scope of satellite services, user terminals may be installed and set up as satellite earth stations arbitrarily which may cause interference risks to incumbent services or aviation safety. Since LEO satellite services involve different supervision issues, the launch of Starlink satellite services in the future will face a big challenge in Taiwan's current satellite regulatory framework.

Therefore, this study uses the document analysis method to collect and analyze the development of LEO satellite services as well as related regulatory issues in foreign countries. With case study and comparative research method, this thesis focuses on the spectrum application and foreign investment control, service authorization and license management, earth station installation, interference coordination, and equipment certification. All of the above topics are related to the supervision of LEO satellites in developed countries. As compared with domestic current systems, we can understand the practical measures of satellite supervision in various countries and then, put forward specific suggestions for Taiwan to introduce LEO fixed satellite services in the future. To sum up, this study hopes the research results and suggestions can be used as a policy reference for the introduction of LEO satellite services in Taiwan in the future.

**Keywords: low earth orbit satellite, fixed satellite service, spectrum management, interference coordination, satellite equipment certification.**

## **INTRODUCTION**

With the rapid development of global satellite technology, international satellite operators are actively deploying LEO satellite systems to fill the gap of mobile coverage on remote islands and in rural areas. This LEO system can allow aircraft and ship crew passengers to maintain reliable broadband services and meet the requirements of the Industrial Internet of Things (IIoT) connection requirements.

The Starlink satellite system and the satellite earth station use the Ku/Ka frequency band for two-way wireless transmission. When the LEO satellite service lands in Taiwan, its satellite uplink may overlap with the frequency band of the incumbent services, causing interference risk. In addition, if the LEO satellite systems of different satellite operators appear in the same sky area, the In-line interference may occur due to the use of the same frequency band. Furthermore, due to the expansion of satellite coverage, the small, light, and portable user terminal satellite earth station can be used at any fixed location within the range of satellite cells as well as to transmit and receive satellite signals. Once user satellite devices are improperly installed nearby a specific area (e.g., around the airport, mmWave BS), they may cause the risk of interference. Therefore, the introduction of LEO satellite services to Taiwan in the future will challenge the current domestic satellite supervision regulations.

SpaceX, the fastest-growing LEO satellite company, has landed the LEO service in many developed countries. Therefore, this study takes the Starlink project as an example to conduct in-depth discussions. On the above key issues related to satellite service supervision in the US, UK, and Japan, we analyze and compare satellite supervision trends and regulatory measures in various countries, providing reference for Taiwan to introduce satellite service supervision in the future.

## **MATERIALS AND METHODS**

This study uses document analysis, case study and comparative research methods to focus on the relevant issues related to LEO fixed-satellite services, such as spectrum application and foreign investment control, services authorization and license management, satellite earth station installation and use management, satellite interference coordination and satellite equipment certification. All other related supervision issues will be discussed as shown in Figure 1 below.

Firstly, this study uses the document analysis method to collect academic journal literature such as satellite link frequency interference analysis and mitigation technology related to the research topic and conducts research on the LEO satellite policies and regulations of ITU, EU, UK,

US, and Japan. This study collects, organizes, and deeply understand the regulations of various countries on the supervision of LEO satellites services. At the same time, this study collects research and inventory of the current domestic laws and regulations related to satellite communication services and prepares for the systematization of the regulatory framework for the introduction of LEO satellite services in the future. Secondly, each country has different needs for the development of satellite supervision systems. It is necessary to understand the status of international organizations, the communication industry of each country, other key industries in other fields, defining each country as a case, conducting data preparation to collect and analyze to find out the relevance of each index. The key points for reference and the concepts or principles that can be considered by our country are studied and analyzed. Finally, this study uses the method of comparative research to compare and analyze the supervision regulations on different issues of LEO fixed satellite services in various countries and the current domestic system. Finally, we summarize and put forward specific suggestions and countermeasures as a reference for the introduction of LEO fixed satellite service regulations in Taiwan in the future.

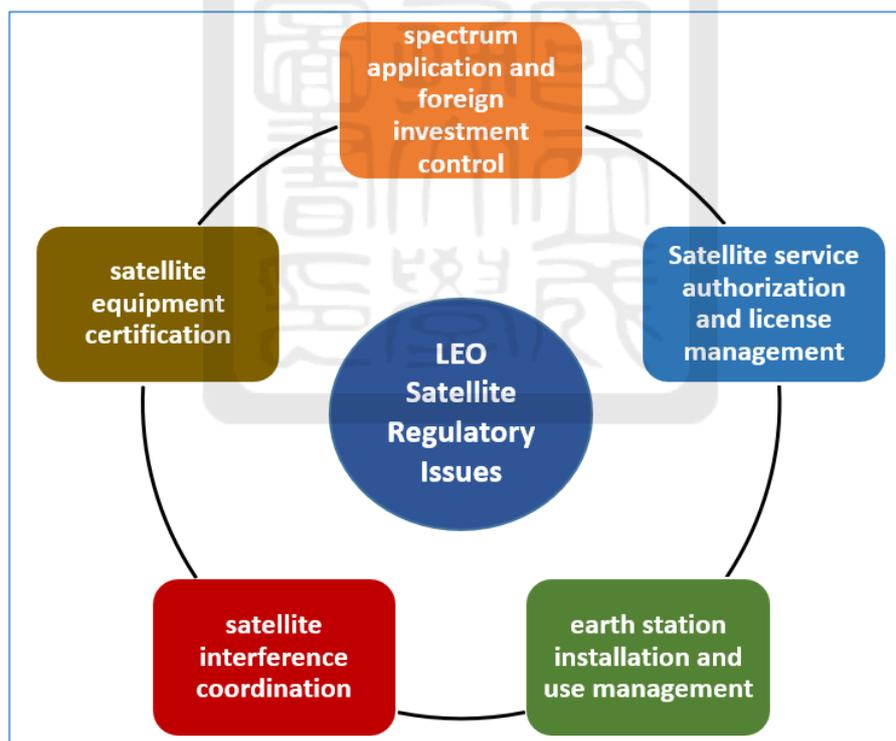


Fig.1- Regulatory Issues Related to LEO Satellite Services.

## RESULTS AND DISCUSSION

Through this study, we discuss international LEO satellite services and related supervision issues and analyze advanced countries' development of LEO satellite supervision policies and measures with the current domestic supervision system, and deeply analyze the trends and actual

supervision practices of satellite supervision in various countries. The results and recommendations of this study are as follows:

First, regarding spectrum application and foreign investment control, the US, Japan, and Taiwan have different proportion restrictions on foreign investment. While the FCC has discretion over foreign investment and can approve the upper limit of foreign investment based on whether it conforms to the "public interest principle" to drive market investment. However, the UK has not restricted the market access of foreign capital, and mainly hopes to promote investment through the introduction of new technologies and concepts by foreign capital. In addition, as the national security risks of telecommunications networks increase, all above countries have strengthened the control and review of foreign investment in telecommunications network services involving national security to ensure the security of key infrastructure such as national public communication systems and telecommunications networks.

Secondly, satellite service authorization and license management ensure that satellite frequencies can be used effectively and economically. All mentioned countries issue satellite station licenses and grant satellite operators the right to use the spectrum. For example, the US allows domestic satellite operators to adopt a simplified comprehensive license to authorize satellite systems and satellite stations together to speed up the provision of satellite broadband services to the public. However, for foreign satellite operators to enter the U.S. market, market access licenses should be granted to foreign operators based on comprehensive considerations such as public interest, competitive impact, spectrum availability, diplomacy, trade, and national security. The UK's review of NGSO license applications focuses on interference management, competition maintenance and encouragement of cooperation and coexistence among the operators to establish a clear authorization system in public comments through an open and transparent process.

All countries require GW and user terminal stations to get the functions for preventing interference and being monitored by NCMC. Contact points or satellite station monitoring centers must be set up within the country. User terminal operation location information must be recorded. Regulators need to set up "coordinated protection areas" in specific sensitive areas and must coordinate with the parties concerned in advance. The UK stipulates different transmission power limits according to different protection area attributes and geographic distances. When the quality of satellite transmission services declines, some required measures should intervene and make corrections. In addition, the EU requires satellite stations to comply with high-intensity radiation field (HIRF) standards to protect aircraft safety systems.

Furthermore, for the coordinated management of satellite interference, all countries have formulated relevant management measures to mitigate the risk of interference. For example, the US

FCC established an interference temperature metric to quantify and manage interference and make the operators willing to negotiate to achieve the purpose of spectrum sharing and interference control. The UK's Ofcom encourages operators to manage interference risks through cooperation and coordination. Japan's MIC conducts co-adjacent frequency technical analysis for LEO satellites and co-primary services and delineates forbidden areas or station separation distances, etc.

Finally, to ensure the effective use of spectrum resources, prevent and avoid the risk of interference, all countries have established a complete equipment testing and certification system for LEO satellite equipment. All satellite earth stations must comply with international standards and domestic management rules (e.g., US FCC Part 25 rules, EU ETSI EN harmonization standards, Japanese MIC wireless equipment rules) and then, can be sold or used in the market.

To sum up, this study puts forward the following research suggestions for Taiwan's introducing LEO satellite service-related supervision measures:

1. Cross-departmental committee for the assessment of foreign participation in the Taiwan telecommunications service sector is required for ensuring the safety of domestic telecom satellite services.
2. GW satellite earth stations should be set up domestically to protect the rights and interests of users, ensuring national information and communication security.
3. Reference and adopt the US satellite services interference coordination management mechanism to achieve harmonious sharing of spectrum resources.
4. Evaluate and plan interference coordination protection areas to avoid the risk of domestic important infrastructure facilities to interfere by satellite earth stations.
5. Incorporate the HIRF standard into the domestic satellite earth station regulations with reference to the EU's practice to ensure aviation safety.

## CONCLUSION

In view of the introduction of LEO fixed satellite services to Taiwan in the future, the current supervision of satellite communication services may face many new challenges and insufficient regulations. This study discusses foreign LEO fixed satellite service operations and related supervision issues through extensive data collection. This study also compares and analyzes the supervision and management measures of LEO satellite services in advanced countries with domestic current systems. Then we deeply analyze the trends and measures of satellite supervision in various countries. Finally, the research conclusions and relevant policy recommendations are summarized to the domestic competent authorities for reference in future governance.

## 誌謝

時光飛逝、歲月如梭，轉眼間在成大交管所求學生涯已近尾聲，回首三年研究所生活、學業、工作與家庭相隨的每一天，雖辛苦但充實值得。我要感謝系上所有師長毫不保留傾囊相授，無論是 文字老師的無線通訊原理、東峻老師的服務行銷、勁甫老師的研究方法、大瀛老師的交管實務、國平老師的風險管理、瀨之老師的國際財經、俊雄老師的電信經濟、威勳老師的智慧運輸系統、佐敏老師的無人機管理，讓自己在交管所學習期間，如入知識寶庫滿載而歸。

本篇論文的完成，我要特別感謝指導教授 陳文字老師的悉心指導。陳老師學養深厚十分重視理論與實務的教學，在老師門下學習期間，老師不吝分享過去各種電波干擾實務處理的寶貴經驗，課堂上更帶來許多前瞻專業的科技觀念讓人腦門大開；除專業領域外，老師更不吝分享為人處世經驗，字字珠璣深富人生哲理，給人鼓勵、給人力量，我衷心感謝恩師 陳文字教授。同時，我也要感謝論文口試委員 林珮琚老師與 盧筱涵老師百忙中撥冗細心審閱學生論文並給予寶貴建議，讓整個論文研究的內容更加嚴謹與完善，在此由衷感謝。

此外，我也要特別感謝我的媽媽，總是幫我禱告給我最大的支持與鼓勵，謝謝我大哥及兩位姐姐、Glen、老婆及二位千金，無論在學習期間或生活上總是給我最大的協助與支持，讓我無後顧之憂，也要謝謝天上爸爸的保佑，以及感謝一路走來給予加油打氣的朱副總、Roxanne Yu、Sandy Wu、Megan Ko、嫻婷同學、同窗好友及學長姐和瑜珈班的運動夥伴們。最後，謹以無限感恩的心將此論文獻給所有關心我的人，與你們一同分享完成雙碩士學業的喜悅。

周傳凱 謹誌

國立成功大學交管所

中華民國 111 年 12 月

# 目錄

摘要.....	I
Extended Abstract.....	II
誌謝.....	VII
目錄.....	VIII
表目錄.....	X
圖目錄.....	XI
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 研究目的.....	5
1.4 研究流程.....	6
第二章 文獻回顧 .....	7
2.1 衛星通訊類型與系統架構.....	7
2.2 國際衛星產業市場及低軌衛星發展現況 .....	10
2.2.1 國際衛星產業市場 .....	10
2.2.2 低軌衛星發展現況 .....	11
2.3 Starlink 衛星(地面)設備技術特性說明 .....	13
2.3.1 Starlink 運作頻段 .....	14
2.3.2 終端設備所需最小仰角.....	14
2.3.3 地理圍籬(geofencing).....	15
2.3.4 發射功率與波束控制 .....	16
2.4 文獻探討.....	17
2.5 小結.....	23
第三章 研究方法.....	26
3.1 文獻分析法.....	26
3.2 個案研究法.....	28
3.3 比較研究法.....	29
第四章 研究結果與建議.....	30
4.1 研究結果.....	30

4.1.1	低軌衛星頻譜申請與外資管制.....	30
4.1.2	低軌衛星業務授權與執照核發規定 .....	35
4.1.3	低軌衛星電臺設置使用管理 .....	42
4.1.4	低軌衛星干擾協調管理.....	51
4.1.5	低軌衛星電臺設備器材認證管理 .....	61
4.2	研究建議.....	67
4.2.1	參酌先進國家外資審查管理機制、確保國家電信衛星服務安全.....	67
4.2.2	要求 GW 衛星電臺落地境內，以維護用戶權益及國家資通安全.....	67
4.2.3	參採美國衛星系統干擾協調機制、實現頻譜資源和諧共用 .....	68
4.2.4	評估規劃干擾協調保護區，避免國內重要基建設施受干擾風險.....	69
4.2.5	參考歐盟規定將 HIRF 標準納入管理規範，以確保飛航安全.....	70
第五章	結論.....	71
5.1	研究結論.....	71
5.2	研究限制與後續研究建議.....	73
參考文獻	.....	74



## 表目錄

表 1、國際低軌衛星通信系統比較表.....	13
表 2、Starlink 衛星通信鏈路及使用頻率.....	14
表 3、地球電臺於最小仰角 25 度時之各項參數.....	15
表 4、SpaceX 所提出終端設備之射頻技術規格.....	17
表 5、與論文相關之期刊文獻整理.....	23
表 6、各國電信(衛星)事業相關外資管制規定.....	34
表 7、各國低軌衛星業務授權與執照核發規定.....	41
表 8、各國低軌衛星電臺設置使用規定.....	50
表 9、各國低軌衛星干擾協調管理規定.....	60
表 10、各國低軌衛星設備器材檢測認證管理規定.....	66



## 圖目錄

圖 1、ITU 全球網際網路用戶數量統計 .....	1
圖 2、開放衛星頻率與國內行動通信重疊部分與干擾示意 .....	2
圖 3、衛星 GW 及用戶終端設備共線(in-line)干擾 .....	3
圖 4、Starlink 衛星服務涵蓋示意圖 .....	3
圖 5、研究流程 .....	6
圖 6、衛星軌道的種類 .....	8
圖 7、衛星通信系統的基本結構 .....	9
圖 8、2020 年全球衛星產業供應產值比重 .....	11
圖 9、Starlink 衛星通信網路架構 .....	13
圖 10、操作於 Ku 頻段之衛星波束轉向角(Steering Angle)傳輸示意圖 .....	15
圖 11、Starlink 地理鎖定概念 .....	16
圖 12、GSO FSS 固定地球電臺和 5G 地面網路的干擾場景 .....	18
圖 13、L-ESIM 和 5G RAN 之間干擾場景 .....	19
圖 14、研究方法與研究步驟 .....	26
圖 15、低軌衛星服務相關監理議題 .....	29
圖 16、各國電信(衛星)事業相關外資管制規定 .....	33
圖 17、英國 NGSO FSS 衛星地球電臺執照申請核發流程 .....	37
圖 18、日本無線設備電臺執照申請流程 .....	38
圖 19、國內低軌衛星網路設置流程 .....	39
圖 20、各國低軌衛星業務授權與執照核發規定 .....	40
圖 21、各國低軌衛星電臺設置使用管理 .....	48
圖 22、各國低軌衛星干擾協調管理 .....	52
圖 23、各國低軌衛星設備器材檢測認證管理 .....	65

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

隨著通訊技術不斷進步，帶動全球上網用戶的高速成長；根據國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU) 於 2021 年出版《衡量數位發展趨勢：事實和數據》的最新數據顯示[1]，全球網際網路普及速度加快；至 2021 年約有 49 億人連線上網，佔全球人口的 63%，較 2019 年全球網際網路用戶數量 41 億人激增了 7.82 億，增長近 17%。ITU 歷年全球網際網路用戶數量統計，如圖 1 所示。

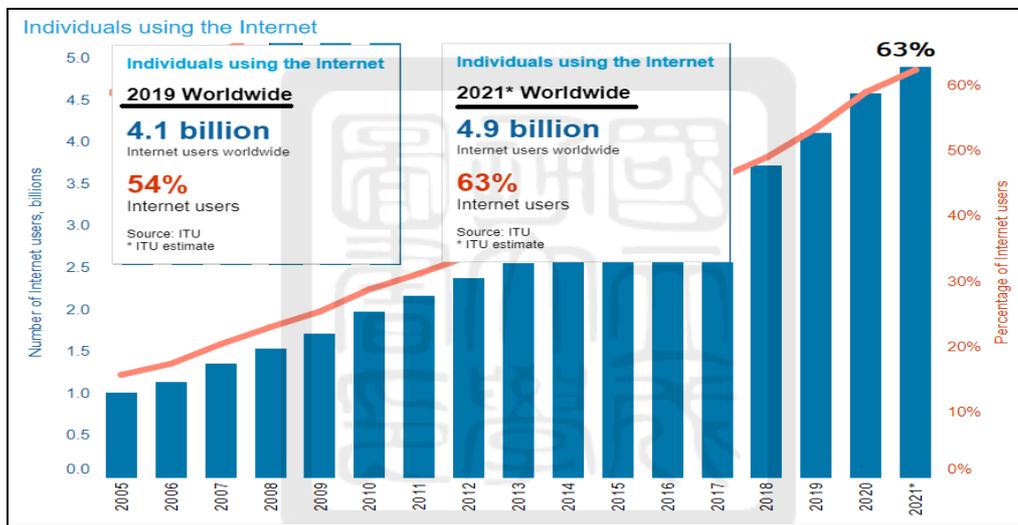


圖 1、ITU 全球網際網路用戶數量統計

資料來源: ITU-D, Facts and figures 2021；本研究整理

但在行動網路無法涵蓋或地面基礎設施受限的偏鄉離島，仍然存在許多寬頻網路涵蓋的需求，以及各種工業、農業、能源、交通、物流、環境、海空域等遠端監測操作、即時連接、追蹤回報等不同產業用途的物聯網連線需求。由於在農村偏遠地區提供寬頻涵蓋與服務用戶基礎設施成本相對較高有關[2]。與城市相較在人口密度較低地區的用戶預期收入通常較低，因此業者投資電信基礎設施(無論是布建固定光纖或擴展行動網路)的動機有限[3]，使

得農村偏遠地區仍難以獲得基本的寬頻連線服務。

為此，近年來國際多家衛星業者積極布建低軌衛星通信網路（Low Earth Orbit, LEO），透過低軌衛星通訊傳輸時間短、低延遲、廣域涵蓋之特性，填補過去偏鄉離島缺乏的行動寬頻覆蓋，縮小經濟弱勢地區的數位落差，讓每個人都能上網並能保持可靠的寬頻連線。同時低軌衛星服務還能補充 GSO 通信服務，除可讓飛機船舶的機組乘客享有寬頻服務外，對於農業、採礦和航運產業等工業物聯網 (IIoT) 的連線需求，更是至關重要[4]。

## 1.2 研究動機

目前國際間有四家低軌衛星業者的衛星部署計劃備受全球關注，包括：美國 SpaceX 的 Starlink、英國 OneWeb、加拿大 Telesat 的 Lightspeed 和美國亞馬遜的 Project Kuiper 計劃。其中，SpaceX 因具有領先產業發射能力及可重複使用火箭的優勢，能以較低成本發射衛星，因此 SpaceX 在衛星部署方面最為領先。由於 Starlink 衛星系統與地面衛星設備之間，使用 Ku 頻段(12 GHz ~ 18 GHz)/Ka 頻段(27GHz ~ 40GHz)進行雙向無線傳輸，一旦 Starlink 衛星服務落地後，其衛星上行鏈路可能會與國內其他無線通信業務頻段重疊，形成干擾的風險，如圖 2 所示。

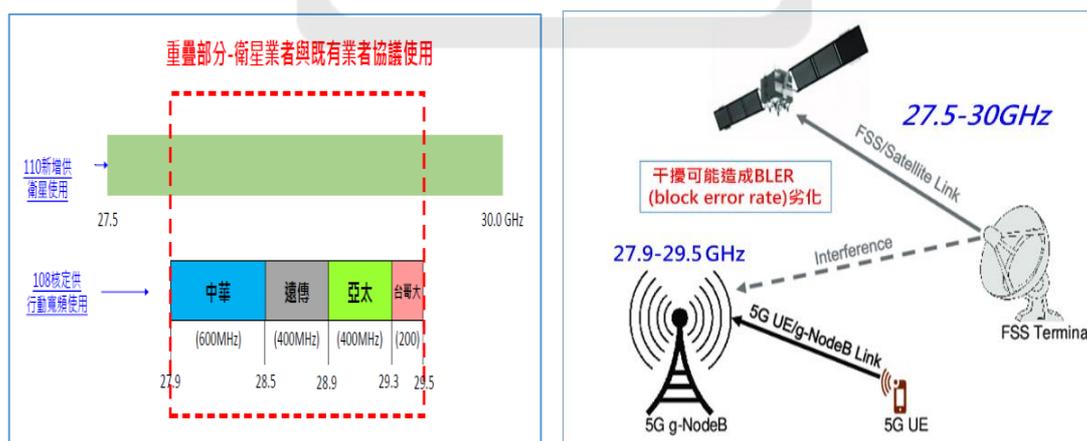


圖 2、開放衛星頻率與國內行動通信重疊部分與干擾示意

資料來源: NCC；本研究整理

而不同業者低軌衛星系統若出現在同一天空區域時，相鄰共線(in-line)的衛星地球電臺(Earth Stations, ES) 因使用相同的頻段，在上行鏈路亦可能會發生相互干擾的情形，如圖 3 所示。

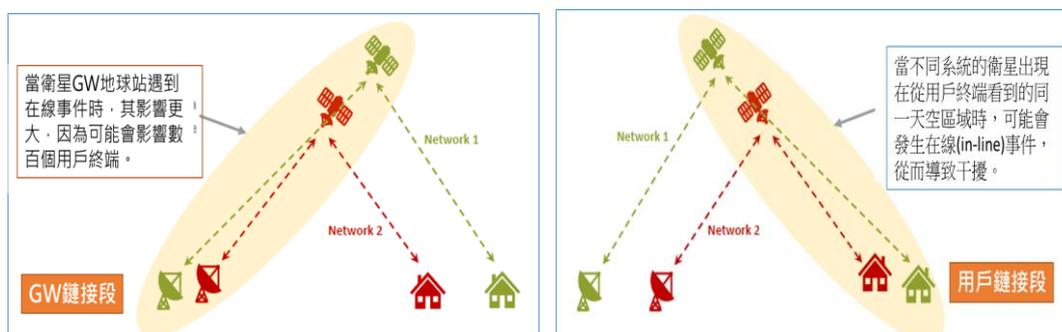


圖 3、衛星 GW 及用戶終端設備共線(in-line)干擾

資料來源: Ofcom；本研究整理

此外，因 Starlink 使用高度在 300 至 1200 公里的衛星軌道，搭配先進相位陣列波束成形天線(phased-array beamforming)和數位處理技術[5]，構建出類似行動通信網路的細胞結構。若以 Starlink 公開的設備規格換算，在 550 公里高度運行的低軌衛星，其衛星天線視軸指向(boresight)正下方之半功率波束寬度(half power beamwidth) 3.5 度的天線波束，可形成面積約 908 平方公里的細胞服務範圍，如圖 4 所示。對照台北市面積約 271.8 平方公里；換言之，整個台北市皆在該天線細胞的服務範圍內。

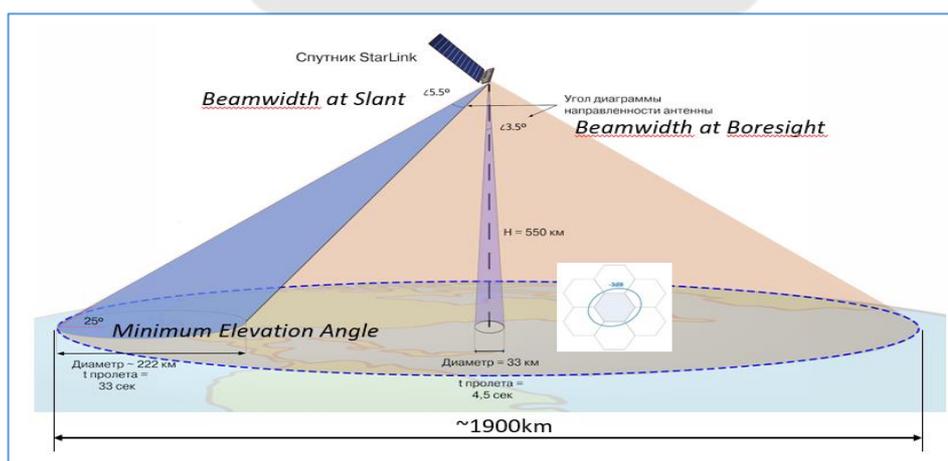


圖 4、Starlink 衛星服務涵蓋示意圖

資料來源: Tech-en.netlify.app [6]；本研究整理

由於低軌衛星用戶終端設備的天線體積小、重量輕、具有可攜帶性；在技術與實務上，衛星終端用戶可在衛星細胞範圍內的任何地點(非固定地點)、任意安裝設置使用衛星地球電臺，收發接收低軌道固定衛星服務(FSS)。因此，未來落地的 Starlink 低軌衛星服務，勢必對國內現行監理規定的「固定地球電臺：須架設於地球表面固定地點，始可進行通信之地球電臺」[7]的要求形成挑戰；

同時，隨著衛星細胞服務範圍的擴大，終端用戶架設使用的衛星地球電臺實際地點監理機關可能亦不為所知，一旦用戶衛星設備架設不當，抑或臨近特定區域(如:機場周邊、毫米波行動基站)時，可能造成電波或飛航干擾的風險；因此，主管機關實有必要與時俱進檢討現行地球電臺使用管理方式，以避免干擾合法用戶及影響飛航安全。



### 1.3 研究目的

SpaceX 推出的星鏈計劃 (Starlink) 已在美國和國際上提供初始測試服務，國內也預計在 2023 年開始提供低軌衛星通訊服務[8]。鑑於 Starlink 地面衛星設備上行鏈路會與國內其他無線通信業務頻段重疊形成干擾的風險；以及隨著衛星細胞服務範圍擴大，衛星終端用戶可在衛星細胞範圍內的任何地點(非固定地點)、任意安裝設置使用衛星地球電臺，可能對於國內既有業務或飛航產生干擾風險，對於國內現行衛星通信監理形成重大挑戰。

因此，本研究藉由廣泛蒐研國際間低軌衛星監理政策發展，歸納低軌定衛星服務可能面臨的監理挑戰及國外相應措施，並盤點國內既有衛星通信業務相關法律規範，為我國未來引進低軌道固定衛星服務之管制架構預作體系化整理，以確保低軌衛星與地面行動通訊的和諧共存並保障用戶權益。本研究將根據上述研究背景與動機，達成以下研究目的：

1. 蒐集研析國際間低軌道固定衛星服務、衛星電臺管理與相關衛星通信政策發展情形。
2. 探討星鏈(Starlink)低軌道固定衛星服務核可後，衛星地球電臺(GW)上行鏈路對國內行動通信業務可能形成干擾，以及衛星用戶終端設備之上行鏈路對國內既有業務干擾情形進行研析並探討管理意涵。
3. 盤點國內引進低軌道固定衛星服務後，相關衛星通信法規及監理措施檢討。
4. 研提適合國內低軌道固定衛星服務之地球電臺管理政策建議。

## 1.4 研究流程

本研究主要探討低軌衛星服務落地後，其衛星地球電臺設備在上行鏈路中，可能對國內地面行動通訊及航空機載電子系統運作產生干擾的風險，而現行國內衛星通信服務監理措施可能面臨的法規不足情形，故本研究將透過文獻分析國際組織及各國主管單位對於低軌衛星地球電臺執照核發及管理措施，並與我國現行管理制度進行比較分析，歸納調和適用國內低軌道固定衛星服務的做法，配合技術與市場需要，提出適合國內低軌道衛星地球電臺管理措施的具體建議。

因此，本研究首先將以文獻分析法，廣泛蒐集分析探討國內外低軌道固定衛星服務運作發展情形與相關監理議題，並針對美英日等先進國家發展低軌衛星監理法規、資格申請與執照管理、衛星電臺設置使用管理、衛星電臺設備器材管理及衛星干擾協調管理等監理面向進行比較分析，深度解析各國對於衛星監理之趨勢與實際監理作法，最後歸納彙整分析提出研究結論及相關政策建議，供主管機關未來施政參考。本研究流程，如圖 5 所示。

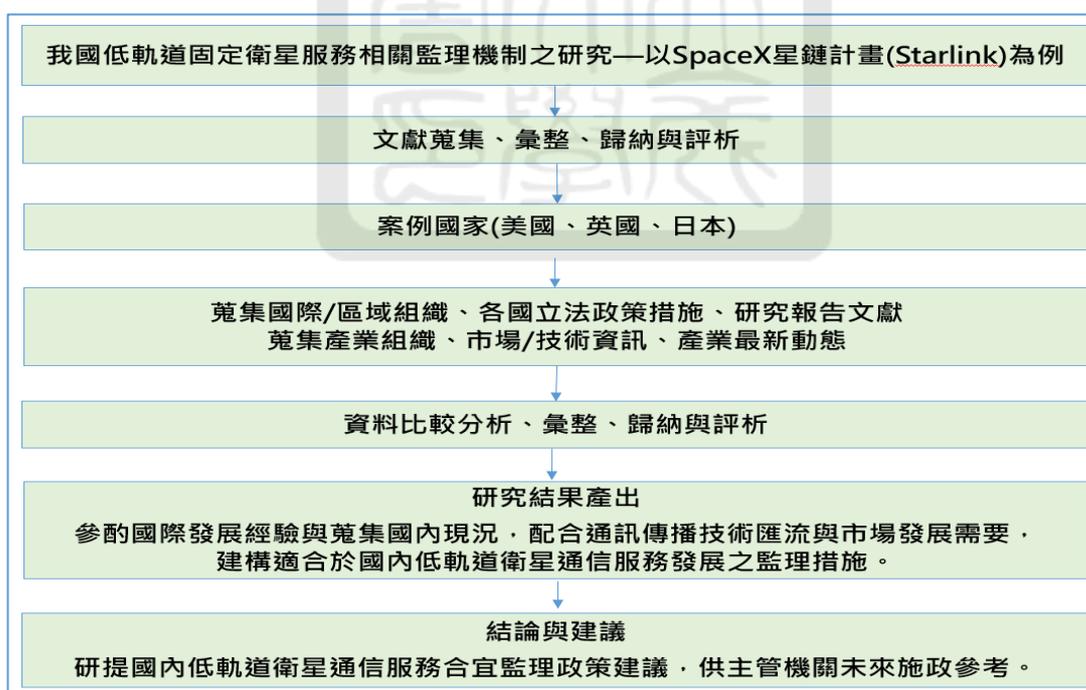


圖 5、研究流程

資料來源：本研究整理

## 第二章 文獻回顧

美國 SpaceX 於 2019 年將首批 60 顆原型星鏈(Starlink)衛星送入在 430 公里高度的地球軌道後，正式揭開低軌衛星寬頻服務的嶄新序幕[9]。由於 SpaceX 的星鏈計劃 (Starlink) 已在美國和國際上陸續提供初始測試服務，並預計在 2023 年將星鏈計劃引進國內提供低軌衛星通訊服務。故本研究聚焦星鏈服務導入國內後，衛星設備上行鏈路可能對國內既有合法用戶造成干擾的情形，以及衛星細胞服務範圍擴大後可能產生的干擾風險進行探討。本研究將藉由蒐研瞭解國際間對於低軌衛星設備使用規管的作為及相關干擾防制管理機制，並歸納彙整各國相關規管要求作為論文研究參考。

本章內容主要分成五大部份，首先簡介衛星通訊系統架構；接著回顧與展望低軌衛星產業發展動態；並詳細說明 Starlink 衛星設備相關技術特性；以及針對衛星與地面電臺的干擾評估、頻率共存、協商機制及規管措施等相關文獻進行評析；最後統整文獻並做出歸納。

### 2.1 衛星通訊類型與系統架構

衛星通信類型可區分為:同步衛星(GeoStationary Orbit, GSO)與非同步衛星(Non-GeoStationary Orbit, NGSO)。其中，同步衛星又稱為地球同步軌道衛星(GEostationary Orbit, GEO)；而非同步衛星可依其運行軌道的高低分為中軌道衛星(Medium Earth Orbit, MEO)及低軌道衛星(Low Earth Orbit, LEO)；其中，衛星高度將決定其信號可以涵蓋地球的區域範圍，而衛星軌道則決定衛星是否在地球自轉時保持在同一區域上。由於衛星軌道和無線電頻譜皆為稀缺的天然資源，故各國須遵循國際電信聯合會(ITU)《無線電規則》規定，以合理、有效和經濟地方式使用。衛星軌道的類型，如圖 6 所示。

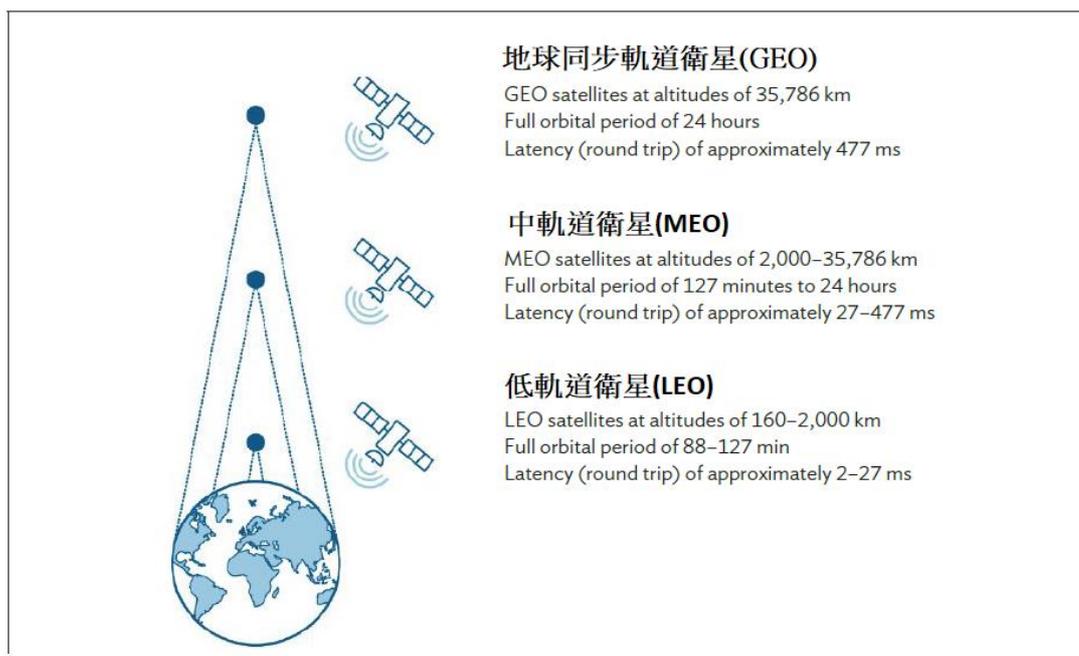


圖 6、衛星軌道的種類

資料來源: ADB [10], 2021-04.

衛星通信系統基本結構是由太空段、地面段及用戶段所組成[11]。其中，太空段包括衛星星座；地面段包括 GW 地球電臺以及用於控制、維運和回傳的大型地面設施；用戶段的用戶終端則裝設在固定和行動平臺上（例如飛機和船舶）上。衛星的控制是由遙測、追蹤和控制 (Telemetry, Tracking and Control, TT&C) 執行，TT&C 的主要任務是監控衛星子系統的狀態、運行測試和更新配置，使衛星保持在各自的軌道上。衛星通信系統的基本結構，如圖 7 所示。

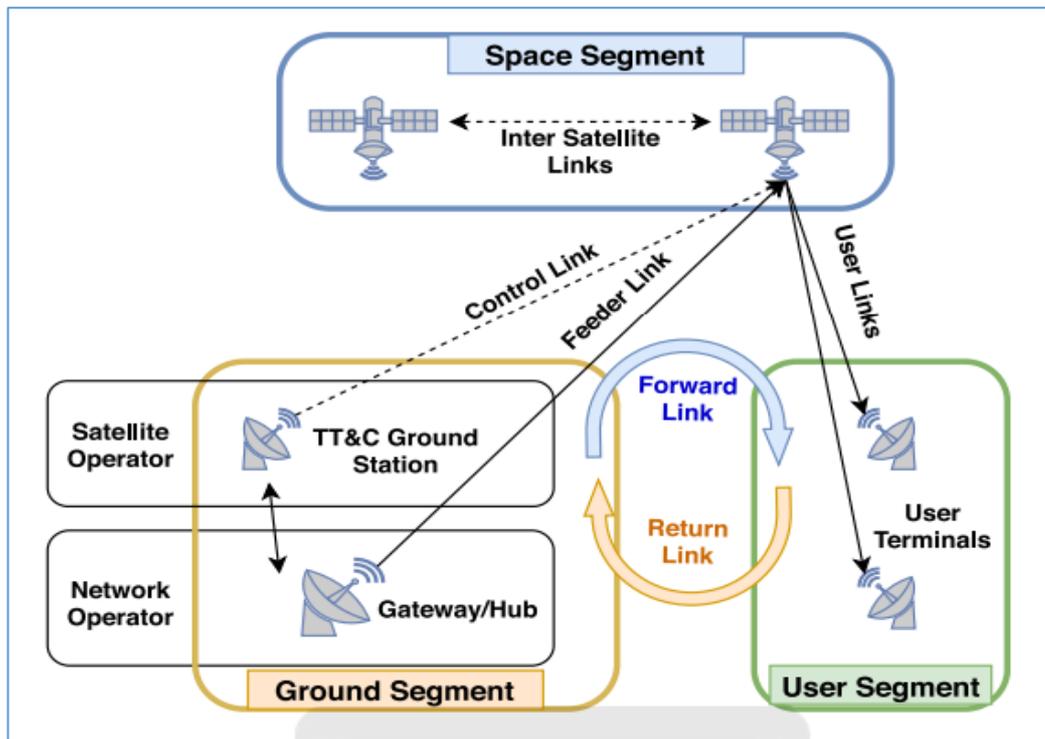


圖 7、衛星通信系統的基本結構

資料來源: IEEE, Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges, 2021.

衛星通信系統的區段間，需透過不同鏈路進行接取[12]，包括：

- **用戶服務鏈路:** 提供用戶設備進入太空段的無線鏈路；使用頻率需由 ITU 國際認可配置中取得。
- **饋線鏈路:** 將太空段連接到衛星地面網路的鏈路。可視為太空段的回傳部分，與最終用戶的任何使用無關。通常是一個無線電鏈路，使用頻段必須得到 ITU 的國際認可。未來的連接可使用光學/雷射光鏈接。
- **控制鏈路 (TT&C):** 屬敏感性鏈路(sensitive link)，透過 TT&C 信號對衛星控制；其中，追蹤（空對地）用於獲取衛星位置；遙測（空對地）用於獲取衛星子系統的設備狀況；命令（地對空）用於向衛星發送命令，使其在太空中移動或命令衛星子系統的功能。

- **衛星間鏈路 (ISL)**：是衛星之間的鏈路，並非所有衛星系統都會使用。未來的選項是使用光學雷射鏈路。此外，ISL 需要在衛星之間傳輸數據通常是為了避免複雜的地面網路和對地面天線的投資或避免複雜的法規。目前在 ITU 制度中允許此無線電鏈路，毋須任何國家許可，即可操作這些鏈路。

## 2.2 國際衛星產業市場及低軌衛星發展現況

### 2.2.1 國際衛星產業市場

隨著全球衛星通信技術發展迅速，帶動衛星產業高速發展以及衛星通訊服務的持續增長。在國際上，包含第三代合作夥伴計畫（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）等國際標準組織刻正積極訂定下世代衛星通信技術標準。面對隨衛星數量激增而日益擴大的頻率需求，國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）亦正積極針對衛星通信所需使用之頻譜範疇進行規劃與調適。由於低軌道（LEO）通信衛星具有涵蓋廣、低延遲、大頻寬及地面站建置時間較短等優勢，可補足偏遠地區網路涵蓋，或作為緊急救難時的備援機制。因此，國際大型科技公司爭相投入低軌通訊衛星產業，例如美國 SpaceX 發展星鏈計畫（Starlink）、亞馬遜（Amazon）有 Kuiper 計劃及英國 OneWeb 分別提出低軌道衛星布建計劃，帶動全球衛星業者加入低軌衛星布局。

根據美國衛星產業協會（Satellite Industry Association, SIA）於 2021 年 6 月發布的《2021 年衛星產業情勢報告(SSIR)》指出[13]，2020 年發射的衛星數量創下歷史新高，截至 2020 年底共計 3,371 顆衛星環繞地球運行，比 2019 年增長 37%；同時 2020 年全球衛星產業規模(包括:衛星製造、衛星發射、衛星服務及地面設備)高達 2,710 億美元；其中地面設備(如地面網路設備、消費設備等)產值約為 1,353 億美元，衛星服務(如:衛星通信服務、遠端感測服務等)則為 1,178 億美元，兩者合計占全球衛星產業總體產值的 94%，為衛星產業的主要營收來源，如圖 8 所示。

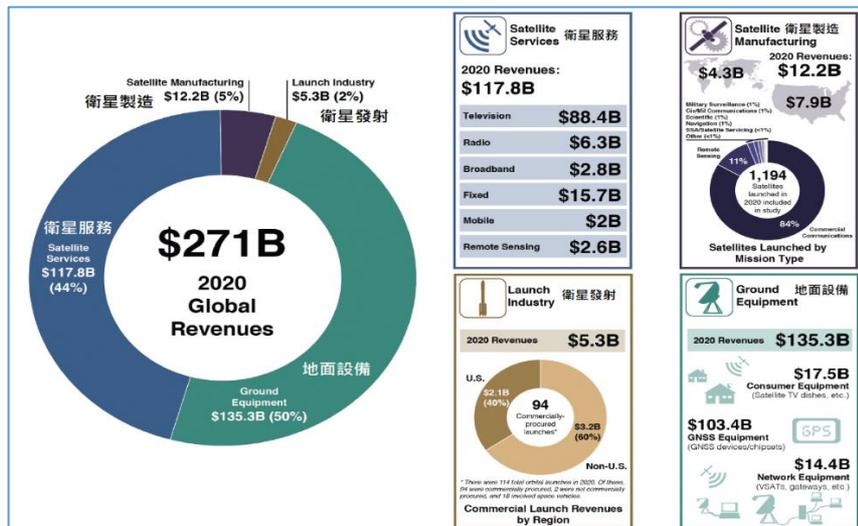


圖 8、2020 年全球衛星產業供應產值比重

資料來源: SIA, State of the Satellite Industry Report, 2021-06.

## 2.2.2 低軌衛星發展現況

目前國際主要有四家業者的新世代低軌衛星部署備受全球關注，分別為美國 SpaceX 的 Starlink、英國 OneWeb、加拿大 Telesat 的 Lightspeed 和美國亞馬遜的 Project Kuiper 計劃等。

### (1) 美國 Starlink 計劃

目前 Starlink 在衛星部署方面最為領先，截至 2021 年 10 月，SpaceX 已在地球上空約 550 公里處佈建 1,664 顆衛星。SpaceX 於 2015 年宣布其星座計劃，初期規劃部署約 1,440 顆衛星，以提供全球低成本的上網連接服務，其速度可與光纜技術相媲美。SpaceX 展開為期十年的專案計劃（設計、建造、部署）估計成本約為 100 億美元[14]。同時 2019 年 10 月 15 日，FCC 並代表 SpaceX 向 ITU 提交文件，對額外的 30,000 顆 Starlink 衛星配置頻譜，以補充 FCC 已核准的 12,000 顆 Starlink 衛星[15]。SpaceX 優勢在於領先產業的發射能力，可重複使用的火箭使他們能以較低成本的方式發射衛星。

## (2) 英國 OneWeb 計劃

英國 OneWeb 的衛星發射數量則排名為次，其在軌衛星數量為 322 顆（截至 2021 年 10 月）。OneWeb 公司成立於 2012 年，各種投資者（包括軟銀）在內籌集超過 30 億美元，但在 2020 年 3 月因籌集資金困難而破產 [16]。後由英國政府於 2020 年 7 月以 5 億美元價格收購 45% 股份，印度的 Bharti Global 也承諾投資，使 OneWeb 免於進行破產程序 [17]。同時 2021 年 1 月 OneWeb 公布 SoftBank 和 Hughes Network Systems 將額外投資 4 億美元，並計劃於 2022 年底發射的 648 顆衛星，以提供全球覆蓋 [18]。

## (3) 加拿大 Lightspeed 計劃

加拿大的 Telesat 成立於 1969 年，擁有數十年的衛星通信經驗。其 LEO 計劃始於 2016 年，當時宣布發射 120 顆衛星。Telesat 於 2018 年在開始測試時發射第一顆（也是唯一的）在軌的 LEO 衛星，並於 2021 年公佈其 LEO 星座名為 Lightspeed 計劃將由 298 顆衛星組成 [19]。Telesat 規劃於 2023 年開始發射衛星，星座預計將耗資 50 億美元 [20]。

## (4) 美國 Kuiper 計劃

美國亞馬遜是低軌衛星市場的新進業者，其 Project Kuiper 計劃於 2019 年宣布。2020 年 7 月亞馬遜公告計劃投資超過 100 億美元，部分由其關係企業 Blue Origin 公司提供支援，專注於可重複使用的發射火箭 [21]。Project Kuiper 計劃尚未發射任何衛星，但美國聯邦通信委員會 (FCC) 已核准其 3,236 顆衛星商業服務的申請，在完成 578 顆衛星進入軌道後，即可開始提供商業服務 [22]。Project Kuiper 計劃預計在 2026 年完成一半衛星的發射，其餘衛星也將在 2029 年完成發射。

整理國際間低軌衛星計劃之部署、星座和衛星比較，如表 1 所示。

表 1、國際低軌衛星通信系統比較表

		SpaceX	OneWeb	Amazon	Telesat
頻率	Feeder Link:	Ka band	Ka-Band	Ka band	Ka band
	Service link:	Ku band	Ku-band	Ka band	Ku band
衛星高度		540/550/570 Km	1200 km	590/610/630 Km	1015/1325 km
衛星涵蓋範圍		573-960 km	1100km	-	-
衛星數量 (已發射/計畫發射)		1664/12000	322/648	0/3236	0/298
傳輸速率	下行(DL)	350 Mbps	200 Mbps(拋物天線) 75 Mbps(平面天線)	-	-
	上行(UL)	130 Mbps	30 Mbps(拋物天線) 6 Mbps(平面天線)	-	-
Latency 延遲性		20-40 ms	50 ms	30 ms	50 ms
目標市場		Consumer broadband, cellular backhaul	Backhaul, government, mobility, Broadband	Broadband, backhaul	Backhaul, mobility
預計全球商業服務		2022年	2022年	-	-

資料來源: 本研究整理

### 2.3 Starlink 衛星(地面)設備技術特性說明

由於 SpaceX 是目前國際四大低軌衛星業者，發展速度最快並且已在多個國家實際落地提供衛星寬頻服務，故本研究以 SpaceX 星鏈計劃(Starlink)為例，進行相關研究探討分析。SpaceX 星鏈(Starlink)網路架構是由三個主要部分組成:低軌衛星座(NGSO Satellite Constellation)、閘道器設備(Gateway)及用戶終端設備(User Terminal)。其中，用戶終端設備透過服務鏈路(Service Link)將通信資料轉發到低軌衛星，而閘道器設備則負責衛星與地面各種不同網路的介接，並透過饋線鏈路(Feeder Link)建立衛星到地面網際網路連線。星鏈衛星通信網路架構，如圖 9 所示。

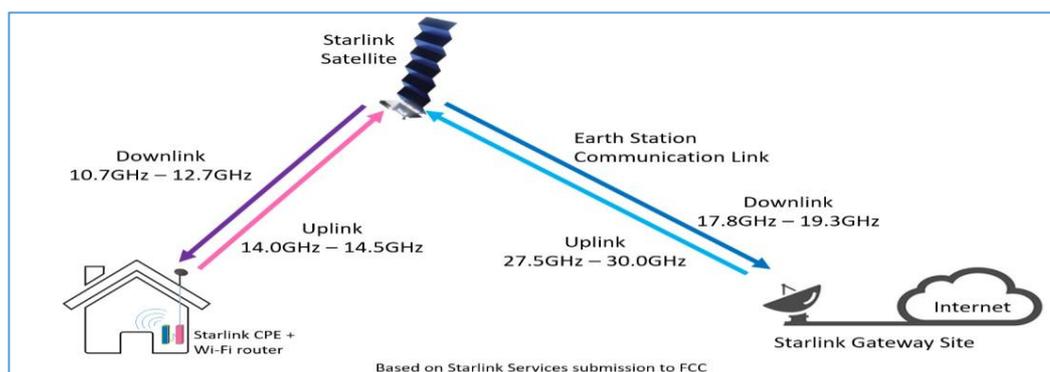


圖 9、Starlink 衛星通信網路架構

資料來源: The 3G4G Blog.

### 2.3.1 Starlink 運作頻段

根據 SpaceX 於 FCC 委員會宣告技術文件，星鏈閘道器設備的上行鏈路頻段為 27.5 ~ 29.1 GHz 與 29.5 ~ 30.0 GHz，下行鏈路頻段為 17.8 ~ 18.6 GHz 與 18.8 ~ 19.3 GHz，而用於遙測、追蹤與控制(Telemetry, Tracking and Control, TT&C)的上行鏈路頻段為 13.85 ~ 14.00 GHz，下行鏈路頻段為 12.15 ~ 12.25 GHz 與 18.55 ~ 18.60 GHz；SpaceX 系統之操作頻率範圍，如表 2 所示。

表 2、Starlink 衛星通信鏈路及使用頻率

鏈路類型與傳輸方向		運作頻段
服務鏈路	上行(U/L)	14.0 ~ 14.5 GHz
	下行(D/L)	10.7 ~ 12.7 GHz
饋線鏈路	上行(U/L)	27.5 ~ 29.1 GHz、29.5 ~ 30.0 GHz
	下行(D/L)	17.8 ~ 18.6 GHz、18.8 ~ 19.3 GHz
TT&C	上行(U/L)	13.85 ~ 14.00 GHz
	下行(D/L)	12.15 ~ 12.25 GHz、18.55 ~ 18.60 GHz

資料來源: SpaceX；本研究整理

### 2.3.2 終端設備所需最小仰角

根據 SpaceX 於 FCC 委員會所宣告技術文件，SpaceX 的終端設備僅與在地平線上可見的最小仰角 25 度以上的低軌衛星進行通訊，其終端設備使用先進的波束成形相位陣列和數位處理技術，進而達成可追蹤低軌衛星的高指向性天線波束，並且可以高效率使用 Ku 頻段的頻譜資源，SpaceX 所提出的相位控制陣列終端設備將追蹤視野內通過的 SpaceX 的 NGSO 衛星。

SpaceX 第二代低軌衛星系統之衛星波束轉向角(Steering Angle)傳輸示意，如圖 10 所示，其用戶地球電臺僅與仰角至少為 25 度的衛星進行通信，從表 3 中可得知，SpaceX 第二代低軌衛星系統最低衛星高度為 340 公里，衛星最大波束轉向角與視軸 boresight（最低點，nadir）之夾角最大為 59.4 度，衛星覆蓋半徑約為 627.2 公里。

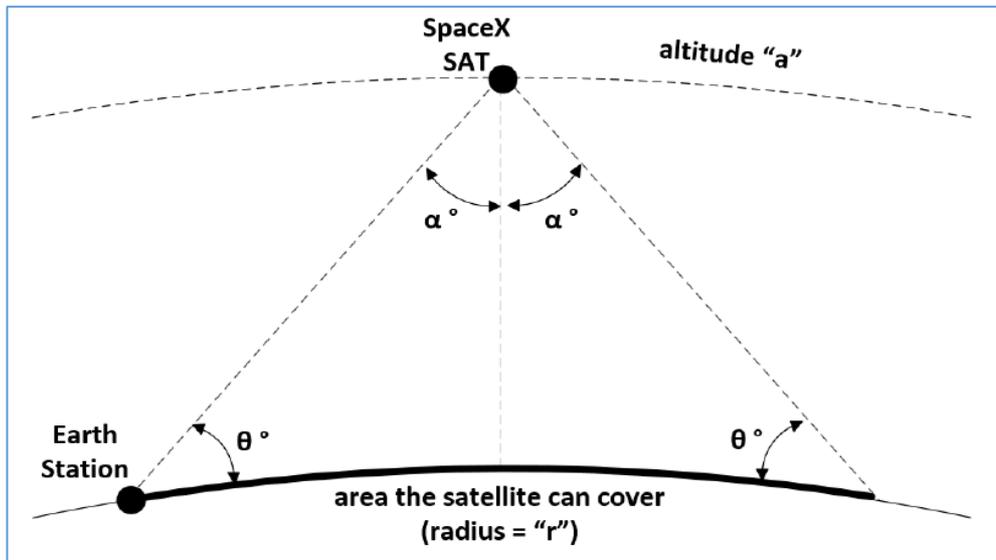


圖 10、操作於 Ku 頻段之衛星波束轉向角(Steering Angle)傳輸示意圖

資料來源：SpaceX

表 3、地球電臺於最小仰角 25 度時之各項參數

軌道高度(Altitude) a (km)	340	346	350	510	515	520	525	530	535
最大波束轉向角 $\alpha$ (deg)	59.4	59.3	59.2	57.1	57.0	56.9	56.9	56.8	56.7
覆蓋半徑 r (km)	627.2	636.8	643.1	884.3	891.4	898.5	905.6	912.7	919.7

資料來源：SpaceX

### 2.3.3 地理圍籬(geofencing)

值得注意的是，Starlink 衛星規劃向地面指定區域內的所有用戶發送網路，該指定區域被稱為一個細胞(cell)；用戶的 Starlink 設備將被分配到一個細胞，如果用戶將 Starlink 移出該指定的細胞範圍時，則衛星將無法對非註冊地的 Starlink 設備提供服務；換言之，用戶將無法連接到網路。SpaceX 說明該限制為幾何約束，而非任意的地理圍籬(geofencing)，如圖 11 所示。



圖 11、Starlink 地理鎖定概念

資料來源: SpaceX；本研究整理

根據 SpaceX 說明，Starlink 用戶僅被核准使用 Starlink.com 上註冊時所提供的服務地址，若用戶需變更服務地址時，可以在帳戶頁面上查詢所在新的位置是否提供服務；如果有，則可以更新用戶服務地址並在新位置使用碟型天線；若用戶選擇的新位置尚未提供服務，則用戶須在新位置使用單獨的電子郵件地址進行預訂[23]。

### 2.3.4 發射功率與波束控制

Space X 用戶終端地球電臺具有控制波束發射功率之功能，可自動調整功率使目標衛星天線接收功率維持定值，進而補償因轉向角(Steering Angle)所造成的天線增益與路徑損耗的變化，在最大傾角(Maximum Slant)具有最大輸入功率 4.06 W，在視軸上(Boresight)具有最小輸入功率 0.76 W；所有載波在最大傾角具有最高發射功率 38.2 dBW (EIRP)，在視軸上具有最小發射功率 33.4 dBW (EIRP)；另最大傾角具有最小天線增益（接收：30.6 dBi、發射：32.0 dBi），而於視軸上具有最大天線增益（接收：33.2 dBi、發射：34.6 dBi），上述射頻調整功能可優化角度、位置的差異，以克服天氣或其他因素所帶來的路徑衰減。

表 4、SpaceX 所提出終端設備之射頻技術規格

鏈路形式	頻率(GHz)	調變	最大 EIRP	半功率波束寬度
下行鏈路	10.7 ~ 12.7	最高 64 QAM	N/A	3.5° (boresight) 5.5° (at slant)
上行鏈路	14.0 ~ 14.5	最高 64 QAM	38.2 dBW	2.8° (boresight) 4.5° (at slant)

資料來源：SpaceX

## 2.4 文獻探討

隨著行動通信服務以及網際網路使用的需求不斷增長，1990 年代已有產業提出以 LEO 衛星來提供全球寬頻連接的概念[24]。針對全球新興的低軌衛星效能與技術挑戰，在文獻[25]中，描述和比較分析了 OneWeb、Telesat 和 SpaceX 的 LEO 星座系統提案，並評估三個系統的性能、各星座的總系統吞吐量 and 相應地面段(GW)需求數，同時提出了這些系統投入運行之前需要克服的五種不同的技術挑戰，包括：干擾協調、動態資源管理、發射期程、系統運作和用戶終端等。其中，在干擾協調方面，該文獻認為，衛星頻譜配置的 NGSO-NGSO 共線事件(in-line events)，可能將使 O 公司和 S 公司的用戶下行鏈路之間，以及 O 公司、S 公司和 T 公司的 GW 饋線鏈路（上行鏈路和下行鏈路）之間發生干擾。雖然業者衛星系統都有避免干擾的設計機制，但建議衛星業者間需要協調以減輕干擾，並建議可以採取：在同一地點使用不同的頻道、停用波束(disabling beams)或隔離頻譜(splitting the spectrum)等方式避免干擾。

因 ITU 於無線電規則(RR)確定固定衛星服務(FSS)使用 C 頻段、Ku 頻段和 Ka 頻段頻率範圍[26]。但在 27.5 - 30 GHz 頻段被劃分作為 FSS 上行鏈路使用（從地球到衛星站），與 3GPP 5G NR 行動網路使用的 FR2 運作頻段 N257（26.5 – 29.5 GHz）頻率有重疊干擾的風險。因此，下列文獻針對可能產生的同頻干擾、鄰頻干擾及頻率共存的緩解措施進行研析。

在同頻干擾方面，在文獻[27]中，探討了同步高通量衛星(GSO HTS)地球

電臺對 28 GHz 同頻的 5G 地面網路的干擾緩解分析。該研究試圖尋求 GSO 衛星固定地球電臺與 5G 地面網路之間的最小距離來減輕干擾情況，使 FSS 和 5G 地面網路之間可在 28 GHz 頻率下的相同通道無干擾地運行。該研究認為，由於頻譜的可用性有限，頻譜共享已成為多項服務的基本要求。在地面網路和 FSS 之間的頻譜共享，有四種可能的干擾情況，如圖 12 所示。

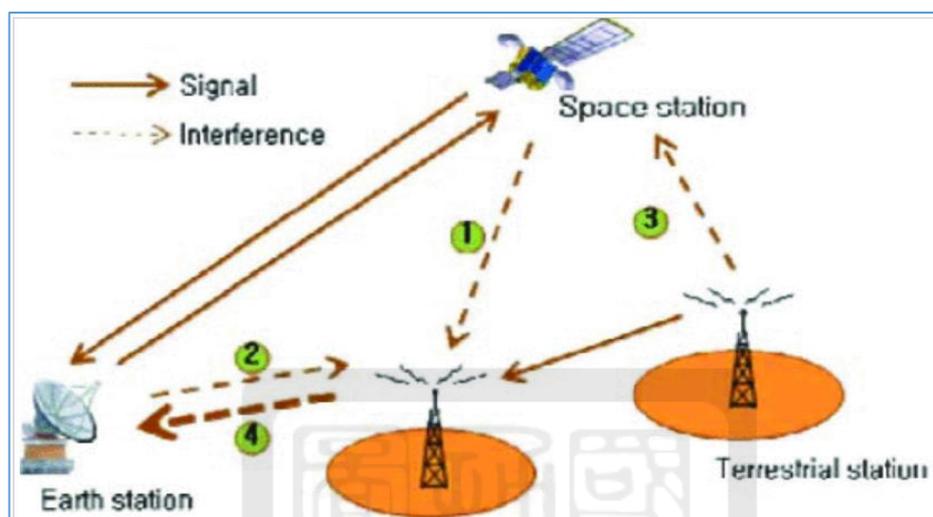


圖 12、GSO FSS 固定地球電臺和 5G 地面網路的干擾場景

資料來源: IEEE [27]

該研究透過 SPECTRAemc 模擬軟體選定農村、郊區和城市等不同地理環境區域，針對 26.5 - 29.5 GHz 頻段之地球靜止軌道 (GSO) 固定衛星服務 (FSS) 的衛星地球電臺對 5G 地面站的干擾進行分析。該研究發現，從地球電臺架設高度變化來看，地球電臺越高覆蓋範圍越大，而農村地區因受地形等高線的影響，覆蓋範圍較小。同時地球電臺的 EIRP 和天線高度在干擾緩解中發揮作用；地球電臺 EIRP 和天線高度越高，將影響 5G 接收(Rx)部署的最小和最大距離。研究結論認為，由於每個地方的間隔距離都不一樣，不僅受技術問題 (EIRP 和天線高度) 的影響，還受地理輪廓的影響。因此研究建議，為降低地球站和 5G 地面網路之間的干擾機率，應先根據電波模擬獲得的數據，運用地理覆蓋等值線作為緩解措施，確立 Rx 5G 地面站與地球站的最短距離。

另在文獻[28]中，針對在 Ku 頻段下 NGSO-NGSO 和 NGSO-GSO 同頻干擾對吞吐量的影響進行研究並提出建議。該文獻運用三種干擾抑制技術：後視技術(Look-Aside)(分佈式衛星分集技術)、頻率分離(Band-Splitting)及 ITU 的 GSO 保護技術，該研究在不同軌道、收發器參數和地面站位置方面的效率進行評析，並得出結論認為，目前的頻譜規管可能不足以確保有效地保護 GSO 免受 NGSO 干擾。最看好的 NGSO-NGSO 干擾抑制技術是後視技術(Look-Aside)，但因其性能對星座屬性和地面站位置具高度敏感，需要更複雜的工程方案和更嚴格的監管限制，以確保新興 NGSO 部署的共存。同時該文獻認為在新興衛星部署環境中，了解不同 NGSO 系統之間的干擾相互作用，以及在何種程度上可能需要監管干預，對於確保 NGSO-NGSO 共存非常重要。

在鄰頻干擾方面，在文獻[29]中，Sajor Barrie 等人，探討了 Ka 頻段之移動式衛星地球電臺(Earth Stations in Motion, ESIM)對 5G 無線接取網的鄰道干擾評估。由於 ITU 為 5G 技術設定的候選頻段中，使用的 24.25–27.5GHz 頻段與衛星陸地型 ESIM(Land-ESIM, L-ESIM)上行鏈路所使用的 27.5–29.5GHz 頻段相鄰，可能產生鄰頻通道干擾的風險，如圖 13 所示。

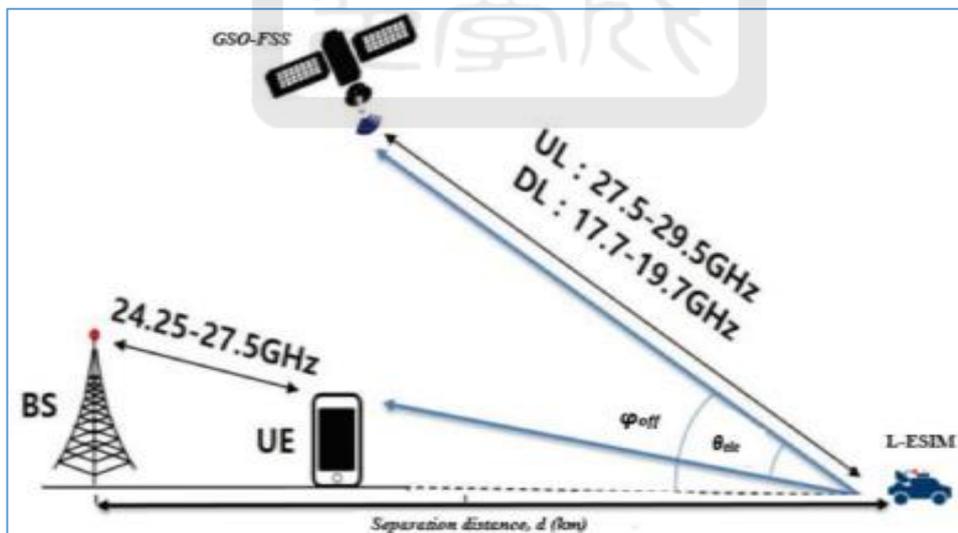


圖 13、L-ESIM 和 5G RAN 之間干擾場景

資料來源: Heliyon 期刊[29]

該研究使用最小耦合損耗 (minimum coupling loss, MCL)方法，評估 L-ESIM 地球電臺、5G 基站(BS) 和在相鄰頻段中運行的用戶設備 (UE)之間的相鄰通道干擾(adjacent channel interference, ACI )，並在考慮最壞情況下，分析單個發射干擾源和單個受害接收機之間的干擾效應，以及透過保持所需的吞吐量來確保沒有干擾阻礙 5G 服務的性能計算 ESIM 和 5G RAN 之間所需的隔離度。同時根據數值模擬，ESIM 與 BS 和 UE 的最小間隔距離為 35 公里和 12 公里，能滿足  $-147 \text{ dB W / MHz}$  的最大可接受干擾。該研究認為獲得的結果，將確保相鄰通道的相容性以及在未來部署中能與 L-ESIM 的共存，並能保護 5G RAN 免受有害干擾。

在最小干擾距離評估方面，在文獻[30]中，Zhang 等人探討了使用 C 頻段和 Ku 頻段船載地球電臺(Earth Stations on board Vessels, ESVs)與 FSS 衛星通信的最小干擾距離。該研究以具代表性的 ESV 設備和固定服務接收機

(FSR) 技術參數，基於 ITU-R SF.1650-1 建議書[31]，計算 FSR 的最大允許干擾功率和站台之間的傳播路徑損耗；並根據傳播損耗和傳播模型確定可接受的最小離岸距離。該研究經計算後得出；在 5925-6425 MHz (C 頻段) 中，直徑 1.8 公尺天線的最小間隔距離為 250 公里、直徑 1.2 公尺天線的最小間隔距離為 350 公里。另在 14-14.5 GHz (Ku 頻段) 中，直徑為 0.95 或 0.8 公尺天線的最小距離為 150 公里，直徑為 0.6 公尺的天線的最小距離為 100 公里。研究結論認為，超出此範圍運動中的 ESV 不會對頻段內的 FS 造成不可接受的干擾；建議將計算結果或 ESV 操作限制提供作為監理管理和技術考慮，以確保 FS 的保護和未來成長。

在衛星干擾風險與緩解措施評估方面，在文獻[32]中，評估新衛星星座的干擾風險和緩解措施，針對 NGSO-NGSO 干擾進行定量風險評估，並透過數據吞吐量的下降來描述干擾影響，作為監理和營運的決策參考。該研究使用蒙特卡洛模型來計算 Ka 頻段 (LeoSat、O3b、OneWeb 的 MEO 和 Telesat) 和 V 頻段中 (OneWeb 的 MEO、SpaceX 的 LEO 和 Telesat) 四個

計劃中 NGSO 星座之間的同頻干擾風險。研究並以 NGSO 衛星和用戶終端之間通信的干擾風險為主，因為用戶終端的干擾風險大於衛星 GW 設備。研究結果發現，Ka 頻段和 V 頻段中的 NGSO-NGSO 干擾風險很低。然而大型星座 OneWeb 和 SpaceX 最有可能對其他人造成干擾，研究發現基於星曆表的後視緩解(look-aside mitigation)（不需要營運商之間的協調）雖可讓大型星座受益，但會損害小型星座。因此建議緩解措施必須包括協調 (coordination)。

對於衛星行動平台干擾的監管方面，在文獻[33]中，Enrique Cuevas 等人探討了行動平台通信衛星地球站(Earth stations on moving platforms, ESOMPs)技術特點及監管挑戰。該研究指出，行動平台地球站 (ESOMP) 是新一代衛星終端，設計用於在 X、C、Ku 和 Ka 頻段運行，並為陸地車輛、飛機和船隻提供衛星寬頻通信服務。ESOMP 的特點是使用非常小的天線並且需有追蹤系統(tracking systems)來保持準確地指向目標衛星。但由於它們是在移動中運行，因此在某些情況下，天線指向錯誤(pointing errors)可能會導致對其他同頻相鄰衛星或其他無線電系統的干擾增加。由於 ESOMP 終端天線指向誤差是隨機變量，產生的 EIRP 頻譜密度 (EiRP Spectral Density, ESD)可以視為隨機變量。故有必要使用統計方法(statistical approaches)進行干擾分析，使產生的干擾不會對受害網路造成傷害。該研究基於 ITU-R S.1857 建議書[34]建立的一種統計技術來限制 ESD，進而減少天線指向誤差。

該研究認為，由於 ESOMP 網路可能部署在廣闊地理區域內，並由大量的終端組成。為確保 ESOMP 不會對相鄰衛星網路造成有害干擾，ESOMP 必須按照監管指導運行，並遵循監理機關設定的離軸(off-axis)有效全向輻射功率 ESD 限制、或與鄰近衛星系統協調的其他限制等。另為能識別和解決干擾源，FCC 規則要求 ESOMP 應維護一個信號特徵資料庫，紀錄 ESOMP 的位置、傳輸頻率、通道頻寬和使用的衛星。並要求 ESOMP 位置數據的收集間隔，例如：要求車載地球電臺(VMES)至少每 5 分鐘回傳一次(FCC Part §

25.226)；船舶地球電臺(ESV)至少每 20 分鐘回傳一次(FCC Part §25.222)；機載地球電臺(ESAA)至少是每 1 分鐘回傳一次(FCC Part §25.227)。另 ETSI 標準要求 ESOMP 需以至少 100 公尺的精度報告其位置。

此外，隨著技術科技的進步，衛星用戶終端設備已小型化到足以“in-motion(可攜移動)”的程度，衛星用戶可在衛星細胞範圍內的任何地點發射接收衛星信號，可能對飛航安全帶來風險。在文獻[35]、[36]、[37]中，描述了現代的飛機設計越來越多倚賴電氣和電子系統來執行飛機的安全飛行和著陸所需的功能；另飛機為減輕重量使用大量的複合材料也降低對射頻的屏蔽能力，導致飛機暴露於「高強度輻射場(High-Intensity Radiated Fields, HIRF)」環境，引起了人們對飛航安全的關切。在文獻[38]的研究表明，飛機暴露在大功率無線電和電視頻率發射機、雷達和衛星上行鏈路發射機以及大型微波通信系統發出的 HIRF 環境中，容易發生故障或故障對航空安全系統構成威脅。因此，建議對 HIRF 進行定量評估 HIRF 對飛機安全的風險。另外，歐盟通信委員會(ECC)委請歐洲航空安全局(EASA)研究評估飛機在（起飛、著陸、巡航、滑行）任何階段的 HIRF 保護標準，並將研究結果制訂成 ECC Report 272 報告[39]，規範不同頻段類型及衛星(固定)地球站的最大 EIRP 發射功率要求，以確保符合飛機 HIRF 安全保護標準。

## 2.5 小結

觀察國際低軌衛星科技發展迅速，由 SpaceX 領銜的星鏈(Starlink)計劃，帶動太空產業發展新契機；引領多家衛星業者以低軌衛星具有的低延遲、低傳播損耗、覆蓋範圍廣及效率高的特性組成巨型衛星網路，運用 Ku/Ka 頻段提供全球用戶寬頻連線服務[40]。

由於國際電信聯合會(ITU)確定將 Ku/Ka 頻段用於固定衛星服務(FSS)，並劃分 27.5 - 30 GHz 作為 FSS 的上行鏈路使用（從地球到衛星站）；然而該頻率範圍與 3GPP 5G NR 行動網路的 FR2 運作頻段 N257 ( 26.5 - 29.5 GHz )重疊並有干擾的風險。因此，相關期刊文獻針對可能產生的同頻干擾[27]、[28]、[32]、鄰頻干擾[29]及頻率共存[27]進行評估研析，並試圖尋求合宜的緩解措施[26]、[32]或共存最小距離及隔離區[29]、[30]等。

此外，隨著衛星天線設備技術的進步，衛星用戶終端設備已小型化到足以” in-motion(可攜移動)” 的程度，衛星用戶可在衛星細胞範圍內的任何地點發射接收衛星信號，可能產生共線事件(in-line event)干擾以及對飛航安全帶來風險。因此，相關期刊文獻也針對衛星行動平台(ESOMP 或 ESIM)干擾管理及監理措施提出建議[33]，以及針對飛機暴露在衛星上行鏈路發射機及大型微波通信系統等發出的高強度輻射場(HIRF)環境，可能產生航空安全系統威脅進行風險評估[37][38]，並提出相關的監理要求[39]。整理與本論文相關之期刊文獻，如表 5 所示。

表 5、與論文相關之期刊文獻整理

文獻	期刊/作者/年份	標題	探討議題	主要建議
[26]	Acta Astronautica / Iñigo Del Portillo et al./2019	A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband	LEO 效能評比、技術挑戰、干擾緩解措施	雖然業者衛星系統都有避免干擾的設計機制，但建議衛星業者間需要協調，以減輕干擾，並建議可採取:在同一地點使用不同的頻道、停用波束(disabling beams)或隔離頻譜等方式避免干擾。

[27]	IEEE/ A. Christina Situmorang et al./2020	Analysis of Interference Mitigation between Earth Station - High Throughput Satellite towards 5G Terrestrial Network in 28 GHz Co-channel Frequency	同頻干擾	為降低地球站和 5G 地面網路之間的干擾機率，應先根據電波模擬獲得的數據，運用地理覆蓋等值線作為緩解措施，確立 Rx 5G 地面站與地球站的最短距離。
[28]	IEEE/ C. Braun et al./2019	Should We Worry About Interference in Emerging Dense NGSO Satellite Constellations?	同頻干擾	該文獻認為最看好的 NGSO-NGSO 干擾抑制技術是後視技術(Look-Aside)，但因其性能對星座屬性和地面站位置具高度敏感，需要更複雜的工程方案和更嚴格的監管限制，以確保新興 NGSO 部署的共存。
[29]	Heliyon/ Barrie, Sajor et al./2021	Evaluation of adjacent channel interference from land-earth station in Motion to 5G radio access network in the Ka-frequency band.	鄰頻干擾，站台隔離估算	使用最小耦合損耗(MCL)法，評估 L-ESIM 地球電臺、5G 基站(BS)和在相鄰頻段中運行的用戶設備(UE)之間的相鄰通道干擾(ACI)，透過吞吐量劣化情形，估算 ESIM 和 5G RAN 之間所需的隔離度。
[30]	IEEE/ Zhang Xiaoyan et al./2015	The minimum interference distance of earth station on board vessel communicating with FSS satellite in C and Ku Band.	船載 ESVs 與 FSS 最小離岸距離計算	運用 ITU-R SF.1650-1 建議書，估算船載 ESVs 與 FSS 衛星通信的最小干擾距離。並將計算結果和 ESV 操作限制提供作為監理和技術考慮，以確保 FS 的保護和未來成長。
[32]	SSRN Electronic Journal/ Susan Tonkin et al./2018	NewSpace Spectrum Sharing: Assessing Interference Risk and Mitigations for New Satellite Constellations	干擾風險評估	使用蒙特卡洛模型來計算 Ka、V 頻段四個 LEO 計劃中 NGSO 衛星和用戶終端之間同頻干擾風險。研究結果發現，大型星座 OneWeb 和 SpaceX 最有可能對其他人造成干擾，建議緩解措施必須包括協調。
[33]	Johns Hopkins APL Technical Digest/ Cuevas, Enrique et al./2015	Technical characteristics and regulatory challenges of communications	衛星行動平台 (ESOMP) 監管要求	為確保 ESOMP 不會對相鄰衛星網路造成有害干擾，ESOMP 須按監管指導運行，並遵循監理機關設定的離軸(off-axis)有效全向輻射功率 ESD 限制、或與鄰近衛星

		satellite earth stations on moving platforms		系統協調的其他限制等。另為能識別和解決干擾源，ESOMP 應維護一個信號特徵資料庫，紀錄 ESOMP 的位置、傳輸頻率、通道頻寬和使用的衛星。並要求 ESOMP 應定時回傳位置資訊。
[35]	● IEEE/ D. A. Bull/1997	● Development of the RF HIRF environment	高強度輻射場	● 飛機暴露在大功率無線電和電視頻率發射機、雷達和衛星上行鏈路發射機以及大型微波通信系統發出的 HIRF 環境中，容易發生故障或故障對航空安全系統構成威脅。
[36]	● IEEE/ R. A. Williams/1997	● The NASA High Intensity Radiated Fields Laboratory	(HIRF)風險評估、	● 歐盟已規範不同頻段類型及衛星(固定)地球站的最大 EIRP 發射功率要求，以確保符合飛機
[37]	● IEEE/ L. Wei et al./2011	● High intensity radiated field external environments for fixed wing airplanes operation	監理要求	HIRF 安全保護標準。
[38]	● FAA Report/ James R. Elliot/1999	● High-Intensity Radiated Fields (HIRF) Risk Analysis		
[39]	● ECC Report 272/2018	● Earth Stations operating in the frequency bands 4-8 GHz, 12-18 GHz and 18-40 GHz in the vicinity of aircraft.		

資料來源: 本研究整理

綜整上述相關期刊文獻，目前國內外對於衛星上鏈產生頻率重疊干擾或衛星用戶終端及衛星地面設備鄰近敏感區產生的干擾風險，以及低軌道固定衛星發展及應用之監理法制探討，尚屬新興研究領域。因此，本研究將依第三章之研究方法，蒐研歸納國際間相關低軌道固定衛星服務規管要求作為研究參考，並就相關議題進行深入探討比較分析。

### 第三章 研究方法

由於 SpaceX 是目前國際四大低軌衛星業者，發展速度最快並且已在多個先進國家實際落地，故本研究以 SpaceX 星鏈計劃(Starlink)為例，運用文獻分析法、個案研究及比較研究法就美國、英國、日本及國內衛星服務監理層面相關指標性議題進行深入探討，歸納比較解析各國低軌衛星服務監理政策與管理措施，掌握各國監理思維並提出具體建議。研究步驟，如圖 14 所示：



圖 14、研究方法與研究步驟

資料來源：本研究整理

#### 3.1 文獻分析法

文獻分析法 (Document Analysis) 是指根據一定的研究目的或課題，透過蒐集有關市場資訊、調查報告、產業動態等文獻資料，從而全面而精準地掌握所要研究問題的一種方法。蒐集內容儘量要求豐富及廣博，再將四處收集來的資料，經過分析後歸納統整，再分析事件淵源、原因、背景、影響及其意義等。文獻資料可以是政府部門的報告、工商業界的研究、文件記錄資料庫、企業組織資料、圖書館中的書籍、論文與期刊、報章新聞等等。其分析步驟包括：閱覽與整理 (Reading and Organizing)、描述 (Description)、分類 (Classfying) 及詮釋 (Interpretation) [41]。

為此，本研究蒐集與研究主題相關的衛星頻率干擾分析與緩解技術等學術研究期刊文獻外，並蒐集整理國際組織及先進國家低軌衛星服務相關監理政策，以及各國開放低軌衛星服務落地有關的監理規定及相應措施。同時，盤點國內既有衛星通信業務相關法律規範，為低軌道固定衛星服務之管制架構預作體系化整理。蒐集資料將包括：法規資料庫、期刊、論文、研究報告、政府出版品、專書、網頁及新聞稿等資料，以期對本研究之標的進行初步了解及分析。本研究蒐集之國內外法規主要包括兩部分：

(一)國外主要國家可供參考的法規和法律公約：

1. 國際電信聯盟(ITU)：組織章程(Constitution, CS)、公約(Convention, CV) 和無線電規則(Radio Regulations, RR)；ITU 第 156 號決議 (WRC-15)、第 22 號決議 (WRC-19)、第 169 號決議 (WRC-19)、第 173 號決議 (WRC-19) 等。
2. 歐盟：ECC 決定(ECC Decision)、ECC 報告(ECC Report)、無線電指令 (RED)及 ETSI EN 協調標準；ECC/DEC (17)04、ECC/DEC (18) 05、ECC report 271、ECC report 272、ETSI EN 303 981、ETSI EN 303 980 技術標準等。
3. 美國：通訊法(Communications Act of 1934)、美國聯辦法規 (Code of Federal Regulations, CFR) 第 47 篇第 25 章衛星通訊(47 CFR Part 25-Satellite Communications)、Part 2；報告和命令(Report and Order): FCC 17-122、FCC-20-159; FCC 技術諮詢委員會(Technological Advisory Council ,TAC)技術文件；美國政府於 2020 年 4 月 4 日通過之第 13913 行政命令「電信服務業外國參與審查委員會(Executive Order on Establishing the Committee for the Assessment of Foreign Participation in the United States Telecommunications Services Sector)」等。
4. 英國：通信法(Communications Act 2003)、無線電報法(Wireless Telegraphy Act 2006)；Ofcom 公告「非地球靜止軌道衛星系統:執照更新 (Non-geostationary satellite systems: Licensing updates)」通告、Licensing procedures manual for Satellite (Earth Station Network) applications；Non-geostationary satellite earth stations Licensing

guidance 指導文件；《公司法 Company Law》；英國 BEIS 於 2021 年 11 月公告之《國家安全與投資法 (National Security and Investment Act)》等。

5. 日本：《電波法》、《認證規則》、《無線設備規則》；總務省電信技術委員會第 82 號公告「使用非對地靜止衛星的移動衛星通信系統的技術條件」；2019 年 11 月修正之「外匯及外國貿易法」等。

(二)台灣方面和本研究主題有關的法規包括：《電信管理法》及其架構下與衛星通信業務相關監理規定的各個子法：《電信事業申請無線電頻率核配辦法》、《無線電頻率使用管理辦法》、《公眾電信網路基地臺設置使用管理辦法》、《公眾電信網路設置申請及審查辦法》、《公眾電信網路審驗辦法》、《公眾電信網路檢驗辦法》、《衛星地球電臺設置使用管理辦法》、《電信事業資通安全管理辦法》等；另《電信法》架構下，亦訂有《衛星通信業務管理規則》，針對衛星通信業務進行規管，包括：經營特許、營運管理等相關規定；以及行政院於 2022 年 3 月 11 日核定修正之「無線電頻率供應計畫」，及數位發展部(MODA)於 2022 年 11 月 7 日正式公告生效的「電信事業申請衛星固定通信用無線電頻率核配有關事項」、「受理電信事業申請核配衛星固定通信用無線電頻率審查作業要點」等法規文件。

### 3.2 個案研究法

個案研究是一種個別的、深度的、描繪的及偏向質的研究，對個案作深入的了解，可以探究個案與全體的相同點與相異點；個案研究法主要是運用歸納邏輯思維來進行研究，將研究過程所蒐集到的豐富資料，透過歸納、比較、對照的方式進行資料分析，最後發展出新理念或新思維，並作為建構理論的基礎[42]。由於全球衛星通信技術迅速發展，各國對於低軌衛星服務均有不同的政策考量與監理需求，為能深入瞭解國際組織與衛星產業整體發展狀況，需將每個國家定義成一個案，進行資料準備、蒐集及分析，並找出各指標的關聯性，研析可資參考之重點及可供我國參酌之概念或原則。

因 SpaceX 是國際低軌衛星業者中，發展速度最快且已在先進國家實際落地提供星鏈服務，故本研究以美國、英國及日本為案例國家，就有關低軌衛星監理相關指標性議題，包括：衛星頻譜申請與外資管制、衛星業務授權與執照管理、衛星地球電臺設置使用管理、衛星干擾協調及衛星器材設備認證管理等層面進行深入探討分析；低軌衛星服務監理議題，如圖 15 所示。

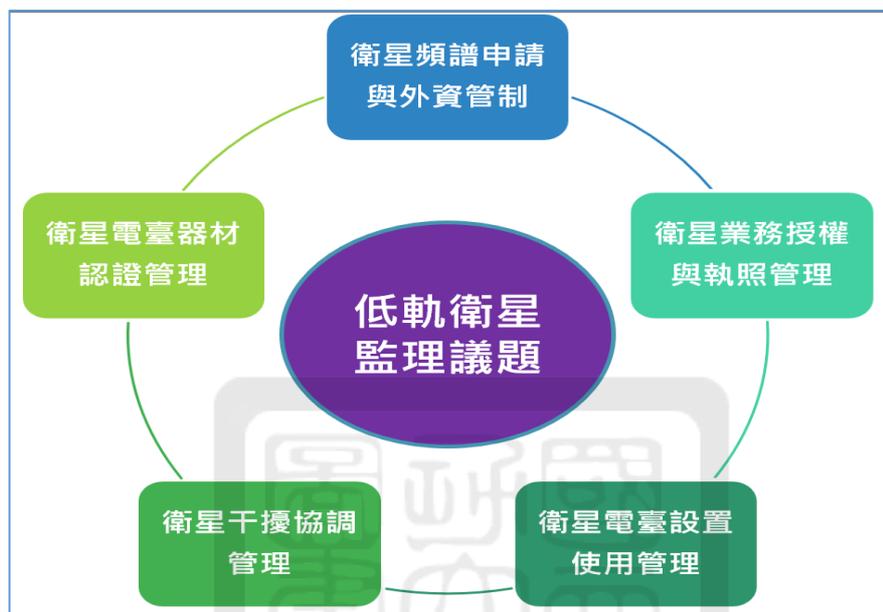


圖 15、低軌衛星服務相關監理議題

資料來源：本研究整理

### 3.3 比較研究法

比較研究方法是對相同事物的不同方面或同一性質事物的不同種類，透過比較而找出其中的共同點或差異點，來深入認識事物本質的一種方法。因此，比較研究法之基本原理有二：「比相同」與「比差異」[43]。比較研究的過程通常可分為四個階段：敘述(Description)、解釋(Interpretation)、並列(Juxtaposition)、比較(Comparison)[44]。為此，本研究在蒐集研析國際組織發展現況及各國推動低軌衛星服務情形後，將就各國發展低軌衛星固定衛星服務之監理法規和技術管理與國內現制進行比較分析，並找出其共同處與差異點，最後歸納彙整提出具體可行的監理措施與研究建議，以供國內未來發展低軌衛星固定衛星服務的施政參考。

## 第四章 研究結果與建議

低軌道固定衛星服務牽涉到不同層面監理需求，無論在衛星頻譜申請與外資管制、衛星業務授權與執照管理、衛星電臺設置使用管理、衛星干擾協調及衛星設備器材認證管理等方面。本研究透過文獻蒐集，探討研析國內外低軌道衛星通信發展運作情形與相關監理議題，並就案例國家發展低軌衛星監理政策與我國現制比較對照，深度解析各國低軌固定衛星監理趨勢與實務作法，進而得出本研究結果及建議，茲說明如下：

### 4.1 研究結果

#### 4.1.1 低軌衛星頻譜申請與外資管制

由於無線電頻譜是一個國家重要的戰略資源與公有財產，必須進行有效管理，才能讓全民得到最大的利益。因此，各國主管機關基於國家安全、公共利益或市場競爭等因素的考量，可能對頻率申請使用的資格訂立一定比例的外資限制，並透過核發無線電執照賦予業者頻譜使用的權利及要求承擔相應的義務，以確保頻率能合理、有效和經濟地利用。

#### ● 研究發現

##### ➤ 美國：

美國對於電信事業的外資管制政策，主要依據修訂後的 1934 年「通訊法(Communications Act of 1934)」第 310(a)條及第 310(b)(1)~(3)條規定，無線電執照不得授予外國政府或其代表；電信事業(common carrier)在內的電臺執照亦不得授予外國政府或其代表人、外國人或其代表人，以及依外國法律設立的公司或依外國法律設立的公司所持有股份或表決權超過 20% 的美國公司。另在「通訊法」第 310(b)(4)條規定，允許外資直接或間接投資美國電信事業，並以持有 25% 股權為基準；當外國投資超過 25% 股權必須得到 FCC 的核准；亦即 FCC 具裁量權，得依據是否符合公共利益(public interest)原則，進一步放寬上限比例。

此外，美國鑑於電信網路的安全性、完整性和可用性對美國國家安全和執法利益至關重要。美國政府於 2020 年 4 月 4 日通過第 13913 行政命令[45]，新成立「電信服務業外國參與審查委員會(Executive Order on Establishing the Committee for the Assessment of Foreign Participation in the United States Telecommunications Services Sector)」取代原有的電信小組 (Team Telecom)；該委員會將審查符合進入美國市場的外國公司之電信執照申請相關的國家安全和執法問題並向 FCC 提供建議。審查委員會由美國國防部長、總檢察長、國土安全部長及美國總統認為合適的任何其他行政部門或機構的負責人所組成，並由美國國務卿、財政部長、商務部長、預算辦公室主任、科技政策辦公室主任、國家情報總監及美國貿易代表等擔任委員會顧問；委員會的目標是協助 FCC 對國家安全和執法問題進行公共利益審查，主要職責包括：

1. 針對國外擁有(ownership)或控制的外資申請和執照進行審查，以了解此類申請是否會對國家安全和執法利益構成的風險；
2. 回應申請或執照帶來的任何風險，並建議 FCC 酌情根據委員會命令的規定予以駁回申請、拒絕申請、在遵守緩解措施為條件授予申請、以遵守緩解措施為條件修改許可證，或吊銷許可證。

同時，FCC 於 2020 年 9 月 30 日宣布提高外資投資美國電信市場的申請審查透明度和及時性[46]，針對內含超過 10% 的外國所有權的授權申請，將提交美國電信服務業審查委員會審查，其中包括：「通訊法」第 214 條授權之國際電信服務、轉讓或控制權轉移；海底電纜登陸執照、轉讓或控制權轉移；以及「通訊法」第 310(b)(4)條有關廣播及電信業者(包含衛星地球電臺)的無線執照申請等。

#### ➤ 英國：

英國於 2018 年發布的《無線電報法執照政策手冊》規定已在英國依據《公司法 Company Law)》登記設立之公司即可申請無線執照；儘管

英國公司法未明定外資限制，但英國為防止可能損害國家安全的收購，英國「商業、能源及產業策略部(BEIS)」於 2021 年 11 月公告新版《國家安全與投資法 (National Security and Investment Act)》，針對包含通信(Communications)在內的 17 項敏感經濟產業領域(sensitive areas of the economy)的任何企業投資者的收購，強制性要求必須通知英國政府進行審查。新法並賦予部會首長有權對交易的提案設下條件限制；例如，在通信產業，任何企業或投資者對於公眾電子通信網路或服務(PECN/S)或衛星地面站等相關設施其營業額在 5000 萬英鎊以上的實體進行收購時，必須依法提報強制通知(mandatory notification)予主管機關進行收購審查。

➤ **日本:**

日本對於人造衛星無線電臺執照的外資管制措施，主要依據《電波法》第 5 條第 1 項規定具有下列情形之一者不得核發無線電臺執照：一、非日本國籍者；二、外國政府及其代表；三、外國公司或集團；四、法人或組織之代表人為前三項所列之人員、或其管理人員佔其管理人員 1/3 以上、或表決權 1/3 以上[47]。此外，日本政府於 2019 年 11 月通過「外匯及外國貿易法」修正案，針對海外企業投資收購「資通訊網路」在內的 12 項「核心業種」採取強化管制措施。修正法案規定外資若要取得涉及國安相關事業的日本上市企業 1% 以上股權(原先為 10% 以上股權)或是取得非上市企業股權時，有義務事前向財政部及該企業相關主管部會部長申報審查。若審查結果會損害國家安全或擾亂公共秩序，日本政府依法可勸告中止或變更交易，若企業不遵從時，日本政府亦可發出強制執行的命令[48]。

➤ **台灣:**

國內對於使用頻譜之電信事業設有外資直接和間接持股比例上限的管制；根據《電信管理法》第 36(4)(5)條規定，設置使用電信資源之公眾電信網路者，以股份有限公司為限，其董事長應具有中華民國國籍。同

時，外國人直接持有股份總數不得超過 49%，直接及間接持有股份總數不得超過 60%。由於我國非 ITU 會員國，無法取得衛星下鏈頻譜及衛星軌道資源，故 SpaceX 等國際衛星業者可能透過與國內大型電信業者合作，以代理模式申請衛星服務進入國內市場。依據「公眾電信網路設置申請及審查辦法」第七條規定，外國業者進入我國採取代理模式，我國業者必須是經主管機關核配電信資源及核准設置公眾電信網路之電信事業。因此，國外業者如果有意進入國內市場，須由我國合格之電信業者依電信管理法申請頻率使用證明。

## ● 比較分析

各國外資參與本國電信(衛星)事業投資管制不一，對於外資訂有不同的比例限制或未予限制，如圖 16 所示。

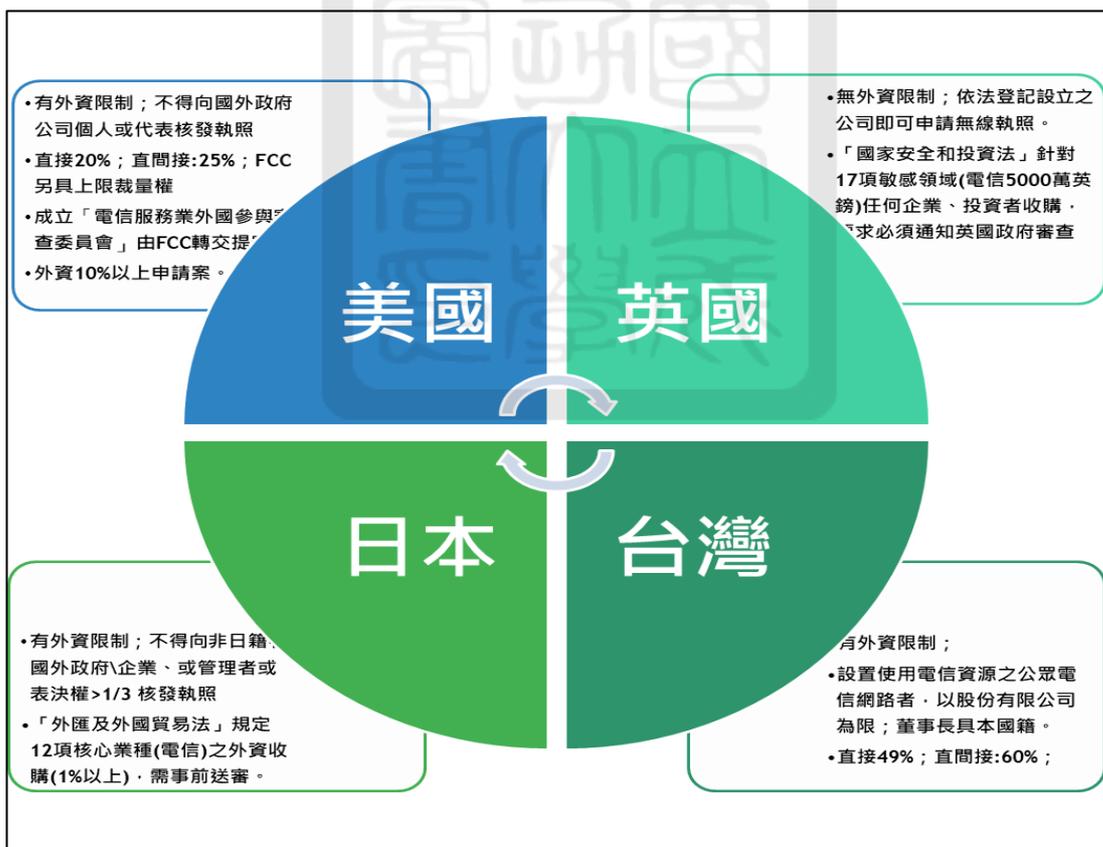


圖 16、各國電信(衛星)事業相關外資管制規定

資料來源：本研究整理

比較分析發現，美國 FCC 對外資上限具裁量權，FCC 得依是否符合「公共利益原則」准駁外資的股權上限，以帶動市場投資。英國基於促進投資及藉由外資引進新技術、新觀念的考量，未對外資市場准入進行限制[49]。日本則與美國類似，但僅要求法人或組織之管理人員(具外國身份)不得超過 1/3 以上。而國內與其他案例國家相較在外資管制上已相對較寬。

此外，隨著地緣政治的緊張局勢升溫，電信事業關鍵基礎設施面臨嚴峻的網路威脅及資安風險；因此，各國為確保電信網路服務安全防護，已日益加重對於外資參進市場的審查；美國聯邦政府跨部會成立外資(超過 10% 所有權)參進美國電信服務審查委員會，針對國家安全、執法、外交政策和貿易問題等方面進行審查；英國針對通信(營業額 5 千萬英鎊)等 17 項敏感經濟產業之企業和投資者的收購，必須通知英國政府進行審查；日本針對海外企業投資收購「資通訊網路」等 12 項「核心業種」採取強化管制措施外資收購(1% 以上)，需事前送審。

觀察案例國家均已對外資投資涉及國安的電信網路服務事業加強管制審查力度，以確保國家公眾通信系統及電信網路等關鍵基礎設施的安全性。本研究認為在「資安即國安」的戰略原則下，國內主管機關可借鏡先進國家作法，對於外資參與國內相關電信網路低軌衛星服務之許可申請，應進行跨部會國家級資通安全和公共利益等審查，確保國內低軌衛星及電信服務安全。整理各國電信(衛星)事業相關外資管制規定，如表 6 所示。

表 6、各國電信(衛星)事業相關外資管制規定

	美國	英國	日本	國內
法規依據	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1934 年「通訊法」第 310 條；</li> <li>● FCC Part 25.137</li> <li>● Executive Order 13913</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Wireless Telegraphy (WT) Act 2006</li> <li>● Wireless Telegraphy Act Licensing Policy Manual</li> <li>● Company Law</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 《電波法》第 5 條</li> <li>● 「外匯及外國貿易法」第 27 條及第 28 條</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電信管理法第 36 條</li> <li>● 公眾電信網路設置申請及審查辦法</li> </ul>
管制審查規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 境內公民、註冊之法人團體</li> <li>● 有外資比例限制。</li> <li>● 直接持股比例限制:20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 應於英國本島或海外屬地註冊登記之公司。</li> <li>● 無外資比例限制。</li> <li>● 外資對於衛星地面</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 不具備日本國籍者，或外國法人者，不得申請。</li> <li>● 外資持股不得超過 1/3 股權。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 董事長應具有中華民國國籍</li> <li>● 有外資比例限制</li> <li>● 直接持股比例限制:49%</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 直接及間接持股限制:25%</li> <li>● 另外資持股 10%以上之電信服務申請案須由「電信服務業外國參與審查委員會」審查。</li> </ul>	站等電信相關設施其營業額在 5000 萬英鎊以上的實體進行收購時，必須強制通知主管機關進行收購審查。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 外國投資者欲收購日本之資通訊相關企業股份 (1%以上)時，需事先向財政部及該企業相關主管部會部長申報。</li> </ul>	● 直接及間接持股比例限制:60%。
進入市場方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SpaceX 本國業者</li> <li>● OneWeb 依 FCC 25.137 市場准入方式進入美國市場。</li> </ul>	成立子公司	成立子公司	國內電信業者代理模式
優點	FCC 具裁量權，得依「公共利益」准駁外資上限，帶動市場投資。	藉由外資引進新技術、新觀念，促進投資。	設有過濾外資的機制，保護國內業者。	可保護國內業者
缺點	審查程序複雜，增加監理負擔	市場監理	外資比例限制，投資意願降低。	外資比例限制，投資意願降低。

資料來源：本研究整理

#### 4.1.2 低軌衛星業務授權與執照核發規定

為確保衛星頻率能合理、有效和經濟地利用，ITU《無線電規則》第 18.1 條規定：“任何電臺未經所屬國家政府或其代表以適當形式並符合無線規則核發的許可，個人或任何企業均不得設立(established)或運作(operated)發射電臺。”因此，各國主管機關透過核發衛星電臺執照，授予衛星業者使用頻譜的權利，同時也要求衛星業者承擔相應的義務。

##### ● 研究發現

###### ➤ 美國：

在美國有意將數據下行傳輸到(美國)地球電臺的商業衛星營運商，可採二種途徑獲取 FCC 授權，一是申請核發「美國太空電臺許可證(適用美國本土衛星業者，如 SpaceX)」；二是請求授予「非美國許可衛星向美國傳輸的市場准入(適用國外衛星業者，如 OneWeb)」。其中，美國對於本國衛星業者允許依 FCC Part §25.124 規定，以簡化的綜合執照(unified

license)方式，針對 10 GHz 以上運行的 GSO/NGSO 衛星系統及衛星電臺執照同時授權，加速衛星寬頻向公眾提供服務。另美國僅對已與其簽署《WTO 基礎電信協議(WTO Basic Telecom. Agreement)》並承諾開放衛星服務國家的衛星系統持開放政策，故國外衛星業者若要進入美國市場提供衛星服務，須按 FCC Part §25.137 及 FCC-01-322A 規定，提交太空電臺市場准入請願書(petition for market access)或地球電臺市場准入申請；FCC 將從公共利益角度，評估對美國競爭的影響、頻譜可用性、資格和操作（例如技術）要求以及考量國家安全、法律執法、外交政策和貿易問題等因素後，授予市場准入的許可。

➤ **英國：**

英國對於 NGSO 執照類型與申請資格，係根據《2006 年無線通信法 (Wireless Telegraphy Act 2006, WT Act)》核發的 NGSO FSS 衛星電臺執照[50]，主要分為二類：

1. 衛星(NGSO 地球電臺)執照(簡稱:NGSO GW 執照)，用以授權 NGSO 開道地面設備，須由控制 GW 地球電臺的人持有(如衛星業者或電信業者)，NGSO GW 執照須與已獲得網路執照的衛星系統一起運行；
2. 衛星(地球電臺網路)執照(簡稱:NGSO 網路執照)，用以授權 NGSO 用戶終端(user terminal)地球電臺設備，須由提供服務的衛星業者持有。

英國在 NGSO 執照申請審查流程，包括:執照申請、Ofcom 初審、公眾評論及 Ofcom 決定等步驟，如圖 17 所示。



圖 17、英國 NGSO FSS 衛星地球電臺執照申請核發流程

資料來源：Ofcom；本研究整理

Ofcom 對於 NGSO 執照申請審查著重於衛星業者的「干擾管理」(申請者須提供與未來衛星系統共存證明、干擾處理及協調協議等)和「競爭維護」(申請者須說明衛星系統為國民與企業帶來的好處及如何減輕競爭風險)。Ofcom 在發布授予任何 NGSO 許可申請之前，申請案將進行公眾評論徵求公眾意見，相關利益者可以提供有關於干擾或競爭影響的陳述資訊，Ofcom 將審酌公眾意見及申請者回應資訊，做出最後決定並公布執照授權結果。

英國對於 NGSO 執照要求與規定，「NGSO 網路執照」僅可使用規定頻率，並僅限與許可證附表中指定的 NGSO 衛星網路之間進行資料傳輸。持有「NGSO 網路執照」的實體應負責合作並應確保 GW 可以共存和運行，而不會對其他衛星系統造成有害的無線干擾。其中，「NGSO GW 執照」僅能依執照附表中規定的發射類別、頻率、功率、天線類型、及功率譜密度不超過附表規定，且 GW 衛星電臺僅在指定地點運行(location specified)。另 NGSO 被許可人須與在相同頻率上運行的其他 NGSO 被許

可人合作共存；而不會對彼此造成有害的無線電干擾。當 NGSO 系統之間的干擾而影響英國用戶服務降級情形，Ofcom 有權要求營運商採取行動，並透過通知指示(notice instruct)要求被許可方停止或更改特定設備或特定無線電頻率的使用，以確保消費者權益。

➤ 日本:

另日本對於 NGSO 執照類型與申請資格方面，日本 NGSO 衛星終端設備，依衛星軌道高度分為：「Ku 頻段攜帶移動地球站 (NGSO) (高度 500km)」及「Ku 頻段攜帶移動地球站 (NGSO) (高度 1200km)」；因二者皆屬《認證規則》規定的特定無線電設備，故可依合格標誌（技術適用性標誌）表明其符合電波法的技術標準，並能以較簡化的方式申請「綜合許可執照(包括免許)」電臺執照。日本衛星設備電臺執照申請流程，如圖 18 所示。

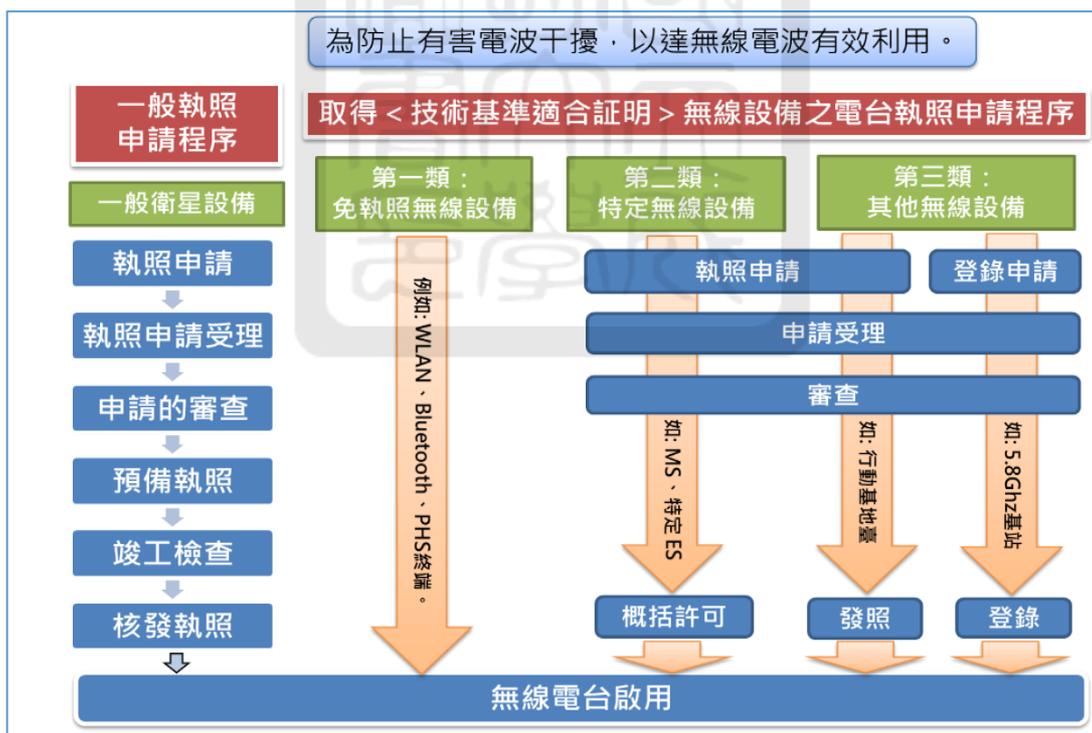


圖 18、日本無線設備電臺執照申請流程

資料來源：日本總務省；本研究整理

## ➤ 台灣:

在國內方面，由於商用低軌衛星屬於使用資源之衛星固定通信網路，故依電信管理法規定，設置者需先取得數位發展部(MODA)核發頻率，並經通傳會(NCC)核准其營運計畫及網路設置計畫後始得設置網路。同時，網路設置完成後再經 NCC 審驗合格後始得提供服務(使用)。國內低軌衛星網路設置流程，如圖 19 所示：

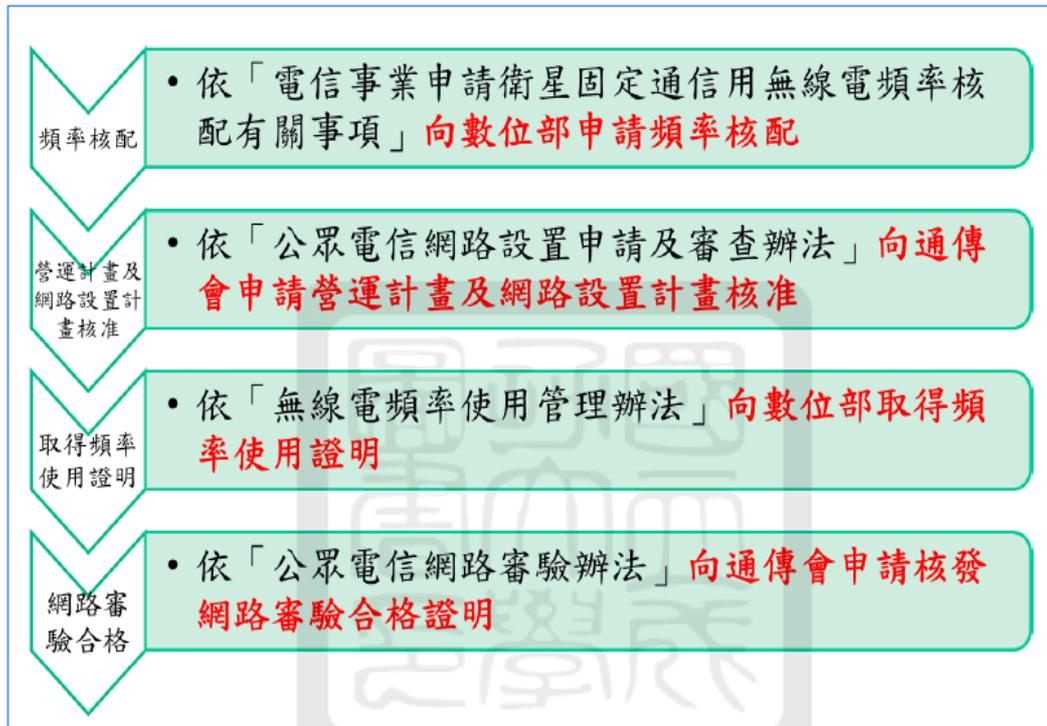


圖 19、國內低軌衛星網路設置流程

資料來源：NCC

國內衛星業者於設置衛星地球電臺前，應檢具相關資料(頻率使用證明影本、設置申請表、電臺設置時程規劃、器材廠牌型號技術規格數量、電臺設置切結書等)向主管機關申請設置，經審查核准後發給設置核准證明，始得設置；當衛星地球電臺設置完成後，須申請審驗；項目包括：

1. 一般審驗項目(電臺地址登載、設置環境場域、設備型式、天線結構、工程日誌、遠端控制、電力備援、責任分界點等)及

- 技術審驗項目(發射接收頻率、發射功率、HPA 輸出功率、天線發射角度、發射功率 EIRP 限制、發射限制、混附波發射等)，以確保電臺間不會互相干擾及維護衛星地球電臺訊號品質。經主管機關審驗合格後將發給電臺執照，衛星業者始得使用。

## ● 比較分析

各國主管機關為確保衛星頻率能合理、有效和經濟地利用，各國主管機關均透過核發衛星電臺執照，授予衛星業者使用頻譜權利，如圖 20 所示。

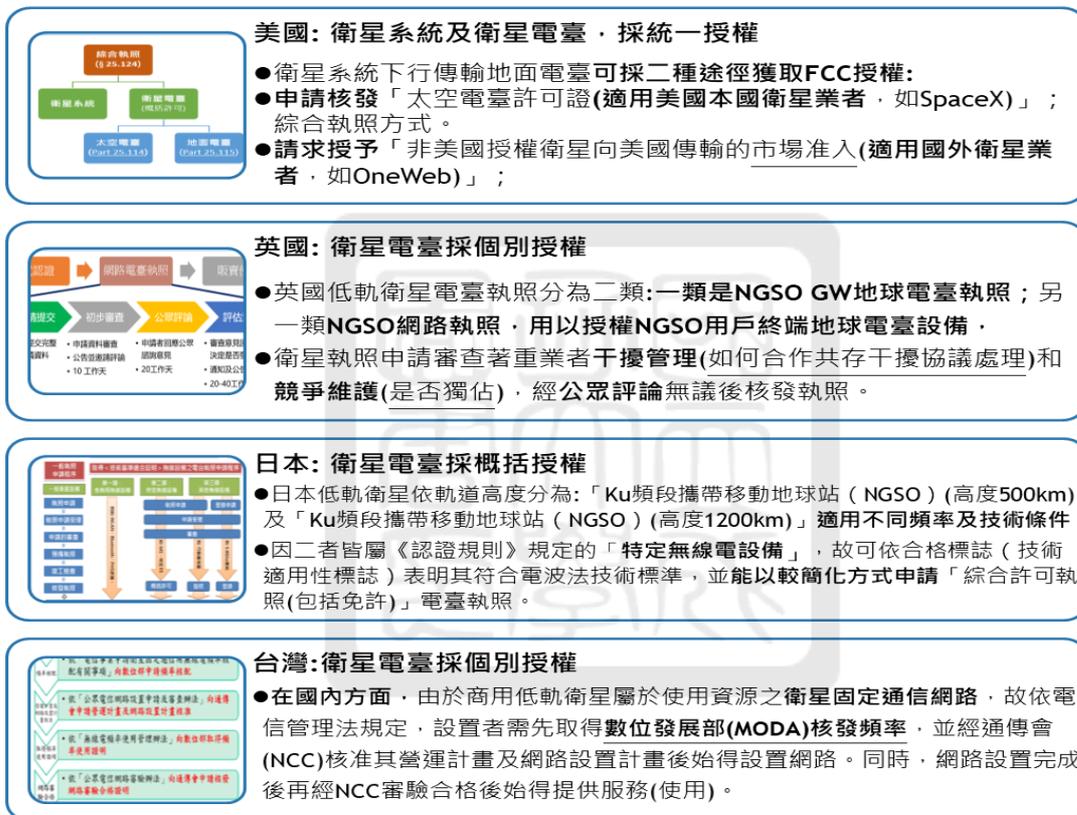


圖 20、各國低軌衛星業務授權與執照核發規定

資料來源：本研究整理

比較分析發現，美日對於低軌衛星業務及衛星電臺執照授予，係採統一概括授權方式，以加速衛星寬頻向公眾提供服務；其中，美國對於外國衛星業者(如: OneWeb)進入本國市場，將另就公共利益、競爭影響、頻譜可用性、外交貿易及國家安全等綜合因素考量，授予外國衛星業者市場准入的許可。英國與

台灣均採個別授權方式；其中，台灣較重視衛星業者事前的營運計畫及網路設置計畫審查，業者在申請使用衛星頻譜前，須提交無線電頻率使用規劃書(含干擾評估及頻率干擾處理)及申請文件(包括業者協議文件等)，當衛星電臺設置完成時須經 NCC 審驗合格後始得提供服務。

而英國事前及事後管制並重，在核發 NGSO 執照前，將就申請者進行干擾共存(如何與其他衛星業者合作共存、干擾協議處理)、競爭影響(是否有技術限制競爭情形)及預設站點(禁區保護及 HIRF 要求)審查，並經公眾評論無議後才核發執照，同時在衛星電臺執照將附註相關技術條件與使用限制，被許可人有責任符合執照要求。另在事後若有干擾事件導致用戶服務降級時，將採取通知指導方式要求業者改正、或停止設備、或頻率使用等矯正措施。整理各國低軌衛星業務授權與執照核發規定，如表 7 所示。

表 7、各國低軌衛星業務授權與執照核發規定

	美國	英國	日本	國內
法規依據	47CFR Part 25.121、Part 25.124、Part 25.137	Wireless Telegraphy Act 2006, WT Act	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 《電波法》第 27-2 條</li> <li>● 《無線設備規則》</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電信管理法</li> <li>● 「電信事業申請衛星固定通信用無線電頻率核配有關事項」</li> <li>● 「受理電信事業申請核配衛星固定通信用無線電頻率審查作業要點」</li> <li>● 衛星地球電臺設置使用管理辦法</li> <li>● 衛星地球電臺審驗技術規範</li> </ul>
申請資格	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 境內公民、註冊之法人團體</li> <li>● 有外資比例限制。</li> </ul>	應於英國本島或海外屬地註冊之公司。	採負面表列，無日本國籍者，或為外國法人者，不得申請。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 董事長應具有中華民國國籍</li> <li>● 有外資比例限制</li> </ul>
應備文件	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 公司基本資料</li> <li>● 衛星系統資料(具備 ITU 許可等)</li> <li>● 地面站技術細節(位置、天線)</li> <li>● 服務類型(預估終端設備數量、啟動時程規劃)</li> <li>● 其他能力證明文件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 公司基本資料</li> <li>● 地面站臺技術資訊</li> <li>● 技術細節</li> <li>● 自主承諾聲明</li> <li>● ITU 許可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 公司基本資料</li> <li>● 衛星系統資料(申請目的、使用時間等)</li> <li>● 衛星電臺資訊</li> <li>● 地球電臺資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 公司基本資料</li> <li>● 申請頻率(衛星類型、饋線及服務鏈路)</li> <li>● 相關資格證明文件(電信事業登記證明影本、董事長國籍證明等)</li> <li>● 使用衛星系統權利合約書或與國外衛星機構合作協議文件</li> <li>● 衛星系統在 ITU 登錄許可</li> <li>● 與既有行動寬頻業者之協議文件</li> </ul>
釋出方式	審議制	審議制	審議制	審議制

<b>執照效期</b>	● 衛星電臺執照期限 15 年	● 衛星電臺執照期限 1 年	● 衛星地球電臺執照期限 5 年	● 頻率使用期限:2 年 ● 衛星電臺執照效期 5 年
<b>執照內容</b>	● 授權頻段與範圍 ● 持有者基本資料 ● 制定干擾保護規範 ● 保護區列表	● 授權頻段與範圍 (不核配特定頻率範圍) ● 制定干擾保護規範 ● 保護區列表	● 授權頻段與範圍 ● 設備類型 ● 天線功率 ● 允許運行時間	● 電臺名稱。 ● 電臺設置地點、車牌號碼、航空器名稱或船舶名稱。 ● 設置者名稱。 ● 頻率及頻寬。 ● 發射機廠牌型號序號、發射功率。 ● 天線廠牌、型號。 ● 有效期間。 ● 衛星名稱、轉頻器編號。

資料來源: 本研究整理

### 4.1.3 低軌衛星電臺設置使用管理

國際衛星業務持續成長，對於頻譜需求殷切，ITU 為充分運用頻譜資源，在許多情況下將頻段以共同主要方式(co-primary)分配不同的服務共用；例如，在 27.5-29.5GHz 頻段劃分中，ITU 將固定衛星服務(FSS)、地面固定服務(FS)、地面行動服務(MS)並列共同主要業務，享有相同頻率使用權限、允許頻率共用。因此，各國主管機關要求 NGSO FSS 業者必須共同協調授權頻率的使用，以實現衛星頻譜共用，對於衛星電臺的設置運用也採技術限制或設置地理保護區等措施，以防止和避免不同業務間的危害干擾；同時，隨著衛星製造和地球電臺技術不斷演進，飛機、船舶和陸地車輛等移動平臺對於衛星寬頻服務的需求不斷增長，歐美先進國家陸續開放用於 GSO/NGSO 移動式衛星地球電臺(ESIM)的頻譜，並採取相關措施以擴大 ESIM 的部署和使用，促進衛星技術的創新和靈活使用。

#### ● 研究發現

##### ➤ 美國:

美國 FCC 對於 SpaceX 移動式衛星電臺(ESIM)運作使用，採取若干運作管理措施，包括:

### **1. 衛星電臺不得干擾亦須忍受授權頻段內干擾**

FCC 對運作在 12GHz 的 ESIM 授權是在不受保護基礎上授予的。因此，SpaceX 的 ESIM 操作必須忍受授權頻段內的任何干擾，也不得對任何授權服務造成有害干擾；

### **2. 衛星電臺須具自我監測及受 NCMC 控監測能力**

FCC 為確保用戶終端的移動不會導致其無意地(inadvertently)超出干擾保護限制，要求每個 FSS ESIMs 應具有自我監視能力(當出現可能導致 GSO FSS ESIMs 超過離軸(off-axis)EIRP 密度限制值時，或當 NGSO FSS ESIMs 超過任何發射限制值時，ESIM 必須在 100 毫秒內自動停止傳輸，以及每個 FSS ESIM 亦應受位於美國境內的網路控制和監控中心(NCMC) 監視與控制當出現可能導致 NGSO FSS ESIMs 超過任何發射限制值時，NCMC 下達關閉傳輸指令後，ESIM 必須在收到指令的 100 毫秒內自動停止傳輸。

### **3. 業者須於美國境內設立 24/7 聯絡點**

對於所有車載式(VMES)、航載(ESAA)及船載(VMES)等 ESIM 衛星電臺的操作，SpaceX 必須保持有每週 7 天和每天 24 小時可用的美國聯絡點(U.S. point of contact)，並有權力與能力停止 ESIM 的所有發射。

### **4. ESIM 須由專業人員安裝**

ESIM 執照持有者必須確保由合格的安裝人員在車輛上安裝 ESIM 終端，該安裝人員了解天線的輻射環境，並採取最大限度與適合的措施保護公眾、操作車輛與相關人員的安全。

### **5. 消費資訊揭露**

FCC 要求 SpaceX 必須向客戶披露其 ESIM 服務是在未受保護下提供的，以便他們的客戶了解沒有干擾保護的期望。同時 SpaceX 也

必須在其網站、宣傳資料和其他消費者通知方式中披露其 ESIM 產品的未受保護狀態。

## 6. 於特定保護區設置電臺，須事先申請

FCC 為保護國家重要基建設施減少有害干擾，在指定區域設有「協調保護區」，要求操作於 14.0 ~ 14.2 GHz 頻段的 ESIMs (ESVs 與 VMESs；地球對太空) 若在特定協調區(如:太空總署)的 125 公里範圍內，須事先與國家電信和資訊管理局 (NTIA) 進行協調(如發射功率、發射角度等)，持照者完成協調後須通知 FCC 國際局，經公告無反對意見後才可於協調區中運作。

### ➤ 英國：

英國 Ofcom 於 2020 年 11 月核發 Starlink 網路地球電臺執照及 2021 年 8 月核發 GW 地球電臺執照，授權 SpaceX 使用分配給 FSS 業務的衛星頻段，用以提供多種類型衛星服務，為消費者、企業、電信公司和政府以及物聯網提供寬頻服務。Ofcom 對 SpaceX 衛星地球電臺的設置使用採取若干管理措施，包括：

#### 1. NGSO 衛星頻譜採共用共存原則授權

Ofcom 授權的無線電頻率必須與其他授權的 NGSO 衛星系統共同使用(used in common)。被許可方亦應與所有 NGSO 被許可方合作(cooperate)，以使每個衛星系統(包括衛星、地球站和用戶終端)能夠在英國共存(co-exist)和運行，而不會對彼此造成有害的無線電干擾，以能為最終用戶(end users)提供網路服務。

#### 2. 業者須詳實紀錄用戶終端運行狀況(固定位置地點、運具安裝及路線資訊)

被許可方應記錄(keep a record)網路中所有終端的運行特性，包括：固定裝設的位置，或對於移動運行(mobile operation)之安裝終端的車輛、飛機、船舶或火車的詳細資訊，以及 Ofcom 出於執法目的

(enforcement purposes)可能希望知悉的相關路線或規定的營運區域等資訊。

### **3. 用戶終端地球電臺能力要求**

無線電設備應在終端實現獨立的本地控制和監控功能(自主控制)，並由網路控制和監控中心授權、監督和管理；被許可方應具有關閉個別終端(disable individual terminal)傳輸的功能；

### **4. GW 地球電臺使用限制**

GW 許可證授權的無線電頻率只能用於與根據 Ofcom 授予之衛星(地球電臺網路)無線電許可證授權傳輸的衛星系統通信。同時，GW 地球電臺設置前須先進行國內干擾協調和設站地點清查(site clearance)後，才能在指定位置(specified location)運行。

### **5. 業者於英國境內指定之中控衛星地球電臺須通報 Ofcom 備查(GW 須落地理由)**

對於以網格(MESH)配置的衛星網路，網路營運商必須指定(nominate)並通知(notify) Ofcom 其在英國具有獨立集中控制和監控功能的地球電臺，該電臺並具有抑制網路內任何地球電臺傳輸的能力。對於能夠動態分配(dynamic assignment)為點對多點(p2mp)和點對點(p2p)配置的衛星地球電臺，只能被授權(be licensed)作為永久地球電臺(permanent earth stations, PES)。

### **6. FSS 無線設備於位置改變前須先終止發射**

固定衛星業務(FSS)中的無線電設備所有傳輸必須在任何位置改變之前終止(terminated)；除非用於傳輸的設備是為移動操作(mobile operation)而設計的，並且包含一個穩定的平台(stabilised platform)；或 Ofcom 授權的特定豁免下運作；

**7. 網路地球電臺使用地點限制規定，保護區將依距離分段功率限制**  
在 14.0 - 14.25 GHz (含) 頻率範圍內發射的電臺不得在附表規定的兩個地理位置小於或等於 5 公里的任何位置運行，除非事先得到 Ofcom 同意和註冊許可證的電臺；使用 e.i.r.p. 傳輸的電臺；在 14.0-14.25 GHz (含) 頻率範圍內；大於 50 dBW 且小於 55 dBW ( $50 \text{ dBW} < \text{e.i.r.p.} < 55 \text{ dBW}$ )，未經 Ofcom 事先同意並根據許可證進行電台註冊，不得在附表指定的兩個地理位置大於 5 公里且小於或等於 7 公里的任何地點運作；另未經民航局(CAA)或機場管理局(Airport Authority)的事先同意，地球電臺不得在附表指定的任何機場內運行。

**8. SpaceX 移動式衛星電臺(ESIM)使用規定**

設立或安裝在車輛、飛機、船舶或火車的衛星無線電設備應由機組人員啟用，並在網路控制設施(network control facility, NCF)的操作控制下才能進行發射。無線電設備應為機組人員提供一種可立即終止發射的方法；同時，無線電設備的發射亦應在相關衛星下行鏈路信號遺失、或訊號顯著惡化時自動終止(terminated)；

**9. ESAA 電臺設備須另符合 CAA 要求**

對於安裝在飛機上的無線電設備，持證人須遵守民航局 (CAA) 的適航要求和規定。

➤ **日本:**

日本總務省(MIC)對於 Ku 頻段 NGSO 系統之衛星地球電臺設備(ES)規管，要求須遵循《無線設備規則》第 49-23-5 條、第 49-23-6 條規定，並符合衛星地球電臺設備一般性規定及滿足下列必要功能，包括：

1. 用戶終端設備天線只能自動捕捉和追蹤與自己通信的人造衛星電臺，如果人造衛星電臺不能自動捕捉和追蹤，應具有立即停止發射無線電波的功能。
2. 具僅接收到饋線鏈路地球站發射的控制信號時，才開始發射功能。
3. 具有在饋線鏈路地球站控制下，停止發射無線電波的功能。
4. 發射的頻率和功率應由饋線鏈路地球站發射的控制信號自動設置。
5. 具有自我故障檢測的功能，以及具有在檢測到故障以及饋線鏈路地球站發射的信號不能正常接收時，自動停止發射的功能。
6. 應採取措施防止干擾其他無線電臺運作，例如具有測量位置資訊並將其發送到饋線鏈路地球站的功能。
7. 收發機外殼無法輕易打開的功能。

➤ 台灣:

國內對於衛星地球電臺設置使用管理，主要依據「衛星地球電臺設置使用管理辦法」。NCC 為因應國際低軌衛星通信發展趨勢及衛星通信技術應用載具之多樣化發展，國內衛星地球電臺之建設與監理法遵應與時並進，於 2022 年 7 月公告「衛星地球電臺設置使用管理辦法」部分條文修正草案[51]。同時，NCC 有鑑於國內公眾電信網路設置者已有使用天線直徑小於三公尺之衛星地球電臺作為衛星通信網路之主控站或閘道器 (Gateway)，為利衛星地球電臺建設與公眾電信網路監理之一致性，取消原「設置天線直徑小於三公尺之衛星地球電臺由設置者自主管理方式(免除頻率指配、設置核准證明、審驗及核發執照程序；僅須向主管機關登錄電臺資料後，即得逕行使用)」，變更修正為「設置者使用天線直徑小於三公尺之衛星地球電臺並同一般衛星地球電臺納入審驗規定」；同時新修正草案亦取消原天線直徑為三公尺以下者得免具遠端控制運作。因此，國內所有固定衛星地球電臺之運作，符合下列四種情形之設置者，得採遠端控制，包括：

1. 已採取適當措施防止他人任意進入或使用固定地球電臺。
2. 負責運作之高級電信工程人員可隨時迅速到達固定地球電臺現場做必要之處置。
3. 遠端控制站應可監測及控制固定地球電臺之運作。
4. 固定地球電臺經檢測或通知有干擾合法通信時，遠端控制站可立刻停止固定地球電臺之發射作業。

## ● 比較分析

隨著國際多家低軌衛星系統業者積極布建衛星網路，各國主管機關均要求 NGSO FSS 業者須共同協調授權頻率的使用，以防止和避免不同業務間的危害干擾；對於衛星地球電臺設置使用採取系列管制措施，如圖 21 所示。



圖 21、各國低軌衛星電臺設置使用管理

資料來源：本研究整理

比較分析發現，歐美國家衛星事業發展領先，對於衛星電臺設置使用管理較為完善；本研究依衛星電臺設備使用管理、電臺運作控制管理、電臺設置地點管理、電臺安裝及其他管理要求，分析說明如下：

在低軌衛星電臺設備使用管理，美國要求衛星電臺須具自我監測及受 NCMC 控監測能力，當超出干擾保護限制，須在 100 毫秒內自動停止傳送；英國亦要求衛星電臺應具有獨立的自主控制和監控能力，並受網管中心(NCF)監督管理；另日本亦要求衛星電臺須具有自我故障檢測的功能，以及當檢測到故障或饋線鏈路地球站發射信號不能正常接收時，須自動停止發射的功能。

在低軌衛星電臺運作控制管理，FCC 要求業者須於美國境內設立衛星電臺 24/7 聯絡點；英國則要求業者在英國境內指定設置的中控衛星地球電臺須通報 Ofcom 備查，當電臺異常時能立即停止所有發射。日本則要求電臺應由饋線鏈路地球站發射的控制信號自動設置。

在低軌衛星電臺設置地點管理，FCC 為保護國家重要基建設施減少有害干擾在特定區域設有「協調保護區」，若衛星電臺在特定協調區 125 公里範圍內，須事先與 NTIA 進行協調(如發射功率、角度等)，完成協調後須通知 FCC 國際局，經公告無反對意見後才可於協調區中運作。英國則要求業者須詳實紀錄用戶終端運行狀況(固定位置地點、運具(車船飛機等)安裝及運行路線資訊)，對於特定區域設有使用地點限制，另英國 Ofcom 根據不同保護區屬性依地理位置距離規定不同發射功率限制。同時未經英國民航局或機場管理局的事先同意，地球電臺不得在執照附表指定的任何機場內運作。

另在低軌衛星電臺安裝及其他管理要求，英美要求 ESIM 電臺須由專業人員安裝，並採取最大限度與適合的措施保護公眾及操作人員的安全，以及向用戶披露 ESIM 服務是在未受干擾保護下提供的。同時，英國對於衛星傳輸服務品質下降時將介入並採取矯正措施，以及要求衛星電臺須符合高強度輻射場 (HIRF)標準，以保護飛航系統安全等。

隨著國際多家低軌衛星系統業者陸續布建衛星網路，即將進入國內市場提供多種類型衛星服務，而歐美國家有關衛星地球電臺設置使用的管理措施，值得國內未來開放低軌衛星服務參考引用。另國內新修法案已將使用天

線直徑小於三公尺之(GW)衛星地球電臺納入審驗機制規定(要求具遠端控制能力)。然而對於使用「天線直徑為三公尺以下之用戶終端衛星地球電臺」是否也需一併納入審驗，未來仍須進一步釐清適用性。研究整理各國低軌衛星電臺設置使用規定，如表 8 所示。

表 8、各國低軌衛星電臺設置使用規定

	美國	英國	日本	國內
法規依據	47 CFR Part 25.228	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wireless Telegraphy (WT) Act 2006</li> <li>Licensing procedures manual for satellite (NGSO Earth Station) applications</li> </ul>	《無線設備規則》第 49-23-5 條、第 49-23-6 條規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星地球電臺設置使用管理辦法</li> <li>衛星地球電臺審驗技術規範</li> </ul>
衛星電臺使用規定	<ul style="list-style-type: none"> <li>電臺須具自我監測及受 MCNC 控監測能力。超過任何發射限制值時，ESIM 必須在 100 毫秒內自動停止傳輸。</li> <li>ESIMs 持照者必須使用全球定位相關衛星(GPS-related)或類似定位技術。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星電臺設置運作前，須先進行國內協調及站點協商。</li> <li>於衛星電臺執照中註記用戶終端使用地點限制，並於保護區內依不同距離範圍(&lt;5km；5km&lt;ES&lt;7km)設定功率大小限制。</li> <li>FSS 設備在任何位置地點改變前，須先終止發射。(ESIM 除外)</li> <li>業者須詳實紀錄用戶終端運行狀況(如:固定位置地點、運具安裝及路線資訊等)</li> <li>無線電設備應在終端實現獨立的本地控制和監控功能(自主控制)，並由網路控制和監控中心授權、監督和管理；</li> <li>被許可方應具有關閉個別終端)傳輸的功能。</li> <li>GW 電臺的無線電頻率只能用於與 Ofcom 授予之衛星(地球站網絡)無線電許可證授權傳輸的衛星系統通信。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>用戶終端設備天線只能自動捕捉和追蹤與自己通信的人造衛星電臺，如果人造衛星電臺不能自動捕捉和追蹤，應具有立即停止發射無線電波的功能。</li> <li>具備僅接收到饋線鏈路地球站發射的控制信號時，才開始發射功能。</li> <li>具有在饋線鏈路地球站控制下，停止發射無線電波的功能。</li> <li>具有自我故障檢測的功能，以及具有在檢測到故障以及饋線鏈路地球站發射的信號不能正常接收時，自動停止發射的功能。</li> <li>應採取措施防止干擾其他無線電臺運作，例如具有測量位置資訊並將其發送到饋線鏈路地球站的功能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置者使用天線直徑小於三公尺之衛星地球電臺納入審驗機制規定。</li> <li>審驗包括: 一般審驗項目(電臺地址登載、設置環境場域、設備型式、天線結構、遠端控制點等)及技術審驗項目(發射接收頻率、發射功率、輸出功率、天線發射角度、發射功率 EIRP 限制、混附波發射等)。</li> <li>固定衛星地球電臺經由衛星系統發射信號至國外或接收國外信號之路由，設置者應報請主管機關核准。</li> </ul>

設立 聯絡 窗口 控制 中心	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 美國境內須設立 24/7 聯絡點；並有權力與能力停止 ESIM 的所有發射。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 英國要求業者須將位於境內指定的中控衛星地球電臺通報 Ofcom 備查。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 發射的頻率和功率應由饋線鏈路地球站發射的控制信號自動設置。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 遠端控制站應可監測及控制電臺之運作。</li> <li>● 電臺經檢測或通知有干擾合法通信時，遠端控制站可立刻停止電臺之發射作業。</li> </ul>
專業 人員 安裝	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESIM 電臺須由專業人員安裝。並採取最大限度與適合的措施保護公眾、操作車輛與相關人員的安全。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設立或安裝在車輛、飛機、船舶或火車的衛星無線電設備應由機組人員啟用，並在網路控制設施(NCF)的操作控制下才能進行發射。信號丟失或顯著惡化時須自動終止發射。</li> </ul>	參用歐盟標準	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設置者應遵用電臺工程人員負責及監督衛星地球電臺之施工、維護及運用，並於工程日誌認可簽署。</li> </ul>
用戶 權益 維護	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 透過網站、宣傳資料和其他消費者通知方式中披露其 ESIM 產品的未受保護狀態。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 衛星傳輸服務品質下降時，Ofcom 將介入並採取矯正措施。</li> <li>● Ofcom 將透過通知指示要求被許可方停止或更改特定設備或特定無線電頻率的使用，並按照 Ofcom 通知的條款和條件進行操作。</li> </ul>	無特別規定	無特別規定
其他 要求	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 於特定協調保護區的 125 公里範圍內設置衛星電臺，須事先申請並進行協調。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESAA 設備須另符合 CAA 要求</li> <li>● 未經民航局(CAA)或機場管理局的事先同意，(地球)電臺不得在執照附件指定的任何機場運行。</li> <li>● 遵守 ECC 第 272 號報告有關 HIRF 規定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 收發機外殼無法輕易打開的功能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 固定衛星地球電臺設置，不得違反飛航安全標準及營建法規。</li> <li>● 固定衛星地球電臺涉及建築物或設置處所結構安全、消防安全及基地使用權等事項者，其設置者應依建築法、消防法及其他相關法令規定辦理。</li> </ul>

資料來源: 本研究整理

#### 4.1.4 低軌衛星干擾協調管理

隨著低軌衛星產業的快速發展，對於頻譜需求不斷增長，然而無線電頻率是有限的自然資源，在頻譜資源緊縮的情形下，低軌衛星 NGSO FSS 系統

須與其它 GSO FSS、GSO BSS 以及地面系統共用頻譜；同時 ITU 也規定 NGSO 衛星系統不得對 GSO 衛星系統的衛星固定業務(FSS)和衛星廣播業務(BSS)造成不可接受的干擾。因此在有限可用的頻率資源下，低軌衛星系統可能透過干擾緩解技術提升頻譜效率，以及透過干擾協調監理措施，減輕因頻譜緊縮引起的系統間干擾(inter-system interference)，如圖 22 所示。

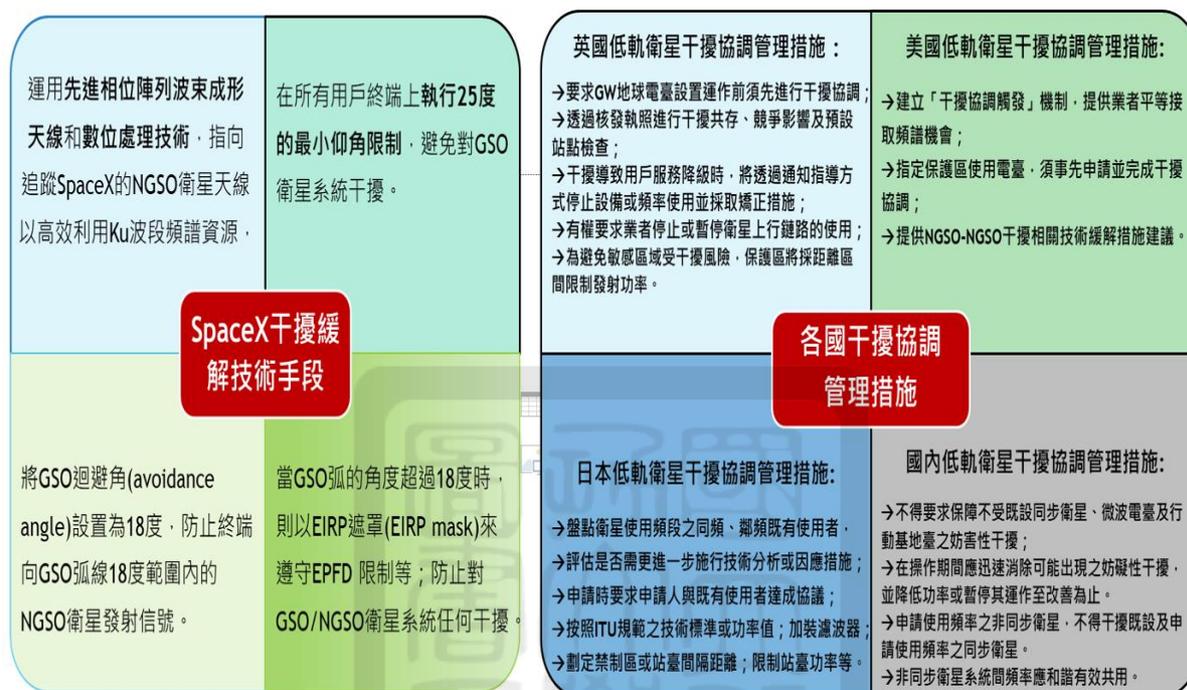


圖 22、各國低軌衛星干擾協調管理

資料來源：本研究整理

在干擾緩解技術方面，美國低軌衛星業者 SpaceX 運用先進相位陣列波束成形天線(phased-array beamforming)和數位處理技術，指向追蹤 SpaceX 的 NGSO 衛星天線，以高效利用 Ku 波段頻譜資源，同時在所有用戶終端上執行 25 度的最小仰角限制，以及將 GSO 迴避角(avoidance angle)設置為 18 度，並以 EIRP 遮罩(EIRP mask)來遵守 EPFD 限制。其中，最小仰角和 GSO 迴避角限制終端對 GSO 的干擾幾何，防止終端向 GSO 弧線 18 度範圍內的 NGSO 衛星發射信號。另當終端向 NGSO 衛星發射而 GSO 弧的角度超過 18 度時，則 EIRP 遮罩將限制從終端向 GSO 衛星發射的功率譜密度，以避免對 GSO 衛星的任何干擾。

在干擾協調管理方面，則需要透過各國監理機關基於頻譜資源管理維護公眾利益的執照條件及監理措施進行適當干預，以能和諧共用頻譜資源。針對各國低軌衛星干擾協調管理的研究發現，說明如下：

## ● 研究發現

### ➤ 美國：

美國 FCC 鑑於低軌衛星通信市場快速增長，為評估和管理非地球靜止衛星軌道 (NGSO) 系統共存，FCC 技術諮詢委員會(Technological Advisory Council ,TAC)運用風險知情干擾評估方法 (Risk-Informed Interference Assessment, RIIA)盤點 NGSO-NGSO 干擾潛在來源、量化干擾危害影響程度、計算干擾危害的可能後果，並匯總評估結果提出相應系統共存與緩解機制，提供 FCC 制訂管理規則及相關衛星業者應用參考。同時，FCC 也對低軌衛星干擾協調採取若干管理措施，包括：

#### 1. 建立「干擾協調觸發」機制，提供業者平等接取頻譜機會。

FCC 為確保多個 NGSO FSS 系統之間能和諧共享頻段，避免在線干擾事件(In-line event)，要求 NGSO FSS 營運商必須善意地 (good faith)協調共同授權頻率的使用，以實現衛星頻譜共享。如果業者間進行的協調沒有解決方案或善意協調不成功，FCC 將進行干預並運用「干擾協調觸發 (Coordination triggers)」機制，在受干擾鏈路的  $\Delta T/T$  超過 6%時，FCC 將依預設程序進行頻段分割。雙方只能使用一半的頻寬，以有效為兩個 NGSO 系統提供平等接取頻譜(equal access to spectrum)的地位[52]。 $\Delta T/T$  係干擾引起的接收機系統噪聲溫度(system noise temperature)變化情形，其中  $\Delta T$  是受干擾(受害)接收機處等效熱噪聲溫度(equivalent thermal noise temperature)因干擾而增加， $T$  是受害接收機的噪聲溫度。ITU 將其作為 FSS 系統間共同主要衛星服務是否需進行協調的觸發機制，當  $\Delta T/T > 6\%$ 時，可能存在潛在干擾即須進行協調；

## 2. 指定保護區使用電臺，須事先申請並完成干擾協調

FCC 為保護國家重要基建設施減少有害干擾，在特定區域設立「協調保護區」，要求操作於 14.0 ~ 14.2 GHz 頻段的 ESIMs (ESVs 與 VMESs；地球對太空) 在該特定協調區(如:太空總署)的 125 公里範圍內，須事先與國家電信和資訊管理局 (NTIA) 進行協調(如發射功率、發射角度等)，持照者完成協調後須通知 FCC 國際局，經公告無異議後才可於協調區中運作。

## 3. NGSO-NGSO 干擾的相關技術緩解措施

為減輕或預防衛星系統之間因波束對準可能發生的有害干擾，FCC TAC 建議 NGSO-NGSO 干擾可採取的技術緩解措施，包括：

- 利用衛星分集(Leverage Satellite Diversity): 星業者間透過協商協議，交換衛星軌道位置並將流量移交給避免波束對準的衛星，進而避免干擾風險。
- 地理上分離用戶(Separate users geographically): 地球站位置充分隔離下，可控波束(Steerable beams)將可避免下行鏈路和上行鏈路共線對準事件。
- 使用自適應鏈接(Employ adaptive links): 運用功率控制和自適應編碼(adaptive coding)等機制部分補償增加的干擾。
- 降低上行 EIRP (Reduce uplink EIRP): 藉由減少上行鏈路的 EIRP 緩解低/高系統因使用不同功率水平而造成的不對稱干擾。
- 協調一致的傳輸通道(Align communication channels): 衛星業者協調一致的通道選擇或將通道邊界對齊到某個公共最小寬度的整數倍，以避免因通道重疊而發生干擾。

### ➤ 英國:

英國於 2003 年《通信法(Communications Act 2003)》確立藉由推動競爭和確保無線電頻譜的最佳使用，來促進公民和消費者利益的總體目標。並在 2006 年《無線電報法》中，闡述其頻譜管理的主要目標是實現無

線電頻譜稀缺資源的最佳(和有效)使用,並促進競爭。隨著新興 NGSO 系統的到來,許多大型企業競相加入在低衛星軌道上建立自己的大型星座以擴展其網路。為此,英國於 2021 年 7 月 26 日公告新的 NGSO 系統網路電臺執照管理規則,並對低軌衛星的干擾協調採取若干管理措施:

### **1. 要求 GW 地球電臺設置運作前須先進行干擾協調**

由於 GW 衛星地球電臺使用的頻率是與其他被許可人共用,因此 Ofcom 要求 GW 地球電臺設置前,須先與其他被許可人進行干擾協調,並達成合作以確保共存而不造成有害干擾。

### **2. 透過衛星電臺執照核發,進行干擾共存、競爭影響及預設站點檢查**

英國為確保低軌衛星系統的服務品質,對於 NGSO 衛星系統的授權,除要求持照者應與所有 NGSO 持照者合作(cooperate),以使每個衛星系統(包括衛星、地球站和用戶終端)能夠在英國共存(co-exist)運行,而不會對彼此造成有害的無線電干擾外,並在執照審查中引入干擾共存、競爭影響及預設站點的檢查,包括:

- 在干擾管理方面,Ofcom 在核發執照過程中,要求申請人須證明其衛星網路能與其它授權系統可以共存;或提交與相關執照持有人達成協議證明,確保消費服務不會降級;以及如何與未來系統共存,以避免在英國的服務出現實質性的退化。
- 在競爭管理方面,Ofcom 在核發執照中,將檢查申請人開道或用戶終端電臺是否會能對未來的後進業者造成技術限制。同時,申請人應說明其系統與未來網路共存的靈活性。包括:如果將來出現另一個網路時他們能夠採取的措施和這些措施的預期效益,以及打算如何減輕任何的競爭風險等。此外,Ofcom 為避免可設 GW 的站點被人為獨佔而未實際部署的風險,要求被許可人必須在執照頒發之日起 12 個月內按照許可證的規定設

立、安裝和使用無線電設備進行常規的無線電傳輸，並在此後維持此類傳輸。

- 在預設站點管理方面，Ofcom 對於 GW 衛星電臺設置使用地點設有限制，包括在國防部站點和機場附近站點需要保護其免受地球站產生的高強度無線電輻射(HIRF)影響；因此 Ofcom 在受理 NGSO GW 執照申請時，將執行必要的無線電站點清查程序，確定是否可以保護這些敏感站點。同時，Ofcom 將保護敏感站點及相關條件包含在許可證中，被許可人有責任滿足這些條件。

### **3. 干擾導致用戶服務降級時，Ofcom 將透過通知指導方式，停止設備或頻率使用並採取矯正措施**

Ofcom 為確保英國用戶服務品質，當一家（或多家）NGSO 被許可在英國特定地區或位置(specific region or location)對其用戶提供的服務，存在實質性重大且反覆（或持續）的服務品質降級(例如：用戶終端的可用性、吞吐量和信噪比的退化)；而服務品質降級是由被許可方營運的地球電臺的無線電傳輸造成的；Ofcom 將透過通知指示(notice instruct)方式，要求被許可方停止或更改特定設備、或特定頻率的使用；業者在收到通知(notice)及在通知規定的期限內，須按照 Ofcom 通知的條款和條件進行操作，以避免此類的干擾並解決特定區域或位置對用戶的服務品質下降問題。

### **4. Ofcom 有權要求業者停止或暫停衛星上行鏈路的使用**

GW 電臺被許可人應遵守 Ofcom 依據英國 2006 年無線電報法(Wireless Telegraphy Act 2006)第 9A 節發出的任何通知(notice)規定；Ofcom 可要求被許可人在(可能)指定的日期之前停止或暫停(cease or suspend)通知所指定的任何服務之許可設備的上行鏈路。

### **5. 為避免敏感區域受干擾風險，保護區將採距離區間限制發射功率。**

為確保敏感區域免受干擾，Ofcom 要求在 14.0 - 14.25 GHz (含) 頻率範圍內發射的用戶終端電臺不得在執照附表規定的兩個地理位置小於或等於 5 公里的任何位置運行，除非事先得到 Ofcom 同意和執照註冊的電臺；以大於 50 dBW 且小於 55 dBW ( $50 \text{ dBW} < \text{e.i.r.p.} < 55 \text{ dBW}$ ) 傳輸的電臺，未經 Ofcom 事先同意和執照註冊的電臺，不得在執照附表指定的兩個地理位置大於 5 公里且小於或等於 7 公里的任何地點運作；未經民航局(CAA)或機場管理局 (Airport Authority)事先同意，用戶終端地球電臺不得在附表指定的任何機場內運行。

➤ **日本:**

日本總務省(MIC)認為 NGSO 衛星系統能為政府企業及消費者提供高可靠性、高速、大容量通信等各種服務。為此，總務省衛星通訊技術委員會先盤點衛星使用頻段之同頻、鄰頻既有使用者，在評估是否需更進一步施行技術分析或因應措施；其中，對於衛星干擾與共存評估方面，衛星通訊技術委員會參考 ITU 現行規範、其他國家評估方式以及日本國內使用狀況。評估是否需要施行進一步干擾分析，或按照 ITU 國際規範即可。並對於 Ku 頻段 NGSO 用戶終端地球電臺上行鏈路(14-14.5 GHz)可能對固定通信、行動通信服務使用 14.4-15.25 GHz 的潛在干擾提出施行建議，包括：地面電臺應透過業者間協調達成共存；航空器、船舶地球電臺則按照歐盟 PFD 規範與業者間協調達成和諧共存。另對於 Ka 頻段 NGSO 饋線鏈路地球電臺使用 27.5-29.1/ 29.5-30 GHz 可能對 5G 基地臺使用 27.5-29.5GHz 頻段的潛在干擾，提出將依日本電波法相關審查標準與規範，透過業者間協調達成和諧共存。另總務省衛星通訊技術委員會也對干擾與共存擬定因應措施的建議，包括：申請時要求申請人與既有使用者達成協議；按照 ITU 規範之技術標準或功率值；加裝濾波器；劃定禁制區或站臺間隔距離；限制站臺功率等建議。

## ➤ 台灣:

數位發展部(MODA)於 2022 年 11 月 8 日開放受理電信事業申請核配衛星固定通信用無線電頻率。MODA 對於事前的低軌衛星頻率申請之干擾評估及頻率干擾處理，主要依據「電信事業申請無線電頻率核配辦法」、「電信事業申請衛星固定通信用無線電頻率核配有關事項」及「電信事業申請衛星固定通信用無線電頻率審查作業要點」等規定進行審查。申請者須提交無線電頻率使用規劃書(含干擾評估及頻率干擾處理)等申請文件(包括業者協議文件等)資料備審，其中，在頻率使用規劃方面，申請者須說明衛星頻率的使用規劃，包括:1.服務鏈路及饋線鏈路之工作頻段、頻寬、最大發射功率、調變方式、空中介面規範；發射功率為可變者，應說明發射功率變化範圍及變化準則。2.固定衛星地球電臺包含船舶、航空器特性及預定設置位置及天線場形圖，並附有經緯度資訊之地形圖或電子地圖，標示電臺位置及作業方位角、作業仰角。

1. 在頻率使用之干擾評估方面，MODA 要求申請者須提出二項說明分析:一是依照 ITU 無線電規則及相關決議之最新要求，有關干擾協調之評估說明；二是維護既有使用者權益，不得干擾既設電臺，對既設電臺之干擾分析。
2. 在頻率使用之干擾處理方面，申請者亦須提出有關頻率干擾處理之規劃及程序，包括:
  - 在衛星通信系統具備及時消除干擾或暫停傳輸功能(含系統執行所需時間)之佐證文件，例如獲通報系統干擾其他既有使用者時，具備調整功率或消除干擾之機制。
  - 防止同鄰頻干擾之相關措施建置規劃(包含遵循 ITU 無線電規則第 22 條規範等)。
  - 為干擾保護之履行義務，提出與既有業者協調干擾處理之程序。

- 基於國際衛星干擾處理、和諧使用等原則，對於同步衛星與非同步衛星系統間之頻率，或非同步衛星系統間之頻率，提出其對應之相關規範或程序。
- 若干擾無法消除，或干擾持續發生時，主管機關得命其停止服務傳輸或調整至其他可使用頻段，申請人應規劃處理措施，例如提出服務中止或移頻。
- 說明解決干擾和緊急事件的聯絡資訊。

此外，對於已取得衛星「頻率使用核准函」之使用者，於技術可行下，應具有監測用戶端之衛星地球電臺，及即時關閉用戶端之衛星地球電臺傳輸之功能。同時，若使用之無線電頻率如有干擾發生時，應依下列原則處理：1.不得要求保障不受既設同步衛星、微波電臺及行動基地臺之妨害性干擾；在操作期間應迅速消除可能出現之妨礙性干擾，並降低功率或暫停其運作至改善為止。2.申請使用頻率之非同步衛星，不得干擾既設及申請使用頻率之同步衛星。3.非同步衛星系統間頻率應和諧有效共用。另「電信管理法」第 63 條亦訂有頻率干擾的處理原則：經核配之無線電頻率，其使用發生干擾時，使用者應自行協議改善，不能協議者，由主管機關協調處理。若主管機關協助協調處理仍未能改善者，得命有關使用者調整使用時間，變更使用地點，調整天線發射方向、功率或其他適當之方式；必要時，主管機關得依申請，核配其他無線電頻率供其使用。

## ● 比較分析

由於無線電頻率是有限的自然資源，在頻譜資源緊縮的情形下，許多情況頻段是以共同主要(co-primary)方式劃分給具有同等權利的「固定衛星業務(FSS)」、「固定業務(FS)」、「行動業務(MS)」使用，因此各業務之間須事先與既有服務相互協調授權頻率使用，以能和諧共用頻譜資源。

比較分析發現，干擾協調(Coordination)是一個將各種無線電頻譜用戶的需求與可用頻譜資源相平衡(balanced)，並將不同用戶之間干擾機率降低到

可接受水平的過程；但衛星業者在進行干擾協調過程中，較早部署的衛星系統可能因與後進系統之間共存的技術障礙(例如：需要太多保護或系統設計靈活度太小等)，而對後進衛星系統造成限制競爭的情形；或是在兩個 NGSO 系統的衛星與地球電臺之間頻率共用所形成的共線干擾事件(in-line)中，因提交日期較早的系統有權受到後提交系統的保護，導致平衡協調的負擔全落在後進業者提交的系統上，進而影響後進業者的市場參進及用戶權益。因此，需要由各國監理機關進行適當干預，以能和諧共用頻譜資源。例如：美國 FCC 建立干擾溫度指標用以量化和管管理干擾，為兩個系統提供平等接取頻譜的地位，達到衛星頻譜共享及有效干擾管理的目的；英國則強制性要求持照者應與所有 NGSO 持照者合作協議共存，同時GW 衛星電臺設置運作前，須先進行干擾協調及站臺設置點干擾評估檢查。日本針對低軌衛星和共同主要業務進行同鄰頻技術分析，並劃定禁制區或站臺間隔距離，以達和諧共存目的。

反觀國內對於衛星干擾管理，較著重於業者事前申請衛星頻率所提交之無線電頻率使用規劃書中有關「頻率干擾處理」及「頻率使用應履行事項」的文件審查。對於國內未來不同衛星業者落地後，衛星上鏈系統共存的技術障礙可能形成限制競爭，以及衛星電臺於敏感區使用限制或敏感區的劃定或機場鄰近地區需保護其免受地球電臺產生的高強度無線電輻射(HIRF)影響等，或妨害性干擾之評量機制等，則尚未有具體規範。因此，先進國家相關干擾協調管理實務作法值得借鑑。整理各國低軌衛星干擾協調管理規定，如表 9 所示。

表 9、各國低軌衛星干擾協調管理規定

	美國	英國	日本	國內
保護原則	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 不得干擾任何授權服務亦須忍受授權頻段內的任何干擾。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NGSO 衛星頻譜採用共用共存原則；</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 進行衛星干擾分析與共存評估，制定衛星技術條件，保護合法用戶。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 不得干擾其他電臺，亦不得要求其他電臺給予干擾保護。</li> </ul>
干擾管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● FCC 建立干擾溫度指標用以量化和管管理干擾。</li> <li>● 當在受干擾鏈路的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 藉由衛星電臺執照核發，進行干擾共存、競爭影響及設站點檢查。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 僅接收到饋線鏈路地球站發射的控制信號時，才開始發射功能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 不得要求保障不受既設同步衛星、微波電臺及行動基地臺之妨害性干擾；在操作期</li> </ul>

	<p><math>\Delta T/T</math> 超過 6%時，FCC 將依預設程序進行頻段分割。雙方只能使用一半頻寬。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● SpaceX 執行 25 度最小仰角限制、18 度 GSO 迴避角和發射 EIRP 遮罩及遵守 EPFD 限制，以取得 FCC 授權。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 干擾導致用戶服務降級時，將透過通知指導方式，停止設備或頻率使用並採取矯正措施。</li> <li>● Ofcom 有權要求業者停止或暫停衛星上行鏈路的使用</li> <li>● 為避免敏感區域受干擾風險，保護區將採距離區間限制發射功率。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 具有在饋線鏈路地球站控制下，停止發射無線電波的功能。</li> <li>● 應採取措施防止干擾其他無線電臺運作。</li> </ul>	<p>間應迅速消除可能出現之妨礙性干擾，並降低功率或暫停其運作至改善為止。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 申請使用頻率之非同步衛星，不得干擾既設及申請使用頻率之同步衛星。</li> <li>● 非同步衛星系統間頻率應和諧有效共用。</li> </ul>
干擾協調	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 建立「干擾協調觸發」機制，提供業者平等接取頻譜機會。</li> <li>● 於指定保護區使用電臺，須事先申請並完成干擾協調。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 要求持照者應與所有 NGSO 持照者合作協議共存。</li> <li>● GW 衛星電臺設置運作前，須先進行國內干擾協調及站臺設置點清查。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● MIC 要求申請人與既有使用者達成協議；並按照 ITU 規範之技術標準運行。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「電信管理法」第 63 條規定：經核配之無線電頻率，其使用發生干擾時，使用者應自行協議改善，不能協議者，由主管機關協調處理。</li> </ul>
干擾控制	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 衛星電臺須具自我監測及受監測能力，超過限值時，必須在 100ms 內自動停止傳輸。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 衛星傳輸服務品質遭重大持續性下降時，Ofcom 得介入並採矯正措施。</li> <li>● Ofcom 將透過通知指示，要求被許可方停止或更改特定設備或特定無線電頻率的使用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 若衛星電臺不能自動捕捉和追蹤，應立即停止發射無線電波功能。</li> <li>● 具自我故障檢測，停止發射功能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 若干擾無法消除或干擾持續發生時，主管機關得命其停止服務傳輸或調整至其他可使用頻段，申請人應規劃處理措施，例如提出服務中止或移頻。</li> </ul>
劃定禁區	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 為保護國家重要基礎建設區域減少有害干擾，在特定區域設立「協調保護區」。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在電臺執照中註記用戶終端的使用禁區及於保護區內功率限制的規定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 依據干擾分析結果，劃定禁制區或站臺間隔距離。</li> </ul>	無

資料來源：本研究整理

#### 4.1.5 低軌衛星電臺設備器材認證管理

無線電頻譜是稀缺的重要資源，無論衛星或通信產業發展皆須倚賴無線技術，才能提供完整性的應用，為能在維持電波秩序和諧共用、消費者權益

及保障國家安全等前提下使用，避免電波使用相互干擾，各國主管機關必須確保頻譜及無線設備器材的利用符合各國及國際規則中規定的標準和要求，才能投入市場上販售或使用。

## ● 研究發現

### ➤ 美國：

美國對於衛星設備器材管理方面，係依《美國聯想法規( Code of Federal Regulations, CFR ) 》第 47 篇第 25 章衛星通訊(47 CFR Part 25-Satellite Communications)規定衛星業務相關監理事務，包括：一般性規則、衛星佈署、衛星地球電臺和太空電臺等申請程序與執照核發、技術標準、技術操作等規定。聯想法規要求在美國境內使用和運作衛星地球電臺設施之前必須獲得有效授權，若無取得 FCC Part 25 適當授權，任何人不得使用或操作太空電臺或地球電臺傳輸能量、訊號或通訊。FCC 除依 Part 25 衛星服務規則中的不同應用服務(如:FSS、MSS、BSS 等服務)，對衛星系統中地球站和太空站的申請核發授權許可外，對於衛星地球電臺設備器材之認證，則須遵循 FCC Part 25 Subpart C—Technical Standards 技術標準。同時，為確保移動式衛星地球電臺(ESIM)操作不會超出干擾保護限制，FCC 於 Part 25.228 制定 ESIM 運行規定，要求 GSO/NGSO FSS ESIM 營運商均須遵守衛星電臺相關監測和控制要求；ESIMs 持照者亦須使用全球定位相關衛星(Global Positioning Satellite-related)或類似定位技術確認設備所處地理資訊，以避免於特定敏感區域的運作造成干擾風險。

### ➤ 歐盟：

歐盟對於衛星設備器材管理方面，歐盟為確保市場上的無線產品符合基本健康、安全以及公共利益，防止有害干擾，要求投入歐洲市場適用「無線電設備指令 (RED, 2014/53/EU)」範圍的無線設備(包括：衛星地球電臺等)，皆須遵循歐盟符合性評鑑程序，並滿足 RED 指令的「基本

要求(Essential Requirements)」與「協調標準(Harmonized Standards)」。

其中，「協調標準」即為「歐洲電信標準協會(ETSI)」依器材特性及使用頻段制定而成的各式無線射頻協調標準，作為歐盟無線射頻器材設備認證之技術規範。

因此，歐盟 NGSO 衛星設備除須符合無線電設備指令(RED)規定外，衛星相關發射器及接收器性能亦須滿足 ETSI 協調標準，以避免對其他授權服務造成有害干擾；另對於符合功率水平和運行條件下的衛星終端設備，可免除個別執照並允許設備於歐盟市場自由流通。而目前歐洲電信標準協會 (ETSI) 對採用 Ku 頻段標準的 NGSO 固定及移動式地球電臺制定 EN 303 981(WBES)及 EN303 980(NEST)技術規範，並有位置和標識(Location and Identification)功能的要求；對船載地球電臺(ESV)制定 EN 302 340 技術規範；對車載地球電臺(VMES)制定 EN 302 977 技術規範；以及對機載地球電臺 (AES)制定 EN 302 186 技術規範。另 ETSI 亦對採用 Ka 頻段標準的 GSO 衛星行動平台(ESOMP)制定 EN 303 978 規範，以及 NGSO ESOMP 制定 EN 303 979 等技術規範。英國 Ofcom 也要求被許可方應確保衛星地球電臺設備的設計、建造、維護和操作不會對頻譜的其他用戶造成任何不當干擾；同時，用於傳輸的設備應符合歐盟 RED 指令和英國境內有效(in force)的衛星地球站的所有適當國家介面要求 (Interface Requirements, IR)；另衛星設備亦須符合(並按照)衛星營運商公佈的相關性能規範進行維護。

#### ➤ 日本:

日本對於衛星設備器材管理方面，日本 MIC 對於 Ku 頻段 NGSO 系統之衛星地球電臺設備(ES)規管，須遵循《無線設備規則》第 49-23-5 條、第 49-23-6 條規定，符合電信技術委員會第 82 號「使用非對地靜止衛星的移動衛星通信系統的技術條件」。設備取得合格標誌並黏貼標籤後始得販售；另發射電波的無線設備亦須取得總務大臣無線電台執照後，方

可設置使用。同時，日本為保護電波天文（10.6-10.7GHz），總務省要求業者應符合歐盟 ECC Report 271 的混附發射限制值，並採取適當措施（例如加裝濾波器等），以及在最鄰近頻道停止發射等要求。同時衛星地球電臺設備須具測量位置資訊功能，可將其發送到饋線鏈路地球站。

#### ► 台灣:

國內對於衛星設備器材管理方面，主要針對天線直徑為 3 公尺(含)以下之衛星小型地球電臺(VSAT)及衛星通信行動地球電臺(Mobile Earth Stations, MES)，依《電信管理法》第 44 條第 1 項規定(屬連接公眾電信網路之電信終端設備)，分別訂定《衛星小型地球電臺技術規範》及《1.6GHz 及 2.4GHz 衛星通信行動地球電臺技術規範》，作為國內設備製造商、進口商及經銷商等辦理型式認證之依據。

隨著低軌衛星地面電臺及終端設備推陳出新以及國內新開放衛星頻率政策，NCC 於 2022 年 10 月 17 日預告新增訂定「衛星地球電臺設備技術規範」草案。新法草案係依《電信管理法》第 66 條第 2 項規定(屬電信管制射頻器材設備)授權，適用於同步軌道(GSO)/非同步軌道(NGSO)衛星通信之固定衛星地球電臺設備型式認證及移動式衛星地球電臺(ESIM)設備型式認證，適用頻段包括:10.7 GHz ~ 12.7 GHz、13.75 GHz~ 14.5 GHz、17.7 GHz ~ 20.2 GHz 與 27.5 GHz ~ 30 GHz。新法草案將於完成公開說明會後擇期公告實施。由於國內係將衛星地球電臺設備列屬「電信管制射頻器材設備」，故設備型式認證之技術規範以《電信管理法》第 66 條第 2 項規定授權；若設備屬《電信管理法》第 44 條規定之電信終端設備(如:現行 1.6/2.4GHz MSS、VSAT 設備)，則有須與國內公眾網電信介面相容的義務。

## ● 比較分析

為確保衛星電臺設備器材，能在維持電波秩序和諧共用、消費者權益及保障國家安全等前提下使用，並須避免電波相互干擾，各國均要求衛星設備器材須符合國際技術標準及各國設備認證管理規定，才能投入市場上販售或使用。各國低軌衛星設備器材檢測認證規定，如圖 23 所示。

歐盟	美國	日本	台灣
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 歐盟為確保市場上的無線產品符合基本健康、安全以及公共利益，防止有害干擾，要求投入歐洲市場適用「無線電設備指令(RED)」範圍的無線設備(包括衛星地球電臺等)，須遵循歐盟符合性評鑑程序，並滿足RED指令的「基本要求」與「協調標準」。</li> <li>• 歐洲電信標準協會(ETSI)對Ku頻段標準的NGSO固定及移動式地球電臺制定EN 303 981(WBES)及EN 303 980(NEST)技術規範，並要求其位置和標識功能；</li> <li>• 英國亦要求被許可方應確保衛星地球電臺設備的設計、建造、維護和操作不會對頻譜的其他用戶造成任何不當干擾。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 美國衛星設備器材管理係依《美國聯邦法規》第47篇第25章衛星通訊規範；衛星地球電臺設備器材之認證，須遵循FCC Part 25 Subpart C - Technical Standards技術標準。</li> <li>• 為確保移動式衛星地球電臺(ESIM)運作不會超出干擾保護限制，要求GSO/NGSO FSS ESIM業者須遵守衛星電臺相關監測和控制要求；並須使用全球定位相關衛星(GPS-related)或類似定位技術確認設備所處地理資訊，以避免於特定敏感區域的運作造成干擾風險。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本要求Ku頻段NGSO系統之衛星地球電臺設備(ES)須遵循《無線設備規則》規定。</li> <li>• 並須符合電信技術委員會第82號「使用非對地靜止衛星的移動衛星通信系統的技術條件」；</li> <li>• 設備取得合格標誌並黏貼標籤後始得販售；</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國內於2022年10月17日預告新增訂定「衛星地球電臺設備技術規範」草案。</li> <li>• 新法草案係依《電信管理法》第66條第2項規定(屬電信管制射頻器材設備)授權，適用於同步軌道(GSO)/非同步軌道(NGSO)衛星通信之固定衛星地球電臺設備型式認證及移動式衛星地球電臺(ESIM)設備型式認證。</li> </ul>

圖 23、各國低軌衛星設備器材檢測認證管理

資料來源：本研究整理

比較分析發現，各國對於對於低軌衛星設備器材皆訂有完整設備檢測認證制度，並制定相關衛星設備技術規範，例如：美國 FCC Part 25 規則、歐盟 ETSI EN 協調標準、日本 MIC 無線設備規則以及國內新制定的衛星地球電臺設備技術規範(草案)；其中，歐美另要求衛星地球電臺須具備位置和標識，或使用全球定位相關衛星(GPS-related)或類似定位技術；日本亦要求衛星地球電臺設備須具測量位置資訊功能，使監控中心能掌握衛星電臺運作地點，有效控制衛星電臺使用範圍，當衛星電臺發生異常時，電臺監制中心能立即停止電臺的所有發射。

另各國為滿足飛機、船舶和陸地車輛等移動平台(mobile platforms)對寬頻連線的需求，已陸續開放移動式衛星地球電臺（ESIM）於飛機、船舶和陸地等移動平台上設置使用提供高數據速率、導航、寬頻或抗災通信等服務；國內新公告的「電信事業申請衛星固定通信用無線電頻率核配有關事項」及新增訂定「衛星地球電臺設備技術規範」草案，因考量海上空中干擾相對較小，故現階段先開放航空及船舶之 ESIM 設備，未來將依 ITU 規範或技術演進配合國際趨勢進行調整。整理各國低軌衛星設備器材檢測認證管理規定，如表 10 所示。

表 10、各國低軌衛星設備器材檢測認證管理規定

	美國	歐盟	日本	國內
<b>技術標準</b>	47 CFR Part 25-Subpart C - Technical Standards	ETSI EN 303 980、ETSI EN 303 981	《無線設備規則》第 49-23-5 條、第 49-23-6 條規定	衛星地球電臺設備技術規範(草案)
<b>檢測項目</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操作頻段、</li> <li>● 頻率容許誤差</li> <li>● 發射限值。</li> <li>● 地球電臺功率限制</li> <li>● 最小天線仰角</li> <li>● 地球電臺天線性能</li> <li>● FSS 地球電臺特定頻段發射之離軸 EIRP 密度包絡</li> <li>● ESIM 操作和協調要求</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操作頻段</li> <li>● 天線波束指向</li> <li>● 離軸雜散輻射</li> <li>● 正軸雜散輻射</li> <li>● 載波抑制</li> <li>● 停止輻射</li> <li>● WBES 位置和標識</li> <li>● 控制和監測功能</li> <li>● 接收天線離軸增益</li> <li>● 相鄰信號選擇性</li> <li>● 鏡像頻率抑制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操作頻段</li> <li>● 天線功率容許差度限制</li> <li>● 頻率容許差度限制</li> <li>● 佔用頻寬限制</li> <li>● 天線最小仰角</li> <li>● 地表方向之等效全向輻射功率</li> <li>● 離軸輻射功率</li> <li>● 指向精度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 頻率穩定度</li> <li>● 傳導帶外不必要發射限制</li> <li>● 有效等向輻射功率 (EIRP)</li> <li>● 天線輻射最小仰角</li> <li>● GSO FSS ES 天線增益限值</li> <li>● 離軸 EIRP 功率密度</li> <li>● FSS ESIM 設備操作與協調規定</li> <li>● 電磁相容(EMC)</li> <li>● 電氣安全(Safety)</li> </ul>
<b>ESIM 開放類型</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 車載式(VMES)、</li> <li>● 船載(VMES)、</li> <li>● 航載(ESAA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 車載(VMES)、</li> <li>● 船載(ESV)、</li> <li>● 航載(AES)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 車載(VMES)、</li> <li>● 船載(ESV)、</li> <li>● 航載(AES)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 船載(VMES)、</li> <li>● 航載(ESAA)</li> </ul>
<b>其他要求</b>	ESIMs 持照者必須使用全球定位相關衛星(GPS-related)或類似定位技術	ES 具 WBES 位置和標識 (Location and Identification of the WBES)功能	ES 應採取措施防止干擾其他無線電臺運作，並具測量位置資訊功能，可將其發送到饋線鏈路地球站。	新草案係作為衛星地球電臺設備辦理型式認證之依據。另電臺之設置使用需依「衛星地球電臺設置使用管理辦法」辦理。

資料來源：本研究整理

## 4.2 研究建議

### 4.2.1 參酌先進國家外資審查管理機制、確保國家電信衛星服務安全

研究發現美、英、日等先進國家鑑於電信服務產業是國家重要的基礎設施，對於外資參與市場或收購本國企業電信服務可能引起的任何國家安全風險，均已採取日趨嚴格的外資審查政策措施，無論是美國聯邦政府成立跨部會「電信服務業外國參與審查委員會」針對 FCC 提交有「國安顧慮」之外資持股 10% 以上的電信服務申請案進行審查；英國公告新版《國家安全與投資法》要求衛星地面站等電信相關設施其營業額在 5000 萬英鎊以上的實體進行收購時，須通知主管機關進行收購審查；日本通過《外匯及外國貿易法》修正案，對於外資欲收購日本之資通訊相關企業股份(1% 以上)時須送審；

觀察先進國家對於外資投資涉及國安的電信網路服務事業均已加強管制審查力度，以確保國家公眾通信系統及電信網路等關鍵基礎設施的安全性。另鑑於地緣政治緊張局勢升溫，國內電信事業關鍵基礎設施面臨嚴峻的網路威脅及資安風險。因此，本研究建議在「資安即國安」的國家戰略下，國內可參採先進國家對於外資參與本國電信衛星服務之審查管制作為，針對有意參進國內市場相關資通信或電信衛星服務等重要關鍵基礎建設運作的外資投資申請或收購等，參仿美國跨部會成立「外資參進國內電信市場評審委員會」機制，針對國家資通安全、公共利益等進行審查，以確保國內未來低軌衛星服務的安全性、完整性及可用性，保障國家安全。

### 4.2.2 要求 GW 衛星電臺落地境內，以維護用戶權益及國家資通安全

隨著衛星技術的成熟，國外衛星業者可透過「衛星間鏈路 (ISL)」技術，讓用戶終端地球電臺設備直接經由低軌衛星網路於他國落地，並進行資料傳輸交換和接取網際網路；因無需額外設置地面閘道衛星地球電臺

(Gateway)，而讓境內資料直接傳輸至外國，可能造成國內通訊監察執行及國家資通安全風險。此外，當用戶終端設備發生異常或干擾情形，亦無法由境內 GW 電臺直接以遠端控制方式，立即停止異常用戶終端電臺發射，可能

導致干擾風險發生。

研究觀察美國 FCC 要求衛星電臺須具自我監測及受 NCMC 控監測能力，一旦超出干擾保護限制，須在 100 毫秒內自動停止傳送；FCC 並要求業者須於美國境內設立衛星電臺 24/7 聯絡點，當異常發生時須能立即停止電臺的所有發射。而英國 Ofcom 要求用戶終端地球電臺應具有獨立的自主控制和監控能力，並受網管中心(NCF)監督管理；同時業者須於英國境內指定設置的中控衛星地球電臺並通報 Ofcom 備查，業者應具有關閉個別終端傳輸的功能。

本研究認為，電信公眾網路為國家重要關鍵基礎設施，政府應有掌握通訊監察資訊閘口的能力；同時為確保用戶通信權益，對於用戶終端設備發生異常或干擾情形，業者於境內亦應須有遠端控制站可立刻下達指令停止地球電臺之發射作業。故研究建議主管機關應要求我國衛星業務代理之電信業者於境內設置 GW 衛星地球電臺，以避免妨害性干擾影響既有業者及用戶權益，並保障國家資通安全。

#### 4.2.3 參採美國衛星系統干擾協調機制、實現頻譜資源和諧共用

在頻譜資源緊縮背景下，低軌衛星 NGSO FSS 系統須與其它 GSO FSS、GSO BSS 以及地面系統共用頻譜。由於後進衛星業者須事先與既有服務業者相互協調授權頻率的使用，並就衛星天線設備、協調距離和干擾規避措施進行協商討論，找出允許雙方共存的技術方案，以實現頻譜的和諧共用。因此，FCC 要求營運商 NGSO FSS 系統之間須善意地進行協調談判；英國 Ofcom 也要求地球電臺設置前，須進行頻譜共用共存之干擾協調。

研究觀察，美國為預防「較早進入市場者」不願意與「較晚進入市場者」進行“善意”協商，或當業者間無法達成「協調協議」時，FCC 將介入並運用「干擾溫度指標( $\Delta T/T$ )」量化和管理衛星干擾，一旦受干擾鏈路的  $\Delta T/T$  超過 6% 時，將觸發協調機制(Coordination triggers)進行頻段分割；為兩個 NGSO 系統提供平等接取頻譜的地位。由於 FCC 訂定的干擾量化規則，能為後進業者在協調過程中提供優勢，因若雙方無法達成協調協議，較早進入

者可能在波束對準期間失去一半的頻寬，因此雙方願意努力真誠地協調以避免頻段分割。同時 ITU 也建議各國主管部門可使用  $\Delta T/T$  比率來量化和限制干擾，作為 FSS 系統間共同主要衛星服務是否需進行協調的觸發機制。

鑑於國內未來不同低軌衛星系統落地，衛星上鏈系統共存的技術障礙可能形成限制競爭(較早部署系統阻礙後來的系統)，業者之間需進行協商達成協議，才能和諧共用頻譜資源。觀察 FCC 運用干擾溫度指標，量化及管理干擾，能使業者願意進行協商，有效達到頻譜共享、干擾控制及維護用戶權益的目的。因此，本研究建議主管機關可參採美國衛星系統干擾協調機制、納入國內衛星電臺管理規範，促進業者和諧共用頻譜資源。

#### 4.2.4 評估規劃干擾協調保護區，避免國內重要基礎設施受干擾風險

隨著衛星技術的進步，衛星用戶終端設備小型化到足以”in-motion(可攜移動)”的程度，由於衛星用戶可在衛星細胞範圍內任何固定地點發射與接收衛星信號；一旦用戶衛星設備架設不當或臨近特定區域(如:機場周邊、行動基站)時，可能造成電波或飛航干擾的風險。研究觀察，先進國家基於對特定敏感區的保護，設有「協調保護區」規範使用限制；或依據干擾分析結果劃定禁制區或站臺間隔距離；或根據不同保護區屬性依地理位置距離規定不同發射功率限制；以及在電臺執照中註記用戶終端的使用禁區及於保護區內功率限制的規定，以能維持電波秩序，和諧共用頻譜資源。

由於國內目前對於衛星電臺在敏感區使用限制、或敏感區劃定、或機場鄰近地區需保護其免受 HIRF 影響等或妨害性干擾之評量機制等，尚未有具體規範，而相關敏感區可能受到衛星電臺上鏈干擾的風險。因此，本研究建議國內主管機關可參考國外經驗，評估規劃干擾協調保護區，並於保護區設有彈性管理機制，例如:依距離遠近設定電臺使用條件或功率限值等；另於地球電臺核照前，應進行敏感區域場地會勘，掌握設站場地是否有干擾風險以及是否可以保護這些敏感站點，以確保國內重要基礎設施免受妨害性干擾，達成衛星頻譜共享及有效干擾管理的終極目標。

#### 4.2.5 參考歐盟規定將 HIRF 標準納入管理規範，以確保飛航安全

現代飛機設計極倚賴精密電子系統，執行飛機的安全飛行和著陸所需的功能；飛機為減輕重量大量使用複合材料，降低對射頻屏蔽的能力，致使飛機暴露於高強度輻射場(HIRF)環境中可能引起飛航安全風險。研究觀察，歐盟鑑於飛機暴露在大功率無線電、衛星上行鏈路發射機、雷達及大型微波通信系統發出的高強度輻射場(HIRF)環境中，容易發生故障對航空安全系統構成威脅。故歐盟通信委員會(ECC)委歐洲航空安全局(EASA)研究評估發布 ECC Report 272 報告並提出不同頻段衛星地球電臺的最大發射功率規定。同時歐盟郵政及電信管理局(CEPT)並確立在機場附近運作的固定衛星地球電臺需符合 EASA 依不同的衛星頻率所制定的高強度輻射場 (HIRF)標準級別，以保護飛航系統安全。

由於國內尚未劃分干擾保護區及規範衛星電臺高強度輻射場標準，為避免衛星地球電臺發射的衛星信號，對於特定敏感區域帶來干擾風險，本研究建議主管機關可參照歐盟管理規定，將 HIRF 標準納入國內衛星地球電臺管理審驗項目中，要求國內衛星電臺須符合高強度輻射場標準，以保護飛機安全系統及敏感地區免受地球電臺產生的高強度無線電輻射影響。

## 第五章 結論

低軌衛星服務落地牽涉不同層面監理要求，未來低軌道固定衛星服務引進台灣後，現行衛星通信服務監理制度可能面臨新的挑戰或法制未臻完備的情形。為此，本研究透過文獻蒐集，深入研析國內外低軌道衛星通信發展運作情形與相關監理議題，並就美、英、日等先進國家發展低軌衛星監理政策與我國現行管理制度進行比較分析，深度解析各國對於衛星監理之趨勢與實際監理作法，最後歸納彙整得出本研究結論。

### 5.1 研究結論

首先，在低軌衛星頻譜申請與外資管制方面，美日及國內對於外資皆有不同比例的限制，而 FCC 對外資具裁量權，得依是否符合「公共利益原則」准駁外資股權上限比例，帶動市場投資。而英國未對外資市場准入進行限制，主要希望藉由外資引進新技術、新觀念來促進投資。另隨著地緣政治緊張局勢升溫，電信事業關鍵基礎設施面臨嚴峻的網路威脅及資安風險；各國為確保電信網路服務安全防護，已日益加重對於外資參進市場的審查力度，以確保國家公眾通信系統及電信網路等關鍵基礎設施的安全性。在「資安即國安」戰略下，先進國家對於外資參與本國電信衛星服務之審查管制作法，值得國內參考借鏡。

其次，在低軌衛星業務授權與執照核發管理方面，確保衛星頻率能合理、有效和經濟地利用，各國均透過核發衛星電臺執照，授予衛星業者使用頻譜的權利。例如美國允許本國衛星業者採簡化綜合執照，並同授權衛星系統及衛星電臺，以加速衛星寬頻向公眾提供服務。對於外國衛星業者進入美國市場，將從公共利益、競爭影響、頻譜可用性、外交貿易及國家安全等綜合因素考量，授予外國衛星業者市場准入許可。英國對於 NGSO 執照申請審查則著重於干擾管理、競爭維護及鼓勵業者合作共存，並透過公開透明公眾評論流程建立明確授權制度。

接著，在低軌衛星電臺設置使用管理方面，各國均要求 GW 及用戶終端電臺須具預防干擾及受 NCMC 監控功能；須設置 24/7 聯絡點或衛星電臺監控中心於本國境內；並紀錄用戶終端運行位置資訊；並於特定敏感地區設置「協調保護區域」且須與當事方事先協調；英國根據不同保護區屬性依地理位置距離規定不同發射功率限制；以及當衛星傳輸服務品質下降時將介入並採取矯正措施；另歐盟要求衛星電臺須符合高強度輻射場標準，以保護飛航系統安全。

另在低軌衛星干擾協調管理機制方面，各國均透過制定相關管理措施來緩解干擾風險，例如美國 FCC 設立干擾溫度指標量化及管理干擾並使業者願意進行協商，達到頻譜共享及干擾控制的目的。英國 Ofcom 建立明確的衛星核照授權制度，鼓勵業者透過合作協調來管理干擾風險；日本 MIC 則針對低軌衛星和共同主要業務進行同鄰頻技術分析，並劃定禁制區或站臺間隔距離等。

而在低軌衛星電臺設備器材管理方面，各國為確保為頻譜資源有效利用、預防及避免干擾的風險，對於低軌衛星器材設備皆訂有完整設備檢測認證制度，所有衛星電臺設備均須符合國際標準及國內管理規則(例如:美國 FCC Part 25 規則、歐盟 ETSI EN 協調標準、日本 MIC 無線設備規則，或國內衛星地球電臺設備技術規範)，才能投入市場上販售或使用。

最後，本研究對於未來開放低軌衛星相關管理措施，提出研究建議如下：

1. 參酌先進國家外資審查管理經驗，跨部門成立"外資參進國內電信市場評審委員會"，確保國內電信衛星服務的安全性。
2. 要求 GW 衛星電臺落地境內，以維護用戶權益及國家資通安全。
3. 參採美國衛星系統干擾協調機制、實現頻譜資源和諧共用。
4. 評估規劃干擾協調保護區，避免國內重要基建設施受干擾風險。
5. 參考歐盟規定將 HIRF 標準納入管理規範，以確保飛航安全。

## 5.2 研究限制與後續研究建議

本研究相關研究限制與後續研究建議說明如下：首先，由於傳統衛星產業多以同步軌道衛星提供電視轉播、海事服務與氣象觀測為主，而有關低軌道衛星通信發展、應用及其法制等問題，尚屬新興研究領域，國內類似探討極少，故本研究所蒐集資料以國外文獻為主。未來低軌衛星業者陸續在更多國家落地後，應有更豐富清晰的國內外期刊文獻及政策文件可供後續研究參用。其次，國內數位發展部於 2022 年 8 月正式成立，將國家通訊傳播委員會（NCC）原「射頻與資源管理處」、「基礎設施與資通安全處」部份業務移撥給數位發展部。由於本研究引用之國內法源係在數發部成立之初。因此，未來國內低軌衛星業務發展相關法規或業務授權仍可能面臨調和修訂情形，故後續研究須密切保持關注有關衛星法規的一致性。最後，國內因考量海面上空中干擾相對較小，現階段以開放航空及船舶之 ESIM 設備為主，建議後續研究者可進一步研析國內未來開放陸地 ESIM 相關監理政策與管理措施。

## 參考文獻

- [1] ITU-D, Measuring digital development: Facts and figures 2021, Accessed: Jun. 14, 2022. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>
- [2] L Feltrin, N Jaldén, E Trojer, G Wikström (2021). Potential for Deep Rural Broadband Coverage With Terrestrial and Non-Terrestrial Radio Networks. *Frontiers in Communications and Networks*. 2. 691625. 10.3389/frcmn.2021.691625.
- [3] J. Lun, P. Frenger, A. Furuskar and E. Trojer, "5G New Radio for Rural Broadband: How to Achieve Long-Range Coverage on the 3.5 GHz Band," 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTCFall.2019.8891556.
- [4] Ofcom, Consultation: Space Spectrum Strategy, 2022-03-15, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/space-spectrum-strategy>
- [5] S. Xia, Q. Jiang, C. Zou and G. Li, "Beam Coverage Comparison of LEO Satellite Systems Based on User Diversification," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 181656-181667, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2959824.
- [6] Tech-en.netlify.app, Everything about the Starlink Satellite Internet project. Part 2. Starlink Network, <https://tech-en.netlify.app/articles/en526204/index.html>
- [7] 國家通訊傳播委員會, 衛星通信業務管理規則第二條第三項, 中華民國 102 年 10 月 7 日。
- [8] SpaceX Starlink Website, <https://www.starlink.com/map>
- [9] McDowell, J. (2020). The Low Earth Orbit Satellite Population and Impacts of the SpaceX Starlink Constellation. *The Astrophysical Journal*. 892. L36. 10.3847/2041-8213/ab8016. <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab8016>
- [10] J. Garrity and A. Husar, . for . the A., 2021. Digital Connectivity and Low Earth Orbit Satellite Constellations: Opportunities for Asia and the Pacific (SDWP No. 76, Asian Development Bank Institute. Retrieved from <https://policycommons.net/artifacts/1559390/digital-connectivity-and-low-earth-orbit-satellite-constellations/2249190/> on 25 Jul 2022. CID: 20.500.12592/7x3s0k.
- [11] O. Kodheli et al., "Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, Firstquarter 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.3028247.

- [12] Joseph N. pelton, & Scott madry. (2020). Handbook of Small Satellites, Technology, Design, Manufacture, Applications, Economics and Regulation. Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-36308-6>
- [13] SIA. (2021, June). State of the Satellite Industry Report. [https://brycotech.com/reports/report-documents/SIA\\_SSIR\\_2021.pdf](https://brycotech.com/reports/report-documents/SIA_SSIR_2021.pdf)
- [14] G. Shotwell. 2018. SpaceX' s Plan to Fly You Across the Globe in 30 Minutes. Speech delivered for TedTalks on 14 May 2018. SpaceX. Starlink Mission. Youtube.
- [15] C. Henry. 2019. SpaceX Submits Paperwork for 30,000 More Starlink Satellites. Space News. 15 October.
- [16] M. Holmes. 2020. In the Eye of the Storm: Greg Wyler Breaks Cover to Talk OneWeb. Via Satellite; and J. Wattles. 2020. Softbank-Backed Satellite Startup OneWeb Files for Bankruptcy. CNN Business. 28 March.
- [17] Government of the United Kingdom. 2020. UK Government to Acquire Cutting-Edge Satellite Network. 3 July.
- [18] L. Hardesty. 2021. OneWeb Raises \$400M from SoftBank, Hughes. Fierce Wireless. 15 January; and I. Lunden. 2021. OneWeb has Now Raised \$1.4B, with \$400M from SoftBank and Hughes, to Help Fund its First Satellite Fleet. Tech Crunch. 15 January.
- [19] Telesat. 2021. Telesat to Redefine Global Broadband Connectivity with Telesat Lightspeed, the World' s Most Advanced Low Earth Orbit (LEO) Satellite Network. 9 February.
- [20] M. Sheetz. 2021. Telesat to build \$5 billion global satellite network to bring fiber-linked internet to businesses; Forrester. 2020. Telesat to Start LEO Services in 2022. Advanced Television. 12 October; Telesat. 2021. Telesat to Redefine Global Broadband Connectivity with Telesat Lightspeed, the World' s Most Advanced Low Earth Orbit (LEO) Satellite Network.
- [21] Tech Portal. 2020. Amazon to Invest \$ 10Bn on Its SpaceX Starlink Competitor, 'Project Kuiper.' 31 July.
- [22] E. Blumenthal. 2020. Amazon' s Project Kuper Gets FCC approval for Over 3,200 Internet Satellites. CNet. 31 July; Federal Communications Commission. 2020. Order and Authorization.
- [23] Starlink website, <https://www.starlink.com/faq>

- [24] M. A. Sturza, "LEOs-the communications satellites of the 21<sup>st</sup>/century," IEEE Technical Applications Conference. Northcon/96. Conference Record, 1996, pp. 114-118, doi: 10.1109/NORTHCON.1996.564754.
- [25] Del Portillo, I., Cameron, B.G., & Crawley, E.F. (2019). A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. *Acta Astronautica*.
- [26] ITU, "Radio Regulations Articles", vol. 1, 2016.
- [27] A. Christina Situmorang, N. Febry Yoshua and D. Gunawan, "Analysis of Interference Mitigation between Earth Station - High Throughput Satellite towards 5G Terrestrial Network in 28 GHz Co-channel Frequency," 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISNCC49221.2020.9297204.
- [28] C. Braun, A. M. Voicu, L. Simić and P. Mähönen, "Should We Worry About Interference in Emerging Dense NGSO Satellite Constellations?," 2019 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), 2019, pp. 1-10, doi: 10.1109/DySPAN.2019.8935875.
- [29] Barrie, Sajor & Konditi, Dominic. (2021). Evaluation of adjacent channel interference from land-earth station in Motion to 5G radio access network in the Ka-frequency band. *Heliyon*. 7. e07412. 10.1016/j.heliyon.2021.e07412.
- [30] Zhang X., Yang Z., Ma L. and Geng X., "The minimum interference distance of earth station on board vessel communicating with FSS satellite in C and Ku Band," 2015 IEEE 6th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE), 2015, pp. 421-425, doi: 10.1109/MAPE.2015.7510348.
- [31] ITU-R, SF.1650-1: "The minimum distance from the baseline beyond which in-motion earth stations located on board vessels would not cause unacceptable interference to the terrestrial service in the bands 5 925 – 6 425 MHz and 14 – 14.5 GHz", ITU-R Recommendation SF.1650-1 ITU-R, 2005.
- [32] Tonkin, Susan & de Vries, Pierre. (2018). NewSpace Spectrum Sharing: Assessing Interference Risk and Mitigations for New Satellite Constellations. *SSRN Electronic Journal*. 10.2139/ssrn.3140670.
- [33] Cuevas, Enrique & Weerackody, V.. (2015). Technical characteristics and regulatory challenges of communications satellite earth stations on moving platforms. 33. 37-51, Johns Hopkins APL Technical Digest.

- [34] ITU-R, S.1857 : Methodologies to estimate the off-axis e.i.r.p. density levels and to assess the interference towards adjacent satellites resulting from pointing errors of vehicle mounted earth stations in the 14 GHz frequency band.2010-01.
- [35] D. A. Bull, "Development of the RF HIRF environment," 10th International Conference on Electromagnetic Compatibility, 1997. (Conf. Publ. No. 445), 1997, pp. 12-18, doi: 10.1049/cp:19971111.
- [36] R. A. Williams, "The NASA High Intensity Radiated Fields Laboratory," 16th DASC. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference. Reflections to the Future. Proceedings, 1997, pp. 4.2-17, doi: 10.1109/DASC.1997.635066.
- [37] L. Wei and C. Zhou, "High intensity radiated field external environments for fixed wing airplanes operation," 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, 2011, pp. 1580-1584, doi: 10.1109/ICECENG.2011.6058130.
- [38] Elliott, J., "High-Intensity Radiated Fields (HIRF) Risk Analysis," DOT/FAA/AR-99/50, July 1999.
- [39] ECC Report 272: "Earth Stations operating in the frequency bands 4-8 GHz, 12-18 GHz and 18-40 GHz in the vicinity of aircraft" , January 2018
- [40] Y. Su, Y. Liu, Y. Zhou, J. Yuan, H. Cao and J. Shi, "Broadband LEO Satellite Communications: Architectures and Key Technologies," in IEEE Wireless Communications, vol. 26, no. 2, pp. 55-61, April 2019, doi: 10.1109/MWC.2019.1800299.
- [41] 朱柔若(譯)(2009)。W.Lawrencr Neuman 著。社會研究方法—質化與量化取向。臺北市：揚智文化。
- [42] 潘淑滿(2003)。質性研究--理論與應用。新北市：心理出版社。
- [43] 王玉民(1994)。社會科學研究方法原理。臺北市：洪葉文化。
- [44] 薛理桂(1994)。比較圖書館學導論。臺北市：台灣學生書局。
- [45] THE WHITE HOUSE , Executive Order 13913—Establishing the Committee for the Assessment of Foreign Participation in the United States Telecommunications Services Sector,2020-04-04, <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/executive-order-13913-establishing-the-committee-for-the-assessment-foreign-participation>
- [46] FCC, Improves Transparency and Timeliness of Foreign Ownership Review, FCC-20-133,2020-09-30, <https://www.fcc.gov/document/fcc-improves-transparency-and-timeliness-foreign-ownership-review>

- [47] 資策會科法所,日本總務省暫緩《電波法》「取消無線電臺外資限制」修正案,2021-12, <https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=64&tp=1&d=8751>
- [48] 經濟部國貿局,日本修訂「外匯與外國貿易法」擴大管制外人投資醫藥品等相關業種, 2020-06-15, <https://www.trade.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=45&pid=697155>
- [49] NCC, 數位匯流趨勢外國人投資通訊傳播產業之研究案,2011-12, [https://www.ncc.gov.tw/chinese/content.aspx?site\\_content\\_sn=2722](https://www.ncc.gov.tw/chinese/content.aspx?site_content_sn=2722)
- [50] Ofcom, Non-geostationary satellite earth stations Licensing guidance,2021-12, [https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0021/229224/ngso-guidance.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0021/229224/ngso-guidance.pdf)
- [51] 國家通訊傳播委員會公告：預告「衛星地球電臺設置使用管理辦法」部分條文修正草案,2022-07, <https://join.gov.tw/policies/detail/fd9c1df8-9526-4b22-8996-7c994d2f575d>
- [52] FCC Technological Advisory Council, A Risk Assessment Framework for NGSO-NGSO Interference,2017-12, <https://transition.fcc.gov/oet/tac/tacdocs/meeting12617/TAC-NGSO-risk-assessment-framework-v100-2017-12-06.pdf>

