

美國推動無人機於交通領域應用之策略與機制研究

The U.S. Strategies and Policies on UAS Operations in the Transportation Field.

運輸資訊組 黃于哲 吳東凌 張益城

研究期間：民國111年2月至111年12月

摘 要

無人機科技日新月異，其高機動性、廣泛部署、可適應地形之特性，使其在交通領域具有極大發展潛力。美國於全球無人機科技研發及標準訂定具有領導地位，故本研究之目的係借鏡美國推動無人機整合示範計畫，帶動無人機創新應用以及產業發展之經驗，並了解無人機最新發展趨勢。本報告首先簡介無人機整合示範計畫、BEYOND 計畫及無人機測試場等相關計畫內容，接續說明前述計畫示範場域執行情形，並彙整美國先進空中交通發展趨勢，最後提出心得與建議。

關鍵詞：

無人機、智慧運輸、城市空中交通。

美國推動無人機於交通領域應用之策略與機制研究

The U.S. Strategies and Policies on UAS Operations in the Transportation Field.

一、前言

無人機科技日新月異，其高機動性、廣泛部署、可適應地形之特性，使交通運輸服務突破自然環境或經濟社會條件之限制，提升運輸服務之安全與效率。交通部為有效導入無人機於我國交通運輸領域的應用以及促進相關產業的發展，責成運輸研究所召集成立「交通科技產業會報-無人機科技產業小組」，研擬我國無人機在交通領域之推動策略及發展路徑，帶動無人機在交通領域之應用發展。

近年來先進國家持續關注無人機交通管理(Unmanned Aircraft Systems Traffic Management, UTM)，以及先進空中交通(Advanced Air Mobility, AAM)等議題，故有必要了解前述議題發展趨勢，研議我國因應與推動策略，以銜接國際趨勢。

美國於全球無人機科技研發及標準訂定具有領導地位，美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, 以下簡稱FAA)自2017年起推動無人機整合示範計畫(UAS Integration Pilot Program, 以下簡稱IPP計畫)，由FAA與全美各州、地方政府、民間或研究單位合作，推動無人機於巡檢、防災、公共安全、物流及交通管理等各項應用之先導測試。

本研究蒐集美國公部門與產業界合作協力推動無人機科技產業發展之經驗，並了解無人機最新應用及技術發展趨勢，做為交通部擘劃無人機相關政策、管理方式與執行策略之參據，以期促進我國無人機在交通領域之發展，同時提升我國無人機科技產業發展能量。

二、美國無人機整合示範計畫簡介

(一) 計畫背景

美國政府為推動無人機加速整合進入國家空域系統（National Airspace System），於 2017 年 10 月，時任美國總統簽署行政命令（Presidential Memorandum），責成美國運輸部（Department of Transportation）推動無人機之作業安全以及科技發展，同時促進無人機在農業、商業、緊急管理、人員運輸以及其他部門應用之發展。美國運輸部責成聯邦航空總署無人機整合辦公室（UAS Integration Office）執行無人機整合示範計畫（Unmanned Aircraft Systems Integration Pilot Program，以下簡稱 IPP 計畫）。本計畫於 2017 年 11 月刊登美國政府聯邦公報（Federal Register）。嗣後，於 2018 年 5 月由來自美國各州、地方、印地安自治區政府（State, Local, Tribal governments）之申請者中選出 10 個先導參與團隊（Lead Participants），各團隊依據當地需求與特性，提出發展重點與作業型態，經過 FAA 審查與評估，給予相關法規豁免（Waiver）。IPP 計畫提供民間企業測試無人機新興商業模式的機會，公部門也藉此計畫累積安全營運數據，據以調適管理規則，並加強公眾溝通。IPP 計畫自 2018 年 5 月執行至 2020 年 10 月，目前由 FAA 推動下一階段 BEYOND 計畫接續，以下說明 IPP 以及 BEYOND 計畫之重點與成果。



(資料來源：FAA)

圖 1 IPP 計畫參與團隊分布圖

(二) 計畫目標

依據 2018 年度聯邦航空總署再授權法案 (2018 FAA Reauthorization Act)，IPP 計畫之具體標的與推動策略如下：

1. 加速無人機與國家空域系統之整合，實際測試與驗證無人機視距外飛行之關鍵議題，包括感測與避讓技術(Detect and Avoid, DAA)、通訊及控制信號鏈路(Command and Control links)、導航、天氣及人為因素。
2. 探討無人機潛在安全與保安風險，包括人身安全、關鍵基礎設施等層面，透過無人機操作者與各層級政府部門與執法單位之充分溝通，識別無人機運作風險。
3. 推動美國無人機產業之創新與發展，聚焦於具有公共利益之部門，包括農業、緊急管理、檢測服務以及運輸安全。
4. 協助主管機關、聯邦與地方政府探索無人機發展與管理方法。

聯邦航空總署於 2017 年 11 月刊登聯邦公報，徵求 IPP 計畫參與團隊，由於 IPP 計畫鼓勵申請團隊提出當時法規不允許之作業內容，

本次公報內容說明主管機關將藉由 IPP 計畫蒐集無人機新興應用之測試數據，據以調適相關管理法規，重點應用項目如下：

1. 視距外飛行，例如油管巡檢、緊急救援任務等應用。
2. 人群上空運作，例如公共安全、媒體報導等。
3. 無人機物流運送，例如食品運送及包裹遞送。

本次公報內容並說明主管機關 FAA 將運用前述測試數據於以下重點工作項目以及政策規劃：

1. 識別並解決無人機整合相關技術挑戰。
2. 探討安全與有效率之有人機、無人機空域整合。
3. 建構作業標準及程序，以提升無人機作業之安全性。
4. 簡化行政程序以及適度調整管理強度，例如減少需申請法規豁免(Waiver)之任務類型。
5. 探討聯邦政府以外之政府機構在無人機管理、安全、保安的角色和責任以及隱私議題。

FAA 後續依據計畫執行經驗，整合前述目標，提出 IPP 計畫三個成功領域(IPP Success Areas)如下：

1. 安全地整合無人機進入國家空域系統
 - (1). 在安全前提下推動進階無人機作業 (Complex operations)。
 - (2). 累積足夠飛行經驗，做為政策規劃以及常態營運參據。
2. 社會與社區衝擊
 - (1). 分析公眾對無人機之態度以及無人機之社會經濟效益。
 - (2). 了解並緩解公眾及地方政府機構對無人機作業之疑慮。
3. 協助主管機關政策規劃與決策

提供主管機關 FAA 調適管理法規之參考依據，以推動無人機新興商業模式之常態營運。

(三) 計畫團隊甄選

凡美國政府機構均可申請成為計畫主導單位(Lead Participant)，包括州政府、地方政府及自治區政府；而民間單位可加入前述政府機構，共同組成團隊。申請成為計畫主導單位的政府機構，需與其他政府部門或民間單位組成合作團隊，共同執行計畫。獲選之計畫團隊將與聯邦政府簽署合作備忘錄，內容包括擬執行之作業內容，測試數據共享需求，以及資金來源，為鼓勵申請單位與民間產業合作，聯邦政府將不提供任何經費補助。

申請單位須提出計畫內容包括：擬使用之空域範圍，包括地理邊界及高度、擬進行之作業類型、合作團隊、測試所需基礎設施、相關計畫執行經驗、其他相關計畫（安全與保安、隱私保障及公眾參與）。主管機關 FAA 遴選各計畫團隊之考量因素如下：

1. 社會經濟與實質地理環境之多元性
2. 政府參與計畫模式之多元性
3. 無人機作業類型之多元性
4. 關鍵基礎設施地點
5. 參與民間合作團隊之能力
6. 測試驗證地區之社區參與以及支持
7. 國防、國土安全、安全與保安、隱私保障之遵循程度
8. 政策需求符合程度

透過 IPP 計畫執行之無人機作業任務類型多元，其中最具代表性，並同時兼具社會及經濟效益與必要性之三項重點應用，包括物流運送、

公共安全以及基礎設施巡檢，如表 1。因此，IPP 計畫的主要成果與貢獻為此三項應用相關之技術驗證、社會及經濟效益評估，以及政策與管理規則調適。

表 1 IPP 計畫重點應用項目

應用項目	內容
物流運送 Package Delivery	醫療檢體、食品、藥品及其他商品運送。
公共安全 Public Safety	緊急應變、天然災害復原、安全監控
基礎設施巡檢 Infrastructure inspection	石油、天然氣管線、橋梁、輸電線等基礎設施檢測，精準農業應用與監測

（資料來源：FAA，本研究整理）

（四）參與團隊

IPP 計畫經過評選出 10 個團隊，其中佛羅里達州團隊因經費因素主動退出，其餘 9 個團隊皆全程參與 IPP 計畫，其中奧克拉荷馬州喬克托自治區（行政位階與州相同）為首個入選無人機計畫之印地安自治區。前述來自 9 個不同州的計畫團隊，基於各地特性與需求，提供超過 30 種不同的作業環境以及對應之任務型態，包括無人機型式檢驗、物流運送、多機運作、基礎設施巡檢、視距外飛行（Beyond Visual Line of Sight, BVLOS）、農業、人群上空作業等任務類型，詳表 2。此外，2020 年開始的 Covid-19 疫情，雖然造成部分計畫執行延遲，部分計畫團隊亦應用無人機於疫情相關措施，例如社交距離監控、醫療用品，例

如個人防護配備(Personal Protective Equipment)運送等工作。

表 2 IPP 計畫主導單位與作業項目

計畫主導單位 Lead Participants	作業項目 Operational Focus Areas
阿拉斯加州立大學費爾班克斯分校 University of Alaska Fairbanks	● 輸油管線檢測 ● 社交距離監測(疫情期間) ● 醫療檢體運送
奧克拉荷馬喬克托印地安自治區 Choctaw Nation of Oklahoma	● 農業(動物陷阱設置、作物監測、畜牧圍籬檢測) ● 龍捲風災害損失評估 ● 航太及氣象研究 ● 輸電線檢測
維吉尼亞州創新創業管理處 Innovation and Entrepreneurship Investment Authority (Virginia)	● 物流運送 ● 天然災害損失評估 ● 輸電線檢測
堪薩斯州運輸部 Kansas Department of Transportation	● 機場安全與跑道檢測 ● 照明塔檢測 ● 精準農業應用 ● 輸電線檢測
曼斯菲機場管理局 Memphis-Shelby County Airport Authority	● 航機檢測 ● 跑道異物偵測 ● 機場安全管理

	● 飛機零件運送
北卡羅萊納州運輸部 North Carolina Department of Transportation	● 醫療檢體運送 ● 災害應變與復原作業 ● 食品運送
北達科塔州運輸部 North Dakota Department of Transportation	● 輸電線檢測 ● 媒體作業 ● 緊急管理作業 ● 橋梁檢測
內華達州雷諾市 City of Reno	● 自動心臟去顫器運送 ● 河川緊急事件救援
加州聖地牙哥市 City of San Diego	● 公共安全與執法 ● 醫療檢體運送 ● 食物運送

（資料來源：FAA，本研究整理）

（五）進階無人機作業

前述重點應用項目之實際飛行作業，牽涉多項進階無人機作業（Complex operations）內容，FAA 定義進階無人機作業，包括視距外飛行、人群上空作業、夜間作業、管制空域作業、多機作業等五類。

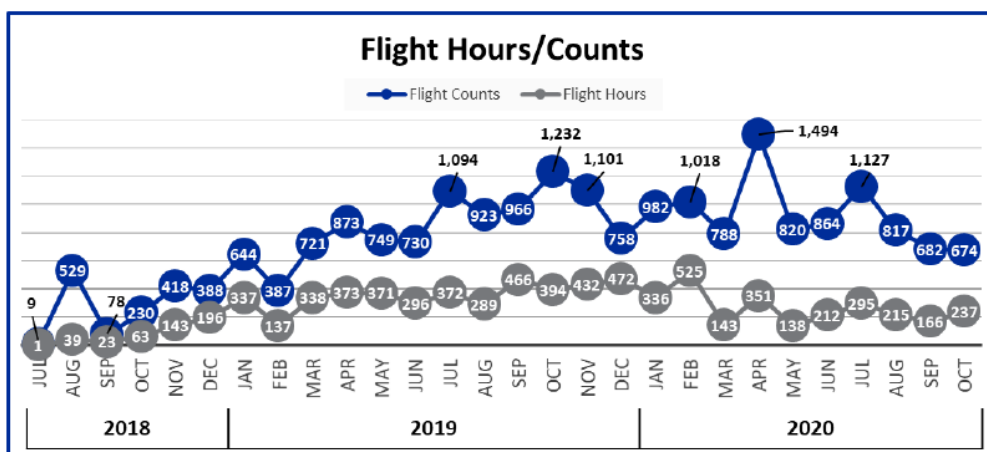
依據規範 55 磅以下小型無人機之聯辦法規（Code of Federal Regulations）第 14 篇 107 節（14CFR Part 107）規範，前述五類進階作業內容，需申請豁免（Waiver）始得進行。我國民用航空法無人機專章以及遙控無人機管理規則之操作限制及活動許可相關規範內容亦大致雷同。

IPP 計畫之執行方式，係由計畫團隊提出擬執行之作業概念（Concept of Operations, ConOps），內容包括作業、技術規格、風險評估等項目。FAA 審查前述作業概念所需之進階作業能力，識別之作業風險，並確認對應之風險緩解措施後，核給對應之法規豁免許可（Certificate of Waiver or Authorization, COA），使計畫團隊可執行驗證作業。

在前述 Part 107 規範以外，IPP 計畫重要成果之一，即是在前述小型無人機規範以外，調適原用於有人機之 Part 119 及 135 法規，使無人機業者亦可透過取得營運執照，執行包括貨運在內，原本僅限有人機辦理之商業營運業務，提升營運效率、彈性及規模。例如在 Part 107 規範下，視距外作業需設置目視觀察員（Visual Observer）；Part 135 則可在無目視觀察員的情況下進行作業；惟仍依 FAA 個案審酌作業內容之決定為準。

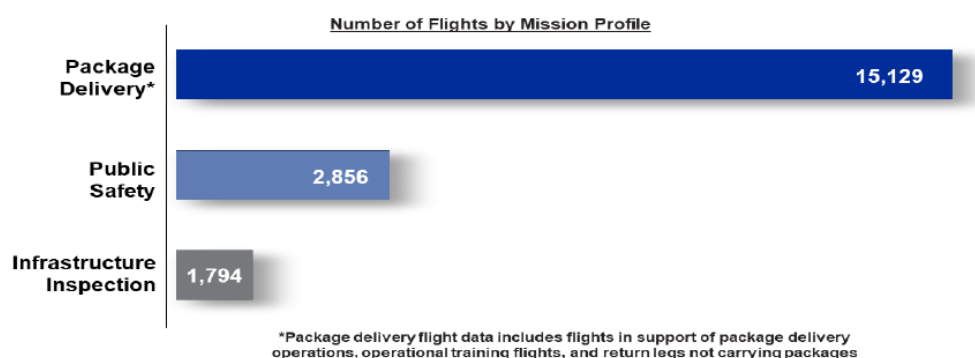
（六）數據蒐集

IPP 計畫主要目標之一是累積無人機創新應用之飛行作業經驗，FAA 透過 IPP 計畫，與參與團隊建立無人機資料蒐集與保存之機制。由於測試數據牽涉民間廠商營業機密及專利，因此在訪談過程中，FAA 花費許多時間與廠商協調提供測試數據，同時也保障此類數據僅用於 FAA 做為政策評估與分析，且不提供予其他政府或民間單位，對外資料呈現將以去識別化、整體數據方式呈現，如圖 2 及圖 3，分別統計了 IPP 計畫執行期間飛行任務次數及飛行時數，以及物流運送、公共安全及基礎設施巡檢等重點應用之任務次數。



(資料來源：FAA IPP 計畫總結報告)

圖 2 IPP 計畫飛行任務及時數統計



(資料來源：FAA IPP 計畫總結報告)

圖 3 物流運送、公共安全及基礎設施巡檢任務統計

(七) IPP 計畫階段性成果

IPP 計畫自 2018 年 5 月執行至 2020 年 10 月，共計完成超過 2 萬次飛行任務，FAA 將成果整合為以下三個成功領域(IPP Success Areas)，如表 4。此外，IPP 計畫提供主管機關 FAA 的政策啟示如下：

1. FAA 需與無人機製造商、國際標準制定組織，如美國材料和試驗協會 (American Society for Testing and Materials International, ASTM) 等單位，共同發展無人機作業風險管理机制，以供無人機作業單位依循。
2. IPP 計畫針對視距外飛行作業係基於既有管理小型無人機系統

的 Part 107 法令規範，以個案審查核發、核發豁免許可的方式處理。因應未來持續增長的作業需求，需要調適既有管理方式及法令規範。此外，視距外飛行作業所需感測避障等機制與技術仍有待測試驗證。

3. IPP 建立了成功的公部門跨域合作機制，不僅限於聯邦政府與各州計畫團隊，也成功推動 FAA 內部跨部門合作，包括航管單位、機場管理單位、空運管理等主管單位；例如協助無人機業者取得原本僅適用於有人機的 Part 135 營運許可。
4. IPP 計畫建構的資料共享機制，包括 FAA、民間無人機業者、地方政府計畫執行單位等利害關係人，建立多方互信關係，使計畫累積的珍貴數據與資料發揮最大應用效益。
5. 無人機創新應用的擴散與推廣，需建立一套社會及經濟效益的量化評估機制，以利與公眾及利害關係人溝通。

表 3 IPP 計畫階段性成果彙整

成功領域	成果內容
加速無人機整合進入國家空域系統	● 完成 21,000 次飛行任務 ● 核發兩家無人機業者取得 Part 135 營運執照 ● 精進視距外飛行作業(BVLOS)
提升社會效益與公眾參與	● 運用無人機於醫藥及物資運送 ● 運用無人機於災害防救 ● 提升營運人員安全 ● 蒐集公眾對無人機觀感及關心議題
提供主管機關政策研擬及決策參考	● 協助規劃無人機系統檢驗相關政策 ● 建構無人機指揮控制鏈路及噪音等項目之評估指標 ● 建立無人機安全風險管理作業機制 ● 加強聯邦政府與地方政府溝通協調 ● 建立公部門與公眾溝通無人機議題之成功模式 ● 協助第 1 處印地安自治區政府導入無人機於公務應用

(資料來源: FAA, 本研究整理)

(八) BEYOND 計畫

IPP 計畫於自 2020 年 10 月 25 日正式結束，銜接的 BEYOND 計畫自隔日 10 月 26 日啟動。FAA 綜整前期 IPP 計畫政策啟示、優先推動事項及成功領域，提出三項未來推動重點如下，由 BEYOND 計畫持續執行：

1. 推動可重複、規模化的無人機視距外飛行作業。
2. 評估無人機創新應用之社會與經濟效益。
3. 調適無人機發展政策與管理機制。

由於 IPP 計畫的成功經驗，FAA 持續推動 BEYOND 計畫，由計畫名稱可知，BEYOND 計畫的重點為視距外飛行作業，計畫期程自 2020 年 10 月啟動，計畫期程為 4 年，預計至 2024 年結束。BEYOND 計畫由前期 IPP 計畫 8 個參與團隊持續辦理（聖地牙哥市政府不參與本期計畫），執行作業類型包括無人機型式檢驗、物流運送、多機作業、基礎設施巡檢、視距外飛行、農業及人群上空作業等項目，如圖 4。



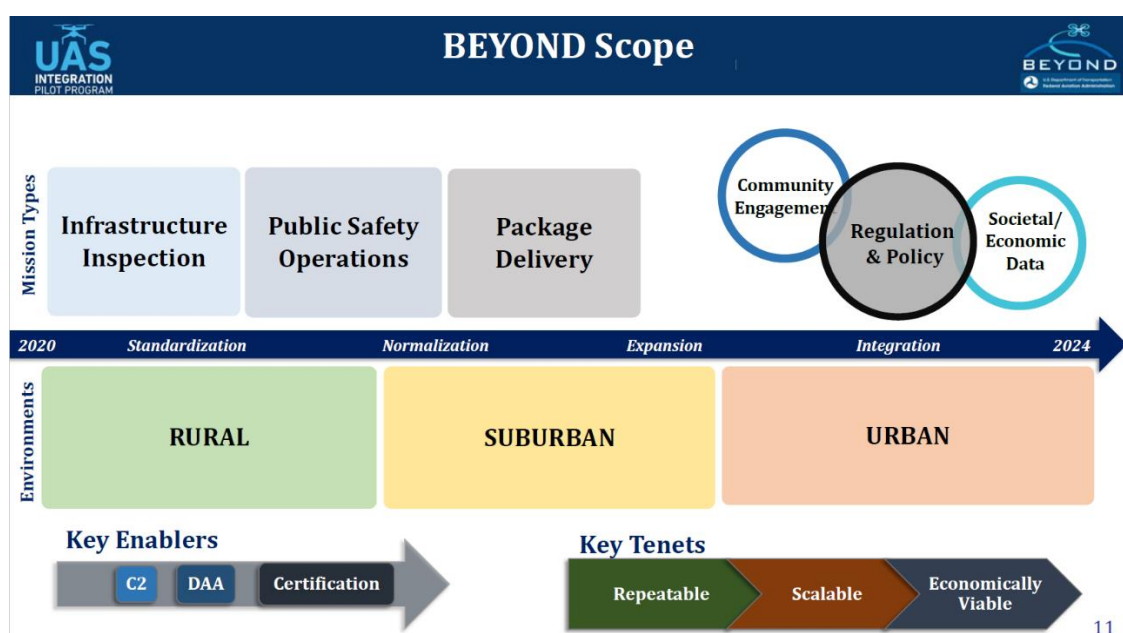
10

（資料來源：FAA）

圖 4 BEYOND 計畫參與團隊

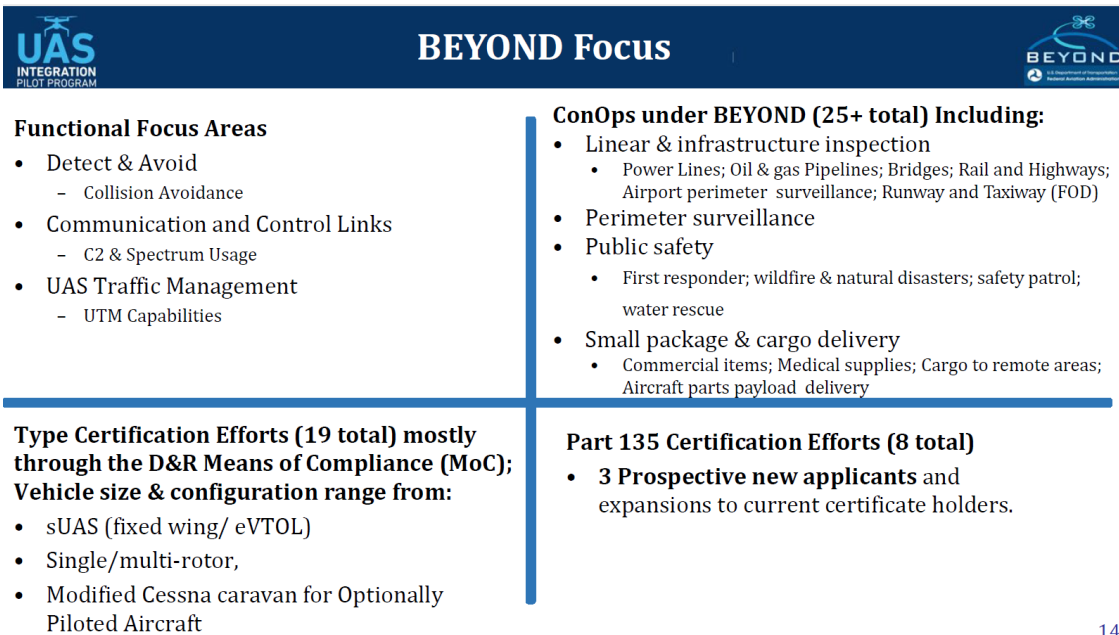
BEYOND 計畫之 2020 至 2024 年之四年期目標進程，係於 2024 年前，基於可重複性、可規模化及成本效益可行等前提之下，逐年依序推動三項重點應用：「基礎設施巡檢」、「公共安全」、「物流運送」。逐年目標為前述無人機作業活動之標準化、常態化、服務擴展，以及最終整合進入國家空域系統。在作業環境方面，依據人口密度與活動複雜性，逐步從鄉村、郊區，最終目標為擴展到都市地區。

本期計畫推動重點，在應用面包括提出創新無人機作業概念，在館裡面持續輔導民間業者申請 Part 135 無人機商業營運許可。在技術面，包括無人機載具驗證、無人機交通管理系統、感測與避讓技術及指揮控制鏈路，如圖 5 及圖 6。



(資料來源：FAA)

圖 5 BEYOND 計畫推動進程

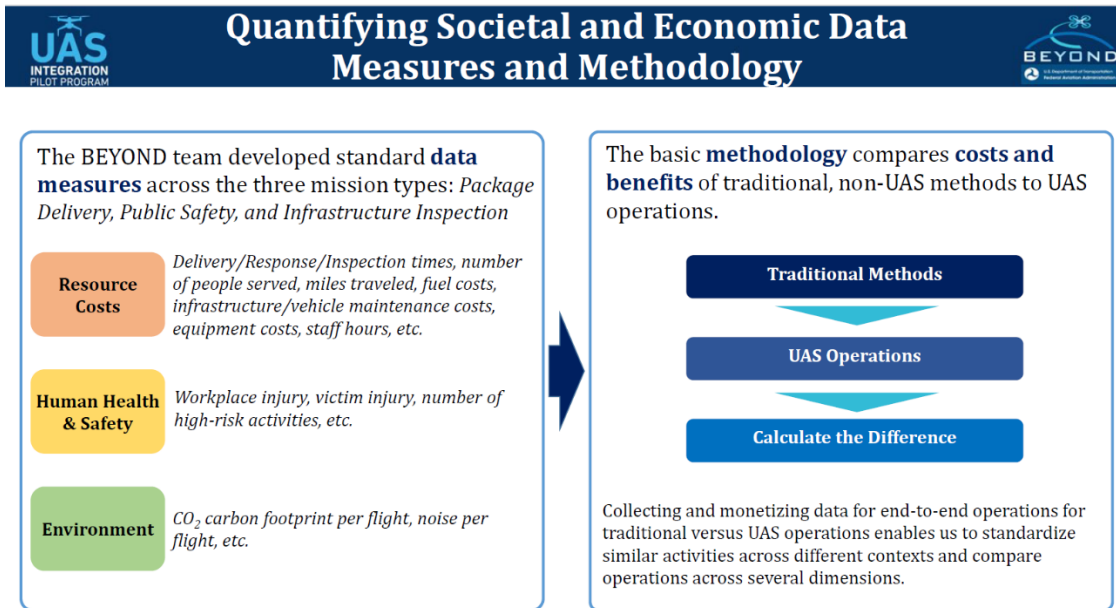


14

(資料來源：FAA)

圖 6 BEYOND 計畫推動重點

發展無人機社會及經濟效益的量化評估方法，是 BEYOND 計畫工作重點之一，針對物流運送、公共安全及基礎設施巡檢等應用項目，以「成本」、「健康與安全」、「環境」等三個面向進行資料蒐集，透過貨幣化相關資料，據以比較無人機作業與傳統作業模式之成比及效益差異，例如人力巡檢與無人機巡檢作業。透過此比較機制，可了解無人機創新應用的社會及經濟價值，以及如何透過科技與管理機制提升效益。截至 2022 年 7 月，BEYOND 計畫執行成果圖 8。



(資料來源: FAA)

圖 7 BEYOND 計畫社會及經濟效益評估方法



(資料來源: FAA)

圖 8 BEYOND 執行概況

三、聯邦航空總署無人機測試場計畫

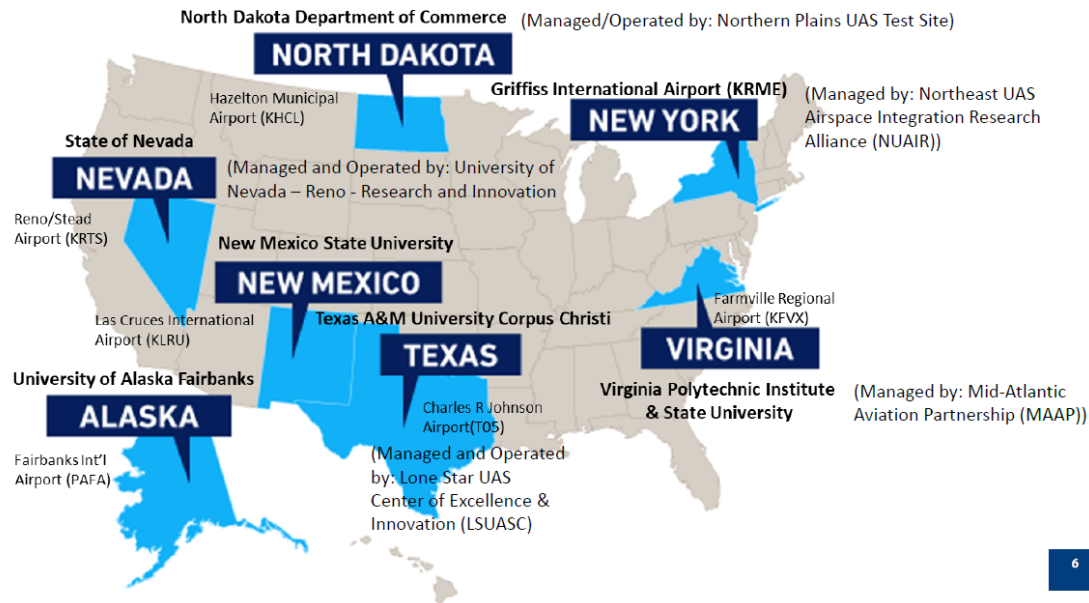
(一)計畫背景

聯邦航空總署無人機測試場計畫 (FAA UAS Test Site Program) 是由 FAA 自 2012 年起推動，於全美各地指定無人機測試驗證場域，相較於前述 IPP 計畫以及 BEYOND 計畫偏重於無人機應用與推廣，本計畫著重於技術測試驗證以及相關標準發展。因此，FAA 在選擇測試場時，考量測試場域是否可提供多元測試環境，並結合學術單位進行研究發展。目前計有 7 處 FAA 指定無人機測試場（如表 4 及圖 9），分布於美國各地，涵蓋平原、山區、沙漠及海岸等不同地理環境及應用需求，其中 5 處測試場之管理單位為當地大學。

表 4 FAA 指定無人機測試場

地點	管理單位
紐約州	葛瑞菲斯國際機場(東北無人機整合研究聯盟)
新墨西哥州	新墨西哥州立大學
北達科塔州	北達科塔州商業廳（北部平原無人機測試場）
內華達州	內華達州立大學雷諾分校
德克薩斯州	德州農工大學聖體市分校
阿拉斯加州	阿拉斯加大學費爾班克斯分校
維吉尼亞州	維吉尼亞理工學院暨州立大學

（資料來源:FAA，本研究整理）



(資料來源：FAA)

圖 9 FAA 指定無人機測試場分布圖

(二)計畫內容

無人機測試場(UAS Test site)是由一個管理單位(Main office)及多個測試區(Test range)組成。每個測試區代表一項特定作業之豁免或許可證明(Certification of Waiver or Authorization, COA)，界定該測試區的空域範圍、容量以及作業內容(例如視距外飛行作業)(如圖 10)。由於一項無人機應用可同時涉及多項需要許可的作業內容(例如：觀測運動賽事，同時涉及夜間及人群上空作業)。因此，測試場通常由多個測試區組成，擁有多項作業豁免許可，以利執行各類測試驗證任務。本項計畫自 2012 年起推動，現階段計畫期程至 2023 年，各測試場管理單位須定期向 FAA 繳交每月/每季營運報告、事件/事故報告，並定期召開工作會議。

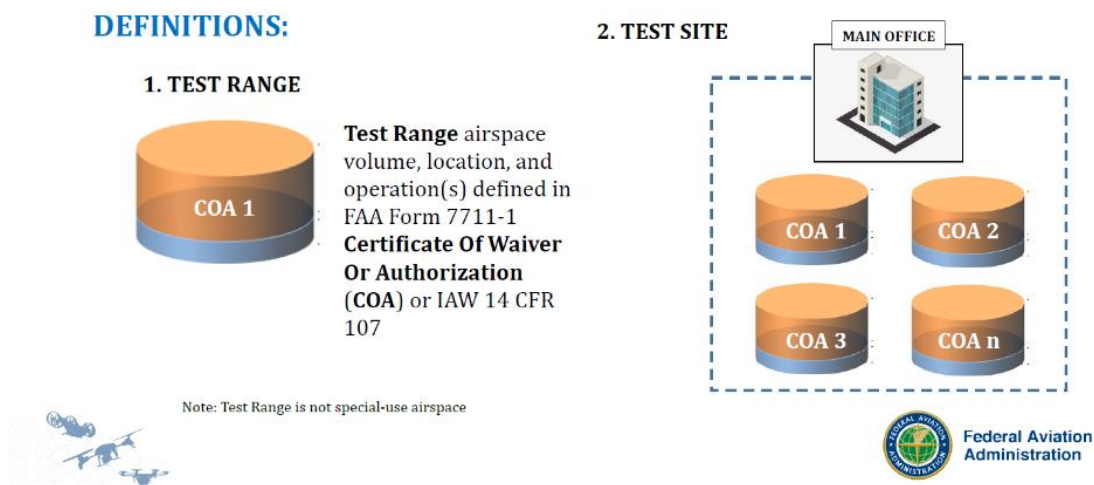
1. 作業方式

無人機測試場計畫本身無直接經費挹注，管理單位可承接來自公部門包括 FAA、美國航空太空總署、美國國防部等單位之研究計畫，例如

維吉尼亞州等 3 個測試場同時參與了 IPP 與 BEYOND 計畫；測試場亦可承接來自州政府或民間單位之委託研究計畫。測試場之間可共同執行研究計畫，例如維吉尼亞州測試場與德州測試場共同執行 FAA 委託之無人機交通管理系統場域測試計畫。

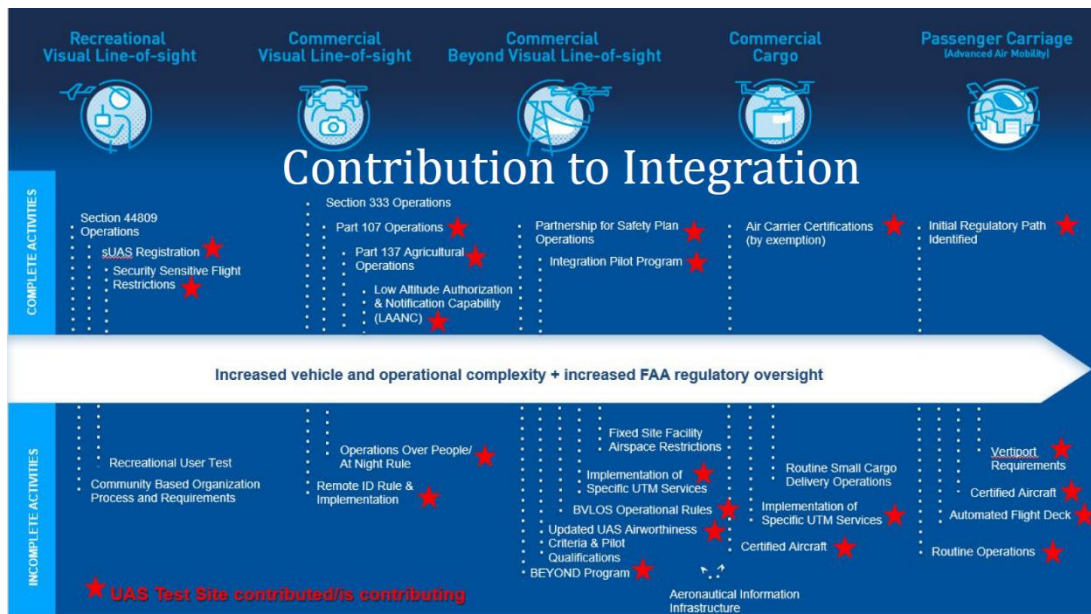
2. 研究項目

無人機測試場主要研究項目，係配合政府政策與民間產業需求。包括先進空中交通、無人機物流、適航驗證、無人機交通管理系統、感測與避讓、指揮控制鏈路、無人機防制等相關技術測試驗證。在應用層面包括農業應用、自然環境研究、公共安全，包括警政、消防、緊急救援等應用。同時，也支援無人機教育訓練與行銷推廣相關活動。圖 11 呈現了 FAA 無人機測試場協助無人機整合之工作項目與進程，技術與作業複雜性，以及主管機關監理程度由左至右遞增。



(資料來源：FAA)

圖 10 FAA 指定無人機測試場執行機制



(資料來源：FAA)

圖 11 FAA 無人機測試場協助無人機整合進程

四、IPP及BEYOND計畫推動案例

(一)維吉尼亞理工學院暨州立大學

1. 單位簡介

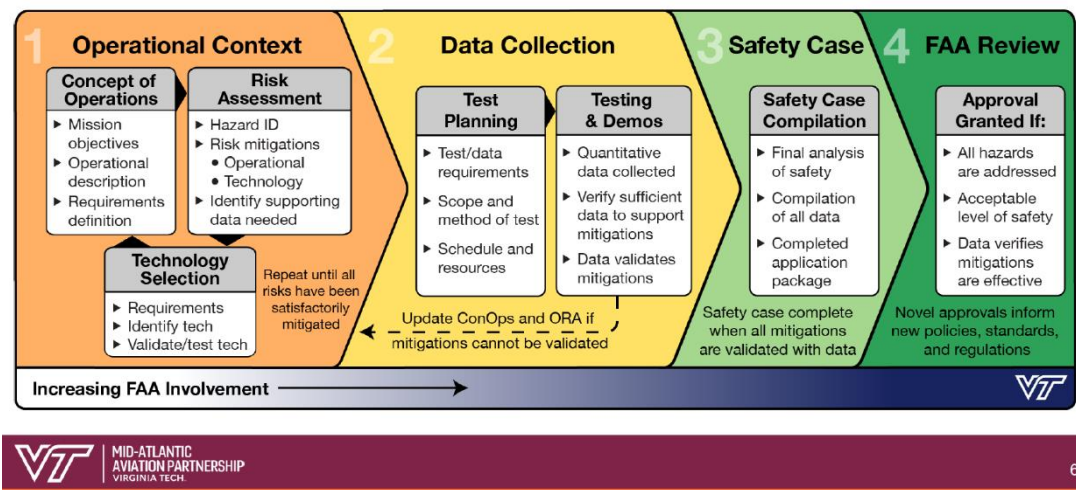
維吉尼亞理工學院暨州立大學 (Virginia Polytechnic Institute and State University)，以下簡稱維吉尼亞理工大學，創立於 1872 年，主校區位於維吉尼亞州黑堡 (Blacksburg)。該校擁有超過一百個研究機構或單位，其中「關鍵科技與應用科學中心」(Institute for Critical Technology and Applied Science) 下之「中大西洋航空夥伴中心」(Mid-Atlantic Aviation Partnership，以下簡稱 MAAP 中心) 是維吉尼亞州 IPP 計畫及 BEYOND 計畫執行單位，最著名之案例是與 Google 關係企業 Wing 合作，獲得 FAA 核發第一個 Part 135 無人機物流商業營運許可；同時也是 FAA 無人機測試場之一，參與多項美國聯邦政府研究計畫，例如無人機交通管理系統 UTM 先導測試計畫等，也接受民間產業委託研究及測試驗證。該

中心主要提供服務及研究能量說明如下。

2. 安全案例發展 (Safety Case Development)

無人機安全案例發展，係指有關無人機作業、無人機設計等創新概念，由測試、驗證至主管機關核准之一系列作業流程，MAAP 中心藉重其做為 FAA 指定無人機測試場之能力與經驗，發展出安全案例發展作業流程(如圖 12)，以協助產業界之無人機應用需求取得作業許可。

VT/MAAP Safety Case Process



(資料來源：維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

圖 12 MAAP 無人機安全案例發展流程

3. 測試驗證場地與設施

(1). Kentland 飛行試驗場

維吉尼亞理工大學校園佔地廣闊，擁有多處測試驗證場地及設施，其中包括佔地超過 1,800 英畝（約 7.3 平方公里）之 Kentland 飛行試驗場，距離校本部約 20 分鐘車程，原為該校農學院之實驗農場，設有維修棚廠及 300 英尺（約 90 公尺）長之跑道，可供中大型無人機測試驗證。

(2). Drone Park 封閉測試場

於維吉尼亞理工大學校本部設有 Drone Park 封閉測試場，長度約 300 英尺（約 90 公尺）、寬度 120 英尺（約 36 公尺）、高度 85 英尺（約 26 公尺），為全美最大的網狀封閉測試場地；此處封閉測試場不受相關空域限制，可做為無人機研發初期雛型機之安全測試環境；除研究計畫使用以外，本場地亦開放供該校師生申請使用。



（資料來源：本研究整理）

圖 13 Kentland 無人機試驗場



（資料來源：維吉尼亞理工大學 MAAP 中心）

圖 14 Drone Park 封閉測試場

(3). 行動作業中心

為因應無人機場域測試作業需求，MAAP 備有行動作業中心(Mobile Operations Command Center) 1 座，係由拖車內部安裝無人機作

業設備，包括 3 套無人機指揮控制系統，以及廣播式自動回報監視答詢器（Automatic Dependent Surveillance - Broadcast, ADS-B）訊號接收器、氣象觀測設備，並具有發送與接收機載感測訊號及連接地面雷達系統能力。兼顧機動性及功能性，可支援各類場地無人機作業支援及指揮控制任務。

(4). 感測與避讓技術基礎設施

MAAP 執行多項 UTM、Remote ID 及感測與避讓相關計畫，為加強無人機作業之環境感知能力，擁有多座地面雷達及通訊設備，並與民間企業如雷神公司合作發展無人機偵測等技術。

4. IPP 計畫及 BEYOND 計畫推動經驗

維吉尼亞理工大學參與 IPP 與 BEYOND 計畫之項目，聚焦於物流運送、基礎設施巡檢及災害損失評估等三類應用（如圖 15）。



（資料來源：維吉尼亞理工大學 MAAP 中心）

圖 15 維吉尼亞理工大學 IPP 及 BEYOND 計畫應用類型

(5). 物流運送

Wing 原為 Google X 計畫下專案之一，2018 年成為 Alphabet 集團下的獨立公司，在參與美國 IPP 計畫之前，該公司已於芬蘭赫爾辛基及澳洲坎培拉等地進行無人機物流測試；在美國選擇與維吉尼亞理工大學團隊合作進行無人機研發、測試與驗證，包括雛型機封閉測試、初期飛行測試、UTM 及商業模式驗證。截至 2022 年 9 月，

該公司已於全球完成超過 25 萬次飛行任務。透過參與 IPP 計畫，Wing 於 2019 年取得 FAA 核發美國首次 Part 135 商業無人機物流營運許可。

(6). 基礎設施巡檢

在基礎設施巡檢方面，維吉尼亞理工大學與當地電力供應商 Dominion Energy 合作，進行輸電線、電塔，以及電廠周邊保安巡檢。該公司服務遍布全美 11 個州，2022 年 7 月，該公司由維吉尼亞理工大學、無人機廠商 Skydio 組成的團隊，獲得 FAA 許可在全美 7 個州進行視距外輸電系統巡檢作業，且無需目視觀察員及其他補助設施。

(7). 災害損失評估

State Farm 是美國最具規模的財產與意外保險公司之一，該公司透過參與 IPP 與 BEYOND 計畫，運用無人機於災害後損失以及建築物屋頂修繕等保險理賠評估，運用無人機優勢，該公司可在美國廣闊的郊區更有效率進行相關評估作業。

(二)北卡羅萊納州運輸部

1. 單位簡介

北卡羅萊納州（以下簡稱北卡）為 IPP 及 BEYOND 計畫參與團隊之一，由該州運輸部航空組做為計畫執行單位。北卡運輸部航空組共分為四個部門，包括機場管理、無人機系統、航空產業發展及州政府機隊管理，該州擁有兩架 Beechcraft King Air 機型，一架供作州政府公務旅客運輸、一架執行航空攝影任務。

2. IPP 及 BEYOND 計畫推動經驗

(1). 無人機公務應用

在無人機公務應用方面，主要用於地形測繪、災害應變及運輸基礎

設施巡檢等業務。2018 年佛羅倫斯颶風 (Hurricane Florence) 侵襲，創下北卡州及南卡州颶風降雨量紀錄，造成該兩州重大損失，包括道路淹水中斷、電力中斷，造成合計超過 50 人喪生、超過 240 億美元損失。當時北卡州政府整合 15 個無人機團隊，執行超過 260 次飛行任務，運用無人機交通管理系統，一旦接獲災情通報，立即派遣無人機前往即時觀測各地區災損情形，通報相關單位處理；例如監測道路淹水情形，以便即時通報救援車輛進入災區。相關災情回報資訊，透過整合雲端平台、無人機交通管理系統及地理資訊系統，建立災情儀表板 (Dashboard) 並即時更新，使政府、相關利害關係人即時掌握並處理災情 (如圖 16)。

ncdot.gov

Hurricane Florence Response

- NCDOT Led 15 UAS Teams
- Over 260 missions flown
- Over 8,000 videos/photos uploaded to statewide map
- Over 45 live streaming events
- >515 Gigabytes of Video and Photo taken
- Coordinated response with zero incidents

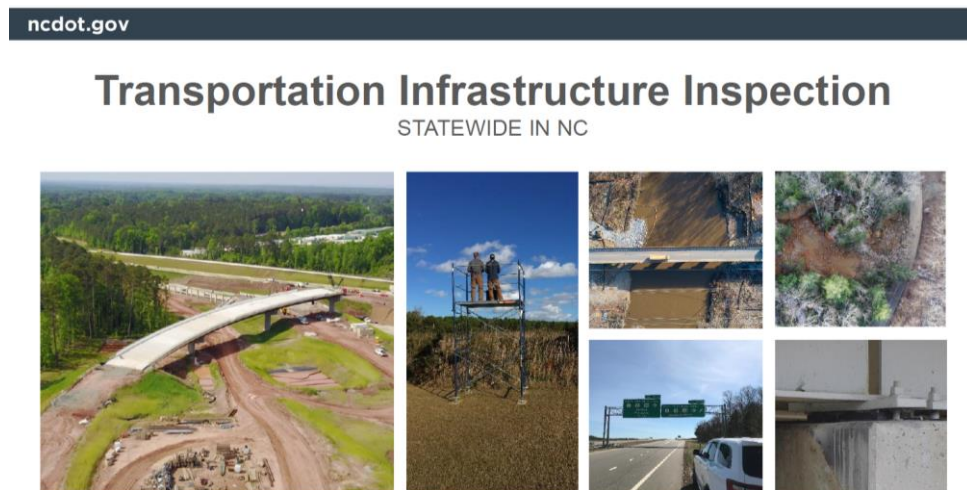


(資料來源：北卡州運輸部)

圖 16 無人機支援佛羅倫斯颶風災害應變

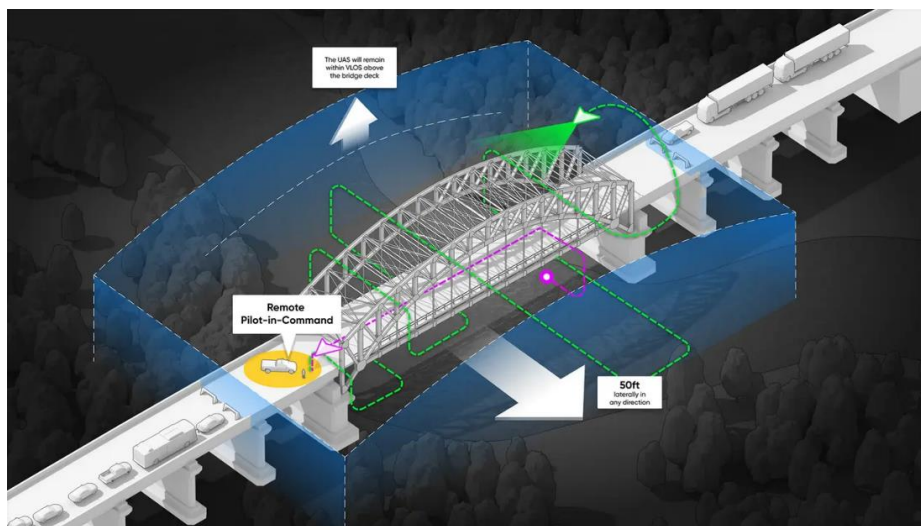
在運輸基礎設施檢測方面，北卡州廣泛運用無人機於大地工程、坡地監測、鐵路廊道、施工現場監測、橋梁巡檢等用途。在橋梁巡檢方面，北卡州共有 13,500 座橋梁，運用無人機於橋梁檢測可大幅節省人力與時間，北卡運輸部與無人機廠商 Skydio 合作，於 2020 年獲得 FAA 視距外作業許可，使無人機可在橋面下、橋墩間、柱體

內等操作員無法直接目視之位置進行作業。透過該公司技術，可在不仰賴 GPS 訊號情況下，進行自動飛行作業，且無須目視觀察員或額外監視設備輔助；大幅減少作業人員需求及作業風險，以及因檢測作業封閉道路時間（如圖 18）。



（資料來源：北卡州運輸部）

圖 17 北卡州無人機運輸基礎設施巡檢應用



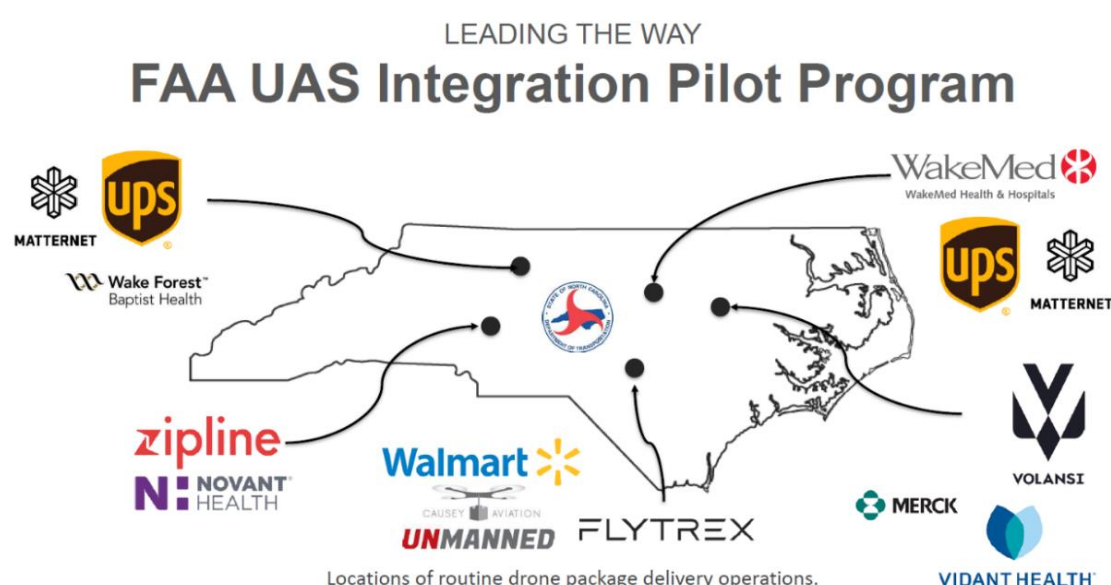
（資料來源：北卡州運輸部；Skydio）

圖 18 無人機視距外橋梁巡檢

(2). IPP 及 BEYOND 計畫

北卡州透過 IPP 及 BEYOND 計畫，建立全美最有規模的無人機物

流商業營運案例，在州內 5 處地點，由 4 家廠商進行常態營運。運送貨品包括醫療檢體、藥品、食品、日用品等項目。UPS Flight Forward 於 2019 年成為繼 Wing 之後第二家取得 Part 135 營運許可之無人機物流業者；2022 年 7 月，Zipline 也取得 Part 135 許可；2022 年 9 月，與 UPS Flight Forward 合作的 Matternet 無人機公司，取得全美第一個無人機型式認證（Type Certification）（圖 19）。



（資料來源：北卡州運輸部）

圖 19 北卡州無人機物流營運案例

五、美國先進空中交通發展趨勢

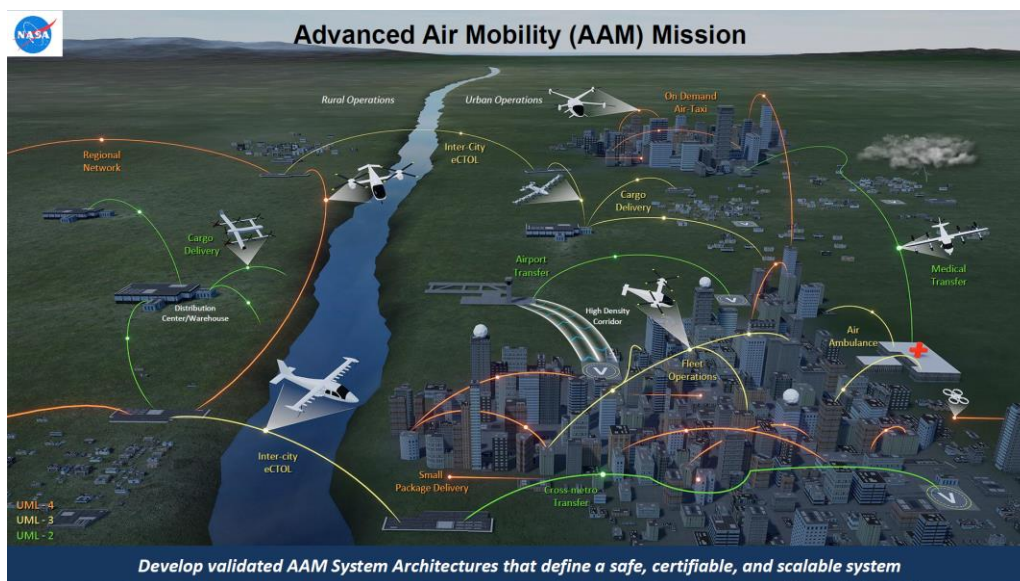
（一）背景

依據 NASA 定義，先進空中交通(Advanced Air Mobility, 以下簡稱 AAM)，係指將電動化、自動化之新興飛行載具及其服務模式，引入傳統航空業未能涵蓋或低度服務之市場，包括都市與區域間之人員或貨物運輸。先進空中交通(Advanced Air Mobility)被視為未來航空業革命性發展之一，美國總統已於 2022 年簽署先進空中交通協調與領導

法案 (Advanced Air Mobility Coordination and Leadership Act)，要求聯邦運輸部成立跨部會工作小組推動 AAM 發展，FAA 已成立先進空中交通諮詢委員會(Advanced Aviation Advisory Committee)，並由 NASA 主導 AAM 技術研發及標準建立。在美國以外，包括歐洲、日本及韓國均已投入先進空中交通相關研究。本章節彙整參加加州大學柏克萊分校運輸研究中心主辦 Future of Aviation 研討會，以及 Community Air Mobility Initiative (CAMI)主辦 Advanced Air Mobility 101 研討會相關資訊，做為國內推動先進空中交通之參考。

(二)作業環境與任務類型

依據 FAA 定義，AAM 為最廣義之名稱，涵蓋各類都市、郊區、城際等作業環境之旅客運輸、貨物運輸、物流運送、公共及緊急服務等用途，例如 Wing 與 UPS 等小型無人機物流運送亦是 AAM 應用情境之一。並可細分為城市空中交通 (Urban Air Mobility, UAM)，以及區域空中交通 (Regional Air Mobility, RAM)。NASA 將 AAM 分為四大任務類型，包括貨運、公共利益、物流運送及旅客運輸四大類，目前最受矚目之應用為旅客運輸，應用案例包括機場接駁、城市內運輸、城際運輸等，美國航空業者，包括聯合航空與達美航空均已投資 AAM，目標應用於機場接駁服務；而公部門亦關注公共利益之應用，例如空中救護車及緊急救援服務 (圖 20、圖 21)。



(資料來源：NASA)

圖 20 AAM 作業環境及任務類型



(資料來源：John CavoIowsky, NASA)

圖 21 AAM 四大任務類型

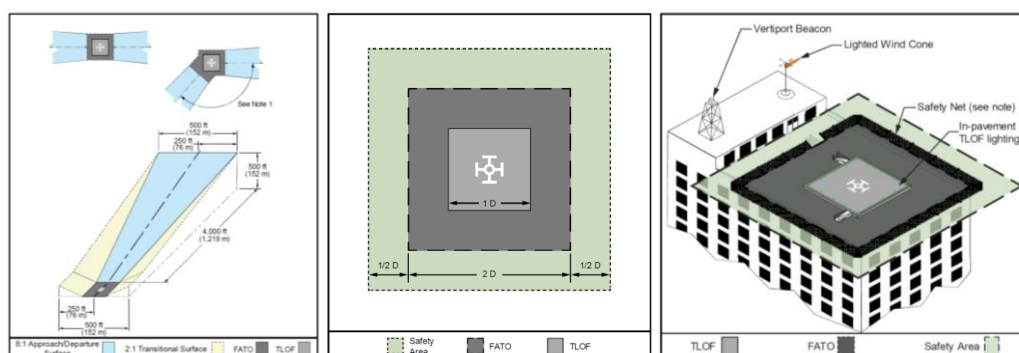
(三)載具發展

AAM 之目標市場之一，是在高密度都市環境中運作，因此考量噪音以及減碳趨勢，目前主流為電動載具。在自動化方面，AAM 強調高度自動化能力，以降低飛行員作業負擔及人力需求，目前趨勢包括全自動飛行、選擇性有人駕駛及遠端控制等方式。目前美國 AAM 領先廠商之一，

Joby Aviation 目前採取有人駕駛為主，以加速相關法規驗證程序，並提升民眾接受度。FAA 現階段亦將以既有營運及適航之法規體系來對應 AAM 發展需求。而波音公司投資之 Wisk，則採取全自動飛行策略，該公司認為，採取全自動飛行始有可能降低 AAM 營運成本，擴大市場，提高商業營運可行性。

(四)基礎設施

AAM 之基礎設施包括起降場站 (Vertiport)、維修設施、充電設施及旅客服務設施等，完整之 AAM 場站可稱為 Vertiport，在起降場站方面，FAA 已於 2022 年 9 月發布 Vertiport 工程概要 (Engineering Brief No. 105)，提出 Vertiport 設計幾何、燈光、標線及充電設施等提出指引，並將持續發展 (圖 22)。



(資料來源：FAA)

圖 22 FAA Vertiport 工程概要

(五)服務模式

在服務模式方面，AAM 與傳統航空之差異在於更為即時性且個人化，接近「隨叫隨到 (On-demand)」之服務模式，例如空中計程車 (Air Taxi)。空中巴士集團之子公司 Acubed 提出 AAM 生態系包括載具、後勤支援、飛航作業、飛航管制、地面設施及旅客解決方案 (圖 23)。韓國現代集團於美國成立的 AAM 子公司 Supernal，結合集團自駕車能量，提出結合交通行動服務 (Mobility as a Services, MaaS) 概念，提供消費

者由第一哩至最後一哩之陸空多元運具解決方案（圖 24）。

AAM Ecosystem Maturity

Greater than the technological hurdles



4 August 4, 2022



（資料來源：Antony Evans, Acubed）

圖 23 AAM 生態系



（資料來源：Adrienne Lindgren, Supernal）

圖 24 AAM 多元運具服務模式

六、結論與建議

(一)結論

1. 美國 IPP 及 BEYOND 計畫之精神，係透過聯邦與各級地方政府合作，整合行政單位、研究機構以及產業界，透過結合民間充沛之創新創業能量與資源，推動無人機創新應用。
2. 聯邦航空總署無人機測試場計畫，結合大學及研究機構資源，並運用各州天然環境特色，做為無人機技術研發之實證場域，同時促進學術研究及地方產業發展。
3. 美國透過 IPP、BEYOND 計畫及無人機測試場等相關計畫，累積之營運經驗與安全數據，不僅提供民間業者技術研發實證機會，亦可做為主管機關調適相關管理方式之參考。
4. 目前美國在無人機領域朝向先進空中交通、大型載具及無人機交通管理等方向發展，在無人機載具系統發展之外，相關基礎設施、服務模式及人才培育等層面亦開始受到重視。

(二)建議

1. 整合相關部會、地方政府、臺灣無人機大聯盟、嘉義亞洲無人機 AI 創新應用研發中心及相關產官學研單位，串聯各方資源，聚焦關鍵領域，協力推動無人機創新應用及產業發展。
2. 持續辦理無人機結合物流運送及橋梁檢測之場域測試，累積安全數據與營運經驗，帶動技術提升及產業發展。
3. 設置無人機研發、測試及驗證場域，如嘉義縣亞洲無人機 AI 創新應用研發中心，整合跨域資源，培植我國自主研發能量。
4. 推動無人機交通管理(UTM)及遠端射頻識別(Remote ID)，建立無人機兼顧安全及效率之作業環境。
5. 參考國際趨勢及國內實務需求，逐步調適我國無人機管理方式，

並結合產業需求，精進人才培育機制。

6. 因應國際推動先進空中交通(AAM)、區域空中交通(RAM)、城市空中交通(UAM)之發展趨勢，研析我國在實務應用面，以及產業發展面之推動策略。

參考文獻

1. 美國無人機整合示範計畫推動之研究，黃于哲，民國 111 年。
2. “FAA Unmanned Aircraft Systems Integration Pilot Program Final Report”，Federal Aviation Administration，2020
3. “NASA Advanced Air Mobility (AAM) Mission”，Davis Hackenberg，NASA，2020
4. “From IPP to BEYOND” 簡報，Federal Aviation Administration，2021
5. “State of Aviation”，North Carolina Department of Transportation，2021
6. “FAA Test Site Program” 簡報，Federal Aviation Administration，2022
7. 簡報資料，Mid-Atlantic Aviation Partnership Virginia Tech，2022
8. 簡報資料，North Carolina Department of Transportation, Division of Aviation，2022
9. “Engineering Brief No. 105, Vertiport Design”，Federal Aviation Administration，2022
10. Keynote speech, John Cavolowsky, NASA, Future of Aviation Conference, 2022
11. “Safe and Equitable Airspace and Flight Operations for AAM”, Antony Evans, Acubed , Future of Aviation Conference, 2022
12. ” Integrating AAM into a Multimodal System”, Adrienne Lindgren, Supernal, Future of Aviation Conference, 2022