

出國報告(出國類別:研究)

美國無人機整合示範計畫推動之研究

服務機關:交通部運輸研究所

姓名職稱:黃于哲 副研究員

派赴國家:美國

出國期間:111年6月1日至111年8月30日

報告日期:111年11月11日

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：72 含附件：無

報告名稱：美國無人機整合示範計畫推動之研究

主辦機關：交通部

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

交通部/熊國娟/02-23492532

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

黃于哲/交通部運輸研究所/運輸資訊組/副研究員/02-23496883

出國類別：1.考察2.進修3.研究4.實習5.視察6.訪問7.開會
8.談判9.其他

出國期間：111年6月1日至8月30日

出國地區：美國

報告日期：111年11月11日

分類號/目：HO／綜合類（交通類）

關鍵詞：無人機、智慧運輸

內容摘要：

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，故本專題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，接續說明實地拜會參訪美國當地無人機產官學研單位及觀摩無人機作業實地營運情形；並彙整美國先進空中交通發展趨勢。最後提出心得與建議。

目錄

壹、	前言.....	1
一、	目的.....	1
二、	研究重點與過程.....	2
貳、	研究內容.....	3
一、	美國無人機整合示範計畫.....	3
二、	無人機 BEYOND 計畫.....	20
三、	聯邦航空總署無人機測試場計畫.....	24
四、	美國無人機研發與營運案例參訪.....	30
五、	美國先進空中交通發展趨勢.....	65
參、	心得與建議.....	69
一、	心得.....	69
二、	建議.....	70
	誌謝.....	71
	參考資料.....	72

表目錄

表 1 IPP 計畫主導單位與作業項目	6
表 2 IPP 計畫重點應用項目	9
表 3 IPP 與 BEYOND 計畫疫情相關無人機應用	14
表 4 IPP 計畫階段性成果彙整	19
表 5 FAA 指定無人機測試場	24

圖目錄

圖 1 IPP 計畫參與團隊分布圖	3
圖 2 徵求 IPP 計畫團隊文宣	8
圖 3 進階無人機作業	10
圖 4 IPP 計畫作業流程案例	10
圖 5 UPS Flight Forward 首次 Part 135 商業營運飛行	11
圖 6 IPP 計畫飛行任務及時數統計	13
圖 7 物流運送、公共安全及基礎設施巡檢任務統計	14
圖 8 民眾觀感調查	15
圖 9 IPP 計畫社區參與策略	16
圖 10 BEYOND 計畫參與團隊	20
圖 11 BEYOND 計畫推動進程	21
圖 12 BEYOND 計畫推動重點	21
圖 13 BEYOND 計畫社會及經濟效益評估方法	22
圖 14 BEYOND 視距外飛行作業統計	23
圖 15 BEYOND 執行概況	23
圖 16 FAA 指定無人機測試場分布圖	24
圖 17 FAA 指定無人機測試場執行機制	26
圖 18 無人機測試場執行政府航空器作業內容	26
圖 19 無人機測試場執行民用航空器作業內容	26
圖 20 FAA 無人機測試場飛行作業統計	28
圖 21 FAA 無人機測試場協助無人機整合進程	28
圖 22 Remote ID 機制示意圖	28
圖 23 LAANC 作業機制示意圖	29
圖 24 LAANC 手機應用程式示意圖	29
圖 25 維吉尼亞理工大學校園景觀	30
圖 26 MAAP 無人機安全案例發展流程	32
圖 27 無人機產業需求與作業許可類型	32
圖 28 UTM 生態系	34
圖 29 UTM 技術能力等級	34
圖 30 UTM 場域測試計畫任務類型	35
圖 31 UTM 場域測試計畫作業環境	35
圖 32 無人機對人身傷害測試	36
圖 33 無人機對車輛損害測試	37
圖 34 無人機機載雷達避障測試	37
圖 35 無人機地面雷達避障測試	37

圖 36 Kentland 無人機試驗場.....	38
圖 37 Drone Park 封閉測試場.....	39
圖 38 行動作業中心.....	40
圖 39 地面雷達設施.....	40
圖 40 無人機人身傷害實驗室.....	40
圖 41 維吉尼亞理工大學 IPP 及 BEYOND 計畫應用類型.....	41
圖 42 Wing 物流作業.....	41
圖 43 Dominion Energy 設施巡檢作業.....	42
圖 44 State Farm 災損評估作業.....	42
圖 45 參訪 Wing Nest 基地.....	43
圖 46 Wing 服務範圍.....	44
圖 47 Wing 無人機.....	44
圖 48 Wing 機身設計.....	45
圖 49 Wing 營運基地停機坪及貨倉.....	46
圖 50 Wing 飛行路徑規劃.....	46
圖 51 OpenSky 應用程式.....	47
圖 52 Wing 問卷調查結果.....	47
圖 53 北卡羅來納州運輸部航空組辦公室.....	48
圖 54 拜訪北卡羅來納州運輸部航空組.....	48
圖 55 北卡羅來納州運輸部機隊及棚廠.....	49
圖 56 無人機支援佛羅倫斯颶風災害應變.....	50
圖 57 無人機支援佛羅倫斯颶風災害應變作業流程.....	50
圖 58 北卡州無人機運輸基礎設施巡檢應用.....	51
圖 59 無人機視距外橋梁巡檢.....	51
圖 60 無人機視距外橋梁巡檢操作人員示意圖.....	52
圖 61 北卡州無人機物流營運案例.....	53
圖 62 UPS Flight Forward 北卡營運基地.....	54
圖 63 UPS Flight Forward 無人機.....	54
圖 64 Flytrex 營運範圍.....	55
圖 65 Flytrex 營運基地.....	55
圖 66 Flytrex 無人機吊掛作業.....	56
圖 67 Flytrex 無人機裝卸作業.....	56
圖 68 Flytrex 宣傳廣告.....	56
圖 69 Zipline 全球營運範圍.....	57
圖 70 Zipline 北卡服務範圍.....	58
圖 71 Zipline 作業流程.....	58
圖 72 參訪 Zipline 北卡營運基地.....	59
圖 73 Zipline 起飛裝置.....	59
圖 74 Zipline 無人機物流解決方案.....	60
圖 75 Zipline 總公司.....	61
圖 76 與普渡大學航太學院師生交流.....	62
圖 77 Secure and Safe Assured Autonomy 計畫.....	62
圖 78 Operations Limits for Advanced Air Mobility Missions 計畫.....	63
圖 79 普渡大學無人機研究測試中心.....	63

圖 80 普渡大學無人機測試場設備	64
圖 81 運用無人機於倒塌建築物搜尋救援任務	64
圖 82 AAM 作業環境及任務類型	66
圖 83 AAM 四大任務類型	66
圖 84 FAA Vertiport 工程概要	67
圖 85 WSP AAM 基礎設施分類	67
圖 86 AAM 生態系	68
圖 87 AAM 多元運具服務模式	68

壹、前言

一、目的

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。

運研所已於交通部「2021 交通科技產業政策白皮書」中提出我國無人機科技產業發展策略及路徑圖（Roadmap）2.0 版，並研擬我國無人機在交通領域發展之 2025 年橋梁檢測與物流運送里程碑。此外，近年來先進國家持續關注無人機飛航管理(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。

美國聯邦航空總署(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、物流及飛航管理等各項應用之先導測試。IPP 計畫於 2020 年 10 月由 BEYOND 計畫銜接延續進行下階段研究發展。

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兼顧安全、公共利益以及產業需求，推動無人機科技產業發展之經驗，參考美國公部門與產業界合作協力機制，並了解無人機最新應用及技術發展趨勢；本研究成果有助於交通部擘劃無人機相關政策、管理方式與執行策略，以期達成我國無人機在交通領域發展之 2025 年里程碑，同時提升我國無人機科技產業發展能量。

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，接續說明實地拜會訪問美國當地無人機產官學研單位及觀摩無人機作業實地營運情形；並研析美國先進空中交通最新資訊。最後依據本次專題研究報告內容，提出心得與建議。

二、 研究重點與過程

(一) 研究國家：美國。

(二) 研究期間：111 年 6 月 1 日至 111 年 8 月 30 日。

(三) 研究地點：美國維吉尼亞理工學院暨州立大學、北卡羅萊納州運輸部、加州舊金山、印地安納州普渡大學。

(四) 研究範圍：美國政府、民間及學術界無人機創新應用推動經驗與科技發展，以及未來先進空中交通發展趨勢。

(五) 研究重點

1. 推動無人機創新應用：實地拜會參訪美國無人機整合示範計畫執行單位、聯邦航空總署無人機測試場，並訪談聯邦航空總署無人機整合辦公室，以借鏡美國無人機整合與創新應用執行經驗與策略。
2. 銜接國際無人機發展趨勢：蒐集美國無人機物流、無人機飛航管理、先進空中交通等相關資料；並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，以了解國際間最新發展趨勢。
3. 促進跨域合作無人機研究發展：拜會維吉尼亞理工學院暨州立大學、普渡大學航空太空工程學院等學術單位，以及無人機新創業者，了解美國政府單位、產業界及學術研究單位跨域合作推動無人機新興技術研發以及人才培育現況與策略。

貳、 研究內容

一、 美國無人機整合示範計畫

(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（Federal Aviation Administration, 以下簡稱 FAA）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。



圖 1 IPP 計畫參與團隊分布圖

(資料來源: FAA)

(二) 計畫目標

有關 IPP 計畫之總體目標，於 2017 年 10 月美國總統給予運輸部長之行政命令中首次提出以下四點：

1. 加速推動無人機各項應用及標準化。
2. 提供民間企業機會實現無人機商業營運作業概念。
3. 識別並解決無人機作業課題。
4. 加強公眾及社區參與。

嗣後，依據 2018 年度聯邦航空總署再授權法案（2018 2018 FAA Reauthorization Act），再次提出前述目標之具體標的與推動策略如下：

5. 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、天氣及人為因素等。
6. 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。
7. 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。
8. 協助主管機關、聯邦與地方政府單位探索無人機發展模式與管理方法。

此外，於 2017 年 11 月聯邦航空總署刊登聯邦公報，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) 參與團隊

前述 10 個團隊中，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，各州申請 IPP 計畫之單位性質與層級相當多元，加州聖地牙哥市、內華達州雷諾市由市政府提出申請；堪薩斯州、北達科塔州、北卡羅萊納州由各州運輸部為申請單位；維吉尼亞州由該州創新創業投資管理處為申請單位；阿拉斯加州由該州阿拉斯加州立大學費爾班克斯分校為申請單位；田納西州由曼菲斯機場管理局獲選；而奧克拉荷馬州喬克托自治區（行政位階與州相同）為首個人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 1。

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 1 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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)	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 公共安全與執法 ● 醫療檢體運送 ● 食物運送

(資料來源: FAA, 本報告整理)

(四) 計畫執行內容

1. 計畫團隊遴選

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，此外，跨州之港務管理單位、區域運輸規劃組織 (Metropolitan Planning Organization, MPO) 組織均可申請；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

**PARTICIPATING IN THE
UAS INTEGRATION
PILOT PROGRAM?**

TWO PATHS:

LEAD APPLICANT	INTERESTED PARTY
A state, local, or tribal government entity or subdivision	Anyone who wants to partner with a state, local, or tribal government entity to participate in the Pilot Program
Submit a notice of intent by 2 p.m. ET Nov. 28, 2017	Submit a request by 2 p.m. ET Dec. 13, 2017

 **UAS INTEGRATION PILOT PROGRAM**  U.S. Department of Transportation
Federal Aviation Administration

FAA.GOV/GO/DRONEPILOT **#DRONEPILOT**

圖 2 徵求 IPP 計畫團隊文宣
(資料來源: FAA)

2. 計畫執行重點

(1). 重點應用項目

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 2。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 2 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、藥品及其他小型商品之運送。
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, 本報告整理)

(2). 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。

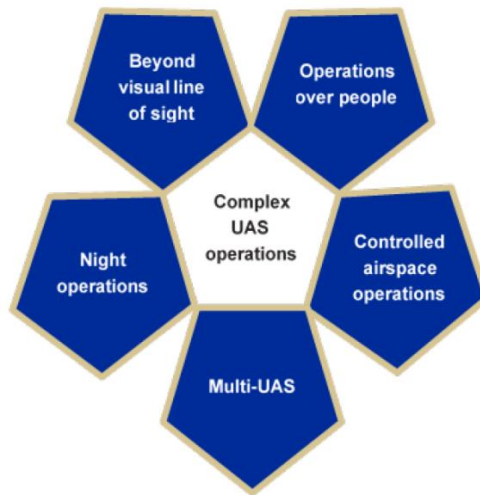


圖 3 進階無人機作業
(資料來源: FAA)

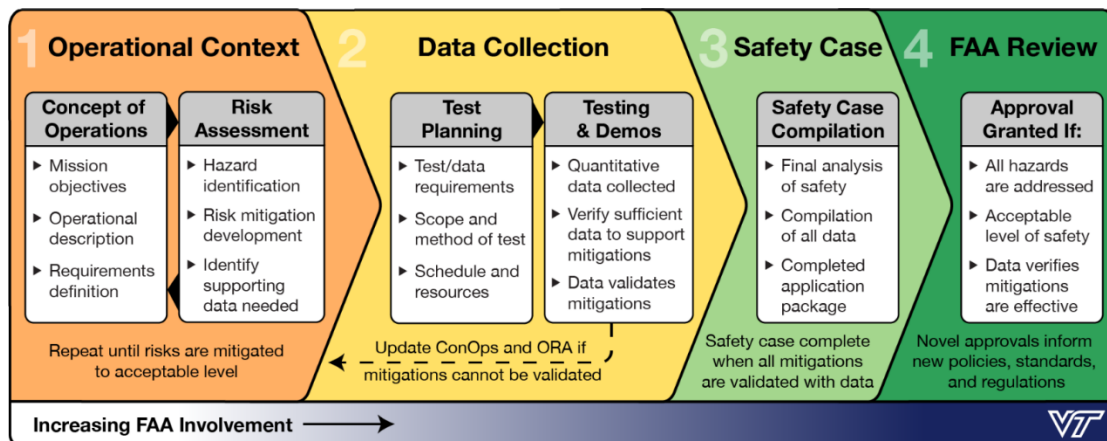


圖 4 IPP 計畫作業流程案例
(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 研究中心)

3. 執行案例

(1). 物流運送

無人機物流運送是 IPP 計畫中相當受到重視的作業項目，包括阿拉斯加、曼菲斯、北卡羅萊納州、雷諾、聖地牙哥市和維吉尼亞等參與單位，均提出有關物流包裹遞送的作業概念，具體運送內容物相當多元，包括食品、零售商品、緊急物資、醫療用品、藥品等，並且結合了當地特色需求，例如曼菲斯機場管理局與航空公司合作使用無人機在機場內運送飛機零配件、內華達州雷諾市使用無人機運送緊急心臟去顫器(AED)以因應緊急醫療事件。

計畫團隊與 FAA 共同討論，提出安全案例與營運計畫，其中包括飛行路線、投遞地點等。物流運送任務作業概念涉及到人群上空作業、移動車輛中作業、夜間或視距外作業等進階無人機作業內容，因此 FAA 審查此類活動時，考量內容包括實質作業內容，包括操作高度、起降、投遞貨物地點，以及測試場域的環境特徵，例如人口密度、空域複雜性等，據以評估作業風險，並提供必要的法規豁免或作業內容調整。

IPP 計畫中物流運送最廣為人知的成功案例，包括 Google 同屬 Alphabet 集團旗下，在維吉尼亞州營運的 Wing，以及在北卡羅萊納州營運的 UPS Flight forward，兩家業者均透過參與 IPP 計畫，取得 Part 135 營運許可，可進行具規模性之無人機物流商業營運，並且可結合視距外飛行等進階作業。此外，另一家業者 Zipline，在北卡羅萊納州參與接續 IPP 計畫的 BEYOND 計畫，亦獲得 Part 135 營運許可，本研究實地參訪前述三家廠商營運基地，於後續章節說明。



圖 5 UPS Flight Forward 首次 Part 135 商業營運飛行

(資料來源: UPS Flight Forward)

(2). 公共安全

無人機具有高機動性的特性，可迅速抵達緊急事件現場，同時透過空中視角提供全面影像，提供相關人員即時現場資訊，加速應變判斷與決策，因此，無人機在公共安全領域之應用廣泛，包括警政執法、消防、災害應用、人群管控、場所保安，以及緊急醫療服務等層面。

IPP 計畫中，聖地牙哥警局提出無人機現場應變計畫（Drone as First Responder, DFR），接獲 911 電話報案通知後，先行派遣無人機前往現場觀測，提升警察單位對現場狀況即時了解以及決策的能力。此項案例獲得 FAA 許可，運用了人群上空作業、視距外飛行、多機作業、夜間作業等進階無人機作業能力。

此外，在災害應變方面，奧克拉荷馬州喬克托自治區、北達科塔、北卡羅萊納州、維吉尼亞等地，提出應用無人機於天然災害發生前、中、後階段之應變及復原任務；內華達州雷諾市則將無人機應用於山區河流緊急救援任務。

在場所保安與群眾管控方面，曼菲斯機場管理局與堪薩斯州運輸部，運用無人機於機場周邊保安監控，此項作業同時也提供了 FAA 及機場管理單位對於無人機在機場管制區內運作的經驗。北達科塔州則運用無人機於大型賽事公共安全監控。

(3). 基礎設施巡檢

IPP 計畫中之無人機基礎設施監測作業，主要以長距離、大範圍基礎設施為標的，包括油管、輸電線等。FAA 主要透過此類作業，累積視距外飛行作業之執行經驗以及安全風險評估，並測試視距外飛行相關感測與避讓技術以及地面雷達系統。值得一提的是，FAA 認為現 IPP 計畫中，運用目視觀察員、機載感測儀器或地面雷達設備等輔助方式進行的視距外作業模式，在安全性、可靠度、可擴展性與重複性方面仍未成熟，尚待後續研究發展與驗證。

IPP 計畫鼓勵各計畫團隊因地制宜提出無人機創新應用，以檢測為例，阿拉斯加大學費爾班克斯分校使用無人機監測阿拉斯加輸油管（Trans-Alaska Pipeline System），此輸油管系統以南北向縱貫阿拉斯加州，全長約 1,300 公里，該團隊獲得 FAA 許可，成功以無人機進行監

測視距外作業。

其他檢測作業項目包括，堪薩斯州運輸部以及曼菲斯機場管理局，分別在威奇塔機場（Wichita Dwight D. Eisenhower National Airport）以及曼菲斯國際機場（Memphis International Airport），使用無人機進行跑道及機坪鋪面狀態及異物巡檢；其中堪薩斯州透過與航管單位合作，成功在飛航作業持續進行下，以無人機在跑道及機坪進行日、夜間巡檢作業；除了前述跑道及機坪巡檢外，曼菲斯機國際機場與該機場之主要使用者聯邦快遞（FedEx）合作，使用無人機進行航機外觀檢測，大幅節省原有作業時間。另一方面，北卡羅萊納州則利用無人機進行橋梁檢測，獲得 FAA 許可以視距外方式進行橋梁檢測作業，以無人機檢測橋面下及其他人員無法直接目視之橋梁構件。

4. 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 6 及圖 7，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。

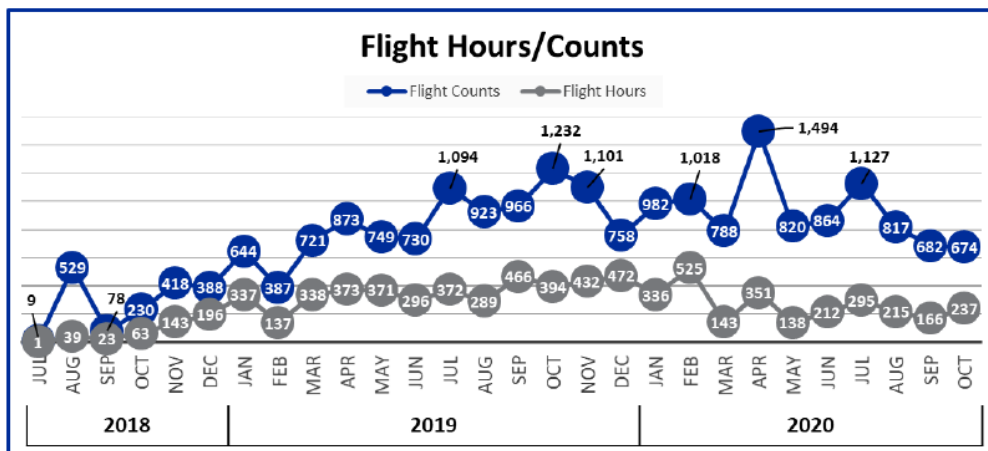


圖 6 IPP 計畫飛行任務及時數統計

（資料來源: FAA IPP 計畫總結報告）



圖 7 物流運送、公共安全及基礎設施巡檢任務統計
(資料來源: FAA IPP 計畫總結報告)

(4). COVID-19 防疫支援

由於美國地理環境遼闊，因此新冠肺炎防疫期間，各州 IPP 計畫參與團隊亦發揮無人機高機動性、自動化作業等優勢，支援防疫相關工作，不僅支援偏遠地區物資及醫療用品運送，亦降低第一線防疫人員工作負擔。

阿拉斯加州運用無人機進行社交距離監測，同時也使用無人機運送醫療物資至當地偏遠社區。Zipline 公司在疫情期間獲得 FAA 視距外作業（須配置目視觀察員）以及人群上空作業許可，在北卡羅萊納州進行長距離醫療用品運送作業，單程距離達 14 英里（約 23 公里）。在北達科塔州，無人機業者 Flytex 與零售商 Walmart 合作運送生活必需品。聖地牙哥警察局則利用無人機向街道遊民宣導進行公共衛生訊息。維吉尼亞州營運的 Wing，在當地因疫情封城期間，不僅持續進行食品及日用品運送服務，也許當地學校合作，遞送學校讀物到學童家中。

表 3 IPP 與 BEYOND 計畫疫情相關無人機應用

作業類型	作業內容	地點
物資運送	<ul style="list-style-type: none"> ● 藥品 ● 醫療用品 ● 生活必需品 ● 疫苗 	<ul style="list-style-type: none"> ● 維吉尼亞州 ● 北卡羅萊納州 ● 北達科塔州 ● 阿拉斯加州

公共衛生宣導	疫情相關資訊宣導	聖地牙哥市
監測	社交距離監測	阿拉斯加州

(資料來源: FAA, 本報告整理)

5. 社區參與

無人機的優勢在於三度空間作業、提供不受地形限制之視角，然而，前述特性也導致社會大眾對於無人機的疑慮不僅限於無人機作業的安全性，也包括公眾及個人的隱私保護。因此，IPP 計畫的工作重點也包括增進公眾對於無人機科技的了解，並藉以提升社會接受度。

在計畫執行過程中，FAA 與各計畫團隊運用各種宣傳方式，包括教育訓練活動、社群媒體及電視廣告、專屬網站、宣傳單、公開說明會、公開飛行展示及小組座談等方式，使民眾充分知悉無人機作業內容，以及隱私、安全風險管理措施，同時也推廣無人機科技。以維吉尼亞州為例，當地計畫團隊以逐戶拜訪說明的方式，與社區民眾溝通。

依據 IPP 計畫參與團隊調查結果，約有百分之 30 的民眾完全支持無人機應用，百分之 11 民眾表達完全反對；其他民眾關心議題包括無人機應用的商業價值、隱私、安全、保安疑慮等，如圖 8。FAA 也提出了三項公眾溝通的成功策略，包括認識目標受眾以及利害關係人、加強無人機作業的正面效益敘述，以及持續蒐集公眾意見回饋，如圖 9。

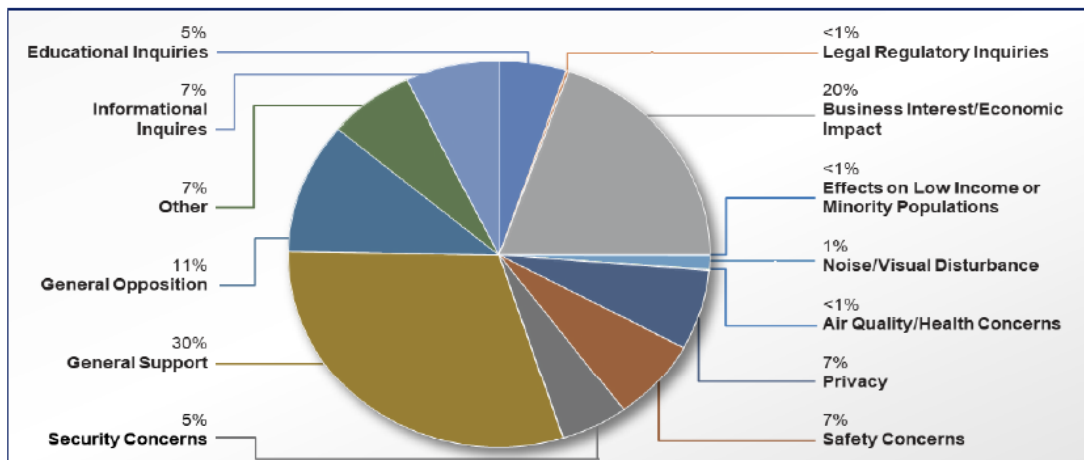


圖 8 民眾觀感調查

(資料來源: FAA)

The FAA has identified three successful strategies:

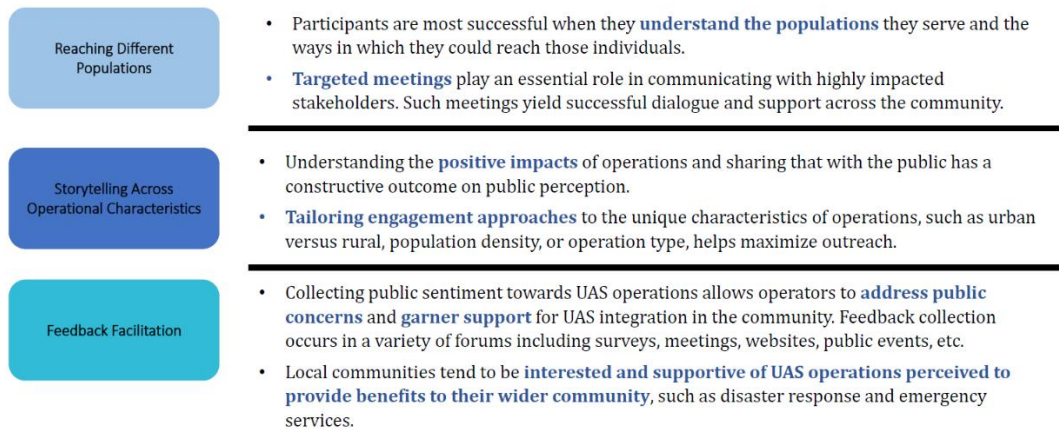


圖 9 IPP 計畫社區參與策略

(資料來源: FAA)

(五) IPP 計畫階段性成果

1. 政策啟示

在無人機管理政策方面，IPP 計畫提供主管機關 FAA 的啟示如下：

- (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機制，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。

2. 後續應優先處理之政策事項

FAA 依據前述政策啟示，以及驗證測試過程經驗，提出下列 FAA 應優先處理之政策事項，並納入接續之 BEYOND 計畫持續推動，以因應未來無人機應用需求：

(1). 無人機型式檢驗

IPP 計畫中的場域測試驗證經驗，凸顯建立無人機系統型式檢驗（sUAS Type Certification）的必要性。因此，FAA 將擬定無人機之適航標準（Airworthiness Criteria），以及對應之耐用度與可靠度符合方法（Durability and Reliability Means of Compliance, D&R MoC）。目前已有多家參與 IPP 計畫的無人機業者提出型式檢驗申請，2022 年 9 月，Matternet 公司之 M2 機型成為第一個獲得型式檢驗許可的無人機系統，該公司於 IPP 計畫中與 UPS 合作在北卡羅萊納州進行物流商業營運。

(2). 安全風險管理

隨著無人機技術進步和任務複雜度能力的增加，例如機場管制區內運作，因此安全風險評估、管理以及緩解機制是 FAA 的政策優先事項，安全風險管理的內容包括安全管理系統（Safety Management System）、緊急應變計畫，以及機隊管理系統等。

(3). 無人機飛航管理系統

無人機飛航管理系統（UTM）可支援未來無人機在低空、非管制空域更有效率、安全地進行作業，例如在人口密集地區進行多機作業。UTM 可包括軟體系統，以及傳輸無人機識別資訊的 Remote ID 硬體模組。目前 FAA 針對 UTM 系統另有一系列計畫推動中，部分 IPP 計畫團隊也參與了包括 UTM 系統軟硬體的測試。

(4). 無人機作業環境衝擊評估

無人機最顯著的環境衝擊為噪音影響，因此 FAA 利用 IPP 計畫持續蒐集無人機噪音數據，進行分析及模擬，藉以發展無人機作業之噪音衝擊評估標準及規範。

(5). 指揮及控制鏈路

在 IPP 計畫中，FAA 與美國電信服務業者（如 AT&T, T-Mobile）、硬體

製造商（Intel, Qualcomm）合作，測試電信網路支援無人機指揮及控制鏈路之可行性，包括可用性、持續性、完整性及延遲等效能指標，以提升無人機通訊鏈路之安全性與可靠度。

3. 成功領域

IPP 計畫自 2018 年 5 月執行至 2020 年 10 月，9 個計畫參與團隊共計完成超過 2 萬次飛行任務，FAA 將階段性成果整合為以下三個成功領域（IPP Success Areas），如表 4。

4. 後續計畫推動重點

IPP 計畫於自 2020 年 10 月 25 日正式結束起，銜接的 BEYOND 計畫自隔日 10 月 26 日正式啟動。FAA 綜整前述政策啟示、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。

表 4 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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
提供主管機關政策及決策參考	<ul style="list-style-type: none"> ● 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)

二、 無人機 BEYOND 計畫

(一) 計畫背景

由於 IPP 計畫的成功經驗，並且延續前期計畫彙整的應優先推動政策事項，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，無中斷銜接 IPP 計畫，計畫期程為 4 年，預計至 2024 年結束。

基於計畫延續性，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 10。



圖 10 BEYOND 計畫參與團隊

(資料來源: FAA)

(二) 計畫內容

1. 計畫目標

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。

2. 計畫重點

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、無人機飛航管理系統、感測與避讓技術及指揮控制鏈路，如圖 11 及圖 12。

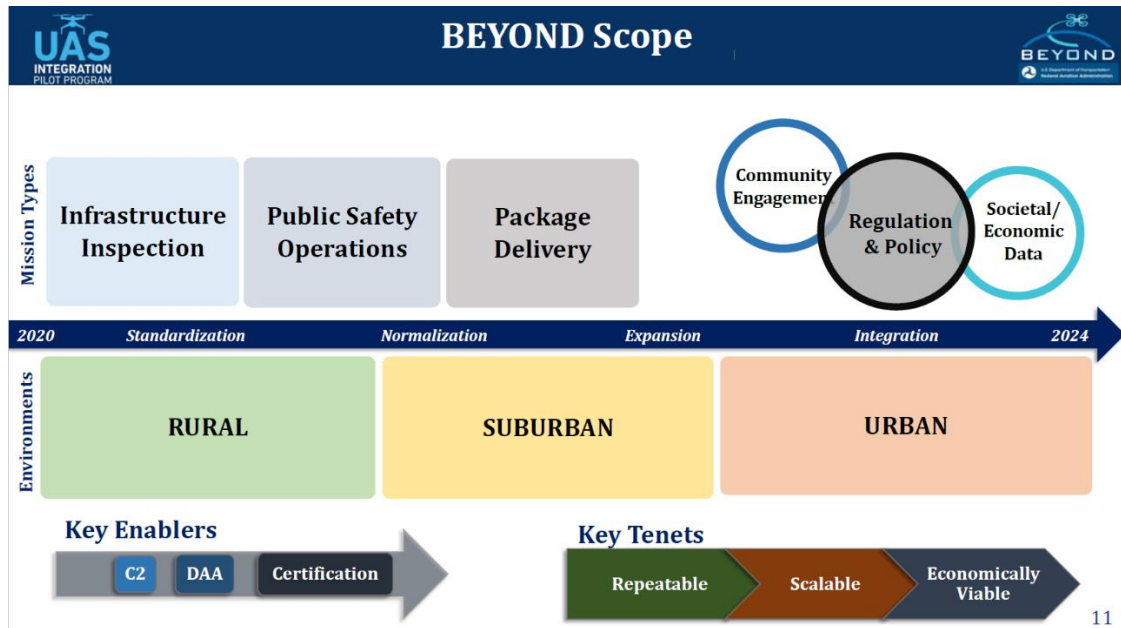


圖 11 BEYOND 計畫推動進程
(資料來源: FAA)

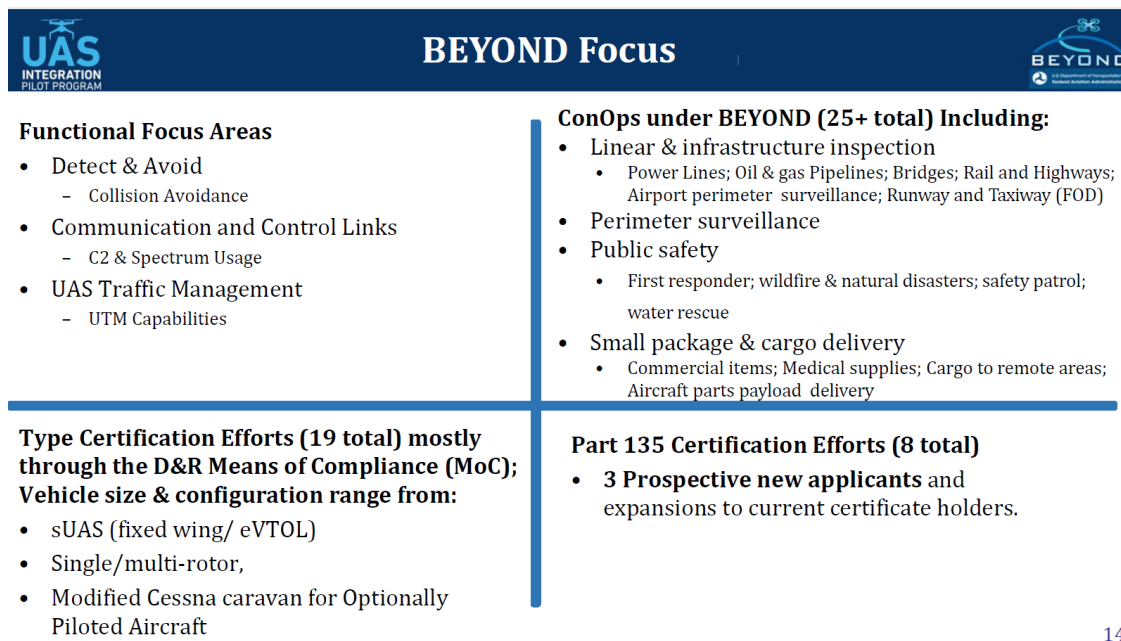


圖 12 BEYOND 計畫推動重點
(資料來源: FAA)

3. 社會及經濟效益評估

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。

(1). 成本

包括作業時間、服務人口、服務範圍、燃料成本、基礎設施及作業車輛維護成本、設備成本、人員成本等項目。

(2). 健康安全

包括工作人員安全、公眾安全、高風險作業項目。

(3). 環境

無人機作業產生碳足跡、噪音等。

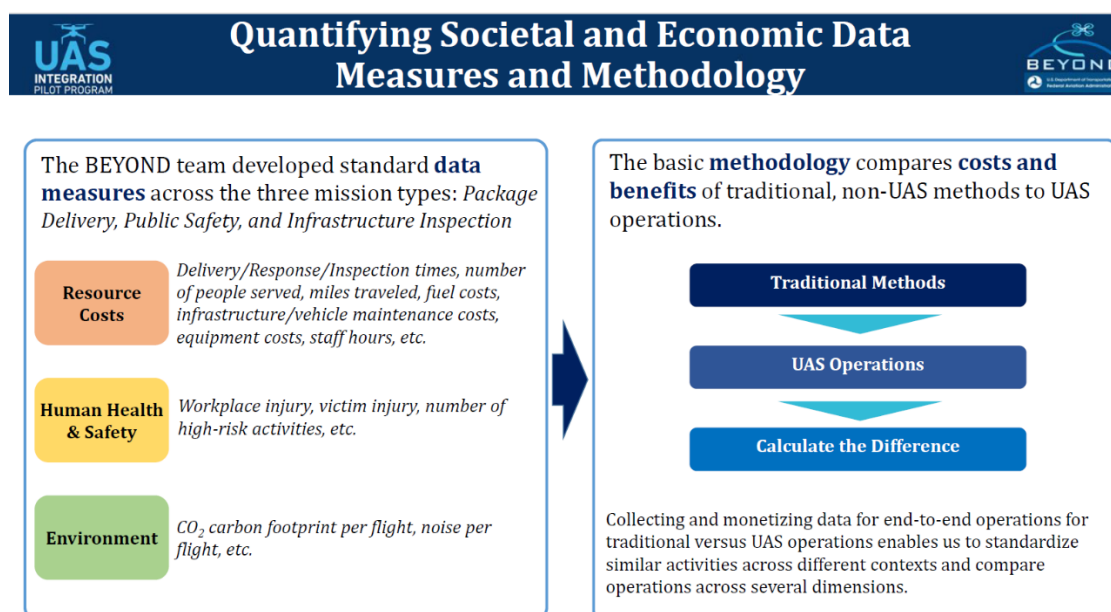


圖 13 BEYOND 計畫社會及經濟效益評估方法

(資料來源:FAA)

(三) 計畫執行情形

由於 BEYOND 計畫之主要目的為推動視距外飛行作業，依據 FAA 統計，視距外飛行時數已占總任務時數一半以上且持續增加，此外，FAA 將持續推動毋需配置目視觀察員之視距外飛行作業 (BVLOS w/o VO) (圖

14)。截至 2022 年 7 月，BEYOND 計畫執行成果如下（圖 15）：

1. 發展 25 項作業概念，涵蓋物流、公共安全及巡檢三類任務。
2. 完成超過 8,000 次飛行任務案。
3. 19 個無人機型式檢驗申請案，其中多數以耐用度及考靠度（D&R MOC）做為符合方法。
4. 1 個特殊適航檢驗申請案（實驗類）。
5. 8 個 Part 135 商業營運申請案。
6. 發展 Part 107 規範之第二類與第三類人群上空作業之符合方法。
7. 首次於機場管制區內進行無人機延伸視距飛行作業（EVLOS）。

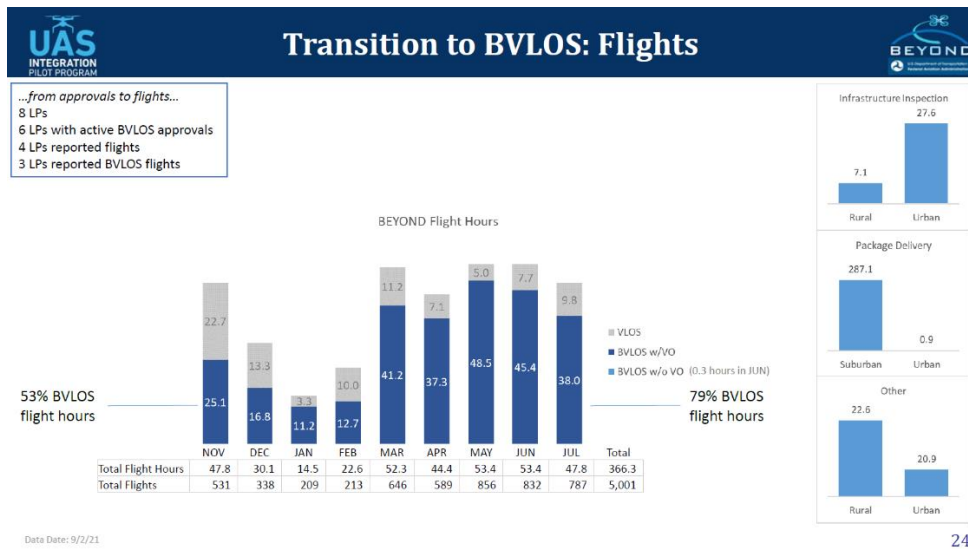


圖 14 BEYOND 視距外飛行作業統計
 （資料來源: FAA）



圖 15 BEYOND 執行概況
 （資料來源: FAA）

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 5 及圖 16），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 5 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）

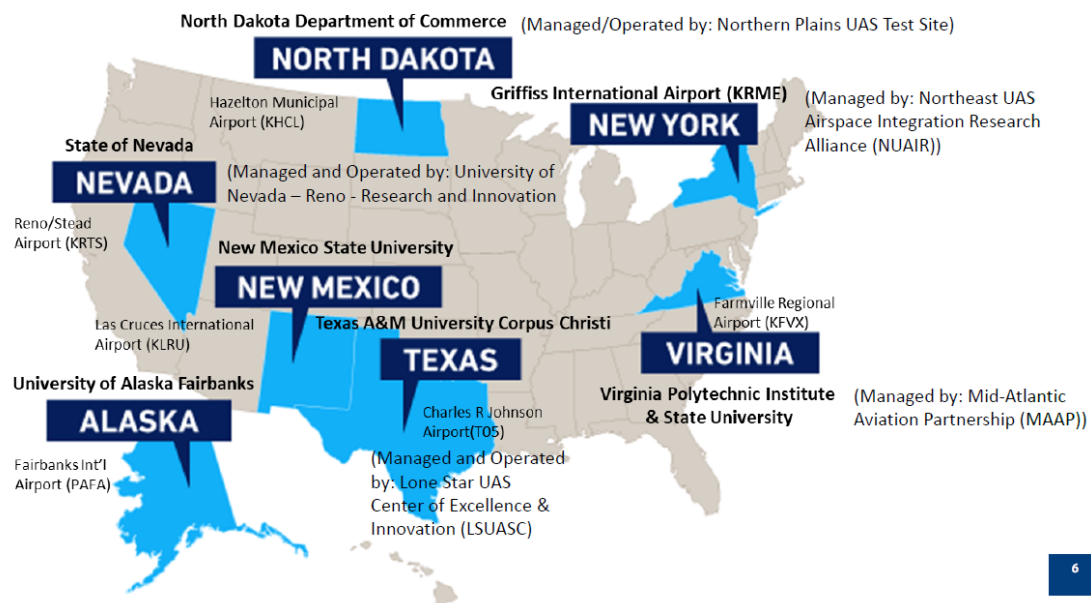


圖 16 FAA 指定無人機測試場分布圖

（資料來源: FAA）

(二) 計畫內容

1. 管理機制

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 17)。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。

2. 作業方式

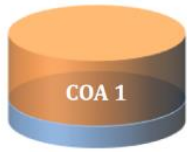
無人機測試場計畫本身無直接經費挹注，管理單位可承接來自公部門包括 FAA、美國航空太空總署、美國國防部等單位之研究計畫，例如維吉尼亞州等 3 個測試場同時參與了 IPP 與 BEYOND 計畫；測試場亦可承接來自州政府或民間單位之委託研究計畫。無人機測試場執行公部門計畫時，如符合美國法令之政府航空器定義，須依循 FAA 之無人機政府航空器作業 (Public Aircraft Operation, PAO) 規範；執行民間計畫時，則依循 Part 91、Part 107 等規範，執行民用航空器作業 (Civil Aircraft Operation, CAO)。測試場亦可共同執行研究計畫，例如維吉尼亞州測試場與德州測試場共同執行 FAA 委託之無人機飛航管理系統場域測試計畫。

3. 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、無人機飛航管理系統、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 (如圖 18、圖 19)。

DEFINITIONS:

1. TEST RANGE



Test Range airspace volume, location, and operation(s) defined in FAA Form 7711-1 **Certificate Of Waiver Or Authorization (COA)** or IAW 14 CFR 107

Note: Test Range is not special-use airspace



2. TEST SITE

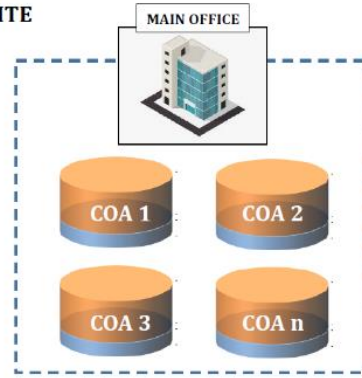


圖 17 FAA 指定無人機測試場執行機制
(資料來源: FAA)

PUBLIC AIRCRAFT OPERATIONS

• Governmental Functions:

- **Aeronautical Research**
 - Airworthiness
 - Command & Control
 - Detect and Avoid
 - Equipage (Sensors) Testing
 - Human Factors
 - Navigation
 - Noise
- **Biological Resource Management**
 - Agricultural (crop health)
 - Wildlife Surveys
- **Geological Resource Management**
 - Beach Erosion
 - Flood Support
- **Firefighting**
 - Detection of hot spots on fires
 - Fire prevention
 - Firefighting operations
- **Search and Rescue**
 - Missing Persons (student, hiker)
 - Supported access to watercraft for USCG recovery operations



9

圖 18 無人機測試場執行政府航空器作業內容
(資料來源: FAA)

CIVIL AIRCRAFT OPERATIONS

- **Research:**
 - Advanced Air Mobility R&D Tests
 - Agriculture R&D
 - Airworthiness
 - Communications
 - Command & Control
 - Counter UAS (Detection)
 - Detect and Avoid
 - Equipage (Sensors) Testing
 - Human Factors
 - National Critical Infrastructure Inspections R&D Tests
 - Navigation
 - Package Delivery R&D Tests
 - UAS Traffic Management (UTM)
 - Weather
 - Other
- **Community Outreach (STEM)**
- **Demonstrations**
- **Marketing**
- **Validation & Verification**
 - Parachute system



10

圖 19 無人機測試場執行民用航空器作業內容
(資料來源: FAA)

(三) 計畫執行情形

截至 2022 年 7 月，7 處無人機測試場共計執行了超過 3 萬次飛行任務，飛行時術約 1.5 萬小時（圖 20）。圖 21 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，以及管制程度由左至右遞增，各階段重點項目說明如下。

1. 休閒視距內作業（Recreational Visual-Line-of-Sight）

技術能力最基本、管制程度最低之無人機作業，無人機測試場在此階段協助了操作人員測驗、無人機註冊及相關民間團體之籌設規範。

2. 商用視距內作業（Commercial Visual-Line-of-Sight）

此階段無人機測試場協助規劃 Part 107 法規體系，以及夜間、人群上空作業等進階作業規則。在技術層面，啟動無人機飛航管理相關研究，包括廣播式遠端識別功能（Remote ID）之政策與規格需求（如圖 22）。以及「低空許可與提示」機制（Low Altitude Authorization and Notification Capability, LAANC），透過建立無人機操作者、無人機服務業者(UAS Service Provider, USP)以及飛航管制單位三方資料交換機制，無人機操作者可過手機應用程式進行無人機作業及空域申請（如圖 23、圖 24）。

3. 商用視距外作業（Commercial Beyond Visual-Line-of-Sight）

本階段目標為推動視距外無人機作業的商業營運驗證，包括 IPP 及 BEYOND 計畫，維吉尼亞州、北達科塔州及阿拉斯加州測試場均參與了前述計畫。本階段工作重點尚包括視距外飛行作業及相關程序，以及無人機飛航管理 UTM 的架構建立與部分功能驗證。

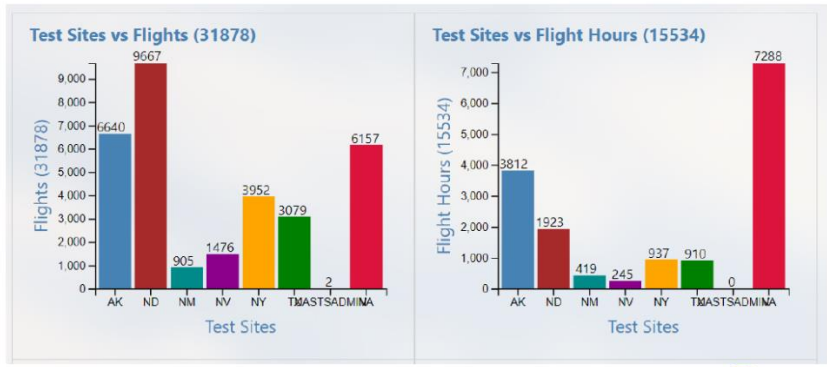
4. 貨運商業營運（Commercial Cargo）

本階段無人機測試場參與了 Part 135 無人機商業營運機制建立，以及物流無人機系統的安全驗證，以銜接後續的場域實證營運測試。

5. 旅客運輸（先進空中交通）（Passenger Carriage, Advanced Air Mobility）

載人作業是無人機整合進程中技術能力、安全及自動化要求最高的階段，目前包括 FAA、NASA 及民間已有多項計畫推動中，無人機測試場參與了大型無人載具起降基礎設施 Vertiport 標準發展、載人作業規範發展、載具驗證等層面。

Total Flight Operations - 31,878
Total Flight Hours - 15,534



Data as of 7/1/2022



圖 20 FAA 無人機測試場飛行作業統計
 (資料來源: FAA)

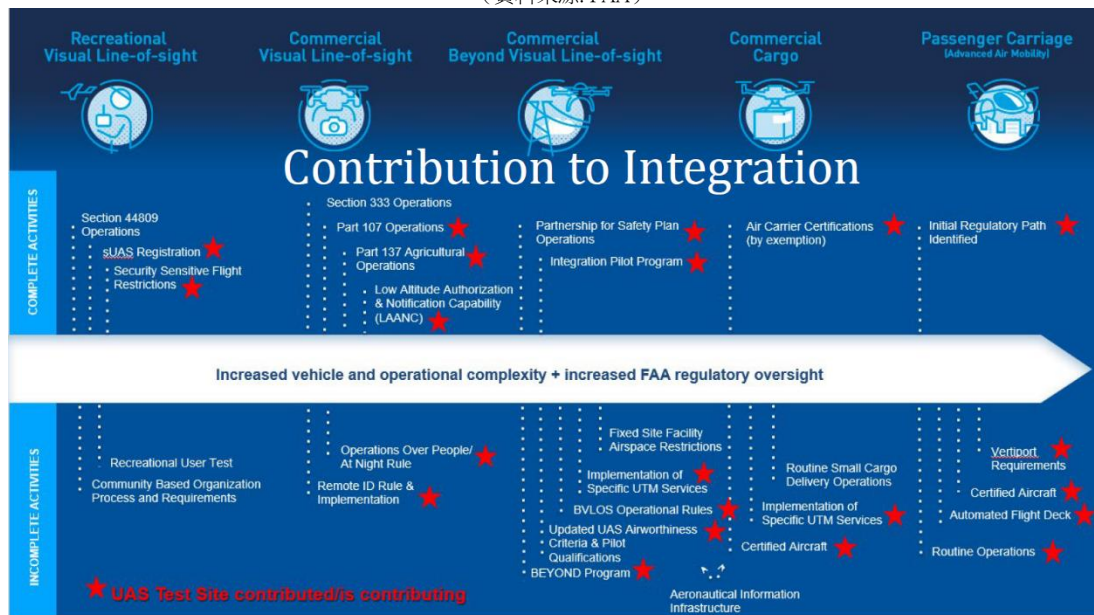


圖 21 FAA 無人機測試場協助無人機整合進程
 (資料來源: FAA)

3 Ways Drone Pilots Can Meet Remote ID Rule



圖 22 Remote ID 機制示意圖
 (資料來源: FAA)

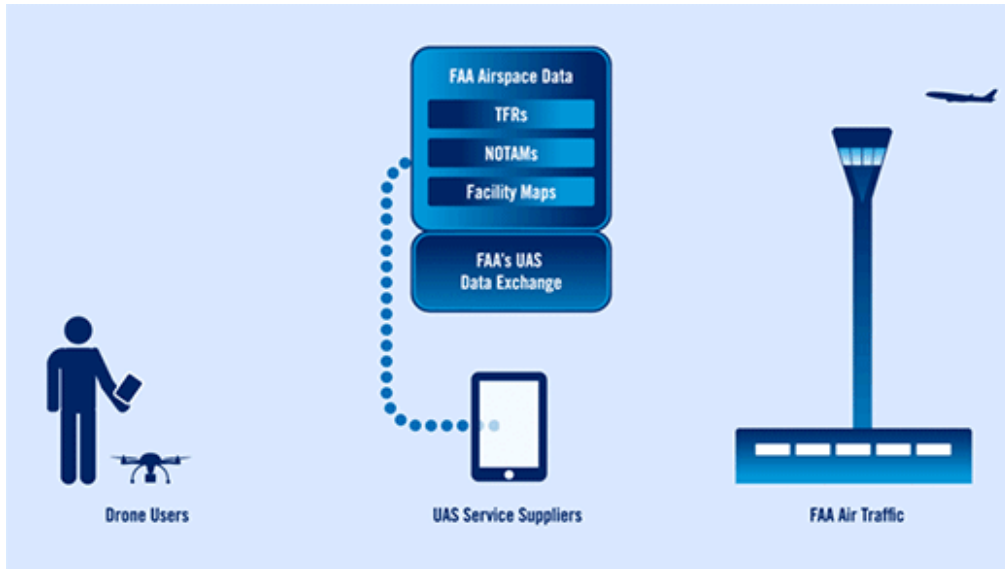


圖 23 LAANC 作業機制示意圖
(資料來源: FAA)

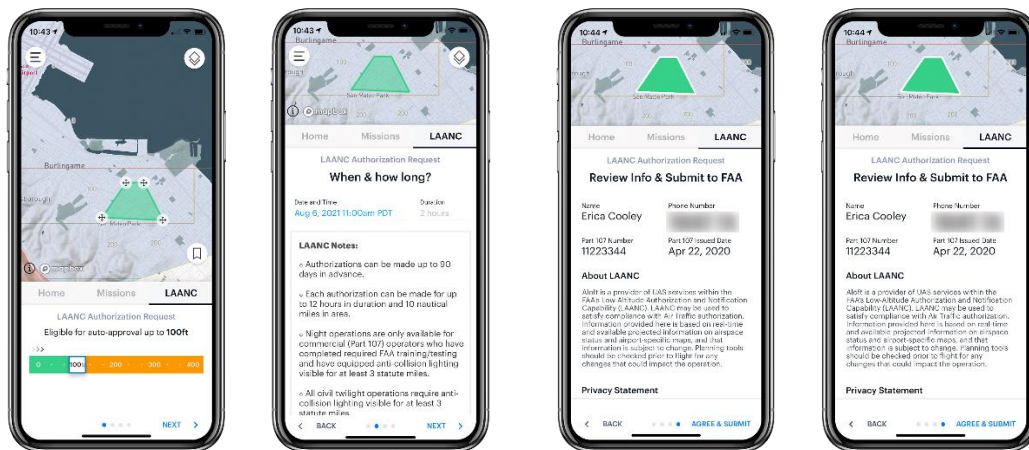


圖 24 LAANC 手機應用程式示意圖
(資料來源: Aloft)

四、 美國無人機研發與營運案例參訪

(一) 維吉尼亞理工學院暨州立大學

1. 學校簡介

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），另在維吉尼亞州其他地區設有 4 個分校區，學生總數約 3 萬人。依據《美國新聞與世界報導》雜誌之「全美最佳大學」排名中，該校於全國性大學中排名第 62 位。

維吉尼亞理工大學科系完整，尤其以理工、農業、建築等領域見長，目前共有 9 個學院：農業和生命科學學院、建築、藝術與設計研究學院、人文科學學院、商學院、工學院、自然資源和環境學院、理學院、獸醫學院（與馬里蘭大學合辦）、醫學與生醫研究學院。

在前述學術單位以外，維吉尼亞理工大學擁有超過一百個研究機構或單位，本次專題研究單位係隸屬於「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），中大西洋地區泛指美國東北部紐約州、紐澤西州、賓夕凡尼亞州、德拉瓦州、馬里蘭州、華盛頓特區、維吉尼亞州及西維吉尼亞州等 8 個州所組成區域。關鍵科技與應用科學中心為維吉尼亞理工大學之投資機構（Investment Institute），係由該校投資成立，針對跨領域、尖端科學技術領域進行研究，並爭取外部研究經費及資源；投資機構原則上自籌經費，並與大學相關學術單位保持密切合作，共同推動學術研究及教學等工作。



圖 25 維吉尼亞理工大學校園景觀

（圖右為關鍵科技與應用科學中心大樓）

2. 單位簡介

維吉尼亞理工大學 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，例如無人機飛航管理系統 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。

(1). 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 26），以協助產業界之無人機應用需求取得作業許可（圖 27），可分為四個階段：

A. 作業內容定義 (Operational Context)

本階段主要工作包括定義無人機作業目標、內容及需求，包括無人機系統技術規格、操作人員訓練等項目，並根據前述內容識別作業風險並提出對應之緩解措施。

B. 資料蒐集 (Data Collection)

依據前階段定義之作業內容及風險緩解措施，進行實證測試。首先定義測試資料、範疇、程序及方法，並透過實證測試結果，修正前階段作業內容及風險緩解措施。

C. 安全案例形成 (Safety Case)

本階段彙整前階段實證測試數據，進行無人機作業量化風險分析，確認作業概念之可靠度與安全性，以及商業營運可行性，據以研擬相關文件，以提交主管機關(FAA)進行審查。

D. 主管機關審核 (FAA Review)

本階段係由主管機關審查申請單位提出之作業申請或技術驗證，例如 Part 107 法規豁免、Part 91 例外案例 (exemption) 等特殊、進階作業申請，或新型無人機系統或相關技術，例如動力系統、感測與避讓等。

VT/MAAP Safety Case Process

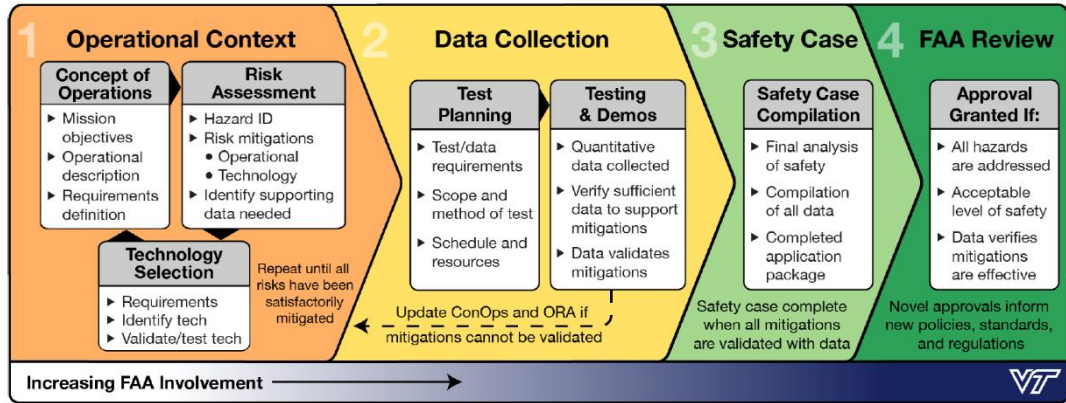


圖 26 MAAP 無人機安全案例發展流程

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

Driving Forces for Test Site Evolution

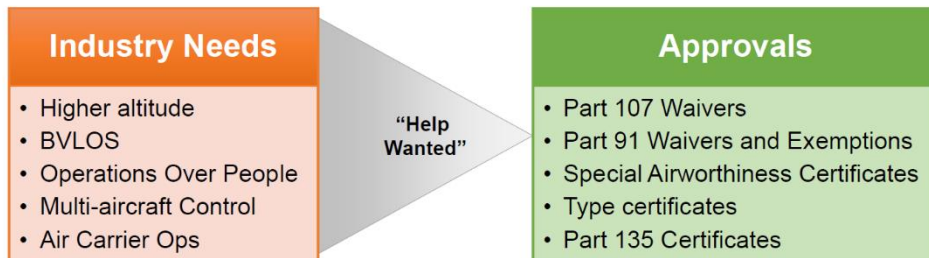


圖 27 無人機產業需求與作業許可類型

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

(2). 研究發展 (Research and Development)

A. 無人機飛航管理

依據 FAA 定義，無人機飛航管理 (UAS Traffic Management, UTM)，係因應未來無人機應用越趨廣泛，飛航管理單位將無法負荷如此高密度飛航作業及低空非管制空域之管理需求。因此，UTM 之目標

係建立一個自動化、具有協同工作能力（Interoperability）的生態體系（圖 29），使無人機之間、無人機與利害關係人間，可在不仰賴航管單位情況下，可充分了解各方資訊及意向，並即時溝通與協調，以進行視距外飛行、空域管理、感測與避讓等工作，提升無人機作業效率與安全。

MAAP 中心所管理之維吉尼亞州 FAA 指定無人機測試場，協助 FAA 及 NASA 等單位執行多項政策性研究計畫，例如無人機飛航管理系統 UTM 計畫。FAA 與 NASA 於 2017 年發表 UTM 過渡團隊計畫（UTM Transition Team Plan），共同推動 UTM 發展，NASA 主責技術與標準發展，FAA 主責規範與場域測試，並依據作業複雜度及操作環境（人口及建築物密度）將 UTM 功能分為 4 個技術能力等級（Technical Capability Level, TCL）（圖 29）。

FAA 於 2016 年發表 UTM 作業概念（UTM Concept of Operations）2018 年更新 1.0 版；2019 年更新 2.0 版。在場域實證方面，FAA 於 2019 年委由 FAA 指定無人機測試場辦理第一期 UTM 先導計畫（UTM Pilot Program, UPP），主要工作包括無人機飛行意向（Flight Intent）交換、空域容量管理（UAS Volume Reservation, UVR）、完成前述 TCL4 個階段之測試；2020 年第二期計畫則在前述工作以外，加入 Remote ID 功能測試以及更高容量、更高密度作業環境之測試。2022 年 FAA 再度啟動 UTM 場域測試計畫（UTM Field Test, UFT），分別由紐約州測試場，以及 MAAP 中心(與德州無人機測試場合作)共同執行；維吉尼亞州測試場是唯一自 2019 年起連續參與 FAA 三項 UTM 測試計畫之單位。本期計畫重點包括 UTM 在夜間、人群上空等複雜作業類型，以及偏遠/鄉村、郊區及都市等各類環境之測試，以及 UTM 新技術測試及資訊安全議題（圖 30、圖 31）。

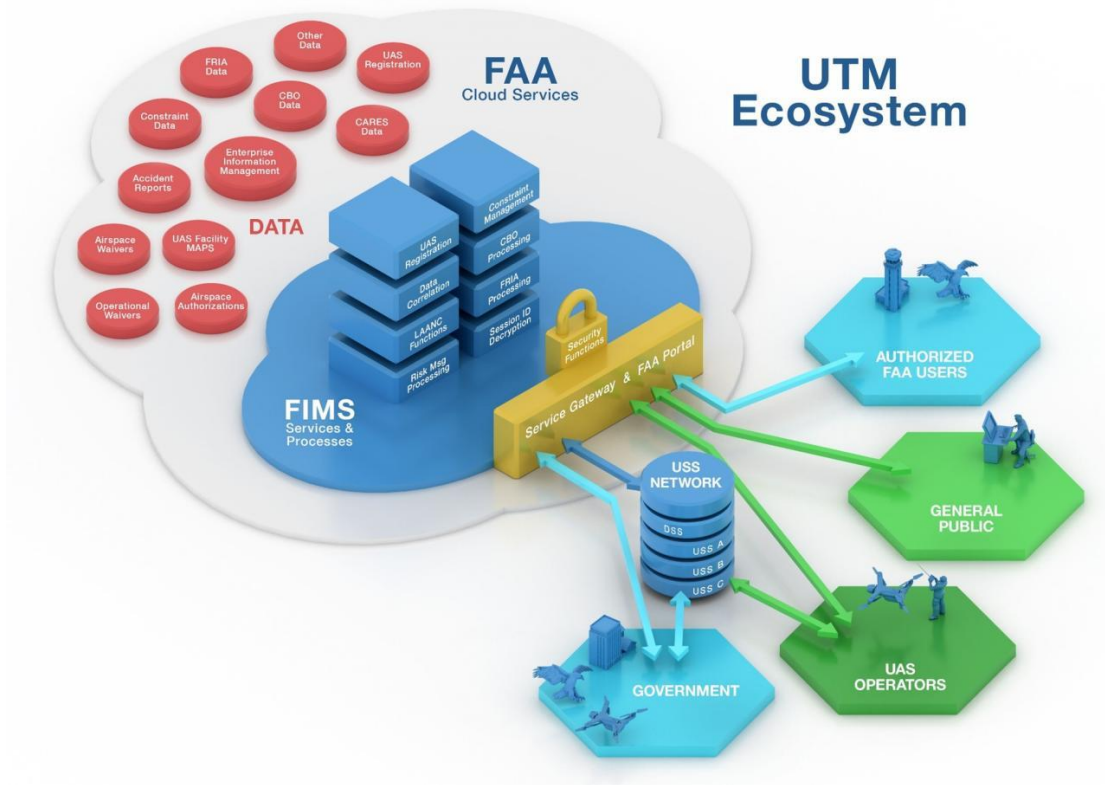


圖 28 UTM 生態系

(資料來源: 聯邦航空總署)

Technical Capability Levels (TCL)



Risk-based development and test approach



圖 29 UTM 技術能力等級

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

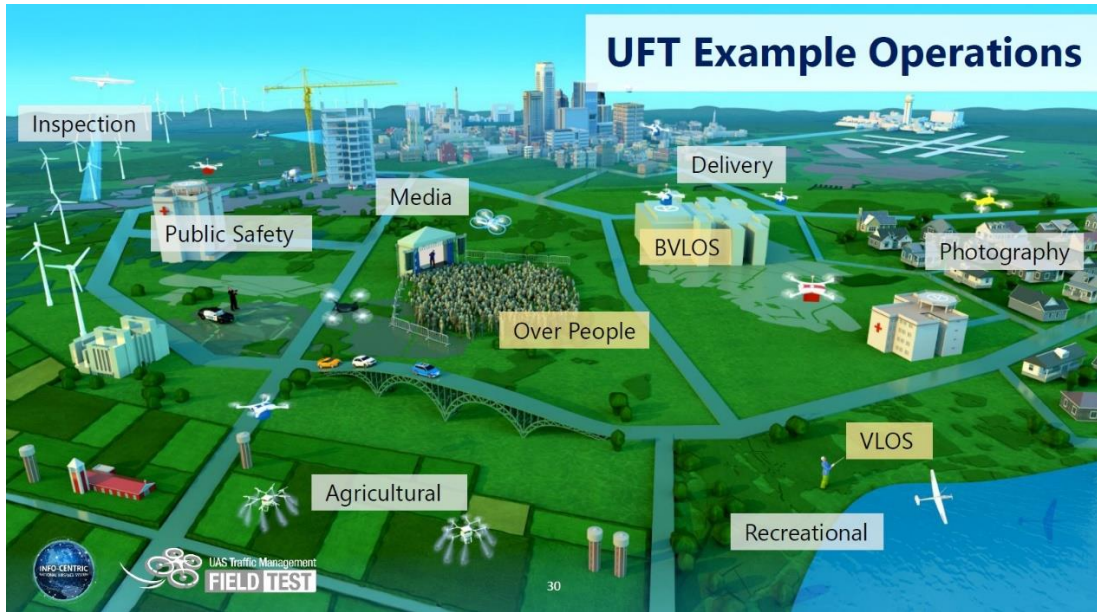


圖 30 UTM 場域測試計畫任務類型
(資料來源: 聯邦航空總署)

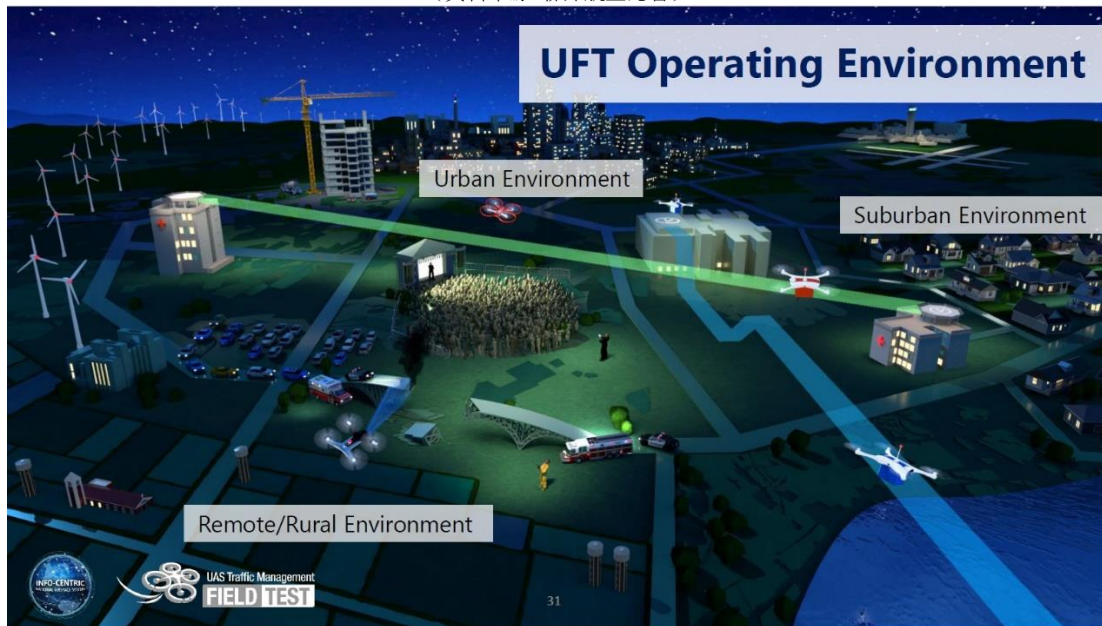


圖 31 UTM 場域測試計畫作業環境
(資料來源: 聯邦航空總署)

B. 感測與避讓

在感測與避讓 (Detect-and-avoid, DAA) 方面，維吉尼亞理工大學 MAAP 中心具有測試各類 DAA 技術之經驗，包括機載設備、地面雷達系統等。此外，該中心亦發展自有 DAA 模擬系統，模擬各類感測技術及避讓情境。

C. 無人機通訊

因應未來 UTM 及視距外作業之通訊需求，測試各類長距離無人機

指揮控制通訊鏈路相關軟硬體，包括長距離無線電、4G/5G 等技術。

D. 人群上空作業

為推動無人機人群上空作業（Operation over People, OOP），維吉尼亞理工大學 MAAP 中心與該校人身傷害生物力學中心（Center for Injury Biomechanics）合作，評估各類重量之無人機，在不同撞擊角度及速度下對人體傷害之風險。此類風險評估數據將可提供主管機關 FAA 相關決策參考（圖 32）。

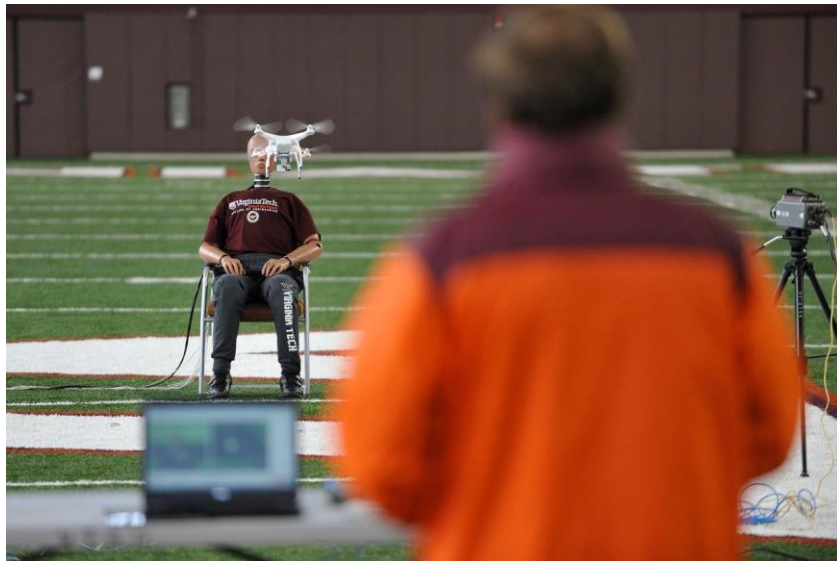


圖 32 無人機對人身傷害測試
（資料來源：維吉尼亞理工大學 MAAP 中心）

(3). 測試驗證（Test and Evaluation）

A. 無人機工程與適航驗證

目前 FAA 已開始受理 55 磅以下小型無人機系統之適航驗證，並於 2022 年核發第一型無人機之型式檢驗許可；MAAP 與產業界合作，自無人機系統之設計、製造、效能評估等階段開始參與，協助業界取得相關認證。

B. 人身傷害風險評估

針對無人機造成人身傷害及移動中車輛損害風險評估，包括無人機類型、事故/失效樣態、碰撞樣態等進行評估，提供無人機於人群或移動車輛上空作業之風險識別與緩解措施參考（圖 33、圖 40）。

Analysis

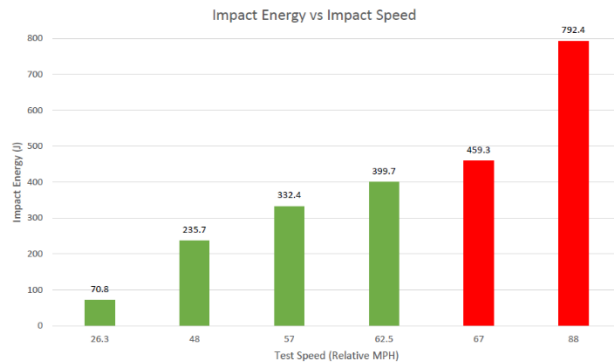


圖 33 無人機對車輛損害測試

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

C. 工業技術標準測試

MAAP 中心與主管機關、產業界及標準制定單位保持密切合作關係，參與相關政策與標準制定，包括 FAA 視距外作業規範諮詢委員會 (BVLOS Advisory and Rulemaking Committees, BVLOS ARC)、美國材料和試驗協會 (ASTM) 等單位。

D. 感測與避讓技術測試與模擬

與 NASA 合作驗證無人機機載雷達用於感測與避讓 (NASA Radar on Autonomous Aircraft to Verify ICAROUS Navigation, RAAVIN) (圖 34)；以及地面雷達避障技術 (NASA Ground Based Detect and Avoid, GBDA) (圖 35)。



圖 34 無人機機載雷達避障測試

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)



圖 35 無人機地面雷達避障測試

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

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。



圖 36 Kentland 無人機試驗場

（資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心）



圖 37 Drone Park 封閉測試場

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

(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。



圖 38 行動作業中心

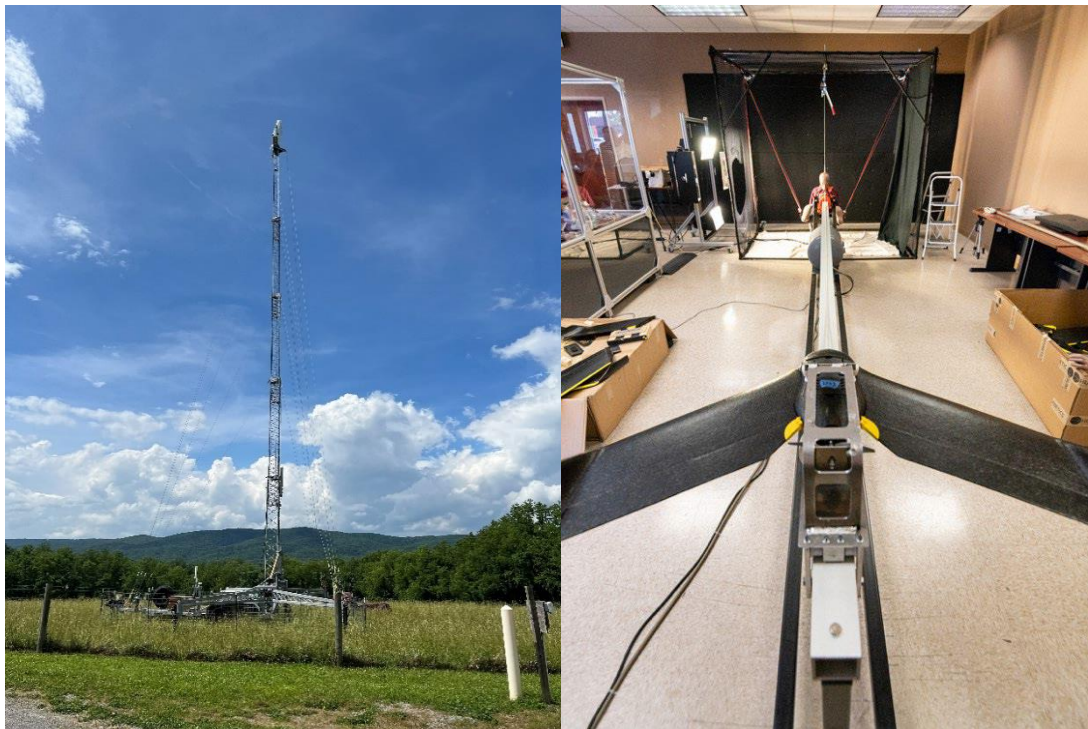


圖 39 地面雷達設施

圖 40 無人機人身傷害實驗室

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 41）。



圖 41 維吉尼亞理工大學 IPP 及 BEYOND 計畫應用類型

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

(1). 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（如圖 42）。



圖 42 Wing 物流作業

(資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心)

(2). 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（如圖 43）。



圖 43 Dominion Energy 設施巡檢作業

（資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心）

(3). 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（如圖 44）。



圖 44 State Farm 災損評估作業

（資料來源: 維吉尼亞理工大學 MAAP 中心）

5. Wing 營運基地

本次獲得 MAAP 中心安排，會同 FAA 人員實地參訪 Wing 營運基地 (Wing Nest)，並與 FAA 交流 IPP 與 BEYOND 計畫經驗。參與人員包括 MAAP 中心執行長 Tombo Jones 先生、副執行長 John Coggin 先生、BEYOND 計畫經理 Christine Tysor 女士、作業組長 Christopher Stewart 先生；FAA 無人機整合辦公室 Lorrie Fussell 女士、Anthony Ports 先生；Wing 公司 Matt Blanks 先生、Koree Dusenbury 先生等人。

Wing 營運場域位於維吉尼亞理工大學校區所在地黑堡南方之克里斯琴斯堡 (Christiansburg)，人口數約 2 萬人，圖 46 為 Wing 當地之服務範圍，約為半徑 5 公里。Wing 選擇此地進行物流服務，而非校區所在地黑堡之原因，主要係避開黑堡當地之地區機場 (維吉尼亞理工-蒙哥馬利郡機場)；其次，黑堡為大學城，有許多集合住宅式學生宿舍，建築型態較不符合 Wing 規劃之獨棟住宅前後院吊掛投遞模式；此外，居民之消費能力與型態也是選址考量因素之一。



圖 45 參訪 Wing Nest 基地

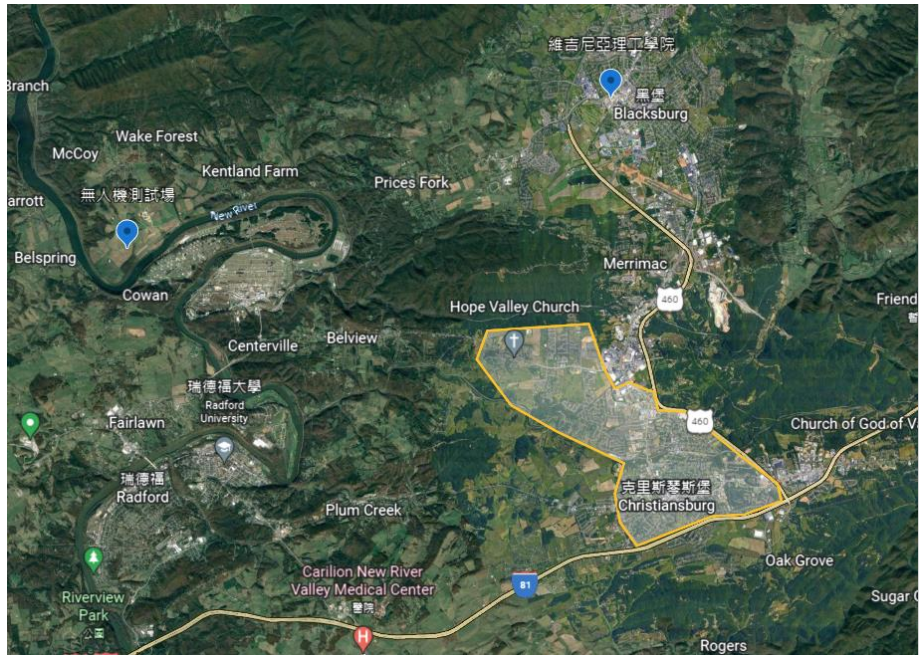


圖 46 Wing 服務範圍

由於 Wing 的營運型態是在人口聚居地區進行常態無人機營運，因此特別考量安全、降低環境衝擊及隱私權保護等議題。在無人機機身材料採用對人體傷害風險較低之發泡塑膠；並透過特別設計之飛行路徑演算法，避免無人機重複飛行相同路徑，分散並降低噪音、視覺等因素對社區之干擾；同時，機上僅配置一具俯視功能之灰階攝影鏡頭，供作降落點辨識之用，無其他攝影裝備，以降低民眾隱私疑慮。Wing 無人機構型採用定翼垂直起降（Fixed Wing VTOL），結合多旋翼機與定翼機設計，兼顧定翼機的飛行效能以及多旋翼機的垂直起降優勢（圖 47、圖 48）。



圖 47 Wing 無人機

(資料來源: Wing)



圖 48 Wing 機身設計

在營運模式方面，Wing 類似一般外送業者，提供隨叫隨到（On-demand）服務，由消費者以手機應用程式下定後，再由 Wing 送貨到府。目前提供訂購的商品係以質輕、單價較低之日常用品、食物為主，大部分商品儲存於 Wing 營運基地之貨倉內，一旦接受訂單，人員可迅速至貨倉內取出貨物，附掛至機身下方之送貨籃，飛行至消費者指定地點後，將貨籃降下，並放置於地面後，消費者再行取貨，全程為自動飛行，且送貨過程飛機不落地，僅降下貨籃，可減低對地面人員之風險。由於 Wing 已獲得 Part 135 營運許可，目前可採多機作業，同時最多可達 20 架無人機提供服務，無人機停機坪具有充電功能，一旦落地即自動充電，無須更換電池，提升營運效率。



圖 49 Wing 營運基地停機坪及貨倉

Wing 自行發展一套無人機飛航管理系統，可即時追蹤飛行中無人機位置及相關資訊，並透過 ADS-B 資訊、目視觀察員，以及與鄰近機場保持即時通訊等方式，掌握服務範圍內其他飛行器作業情形，確保作業安全。Wing 同時也是 FAA LAANC 計畫參與廠商之一，透過 OpenSky 手機應用程式，提供一般無人機使用者利用手機進行空域查詢、活動限制等資訊，並進行活動許可申請，除美國以外，此應用程式於澳洲亦可使用。



圖 50 Wing 飛行路徑規劃

(資料來源: Wing)

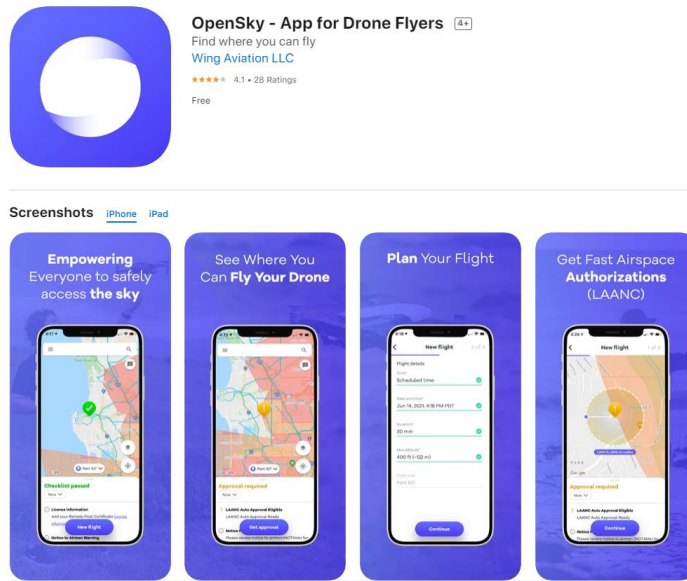


圖 51 OpenSky 應用程式

(資料來源: Wing ; Apple App store)

IPP 及 BEYOND 計畫的重要目標之一，即是蒐集公眾對於無人機創新應用之觀感；Wing 與維吉尼亞理工大學合作，於 2020 年 11 月在克里斯琴斯堡進行問卷調查，為全美第一個在無人機物流實際營運地區進行的問卷調查，調查結果顯示百分之 58 的社區民眾在美國疫情封城過後，對於無人機物流的正面觀感提升、百分之 87 認同無人機物流的服務、百分之 89 的民眾會使用此項服務；此外，百分之 87 的民眾對於無人機物流的正面觀感勝過其他無人機應用項目。



圖 52 Wing 問卷調查結果

(資料來源: 維吉尼亞理工大學)

(二) 北卡羅萊納州運輸部航空組

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，由該州運輸部做為計畫執行單位，本次透過維吉尼亞理工大學及 FAA 無人機整合辦公室引介，赴北卡州進行研究及參訪；拜會北卡州運輸部航空組（North Carolina Department of Transportation, Division of Aviation），並參訪該州無人機物流營運案例。

北卡運輸部航空組辦公室位於該州首府及行政中心羅利（Raleigh）之羅利-德罕國際機場（Raleigh-Durham International Airport, RDU），該機場為北卡州第二大機場，該機場所在地區位於北卡州北部，包括羅利、德罕（Durham）及教堂山（Chapel Hill）等地，擁有杜克大學（Duke University）、北卡州立大學（North Carolina State University）、北卡大學教堂山分校（University of North Carolina, Chapel Hill）等知名大學，當地資訊、生技等產業蓬勃發展，合稱研究三角科學園區（Research Triangle Park），為美國東岸重要產業廊帶之一。

北卡州以悠久之航空傳統為榮，萊特兄弟在 1903 年於北卡州小鷹鎮完成人類首次動力飛行，至今” First in Flight” 標語在該州四處可見；州政府亦鼓勵航空產業發展，因此相當支持無人機創新應用，目標成為無人機領域之先行者。依據北卡州政府 2021 年統計，航空產業在北卡州創造 610 億美元效益，創造超過 37 萬個工作機會、150 億美元個人收入以及 25 億美元稅收。



圖 53 北卡羅萊納州運輸部航空組辦公室 圖 54 拜訪北卡羅萊納州運輸部航空組

北卡運輸部共分為四個部門，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（圖 55）。



圖 55 北卡羅來納州運輸部機隊及棚廠

2. IPP 及 BEYOND 計畫推動經驗

本次拜會北卡州運輸部航空組無人機系統部門，該單位主要負責北卡州無人機管理、研發應用、教育推廣及無人機機隊管理與服務。拜會人員包括北卡運輸部 Riley Beaman 先生、BEYOND 計畫負責人 Basil Yap 先生、Joseph Block 先生等人，分享該州推動無人機應用之經驗。北卡州無人機應用分為州政府運輸部無人機機隊公務應用，以及與 FAA 及民間廠商合作之 IPP 及 BEYOND 計畫兩個部分。

(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，運用無人機飛航管理系統，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、無人機飛航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 56、圖 57）。

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



16

圖 56 無人機支援佛羅倫斯颶風災害應變

(資料來源: 北卡州運輸部)

UAS Mission Workflow/Process

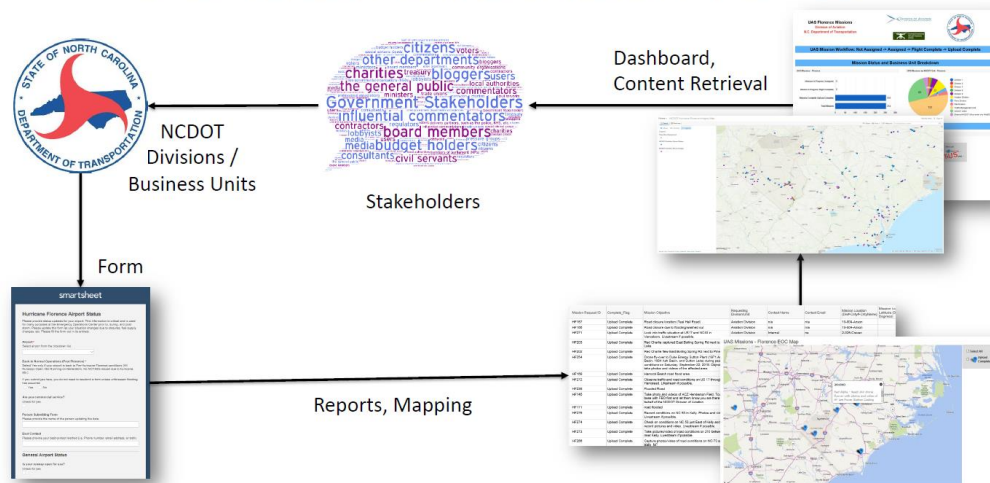


圖 57 無人機支援佛羅倫斯颶風災害應變作業流程

(資料來源: 北卡州運輸部)

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，因此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 Skydio 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。目前無人機不會完全取代人工巡檢方式，係做為傳統巡檢方式之輔助，協助提升橋梁巡檢之效率、精確性及安全性（如圖 59、圖 60）。

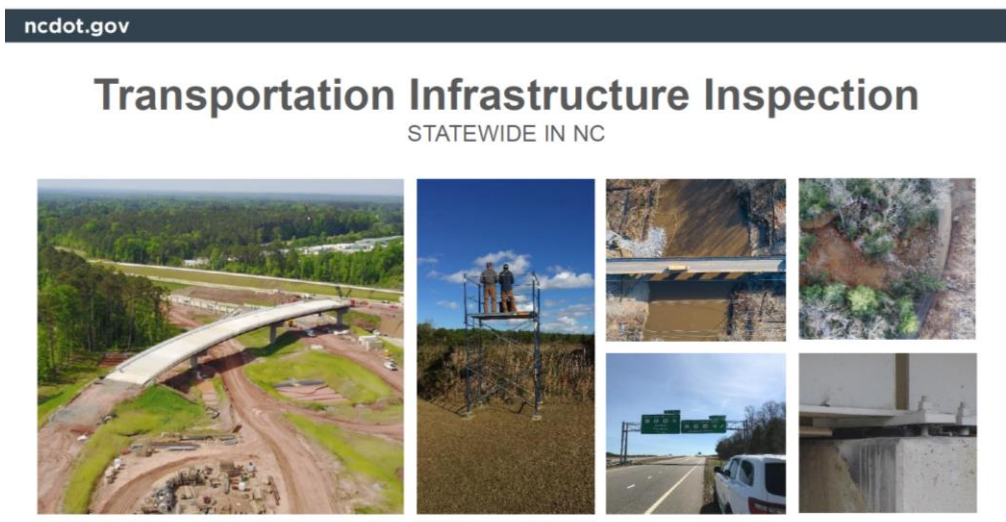


圖 58 北卡州無人機運輸基礎設施巡檢應用
(資料來源: 北卡州運輸部)

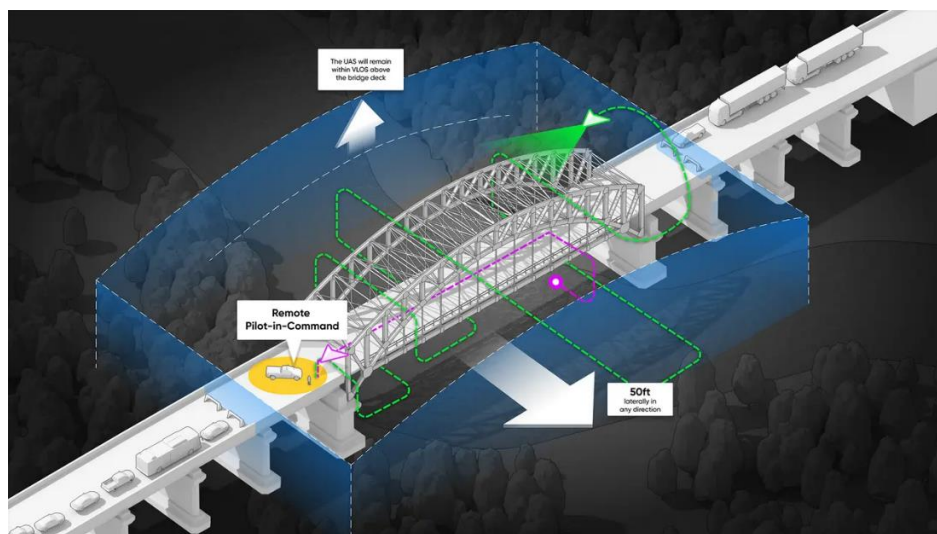


圖 59 無人機視距外橋梁巡檢
(資料來源: 北卡州運輸部；Skydio)



圖 60 無人機視距外橋梁巡檢操作人員示意圖
(資料來源: 北卡州運輸部; Skydio)

(2). IPP 及 BEYOND 計畫

北卡州在 IPP 及 BEYOND 計畫中，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。透過參與北卡州 IPP 及 BEYOND 計畫，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)，可見北卡州在無人機物流領域的成果斐然 (圖 61)。

北卡運輸部於 IPP 計畫及 BEYOND 中著重於法規調和與商業營運發展，目前該州已協助各廠商團隊申請相關法令許可，在營運方面，已申請 Part 107 法規豁免，例如夜間作業、視距外飛行、多機營運等；同時，已提出 8 案 Part 135 營運許可，其中 2 案已獲准；在無人機系統方面，已提出 4 型物流無人機型式檢驗申請，1 案已獲准。目前 UPS 與 Zipline 已取得 Part 135 營運許可，可常態進行視距外、多機營運等進階無人機作業，Flytrex 及 Volansi 則尚在 Part 135 申請階段，目前以 Part 107 法規豁免方式營運，營運限制較多。依據北卡運輸部 2020 年統計，該州 IPP 計畫執行超過 12,000 次飛行任務，其中醫療物流任務佔比超過百分之 94。本次參訪 UPS Flight Forward、Flytrex 及 Zipline 於北卡州之營運基地，說明如後。

LEADING THE WAY
FAA UAS Integration Pilot Program



圖 61 北卡州無人機物流營運案例
(資料來源: 北卡州運輸部)

3. UPS Flight Forward 營運基地

UPS Flight Forward (簡稱 UPS FF) 為 UPS 集團旗下發展創新無人飛行載具物流運送的部門，除了目前營運中的小型無人機物流業務外，目前該公司已與先進空中交通廠商 Beta Technologies 合作開發大型自動化電動飛行載具，可望用於貨運端點機場與地方機場之間；該公司期望透過無人機及電動載具之應用，減少物流運送過程產生之碳排放。

目前 UPS FF 在北卡州共有 2 處營運基地，本次參訪位於 Winston-Salem 的營運基地；UPS FF 與 Wake Forest Baptist Health Medical Center 醫院系統合作，於各醫療設施之間進行醫療用品、檢體及藥品運送，採固定班次、固定起訖點方式營運。目前共有三條路線，距離介於 1.4 公里至 500 公尺之間，飛行高度最高不超過 300 英尺，每日約 16 班來回（如圖 62）。

UPS FF 之起降點位於各大樓之停車場或屋頂空間，與 Wing 採不落地吊掛投遞方式不同，採降落後取貨方式，係考量檢體等醫療用品較為脆弱，且因起降點固定，可在地面進行適當隔離措施，保障地面人員安全。UPS FF 採用之無人機為美國廠商 Matternet，其 M2 機型已取得 FAA 頒發之全美第一個型式認證許可，依據 FAA 公告，該機型採 4 軸多旋翼設計，最大起飛重量約 14 公斤，可酬載約 4.4 公斤，飛行 20 公里（如圖 63）。



圖 62 UPS Flight Forward 北卡營運基地



圖 63 UPS Flight Forward 無人機

(資料來源: 北卡州運輸部；UPS Flight Forward)

4. Flytrex 營運案例

Flytrex 為以色列無人機廠商，提供無人機軟硬體系統，操作及營運商為美國當地廠商 Causey Aviation，目前亦由該公司提出 Part 135 營運許可申請。目前 Flytrex 在北卡州共有 4 處營運基地，此外，在德州亦有營運基地，本次參訪位於 Holly Springs 之營運基地。

Flytrex 目前係依循 Part 107 法規體系營運，因此營運限制相較於 Wing、UPS FF、Zipline 等已取得 Part 135 之廠商較多，包括服務範圍僅限目視

距離內、單機運作、須配置目視觀察員等。位於 Holly Springs 之營運基地，服務半徑原為 1 英里，於 2022 年或 FAA 許可擴大為 2 英里，依據該公司資料，以 Holly Springs 為例，1 英里範圍內可服務約 2,400 戶家庭、2 英里可服務約 1 萬戶家庭（圖 64）。Flytrex 主要運送品項提供類似 Wing 的隨叫隨到服務，運送餐飲、雜貨及日用品；與 Wing 差異之處為，Flytrex 將營運基地設置於購物中心內，本身未儲存貨品，接獲訂單後由專人至店家取貨後再行遞送(圖 65)；且 Flytrex 可於公共開放空間投遞。

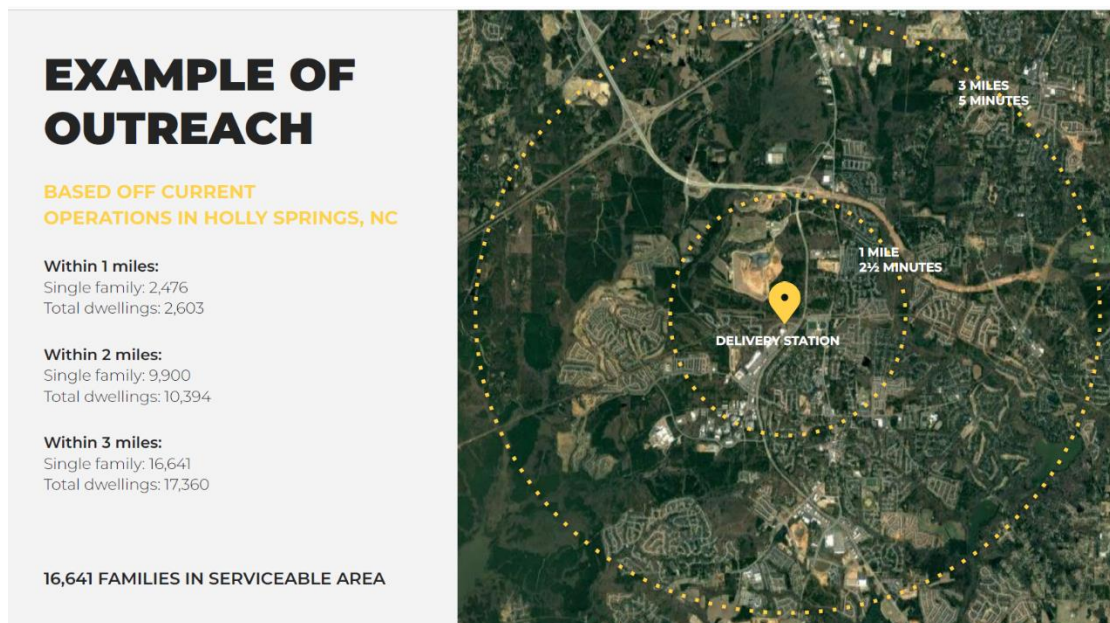


圖 64 Flytrex 營運範圍
(資料來源: Flytrex)



圖 65 Flytrex 營運基地
(資料來源: Flytrex)

在無人機設計方面，Flytrex 無人機採用多旋翼 6 軸設計，投遞方式類似 Wing 採不降落吊掛方式，工作人員於地面將貨品放入特殊設計之貨倉，無人機飛行至目的後，貨倉下方艙門打開降下購物袋（圖 66、圖 67）。Flytrex 十分重視社區溝通，在營運基地周邊設置有民眾觀賞區，並且透過發送傳單、說明會等方式，向地方民眾說明並推廣無人機物流服務，實際觀察社區居民對於 Flytrex 之服務抱持正面態度（圖 68）。



圖 66 Flytrex 無人機吊掛作業
(資料來源: Flytrex)



圖 67 Flytrex 無人機裝卸作業

圖 68 Flytrex 宣傳廣告

5. Zipline 營運案例

(1). 北卡州營運基地

Zipline 為國際無人機物流先驅業者之一，自 2016 年起在非洲盧安達開始運用無人機運送醫療用品至偏遠地區，近年來服務範圍陸續擴張至非洲各國、日本及美國，目前在美國共有北卡州、阿肯色州及猶他州三處營運基地，目前該公司已取得 FAA Part 135 營運許可，為美國第三家取得許可之業者（圖 69）。

Zipline 於北卡州之營運基地位於 Kannapolis，當地人口約 5 萬人，由於 Zipline 已取得 Part 135 許可，服務範圍可達 50 英里，涵蓋鄰近之北卡第一大都會區夏洛特。Zipline 於北卡提供之服務模式為醫藥用品運送，與 Novant Health, Cardinal Health, and MagellanRx Health 等醫療系統合作，運送醫療用品及藥品至民眾家中(圖 70)。

Zipline 之服務模式包含倉儲及運送，因此營運基地內均有設有物流倉儲中心，由於該公司長期在非洲等偏遠地區進行醫藥物流運送，因此具有豐富之冷鏈物流經驗，基地內設有低溫冷藏櫃、投送包裝也經過特殊設計，具有保冷功能。

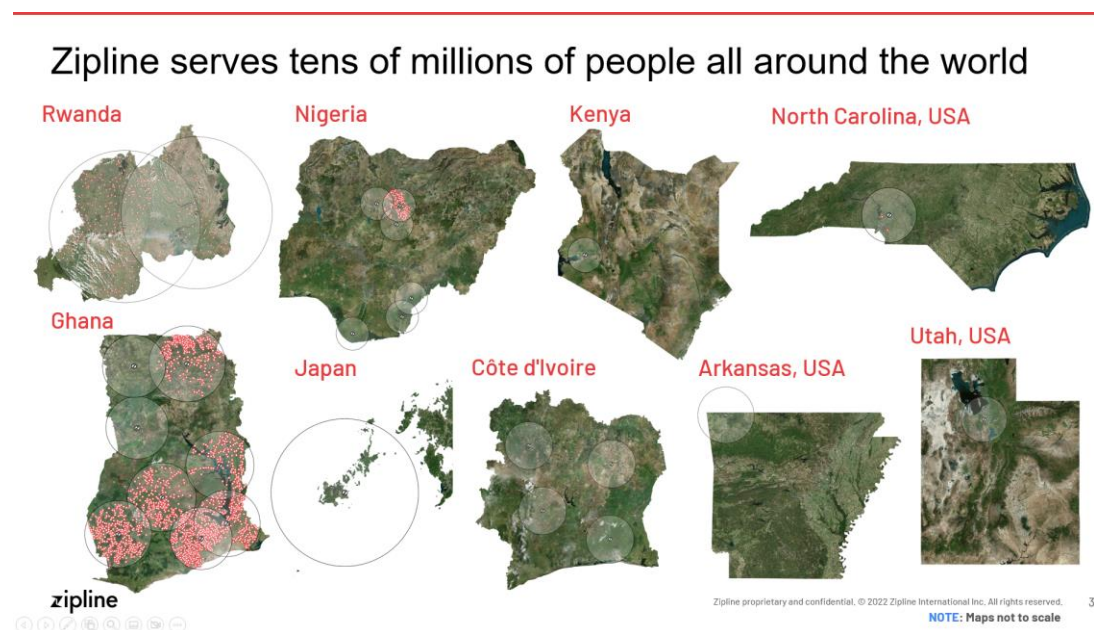


圖 69 Zipline 全球營運範圍

(資料來源: Zipline)

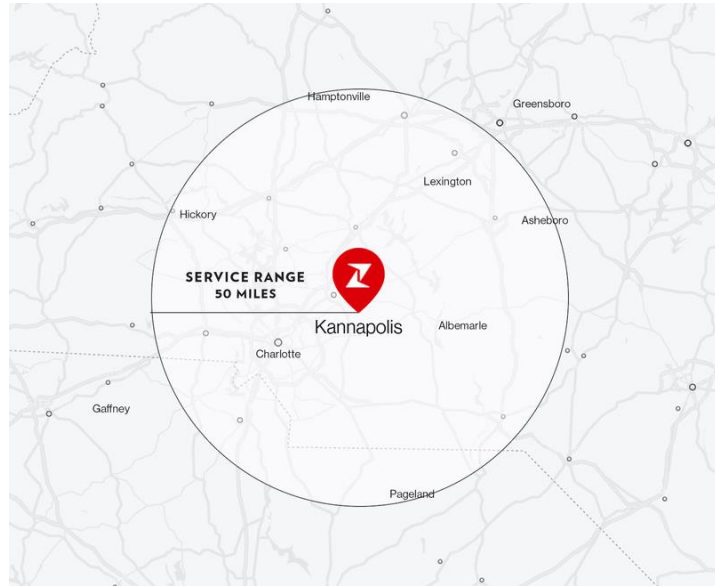
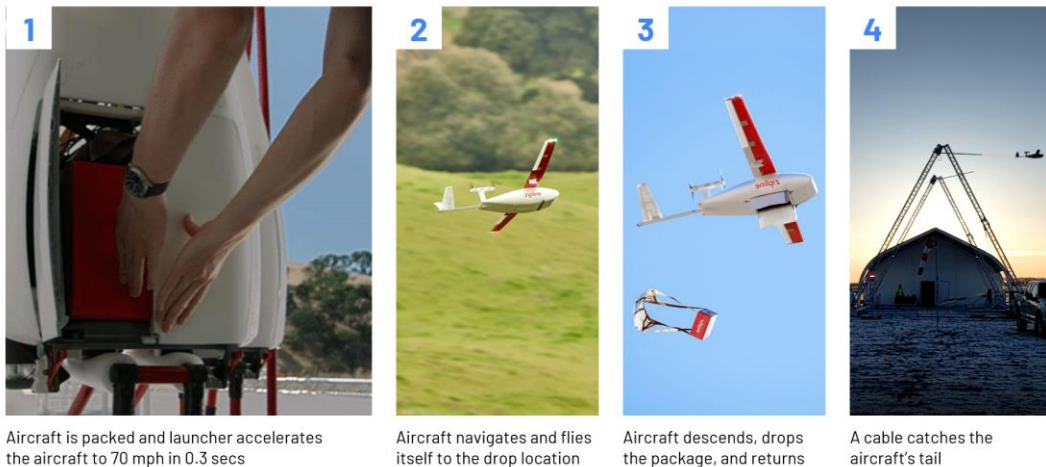


圖 70 Zipline 北卡服務範圍

(資料來源: Zipline)

Zipline 之無人機採用定翼機設計，採用彈射起飛、捕捉勾降落，貨品為空投降落（圖 71）。定翼機具有構造簡單、續航力長之優勢，十分適合非洲市場等偏鄉地區長距離飛行、人口密度較低之特性；至於因應在美國等人口密集地區營運作業，Zipline 公司人員說明其空投投遞精準度已可達 2 個停車格的範圍內，並且持續因應不同作業環境精進機型設計與相關科技。

How it works



zipline

Zipline proprietary and confidential. © 2022 Zipline International Inc. All rights reserved. 5

圖 71 Zipline 作業流程

(資料來源: Zipline)



圖 72 參訪 Zipline 北卡營運基地



圖 73 Zipline 起飛裝置

(2). Zipline 總公司

本次獲邀拜訪 Zipline 位於舊金山之總公司及工廠設施。Zipline 於舊金山總公司員工約百人，其中包括管理單位、研發及生產製造單位。Zipline 所使用之無人機、相關硬體系統及部分基礎設施均於此地生產製造後，運送至全球營運據點。該公司已發展一套完整的無人機物流解決方案，涵蓋消費者介面、倉儲管理、物流管理、飛航作業流程、無人機系統、無人機飛航管理與後勤維護管理等層面（圖 74）。此外，由於 Zipline 營運基地遍布全球，該公司已建立零組件物流及技術支援之作業流程，可即時滿足全球營運基地後勤需求。

Zipline 代表說明該公司目前商業模式可分為以下三類：

- A. 接受政府委託執行業務：Zipline 接受政府委託，由該公司負責營運管理，目前非洲地區係以此模式執行。
- B. 與民間企業合作執行業務：Zipline 與民間企業合作委託，民間企業提供商場，該公司負責運送服務，目前美國市場係以此模式執行。
- C. 解決方案輸出：Zipline 負責軟硬體，包含無人機、基礎設施，以及作業流程與教育訓練，由民間企業負責實際營運，Zipline 負責後勤支援，目前日本市場係以此模式執行。

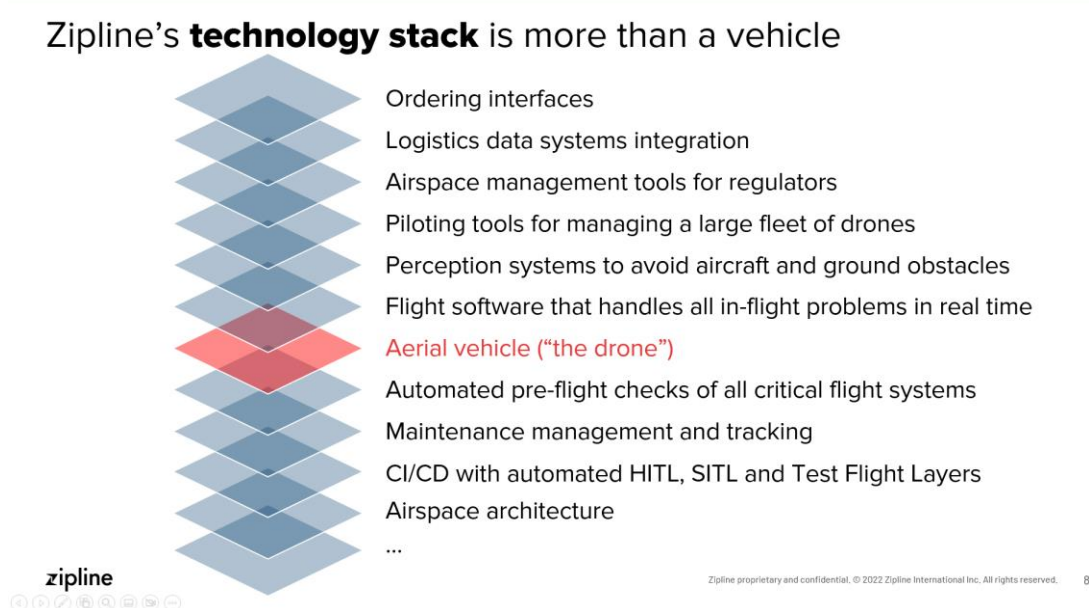


圖 74 Zipline 無人機物流解決方案



圖 75 Zipline 總公司

(三) 普渡大學航空太空工程學院

普渡大學（Purdue University）位於印地安納州 West Lafayette，為美國知名大學之一，尤以理工科系見長，其中航空太空領域更在全美名列前茅。本次主要拜會普渡大學航空太空工程學院（School of Aeronautics and Astronautics）航空系統整合中心（Center for Integrated Systems in Aerospace）主持人 Daniel DeLaurentis 教授；並由來自臺灣，畢業於該中心之趙洵博士接待。普渡大學在航空領域研究資源豐富，除航空太空工程學院以外，另有航空與運輸科技學院（School of Aviation and Transportation Technology），著重於培育航空實務人才，包括航空飛行員訓練、機場管理與民航營運等領域，並擁有普渡大學機場（Purdue University Airport），提供學生飛行訓練。普渡大學航空太空工程學院並於機場內設有無人機研究測試中心（Purdue UAS Research and Test Facility）。

本次參訪普渡大學航空太空工程學院，交流該校無人機研究發展現況，並與該學院教授及博士生分享我國無人機產業現況。並參訪無人機研究測試中心，了解該校測試驗證能量。



圖 76 與普渡大學航太學院師生交流

航空系統整合中心主要研究方向為應用系統工程方法，如數學建模、物件導向程序等於航空太空工程領域，近年研究重點關注於先進空中交通領域，並獲得 NASA 相關獎助研究。Secure and Safe Assured Autonomy 研究計畫，係以數位雙生（Digital Twin）概況取代傳統紙本作業方式，目前使城市空中交通相關軟硬體、機隊營運管理之設計與驗證工作，更具效率及彈性。Operations Limits for Advanced Air Mobility Missions 研究計畫則探討人口社經資料、旅運模式、起降場站、天氣及價格等因素，如何影響先進空中運輸之市場規模及評估減碳效益(圖 78、圖 79)。

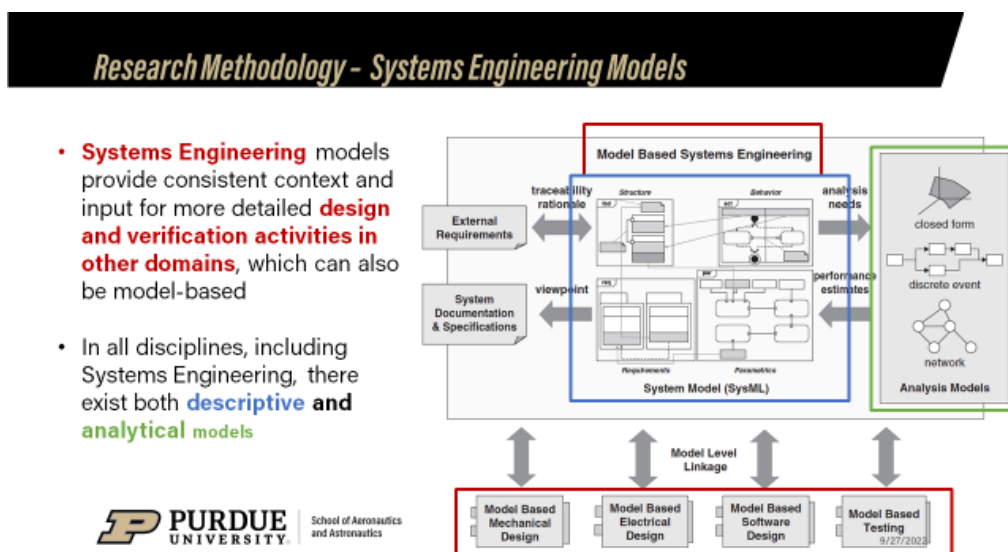


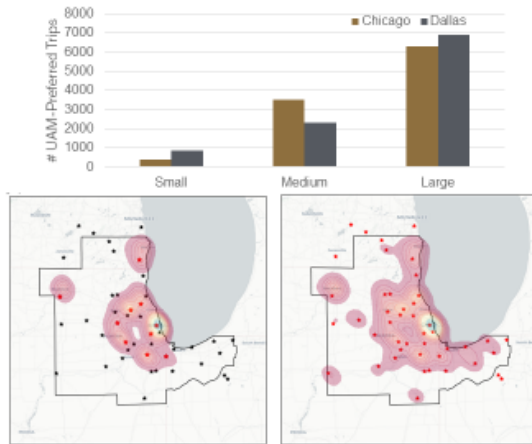
圖 77 Secure and Safe Assured Autonomy 計畫

(資料來源: 普渡大學趙洵博士)

AAM Vertiport Location Impacts

Key Observations

- #Trips increase with the number of vertiports; seems to follow a non-linear relationship
- Vertiport siting plays a significant role
- Trips concentrated around the vertiport locations, as seen earlier
- Observed a large number of trips concentrated at some of the vertiports, even with high-cost launch scenario



PURDUE UNIVERSITY School of Aeronautics and Astronautics

9/27/2022 | 10

圖 78 Operations Limits for Advanced Air Mobility Missions 計畫

(資料來源: 普渡大學趙洵博士)

普渡大學無人機研究測試中心位於普渡大學機場內，擁有一處棚廠設施，該中心普渡大學航空太空工程學院營運，除支援教學研究工作外，亦與其他學術或產業界合作研究計畫。該中心棚廠面積達 2 萬平方英尺，高度 30 英尺；擁有全美最大室內動作捕捉設備，可打造混合實境（Mixed-Reality）環境並可模擬 GPS、超音波、ADS-B 及 LiDAR 等感測技術。該中心目前參與航空太空學院研究計畫，並參與各項無人機研發競賽或計畫，應用項目包括運用無人機於山區人員搜尋任務、無人機倒塌建築物搜尋救援任務以及無人機資訊安全等任務。



圖 79 普渡大學無人機研究測試中心

Facility Capabilities

Research

- **WORLD'S LARGEST** indoor motion capture facility, 20,000 sq ft. 30 ft ceiling
 - Support for large and fast moving vehicles such as fixed-wing aircraft
 - Recreation of large environments
- Motion capture tracks rigid bodies with active or passive markers and enables:
 - **Mixed-reality** environments
 - **Sensor-emulation:** GPS, ultra-sonic, ADS-B, LIDAR, ToF, camera, etc.
 - **Real-time** feedback of position for **closed-loop control**
 - **Ground truth:** Provides mm accurate position and 0.1 deg attitude for typical UAS



3

圖 80 普渡大學無人機測試場設備

(資料來源: 普渡大學 Dr. James Goppert, 博士)

Collapsed Building Search and Rescue

Concept of Operations (CONOPS)

- AFRL collaboration with SWE Team Tech
- Firefighters or other rescue personnel deploy drone.
- The drone is piloted through an entrance to the building.
- Rtabmap starts mapping the environment with relative locations of heat sources.
- The drone returns to the rescue team and the map is used to expedite rescue attempts.
- FLIR thermal camera
- 3D Depth camera
- SLAM, ROS, Intel UP Board



Person, & Marco Bello, R. M. (2021, June 25). Nearly 100 people missing as oceanfront Miami Area Building collapses. Reuters. Retrieved March 10, 2022, from <https://www.reuters.com/world/us/huge-emergency-operation-under-way-after-building-collapse-miami-2021-06-24/>

8

圖 81 運用無人機於倒塌建築物搜尋救援任務

(資料來源: 普渡大學 Dr. James Goppert, 博士)

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)，RAM 可涵蓋郊區及城際運輸，NASA 提出美國目前有超過 5,000 個低度利用機場，由於傳統航空服務發展在此類地區不具經濟效益，發展 RAM 可做為提升美國郊區低度利用機場之契機。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，美國三大航空公司中，聯合航空與達美航空均已投資 AAM，目標機場接駁市場；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。NASA 已成立 AAM 生態系工作小組 (AAM Ecosystem Working Groups (AEWG))，並且發表 UAM 作業概念 (UAM Concept of Operations)，持續與主管機關及產業界共同發展 AAM 相關技術及標準 (圖 82、圖 83)。

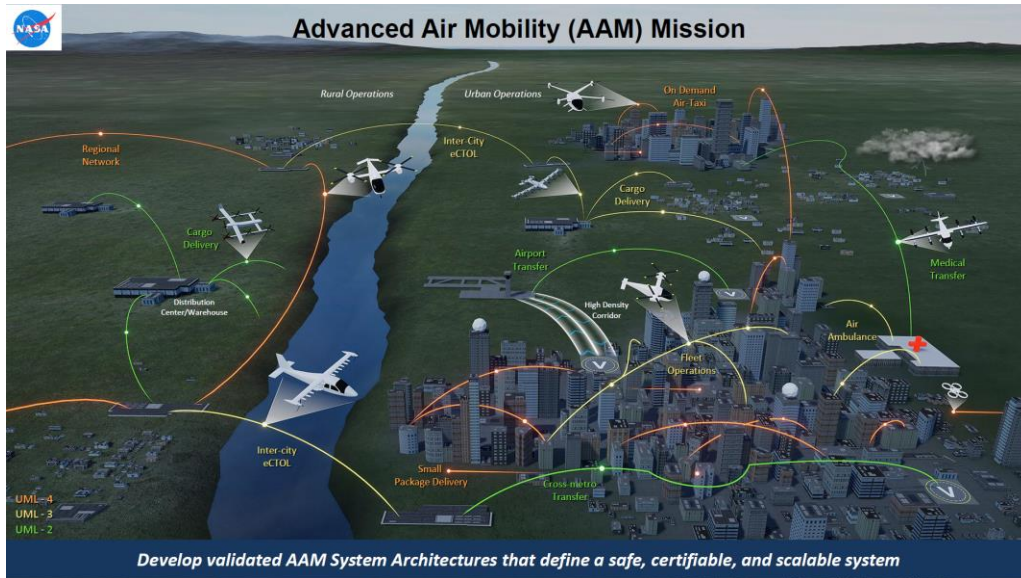


圖 82 AAM 作業環境及任務類型
(資料來源: NASA)

Advanced Air Mobility Missions are Emerging

The figure shows four mission types with corresponding images and a NASA logo:

- CARGO TRANSPORT:** An image of a cargo plane at a "LOADING BAY 2".
- PUBLIC GOOD:** An image of a plane landing on a rooftop helipad.
- CONSUMER/ENTERPRISE GOODS AND SERVICES:** An image of a drone carrying a package over a city.
- PASSENGER TRANSPORT:** An image of a passenger eVTOL aircraft on a ground pad.

www.nasa.gov | 2 Latest studies show an annual estimated advanced air mobility market of \$115B by 2035.

圖 83 AAM 四大任務類型
(資料來源: John Cavolowsky, NASA)

(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 84）。工程顧問公司 WSP 依據面積規模、作業密度及附屬設施將 AAM 起降場站進行分類，最基礎的場站僅有起降功能，進階的場站將有旅客服務及相關後勤設施，亦可附屬於現有機場，共用相關設施（圖 85）。

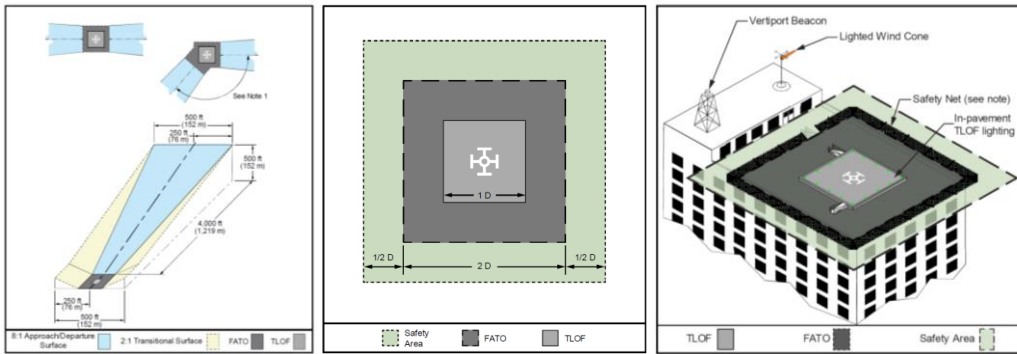


圖 84 FAA Vertiport 工程概要
(資料來源: 聯邦航空總署)



圖 85 WSP AAM 基礎設施分類
(資料來源: Gaël Le Bris, WSP Global)

(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 86）。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 87）。



圖 86 AAM 生態系
(資料來源: Antony Evans, Acubed)



圖 87 AAM 多元運具服務模式
(資料來源: Adrienne Lindgren, Supernal)

參、心得與建議

一、心得

- (一) 美國推動無人機創新應用，係透過聯邦與各級地方政府合作，整合主管機關聯邦航空總署、研究單位美國航空太空總署，以及大學等學術研究單位，並引進民間充沛之創新創業能量與資源，以及透過場域實證測試，累積營運經驗與安全數據，值得我國參考借鏡與學習。
- (二) 無人機在交通領域極具應用潛力，故交通部兼具主管機關與應用需求單位之角色。運輸研究所自 108 年起，會同民用航空局及相關部屬機關（構），分別針對我國無人機產業之發展策略研擬、人才培育及場域驗證測試等面向推動相關計畫。111 年起並與經濟部技術處、國內研究法人單位合作，持續推動無人機在物流運送、橋梁檢測等應用領域之測試驗證，在公益、安全與可靠之前提下，引導前述兩項應用之標準化、常態化及規模化，後續有待相關單位合作與協助，以達成我國無人機在交通領域之 2025 年里程碑。
- (三) 無人機產業尚處於新興產業之成長茁壯期，先進國家均持續探索無人機創新應用之可能性，並推動技術研發及人才培育工作；國際間相關技術標準亦在發展階段；故無人機、先進空中交通等領域，可做為我國產業界在傳統航太領域以外之發展契機，我國在資通訊軟硬體方面具有國際競爭實力，建議持續關注國際發展趨勢，並銜接國際標準，加強與國外產業界合作，接軌國際市場。
- (四) 我國民情雖與美國有所差異，惟仍有重視私有財產權、隱私權等共通價值觀。美國無人機相關計畫非常重視與民眾、社區、利害關係人與意見領袖之溝通；無人機如同人工智慧、自駕車等新興科技，如何於初期取得民眾信任，對於相關技術研究發展與成果推廣至關重要。未來我國推動類似美國 IPP 計畫之大規模、長期及常態性，且於人口密集地區進行之無人機測試計畫時，應重視與民眾溝通宣導等工作，以利計畫順利推動。

二、 建議

(一) 無人機在交通領域之創新應用

美國推動 IPP 及 BEYOND 計畫之特色在於兼顧產業需求以及公共利益，故建議我國應持續推動無人機在交通領域之應用，並聚焦於具有公益性及市場性之物流運送及橋梁檢測兩項應用，持續測試相關技術、發展作業程序及規範，並因應地方及公益需求，擇定適當場域做為驗證平台；透過長期、常態性測試驗證，蒐集相關數據，做為主管機關調適管理規則之參據，並且提供民間業者與相關公務單位，建構適合我國需求之無人機商業營運與服務模式。

(二) 銜接國際無人機發展趨勢

國際無人機發展快速，目前美國及鄰近日韓等國已朝向先進空中交通、大型載具及無人機飛航管理等方向發展。建議我國應依據國際發展趨勢及國內無人機應用需求，借鏡美國透過 IPP 及 BEYOND 計畫累積安全數據與營運經驗做為法令調適參據之經驗，持續調適無人機作業、適航檢驗、人員培訓等管理規範及方式，以因應未來新型態空中交通模式與產業發展之需求。

(三) 促進跨域合作無人機研究發展

借鏡美國產官學研單位，跨域合作推動無人機創新應用之經驗；建議應整合國內公部門，包括交通部、經濟部、國科會、研究法人及大專院校資源，串連地方政府，如嘉義縣亞洲無人機 AI 創新應用研發中心之研發測試能量，整合國內無人機產業界，以聚焦無人機關鍵應用，確立我國無人機產業定位；並爭取與美國等先進國家合作，參與標準制定及合作技術研發，以接軌國際市場。

誌謝

本次出國專題研究感謝交通部長官、運輸研究所林繼國所長、運輸資訊組吳東凌組長支持，以及組內同事於出國期間分擔業務。此外感謝交通部民用航空局陳玉成技正、駐美代表處科技組楊琇雅組長、駐舊金山辦事處科技組王治平秘書、維吉尼亞理工學院暨州立大學呂昌田教授；以及美國聯邦航空總署無人機整合辦公室、維吉尼亞理工學院暨州立大學 Mid-Atlantic Aviation Partnership 研究中心、普渡大學航空太空工程學院 Daniel DeLaurentis 教授、趙洵博士等國內外先進之指導與協助。

參考資料

- 一、 “UTM Transition Team Plan” ， Federal Aviation Administration ， 2017
- 二、 “FAA Unmanned Aircraft Systems Integration Pilot Program Final Report” ，
Federal Aviation Administration ， 2020
- 三、 “Perspectives on drone delivery” ， Virginia Tech ， 2020
- 四、 “NASA Advanced Air Mobility (AAM) Mission” ， Davis Hackenberg ， NASA ， 2020
- 五、 “UPP Phase 2 Final Report” ， Federal Aviation Administration ， 2021
- 六、 “From IPP to BEYOND” 簡報 ， Federal Aviation Administration ， 2021
- 七、 “State of Aviation” ， North Carolina Department of Transportation ， 2021
- 八、 “FAA Test Site Program” 簡報 ， Federal Aviation Administration ， 2022
- 九、 “UFT Industry Day” 簡報 ， Federal Aviation Administration ， 2022
- 十、 簡報資料 ， Mid-Atlantic Aviation Partnership Virginia Tech ， 2022
- 十一、 簡報資料 ， North Carolina Department of Transportation, Division of Aviation ， 2022
- 十二、 簡報資料 ， Flytrex ， 2022
- 十三、 簡報資料 ， Zipline ， 2022
- 十四、 簡報資料 ， Dr. James Goppert ， Purdue University ， 2022
- 十五、 簡報資料 ， Dr. Hsun Chao ， Purdue University ， 2022
- 十六、 “Engineering Brief No. 105, Vertiport Design” ， Federal Aviation Administration ， 2022
- 十七、 Keynote speech, John Cavolowsky, NASA, Future of Aviation Conference, 2022
- 十八、 “Stakeholder & Community Engagement” ， Gaël Le Bris, WSP, Future of Aviation
Conference, 2022
- 十九、 “Safe and Equitable Airspace and Flight Operations for AAM” ， Antony Evans,
Acubed , Future of Aviation Conference, 2022
- 二十、 ” Integrating AAM into a Multimodal System” ， Adrienne Lindgren, Supernal, Future
of Aviation Conference, 2022