

本報告僅供委員參考

無人機於交通運輸領域應用發展之初探

法制局 楊盛旺 撰

中華民國 114 年 6 月

無人機於交通運輸領域應用發展之初探

目 次

摘要

壹、 前言.....	1
貳、 無人機概述.....	1
一、無人機定義.....	1
二、無人機規定.....	3
三、無人機產業應用發展.....	5
參、 無人機應用服務模式、系統概述及發展趨勢.....	7
一、服務模式.....	7
二、系統概述.....	9
三、發展趨勢.....	13
肆、 國外無人機法制及監管策略發展簡介.....	15
一、美國.....	15
二、歐盟.....	17
三、日本.....	18
伍、 問題研析與建議.....	19
一、橋梁檢測.....	19
(一) 技術需求發展建議方向.....	19
(二) 導入場域建議方向.....	21
(三) 相關規範檢討建議方向.....	21
二、物流運送.....	23
(一) 技術需求發展建議方向.....	23
(二) 導入場域建議方向.....	24

(三) 相關規範檢討建議方向.....	25
陸、 結論.....	28
參考文獻.....	30
附錄：「無人機於交通運輸領域應用發展之初探」專題研究報告（初稿）書面審查及參採情形	32

摘 要

隨著電子及資通訊科技的進步，發展無人機應用服務已成為國際趨勢，其高機動性、高彈性部署特性，能夠有效提升運輸系統之易行性、可及性及安全性，並可協助傳統運輸事業及物流業進行數位轉型，提供創新之服務模式。交通部民國110年11月17日「2021交通科技產業政策白皮書」公布我國無人機在交通運輸領域應用發展之114年里程碑，無人機之應用發展將著重於（一）擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業（橋梁檢測）及（二）建立偏鄉及離島無人機物資運補機制（物流運送）兩大主軸。爰此，本報告將針對前開無人機於交通運輸領域應用發展之課題進行初步探討，瞭解國內外無人機發展概況並參酌其他國家之作法，提出我國無人機應用於橋梁檢測與物送運送等主軸之相關建議方向，俾供本院委員問政之參考。

無人機於交通運輸領域應用發展之初探

壹、前言

隨著電子及資通訊科技的進步，發展無人機應用服務已成為國際趨勢，其高機動性、高彈性部署特性，能夠有效提升運輸系統之易行性、可及性及安全性，並可協助傳統運輸事業及物流業進行數位轉型，提供創新之服務模式。此外，無人機之研究發展，已經不再侷限於娛樂產業之格局，由於技術能力之突破，未來無人機不僅可能成為交通運輸之重要載具，其在交通領域之多元應用發展更將突破目前的規模，進而帶來龐大之運輸價值與商機¹。

按交通部民國(下同)²110年11月17日「2021交通科技產業政策白皮書」公布我國無人機在交通運輸領域應用發展之114年里程碑，無人機之應用發展將著重於（一）建立偏鄉及離島無人機物資運補機制（物流運送）及（二）擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業（橋梁檢測）兩大主軸³。爰此，本報告將針對前開無人機於交通運輸領域應用發展之課題進行初步探討，瞭解國內外無人機發展概況並參酌其他國家之作法，提出我國無人機於前開交通運輸領域應用發展之相關建議方向。

貳、無人機概述

一、無人機定義

民用航空法(下稱本法)第2條第26款定義遙控無人機：「指自遙控設備以信號鏈路進行飛航控制或以自動駕駛操作或其他經民航局公

¹ 交通部，2021 交通科技產業政策白皮書，110 年 11 月，頁 93。

² 本報告有關年分之使用，原則以民國紀年表述，惟涉及外國法制或立法例部分，改採西元紀年表述。

³ 交通部，同註 1，頁 108。

告之無人航空器」；又遙控無人機管理規則（下稱管理規則）第2條第1款定義遙控設備：「指遙控無人機系統中，用於操作遙控無人機之設備」、第2款定義通訊及控制信號鏈路：「指遙控無人機及遙控設備間為操作飛行管理目的之資料鏈接」、第3條規定：「遙控無人機依其構造分類如下：一、無人飛機。二、無人直昇機。三、無人多旋翼機。四、其他經交通部民用航空局（下稱民航局）公告者。」。

另根據國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)於2011年3月發布第328號文件，定義無人機系統(Unmanned Aircraft System, UAS)：「飛機及其相關部分在沒有飛行員於飛機上操作情況下運行」(Unmanned aircraft system: An aircraft and its associated elements which are operated with no pilot on board)⁴。

為提供無人機監管架構，ICAO於2015年間發布第10019號文件，該文件旨在建立無人機操作標準規範，以支持其飛航服務程序(Procedures for Air Navigation Services, PANS)，最重要的是將無人機引入非隔離空域(Non-Segregated Airspace)，並降低有人機(Manned Aircraft)在機場之安全風險；該文件定義遙控無人機系統(Remotely Piloted Aircraft System, RPAS)：「遙控飛機及其相關之遙控站，包含需要之指揮控制鏈路和其它組件」(Remotely piloted aircraft system: A remotely piloted aircraft, its associated remote pilot station(s), the required command and control links and any other components as specified in the type design)⁵。

⁴ 邵珮琪、林清一、吳東凌，〈無人機於交通運輸領域應用與政策推動之探討〉，《運輸計劃季刊》，第49卷第3期，109年9月，頁203。

⁵ 邵珮琪、林清一、吳東凌，同前註。

二、無人機規定

(一) 民用航空法相關規定

因應國內遙控無人機活動漸增，為明確其管理方式，交通部借鑒美國、歐盟、日本等國家立法經驗與國際民航組織規範，考量國內環境與利害關係人意見後，融合公共安全、社會秩序、飛航安全並兼顧產業發展，於本法增訂遙控無人機專章及相關處罰規定。前開本法修正草案107年4月3日業經立法院三讀通過、同年4月25日經總統公布。嗣經行政院108年6月10日核定本法修正草案(第9章之2遙控無人機專章，第99條之9至第99條之19；遙控無人機相關罰則，第118條之1至第118條之3)，自109年3月31日施行⁶。

本法第9章之2遙控無人機專章就有關無人機註冊/檢驗、飛航活動區域範圍、操作人管理、操作限制、賠償責任/罰則等訂定相關規定，例如操作遙控無人機飛航活動之限制，本法第99條之14第1項規定：「從事遙控無人機飛航活動應遵守下列規定：一、遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面400呎。二、不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。三、不得裝載依第43條第3項公告之危險物品。四、依第99條之17所定規則之操作限制。五、不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。六、不得於日落後至日出前之時間飛航。七、在目視範圍內操作，不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。八、操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。九、操作人應隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況。十、應防止遙控無人機與其他航空器、建築物或障礙物接近或碰撞。」；另例如本法第118條之1規定：「遙控無人機之所有人或操作人有下列情事之一者，由民

⁶ 交通部民用航空局網站，無人機專區，網址：

<https://www.caa.gov.tw/article.aspx?a=188&lang=1>，最後瀏覽日期：114年3月5日。

航局廢止其操作證，並處新臺幣（下同）30萬元以上150萬元以下罰鍰，並得沒入遙控無人機：一、違反第99條之13第1項規定，於禁航區、限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內從事飛航活動。二、違反第99條之14第1項第1款規定，逾距地面或水面高度400呎從事飛航活動。」

（二）其他相關規定

本法第99條之17規定：「遙控無人機之分類、註冊（銷）、射頻識別、檢驗、認可、維修與檢查、試飛、操作人員年齡限制、體格檢查與操作證之發給、飛航活動之申請資格、設備與核准程序、操作限制、活動許可、費用收取、製造者與進口者之登錄及責任、飛航安全相關事件之處理與通報及其他應遵行事項之規則，由交通部定之。」交通部爰依前開授權規定，訂定「遙控無人機管理規則」；另本法第99條之18規定：「遙控無人機之註冊、檢驗、認可及操作人員測驗等業務，民航局得委託機關（構）、團體或個人辦理之；受委託者之資格、責任、監督及其他相關事項之辦法，由交通部定之。」交通部爰依該授權規定訂定「遙控無人機檢驗及操作人員測驗委託辦法」⁷。

有關遙控無人機所有人或操作人違反本法之裁罰標準，由民航局訂定「遙控無人機所有人操作人違反民用航空相關法規量罰標準表」，作為行政處分裁量之依據；另為讓民眾就管理規則之具體執行方式能有所瞭解，民航局編有相關民航通告作為實際作業指引⁸，例如遙控無人機飛航安全指引(AC 107-008)、最大起飛重量25公斤以上遙控無人機申請指南及檢驗程序(AC 107-002A)等。

⁷ 交通部民用航空局網站，無人機專區，問答集，一般民眾常見問題，問題十七，網址：<https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=3005&lang=1>，最後瀏覽日期：114年3月7日。

⁸ 交通部民用航空局，同前註。

三、無人機產業應用發展

(一) 國際應用發展趨勢

近年人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、半導體晶片等科技技術發展，無人機於休閒娛樂、公共行政、營建開發、軍事等應用領域在全球掀起風潮，依據德國無人機市場調查公司(Drone Industry Insights, DII)之調查數據，2019年至2022年之全球無人機市場產值已成長19.3%，以服務應用(Drone as a Service)為主，預測2030年無人機市場產值可達558億美元，2022年至2030年市場產值成長近8%。其中，2022年亞洲地區已為無人機主要市場，占全球39%(北美27%，歐洲22%)，預測2022年至2030年亞洲無人機市場產值可望從119億美元成長至194億美元，年均成長約6%⁹。

無人機應用於交通運輸產業具高度發展潛力，依據普華永道會計師事務所(PricewaterhouseCoopers, PwC)於2022年所公布之市場調查數據，無人機應用於交通運輸所產生收益，僅次於基礎設施與農業應用之收益；另從市場調查公司(Markets and Markets)所公布之市場預測數據，無人機於交通運輸產業收益將可從2022年之53.4億美元成長至2030年之178.8億美元。若從無人機應用項目來看，依據DII每年針對全球無人機科技產業應用調查報告，並從各產業領域所導入應用項目分析，測繪、巡檢、物流運送為無人機在交通運輸領域之主要應用項目¹⁰。

(二) 國內應用發展趨勢

無人機產業被視為「具無限可能的新藍海」，並預期將對部分傳統產業引發顛覆性革命。蔡前總統英文亦曾表示，無人機為軍民兩用

⁹ 交通部運輸研究所，交通部無人機科技產業發展策略規劃與執行，112年4月，頁2-1至2-2。

¹⁰ 交通部運輸研究所，同前註，頁2-3至2-5。

產業，政府須扮演領頭羊角色，帶動民間無人機產業發展，達到國防、經濟雙邊加乘效益。交通部重視無人機在交通領域的創新應用與產業發展，自107年起成立「交通科技產業會報無人機科技產業小組」，並在「2021交通科技產業政策白皮書」中，以「建立偏鄉及離島無人機物資運補機制」、「擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業」作為114年（2025年）無人機創新應用之里程碑，加速推動無人機在交通領域的應用及產業發展。此外，交通部於111年3月輔導成立臺灣無人機大聯盟（Unmanned Aircraft Systems Team of Taiwan, UAS-TAIWAN），結合無人機技術研究及產業應用之產官學研共同協力合作提升無人機科技產業能量及國際競爭力，協助政府推動無人機科技產業發展¹¹。

考量國內無人機市場較小，未來如要發展無人機產業，應走入國際市場。依據國際數據資訊有限公司（International Data Corporation, IDC）市場研究預測，119年國內無人機市場產值將可達新臺幣394億元，帶動投資270 億元，並且創造9,000個就業機會。為能掌握前開無人機產業機會，交通部將結合經濟部、科技部及教育部等部會，輔導國內無人機產業成立UAS-TAIWAN，並彙整交通部各單位對無人機應用之需求，規劃推動無人機整合示範計畫（Integrated Pilot Program, IPP）及辦理無人機創意應用競賽，透過辦理無人機產業論壇及參加國際會議展示國內創新技術研發與應用成果，並邀請國內外無人機標竿廠商進行高峰論壇與技術交流，以期導引我國無人機科技產業未來發展方向¹²。

¹¹ 交通部網站，新聞稿〈交通部攜手臺灣無人機大聯盟(UAS-TAIWAN)強化國際鏈結〉，111年7月19日，網址：

<https://www.motc.gov.tw/ch/app/data/view?module=news&id=14&serno=202207180003>，最後瀏覽日期：114年3月11日。

¹² 交通部，同註1，頁94-95。

參、無人機應用服務模式、系統概述及發展趨勢

國際無人機科技產業對於交通領域應用之發展趨勢可期，國內有關交通領域之應用則仍多於測試驗證階段，主要著重於監測與巡檢、物流運送之領域，與我國政策主導走向有關。交通部「2021交通科技產業政策白皮書」公布114年我國無人機在交通領域應用之里程碑，主要為橋梁檢測及物流運送兩大主軸，目標於114年時，擴大應用無人機於輔助橋梁檢測作業流程及完成偏鄉、離島、氣象站等日常物資運補及緊急物資運送作業之商業驗證，建立常態性營運機制。本章簡述國際上應用服務模式、系統概述、及應用於橋梁檢測及物流運送之發展趨勢。

一、服務模式

(一) 橋梁巡檢

一般進行橋梁巡檢作業時，多仰賴肉眼或輔助工具(如橋梁檢測車、高空作業車等)來檢測橋梁主要結構是否出現裂縫、鏽蝕、露筋等狀況。以傳統人工方式進行橋梁巡檢作業，較費時且執行檢測人員也有安全上風險，檢測資料準確性亦有疑慮，國際上逐漸朝以無人機協助，取代傳統人工巡檢，藉此提升橋梁巡檢作業品質及效率。

從無人機應用於橋梁巡檢之市場來看，國際上目前可提供無人機橋梁檢測服務之廠商大致可分為橋梁檢測工程公司、無人機服務提供商兩類。橋梁主管機關(中央或地方政府)提出橋梁巡檢需求時，由檢測工程公司或無人機服務提供商執行相關巡檢作業。其中檢測工程公司及無人機服務提供商多向自有無人機商(如美國Intel及Digital Aerolus、瑞士Flyability、法國Parrot、日本ACSL等)購買無人機種；自有無人機商多以設計機體與整合自家研發技術進行機體生產製

造，並自行購買零組件進行組裝；少部分自有無人機商同時具備提供相關系統整合及應用服務(如美國Skydio)¹³。

(二) 物流運送

在偏鄉、離島交通不便或都市交通壅塞等地區，透過一般陸路、海運運輸進行物品或包裹投遞運送較耗時，運用無人機運送能快速地将貨物送達目的地，提升效率。過去曾因新冠疫情嚴峻致使有些國家區域不得不施行封城管制，民眾外出採買受到影響，若以無人機進行戶到戶運送將可解決民眾外出感染之風險，此亦增加無人機應用於物流運送之機會。

無人機在物流服務可運送物品包括商品、食品、醫療用品、工業用品等。運送不同物品需搭配不同的技術，以確保將物品安全無損地送達目的地。一般零售商品規劃透過網路平台販售後經由無人機運送；食物運送服務由餐廳或超市直接提供；醫療用品包括血液、疫苗、醫療物資、藥物，甚至移植之器官等有時間急迫性外，多數亦需冷藏或冷凍，需研發特定機型或盛裝箱；偏遠地區由於一般交通難以到達，利用無人機運輸物品顯得更有其價值，也因環境較單純適合作為初期服務測試場域。

運用無人機作為物流領域之最後一哩運送(Last Mile Delivery)是近年來國際各大物流公司推動發展模式，考量飛行時間、成本及安全性，最後一哩路運送為具商業可行性之營運模式，包含UPS、Amazon、DHL等國際物流公司都以此為發展方向。若以全球目前提供無人機物流服務廠商來看，可分為無人機服務提供商與自有無人機商兩類；前者提供無人機服務給其他需求商，包括Wing、Zipline、

¹³ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-12至2-13。

Flytrex等，目前主要進行醫療物資運送；後者則是廠商利用無人機精進其本身之作業流程，包括DHL、Amazon、Walmart、SF Express等，以零售商品運送為發展方向¹⁴。

二、系統概述

一般而言，無人機系統(UAS)包含機體載具、動力系統、飛行控制系統、遙導控系統、資料鏈系統、偵測與避讓系統、飛航管理系統等次系統。摘述如次¹⁵：

(一) 機體載具

無人機機體載具包含機體結構、起落架、螺旋槳/旋翼、酬載設備等。其機型設計分為旋翼型、固定翼型及混合翼型三種，其中旋翼型又分為單軸旋翼型與多軸旋翼型：

- 1、單軸旋翼型：按管理規則第3條分類規定稱「無人直昇機」，其飛行原理同直昇機，需有尾旋翼協助穩定及方向控制。
- 2、多軸旋翼型：按管理規則第3條分類規定稱「無人多旋翼機」，其飛行依靠多個旋翼提供抬升力道並運用不同轉速，進行方向控制，具備飛行穩定及低噪音之特性。因構造簡單、操作便利，可用於個人休閒娛樂空拍等用途，在消費電子市場廣受歡迎¹⁶。
- 3、固定翼型：按管理規則第3條分類規定稱「無人飛機」。由於飛行動力可依靠穩定速度產生空氣抬升力道輔助，通常不需配備笨重之動力馬達，可延長滯空時間。但需跑道或彈射架進行起降，操作技術門檻也較高。

¹⁴ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-14至2-17。

¹⁵ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-17至2-32。

¹⁶ 交通部運輸研究所，國際無人機物流發展趨勢探討，110年12月，頁3。

4、混合翼型：結合固定翼型及旋翼型之設計，利用旋翼轉動之動力進行垂直起降（Vertical Take-Off and Landing, VTOL），飛行過程則由固定翼及旋翼共同推動飛行，結合固定翼型長航時及旋翼型垂直起降之優點。國際間近年來積極投入混合翼型無人機之研發，其中電力驅動垂直起降（eVTOL）構型，可同時解決噪音問題，已被視為未來發展都市空中交通（Urban Air Mobility, UAM）之主流構型¹⁷。

此外，無人機酬載（Payload）是指除無人機自身重量外能攜帶之有效運載量，有時也指自身動力能夠支持之總重量。酬載是無人機應用技術發展之一，可分為主動式酬載（Active Payload）與被動式酬載（Passive Payload）。主動式酬載主要係提供無人機進行任務需求之感測器，依據實際應用需求裝設，可能為光學相機、熱像儀、多光譜相機等；被動式酬載主要係指運送之物品。另外，酬載大小之影響因素為機體及動力設計，如何使機體平穩運行且載運重物，營運速度如何提升，皆需經過精密設計計算。

（二）動力系統

無人機動力系統係指提供無人機飛行動力相關組件。無人機飛行動力之能源形式，目前主要包含燃油、鋰電池、複合能源及燃料電池；其中以鋰電池為動力來源之電力驅動垂直起降（eVTOL）為發展趨勢，符合目前全球淨零排放之推動方向。此外，電池、馬達、引擎、螺旋槳與驅動控制器等5大動力組件相互配合程度，影響無人機飛行效率與穩定性。

（三）飛行控制系統

¹⁷ 交通部運輸研究所，同前註，頁3。

無人機飛行控制系統指無人機飛行過程之核心系統，對無人機飛行執行控制與管理。因應無人機自動化飛行之需求趨勢，國際上飛行控制應用技術主要朝視距外飛行(Beyond Visual Line of Sight, BVLOS)方向發展。為了安全地執行視距外飛行，無人機可結合人工智慧，進行智慧感測(物件辨識、距離估測)、智慧控制(飛控策略學習、路徑規劃)，以及智慧模擬(虛擬實境輔助操控)等技術完成無人機自主避讓障礙物、精準降落、完成飛行任務並安全降落。

(四) 偵測與避讓系統

飛行偵測與避讓(Detect and Avoid, DAA)技術係用於無人機飛行過程中，透過機身所搭載之感測器蒐集周邊環境資訊(如障礙物位置)，並測量距離進而提出相對應動作指令，以避免潛在碰撞危機。

就偵測技術而言，無人機透過發射雷射、紅外線或超音波等方式計算電波反射至感測器之時間差，估算障礙物與無人機間距離方法外，前開偵測技術易受到感測範圍與距離限制，使偵測技術朝立體視覺(Stereo Vision)、結構光(Structured Light)發展。各種偵測技術各有其優缺點，現多以搭載不同性能之感測器，彌補彼此限制，擴大適用環境範圍。另也藉由人工智慧技術導入，使無人機具備自主感知功能，協助自動化飛行。

(五) 資料鏈系統

無人機資料鏈系統(Data Link)係由通訊終端及連接電路組成之系統。無人機透過資料鏈系統，可將蒐集之資料傳輸至遠距離接收器的裝置，使接收端可以瞭解無人機目前所在位置與周邊環境，另遙控器上之接收器亦可藉此傳送操控命令至無人機。

依資料鏈之傳輸方向及功能，分為上傳資料鏈與下傳資料鏈。上

傳資料鏈功能為遙控設備傳送無人機操控命令與各式酬載操控命令，又稱通訊及控制信號鏈路；下傳資料鏈功能為接收載具主體各項資料、狀態與各式酬載下傳資訊包括影像、情蒐資料等，又稱數據或圖像傳輸鏈路。

(六) 遙導控系統

遙導控系統與資料鏈系統(通訊及控制信號鏈路)有關，包含導航定位及遙控系統，並透過地面遙導控站經有線或無線方式遠端操控無人機，地面遙導控站係為無人機之操控中心。遙控系統是負責無人機及酬載之操控、監視，操控指令上傳及載具端遙測資料、即時影像下傳之接收處理，掌握載具之動向。導航定位系統即向無人機提供所選定之參考座標位置、速度，引導無人機沿指定航線安全、準確地飛行。

(七) 飛航管理系統

依飛行運具涵蓋範疇區分為空中飛航管理(Air Traffic Management, ATM)及無人機飛航管理(Unmanned Aircraft System Traffic Management, UTM)。ATM包含所有空中交通服務、空中交通流量及空域管理；UTM則針對無人機於低空域之飛航管理。無人機飛航管理系統即指執行無人機於飛航前、飛航中、飛航後之管理，以利於進行飛航風險評估、防制及公共安全評估。無人機飛航管理系統需融入遠端識別(Remote Identification, RemoteID)、機隊管理，以及通訊、導航、偵測與避讓等技術而建構。

遠端識別係於無人機裝載識別碼發報器之一項技術，為確保無人機於空域飛行安全性，無人機資訊(如識別碼、經緯度位置、高度、速度、控制站及操作員位置、時間、緊急狀況等)之通訊回報協定已於國際上推動。依據回報方式可分為廣播形式遠端識別

(Broadcast-based Remote ID, Broadcast RID)、網路形式遠端識別 (Network-based Remote ID, Network RID)等2種類型。Broadcast RID係利用Wi-Fi或藍芽通訊定位與辨識無人機資訊，受限通訊距離，適合於短距離飛行；Network RID係利用4G、5G等行動通訊網路分享無人機位置與辨識資訊，有利於視距外飛行之無人機監視。

三、發展趨勢

(一) 橋梁巡檢

國際上無人機應用於橋梁巡檢，以資料採集、傳輸、處理，朝向智慧化與自動化方向之發展趨勢為主¹⁸：

- 1、資料採集：強調以無人機自動化飛行與檢測，並透過結合人工智慧技術，飛行控制、偵測與避讓、定位技術之精進，並結合實景動態技術，實現無人機三維多角度自主路線規劃與避讓障礙物。
- 2、資料傳輸：自動化傳輸及強化網路安全為發展趨勢，圖像傳輸系統不再受無人機與目的地間距離與地形限制，達成資料傳輸穩定、圖像清晰流暢等目標。
- 3、資料處理：以圖像自動化處理與分析、雲端平台管理為發展趨勢。另將巨量圖像資料上傳至雲端平台進行整合運算，以突破巨量資料儲存容量限制，提升資料運算速度、確保儲存資料安全性。

另近年來美國聯邦公路管理局 (Federal Highway Administration, FHWA) 為鼓勵將無人機導入橋梁巡檢作業，美國無人機整合示範計畫提供州政府向美國聯邦航空總署申請免除現有法令

¹⁸ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-61至2-64。

限制執行無人機應用於橋梁巡檢作業。如北卡羅來納州交通局取得視距外飛行限制之許可，與無人機廠商Skydio合作完成該州境內橋梁巡檢之測試驗證。

(二)物流運送

無人機應用於物流運送以美國為先驅且占最大市場，整體而言，無人機應用於物流運送發展趨勢可就運送貨物種類、運送地區、服務模式、技術發展趨勢、政府計畫支持等簡要說明¹⁹：

- 1、運送貨物主要為醫療單位間醫療用品運補及零售商運送至消費者之零售物品。
- 2、運送地區：偏鄉、山區及離島之物流運送係以改善該地區既有道路基礎建設不足、道路崎嶇、交通不便等造成物資運送不便情形；郊區為較具商業價值地區，吸引廠商投入進行相關服務測試及驗證。
- 3、服務模式，可分為樞紐至門戶(Hub-to-Door)、樞紐至設施(Hub-to-Facility)、樞紐至樞紐(Hub-to-Hub)等3種務模式，概述如下：

(1)樞紐至門戶運送

提供最後一哩路運送服務，美國為主流市場，以外送至市郊地區之零售物品、食品或藥品為主，運送重量小於7公斤，服務範圍介於半徑5至20公里內。

(2)樞紐至設施運送

¹⁹ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-61至2-64。

主要為偏鄉、山區或離島地區物資補給運送，為日本產業政策所推動，以藥品、零售物品、工廠零件及郵件為主，運送重量小於20公斤，服務範圍介於半徑5至30公里內。

(3) 樞紐至樞紐運送

為跨城市間物流運送，以大型物流中心為無人機起飛基地，將貨品運送至鄰近城市之物流中心。載重能力較大，且可服務範圍也較廣。

4、為擴大物流運送服務範圍，國際間物流運送技術發展趨勢以飛航技術（如提升續航力與載重能力、確保飛航穩定及安全等）、通訊技術（如提高通訊穩定、擴大通訊範圍等）、交通管理技術（如加強無人機識別與回報監視機制、飛航風險評估等）之精進為主。

5、此外，政府相關計畫支持與相關規範配合等，亦為無人機能否成功導入關鍵之一。

肆、國外無人機法制及監管策略發展簡介

一、美國

美國為無人機發展領先國家，民間積極投入無人機各領域之研發，政府則投入資源於技術驗證及環境整備，並將無人機各種商業應用安全地整合至國家空域管理體系。

美國無人機法規制定與安全管理機關為美國聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration, FAA)，若以低於25公斤以下小型無人機為例，其適用法規為 Title14, Code of Federal

Regulations(CFR),Part107(Small Unmanned Aircraft Systems) , 其中第107. 51條就小型無人機操作限制(Operating limitations for small unmanned aircraft)之相關規定為²⁰：

- (一)飛行速度不超過100英哩/時。
- (二)飛行高度不高於地面400英呎。
- (三)從控制站位置觀察之最小飛行能見度3英哩(Minimum weather visibility is three miles from your control station)。
- (四)無人機距離雲之最小距離：(1)雲層以下500英呎(2)與雲水平距離2,000英呎(The minimum distance of the small unmanned aircraft from clouds must be no less than (1) 500 feet below the cloud;(2) 2,000 feet horizontally from the cloud)。

另外，如Part135(Operating Requirements)係無人機營運許可證相關規範；Part36(Noise Standards)則為無人機噪音監測與防制等規範；另為確保飛行安全，FAA亦將遠端識別(RemoteID)納入Part89(Remote Identification of Unmanned Aircraft)規範，即無人機飛行需提供識別碼、經緯度、高度、速度、控制站與操作員位置、時間、緊急狀況等資訊。

另外，FAA於2017年至2020年間辦理無人機整合示範計畫，將美國州、地方政府與無人機營運商或製造商合作測試不同之應用技術及空域管理方式。該示範計畫集結各項應用經驗回饋於無人機空域管理策略制定、法規調適、技術驗證等重要發展項目，有助於美國運輸部

²⁰ National Archives , Code of Federal Regulations , 網址：
<https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-107/subpart-B/section-107.51> , 最後瀏覽日期：114 年 3 月 26 日。

(Department of Transportation)和FAA制定無人機相關規範，支持更複雜之低空域作業，達成無人機整合於國家空域系統、協助聯邦政府及各州、地方政府間推動無人機應用、無人機產業創新發展等目標。

二、歐盟

為確保無人機於歐盟內之公平競爭環境以及促進無人機創新發展下，歐盟航空安全局(European Union Aviation Safety Agency, EASA)於2019年5月發布歐洲通用無人機法規，對於無人機進行基礎監管，以取代歐盟成員國各自的法規，並於2020年底生效。基於對無人機操作風險之評估，該法規將無人機分為「開放」、「特定」、「認證」三類，並於各分類下規範無人機重量、飛行高度、運送貨種以及事先許可之操作類型等，以保障無人機安全、可靠之運行²¹。

在空域管理方面²²，歐洲單一天空飛航管理研究(Single European Sky ATM Research, SESAR)與歐洲執行體(Joint Undertaking)提出 U-Space空域藍圖(U-Space Blueprint)，研議商用無人機之運行空域，建構商用無人機飛行規範。U-Space訂定4個無人機發展階段，無人機服務逐步由偏遠地區往人口稠密區推動，自動化服務程度也逐步增加。透過無人機與無人機間、有人機與無人機空域環境與介面間等數據與訊息交換，高度自動化或自主無人機將可實現安全飛行且避免障礙物或發生碰撞。

另為確保歐盟之無人機產業及應用生態系能有效地發展，歐洲聯盟委員會(European Commission)制定無人機策略 2.0 (Drone Strategy 2.0)，作為歐盟無人機發展之政策或法規指導。該策略於2022年11月發布，提出2030年無人機應用生態系將成為歐盟公民生活

²¹ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-72。

²² 邵珮琪、林清一、吳東凌，同註4，頁212-213。

之一環，提供民生及國防上服務，無人機將作為物聯網平台，應用於緊急救災、巡檢、監測、物流等領域²³。

三、日本²⁴

日本政府將無人機列為國家發展重點之一，跨部會結合民間力量成立「整建小型無人機相關環境官民協議會」，每年由技術、法規等各層面進行協議，促進無人機飛行技術及產業之發展。日本無人機法規制定與安全管理機關為國土交通省，2015年航空法修法，針對無人機機體及操作(如無人機分級、註冊規範、載運物品限制、飛行高度及區域限制、操作時間限制等)、操作人員等訂定相關規範；另日本2016年公告無人機4個飛行發展等級及進程(由視距內、外飛行、人口密集程度區分4個等級)，因應2022年進入等級4之視距外自動飛行，國土交通省2021年6月續完成航空法修法，包含合理化及簡化飛行許可程序，其飛行型態區分3個層面：獲得認證之無人機機體、由持有無人機操作執照之人員操控無人機，並遵從無人機飛航規定；又國土交通省也提出不同飛行型態之風險評估指引，作為無人機交通安全管理對策。

另外，因應2022年進入等級4之視距外自動飛行，日本近年致力發展無人機飛航管理系統(UTM)之開發，以及自動避障技術，政府單位亦進行相關協助，藉以加速推動物流運送、安全維護、農噴及其他視距外應用之重點發展領域，並進行實證試驗。例如日本物流業者目前面臨「購物難民」現象(係指實體店鋪減少、高齡者與偏遠地區民眾無法至實體店鋪購物之現象)、宅經濟需求，以及司機員不足之情形，面對進入高齡化社會後，該如何滿足高齡者生活基本需求，成為

²³ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-73至2-74。

²⁴ 交通部運輸研究所，同註9，頁2-75至2-79。

未來重要課題。日本國土交通省提供補助支援物流業者，並協同部分地方自治團體以無人機進行配送服務之實證實驗。包括偏鄉地區物流、醫藥品物流、農作物物流等。日本政府提出物流應用導入指引，提供業者導入無人機之方法與申請實證實驗補助之程序；另也製作相關手冊供業者參考，如針對醫藥品運送過程如何保持品質等。

伍、問題研析與建議

按交通部「2021交通科技產業政策白皮書」，我國無人機於交通運輸領域應用發展之兩大主軸：輔助橋梁檢測作業及建立(偏鄉、離島)物資運補機制²⁵，本報告初步探討無人機應用於國內橋梁檢測、物流運送等發展主軸並提出相關建議方向。

一、橋梁檢測

(一) 技術需求發展建議方向

有相關研究參考交通部運輸研究所110年「無人機整合示範計畫推動及管理服務」示範計畫成效報告書，並透過訪談橋梁巡檢應用相關單位，盤點國內無人機應用於橋梁巡檢之技術需求發展方向²⁶：

- 1、考量無人機於執行橋梁巡檢作業時，若橋梁構件間之間距狹窄、橋梁下空間淨高過低等，無人機將不易進入執行拍攝檢測作業，或容易受撞擊而毀壞，爰建議無人機機體宜朝微型化發展。
- 2、無人機進行橋梁巡檢，經常受風洞效應影響，使其有墜落風險；另若橋梁位於高海拔、地勢起伏落差大或地形較複雜等

²⁵ 交通部，同註1，頁108。

²⁶ 李宗益、紀秉宏、胡睿蕙、吳家禎、吳東凌、黃于哲，〈推動我國無人機科技產業技術發展及策略擬定方向〉，《機械工業雜誌》，第484期，112年7月，頁119-120。

地區，無人機續航力宜具一定水準，爰建議提升無人機機體抗風性與續航力，以服務不同區位橋梁之巡檢作業。

- 3、為實現無人機應用於橋梁自動化巡檢作業，建議可藉由結合感測器並導入人工智慧技術等，以提升無人機飛行控制系統、偵測與避讓系統能力。
- 4、無人機雖可透過搭載硬體以達衛星精準定位，然橋梁下方訊號普遍不佳，如何突破在無訊號或訊號不佳環境下以無人機進行巡檢是發展方向，建議可藉由搭載各類感測器、透過擴頻、同步定位等技術，提升無人機通訊及定位能力，以利執行橋梁下方巡檢。
- 5、無人機應用於橋梁巡檢作業，其中人工智慧影像辨識技術目前為國際上精進發展方向。透過精進影像辨識技術，使巡檢過程中拍攝影像能更快速且準確判讀，藉此取代人工目視判斷，以提升橋梁檢測作業品質及效率；另建置橋梁及其周邊環境之實景模型，以利動態監視橋梁設施狀態。

依前開交通科技產業政策白皮書所載，交通部目標於114年就所主管橋梁將擴大應用無人機於輔助橋梁檢測作業流程。前開研究所盤點之無人機應用於橋梁巡檢之技術需求發展方向，初擬以下建議方向

²⁷：

- 1、飛航技術精進：無人機相關技術精進包含提升無人機於橋梁下方定位精度、防碰撞及機體微型化發展、抗風性及續航力之提升、發展自主偵測避讓能力，以提升橋梁檢測項目覆蓋率並達橋梁巡檢作業自動化之目標。

²⁷ 李宗益、紀秉宏、胡睿蕙、吳家禎、吳東凌、黃于哲，同前註，頁123。

- 2、資料數位化：有關無人機影像辨識技術可協助之橋梁構件項目，建議以影響橋梁結構安全之構件作為提升影像辨識率之優先項目；另建置橋梁及其周邊環境實景模型，初期以完成橋梁外觀雛形為主，以利無人機自動化飛行路線規劃，而後發展模型動態生成技術，藉此降低人工建置模型衍生之時間與金錢成本。

（二）導入場域建議方向

考量混凝土橋占國內橋梁大宗，無人機導入橋梁檢測之場域，建議以混凝土橋梁為主，優先針對目前檢測作業較費時、操作風險較高且所需成本較高等橋梁(如跨河橋、山區橋梁等)進行相關作業技術突破，並擴大應用無人機輔助交通部所主管橋梁檢測作業流程，未來將視其他橋梁主管機關之需求，協助其將無人機應用於橋梁檢測作業。

（三）相關規範檢討建議方向

- 1、建議確認無人機可協助國內橋梁檢測作業項目，研議檢討現行橋梁養護(檢測)相關規定

前開所提無人機應用於橋梁檢測技術需求建議方向，建議配合國內外無人機技術發展進程，確認無人機可協助國內橋梁檢測作業項目（含檢測作業風險評估，如電磁波干擾、橋面與橋下作業風險評估、橋面與橋下管制作業等），研議檢討現行橋梁養護(檢測)相關規定，如公路法、鐵路法授權訂定之「公路修建養護管理規則」、「鐵路修建養護規則」、交通部頒之「公路養護規範」、「公路橋梁檢測及補強規範」、「鐵路橋梁之檢測及補強規範」等、交通部所屬機關編訂之「公路養護手冊」、「高速公路養護手冊」等。

- 2、基於橋梁檢測作業之重大公益性，建議研議於遙控無人機管理規則制定無人機橋梁檢測技術項目硬體規範、後端資料處理格式

按交通部運輸研究所112年11月間曾於國道3號臺南頭前溪河川橋辦理無人機搭配人工智慧(AI)影像辨識應用於橋梁檢測研究成果觀摩會，以期藉由人工智慧(AI)深度學習等技術，對無人機拍攝影像進行辨識分析，找出橋梁構件劣化類型及嚴重程度，有效提升檢測效率和準確性。觀摩會除展示現階段研究成果，同時也說明將持續推動精進橋梁檢測技術相關計畫²⁸。爰此，基於橋梁檢測作業涉及橋梁安全之重大公益性，建議配合國內外無人機橋梁檢測關鍵技術推動發展進程，研議於遙控無人機管理規則制定無人機物橋梁檢測相關技術項目硬體規範（如抗風性、續航力、機體微型化、定位精度、自動化飛行等）、無人機應用於橋梁巡檢後端資料處理格式（如無人機拍攝影像辨識精度等）。

- 3、建議於擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業前，研議制定無人機應用於橋梁檢測作業流程，以利標準化作業程序

交通部為加速國內無人機在交通運輸的創新應用以及相關產業的發展，在交通科技產業會報下成立無人機科技產業小組，經盤點國際發展趨勢及國內應用需求後，提出我國無人機在交通領域應用之2025年里程碑，其中包括「橋梁檢

²⁸ 交通部運輸研究所網站，新聞稿(橋檢新工具-無人機結合 AI 技術提升檢測品質與效率)，112 年 11 月 7 日，網址：

https://www.iot.gov.tw/zh_tw/proclamation/press/%E6%A9%8B%E6%AA%A2%E6%96%B0%E5%B7%A5%E5%85%B7-%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%B5%90%E5%90%88%A1%E6%8A%80%E8%A1%93-%E6%8F%90%E5%8D%87%E6%AA%A2%E6%B8%AC%E5%93%81%E8%B3%AA%E8%88%87%E6%95%88%E7%8E%87-59747891，最後瀏覽日期：114 年 4 月 25 日。

測作業全面導入無人機」²⁹。為提供國內無人機應用於橋梁檢測標準作業程序，減少檢測作業過程發生錯誤，確保檢測作業之有效性，爰此，建議在擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業前，研議制定無人機應用於橋梁檢測作業流程，以利標準化作業程序。

二、物流運送

我國因地理環境特性使得偏鄉、離島物資運送主要仍以陸運與海運為主，偏鄉山區道路易受風災、水災、土石流等因素造成坍方中斷，離島海運運輸易受海象不佳影響船班航行，運輸穩定性欠佳，致其所需運輸時間較長及成本較高，近年來無人機應用於物流運送係為公務部門關注之重點方向。例如交通部曾於107年試辦偏鄉無人機物流短程配送之技術驗證，完成無人機裝載約5公斤包裹從臺南市左鎮區晨曦山莊送往左鎮郵局之測試，路途約3公里，運送時間從原90分鐘縮短為15分鐘。另交通部運輸研究所109至110年間辦理「無人機整合示範計畫」，以離島、偏鄉物流運送為主，並著手進行無人機物流運送之測試與驗證。前開示範計畫於109年成功測試將郵件從屏東東港郵局送往琉球郵局，將約10公斤包裹送往目的地，並將原先仰賴陸運與海運之運送模式，其運輸時間從1小時大幅縮短至17分鐘³⁰。

（一）技術需求發展建議方向

無人機應用於偏鄉、離島物流運送，其面臨飛航、通訊及飛航管理等課題，有研究者盤點國內無人機應用於物流運送之技術需求發展方向³¹；又依前開交通科技產業政策白皮書所載，針對偏鄉及離島無

²⁹ 交通部運輸研究所，同前註。

³⁰ 交通部運輸研究所，同註9，頁3-12至3-14。

³¹ 交通部運輸研究所，同註9，頁3-19至3-23。

人機物資運補機制，交通部目標於114年將完成商業驗證，建立常態性營運機制，前開研究所盤點無人機應用於物流運送之技術需求發展方向，初擬以下建議方向³²：

- 1、精進飛航技術：考量我國偏鄉、離島地理環境特性，無人機應用於偏鄉、離島物流運送應確保飛航穩定性及可靠性，包含提升其耐候性、續航力與載重能力、通訊遙控能力與導航定位等技術；同時發展自主偵測避讓、視距外飛行能力。
- 2、提升通訊功能：為達偏鄉及離島之無人機物資運補機制常態化營運目標，相關通訊功能應予提升，包含建立通訊基地台、飛行通訊控制功能等，並能持續優化，以確保視距外穩定安全地飛行。
- 3、建置飛航管理系統：無人機於物流運送達商業運轉後，發展無人機飛航管理系統，以確保無人機間、有人機與無人機間飛航安全。爰此，無人機機隊管理、遠端識別、資訊安全防護等為技術需求發展方向。考量國內尚無建立無人機識別機制，發展建置飛航管理系統，進行無人機追蹤識別、無人機機隊管理等資訊整合及發展各無人機間、無人機與有人機間之通訊協作與飛安監控等功能。

（二）導入場域建議方向

我國都市地區人口稠密，公路系統發達，一般平地及都會區無人機物流運送之需求較低，未來潛在無人機物流應用場域可能為災害發生時、災後之緊急物資運補，以及偏鄉、離島物流運送，前開運送需求特性為不定時、不定量，民間商業可行性較低，爰仍有待公部門考

³² 交通部運輸研究所，同註9，頁3-42。

量整體公益性、地方特性及需求，研議可行營運模式³³。

無人機應用於偏鄉、離島物流運送飛行時，為確保其陸域安全性，建議優先以人群非密集地區完成物流運送服務模式驗證；另測試飛行廊道規劃，建議先以短距離、飛行環境較不複雜為主，再擴展至長距離線狀或面狀之雙向物流模式，並結合相關基礎設施之設置，從單條飛行廊道逐漸擴充至多條飛行廊道驗證，以期累積足夠飛行次數與時數，確保飛航安全性。

（三）相關規範檢討建議方向

- 1、基於偏鄉離島物資運補公益性及業者權利義務考量，研議於遙控無人機管理規則制定無人機偏鄉離島物流運送技術項目硬體規範

依據交通科技產業政策白皮書，針對無人機應用於偏鄉及離島物資運補機制，交通部目標於114年完成商業驗證，建立常態性營運機制。然偏鄉、離島地區受地理環境限制，交通不便，提供無人機應用於偏鄉、離島物資運補機制有其公益性考量，倘順利完成商業驗證，未來達商業化常態性營運規模，民間業者使用無人機也應符合物流運送技術項目需求發展方向。爰此，基於偏鄉離島物資運補公益性及業者權利義務考量，建議配合國內無人機應用於離島偏鄉物流運送服務模式相關測試與驗證作業進度及國內外無人機物流運送技術發展進程，研議於遙控無人機管理規則制定無人機偏鄉離島物流運送技術項目硬體規範（如耐候抗風性、載重力、續航力、定位精度、自動化飛行、遙導控距離等）。

³³ 交通部運輸研究所，同註16，頁22。

2、為確保無人機飛航空域安全，建議於民用航空法之遙控無人機專章研議明定無人機飛航管理機制(UTM)

按各國容許無人機飛行高度限制，如澳門無人機飛行限高為30公尺、新加坡與馬來西亞為60公尺、香港與泰國為90公尺、德國100公尺；英國、西班牙、澳大利亞與紐西蘭則為120公尺；臺灣、菲律賓與美國為100呎(約122公尺)；韓國、印尼與日本為150公尺等。雖各國對無人機飛航安全管理不盡相同，但對無人機在低空域飛航安全發展，先進國家莫不以推動無人機飛航管理(UTM)為目標³⁴。此外，各先進國家除積極開發無人機製造與飛行操控技術之外，更審慎地規劃如何讓無人機安全地飛行。UTM技術研發與落實，為飛航安全管理重要課題，無人機在交通運輸領域應用，UTM技術研發具有凌駕各種無人機技術之必要性³⁵。

我國無人機飛航管理(UTM)相關研究，例如長榮大學執行科技部產學計畫：階層式遙控無人機飛航管理(UTM)系統雛型發展計畫係參考有人機飛航管制與飛航管理之架構所採用通訊、導航與監視之基本概念設計，並按民用航空法第99條之13第2項以400呎高度作為區隔，400呎以下低空域歸地方政府管轄之區域型無人機飛航管理(Regional UTM, RUTM)或400呎以上高空域歸民航局管轄之全國型無人機飛航管理(National UTM, NUTM)，各司其職。該階層式UTM建置專用雲端(UTM Cloud)，接收各無人機透過網路以無線傳輸之即時資訊，RUTM(區域型)或NUTM(全國型)也可從雲端下載無人機即

³⁴ 邵珮琪、林清一、吳東凌，同註4，頁206。

³⁵ 邵珮琪、林清一、吳東凌，同註4，頁216。

時相關資訊作為監控與管理³⁶。爰此，未來無人機應用於偏鄉離島物流運送達商業化常態性營運規模後，為確保無人機飛航空域安全，參酌國內外相關研究，建議於民用航空法之遙控無人機專章研議明定無人機飛航管理機制(UTM)，透過國內空域進行分層管理來強化各無人機間、無人機與有人機間之飛航安全。

- 3、為推動未來無人機偏鄉離島物流運送之商業化常態性營運，建議檢討民用航空法第99條之14第2項須個案申請排除目視範圍操作限制規定之妥適性

按現行本法第99條之14第1項第7款規定，從事遙控無人機飛航活動應在目視範圍內操作，並於第2項規定政府機關（構）、學校或法人向民航局申請核准者，得不受目視範圍內操作限制；又民航局民航通告(AC 107-006D)³⁷：遙控無人機作業手冊（第5章欲排除本法第99條之14第1項第1款至第8款之操作限制項目及程序，執行操作限制排除事項，應依相關人員資格、機載裝備、注意事項及特別規範等內容辦理），提供政府機關（構）、學校或法人依本法從事遙控無人機飛航活動前，申辦遙控無人機能力審查與編訂作業手冊(Drone Operations Manual, DOM)之指引，政府機關（構）、學校或法人員爰依前開民航通告(AC 107-006D)編訂作業手冊，向民航局依個案申辦能力審查作業。

考量無人機偏鄉、離島物流運送距離較長，係屬目視範

³⁶ 邵珮琪、林清一、吳東凌，同註4，頁213-216。

³⁷ 交通部民用航空局，AC 107-006D，遙控無人機作業手冊，113年12月1日，網址：<https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=4265&lang=1>，最後瀏覽日期：114年4月25日。

圍(視距)外飛行，目前業者係以前開民航通告(AC 107-006D)個案申辦排除本法第99條之14第1項第1款至第8款之操作限制項目能力審查之指引。爰此，為推動未來國內無人機應用於偏鄉離島物流運送之商業化常態性營運，建議檢討現行民用航空法第99條之14第2項須個案申請排除目視範圍操作限制規定之妥適性。

4、建議視業者加入商業化營運情形，研議制定無人機偏鄉離島物流運送飛行廊道基礎設施標準

無人機物流運送飛行廊道相關基礎設施包含硬體設施(如垂直起降場地、中繼站、後勤基地、通訊基地等)及軟體設施(如無人機飛航管理、機隊管理等應用程式)，建議完成離島、偏鄉物流運送商業驗證及建立商業化常態性營運機制後，視業者加入商業化營運情形，研議制定前開飛行廊道相關基礎設施標準(包含項目、規格、設置標準等)。

陸、結論

隨著電子及資通訊科技的進步，發展無人機應用服務已成為國際趨勢，其高機動性、高彈性部署特性，能夠有效提升運輸系統之易行性、可及性及安全性，並可協助傳統運輸事業及物流業進行數位轉型，提供創新之服務模式。交通部110年11月17日「2021交通科技產業政策白皮書」公布我國無人機在交通運輸領域應用發展之114年里程碑，無人機之應用發展將著重於(一)擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業(橋梁檢測)及(二)建立偏鄉及離島無人機物資運補機制(物流運送)兩大主軸。

爰此，本報告將針對前開無人機於交通運輸領域應用發展之課題

進行初步探討，瞭解國內外無人機發展概況並參酌其他國家之作法，提出我國無人機應用於橋梁檢測與物送運送等主軸之相關建議方向，俾供本院委員問政之參考：

一、橋梁檢測

- (一) 建議確認無人機可協助國內橋梁檢測作業項目，研議檢討現行橋梁養護(檢測)相關規定。
- (二) 基於橋梁檢測作業之重大公益性，建議研議於遙控無人機管理規則制定無人機橋梁檢測技術項目硬體規範、後端資料處理格式。
- (三) 建議於擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業前，研議制定無人機應用於橋梁檢測作業流程，以利標準化作業程序。

二、物流運送

- (一) 基於偏鄉離島物資運補公益性及業者權利義務考量，研議於遙控無人機管理規則制定無人機偏鄉離島物流運送技術項目硬體規範。
- (二) 為確保無人機飛航空域安全，建議於民用航空法之遙控無人機專章研議明定無人機飛航管理機制(UTM)。
- (三) 為推動未來無人機偏鄉離島物流運送之商業化常態性營運，建議檢討民用航空法第99條之14第2項須個案申請排除目視範圍操作限制規定之妥適性。
- (四) 建議視業者加入商業化營運情形，研議制定無人機偏鄉離島物流運送飛行廊道基礎設施標準。

參考文獻

一、政府出版品

- 1、交通部，2021 交通科技產業政策白皮書，110 年 11 月。
- 2、交通部運輸研究所，國際無人機物流發展趨勢探討，110 年 12 月。
- 3、交通部運輸研究所，交通部無人機科技產業發展策略規劃與執行，112 年 4 月。

二、期刊論文

- 1、邵珮琪、林清一、吳東凌，〈無人機於交通運輸領域應用與政策推動之探討〉，《運輸計劃季刊》，第 49 卷第 3 期，109 年 9 月，頁 201-234。
- 2、李宗益、紀秉宏、胡睿蕙、吳家禎、吳東凌、黃于哲，〈推動我國無人機科技產業技術發展及策略擬定方向〉，《機械工業雜誌》，第 484 期，112 年 7 月，頁 117-124。

三、網路資源

- 1、交通部民用航空局網站，無人機專區，網址：<https://www.caa.gov.tw/article.aspx?a=188&lang=1>，最後瀏覽日期：114 年 3 月 5 日。
- 2、交通部民用航空局網站，無人機專區，問答集，一般民眾常見問題，問題十七，網址：<https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=3005&lang=1>，最後瀏覽日期：114 年 3 月 7 日。
- 3、交通部網站，新聞稿(交通部攜手臺灣無人機大聯盟(UAS-TAIWAN)強化國際鏈結)，111 年 7 月 19 日，網址：<https://www.motc.g>

ov.tw/ch/app/data/view?module=news&id=14&serno=202207180003，最後瀏覽日期：114年3月11日。

4、交通部運輸研究所網站，新聞稿(橋檢新工具-無人機結合AI技術提升檢測品質與效率)，112年11月7日，網址：https://www.iot.gov.tw/zh_tw/proclamation/press/%E6%A9%8B%E6%AA%A2%E6%96%B0%E5%B7%A5%E5%85%B7-%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%B5%90%E5%90%88AI%E6%8A%80%E8%A1%93-%E6%8F%90%E5%8D%87%E6%AA%A2%E6%B8%AC%E5%93%81%E8%B3%AA%E8%88%87%E6%95%88%E7%8E%87-59747891，最後瀏覽日期：114年4月24日。

5、交通部民用航空局網站，AC 107-006D，遙控無人機作業手冊，113年12月1日，網址：<https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=4265&lang=1>，最後瀏覽日期：114年4月25日。

6、National Archives，Code of Federal Regulations，網址：<https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-107/subpart-B/section-107.51>，最後瀏覽日期：114年3月26日。

附錄：「無人機於交通運輸領域應用發展之初探」專題研究 報告（初稿）書面審查及參採情形

長榮大學航運管理學系邵副教授珮琪：

針對本報告在無人機於國內交通運輸領域應用發展趨勢之初探下，以交通部在「2021 交通科技產業政策白皮書」之「建立偏鄉及離島無人機物資運補機制」、「擴大導入無人機輔助橋梁檢測作業」作為 114 年（2025 年）無人機創新應用里程碑之相關描述與報告，本人同意報告中對於無人機應用服務模式與系統概述及發展趨勢之內容（含國內外法規回顧），另在低空域飛航管理之 UTM 應用、無人機商業物流作業、無人機公益性物流作業、橋梁檢測作業上，提出以下建議：

一、無人機低空域飛航管理 UTM 應用部分，建議可責成交通部民航局參考可行技術及可能方案，促成一個 BOT 建置計畫，配合以下之第二點與第三點進行無人機主題應用作業。

二、無人機商業物流：

（一）建議可責成經濟部產業技術司無人載具科技創新實驗計畫辦公室協助規劃空中廊道（配合地理條件、都市分區來規劃），例如沿著基隆河、淡水河、大漢溪，推動一個實際的物流營運架構。或者以山區偏鄉、平地偏鄉，建立偏鄉物流作業（含醫藥物資）。

（二）建議參考法規：2023 年日本國土交通省公布「無人機遞送包裹指南」(4.0)【ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン (4.0)】。(可參考該指南第 75 頁以後相關案例分析，含 UTM 應用)

（三）合作部會：交通部民航局、經濟部產業技術司無人載具科技創

新實驗計畫辦公室。

三、無人機公益性物流作業（偏鄉離島或災區醫療救災物流）：

建議於本報告第 24 頁（導入場域建議方向），偏鄉與離島物資需求中，醫藥物資之權重相對於其他物資更為重要，對於公益性無人機物流中之醫藥物資作業，建議如下：

- （一）分二階段進行測試：B2B（醫院對醫療單位對衛生所(室)及藥局）、B2C（如衛生所(室)或藥局對病患）之二階段作業。
- （二）規劃無人機測試區域：測試區域內無人機服務供應業者予以整合（如：UTM 供應商、GIS 圖資、無人機零組件供應商、無人機電子儀器供應之物流電商等）
- （三）常態情境與緊急情境作業：常態情境（偏鄉或離島醫藥物資運送）、緊急情境，如大規模災難（如地震）之救災物資運送。
- （四）建議參考法規：2023 年日本國土交通省公布「無人機遞送包裹指南」(4.0)【ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン（4.0）】關於「無人機醫藥物資物流運送作業指引」（可參考該指南第 53 頁）
- （五）合作部會：交通部民航局、衛福部食藥署、內政部(災防單位)
- （六）建議參考研究論文：

P. C. Shao, C. E. Lin, 'UAV Medical Delivery of Proof of Concept Experiments – A Case Study in Ali Mountain Rural Area in Taiwan', Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, Vol. 57, No.4, 2025, pp. 889-911. (EI)
[111-2625-M-309-005, 110-2625-M-309-002]。其中 111-2625-M-309-005 為國科會 111 年研究計畫：阿里山偏鄉無人機醫療物資運送之研究；另 110-2625-M-309-002 為國科會

110 年研究計畫：多旋翼無人機山區醫療物資運送研究。

四、橋梁檢測作業（作業風險評估）

（一）建議在本報告第 21 頁所提橋梁檢測作業項目，加上橋梁檢測作業風險評估（含電磁波干擾、橋面與橋下作業風險評估、橋面與橋下管制作業等方向），以維護橋梁使用人（第三者）之安全目標。

（二）合作部會：交通部民航局、勞動部勞動及職業安全衛生研究所。

參採情形：

一、第一點至第三點意見，按交通部「2021 交通科技產業政策白皮書」公布我國無人機在交通運輸領域應用主要在輔助橋梁檢測作業及建立偏鄉離島物資運補機制兩大主軸，爰本報告就前開二大發展主軸進行初步探討並提出相關建議方向。邵副教授意見所提其同意報告中對於無人機應用服務模式與系統概述及發展趨勢之內容（含國內外法規回顧）係贊同本報告，錄供參考；另所提在無人機低空域飛航管理 UTM 應用，建議交通部（民航局）參考可行技術及可能方案，建置相關計畫以推動無人機商業物流實際營運架構、無人機公益性物流（偏鄉離島或災區醫療救災物流）進行無人機主題應用作業一節，錄供交通部於進行商業驗證（Proof of Business, PoB）時之參考。

二、第四點意見，建議在橋梁檢測作業項目增加檢測作業風險評估（含電磁波干擾、橋面與橋下作業風險評估、橋面與橋下管制作業等方向）部分，已參採納入報告（第 21 頁）。

交通部：

（本局業於 5 月 9 日發函，迄 5 月 29 日止，尚未回覆意見）

林研究員鈺琪：

一、本報告於「肆、國外無人機法制及監管策略發展簡介」分別對美國、歐盟、日本無人機法制及監管策略發展進行簡介，實質肯認，惟報告「伍、問題研析與建議」並未對上述三國之無人機法制及監管策略發展有進一步之借鏡或引述。臺灣目前在無人機應用上已有一定基礎，但若借鏡美國、歐盟、日本的法制與監管策略，在「橋梁檢測」與「物流運送」兩方面，仍有可補充說明之處：

- (一) 在橋梁檢測應用方面，臺灣可借鏡歐盟及美國的無人機監管策略，推動更具彈性與效率的法規設計。歐盟將基礎設施巡檢歸類為「特定類」操作，僅需風險評估與簡化許可程序，有效降低行政負擔；美國則透過示範計畫，結合地方政府與業者導入無人機進行橋梁與道路檢測，並將數據整合至基礎設施管理系統。相較於臺灣現行空域與操作限制較為嚴格，建議政府可針對公共工程檢測任務設立特例審查機制，簡化飛航許可流程，同時制定橋梁巡檢作業規範與影像資料標準，提升檢測效率與資料可用性，加速落實無人機應用，並強化基礎設施維護效能。
- (二) 在物流運送應用方面，臺灣可參考日本與歐盟的發展模式，強化無人機視距外飛行（BVLOS）之法規與應用推動。日本針對高齡化與偏鄉物流需求，已制定視距外自動飛行相關規範，並透過政府補助與地方合作進行多項物流配送實證。歐盟則透過 U-Space 建構無人機空域管理機制，支援物流等中高風險應用。建議臺灣可建立 BVLOS 飛行法規架構，設置試驗場域，並結合科技部、交通部與地方政府推動物流無人機示範計畫。同時主管機關宜研議建置臺灣無人機交通管理系統（UTM），提升飛航協調與安全性，並提供業者導入補助與操作指引，協助物流業界突破人力與地理限制，強化偏鄉與離島地區的物流

韌性與服務品質。

二、報告頁下註 2：「本報告有關年分之使用，原則以民國紀年表述，惟涉及外國法制或立法例部分，改採西元紀年表述。」指明本報告原則以民國紀年表述，而報告第 6、7、20、24 頁卻有民國與西元同時表述之情形，建議依頁下註 2 使用民國紀年即可，謹供參考。

參採情形：

一、第一點前段意見係贊同本報告有關國外（美國、歐盟、日本）無人機法制及監管策略發展簡介內容，錄供參考。至於所提若借鏡前開國外法制與監管策略，或有可補充說明之處：

（一）所提在橋梁檢測應用方面，如建議政府制定橋梁巡檢作業規範與影像資料標準等節，按本報告所提橋梁檢測相關規範檢討建議方向（第 21 頁至第 23 頁）業已提出研議檢討現行橋梁養護（檢測）相關規定、研議於遙控無人機管理規則制定後端（影像）資料處理格式、研議制定無人機橋梁檢測作業流程等建議，尚無再補充之必要，爰錄供參考。

（二）所提在物流運送應用方面，如建議可建立視距外飛行（BVLOS）飛行法規架構、研議建置無人機交通管理系統（UTM）等節，按本報告所提物流運送相關規範檢討建議方向（第 26 至第 27 頁）業已提出研議檢討現行民用航空法須個案申請排除目視範圍操作限制規定之妥適性、研議於民用航空法之遙控無人機專章明定無人機飛航管理機制（UTM）等建議，亦無補充之必要，爰錄供參考。

二、第二點意見，已參採修正。

康研究員世宗：

- 一、本報告針對無人機於交通運輸領域之應用發展等問題進行研析，提出橋梁檢測及物流運送相關規範檢討等多項建議方向，對於未來我國研發產製無人機及建構並落實於交通運輸等領域之應用發展皆具有相當助益，原則可資贊同，以下意見一併供作參考。
- 二、強化無人機於軍事或軍民通用運輸、安全管理等領域發展及其限制之相關法規論述，以資周延：本報告於摘要及結論均強調發展無人機應用服務已成為國際趨勢，其高機動性、高彈性布署特性。基此，於第 1 頁進一步強化未來無人機不僅可能成為交通運輸之重要載具，其在交通領域之多元應用發展……進而帶來龐大之運輸價值與商機等語，除所稱「布署」，建議依一般法制用語修正為「部署」外，本報告第 5 頁及第 6 頁，述及無人機於休閒娛樂、公共行政、營建開發、軍事等應用領域在全球掀起風潮，及無人機為軍民兩用產業……帶動民間無人機產業發展，達到國防、經濟雙邊加乘效益等。可見本報告有關無人機於「交通運輸領域」之應用發展，尚非僅侷限於單純民用之「交通運輸領域」，爰建議本報告於第 3 頁及第 4 頁，述及無人機相關規定時，除民用航空法及其授權規定外，對於無人機於軍事或軍民通用運輸、安全管理領域之應用發展及其限制，例如：軍事營區安全維護條例第 10 條、列管軍品範圍及認定辦法第 3 條等規定，或本報告有無其他法規適用之補充？以強化法規面論述，俾資周延。
- 三、適當補充無人機於太空運輸或相關領域之應用發展及法規等資訊，以與時俱進：本報告第 19 頁至第 28 頁，聚焦無人機於橋梁檢測及物流運送等相關規範之檢討研析，固有助益於無人機在傳統交通運輸領域之應用發展現況說明，惟前瞻未來邁向太空衛星時代，無人機對於近空領域之低軌衛星中繼傳輸、通訊及檢測維修等項目，亦扮演重要之角色，建議本報告可適當補充說明無人機於太空運輸或相關領域之應用發展及法規等資訊，以與時俱

進。

參採情形：

- 一、第一點意見係贊同本報告所提相關規範檢討等多項建議方向，錄供參考。
- 二、第二點意見，建議本報告強化無人機於軍事或軍民通用運輸、安全管理等領域發展及其限制之相關法規論述一節，按本報告探討之主題，係以交通部「2021 交通科技產業政策白皮書」公布我國無人機在交通運輸領域應用主要在輔助橋梁檢測作業及建立偏鄉離島物資運補機制兩大主軸為主，尚無探討無人機於軍事等領域應用發展相關課題，或可作為後續研究探討主題，爰錄供參考。另建議將「布署」修正為「部署」一節，已參採修正。
- 三、第三點意見，建議適當補充無人機於太空運輸或相關領域之應用發展及法規等資訊部分，尚非本報告探討主題，或可供為另案後續研究探討之主題，爰錄供參考。

吳副研究員欣宜：

本報告探討無人機於交通運輸領域之應用與發展，並蒐整國內外政策案例與技術現況，整體展現出高度的產業前瞻性與應用實證導向。然而，自法制角度觀之，本報告雖已初步觸及民用航空法規、空域管理及資料治理等議題，惟整體論述仍偏重於技術應用、場域實證與產業推動策略，對於無人機應用所涉法律架構與監管制度，似稍顯不足。

民用航空法第 99 條之 9 以下已增設「遙控無人機」專章，並授權訂定「遙控無人機管理規則」等相關子法，建構對於無人機之初步法律基礎。然而，現行規範多著眼於飛航安全、登記管理與操作許可，對於無人機於交通運輸場域，例如道路監控、交通資料蒐集、物流配

送等，可能涉及之跨域整合、管轄分工與行政協調，缺乏明確法源依據與制度設計，此對於公私協力推動無人機交通應用，恐產生實務落差與法律爭議。

此外，無人機運用過程中所蒐集之影像與位置資料，牽涉人民隱私權與資訊自主權保障，亦涉及個人資料保護法之適用邊界、公務機關蒐集資料之比例原則與正當程序問題，同為制度設計上亟需面對之課題，本報告後續研究或可補充說明之。

綜上論結，無人機技術應用固屬交通創新之要角，然其法制基礎與監理配套為應用落地之關鍵環節。本報告或可就現行無人機法律體系之位階、整合與不足進行更為全面之檢視，並引入比較法觀點以強化法制論述，俾透過法制之整合與創新制度設計，促進無人機技術於交通運輸應用落地，並兼顧安全、隱私與公益等多元價值。

參採情形：

按本報告「無人機於交通運輸領域應用發展之初探」縱非以探討無人機法制為主要，然本報告就我國無人機於交通運輸領域應用在輔助橋梁檢測作業及偏鄉離島物流運送二大主軸進行初步探討，除就無人機技術需求發展及導入場域等提出建議方向，也就相關規範檢討提出初步建議方向。

另所提現行無人機相關法規規範建構對於無人機之初步法律基礎，現行規範多著眼於飛航安全、登記管理與操作許可，對於無人機於交通運輸領域應用，可能涉及之跨域整合、管轄分工與行政協調，缺乏明確法源依據與制度設計等課題，錄供主管機關參考。至於所提本報告或可就現行無人機法律體系之位階、整合與不足進行更為全面之檢視，並引入比較法觀點以強化法制論述等節，或可於本報告後續研究若以探討無人機應用相關法制為主題時再行探討。