

空中計程車發展趨勢初探

Preliminary Analysis of Flying Taxi

運輸工程組 符玉梅 研究員

研究期間：民國108年1月至108年12月

摘 要

現今全球 55% 的人口居住在城市，聯合國預估 2050 年前將增加為 68%，城市地面交通壅塞及空氣污染情形恐更甚今日，一些超大型城市尤其如此，為解決此問題，包括平台業者如 Uber、航太產業如空中巴士、汽車製造商及多家新創公司如 Volocopter、Lilium Jet 等已將目光轉向可供城市空中移動之載具（一般稱空中計程車），全球有些城市已與業者合作進行相關計畫及測試，不久將來相關產品即有可能開始商業運作，進而成為城市移動方式之另一種選項。

本研究蒐集歐美等地有關空中計程車(以電力提供動力、具備垂直起飛及降落能力之電動垂直起降載具)之發展方向及進展，以瞭解掌握國際間有關空中計程車之發展現況及趨勢，並研提相關結論與建議，供未來增修相關規範參考。

關鍵詞：

空中計程車、垂直起降、eVTOL

空中計程車發展趨勢初探

一、前言

1.1 研究背景及目的

目前全球 55% 的人口居住在城市，聯合國預估在 2050 年前將增加至 68%，城市地面交通壅塞及空氣污染情形將更甚今日^[1]，大型城市尤其如此。為減少空氣污染此問題，全球有多家公司刻正發展以電力提供動力之空中交通工具電動航空器，為解決道路交通壅塞問題，包括平台業者 Uber、航太產業、汽車製造商及多家新創公司則將目光轉向可提供城市空中移動之創新式垂直起降(vertical takeoff and landing, VTOL)載具，著眼點即在於垂直起降載具不需跑道即可起飛及降落，可避開地面塞車而節省交通時間，並將電動與垂直起降兩者結合成為電動垂直起降 (electronic vertical takeoff and landing, eVTOL) 載具。此種載具現多以空中計程車(Air taxis)或飛行汽車(flying cars)稱之，全球已有城市(如洛杉磯、達拉斯、墨爾本、廣州等)與業者合作試辦相關計畫。以目前相關技術發展進度，預期未來數年相關產品就有可能開始提供商業服務，而成為城市空中移動的另一種選項，未來更將融入既有的交通運輸體系，成為城市移動不可或缺的一部分。

本研究蒐集國際間有關空中計程車之技術進展及限制、可能發展方向及相關規範，以瞭解掌握其市場現況、未來趨勢、有待解決面向等，最後研提結論與建議供相關單位參考。

1.2 研究範圍

城市空中移動成為航空業創新發展最熱門的區塊，主要因傳統直昇機價格較為昂貴、能源效率較差，且噪音量大，並不適合飛行於人口密集之城市上空，而依據聯合國統計，航空業的二氧化碳產生量約佔全球總量的 2%，隨著航空產業持續成長，預估 2050 年時將增至全球總量的 3%^[2]，相關業者已著手發展不會產生排放問題之電力推進系統飛機(即電動航空器)，本研究之研究範圍設定在以電力提供動力、具備垂直起飛及降落能力之電動垂直起降載具。

二、文獻回顧

2.1 相關文獻

Wayne Johnson(2018)等認為城市空中計程車為城市空中移動(urban air mobility, UAM)或隨選移動(on-demand mobility)之應用^[3]。R. John Hansman 等(2016)認為城市內空中隨選移動是一種多運具、點對點之城市內運輸，因為電動航空器及自動駕駛技術的進步而成為可能，此種空中隨選移動能克服高速公路或運輸基礎設施之限制以及壅塞問題、可擴大城市移動範圍、提供民眾多樣化的移動選項，主要挑戰包括空域整合、空中交通相互影響、地面基礎設施、噪音管理、相關操作及認證事宜^[4]。黃世禎(2018)認為鄉村人口逐漸向城市遷移集中，鄉村偏遠及山區區域幅員廣大，對於民生關鍵物資之運送是一項待克服的挑戰，如何擴大使用無人機協助醫藥與物資的運送管理，是嶄新革命性的任務，對於解決人力之不足與風險是一大助益^[5]。李佩嫻(2018)認為網路環境成熟發展，智慧型手機普及使用，社群媒體迅速發展，使得供需雙方能更快速更大規模媒合，降低搜尋與配對的成本，讓資源共享變得更容易且更有效率，行動叫車服務平台Uber就是共享經濟潮流下的代表範例，未來會有更多方面的應用，包括無人駕駛汽車、空中計程車，而一鍵呼叫、垂直起降、自動駕駛是未來的發展方向，Uber之部署策略除全面化之自動駕駛汽車外，並著手研發飛行計程車^[6]。

熊治民(2018)表示輕型電動垂直起降飛行器逐漸興起，此種飛行器俗稱飛行車(flying car)，是一種可搭載1~數人、具備垂直起降能力、使用純電動或油電混合動力，並具備某種程度自主駕駛或自動輔助駕駛功能的飛行器^[7]。Roland Berger Focus(2018)認為城市內電動垂直起降(eVTOL)載具需具備某些特性，對旅客才會有吸引力，包括必須為最快速的移動選項、合理的費率、安全而愉悅的飛行經驗、為整合之移動解決方案等，而便利性則是旅客是否使用電動垂直起降載具服務的關鍵指標^[8]。

Uber(2016)認為隨選空中運輸服務有可能徹底改善城市移動問題，但市場進入仍存在一些障礙，包括安全、認證程序、電池技術、載具效率、載具性能及可靠度、飛航管制、成本及可負擔性、起降場基礎設施、駕駛員訓練等等，並從載具、基礎設施與操作、搭乘者經驗及經濟面四個面向探討垂直起降載具市場進入之可行性^[9]。熊治民(2017)表示飛行車係指具自主飛行能力且可載人之輕型垂直起降飛行器，此種飛行器可垂直起降、更易於駕駛與使用、整體使用成本低，在某些市場具發展潛力，例如中短程

空中客製化的需求式移動服務，或是具有時效性、需快速運送人員之公眾事務需求(如緊急運送救災、醫護等人員抵達災難現場，並將傷患快速送醫)；此外，也可能吸引高端消費者，而成為私人公司或個人擁有之交通工具，如果成本可進一步降低，可望成為偏遠地區、山區、離島居民之運輸工具選項^[10]。

陳守義(2019)表示歐盟對無人飛機的定義是指任何飛機沒有飛行員在飛機上操控，乘客在飛機上並未被排除，其對無人機檢定係以 Certification Specification (CS, 如 CS-23、CS-27 等)加上 14 個特殊規定(Special Condition, SC)為之。美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)是以特別類別飛機檢定之方式執行無人機檢定，並發給限制類型別檢定證(Restricted Category Type Certificate)，同時發給特殊飛行許可(Special Flight Permit)讓其飛行^[11]。Graham Warwick(2019)表示城市空中移動是否可行的最大障礙在新的適航驗證規定，歐洲航空安全署(European Union Aviation Safety Agency, EASA)於諮詢相關業界意見後，安全部分以最高標準，提出可接受的符合性方式供業界使用，並於 2019 年 7 月發布全球首個垂直起降載具的檢定規定 SC-VTOL-01 供相關產業參考。下一步則是發展業界標準供電動垂直起降載具製造商用以展示其產品符合檢定需求，另與美國 FAA 協調出較為一致的標準以及發展 eVTOL 的操作規範，為未來需努力的兩件重要事項^[12]。Graham Warwick (2019)認為多數電動垂直起降載具(eVTOL)研發者仍須募集大量資金以建置原型機，也必須發展建置起降場基礎設施及空域程序等，除此之外，載具本身必須取得適航認證，另亦需制訂相關操作規定，即便尚有如此多問題待解決，Uber 仍堅持其計畫，將在 2020 年於洛杉磯、達拉斯及澳洲墨爾本三城市展開飛行，並自 2023 年起以少數通過認證之載具提供商業服務，其他如德國新創公司 Volocopter 及 Lilium 之 eVTOL 亦已成功試飛^[13]。Citi GPS(2019)研究報告提出目前發展中的電動航空器之優勢及限制，並探討電動垂直起降載具相關法規需求，包括適航驗證、噪音水準、使用空域限制、操作認證、使用執照、飛航管制、載具登記註冊、駕駛執照等面向之法規^[14]。Porsche Consulting(2018)預估 2035 年之前，垂直移動載具市場規模 740 億美元，其中載客部分為 320 億元^[14]。Volocopter(2019)指出城市空中計程車係以相較其他運輸工具具有競爭優勢之價格，在界定之都會區域內，將乘客及行李由 A 地運送至 B 地，而為達成此種任務，電動垂直起降載具至少需在安全與認證、噪音排放、航程及航速、作業成本、乘客座位數及乘客使用性等面向滿足相關需求^[16]。

2.2 小結

在技術進步、經濟發展及共享經濟潮流驅動下，預期未來城市空中移動將蓬勃發展。城市內空中隨選移動此種多運具、點對點之城市內運輸，能克服高速公路或運輸基礎設施之限制以及壅塞問題、可擴大城市移動範圍、提供民眾多樣化的移動選項，以電力為動力之電動垂直起降載具具有垂直起飛及降落之能力、可減少碳排放及降低於城市上空飛行之噪音量，係能夠提高整體運輸效能、改善城市土地使用的可能方案之一。

三、空中計程車發展概述

全球持續關注節能減碳議題，使得航空器產生的碳排放持續受到關注與控制，具有低排放及高能源使用效率之電動推進航空器，遂逐漸成為歐美航太研究機構與廠商新技術發展重點。此外，全球持續朝都市化發展，預估 2030 年時全球 60% 的人口係居住在都市內，擁擠的交通及交通基礎設施不足將成為重要議題，發展城市內、城市與郊區間、城際間的空中運輸方案，將為提高整體運輸效能、改善城市土地使用的可能方案^[7]。

3.1 電動航空器

電動航空器使用電力推進系統，可降低排放，將可大幅減少航空業碳排放佔全球排放量的佔比；此外，電動航空器運轉所需零件較一般噴射機少，維修需求相對較少，故可減少維修成本及增加可靠度，並降低操作成本，而噪音污染減少則可增加便利性及隱性需求，且所需基礎設施成本相較其他種類運具較低，但諸如電池技術尚未成熟、開發新技術的先期投資相當大、需另投資航機充電所需之基礎設施，以及大眾接受度等問題可能影響其未來發展，電動航空器相關優點及限制如圖 3-1^[1]。

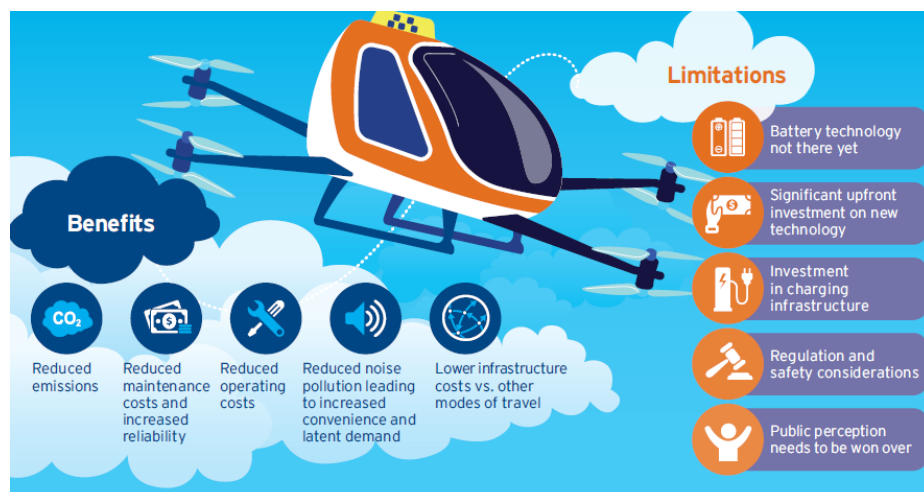


圖 3-1 電動航空器優點及限制

資料來源：Citi GPS

圖 3-2 為有關電動航空器市場應用期程之預估，由圖可知 2025 年時電動航空器可能發展應用做為城市空中計程車，2030 年時可能出現以電力提供動力之區域型航空器，而 2040 年電動航空器即可能會應用於短程及長程航線上。



圖 3-2 電動航空器優點及限制

資料來源：Citi GPS

歐洲地區較早開始發展電動航空器，目前大部分集中在北美及歐洲地區(如圖 3-3)，驅動電動航空器成長的原因之一為城市空中移動(urban air mobility, UAM)趨勢的出現。近年城市空中移動載具成長速度遠高於其他類型航空器，2016 年以來每年成長率達 90%，其中具備垂直起飛及降落能力之電動垂直起降載具(eVTOL)之成長最為快速，空中計程車即為重要應用。

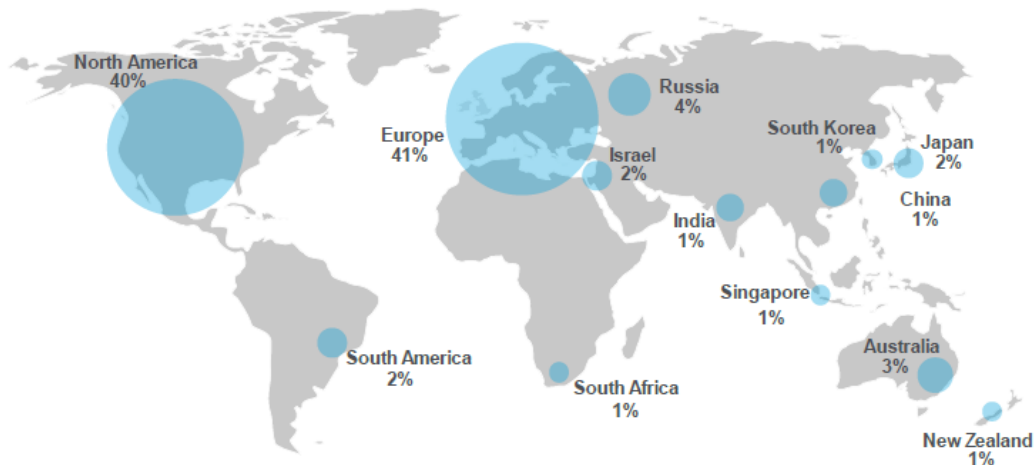


圖 3-3 全球電動航空器發展情形

資料來源：Roland Berger Electric Aircraft Database

3.2 空中計程車應用

電動航空器及自動駕駛技術的進步，使得城市空中移動概念得以具體

實現，而通訊技術的進步、GPS 精確度提升、感應器較輕小而便宜、能源需求較少之微處理器、能量儲存最佳化、資料分析及人工智慧的進步等，皆有助空中計程車此一城市空中移動服務的發展。空中計程車不需跑道即可起降、可節省時間、空間及操作成本，在不考慮相關成本條件下，單就移動時間來看，當距離超過 10 英里時，空中計程車比一般計程車較為節省時間(如圖 3-4) ^[1]。而隨著相關技術及產品漸趨成熟，建構低成本、安全可靠、易操控使用之個人飛行器，已具備工程與經濟上的可能性，更進一步驅動對空中計程車之市場需求 ^[7]，使空中計程車未來可成為城市移動不可或缺的一環。

屆時旅客使用空中計程車之流程示意圖如圖 3-5，將類似目前之行動叫車服務平台 Uber 之作業模式，首先旅客需選擇所需之移動運具，接著訂購擬搭乘之空中計程車，之後透過地面運具前往附近之空中計程車起降場，在起降場搭乘做為空中計程車之電動垂直起降載具飛行，抵達目的地附近之空中計程車起降場，最後再透過地面運具到達最終目的地 ^[14]。

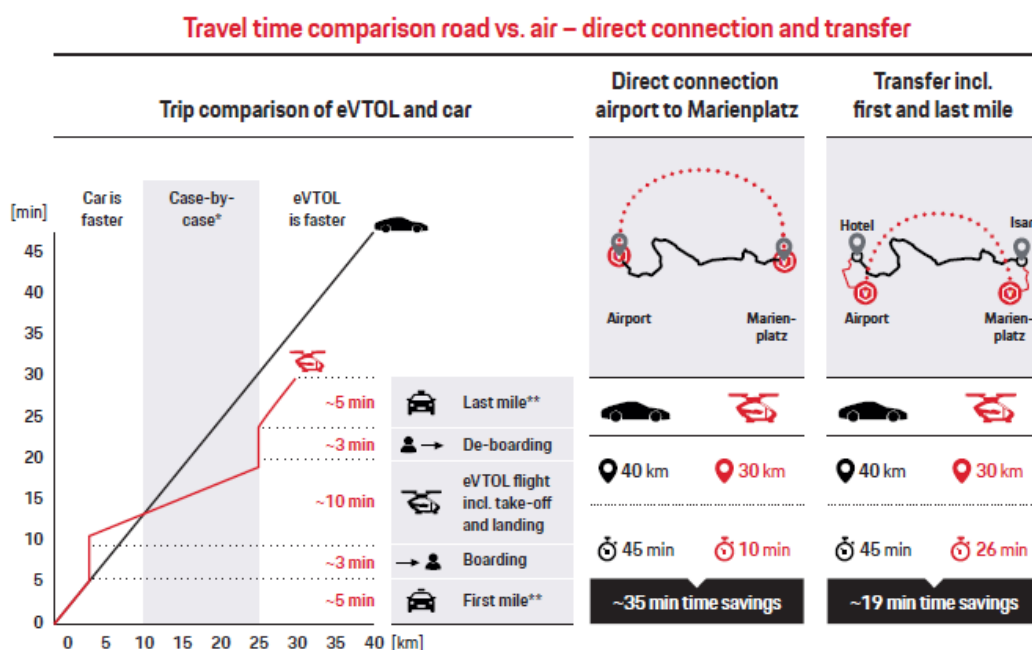


圖 3-4 電動垂直起降載具與汽車移動比較
資料來源：porsche Consulting

Customer journey on-demand eVTOL air taxi

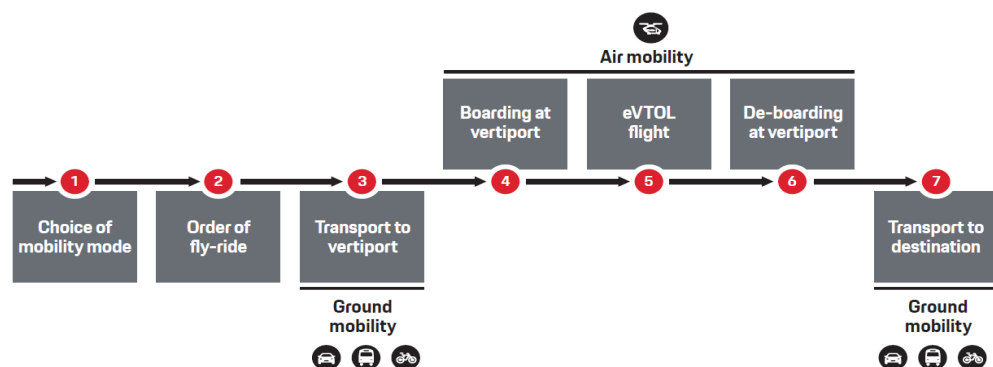


圖 3-5 旅客使用空中計程車示意圖

資料來源：Porsche Consulting

圖 3-6 為城市空中移動之操作概念，顯示使用城市空中移動服務與地面共乘服務兩者差異，城市空中移動服務必須包含使用地面運具自出發地前往空中載具起飛之飛行場，以及自空中載具降落之飛行場前往最終目的地兩個階段^[15]。

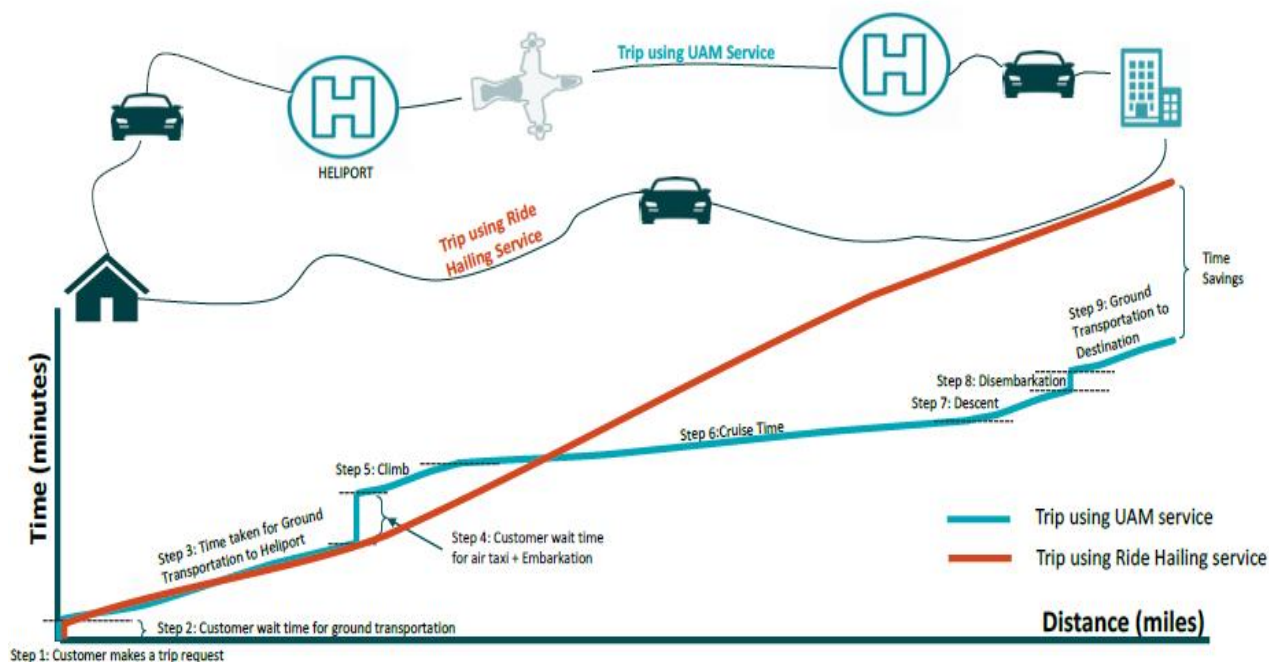


圖 3-6 城市空中移動服務與路上共乘服務差異

資料來源：Booz Allen Hamilton

預期全球第一條商用城市空中航線將於 2025 年出現，此種城市空中航線未來會以空中計程車、往返機場服務以及城際飛行三大類應用為主，三種類型應用之飛航型態及路線如圖 3-7。

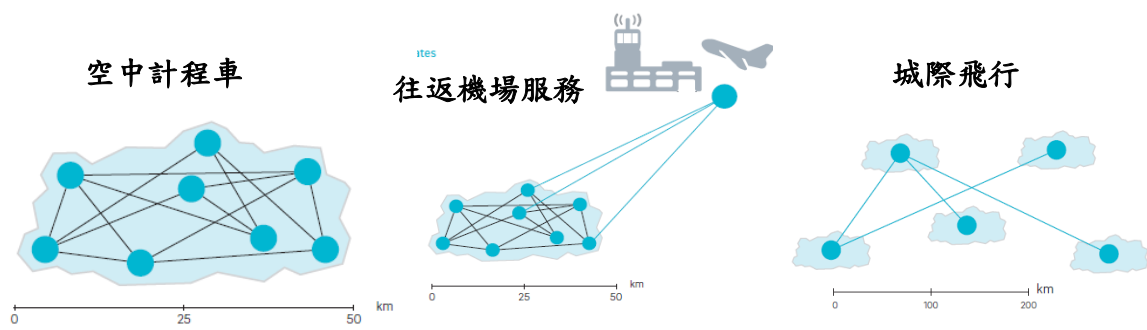


圖 3-7 城市空中移動載具飛航路線型態
資料來源：Roland Berger Focus

在空中計程車部分，載具需至少可搭載 1-2 人(另包含約 20 公斤之手提行李)，需可飛行 15-50 公里，再外加 20 公里之安全餘裕，其降落機坪須遍佈城市主要地點以便利旅客選搭，而服務提供者需能允許旅客隨選預約，且相關管理系統應能依旅客需求型態派遣飛機。在往返機場服務部分，係降落機坪往返機場之定期航線，需可搭載 2-4 人(包含 50-80 公斤行李)，該降落機坪應位於城市之重要地點及機場。至於在城際飛行部分，載具需至少可搭載 2-4 人(另包含 20-40 公斤行李)，飛行距離介於 50-250 公里，再外加 50 公里安全餘裕^[8]。

特別是往返機場服務部分，依據研發電動垂直起降載具之新創公司 Volocopter 調查之全球 100 個主要機場，其中 93 個機場距離市中心 30 公里以內(如圖 3-8)，而行動叫車共享平台之統計也顯示 17% 之叫車服務目的係為往返機場，由此可推測未來空中計程車最早的應用面向可能是提供往返機場服務^[11]。

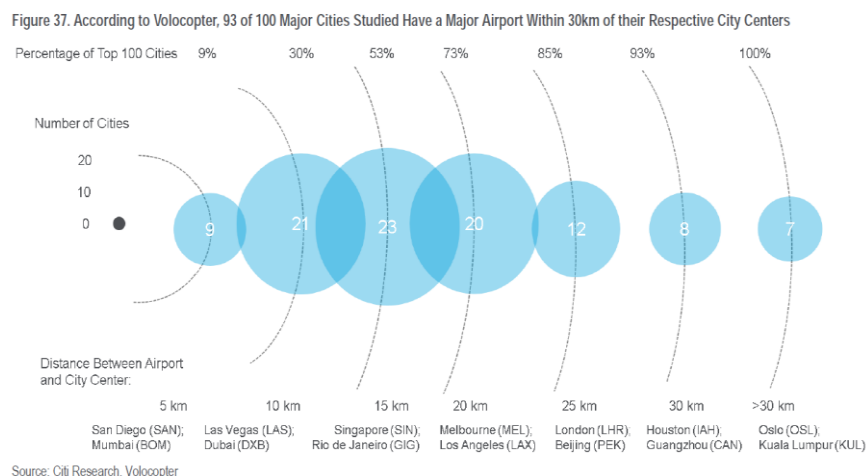


圖 3-8 全球 100 個主要機場與城市中心之距離
資料來源：Citi Research, Volocopter

即便如此，城市空中移動載具並不會因此取代既有的任何運輸工具，

但未來會成為全球主要城市之移動上的關鍵一環^[8]，因為研究發現距離在 20 公里以上時，垂直移動載具才有可能打敗其他種類運具(如計程車)，並吸引旅客搭乘，故此類載具只會是整個城市運輸系統中的一個小區塊。而在可預見的未來，其實也毋需擔心滿天載客無人機，因為即便是在人口 500-1000 萬的大城市，至 2035 年時其上空至多千架載客無人機，主要提供樞紐對樞紐的服務，仍必須仰賴其他形式之運具，即垂直移動載具載客無人機仍必須與第一哩及最後一哩的運具相連結，而非一種端對端(end-to-end)的解決方案^[14]。

有研究預估在 2035 年之前，垂直移動市場規模在 2035 年之前可達 740 億美元(包括檢測 340 億、貨運 40 億、支援服務 40 億、載客 320 億)，其中載客部分包括供運送私家旅客，及提供大眾移動服務等，以滿足城市內及城際間移動需求，圖 3-9 顯示 2025 年空中計程車可能開始提供載客之商業服務，初期主要會是在全球大城市連結機場與市中心，為商務人士提供短程服務，到 2035 年時電動載客無人機甚至可能發展出自己的客運航網，預估屆時全球將有 23,000 架電動垂直起降載具提供載客服務，而 320 億美元市場規模中，城市內移動約 210 億，城際移動規模約 110 億^[14]。

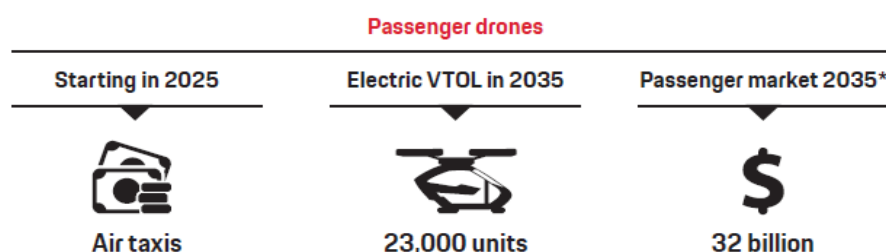


圖 3-9 載客無人機發展預估
資料來源：Porsche Consulting

3.3 市場發展^[14]

3.3.1 障礙及挑戰

提供城市空中移動之垂直起降載具(eVTOL)雖為航空業創新發展最熱門區塊，但垂直移動能否滿足包括航空器系統之基本技術、核准操作及維修所需之認證要求及法規、社會接受度以及基礎設施部分等各面向之要求，將影響共享經濟能否真正從地面擴展到天空。

航空器系統之基本技術面(包括推進力部分)：

垂直起降載具依其設計可概略分為 multirotor、Lift & Cruise 及 Tilt-X 三類，其進入市場期程快慢、飛行速度、飛行航線及潛在市場各不相同(詳圖 3-10)。目前發展之 eVTOL 多屬 multirotor，一般稱為多旋翼飛行器或多

軸飛行器，係由軸末端之馬達轉動帶動旋翼而產生上升動力，其結構相對單純，預估為三者當中最快取得主管機關認證而進入市場者，每小時飛行速度可能介於 70 至 120 公里之間，主要應用市場為城市內之飛航，無法提供供城際間較長距離之飛航服務。Tilt-X 由傾斜旋翼推進器提供垂直升力及向前之推力，其結構較為複雜，可能需很長時間才能取得認證，故進入市場時間會最晚，每小時飛行速度可能達 150-300 公里，城市內及城際間長距離之飛航皆可提供；Lift & Cruise 係由不同的推進器提供垂直上升及向前之推力，其結構複雜度、進入市場時間及飛行速度則介於前述 2 者之間。

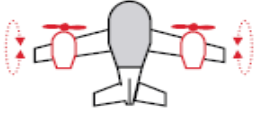
Simplified aerodynamic vertical mobility concepts			
	Single phase	Dual phase	Transition phase
			
	MULTIROTOR lift	LIFT AND CRUISE combination	TILT-X tilt-wing, tilt-rotor, tilt-duct
Time to market	Fastest certification	Slower certification	Slowest certification
Travel speed (indicative)	~70–120 km/h	~150–200 km/h	~150–300 km/h
Routes	Selected	All	All
Potential	~70% of intracity 0% of city-to-city	100% of intracity 100% of city-to-city	100% of intracity 100% of city-to-city

圖 3-10 垂直移動載具設計差異
資料來源：Porsche Consulting

電動垂直起降載具雖然比傳統直升機安靜、可靠、安全，使用費用也較低，但用以提供動力之電池能量密度不佳，嚴重限制現行電動垂直起降載具的續航能力，此為載客無人機最大的限制，也是空中計程車未來發展最重要的關鍵。不同於電動車所用電池著重於體積能量密度(volumetric energy density，一般以每公升瓦小時(watt-hour per liter)表示)，而重量為航空器的重要限制因素，電動航空器所用電池則著重於重量能量密度(gravimetric energy density)^[1]，一般以每公斤瓦小時(watt-hour per kg)表示。電池的大小與其效率、充電時間以及成本之間相互影響，如圖 3-11 說明在安全的前提下，電池能量密度增加會增加電池成本，充電時間減少將降低電池的能量密度，同時也會增加電池成本。預期未來幾年電池技術之提升，目前航空用器所用之鋰電池之能量密度可增為每公斤 300 瓦小時，未來電池技術更進步時，有機會提升至每公斤 350-400 瓦小時，屆時可提供載

具足夠的續航力，可飛行更遠距離，載重及電池充電次數皆可望增加^[14]。

Figure 14. Citi's Battery Challenges Diagram

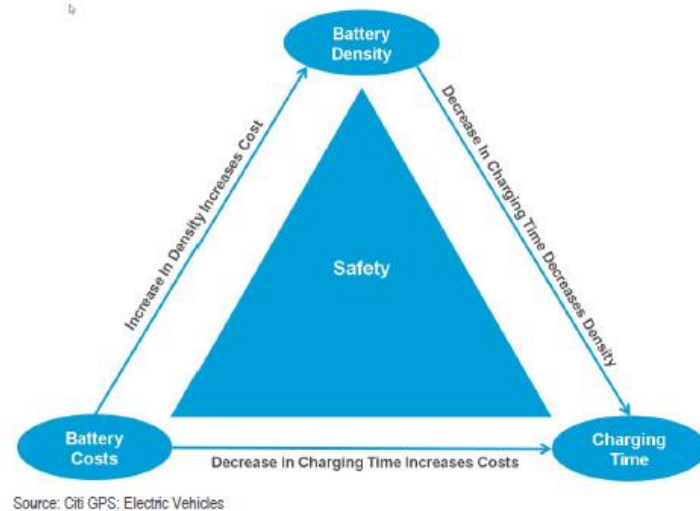


圖 3-11 電池密度、成本級充電時間關聯
資料來源：Citi GPS：Electric Vehicles

核准操作及維修所需認證要求及法規面：

依現行全球兩大民航監理單位(美國 FAA 及歐盟 EASA)作法，針對商用客機係採高度監理作為，空中計程車為載人載具應會比照現行商用客機之監理程度及強度，並以既有規範為基礎，漸進式發展新的檢定認證標準。此外，對於空域的使用及飛航管制相關問題亦需另做規範。

社會接受度面：

社會大眾能否接受並實際使用垂直移動載至為重要，因此垂直移動載具在安全、視覺及噪音污染等方面問題需先解決，且須融為整個城市移動的一部分，讓每個人能因此受益，而非像現今的直升機僅有錢人可以使用。有關噪音問題，有專家提出無人機在 300 呎飛航高度時，噪音量以 65 分貝為限(約為目前直升機的 1/4)，但實際噪音值仍需視周遭噪音情況、與載具的距離、載具本身的噪音特性及最大噪音值而定。

基礎設施面：

城市必須要有足夠數量之場地以供電動垂直起降載具起降、停放^[14]，而基礎設施應由誰設置，以及設施是否完備(能否提供飛行載具充電、處理旅客及連結其他類型運具)等，也需釐清確認。

全球共享叫車服務龍頭 Uber 認為垂直起降生態系內之關係者，如法規制訂者、載具設計者、社區、城市及航網營運者有效地協同合作，以垂直移動載具發展隨選城市空中運輸服務之目標，在未來十年內有可能達成，

但會面臨以下主要挑戰與難題：

1. 檢定程序：電動垂直起降載具為一種新型航空器，載具的某些特性從未經過認證(如分散式電動推進系統(distributed electric propulsion, DEP))，欲取得適航檢定可能耗時多年；更重要的是，核准此類新型航空器操作及維修應遵循之認證要求及法規，目前尚在建置階段。
2. 電池技術：電池為空中計程車推力來源，但電池壽命、充電時間、充電次數等問題皆有待解決。以目前的電池技術尚無法提供空中計程車足夠之續航力，以滿足長距離飛行要求，充電速度也不足因應空中計程車高頻率空中共乘服務之需求。
3. 載具效率：現行直昇機之能源效率低，空中計程車可能使用分散式電動推進系統，或能大幅提升能源效率，惟仍存有些風險。
4. 載具性能及系統可靠度：電動垂直起降載具強調可節省時間，至於能節省多少時間會受載具巡航速度、起飛降落時間等性能影響。此外，空中計程車為小型飛行器，非常容易受天候因素影響，如果載具性能不足因應不同天候狀況時，可能有相當高比例之機隊必須停留於地面，無法於空中飛航提供服務。
5. 飛航管制：越來越多電動垂直起降載具於城市上空低高度空域飛行時，既有為民航機提供飛航服務之飛航管理系統恐不足因應，為確保航機安全隔離，需有新的系統因應。
6. 成本及可負擔性：直昇機為與垂直起降載具最相近之運具，能源效率不佳、維修極為昂貴，高噪音更限制其於都市地區的使用，致市場需求不高，垂直起降載具或可因市場需求大具有經濟規模，而使生產成本及售價降低。
7. 安全性：做為空中計程車之電動垂直起降載具為空中移動運具的選項之一，必須比路上開車更為安全。
8. 航空器噪音：城市空中運輸之運具能否為民眾接受，運具噪音量實為關鍵，電力推進系統可降低引擎的噪音及螺旋槳推力的噪音，航空器噪音對社區之衝擊因而減少。
9. 排放：電動垂直起降載具採電力推動設計，飛航操作時零排放。
10. 垂直起降基礎設施：於城市內佈設電動垂直起降載具機隊最大的障礙，在於缺少足夠的場地可供設置停機坪及充電設施，如此恐使空中計程車無法發揮最大效能。
11. 駕駛員訓練：當電動垂直起降載具需求及使用規模增加時，駕駛員短缺問題可能會限制其成長及市場發展，此問題或許可以透過駕駛員擴增實

境訓練技術解決^[9]。

3.3.2 普及化議題

雖然預期垂直移動載具將成為整個城市移動中不可或缺的一部份^[14]，然而空中計程車最終能否普及化並為大眾廣泛應用，仍受諸多因素影響，例如成本、技術、安全規範等：

1. 成本：空中計程車本身可能相當昂貴，每架價格可能介於 30 萬至數百萬美元間，因此主要的擁有人可能是營運商(可能以融資方式購買)，而非一般個人；除了持有成本外，還需將駕駛員、維修以及系統軟體等操作成本納入考量。未來如果空中計程車因需求量大而產量增加時，單位成本及維修成本即可降低，如再搭配自動駕駛技術發展成熟，操作成本也可進一步下降。
2. 生命週期：一般航空器的生命週期約 25 年，並以此為基礎攤銷成本，一般車輛生命週期約以 8-10 年計，預估空中計程車生命週期將介於 10 至 15 年間。
3. 技術：目前電池技術發展或許尚可因應空中計程車所需之飛行距離，然電池充電次數及電池壽命問題仍是令人頭痛的問題。此外，空中防撞等感應技術未臻完善，仍有精進空間，5G 通訊網路技術的進步，應能提供空中計程車較佳之導航功能，可確保空中安全。
4. 安全及規範：旅客搭乘空中計程車如同是搭乘民航機，特別是空中計程車之發展尚不成熟，因此美國 FAA 及歐盟 EASA 等監理機關可能對其採高度監理機制。
5. 通訊：在空之空中計程車除了要能與航管單位通訊外，彼此間亦需能相互通訊，以避免空中互撞，因此空中計程車是否配備能提供精確在空位置之機載裝備至為重要。
6. 保安問題：與搭乘民用航空器相似，空中計程車的製造商、營運者、主管單位等各利益關係人應確保最高等級之保安，以避免受恐攻、資安等潛在威脅。
7. 確認禁航區：禁止空中計程車飛航之空域應予確認。
8. 天候：天候是影響航空飛行的一項重要要素，特別是對像空中計程車等之小型飛機，而空中計程車係於低高度空域飛航，因此極易受風及低能見度等天候因素影響。
9. 社會大眾接受度：空中計程車能否普及最大關鍵在大眾的接受程度，包括空中計程車的安全性、噪音、空中乘客與地面居民之安全等問題社會大眾最為關切，特別是對於民眾來說，乘坐無人操作之航空器在心理上

會有相當的障礙。

10. 個別旅客差異性：對空中計程車來說，重量係極為重要之因素，營運者需先決定如何處理搭乘旅客及其行李問題，包括是否對體重設下限制，另孩童、有特殊需求之旅客如何處理等^[1]。

3.3.3 小結

可供城市空中移動之垂直起降載具，特別是空中計程車雖為航空業創新發展最熱門區塊，但技術面、認證要求及法規面、社會接受度、基礎設施等面向仍有些障礙及挑戰，恐會影響市場發展；此外，關係到空中計程車未來能否普及之相關因素亦需設法解決，才可能使共享經濟真正從地面擴展到天空。

3.4 市場現況

全球多家公司刻正發展以電力提供動力之空中交通工具，城市空中移動發展雖然仍有些問題尚待解決，目前包括航太業者 Airbus、行動叫車平台業者 Uber 以及 Lilium Aviation、Volocopter、億航智能(EHang)等新創公司所研發之空中移動載具已試飛成功，未來如相關法規許可，不久將來可實際提供商業服務。相關公司之空中移動載具研發雖係以自動駕駛為前提設計，然考量現階段社會大眾對無人載具仍有疑慮，故在提供商業服務初期仍係由駕駛員操控載具飛行，最終目標則為自動駕駛。

3.4.1 Lilium Aviation^[18]

為 2015 年成立之德國新創公司，其所研發之 Lilium Aviation(圖 3-12)特色為使用分散式電動推進系統(DEP)，由 36 組小型電動馬達-螺旋槳做為舉升及推進動力；載具起降時，位於主翼上方之電動螺旋槳會旋轉 90 度以提供升力^[17]。該飛行器於 2017 年 4 月完成首次試飛，最大起飛重量可達 600 公斤，最大酬載重量 200 公斤，時速最高達 300 公里，飛行距離可達 300 公里^[18]，其速度及航程較目前在發展中的大部份電動垂直起降載具為高，該公司將其目標市場鎖定都會區及城際之飛行。

Lilium Aviation 另已完成 5 人座之原型機試飛，重量約 1.5 公噸，由 36 具全電動噴射引擎提供動力，預估最高時速為 300 公里，可持續飛行 1 小時。該公司預計最快 2025 年起在德國至少 2 個城市提供空中計程車服務，初期將由持有商業執照之飛行員駕駛飛航，預計從 2035 年開始將採全自動駕駛，並將使用該公司專屬之預訂平台管理^[17]。

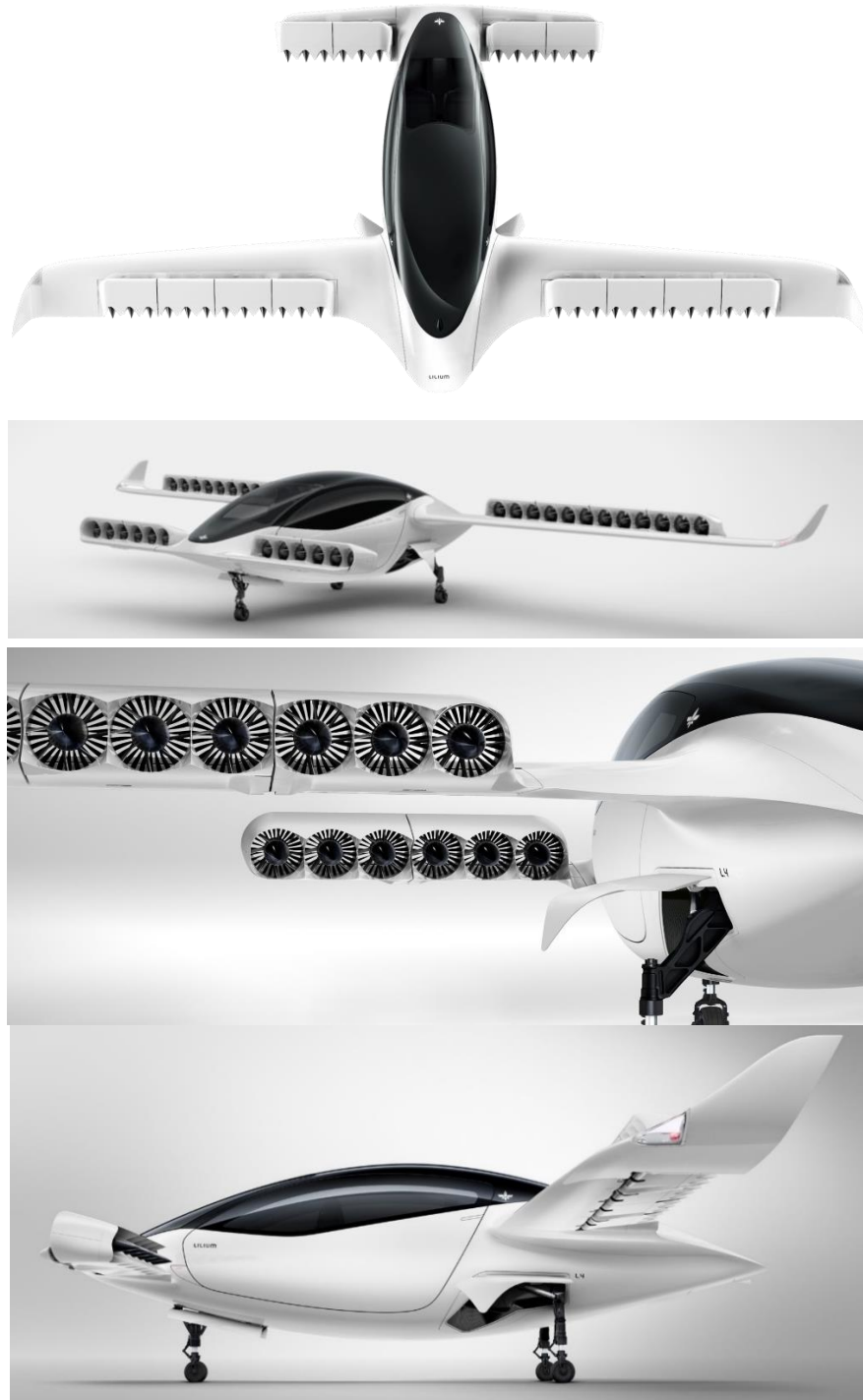


圖 3-12 Lilium Jet

資料來源：Lilium Aviation 網頁

3.4.2 Volocopter^[16]

為德國無人機製造之新創公司，其所研發之電動垂直起降載具名為 Volocity(如圖 3-13)，具有 18 個螺旋槳，淨重 700 公斤，最大起飛重量 900 公斤，採電池抽換模式，飛行距離約 35 公里，每小時最大空速可達 110 公里，可乘載 2 名乘客及手提行李，最大載重 200 公斤。Volocity 已於杜拜、

赫爾辛基、德國等地試飛，並於 2019 年 10 月 22 日首次在市中心飛航(新加坡濱海灣)，該公司預計於可於 2-4 年內開始商業服務，新加坡可能為亞洲首站，未來計劃拓展至雅加達、馬尼拉、曼谷等亞洲交通壅塞城市，及印度與中國大陸。



圖 3-13 Volocity
資料來源：Volocopter

在地面場站部分，由該公司合作夥伴 Skyports 負責設計之 VoloPort 係採模組式設計易於擴充，可佈設於大樓屋頂、車站、停車場等地，以供 Volocity 及其他廠商開發之空中計程車使用及上下旅客^{【16】}，並於 2019 年 10 月份於新加坡舉行之 ITS World Congress 上公開展示原型(如圖 3-14 至圖 3-16)。該 VoloPort 設於濱海灣浮動舞台，總面積約 2,500 平方英尺，設有登機廊、停機坪及充電設施(圖 3-17)，乘客上機後，VoloPort 裝設的移動裝置會將 Volocity 移至室外的停機坪(圖 3-18)準備起飛^{【19】}。



圖 3-14 VoloPort 外觀
資料來源：hket



圖 3-15 VoloPort 內部
資料來源：Volocopter



圖 3-16 旅客於 VoloPort 內
資料來源：hket



圖 3-17 Voloport 站內電動垂直起降載具的電池充電設施
資料來源：hket

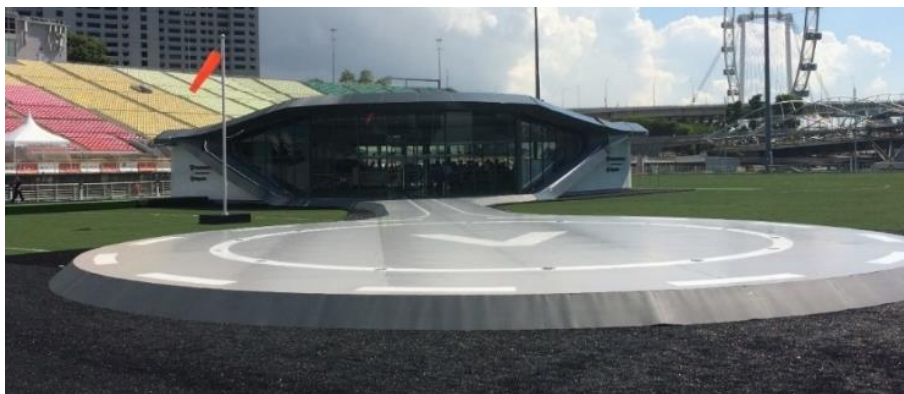


圖 3-18 供 Volocity 之停機坪
資料來源：Volocopter

3.4.3 億航智能技術公司

為中國大陸無人機製造之新創公司，其與戰略合作伙伴奧地利航太公司 FACC AG(Fischer Advanced Composite Components AG)合作生產之「億航 216」(EHang 216, 如圖 3-19)，具 8 軸 16 個螺旋槳，可乘坐載 2 人，時速 150-160 公里/時，航程 70 公里，售價約 30 萬歐元^[20]，2019 年 4 月初於維也納首次載人飛行展示，目前最高可以時速 135 英里飛行 35 公里，最大承

重 220 公斤^{【21】}，今年 1 月在美國首次公開飛行，並獲 FAA 頒發美國首張自動駕駛載人飛行器特許飛行證，為其城市空中交通解決方案引入美國市場的重要一步^{【22】}。

廣州已經大陸官方核准成為空中計程車試辦城市，初期計劃開闢 4 條航線，億航公司獲大陸民航局授權成為大陸首家且唯一的載人無人機適航審定試辦單位，該公司即以其載人級自動駕駛飛行器「億航 216」參與廣州之載人無人機試辦計畫，將協助大陸官方進行相關分析，及制定「載人無人機適航標準」與驗證方法^{【23、24】}。



圖 3-19 億航 216

資料來源：億航公司網頁

3.4.4 Airbus

Airbus 從多個面向處理城市空中移動問題，其一為 Voom 直昇機出租服務，另一個則是空中計程車 CityAirbus。CityAirbus 為 4 人座之電動垂直起降載具，展示機重 2.2 公噸，長寬各 8 公尺，時速 120 公里，推力來自於 8 個 100 瓩之馬達，並備有 4 個 140 瓩小時之鋰電池，螺旋槳可在 2 秒鐘內停止，載具降落後旅客可立即離開(一般直升機須待螺旋槳葉片完全停止旋轉)^{【25】}，其原型機已於 2019 年 5 月於德國試飛成功(如圖 3-20)。此外，Airbus 已與管理法國巴黎公共汽車、火車及地下運輸之巴黎大眾運輸公司 RATP 合作開發飛行運輸工具，將研議利用現有的基礎設施如地上車站做為起降場，供此種飛行車使用^{【26】}。



圖 3-20 CityAirbus 原型機

資料來源：Airbus 網頁

3.4.5 Uber^[9、27、28]

Uber 認為隨選空中運輸服務有可能徹底改善城市移動問題，並於 2016 年舉辦的 Uber Elevate 峰會上發表該公司之空中計程車白皮書 Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation，說明其對城市空中移動之想法及未來發展方向，同時提出其對未來城市空中移動載具之基本要求如下：

1. 可垂直起降、於飛行任何階段遇危急狀況可安全垂直降落；
2. 通過認證之載具發生重大故障情形時(例如在飛行的任何階段與發生鳥擊事件)，載具必須具備安全垂直降落的能力；
3. 載具必須完全以電池提供動力；
4. 於 500 呎高度時噪音需比現行直升機低 15 分貝(70 分貝)；
5. 地面場站可同時供多架載具起降，並提供載具充電之設施，同時便利乘客進出；
6. 採用快速充電方式減少地面作業時間；
7. 載具具有自動駕駛能力，但初期仍將由駕駛員操控飛行；
8. 載具須具備接收飛航計畫、報告所在位置與電池狀態之能力；
9. 除駕駛外，需有足夠空間搭載 3-4 名乘客，最大酬載重量至少 980 磅(包括乘客行李在內)；
10. 不需使用螺旋槳或旋翼，而以其他方式讓載具能於地面滑行；
11. 受限於都會環境，載具長寬至多 50 呎，高度至多 20 呎。

Uber 已經與 Embraer、Bell、波音旗下 Aruora Flight Sciences 等多

家航太廠商合作研發飛行載具，同時與房地產商合作開發起降場站與充電設備，並於 2019 年年 6 月發表首款 Uber Air 空中計程車機艙設計(如圖 3-21)，該款設計除駕駛員外，可另搭載 4 位乘客，Uber 並已選定洛杉磯、達拉斯及澳洲墨爾本三城市於 2020 年試營運，並預計自 2023 年起以少數通過認證之載具提供商業服務。



圖 3-21 Uber Air 首款空中計程車機艙設計

資料來源：Mashable

除與航太廠商合作研發載具外，Uber 並與美國聯邦政府部門合作，與 NASA 簽訂合作協議(Space Act Agreement)，共同發展無人駕駛交通，雙方將在都市地區進行空中計程車模擬飛行，測試地點包括洛杉磯及達拉斯，由 Uber 提供相關數據資料，再由 NASA 模擬飛行，以瞭解無人機系統(例如無人駕駛飛機在低空飛行時，如何維持安全性)，此將有助於制定產業標準及釐清未來規範方向^{【29、30】}

3.4.6 其他

美國Workhorse公司研發之SureFly（如圖3-22）於2017年6月法國巴黎航空展中首次展示，此款雙人座飛行器採用常見之四軸無人飛行載具構型設計，使用油電複合動力系統以增加載重及滿足航程需求，並驅動裝置於

四軸上的8組電動馬達與螺旋槳，最大起飛重量達1,500磅，時速度高75哩，飛行距離75哩。此款飛行載具並儲備備用之緊急電池，在內燃機失效時提供5分鐘的額外飛行時間讓載具安全降落。如於空中發生意外時，夠直接彈飛，讓乘客在空中打開降落傘。該公司規劃應用市場包括精準農業、緊急事故處理與救援、城市內或城市間之運輸等【7、31】。



圖 3-22 SureFly
資料來源：Workhorse 網頁

相較於其他競爭者開發設計之電動垂直起降載具以電池提供動力，電池重量較重將增加航空器的負重，美國麻州之 Alaka'i Technologies 公司所推出之 Skai(圖 3-23)，由 BMW 集團之設計創新工作室 Designworks 共同設計，係全球首個以氫燃料電池驅動系統提供動力之空中移動解決方案，氫燃料能量密度優於鋰電池，其零排放對環境衝擊小。此款六軸旋翼載具最多可搭載 5 人(初期包括 4 位乘客及 1 個駕駛，未來朝向自動駕駛發展)，最大載重可達 1,000 磅，時速最高 118 英里，航程最多 4 小時可達 400 英里，該公司以飛行計程車、短程貨運飛行及消防救災為目標市場【32、33、34、35】。



圖 3-23 Skai

資料來源：Techexplorist

3.5 小結

空中計程車發展雖尚處萌芽階段，且面臨一些發展障礙，然相關技術發展快速，包括 Volocopter、Lilium Aviation、億航等公司所研發之電動垂直起降載具已試飛成功，可做為城市空中移動之運具選項，雖然仍有許多相關法規障礙需突破，預期未來數年有可能開始提供商業服務，行動叫車平台 Uber 並已選定洛杉磯等三個城市試營運，預計 2023 年起正式提供商業服務，空中計程車的發展指日可待，也預期有更多業者投入相關之發展。

四、法規課題

雖然就技術面來看，空中計程車之發展漸趨成熟，但目前尚未獲准提供載人服務，所遭遇的問題之一在於電動垂直起降載具與現行之固定翼飛機或旋翼機設計原理、結構、動力來源迥然不同，不僅現行適航檢定規定並無法適用，各國相關規範多付之闕如，例如尚無相關法規據以規範空中計程車之營運事宜。事實上，空中計程車與一般民用航空運輸業相同，經營模式亦係搭載旅客以獲取酬勞為其目的，故必須要有更完整而全面性的法規規範，以確保旅客及組員等相關人員(考量大眾接受度，空中計程車發展初期仍將由駕駛員駕駛)、基礎設施及第三方財產之安全，而城市空中移動載具發展能否成功，實有賴飛行載具製造商、經營人、基礎設施提供者

及主管機關之協力合作^[8]。

4.1 相關法規

全球對空中計程車之規範尚在起步階段，歐洲安全局(EASA)認知到既有法規不足以因應垂直起降載具此種新型航空器，於徵詢大眾及相關業界意見後，於2019年7月發布有關垂直起降載具檢定認證之特殊規定，其對於垂直起降載具的驗證可分為基本與升級兩大類，基本類驗證要求載具具有可控制之緊急降落能力，進階類係針對商用空中運輸及飛經都市地區之飛航，採用較高之安全標準，也就是比照商用航空器，有關載具適航裝置的重大故障率需為 10^{-9} ^[12]。

空中計程車發展在技術面日漸精進，未來數年有可能開始提供商業服務，但對於此種新型垂直起降載具之飛行、營運、監理等可能產生或遭遇的問題，現行相關法規或恐無法適用或不足因應，修訂或新增相關規範確有其必要性，相關需增修之規範大致可歸納為四大面向，包括空中計程車生產面向、社會議題面向、營運及機隊管理面向以及空中計程車載具管理面向，茲整理美國FAA及我國可能需修訂或新增之相關規範概略整理如表4-1^[1]。

表 4-1 因應空中計程車發展宜增修之相關規範

面向	分項	可能需修訂或新增之規範
空中計程車生產面向	空中計程車檢定認證	FAA 之 part 21/23/ 25 歐盟 EASA 之 CS-23/27 等法規 我國「航空產品與其各項裝備及零組件適航檢定管理規則」
	持續適航	FAA 之 part 26 我國「航空產品與其各項裝備及零組件適航維修管理規則」
社會議題面向	噪音水準	FAA 之 part 36 我國「民用航空器噪音管制標準」
	空域使用限制	現行相關限制亦應適用於低高度空域飛行之載具
	基礎設施需求	FAA 之 part 139 我國「民營飛行場管理規則」、「航空站飛行場助導航設備四周禁止限制建築物及其他障礙物高度管理辦法」
	網路安全	建立對各種形式之網路訊號干擾及假訊號偽冒之防禦標準

營運及 機隊管理 面向	營運許可	FAA 之 Part 135 我國「民用航空業管理規則」或「普通航空業 管理規則」
	機隊管理	航空器定期檢修需有依循之維護計畫
	飛航管理	空中計程車需要有效率之飛航管理系統，且須 與既有系統整合
空中計 程車載 具管理 面向	航空器登記	FAA 之 part 47 我國「航空器登記規則」
	監視	FAA 之 part 91 我國「飛航規則」
	駕駛員操作證	FAA 之 Part 61 我國「航空人員檢定給證管理規則」
	自動駕駛	需建立自動駕駛操作及 技術標準之法規

資料來源：Citip GPS Electric Aircraft

一、空中計程車生產面向，包括檢定認證及持續適航兩部分：

1. 檢定認證部分：

現有的適航檢定標準應納入電動推進相關系統以及自動駕駛系統，而且應比照商用客機，對商用載客無人機採高度監理作為，以既有規範為基礎，漸進式發展新的認證標準。目前一般航空產品之生產檢定程序通常需 2-3 年時間，但空中計程車此種新型垂直起降載具需要新的檢定基礎，其檢定程序可能耗時 4-8 年以上^[1]。

美國 FAA 及歐盟 EASA 為全球兩大民用飛航之監理機構，合計監理全球 80% 左右民用飛航，目前 EASA 已針對垂直起降載具認證訂有特殊規定，其最新公布之 Special Condition for VTOL aircraft(SC-VTOL)以既有 CS-23 法規為基礎，再加上 14 個特殊規定，適用於 9 人座以下、使用分散式電動推進系統、最大重量 7,000 磅以下之航空器^[12]。FAA 目前並無與 EASA 相對應之法規，而係以原有規範為基礎，再就個案個別處理，以特別類別飛機檢定方式執行無人機之檢定，並核發限制類型別檢定證(Restricted Category Type Certificate)，同時發給特殊飛行許可^[11]。

為利產業發展，兩大監理單位實應協商出較為一致之檢定標準讓業界遵循^[12]，而檢定認證相關規範如美國 FAA 之 part 21/23/25、歐盟 EASA 之 CS-23/27，在我國部分則為「航空產品與其各項裝備及零組件適航檢定管理規則」。

2. 持續適航部分：

現行有關航空器持續適航部分之標準規範應擴及至空中計程車，可能會以旋翼機之標準做為基礎。持續適航之相關規範如美國 FAA 之 part 26，我國部分則為「航空產品與其各項裝備及零組件適航維修管理規則」。

二、社會議題面向包括噪音水準、空域使用限制、基礎設施需求、網路安全等議題：

1. 噪音水準部分：應建立社會大眾能接受的噪音量，相關規範如美國 FAA 之 part 36，我國部分為「民用航空器噪音管制標準」。
2. 空域使用限制部分：有關空中計程車使用空域之限制應有所規範，既有之相關限制亦應適用於空中計程車這類於低高度空域飛行之載具。
3. 基礎設施需求部分：現行對航空站及直昇機起降場之規範標準，應將空中計程車停機坪納入規範。基礎設施部分之相關規範如美國 FAA 之 part 139，我國部分為「民營飛行場管理規則」/「航空站飛行場助導航設備四周禁止限制建築物及其他障礙物高度管理辦法」。
4. 網路安全：應建立對各種形式之網路訊號干擾(jamming)及假訊號偽冒(spoofting)之防禦標準。

三、營運及機隊管理面向：

1. 營運許可部分：新的無人機操作標準可能由現行有駕駛員航空器之操作標準逐步演進，相關規範如美國 FAA 之 Part 135，我國則為「民用航空業管理規則」或「普通航空業管理規則」。
2. 機隊管理部分：目前航空公司之航空器定期檢修(C check 或結構維修等)所依循之維護計畫，需經主管機管核可，空中計程車部分亦應比照辦理。
3. 飛航管理：全球飛航管理服務多由政府或軍方處理，部分由私人公司負責，空中計程車之運作需要具效率之飛航管理系統，且須與既有之系統整合。

四、空中計程車載具管理面向

1. 航空器登記部分：現行有關航空器登記及標誌之相關規定應將空中計程車納入規範，例如美國 FAA 之 part 47，我國部分為「航空器登記規則」。
2. 監視部分：航管單位可能會要求追蹤及確認在空空中計程車位置，以確保隔離標準，相關規範如美國 FAA 之 part 91，我國部分為

「飛航規則」。

3. 駕駛員檢定給證部分：在空中計程車開始提供商業服務初期，可能要求駕駛員必須持有固定翼或旋翼機之操作證，未來因應不同類型之空中計程車(多旋翼或傾轉機翼式)可能要有不同之操作證，相關規範如美國 FAA 之 Part 61，我國部分則為「航空人員檢定給證管理規則」。
4. 自動駕駛部分：空中計程車未來可能採自動駕駛模式，故必須建立自動駕駛之操作及技術標準法規。

4.2 小結

空中計程車技術發展迅速，未來幾年即有可能開始提供商業服務，此種新型垂直起降載具之飛行、營運、監理等可能產生的問題，現行相關規範恐無法完全因應，可從空中計程車生產面向、社會議題面向、營運及機隊管理面向、空中計程車管理面向檢視需增修之相關規範。

五、結論及建議

5.1 結論

1. 全球居住都市人口之比例持續增加，地面交通壅塞問題更加惡化，電動航空器具有低噪音、低污染、低操作及 維修成本等特性，其中空中計程車為最具前瞻性之空中載具，即可能成為城市移動選項之一。
2. 為實現城市空中移動，包括 Uber 在內多家航太業者或新創公司致力發展電動垂直起降載具，並有城市與業者合作試辦，相關技術及產品不久即可能開始提供商業服務。
3. 除技術可行性及規格外，航管能量、地面基礎設施發展、大眾接受度及相關法規，皆會影響空中計程車市場規模及應用情形。

5.2 建議

1. 建議主管機關、航空站/飛行場經營人甚至航空業者關注國際間空中計程車發展趨勢及應用。
2. 空中計程車可能成為城市移動選項之一，未來幾年相關產品可能開始提供商業服務，為因應新型載具發展應用，建議民航機關參考 FAA 及 EASA 相關規範，研議/增修我國相關法規。
3. 為引領國內廠商參與無人飛行載具新興產業，可結合國際領導廠商技術與國內關鍵技術業者，由政府政策引導(如費率、法規及獎助等)，逐步茁壯我國無人機產業發展。

參考文獻

1. Citi GPS, 「Electric Aircraft: Flightpath of the Future of Air Travel」, 2019。
2. 中華航空網頁：<https://calec.china-airlines.com/csr/environment/manage-climate.html>。
3. Wayne Johnson, 「Concept Vehicles for VTOL Air Taxi Operations」, 2018。
4. R. John Hansman 等, 「Operational Aspects of Aircraft-Based On-Demand Mobility」, 2016。
5. 黃世禎, 「無人機飛行載具相關法制之初探」, 南臺科技大學碩士論文, 民國 107 年。
6. 李佩嫻, 「共享經濟 Uber 商業模式探討-以台灣與美國加州為例」, 國立清華大學碩士論文, 民國 107 年。
7. 熊治民, 「輕型電動垂直起降飛行器發展現況」, 經濟部技術處產業技術評析, 民國 107 年。
8. Roland Berger Focus, 「Urban air mobility, the rise of a new mode of transportation」, 2018。
9. Uber, 「Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation」, 2016。
10. 熊治民, 「飛行車大震撼！臺灣產業機會在哪裡？」, 產業情報網, 民國 106 年。
11. 陳守義, 「航空產品適航驗證訓練出國」, 民用航空局出國報告書, 2019。
12. Graham Warwick, 「Europe Set UAM High Safety Bar With eVTOL Certification Rules」, Aviation Week & Space Technology July 15-28 2019, 2019。
13. Graham Warwick, 「Practical progress」, Aviation Week & Space Technology August 19-September 1, 2019, 2019。
14. Porsche Consulting, 「The Future of Vertical Mobility」, 2018。
15. Booz Allen Hamilton, 「Urban Air Mobility (UAM) Market Study, Final Report」, 2018。
16. Volocopter, 「Pioneering The Urban Air Taxi Revolution」, 2019。
17. Guy Norris, 「Lilium Lift off」, Aviation Week & Space Technology, May 20-June 2, 2019。

18. Lilium Aviation 網頁：<https://lilium.com/the-jet>。
19. 周俊霖，「空中的士 Volocopter 新加坡完成試飛 最快兩年推出服務」，Hket，2019 年 10 月 22 日。
20. Richard Weiss，「中國科技初創企業億航攜手奧地利供應商打造空中出租車」，Bloomberg，2019 年 5 月 23 日。
21. BBC 中文網，「可以載人『無人機』？走近中國的運輸科技創新」，2020 年 2 月 4 日。
22. 雷帝觸網，「億航 216 在美首次公開飛行 獲自動駕駛載人飛行器特許飛行證」，2020 年 1 月 9 日。
23. 中國民航網，「億航智能自動駕駛『空中的士』在美國首飛」，2020 年 1 月 8 日。
24. 廖慧娟，「廣州載人無人機試點營運 協助官方制訂適航標準」，旺報，2019 年 2 月 1 日。
25. Aviation Week & Space Technology，「The Birth of Urban Air」，Feb.26-Mar.11, 2017。
26. 凌郁涵，「飛行車不再是夢」，鉅亨看世界，2019 年 5 月 18 日。
27. Uber，「UberAir Vehicle Requirements and Mission」，2018。
28. Sasha Lekach，「Here's What Uber's flying taxis and skyports could look like」，Mashable，2019。
29. 鄭勝得，「優步催生空中計程車 找上 NASA」，工商時報，民國 107 年。
30. 黃意文，「NASA 結盟 Uber 『空中計程車的時代不遠矣？』」，鉅亨網，民國 106 年。
31. 吳秉諭，「安全至上！能夠緊急彈飛乘客的油電混合八旋翼直昇機 SureFly」，數位時代，2018 年 2 月 27 日。
32. Business Wire，「Alaka'i Technologies 推出全球首創氫動力空中運輸系統」，2019 年 5 月 31 日。
33. Ashwini Sakharkar，「Alaka'i Skai, the world's first hydrogen-powered e-VTOL air Taxi」，Techexplorist，2019 年 5 月 30 日。
34. Loz Blain，「Skai hydrogen-powered e-VTOL air taxi boasts enormous 400-mile range」，Newatlas，2019 年 5 月 29 日。
35. 盧佛青，「Alaka'i Technologies 推出以商業車市場為目標的氫燃料電池飛行汽車 Skai！」，Autonet，2019 年 6 月 4 日。