

國際無人機交通管理系統發展趨勢初探

運輸科技及資訊組 張益城 陳翔捷 黃于哲

研究期間：民國114年4月至115年5月

摘 要

鑒於全球無人機創新應用蓬勃發展，為確保低空空域之飛航安全與效率，國際間刻正積極推動「無人機交通管理系統」(UAS Traffic Management, UTM)。國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO)、美國聯邦航空總署(Federal Aviation Agency, FAA)與歐洲航空安全署 (European Union Aviation Safety Agency, EASA) 等機構，皆倡議以高度自動化、多方共同參與作為系統核心理念，並以大型先導實證計畫驗證系統互操作性。本研究蒐集並分析歐美等地推動 UTM 之政策框架、技術標準及相關實證計畫，據以研提我國後續推動建議。

關鍵詞：

無人機、無人機交通管理系統。

國際無人機交通管理系統發展趨勢初探

一、 研究背景

近年來，全球無人機（Unmanned Aircraft Systems, UAS）之技術發展與應用情境迅速成長。無人機已從早期的消費性空拍與休閒娛樂，快速轉型為涵蓋農業巡檢、基礎設施探勘、偏鄉物資運送、緊急災難救助，乃至於新興的「城市空中交通」（Urban Air Mobility, UAM）與先進空中交通（Advanced Air Mobility, AAM）等創新應用。然而，隨著無人機作業數量的劇增，以及「視距外」（Beyond Visual Line of Sight, BVLOS）操作任務的常態化與複雜化，各國的空域管理當局正面臨前所未有的挑戰。

傳統的飛航管制（Air Traffic Control, ATC）系統係為載人航空器所設計，其運作高度依賴於語音通訊（Voice Communication）與人工雷達監視（Radar Surveillance）。面對低空空域（Low-altitude Airspace）中數量龐大、飛行軌跡動態多變且具備高度自動化特性的無人機群，傳統 ATC 系統不僅在通訊頻寬與雷達涵蓋範圍上受到物理限制，航管人員的工作負荷亦無法處理此等大量之即時航跡監控。若強制將無人機全面納入傳統 ATC 體系，勢必對現有之民航運作能量造成衝擊。

為確保無人機與傳統載人航空器能夠安全、公平且具效率地整合於共用空域，國際民航界已凝聚共識，必須建立專屬的「無人機交通管理系統」（UAS Traffic Management, UTM）。UTM 的核心理念在於採用「高度自動化（Highly Automated）」、「資料驅動（Data-driven）」與「分散式架構（Distributed Architecture）」的管理模式。透過多方利害關係人（包含無人機操作人、第三方服務供應商、民航監理機關以及航空資訊提供者）的協同合作與機器對機器（M2M）的即時資訊交換，UTM 之主要功能可包括提供空域管理、航線規劃、策略性衝突偵測與避碰規劃、動態地理圍欄警示、追蹤識別等數位化空域服務，從而支持安全且具擴展性的應用發展。

二、 國際政策方向

2.1 國際民用航空組織（ICAO）UTM 框架

國際民航組織（ICAO）2016 年首次將 UTM 概念納入議程，並隨後發布《無人機交通管理系統框架（UTM Framework）》，旨在為全球成員國提供一個共通的政策與架構基礎，以確保各國在推動無人機法規與標準時具備高度的國際互操作性與一致性。

在 ICAO 的定義中，UTM 是一個以資通訊和自動化技術為驅動的新型態交通管理框架，透過多方協作來管理空域內的無人機，傳統 ATM 高度依賴飛行員與管制員之間的語音通訊；而 UTM 預計將透過分散式且高度自動化的系統網路（例如透過應用程式介面 API）來進行各方資訊交換。短期內 UTM 會是一個獨立運作但具備與 ATM 連結介面的系統；而在長遠的未來，將朝向與現有傳統航空管理系統無縫整合。

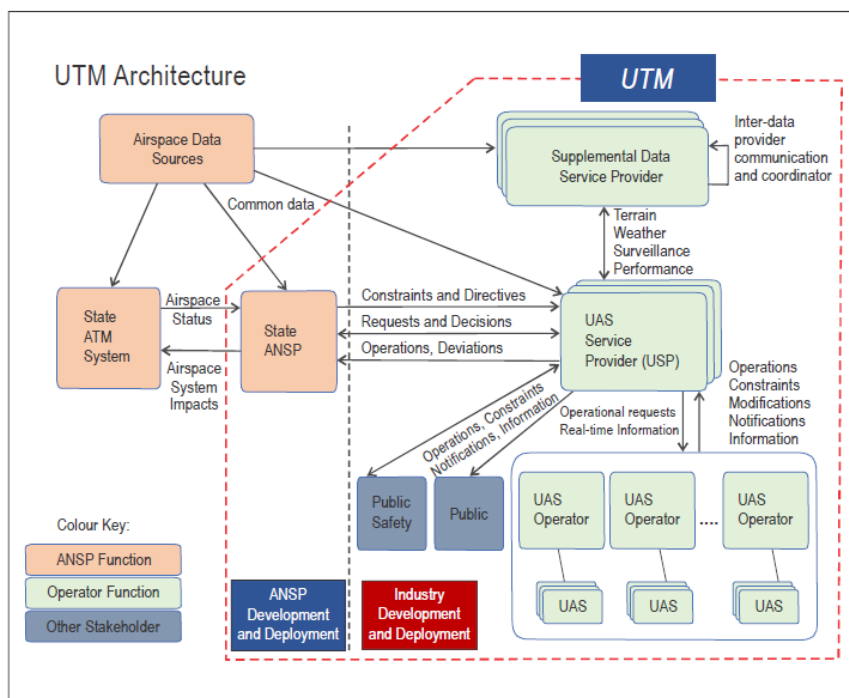
ICAO 定義 UTM 為一系列服務的集合，並針對 UTM 基本功能提出建議，包括活動報告、空域許可、衝突管理與隔離、任務規劃、追蹤、識別與註冊及操作限制管理等，確保無人機在空域內安全、高效地運作，並遵守監理要求。相關服務可依據空域容量、作業風險等因素綜合考量。

在 UTM 架構方面，ICAO 簡述了集中式架構（Centralized Architecture）與聯邦式架構（Federated Architecture）兩種不同類型的 UTM 架構。在集中式架構下，所有飛行數據與決策皆由單一國家伺服器（State Server）處理，通常為民航監理機構，並由該機構提供所有 UTM 服務，所有利害關係人均需向此機構回報，本質上類似於現有 ATM。聯邦式架構之 UTM 服務提供者，允許多家「無人機服務供應商（UAS Service Provider, USP）」與「補充數據服務供應商（Supplemental Data Service Provider, SDSP）」在同一個生態系中競爭與協作，主管機關負責定義資料交換標準與系統效能要求，並監理各家 USP 之營運。ICAO 認為，只要遵循共通原則，即便初期採用集中式架構，未來若有需求，也能夠在此基礎上逐步引入更多的 USP，演進成為容許多方參與的架構。



資料來源：國際民航組織(ICAO)[16]

圖 1 ICAO 集中式 UTM 架構



資料來源：國際民航組織(ICAO) [16]

圖 2 ICAO 聯邦式 UTM 架構

2.2 美國 UTM 推動政策

美國在 UTM 的發展上，最初由美國國家航空暨太空總署（NASA）主導基礎研究，進行了四個階段的技術能力層級測試（Technical Capability Levels, TCL 1 至 TCL 4），隨後透過「研究過渡團隊（Research Transition Team, RTT）」將研發成果移交給聯邦航空總署（FAA）。FAA 於 2020 年發布的《UTM Concept of Operations (ConOps) v2.0》奠定了美國發展 UTM 的根本藍圖。相較於 2018 年提出的 v1.0 僅聚焦於小型無人機（sUAS），ConOps v2.0，將管理範圍擴大至包含大型無人機及未來可能的空中計程車等各類型載具。

FAA UTM 體系核心理念為「社群基礎（Community-based）」的合作式管理，較為接近 ICAO 提出之聯邦式架構。FAA 認知到政府能量無法提供所有的低空無人機航管服務。因此，在架構上，FAA 僅負責建置「飛行資訊管理系統（Flight Information Management System, FIMS）」，作為政府與外界溝通的單一樞紐，實際的無人機飛航服務則交由產業界的「無人機服務提供者（UAS Service Supplier, USS）」負責。

USS 的主要功能包括以下三項：（一）做為 UTM 參與者之間的通訊橋樑、（二）提供操作員空域範圍內及其周圍其他飛航作業資訊、（三）儲存飛航作業數據資料庫，提供後續分析、監理等目的使用。

USS 透過 USS 網路（USS Network）與 UTM 參與者交換資訊，包括其他 USS 及無人機操作員、執法或監理單位等。USS 透過在 USS 網路中共享運作意圖數據、空域限制等資訊，確保 UTM 參與者能擁有共享的態勢感知（Situational Awareness）。同一個地理範圍內，容許多個 USS 同時運作。因此 USS 透過 USS 網路實作避碰規劃（Deconfliction），以及高效且正確傳輸「操作意向（Operational Intent）」及「意向變更」的技術標準，降低操作風險，並提升空域容量與效率。

在實務運作機制上，目前美國 USS 主要依據 ASTM 國際標準組織所提技術標準，透過「發現與同步服務（Discovery and Synchronization Service, DSS）」尋找彼此，並透過點對點（Peer-to-Peer）的網路通訊，即時分享操作意向以進行事前避碰規劃（Strategic Deconfliction）。

補充數據服務提供者 (Supplemental Data Service Providers, SDSP)，則提供 USS 與無人機操作者，包括地形與障礙物數據、專業氣象數據、監視資料以及限制資訊等補充資訊。SDSP 可以透過連接至 USS 網路，或者透過其他方式直接與操作員連線。

美國不僅透過官方推動之先導試驗計畫 (如 UPP Phase 1 & 2) 進行實地驗證，更自 2023 年起，與產業合作，朝向 UTM 初始營運 (Initial Operationalization) 發展。在法規層面，FAA 訂定遠端識別 (Remote ID)，以及針對視距外飛航作業的 Part 108 與第三方服務提供者認證的 Part 146 等前瞻性法規草案，致力打造具備高度商業彈性與風險管理能力的 UTM 生態系。

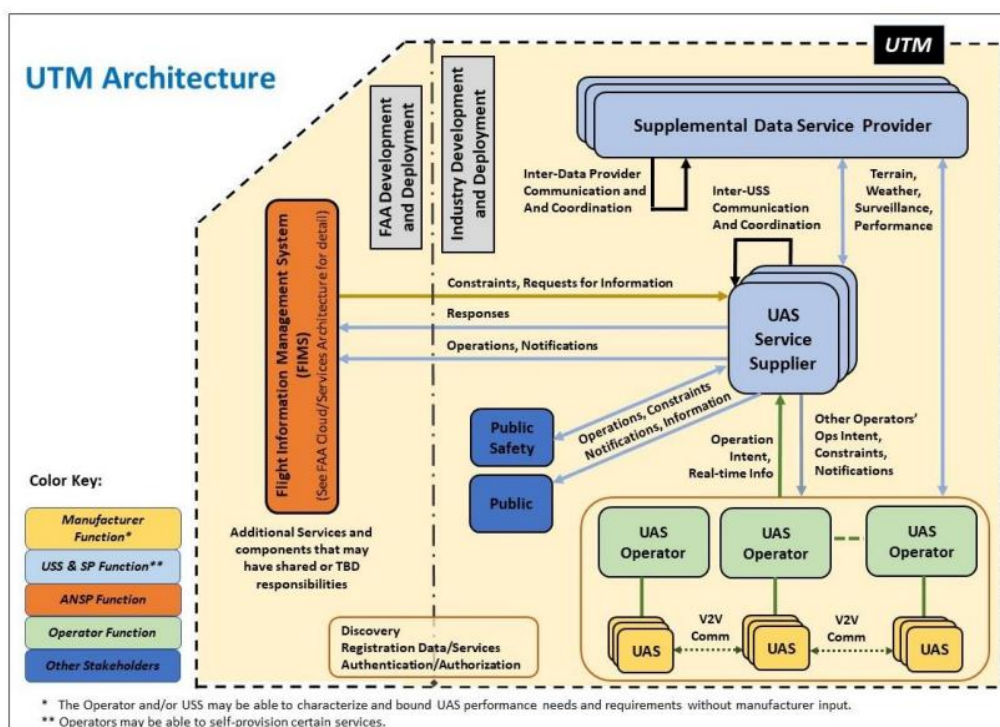


Figure 3. Notional UTM architecture

資料來源：美國聯邦航空總署 (FAA) [5]

圖 3 FAA UTM 概念性架構

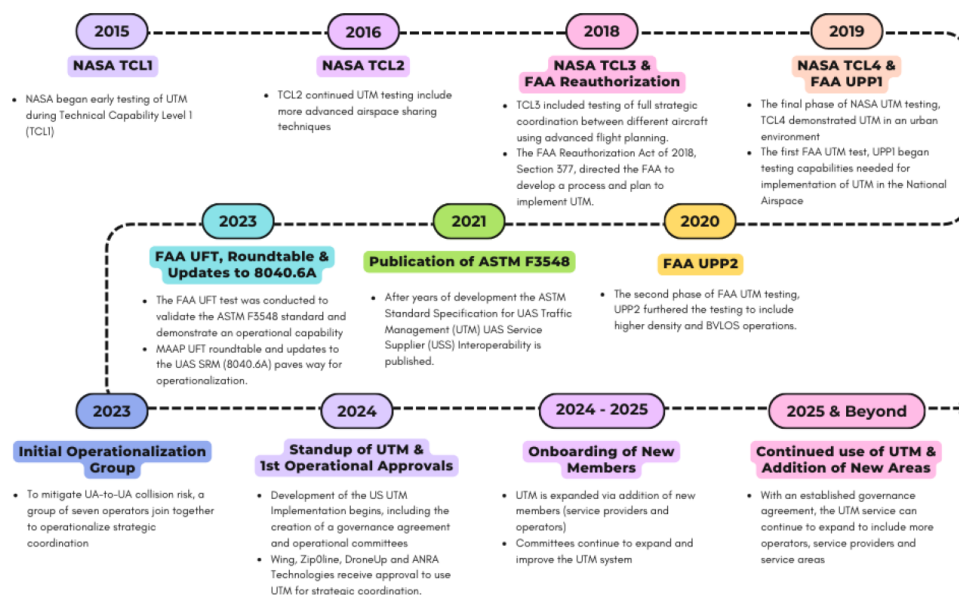


Figure 1. Timeline of development, implementation and operationalization of UTM in the United States.

資料來源：維吉尼亞理工大學 MAAP 研究中心[17]

圖 4 美國推動 UTM 歷程

2.3 歐盟 U-Space 發展框架

相較於美國強調由業界主導的市場驅動模式，歐盟在無人機空域管理上展現了高度「法規導向」(Regulatory-driven) 特性。歐盟於 2017 年，由歐洲單一天空飛航管理研究聯合執行機構 (Single European Sky ATM Research 3 Joint Undertaking, SESAR JU) 與歐洲航空安全署 (EASA) 共同提出「U-Space」發展藍圖 (U-Space Blueprint)，旨在建立一套能確保各類型無人機在包含都市與管制空域等環境中，安全、永續作業的數位化與自動化服務框架。

U-Space 空域指的是經主管機關評估有大量無人機活動，較具作業風險，所劃設的特定空域範圍；在 U-Space 空域中，無人機必須訂閱 U-Space 服務才能進行飛航活動。U-Space 服務的建置被劃分為四個階段：

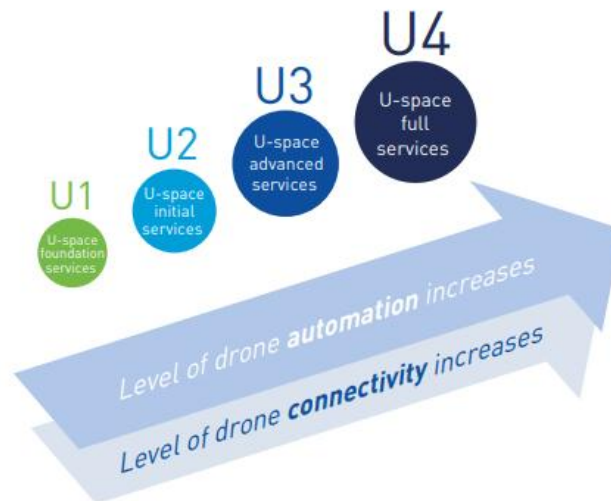
1. U1 基礎服務 (Foundation services)：著重於建立數位化空域的基礎信任與安全底線，涵蓋電子註冊 (e-Registration)、電子識別 (Network Identification) 以及基礎的地理圍欄資訊服務 (Geo-

awareness)，旨在防範無人機誤闖敏感或管制區域。

2. U2 初始服務 (Initial services)：導入動態資訊交換能力，包含飛行授權服務 (Flight Authorisation)、動態地理圍欄、航線規劃，以及即時交通資訊服務 (Traffic Information)。此階段使得 U-Space 服務提供者 (USSP) 之間能進行初步的策略性航線協調。
3. U3 進階服務 (Advanced services)：為支援更高密度的無人機作業與複雜的 BVLOS 任務，此階段引入動態空域容量管理 (Dynamic Capacity Management)、即時衝突排解 (Tactical De-confliction) 與機載偵測與避讓 (DAA) 系統的深度整合。
4. U4 完整服務 (Full services)：終極目標在於達成無人機與傳統載人航空器的全面無縫整合作業，支援全自動化的大型無人機及先進空中交通 (AAM) 載客服務。

在法規層面，歐盟執委會於 2021 年發布《U-Space 執行規則》(Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664) 做為執行依據，法規中定義了「共同資訊服務提供者」(Common Information Service Provider, CISP)、「U-Space 服務提供者」(U-Space service provider, USSP)，以及無人機操作者等多方在 U-Space 空域中的角色與功能，法規已自 2023 年起生效，並陸續修訂 665/666 等版本。

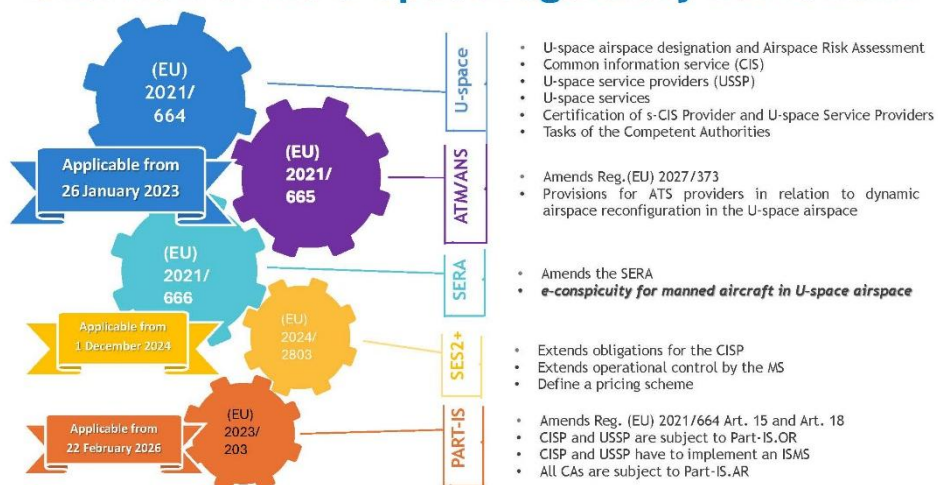
在系統架構上，CISP 負責提供單一、權威且可信賴的空域資訊與交通數據來源，而獲 EASA 認證的 USSP 則基於 CISP 的底層數據，為無人機操作人提供各項 U-Space 服務，從而確保跨國或跨區域服務時飛安數據的絕對一致性。前述法規要求 USSP 在 U-Space 空域中，至少須提供四項必要服務，包括電子識別、地理圍欄資訊服務、飛行授權服務，以及交通資訊服務。歐盟已於 2025 年認證 ANRA technologies 為第 1 個合格的 U-Space 服務提供者。



資料來源：歐洲單一天空飛航管理研究聯合執行機構(SESAR JU)[21]

圖 5 U-Space 發展階段

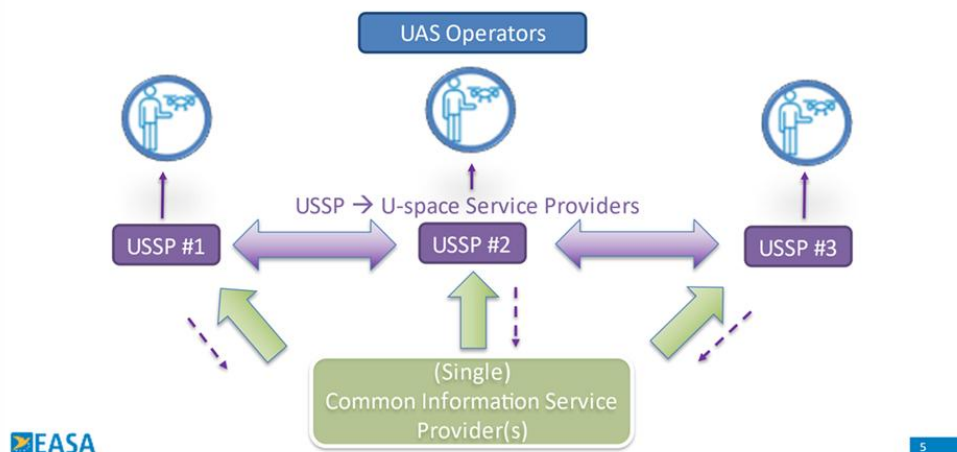
Overview of the U-space regulatory framework



資料來源：歐洲航空安全署(EASA) [https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-traffic-](https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-traffic-management/U-Space)

management/U-Space

圖 6 U-Space 法規體系



資料來源:歐洲航空安全署(EASA) <https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-traffic-management/U-Space>

圖 7 U-Space 參與者

2.4 全球無人機交通管理協會（GUTMA）

在全球官方組織推進政策之餘，以產業為主體的「全球無人機交通管理協會（Global UTM Association, GUTMA）」亦在技術架構與國際接軌上扮演關鍵的推進角色。GUTMA 是一個總部位於瑞士的非營利聯盟，成員包括產業界及 FAA 等政府部門，致力於促進無人機安全、可靠且高效地整合至全球空域中，並加速推動具備全球互操作性的 UTM 系統。

GUTMA 呼籲各界投入國際通用標準的制定，推動全球協調以建立共通的 UTM 框架，避免各國系統各自為政。其次，提倡建立「開放、具互操作性」的 UTM 架構，讓系統能分散式互通，同時保留政府在必要時集中管理的彈性。在法規監理上，建議各國政府採用「以運作為中心」、「符合比例原則」以及「基於風險與績效」的框架，明確定義角色職責，並適時修訂不合時宜的舊法規。

GUTMA 強調「數位化」是實現系統擴充與無縫整合的必備基礎，並敦促監管機關與飛航服務提供者應積極參與並建立實證測試環境，透過實際的示範與部署來加速政府與業界的經驗累積。

GUTMA 定期評估國際間推動 UTM 的進展並提出政策建議，此外也

制定了多項產業共通性文件範本或執行框架，已被產業界與主管機關在實務專案中被採用或認可。

2.5 政策架構比較

表 1 綜合前述美國 FAA、歐盟 EASA 政策框架進行比較。美國傾向於打造由業界主導的分散式網路；歐盟現階段則透過 U-Space 四階段藍圖，建構整體性法規框架。

表 1 美國 FAA UTM、歐盟 U-Space 比較表

比較面向	美國 (FAA) UTM 體系	歐盟 U-Space 體系
核心政策理念	業界主導、社群合作基礎 (Community-based)。 依賴民間 USS 的創新能量，FAA 負責安全監管與 FIMS 介接。	法規計畫導向 (Regulatory-driven)。 透過詳盡的 U1-U4 階段藍圖與法規 (Regulation EU 2021/664)體系規劃推動進程與內容。
系統架構設計	1. 聯邦式系統為基礎，由 USP 提供 UTM 參與者 (例如無人機營運單位) 之間的資訊交換服務。 2. FIMS (Flight Information Management System) 為核心，作為傳統航管 ATC、UTM 之間的資訊交換管道，在維持 ATM 能量的同時，確保雙方得知空域重要動態及限制等資訊；FIMS 由 FAA 管理，並做為監理用途。 3. 標準化且統一分散式網路 (USS Network)。	1. 聯邦式系統為基礎，由 USSP 提供 U-Space 參與者之資訊交換服務。 2. CISP (Common Information Service Provider) 提供單一可信數據來源，發送空域限制、天氣狀況、有人機動態等共通資訊予各 USSP，通常由主管機關或航管機構擔任。 3. 容許成員國可依地制宜選擇不同架構。
城市空中交通 (UAM) 整	針對以大型電動垂直起降	由 CORUS-XUAM 專案主

合進程	飛行載具提供載人服務之城市空中交通(UAM)飛航管理，獨立於 UTM 及 ATM 之外另行規範。	導，發布 U-Space ConOps Edition 4.0，納入 UAM 空中廊道、垂直起降場 (Vertiports) 及 ATM 協同。
主要法規與標準化進程	1. 技術先行，以一系列場域實證計畫驗證技術，再據以研擬法規，相關法規包括 Part 89 (Remote ID)、Part 108 (BVLOS 作業) 與 Part 146 (自動化資料服務供應商認證)。 2. 依循 ASTM、EUROCAE 等產業共識標準。	1. 法規先行，2021 年通過三大法規(EU) 2021/664 (U-Space 監理框架)、(EU) 2021/665 (航管服務提供者要求) 以及 (EU) 2021/666 (有人駕駛航空器在 U-Space 內的要求)。 2. 依循 ASTM、EUROCAE 等產業共識標準。

資料來源：本研究整理。

三、 技術標準

隨著美國聯邦航空總署 (FAA) 的 UTM 營運概念以及歐洲航空安全署 (EASA) 的 U-Space 藍圖逐步推動，將這些高階營運概念轉化為軟體與通訊協定的實體規範，成為國際標準化組織的重要任務。本章聚焦於 ASTM F3548 (無人機服務供應商互操作性標準) 與 ASTM F3411 (遠端識別與追蹤標準)，探討 UTM 在系統互通、通訊架構等面向之技術標準發展趨勢。

3.1 ASTM F3548：無人機服務供應商互操作性標準

在傳統航空領域中，飛航管制 (ATC) 高度依賴集中式的雷達與語音通訊基礎設施；然而，低空無人機作業數量龐大、載具種類繁多，傳統的集中式架構無法負荷此等資料處理量與即時性需求。因此，FAA 與 EASA 提出的 UTM 架構採用了「分散式 (Distributed)」與「聯邦式 (Federated)」

的精神。在此架構下，技術標準的首要目標是確保多方「無人機服務供應商（USS/USSP）」能夠在同一個空域中無縫協作，不會因為軟體系統不同而產生資訊孤島。

ASTM F3548-21（Standard Specification for UAS Traffic Management (UTM) UAS Service Supplier (USS) Interoperability），定義了 USS 之間如何分享資訊、協商空域使用權，並確保在共享空域中維持安全間距。

本標準定義了事前衝突偵測(Strategic conflict detection)機制，要求無人機營運單位在起飛前必須透過標準化 API 宣告包含長、寬、高與時間的「4D 航跡」，讓不同系統能自動核對並預先錯開航線，避免無人機在共享空域中發生碰撞。

為了實現這項跨系統的協調工作，本標準建立了一個名為「發現與同步服務」(Discovery and Synchronization Service, DSS) 的去中心化同步機制，以分散式架構，由特定空域內無人機操作者以點對點方式交換作業意向資訊(Operational Intent)，減少中央伺服器的工作負擔並保障營運機密與隱私。目前業界依據此標準的實作包括 Linux 基金會維護的 InterUSS Platform 開源專案，主要參與者包括 Alphabet 旗下無人機物流公司 Wing。

3.2 ASTM F3411：遠端識別 (Remote ID) 與追蹤標準

遠端識別 (Remote ID) 類似無人機的「數位車牌」，能讓無人機在飛行時透過射頻廣播或網路，向外傳送專屬識別碼、位置及操作員等資訊。其核心目的在於消除無人機的匿名性，以提升安全與責任歸屬，並協助執法單位或一般大眾即時辨識與追蹤潛在的安全威脅。

ASTM F3411（Standard Specification for Remote ID and Tracking）將遠端識別劃分為「廣播式」與「網路式」兩類，並規範其訊息格式、傳輸方法與最低效能要求。

1. 廣播式遠端識別 (Broadcast Remote ID, B-RID)

B-RID 利用無人機搭載的射頻設備(如 Wi-Fi, 或藍牙 4.0/5.0 廣播)，在不需連接網際網路的情況下，直接向周邊有限範圍（通常為數百公尺至數公里）內持續發布無人機動態。在美國的 UPP2 實測中，

測試團隊驗證使用 Wi-Fi 的 B-RID 訊號，在距離地面站 3,000 英尺的距離仍可成功解碼。

2. 網路式遠端識別 (Network Remote ID, Net-RID)

相較於 B-RID 傳輸距離較短，Net-RID 係指無人機將飛行遙測數據(Telemetry)透過 4G/5G 行動網路回傳給遠端識別服務提供者(Net-RID Service Provider)，這些數據隨後會被聚合並分發給顯示提供者(Net-RID Display Provider)。Net-RID 突破了地理通訊距離的限制，讓操作者可在視距外掌握無人機動態，對於無人機執行長距離設施巡檢及物流配送等任務相當重要。

表 2 廣播式遠端識別與網路式遠端識別比較表

比較面向	廣播式遠端識別 (Broadcast RID)	網路式遠端識別 (Network RID)
傳輸方式	Wi-Fi Aware、藍牙 (Bluetooth 4.0/5.0) 射頻廣播	行動通訊網路 (LTE/4G/5G)
通訊距離限制	受限於射頻功率與實體遮蔽，通常為數百公尺至數公里以內	無地理距離限制，視電信網路覆蓋率而定
網際網路依賴性	無需連接網際網路，適用於偏遠地區或無訊號覆蓋區域	依賴網際網路連線，斷線即無法回傳資料
系統架構要求	點對點廣播，周邊手持設備直接接收	需透過 Net-RID 服務供應商聚合資料並上傳至雲端平台
主要應用情境	公眾即時辨識周邊無人機、第一線執法人員現場查驗	全域交通流量監控、跨區域 BVLOS 飛行管理與歷史軌跡記錄

資料來源：本研究整理。

四、國際試驗計畫與實作案例

無人機交通管理系統概念的推動，已從早期的理論框架、營運概念設計與實驗室模擬，邁向真實空域情境的實作測試。將複雜的軟體架構與通

訊標準轉移至不可控的真實物理環境中，驗證無人機服務供應商間的互操作性、資料交換的低延遲性、系統資安防護能力以及對公眾安全之實際影響。

各國政府與國際航空監理機構(如 FAA、EASA、EUROCONTROL 等)透過政府資金挹注與公私協力模式，推動具備明確階段性任務的先導計畫(Pilot Programs)。這些實證計畫不僅驗證了 ASTM 等國際標準化組織所制定之技術規範的可行性，其在實測過程中所遭遇的技術瓶頸、通訊死角、資料隱私爭議與法規落差，更可做為後續修訂法規與產業發展之參考依據。

4.1 美國相關試驗計畫

1. NASA 技術能力層級 (Technical Capability Level) 實測

NASA TCL 系列實測於 2015 年至 2019 年間分四個階段進行，主要參與的測試場域涵蓋了內華達州雷諾(Reno)、德州科珀斯克里斯蒂(Corpus Christi)等多個測試場域。TCL 的首要目標是採用「以風險為導向」及「邊做邊測 (build-a-little-test-a-little)」策略，透過模擬與實地飛行，將無人機操作從低複雜度的偏遠地區，逐步推進到高風險、高密度的城市環境中，藉此為 UTM 的技術架構與資料交換標準奠定基礎。實測重點依據四個能力層級 (TCL 1 ~ TCL 4) 逐步推動：

- (1) TCL 1 (2015 年)： 聚焦於偏遠地區、低交通密度的目視距內 (VLOS) 基本操作與空域使用通知。
- (2) TCL 2 (2016 年)： 擴展至人口稀少與工業地區的目視距外 (BVLOS) 操作，測試重點為追蹤技術與作業程序。
- (3) TCL 3 (2018 年)： 涵蓋中等人口密度區域，實測重點包含「無人機與有人機的混合運作」、「車對車 (V2V) 通訊」及公共安全應用。
- (4) TCL 4 (2019 年)： 挑戰高密度的城市環境，實測重點涵蓋了「大規模緊急應變管理 (Large Scale Contingency Management)」、「偵測與避讓 (DAA)」、進階通訊與導航技術，以及複雜的非正常狀況 (Off-Nominal conditions) 處理。

測試成果在系統架構與互操作性方面，驗證分散式架構與 REST API 資料共享方法的有效性，並透過開發與測試「USS 發現服務(USS Discovery)」，讓多個不同的無人機服務供應商（USS）能順利尋找彼此的覆蓋範圍並進行通訊，成功完成了跨系統的策略型解衝突與操作資訊共享。在密度城市飛行實證上，TCL4 成功在內華達州雷諾市中心等都會區，完成了多架無人機同時在 UTM 系統管理下的密集 BVLOS 飛行（例如成功展示 4 架無人機於市中心上空同時運作）。

TCL 實測成功驗證了 UTM 端到端（End-to-End）的概念，其測試期間開發的核心軟體（如 FIMS 飛行資訊管理系統原型）、API 規範與架構設計，成為後續推動美國 UPP（UTM 試驗計畫）與 UFT（UTM 實地測試）的基礎。

2. UTM 先導計畫第一階段 (UTM Pilot Program Phase One, UPP 1)

UPP 第一階段 (UPP1) 於 2019 年完成，主要參與的測試場域包含維吉尼亞理工大學中大西洋航空夥伴關係（Mid-Atlantic Aviation Partnership, MAAP）、北達科他大學（Northern Plains UAS Test Site, NPUASTS）及內華達自主系統研究所（Nevada Institute for Autonomous Systems, NIAS）。UPP1 的首要目標在於最小化系統部署時間，利用現有網際網路驗證初始的 UTM 資訊交換架構。實測重點在於「操作意向（Operational Intent）之協同共享」與「無人機空域保留（UAS Volume Reservation, UVR）」。

UVR 的主要用途是當空域中發生突發狀況或需要優先通行權的活動時（例如：搜救直升機出動、緊急醫療後送直升機航線），相關單位可申請發布 UVR 來劃設暫時保留的空域。

測試結果顯示，FIMS 與多個 USS 之間能成功介接，並能針對地面緊急事件所需航空服務，快速劃定 UVR 限制空域，將限制指令即時同步至空域範圍內所有 USS 與操作人，淨空空域，確保干擾緊急飛行任務的效率與安全。

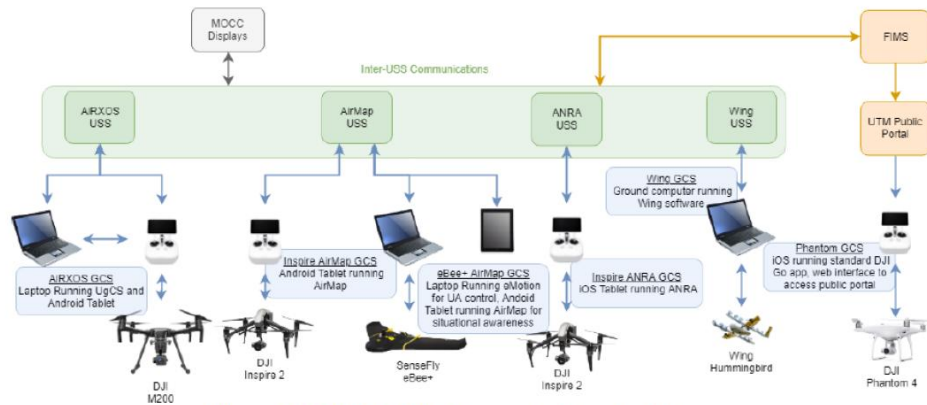


Figure 8: MAAP UTM Demonstration Architecture

資料來源：美國聯邦航空總署 (FAA) [4]

圖 8 UPP1 測試架構



資料來源：美國聯邦航空總署 (FAA) [4]

圖 9 UPP1 實作 UVR 示意圖

3. UTM 先導計畫第二階段 (UTM Pilot Program Phase Two, UPP 2)

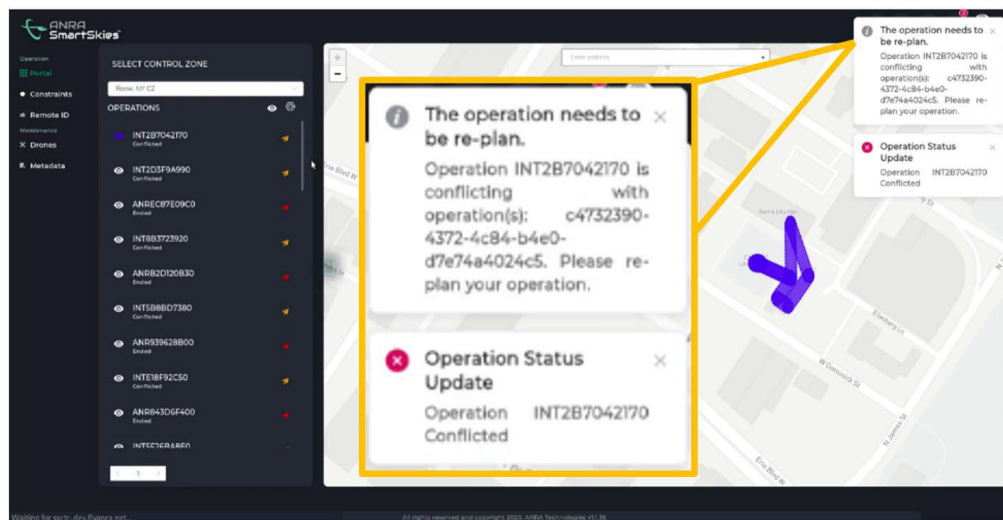
UPP2 於 2020 年至 2021 年間展開，大幅提升了空域密度與情境複雜度，主要於紐約州 Griffiss 機場及維吉尼亞理工大學測試場域執行。UPP2 延續並擴大前期計畫的資訊交換以及 UVR 測試，成功在真實飛行環境中測試了高密度的無人機作業，實現了在單一空域中同時運行 10 架以上無人機的目標。透過無人機服務供應商 (USS) 之間透過資料交換共享「操作意向」，實作事前避碰規劃(Strategic

Deconfliction)。計畫也測試了非正常與突發事件處理 (Off-Nominal/Contingent Events)，例如當無人機偏離預定航線時能自動觸發警報並更新狀態給周遭的無人機。

計畫同時驗證了 ASTM F3411 遠端識別 (Remote ID) 標準，包括藍芽 4.0 及 5.0 不同標準在傳輸資訊的效能，並驗證 Wi-Fi 廣播式 Remote ID 在 3,000 英呎的距離外仍可被地面接收器成功解碼，但在測試過程也偶有斷訊或延遲等情形。

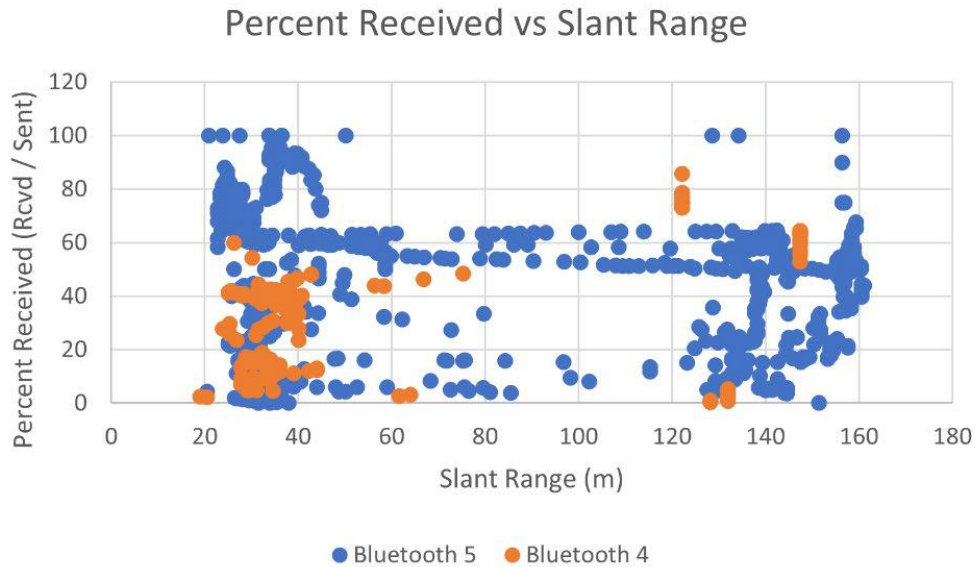
在支援執法方面，FAA 開發了「整合無人機識別自動化系統 (Integrated Drone Identification Automated System, IDIAS)」，提供資料關聯查詢 (Data Correlation) 能力，讓執法人員能將空中的 RID 訊號與後台註冊及授權資料進行即時比對。

在資訊安全方面，UPP2 採用 OAuth 2.0 和數位簽章機制，同時實作了實作了依循「國際航空信任框架 (International Aviation Trust Framework, IATF)」的憑證授權機制，確保資料的完整性 (Data integrity)、來源身分驗證 (Authentication) 及不可否認性 (Non-repudiation)。



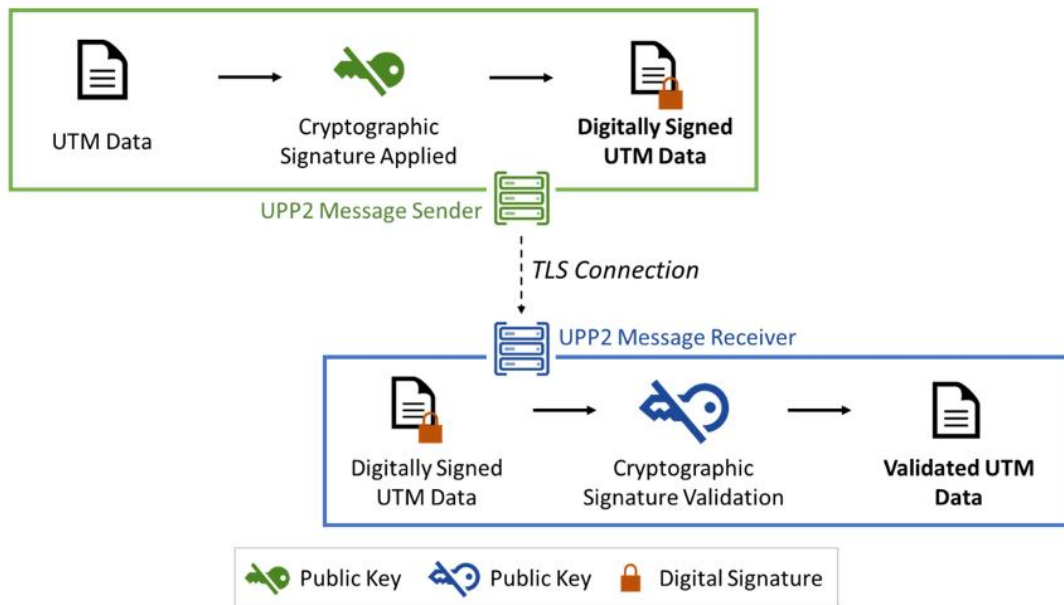
資料來源：美國聯邦航空總署 (FAA) [7]

圖 10 UPP2 計畫飛行計畫衝突示意圖



資料來源：美國聯邦航空總署 (FAA) [7]

圖 11 UPP2 計畫實測藍芽 Remote ID 傳輸效能比較



資料來源：美國聯邦航空總署 (FAA) [7]

圖 12 UPP 計畫數位簽章示意圖

4. UTM 場域測試計畫 (UTM Field Test, UFT)

UTM 場域測試 (UFT) 銜接 UPP 計畫成果，於 2023 年完成，主要參與的測試場域包含紐約無人機測試場域 (NYUASTS)，以及維吉尼亞理工大學(與德州 Lone Star UAS Center 共同執行)。UFT 的首

要目標在於真實環境中進一步驗證 UTM 系統的能力與 ASTM 業界標準，推動 UTM 服務從研發階段邁向實際部署。

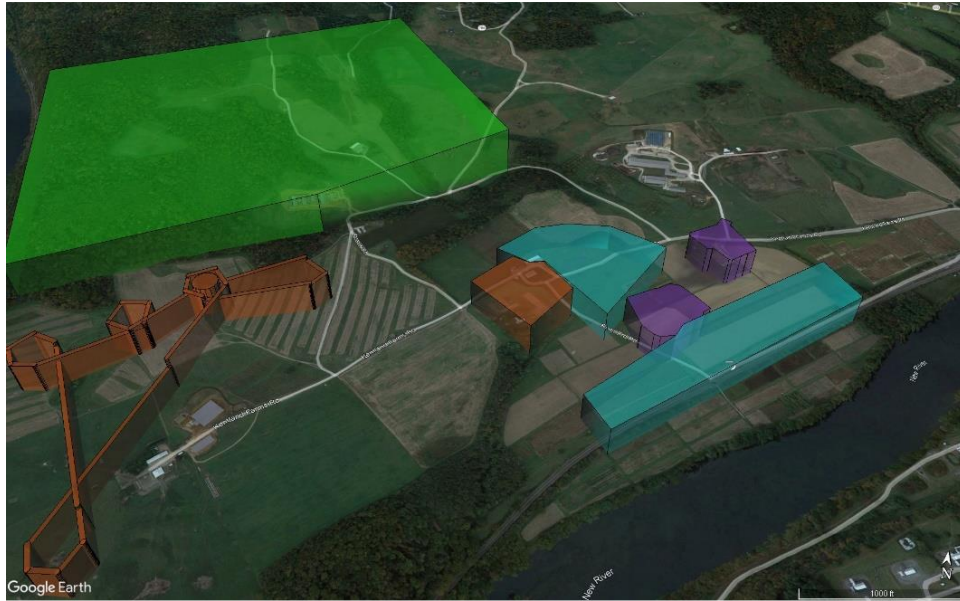
實測重點涵蓋了「事前衝突偵測 (Strategic Conflict Detection)」、「一致性監控 (Conformance Monitoring)」、「限制管理與優先操作 (Constraint Management & Priority Operations)」、「資料關聯查詢 (Data Correlation)」及「訊息資安防護 (Message Security)」。

首先，在流量管理上，證實了依循 ASTM 標準能有效支援多個 USS(無人機服務供應商)與操作人間的事前避碰規劃與一致性監控；透過向操作人提供充分的鄰近營運意圖資訊，提升了情境感知與航線規劃能力，使得多數無人機飛行計畫能在首次申請時即獲批准。

其次，在資安防護上，成功驗證了結合數位憑證與訊息簽章 (Message Signing) 的多層防護機制，確保了端到端與訊息層級的完整性，並證實對資料關聯查詢進行訊息加密，並不會對系統的傳輸延遲 (約 5~20 KB 的封包大小) 產生顯著影響。

在進階查詢服務方面，成功展示了執法人員能透過廣播遠端識別 (Broadcast Remote ID) 獲取無人機序號，進而安全地關聯並查詢 FAA 的註冊庫與歷史數據。

在系統審查與標準發展上，UFT 證實了導入開源的自動化測試框架，能有效驗證 USS 系統功能並大幅簡化服務商的資格審查流程；同時也具體點出目前的 ASTM 標準在「可用性仲裁 (Availability Arbitration)」與「優先權操作機制的結構設計」上仍存在落差，為後續業界合作、標準修訂與法規制定提供了明確的實證指引。



資料來源:美國聯邦航空總署(FAA)[8]

圖 13 UFT 計畫事前避碰規劃示意圖

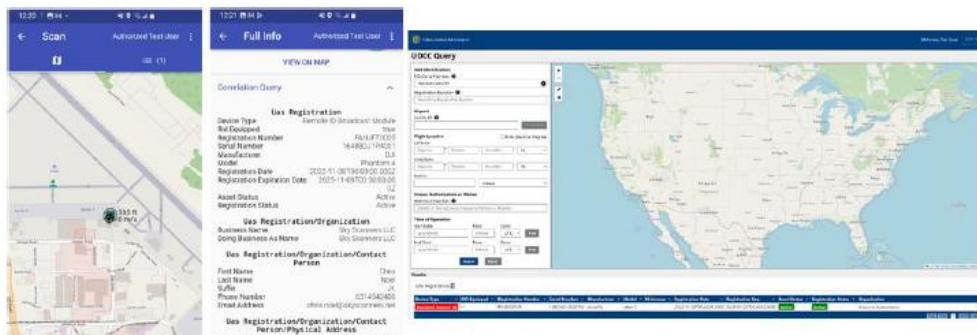


Figure 17: FAA Data Correlation User Interfaces

資料來源:美國聯邦航空總署(FAA)[8]

圖 14 UFT 計畫 FAA 資料關聯查詢介面

5. UTM 關鍵場域營運評估 (UTM Key site operational evaluation)

UTM 關鍵場域營運評估是美國聯邦航空總署 (FAA) 為了評估 UTM 服務，並為未來視距外飛行作業 (BVLOS) 法規鋪路，所發起的官方評估專案。在這個架構下，透過與業界在這個真實場域的合作，FAA 能夠驗證數據內容與業務規則，並獲取推動後續無人機空域整合與立法所需的重要營運數據。

(1) 行政審查程序

FAA 透過「短期核准程序」(Near-Term Approval Process, NTAP) 據以評估產業界申請 UTM 營運服務的可行性。NTAP 並非正式的認證程序。它是 FAA 用來評估第三方服務（例如無人機服務供應商 USS 和補充數據服務供應商 SDSP）之安全緩解的一種方式。如果 FAA 認為某項服務可被接受，就會發出「接受函」(Letter of Acceptance, LOA)，獲得其暫時性豁免(waivers)或免除(exemption)。NTAP 接受函必須依附在特定營運商的豁免或免除資格上，一旦該項營運結束，該授權也會隨之消失，無法作為服務供應商永久獨立的認證。而針對長期性的正式授權，目前 FAA 已提出 Part 146 自動化數據服務提供商(FAA Automated Data Service Providers)草案，規範 UTM 服務在內的服務提供者認證內容與程序，目前已完成徵求意見程序，預計 2026 年下半年正式發布。

(2) 實作計畫

維吉尼亞理工大學 MAAP 研究中心所執行的「共享空域計畫」(Shared Airspace)，是實現美國首次無人機交通管理 (UTM) 實用化的實際測試場域與技術基礎。自 2023 年 8 月起，MAAP 協調了 Wing、Zipline、DroneUp 等 7 家無人機營運商，在德州北部針對日益密集的無人機送貨重疊空域展開合作。FAA 審查了參與共享空域計畫的業者，並首度向 ANRA Technologies、DroneUp、Wing 和 Zipline 等公司發放接受函，讓這場營運評估得以在合法授權下順利進行。該業界聯盟利用 InterUSS 平台進行自動化測試，並成功部署了符合 ASTM 標準的事前避碰規劃(Strategic Deconfliction)，建立了可持續運作的資料共享與業界治理架構。

本計畫成功驗證了不同無人機操作者及 USS 服務提供者（例如 Manna 透過 ANRA Technologies 的服務，以及 Wing 使用自家的 UTM 服務）在德州北部的真實重疊空域中進行商業飛行，利用 UTM 互相避讓。

本計畫實作 ASTM F3548-21 標準中定義的兩項核心服務：「事前衝突偵測 (Strategic conflict detection)」與「總體營運意圖一致性監控 (Aggregate operational intent conformance monitoring)」。在計畫

管理方面，本計畫採用 GUTMA 所發布的「無人機服務供應商 (USS) 資料共享與治理協議範本 (USS Data Sharing and Governance Agreement Template)」，透過此框架，設立「營運委員會」與「技術委員會」，用以處理營運爭端、管理成員導入流程及維護技術規範。團隊也計畫將這次在美國實施的經驗回饋給 GUTMA，以促進全球 UTM 標準的發展。

此外，面對商業化的營運規模，本計畫採用 InterUSS 平台作為自動化測試的實作工具。任何新的服務供應商在正式營運前，都必須透過 InterUSS 參與三個階段的導入測試(Onboarding gates)，完成自身系統與整體生態圈的模擬驗證後，才能進入實際空域。

表 3 Shared Airspace 三階段導入測試標準

Table 1. Onboarding gates from the UTM Service Provider Data Sharing and Governance Agreement. [7]

Gate	Gate Exit Criteria		
	Service Provider	Operator	Joint
GATE 1: Qualification Testing	- Implement the service requirements in accordance with the applicable service description document - Pass automated testing (own system only)	N/A	N/A
GATE 2: Simulation	Pass automated testing (ecosystem)	N/A	Integrate service provider and operator systems
GATE 3: Production Flights	Pass automated testing (ecosystem) as a part of the software release process	Validate operational practicality through overlapping airspace simulation	N/A

資料來源：維吉尼亞理工大學 MAAP 研究中心[17]

4.2 歐洲 U-Space 相關試驗計畫

在 U-Space 實證計畫方面，歐洲由 SESAR JU 與 EUROCONTROL 主導，透過一系列的大型計畫建構 U-Space 藍圖。

1. 芬蘭灣（Gulf of Finland 2）計畫

芬蘭灣的 GOF 2.0（Gulf of Finland 2）計畫是推動歐洲 U-Space

發展與落地的「大型示範計畫 (Very Large Scale Demonstrations, VLDs)」之一。本計畫不僅在真實環境中驗證了 U-Space 的技術可行性，其產出成果更直接塑造了現今歐洲 U-Space 的系統架構與標準。

GOF 2.0 計畫的團隊與聯盟主要於 2021 年至 2022 年間進行各項大型示範與研究開發。許多關鍵的 U-Space 服務規範 (如資料交換模型) 的草案於 2021 年陸續成型，最終於 2022 年對外發布。本計畫是受歐盟「地平線 2020 (Horizon 2020)」研究與創新計畫下的 SESAR 2020 專案所資助。GOF 2.0 計畫主要成果如下：

(1) 制定並驗證 U-Space 的核心資訊交換模型

GOF 2.0 開發並記錄了 10 種 U-Space 關鍵資訊的交換模型 (包含：交通與遙測、營運計畫、地理區域、註冊、營運訊息、交通一致性監控、網路數據、地面控制整合、無人機飛行與天氣)，已被納入《U-Space ConOps 4th edition》附件中。這些文件被視為實施歐盟 U-Space 基礎法規 (EU 664/2021) 的重要實務指引。此外，其開發的資料交換架構後續也被其他重要的 U-Space 專案所繼承與採用。

(2) 為城市空中交通 (UAM) 定義新型的 U-Space 服務

隨著無人機與電動垂直起降飛行器 (eVTOL) 的發展，GOF 2.0 針對城市空中交通的需求，定義並測試了傳統航空未曾具備的創新 U-Space 服務。例如：利用人口密度等移動數據來計算地面風險。提供連線數據 (Connectivity data)，以確保無人機與地面站間通訊鏈結的可靠性。提供超局部 (Hyperlocal) 的精準天氣資訊。

(3) 測試傳統飛航管理 (ATM) 與 U-Space 的系統整合

該計畫的核心目標是展示在高密度的城市空域中，如何利用現有的 ATM 系統與 U-Space 服務，讓無人機、eVTOL 與傳統有人飛機安全且有秩序地共存。計畫中也特別評估了傳統航空領域用來交換動態資訊的 AIXM 格式，是否適合用於 U-Space 的地理圍欄 (Geofence) 資料管理，並研究如何透過共同資料儲存來提升 ATM 與 UTM 之間的協作效率。

2. CORUS-XUAM (Concept of Operations for European UTM systems–Extension for Urban Air Mobility)

CORUS-XUAM 計畫的目標，是研究如何將新興的城市空中交通 (UAM) 與電動垂直起降飛行器 (eVTOL) 安全且高效地整合入 U-Space 環境中。

CORUS-XUAM 產出了《U-Space ConOps 4th edition》，第四版營運概念特別針對 eVTOL 載客與載貨營運的限制 (如較短的飛行續航力) 進行了規範，並詳盡定義了垂直起降場 (Vertiports) 的運作指導原則、軌跡管理 (Trajectory Management) 以及傳統飛航管制 (ATM) 與 U-Space 間的協調程序。

為了驗證這些概念，CORUS-XUAM 於歐洲六個不同的地點 (包含義大利、法國、英國等) 執行了六項具備高度挑戰性的超大型實證 (VLDs)。實證場景涵蓋了都市、近郊與跨城環境，甚至包含鄰近 ATM 管制空域與主要機場管制區的混合作業。以義大利測試為例，實測中建立了專屬的「UAM 空中廊道」(UAM Corridors)，並評估了載人 eVTOL 與無人機間的無衝突狀態評估 (Conflict-free status assessment)。



資料來源：歐洲單一天空飛航管理研究聯合執行機構 (SESAR JU)

<https://www.sesarju.eu/news/cargo-drone-conducts-final-corus-xuam-test-flights>

圖 15 CORUS-XUAM 計畫實測大型貨運無人機運作

3. SUSI – Swiss U-Space Implementation

瑞士 U-Space 實施計畫 (SUSI) 的 Field Test V1 (第一階段實地測試)，是瑞士聯邦民航局 (FOCA) 為了在蘇黎世地區分階段導入 U-Space 而進行的測試。SUSI 是一個由 FOCA、瑞士航空導航服務提供者 Skyguide 以及數十家產業界公司所組成的公私協力聯盟。該測試於 2025 年 11 月 19 日在蘇黎世管制空域 (CTR) 內進行，測試目標是評估 U-Space 服務的技術與營運成熟度、各系統間的互操作性 (Interoperability)，並藉此收集無人機營運商與 U-Space 服務提供者 (USSP) 的回饋，以指引下一階段 (V2) 的實施，同時為歐盟層級的政策與法規發展提供實證建議。

Field Test V1 並未涵蓋所有的 U-Space 服務。其測試範圍包含以下四項核心服務：網路遠端識別服務 (Network Identification Service)、地理感知服務 (Geo-awareness Service)、無人機飛行授權服務 (UAS Flight Authorisation Service) 及交通資訊服務 (Traffic Information Service)。主要測試結果與發現如下：

- (1) 技術與法規成熟度仍不足：報告指出，目前的 U-Space 技術與法規成熟度尚未完全達到大規模部署的期望。若 U-Space 空域僅侷限於少數地區，其商業模式與長期永續性仍面臨挑戰。
- (2) 自動化測試：實證發現，各家 USSP 系統的互操作性挑戰極大，自動化測試與協調的發布管理是確保 U-Space 發展不可或缺的基礎。
- (3) 互操作性的挑戰與克服：在實地測試當日，USSP 間的資料穩定交換（互操作性）並未達標（因設定問題導致）。但在測試後一週內的模擬飛行追加測試中，USSP 成功解決了問題並達成了互通，這也證明了自動化測試架構能讓工程團隊快速排除問題。

FOCA 刻正根據 V1 的回饋，針對尚未完善的通訊、USSP 與營運商之間的介面體驗等問題進行改進，並將測試範圍擴展至包含動態空域重劃與載人航空器數據，預計於 2026 年下旬展開第二階段測試。

五、我國現況盤點與應用需求初探

本章基於交通部民用航空局與相關研究單位之政策與實證成果，盤點我國目前在無人機數位化管理平台、射頻識別之規範與機制；以及電子圍籬與偵測與避讓（DAA）等空域管理技術上的推動現況。

5.1 無人機數位化管理平台

我國在無人機管理上，已具備數位化基礎，交通部民用航空局已建置「遙控無人機管理資訊系統」，作為現階段無人機監理的核心數位樞紐。目前管理資訊系統提供了包含無人機實體註冊、操作人員測驗與發證管理、活動空域查詢（UAS Zone），以及法人活動之線上報備等功能。若以歐盟 U-Space 的發展藍圖（U-Space Blueprint）為對照基準，我國的 DroneMAP 已實質上涵蓋了 U1 基礎服務（Foundation Services）中最核心的「電子註冊（e-Registration）」與「預先策略性地理圍欄（Pre-tactical Geofencing / UAS Zone）」功能。操作人可透過該系統得知紅區、黃區與綠區等各類無人機活動或限制空域之劃分。

5.2 射頻識別（Remote ID）

依據民航局之政策規劃，我國已確立了以「廣播式遠端識別（Broadcast Remote ID）」結合「高階硬體加密」為主的技術路線。在國際標準（如 ASTM F3411-22）的框架中，Remote ID 允許明文廣播以利一般大眾與執法人員透過手持設備接收；例如美國 FAA 即採行非加密廣播機制，而日本則採用了 AES-128 CCM 進行加密，我國政策決定採用 AES-256 CCM 加密技術，以確保了無人機向外廣播的即時位置、高度、速度與設備序號等敏感遙測數據（Telemetry），僅有具備官方解密金鑰的公務或執法單位能夠完全解析。此機制能有效防止惡意第三方進行訊號攔截、重放攻擊（Replay Attacks）、偽冒身分，或是對特定無人機進行軌跡窺探與跟蹤。初期政策亦積極鼓勵國內產業界，投入開發符合規範之廣播模組，以培植產業能量。

5.3 我國潛在應用情境探討

1. 交通部無人機物流運送驗證計畫

為推動無人機物流服務常態營運發展，並評估無人機協助偏遠山區與離島地區物資運送之潛力，運研所自民國 109 年起持續推行無人機物流整合示範計畫。透過導入 UTM 系統架構，物流營運商能夠與民航局及其他空域使用者共享即時的四維飛行軌跡，並在遭遇天候突變或接收到 UTM 的即時警示時，迅速進行航線重劃（Re-routing）。未來無人機物流如邁向常態化營運，需仰賴高解析度微氣象數據、動態通訊覆蓋地圖，以及即時的空域動態容量管理等服務。

2. 衛福部無人機偏鄉醫療物資運送計畫

城鄉醫療資源的分配不均，是我國偏鄉及離島面臨的另一項重大社會挑戰。衛生福利部刻正於花蓮等地推動偏鄉無人機偏鄉醫療物資運送計畫，將無人機科技應用於醫藥等高時效性、高價值醫療物資的運送。在此類分秒必爭的緊急醫療情境下，可參考美國測試案例中，UTM 系統的「無人機空域保留（UAS Volume Reservation, UVR）」功能，當載運緊急醫療物資的無人機準備起飛時，系統可自動向周邊空域發布 UVR，賦予該醫療任務最高層級的空域優先權（Priority Access）。此機制可透過 UTM 網路強制要求航線周邊的其他休閒或一般商業無人機立即進行避讓、懸停或就地降落，確保醫藥物資能夠在不受任何空中干擾的情況下，以最短時間抵達目的地。

3. 自動化巡檢與未來 AAM 佈局

除了高經濟價值的物流與醫療應用外，包含高壓電塔巡檢、水庫集水區監測以及橋梁巡檢等任務，亦正全面導入無人機的自動化巡航技術。這些任務往往需要長時間滯空與超視距作業，對 UTM 的航線授權自動化依賴甚深。此外，展望更長遠的未來，我國亦必須為載人的先進空中交通服務（Advanced Air Mobility, AAM），預為探討空域架構與管理機制。

六、 後續研究方向與建議

本章基於國際政策框架與實證計畫，針對技術、管理機制及應用發展等面向，綜合提出後續研究方向與推動建議。

1. 偵測與避讓（DAA）與行動通訊技術發展

針對複雜環境（如都市峽谷）的混合避讓等情境，後續應研究可朝向整合機載感測裝置及 Remoted ID 等多源數據，建立高韌性的態勢感知演算法。另根據 GUTMA 研究，無人機對行動網路的依賴程度將隨服務等級提升而增加，5G 網路是確保無人機通訊（C2、Remote ID、數據遙測）與高頻寬視訊傳輸的關鍵。後續可與電信業者合作，加強基礎設施布建，確保無人機在擁擠、訊號複雜或偏遠區域之通訊品質。

2. 參考國際 UTM 架構，精進我國管理機制

我國目前已建立遙控無人機資訊系統，並已提出 Remote ID 推動時程，面對未來視距外飛行以及高密度作業的需求，可參考國外政策框架與實作案例，調和國際發展趨勢與標準，考量我國空域特性與限制，逐步推動相關政策，建構更高效、安全之無人機管理機制。

3. 評估設立 UTM 測試場域與驗證平臺

參酌 GUTMA 建議，我國可評估應在現有的無人機試驗場域基礎上，進一步劃設 UTM 創新測試驗證場域，結合 5G 等基礎設施，讓產業界能在可控制環境中，進行 UTM 相關通訊、感測避讓技術測試。另依據瑞士研究報告，為模擬 UTM 在動態環境下的互操作性，後續可聚焦於建立「數位孿生（Digital Twin）」或「自動化測試平台」，透過虛擬環境的操作，模擬 UTM 情境，做為相關研究與政策發展基礎。

4. 優先推動高應用價值情境導入

針對無人機物流及偏鄉醫藥運送等具有公益性，且具一定程度風險之無人機作業，建議應優先做為導入 UTM 之標的。目前交通部民用航空局已於針對無人機載貨作業，要求試驗單位具備 UTM 相關功能。未來可進一步測試相關 UTM 進階空域管理技術，提升物流作業之效率與安全。

參考文獻

1. ASTM International. (2021). ASTM F3548-21: Standard Specification for UAS Traffic Management (UTM) UAS Service Supplier (USS) Interoperability.
2. ASTM International. (2022). ASTM F3411-22: Standard Specification for Remote ID and Tracking.
3. Federal Aviation Administration (FAA). (2019). UTM Pilot Program (UPP) Technical Summary Report.
4. Federal Aviation Administration (FAA). (2020). UTM Pilot Program (UPP) Phase 1 Technical Report.
5. Federal Aviation Administration (FAA). (2020). Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM) Concept of Operations v2.0.
6. Federal Aviation Administration (FAA). (2021). UTM Pilot Program Phase 2 Progress Report.
7. Federal Aviation Administration (FAA). (2021). UTM Pilot Program Phase 2 Final Report.
8. Federal Aviation Administration (FAA). (2023). UTM Field Test Final Report.
9. Federal Aviation Administration (FAA). (2025). Normalizing Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight Operations (Notice of Proposed Rulemaking, NPRM). Federal Register.
10. Federal Aviation Administration (FAA) & National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2017). UAS Traffic Management (UTM) Research Transition Team (RTT) Plan.
11. Federal Office of Civil Aviation (FOCA). (2026). U-Space Field Test V1 Report
12. Global UTM Association (GUTMA). (2017). UAS Traffic Management Architecture.
13. Global UTM Association (GUTMA). (2020). Designing UTM for Global Success V3.
14. Global UTM Association (GUTMA). (2024). GUTMA Task Force Report on Mobile Network Services for Drone Operators.
15. InterUSS Platform. (n.d.). InterUSS Platform's implementation of the ASTM DSS concept for RID and flight coordination. GitHub Repository.
16. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023). Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM) - A Common Framework with Core Principles for Global Harmonization.

17. Mid-Atlantic Aviation Partnership (MAAP), Virginia Tech 。 (2025) Initial Operation Report-Uncrewed Aircraft Systems (UAS) Traffic Management (UTM)Implementation in the United States (US)
18. Molinario, M., Esposito, G., Ferrara, G., & Favier, A. (2024). CORUS-XUAM: Tackling Urban Air Mobility Airspace Integration Challenges. International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS).
19. Rios, J & Smith, I & Smith, D & Baskaran, V & Jurcak, S & Iyer, S & Verma, P. (2018). UTM UAS Service Supplier Development: Sprint 1 Toward Technical Capability Level 4.
20. SESAR Joint Undertaking. (2023). U-Space Concept of Operations (ConOps), 4th Edition.
21. SESAR Joint Undertaking. (2017). U-Space Blueprint.
22. 工業技術研究院 (2025)。偵測與避讓(DAA)國際規範實證分享。交通部民用航空局遙控無人機工作坊第四場。
23. 工業技術研究院 (2025)。電子圍籬及空中廊道國際規範實證分享。交通部民用航空局遙控無人機工作坊第四場。
24. 交通部民用航空局 (2025)。UTM 發展趨勢簡報。交通部民用航空局遙控無人機工作坊第三場。
25. 交通部民用航空局 (2025)。遙控無人機射頻識別(Remote)推動計畫簡報。交通部民用航空局遙控無人機工作坊第三場。