



中國工程師學會會刊

# 工程

孫  
震  
瀛  
題  
詞

中華民國109年12月 Vol. 93 No. 4

<http://www.cie.org.tw> ISSN:1015-0773

- ▶ 臺灣卓越工程技術與未來展望研討會
- ▶ 氣候變遷調適成果研討會與參訪
- ▶ 「AI技術應用於未來工程之影響」演講會
- ▶ 工程人員海外工作經驗分享暨亞太工程師座談聯誼
- ▶ 預鑄技術的應用研討與交流
- ▶ 2020亞太女科技人會議暨國際女科技人研討會  
APNN & IConWiST



## 探索無人機之研發 應用與未來發展



有你的陪伴，  
心情很美好。

我的桃捷心旅行



我的桃捷心旅行  
官方影片



## 探索無人機之研發、應用與未來發展

近年來微機電系統的慣性導航系統技術，開始大量商業運用在微型多軸無人機上，更由於AI人工智慧、電腦辨識、深度機器學習、群體智慧、慣性導航、自動迴避、通訊等等技術之演進與實用化，使得無人機的發展產生了爆炸性的進展，本專輯邀集5篇專業文章，內容除了涵蓋無人機之硬體構件、組成與運作機制，以及軟體系統與應用軟體之架構之外，也針對目前智慧用研發現況與未來研發課題，提出寶貴意見與建言。

## 活動報導

- 02 臺灣卓越工程技術與未來展望研討會
- 04 如何判斷民法第227條之第2第1項「情事變更原則」的「非當時所得預料」座談會
- 06 參訪金門大橋工程
- 08 氣候變遷調適成果研討會與參訪
- 10 「AI技術應用於未來工程之影響」演講會
- 12 工程人員海外工作經驗分享暨亞太工程師座談聯誼
- 13 預鑄技術的應用研討與交流
- 15 臺中港離岸風力發電工程參訪
- 17 第二屆「2020年青年工程師聯誼交流活動」
- 19 2020亞太女科技人會議暨國際女科技人研討會APNN & IConWiST
- 21 踏訪坪頂古圳體認先民開墾水利灌溉工程的艱辛與貢獻
- 23 參訪橋頭地方檢察署
- 25 參訪南六口罩國家隊

## 探索無人機之研發、應用與未來發展

客座主編：戴文凱/國立臺灣科技大學資訊工程系教授

- 28 無人飛行載具市場及觀察與投入評估建議/高文淵
- 37 混合動力無人機的發展/林清一、裴輝進、葉雲兆
- 54 商用無人機視距外飛行(BVLOS)的應用發展/張東琳
- 64 無人機酬載與應用趨勢分析/林昱甫、馬鈞文、陳力諺、彭智冠
- 81 論無人機商用服務與整合技術/林俊佑

## 工程與技術

- 92 輕軌車輛零組件國產化及在地維修化/李政安、范群忠、林仁國
- 102 淡海輕軌大地工程經驗分享/李政安、鄭紹祥、楊鵬飛
- 113 由國內首例NEW RC預鑄結構採用蓮根梁新工法談預鑄結構的應用與發展/林泰煌

## 會務佈告

- 121 中國工程師學會第72屆理監事簡歷

理事長：廖慶榮

常務理事：李世光 高宗正 楊宗興 楊偉甫

理事：王錫欽 呂良正 宋裕祺 李偉賢

胡湘麟 孫以濬 涂元光 徐善慧

莫仁維 陳仲賢 陳彥伯 陳哲生

彭振聲 曾國正 黃金生 楊慶煜

廖學瑞 蒲鶴章 歐善惠 賴建信

薛文珍 薛富盛

常務監事：邱琳濱

監事：王昭烈 李建中 郭新進 陳振川

秘書長：張武訓

發行所：中國工程師學會出版委員會

主任委員：黃慶東

委員：李大行 林根勝 邱煌仁 孫以濬

郭重顯 張武訓 陳裕仁 廖學瑞

戴文凱

總編輯：陳沛清

客座主編：戴文凱

編輯：石昱郁 李宥萱 林秀琴 張桂瑜

梁愛倫 蔣雪芬 蔡琦娟

聯絡地址：10607臺北市大安區基隆路四段43號

電話：(02)2733-3141轉1177、3252、6938

傳真：(02)2730-1000

會址：10055臺北市仁愛路二段1號3樓

電話：(02)2392-5128

傳真：(02)2397-3003

網址：<http://www.cie.org.tw>

郵政劃撥：00059892

戶名：社團法人中國工程師學會

編印：英杰企業有限公司

地址：10667臺北市大安區復興南路二段  
293-3號10樓之1

電話：(02)2732-1234

行政院新聞處出版事業登記證局版臺誌0765號  
中華郵政臺北誌字第721號執照登記為雜誌交寄  
入會申請手續請上本會網站查詢



## 臺灣卓越工程技術與未來展望研討會

中國工程師學會與中技社於109年8月24日假張榮發基金會10樓1001會議廳共同舉辦「臺灣卓越工程技術與未來展望研討會」，計超過200位專家學者及工程先進與會出席，活動順利成功。

貴賓致詞邀請行政院沈榮津副院長蒞會擔任，沈副院長深入淺出幽默分析臺灣各種工程產業的發展與貢獻，並期望可善用政府力量，協助提昇工程技術，帶動國家經濟發展。潘文炎董事長與廖慶榮理事長擔任開幕致詞，感謝與會貴賓支持及出席人員踴躍參與，共同為促進工程技術及產業發展貢獻心力。專題演講共兩場，分別由廖理事長及工研院李世光董事長主持，邀請工程會林傑主任秘書及中鼎集團余俊彥總裁（本學會第64屆理事長）分別就「公共工程之整體性思維」及「工程服務業永續發展與策略」發表演說。

本次研討會規劃3個主題，第1場討論臺灣隧道工程卓越成就與未來發展，由中興工程公司邱琳濱前董事長（本學會第70屆理事長）主持，交通部曾大仁前次長主講、高公局林炳松分局長與前國道新建工程局陳福將前主任與談。第2場討論交通系統工程智慧化的發展與挑戰，由中鼎集團林俊華前副總裁



▲ 行政院沈榮津副院長貴賓致詞



▲ 與會貴賓合影





▲ 中技社潘文炎董事長致詞



▲ 廖慶榮理事長主持專題演講



▲ 工程會林傑主秘進行專題演講



▲ 中鼎集團余俊彥總裁進行專題演講

（本學會第67屆理事長）主持，中華智慧運輸協會張永昌理事長主講、交通部吳盟分前次長與高工局吳木富副局長與談。第3場討論臺灣軌道工程機電系統的挑戰與精進，由台灣世曦公司李建中前董事長（本學會第69屆理事長）主持，中華大學智慧運輸暨軌道系統研究中心張辰秋執行長主講，鐵道局楊正君副局長與神通資訊智慧產品事業群陳錫裕副總經理與談。

本次研討會藉由臺灣在隧道、軌道、智慧交通等相關建設經驗與成就，讓社會大眾進一步瞭解國內工程技術發展，協助產業增進工程技術水準與建設品質。各演講人無私的分享過去所累積的豐富寶貴經驗，並提出未來可借



▲ 交流座談

力使力獲致更有成就的中肯建議，與會人員專心聆聽各場精彩的演講，並於問答時和與主講人及與談人交流熱烈，成果豐碩。

中央通訊社報導：<https://www.cna.com.tw/news/aipl/202008240269.aspx>

## 如何判斷民法第227條之2第1項「情事變更原則」的「非當時所得預料」座談會

中國工程師學會與台灣工程法學會和中華民國仲裁協會於109年9月11日共同舉辦「如何判斷民法第227條之2第1項『情事變更原則』的『非當時所得預料』座談會」，計有150多位產業與法律界人員出席，坐滿仲裁學會大教室，座無虛席，活動順利成功。

工程契約履約遇爭議時，「非當時所得預料」判斷標準之定義及真諦，需要與日俱進的持續檢視調整與修正，才會更為公平合理及明確化，同時提昇經營風險因應能力及保護力。為能進一步明確化，台灣工程法學會以問卷方式，就地質差異、物價波動、天然災害、民眾抗爭、變更設計減帳、總工期展延等常見之工程履約風險，向任職於營造業、工程技術顧問公司、技師事務所、建築

師事務所、政府機關及建設公司之工程界先進，徵詢各該風險須達到什麼程度才構成「非當時所得預料」，有效回收116份問卷，因此特邀請產官學各界之資深先進，就問卷調查之結果，和大家分享寶貴經驗。

活動開幕分別由廖慶榮理事長、李復甸理事長、吳詩敏理事長致詞，續分別就兩主



▲ 座談會現場情形



▲ 與會貴賓合影



▲第1場次與談人合影



▲第2場次與談人合影

題進行討論。主題一為《如何判斷「非可歸責於契約雙方當事人」之情事變更(包括地質差異、物價波動、天然災害、民眾抗爭等)之「非當時所得預料」》，由古嘉諄律師主持、蕭偉松律師引言報告問卷結果，邀請鄧勝軒理事長、呂欽文建築師、廖肇昌博士、邱琳濱博士進行與談。主題二為《如何判斷「非可歸責於請求一方之契約當事人」之情事變更(包括變更設計減帳、總工期展延等)之「非當時所得預料」》，由顏玉明營運長主持、黃豐玟律師引言報告問卷結果，邀請周敬揮副總經理、李順敏總經理、余念梓副局長、吳從周教授進行與談。綜合討論

時與會人員就如何建立締約時之共識進行討論，由黃立教授主持，吳詩敏理事長及楊登任副理事長擔任與談。會中與會人員非常踴躍發言，就相關案例提問及分享過往經驗，圓滿結束座談會。

本場座談會在與會人員熱烈互動中產生了非常豐富的建議及結論，所有發表內容與發言將提供政府及相關單位作為現有法規、辦法與規範之檢討與精進參考，期可促進工程界及法律界相互的交流與瞭解，使相關規範及評斷標準可以更公平而且更臻完善。



## 參訪金門大橋工程

中國工程師學會於109年9月18日至20日組團赴金門實地參訪金門大橋工程，由廖慶榮理事長率團，偕本學會常務理事、監事、委員會委員及相關專家學者一行近40位共同前往，包括曾任前國工局局長職務的邱琳濱博士及曾大仁博士，深度瞭解金門大橋工程建設的艱辛，肯定與鼓勵參與工程師的辛苦，同時就各自的經驗與學養交換智慧和建議。

金門大橋為國內首座大規模跨海大橋，即將於民國110年接通，西起小金門烈嶼鄉后頭湖埔路，東迄大金門金寧鄉湖下慈湖路，全線長約5.4公里，跨海橋梁段約4.8公里。金門大橋工址最大水深23 m，潮差6 m以上，工址地質為堅硬之花崗岩，且岩盤深度變化

大，最艱難的是要克服深槽區花崗岩高硬度的基樁打設及海象多變的基礎施工，由於環境條件特殊，設計及施工方面技術性高，是國內橋梁工程界之一大挑戰。

參訪人員於聽取簡報及實地參訪後，對



▲ 參訪金門大橋工程



▲ 全體參訪人員合影



▲ 廖慶榮理事長（左5）與出席貴賓合影

金門大橋工程團隊-高工局、台灣世曦、東丕營造等單位的規劃、設計及施工等深感敬佩，在大潮差、堅硬花崗岩地質、海象潮流、東北季風與濃霧等不良環境，及離島人、機、料難覓等困難下，不斷以專業工程知識積極應變努力挑戰，克服深度及強勁海流之深槽海域，貫穿海床下60公尺軟硬錯雜的岩盤，完成國內少有 $\phi$  2.5 M大口徑基樁施工，及工程首見的海面下之鋼箱圍堰樁帽基礎。

金門大橋工程於民國100年舉辦開工動土典禮，明年完工後將改變並提升大小金門的生活品質、創造觀光產業價值。總統及府院官員多次赴工地現場視察並肯定工程人員的貢獻及努力，將使金門的發展帶入一個新階段。

本次參訪團由各界專業先進組成，廖理事長親自率團到離島大橋工程訪問，關懷工程師們的辛勞，並肯定工程師的用心付出及傑出表現，活動圓滿順利。感謝主辦單位高公局郭呈彰處長、台灣世曦工程公司李順敏總經理與東丕營造公司王銀和董事長親自率員簡報、解說、導覽。

本學會為全國各領域工程師的交流平



▲ 廖慶榮理事長致贈會旗予高公局郭呈彰處長



▲ 金門大橋施工情形

台，每年均針對各單位推動的績優工程及工程師的優異貢獻進行評選及表揚，本次參訪有機會深入海上工程察訪，讓各領域工程人員瞭解我國工程建設及經建發展。

## 氣候變遷調適成果研討會與參訪

中國工程師學會環境與能源委員會於109年9月22日假台電公司總管理處204會議室辦理氣候變遷調適成果研討會與參訪活動，由本學會防災科技委員會、環保署、水利署、國家災害防救科技中心、台電公司及中興工程科技研究發展基金會協辦，計有70多位參與，活動圓滿順利。

研討會開始由本學會環境與能源委員會楊偉甫主任委員（台電公司董事長）致詞表示感謝大家踴躍參與，楊主任委員以他豐富的經歷和對國家能源政策的熟悉，詳細說明台灣電力公司在供電、環境、經濟各方面所做努力，及設法滿足社會需求與發展的作為，以導引70位出席先進認識今天的議題，使得後續每場演講後的QA反應熱烈。

張武訓秘書長續代表廖慶榮理事長致感謝詞並藉機宣導「工程師宣言」，鼓勵工程師既要專業負責更要主動積極展現自信。楊主任委員接著邀請出席委員和主講人合影後啟動精彩的研討會。



▲ 楊偉甫主任委員致詞



▲ 與會貴賓合影





▲ 水利署賴建信署長演講

本次委員會規劃了4個議題，分別邀請演講人發表演說，議題一「我國氣候變遷調適方向」為環保署蔡玲儀處長、議題二「因應氣候變遷之水資源管理政策」為水利署賴建信署長、議題三「氣候變遷調適工具之發展」為國家災害防救科技中心陳宏宇主任、議題四「氣候變遷調適平行展開之規劃」為台電公司劉源隆處長。總結與QA由楊主任委員主持，討論熱烈。

會後安排與會人員赴位於板橋的「電幻1號所TAIPOWER D/S ONE」進行參訪。電幻1號所原為變電所，去年變身成全臺首座知識與美感的電幻1號所。DS 1兩層樓，1樓是POWERLAB，有城市光井和VR六軸機器人，2樓是ENERGYM，有溫室瑜珈、能源觀測站、法拉第圓盤發電機、水力彈跳、風力舞蹈、光伏運動、波浪戰繩、地熱飛輪、放



▲ 張武訓秘書長於會中宣導工程師宣言

電場、60 Hz電力心跳、綠攻坊。兩樓間還有D/S ONE GALLERY。

電幻1號所設計了許多互動體驗，參訪人員透過彈跳、舞蹈等運動方式，感受能源發電原理，並驚訝表示常受排斥的變電所居然可以變得這麼夢幻，將綠能轉換成創造力，讓社會大眾有機會親身體驗各種再生能源的奧妙，增加了對能源新知的深度及廣度。本學會特別佩服台電公司的創意及巧思，並感謝用心盡力安排本次參訪活動。

各主講人的簡報請上雲端瀏覽：[https://drive.google.com/drive/mobile/folders/15Am\\_iWcAQVJAxHLE7HM\\_EA8RFkFvtqQR](https://drive.google.com/drive/mobile/folders/15Am_iWcAQVJAxHLE7HM_EA8RFkFvtqQR)

「電幻1號所」電話：02-89697511；網站：[dsone.taipower.com.tw](http://dsone.taipower.com.tw)

## 「AI技術應用於未來工程之影響」演講會

因應未來科技趨勢，中國工程師學會與國立屏東科技大學生分會於109年9月24日下午假屏科大工學院舉辦「AI技術應用於未來工程之影響」演講會，邀請甫於今年獲得本學會「傑出工程教授獎」的王振興教授，講授「AI技術對未來工程之影響」專題演講，王教授是AI技術相關領域專家，也是國立成功大學的名教授。

演講會由學生分會方冠庭會長主持，工學院李英杰教授指導並代表致贈感謝狀及紀念品。王教授於簡報一開始先說明中國國務院擬定AI技術總體發展的「三步走」戰略，讓學生會員知道世界強權未來10年的AI技術發展布局。緊接著說明人工智慧的演進史，且各時期的代表性產物也分別提出來講解，



▲ 李英杰教授（右）致贈紀念品予王振興教授



▲ 王振興教授與學生分會會員合影



▲ 王振興教授演講



▲ 方冠庭會長主持

使學生會員對AI技術的前世今生有更進一步的了解，最後在結論定義人工智慧是架構在演算法、大數據及雲端運算之上，而其中三者缺一不可、環環相扣。

本次活動共28位學生會員出席並與王教授互動熱烈，演講結束後學生會員也踴躍提

問，王教授不厭其煩地說明，解開會員心中的疑惑，此次演講也讓學生分會會員獲益良多，增進我國各工程領域間青年工程師實質交流機會。特別感謝王教授遠道從臺南到屏東演講，並感謝教育委員會與秘書處大力支持與協助，使活動順利圓滿。



## 工程人員海外工作經驗分享 暨亞太工程師座談聯誼

每年例行舉辦的「工程人員海外工作經驗分享暨亞太工程師座談聯誼」活動，109年9月29日假臺北福華大飯店舉行，由中華台北亞太工程師監督委員會李建中主任委員主持，指導單位工程會陳義昌科長蒞臨致詞，約60位工程師與會。

這次活動有兩大亮點，亮點一特別邀請遠通電收公司負責海外業務的吳忠潔副總（首席技術長）從技術、市場分析、拓點策略、合作布局等各個面向，分享ETC智慧交通輸出越南、菲律賓、馬來西亞各國的實例，吳副總也鼓勵大家勇於走出國門，發揮臺灣工程實力的優勢，強化產品包裝，開發國際市場。

除此之外，有別於以往的研討會型式，這次活動邀請了多達7位具有海外工作實務經驗的亞太工程師或海外拓點有成的工程業

者，不藏私分享了他們在海外工程市場摸索、蹲點、跌倒、修正、強大起來，最終開花結果的甘苦談；在委員會曾大仁執行長的一一介紹和邀請下，一個接一個精彩的海外拓點故事，令出席者聽得出神，是活動的第二項亮點。

1加7位講師及導師接著以小組型式，繼續分享他們是如何勇敢跨出舒適圈，以及以什麼心情和方式突破困境，與組員們面對面交換心得，席間笑聲連連、互動熱烈。



▲ 與會貴賓合影



▲ 遠通電收公司吳忠潔副總進行分享



▲ 李建中主任委員致詞

## 預鑄技術的應用研討與交流

本學會得獎人聯誼委員會與遠揚營造工程公司合作舉辦「預鑄技術的應用研討與交流」活動，於109年9月26日赴預鑄界的巧匠－亞利預鑄工業公司，安排工地參觀、預鑄廠參訪、預鑄技術研討與交流。

本次特別邀請重量級營造業、顧問公司、工程主辦機關與相關工程主管機關，藉觀摩板橋亞利預鑄廠與遠揚公司「T-PARK專二B區集合住宅大樓」預鑄工程機會，認識蓮根樑預鑄新工法施作New RC預鑄結構，並於兩場專業簡報後進行熱烈的討論與交流。

預鑄組裝每一樓層7天可完成，較傳統場鑄施工至少21天，可節省三分之二工期。預鑄技術邁進3.0後已可充分信賴與接受，預鑄建築的優點亦普遍被肯定，成本與單價則已經在企業界對社會的態度下逐漸邁向傳統市價中。

營造業界現況的困境是缺工與高工資、技術工的能力要精進、工程倫理待加強、工程預算要合理等。預鑄工法普及化的需求有共識，採用預鑄工法至少可以減少「缺工」的壓力，但是加強整合政策、法規、規範、



▲ 參訪人員於T-PARK專二B區集合住宅大樓工地前合影



▲ 參訪人員於亞利預鑄廠合影

單價及確定業者可增加產能有其急迫性。尤其政府承諾8年20萬戶社會住宅的計畫成果需快馬加鞭，加速採用預鑄工法協助營造業界有其緊急性，而且可以加速營建自動化，有助節能減碳及改變辛苦的營建施工作業，吸引更多年輕人投入營建產業。



▲ 廖慶榮理事長（前排左3）與偕參訪人員合影

在實地參訪預鑄廠、工地及聽取相關簡報後，與會單位在意見交流時仍認為加速加強預鑄相關政策、法規、規範、單價分析與業界產能同步提升有必要，主管機構宜儘速進行整合解決困境。

7天1樓層之預鑄施工循環過程動畫：  
<https://www.facebook.com/watch/?v=1032809500475172&extid=leaxL429nQLiPxcx>

採用蓮根梁新工法談預鑄結構的應用與發展簡報：<https://1drv.ms/b/s!AmU0e28vGSLHcXcxfXxRpbciNwQ?e=YbFS1d>



▲ 廖慶榮理事長（左）致贈會旗予亞利預鑄公司鄭燦鋒董事長



## 臺中港離岸風力發電工程參訪

為進一步認識國家再生能源推動現況，充實工程師參與政策行動，強化支持政府建設的決心，本學會特安排離岸風力發電工程參訪活動。由廖慶榮理事長率團，偕理監事及來自全國北中南共80多位工程師，於109年10月23日赴臺中參訪臺中港務分公司、風訓中心、達德能源公司與西門子歌美颯SGRE再生能源公司的臺中港5B碼頭離岸風機組裝區，並到竹南龍鳳港參訪風機與海洋風電離岸風場。

活動由得獎人聯誼委員會與中華臺北亞太暨國際工程師監督委員會共同承辦，秘書處總其成，洽辦過過程感謝得獎人聯誼委員會簡連貴委員，也是台灣風能協會理事長居中協調。因迴響熱烈，甫公告即報名額滿，

為使更多中南部地區會員朋友瞭解我國能源政策發展情形，除安排一台遊覽車於臺北出發，另於高鐵烏日車站安排一台遊覽車，由得獎人聯誼委員會蔡清池副主委協助中南部出席人員上車，全員於臺中港務分公司



▲ 廖慶榮理事長（右1）與主辦單位合影



▲ 參訪臺中港離岸風力發電工程



▲ 全體人員合影

集合，活動圓滿豐收。

感謝臺中港務分公司盧展猷總經理（風訓公司董事長）親自接待，並由業務處王汎今督導、宇泰公司彭文宗經理、李登貴經理等簡報與導覽，達德能源公司電力部張嘉文總監、賴燕珍博士資深經理、徐碩鴻經理等與西門子歌美颯再生能源公司陳長詠經理、黃美惠經理、黃冠彰組長等接待導覽，施長志經理打開龍鳳港風機分組細心解說，滿滿的熱情讓出席的中工會人員感受到政府與專業電商的用心盡力，也看到技術和實務成果。

本次參訪人員來自各方專業單位，包括環興、中鼎、中棧、榮工、世曦、新亞、遠揚、高科大、海大、日勝生、吉興、柏林、台積電、中興大學、亞新、成大、營研所、中科院、榕聲顧問等等各界先進。台灣風能協會簡連貴理事長更於遊覽車上介紹風電政策現況。透過正確的參訪產生積極的態度，對於國家再生能源的發展更能獲得支持與信心。

廖理事長為感謝臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司、臺灣風能訓練股份有限公

司、達德能源股份有限公司、西門子歌美颯再生能源股份有限公司的協助辦理，特致贈會旗或紀念牌敬表感謝。



▲ 廖慶榮理事長致贈會旗感謝臺中港務分公司盧展猷總經理（風訓公司董事長）接待



▲ 於竹南龍鳳港參訪風機與海洋風電離岸風場

## 第二屆「2020年青年工程師聯誼交流活動」

中國工程師學會青年工程師委員會於109年10月23日假國立臺灣大學BACK STAGE CAFÉ舉辦第二屆「2020年青年工程師聯誼交流活動」，約80多位出席進行交流，會中邀請國立臺灣大學呂良正教授就「循環經濟」為題進行演講，活動順利圓滿。

為延續去年委員會所舉辦國內青年工程師聯誼交流，並整合各學協會所屬青年工程師委員會資源，青年工程師委員會特別邀請中國土木水利工程學會、中華民國工程技術顧問商業同業公會、中華民國道路協會、中華民國隧道協會、亞新工程顧問股份有限公司、毅成建設股份有限公司、福清營造股份有限公司等單位贊助，並由中工會青年委員會承辦本次活動。

會中透過輕鬆又富有深度的交流活動建立產、官、學界的青年交流平台外，也在本次活動中正式宣布成立「青年工程師聯盟」，希望藉由聯盟的成立，將工程各界的青年工程師集結起來，彼此分享整合資源，未來持續多元化舉辦各式活動與工作坊，共



▲ 本學會青年工程師委員會莫仁維主委致歡迎詞



▲ 全體出席人員合影



同探討、逐步解決青年工程師所面臨的課題，進而塑造新一代工程師的凝聚力，吸引更多優秀學生進入工程領域，最終期望能化解工程大環境中逐漸嚴峻的資源分散、凝聚力降低、人力斷層與工程倫理觀念式微等問題，引領台灣走出工程新時代。

本次活動在兼具學術與休閒的空間中，參與人數更勝去年，有來自產官學各界超過80位嘉賓及青年工程師一同共襄盛舉，應邀前來貴賓雲集，學協會方面有中國工程師學會莫仁維主任委員、中國土木水利工程學會倪惠姝秘書長及謝彥安主任委員、中華民國工程技術顧問商業同業公會黃一鈺秘書長及林元生主任委員、中華民國道路協會廖肇昌秘書長及蘇育民主任委員、中華民國隧道協會羅立秘書長及江國權主任委員；公務機關有桃園市政府青年事務局溫建源專門委員、新北市政府新建工程處黃崇豪副總工程司；學術界則有台灣營建研究院呂良正院長、臺灣大學黃尹男副教授，陣容堅強；另外包括交通部公路總局、中科院航空所、中鼎工程、益鼎工程、亞新顧問、中興顧問、林同棧顧問、台灣世曦、美商傑明顧問、泰興顧問、鼎漢顧問、華光顧問、崇友實業、毅成建設、福清營造、鈞逸科技等單位皆有青年工程師熱烈參與。活動中呂院長更透過引人入勝的演講向每位參與者分享循環型工業與循環型營建的發展趨勢，讓活動更添意義。

本學會青年工程師委員會自2017年成立後即積極參與國內外青年工程師事務活動，除辦理聯誼交流活動，促進我國各工程領域間青年工程師的互動，吸引優秀青年進入工程行業，亦積極擴大與國外工程組織團體之



▲ 呂良正院長就循環型工業及循環型營建發展趨勢為題演講



▲ 本學會109年獎項得獎人於會中進行分享

青年工程師往來。在東南亞工程組織團體間發起舉辦國際青年工程師交流活動，2018年成功在臺灣舉辦第一屆活動後，成為其他國家的典範，各工程組織團體達成共識輪流擔任主辦單位，2019年於香港舉辦、2020年原訂於馬來西亞因疫情取消，2021年則暫定於日本。期望未來藉由更多與工程組織國際交流機會，可就我國青年工程師之相關課題有更多討論的空間及共識。

## 2020亞太女科技人會議暨 國際女科技人研討會 APNN & IConWiST

中國工程師學會女性工程師委員會與台灣女科技人學會、淡江大學科教中心於109年10月23-25日假新北市政府大樓共同主辦「2020亞太女科技人會議暨國際女科技人研討會APNN & IConWiST」，會議主題為「團結科技女性 邁向包容社會 (Alliance for Women in STEM-Making Change for an Inclusive Society)」，會中就5項子題進行討論，包括職場中的女科技人 (STEM Women at Work)、永續發展的女性參與 (Gender Perspectives for Sustainability)、科技研發的性別化創新 (Gendered Innovation in STEM)、理工教育的性別議題 (Gender Perspectives in STEM Education)、科技女性的社群連結 (STEM Women Networking)。邀請IEEE、女建築家學會、Bioladies、

INWES-APNN 16國會員組織交流觀點，共同探討如何幫助年輕女性科技人確立自己的方向、勇敢面對挑戰與問題、用創意找到解決方案，進一步著力於消除女性科技人的孤立感，並建立贊助與支持網絡。

台灣女科技人學會於2012年加入國際女科技人聯絡網INWES，代表我國爭取到2018-2020 亞太女科技人聯絡網 (APNN) 主席國以及今年第10屆APNN會議主辦權。APNN會員國目前包含韓國、日本、澳洲、紐西蘭、蒙古、尼泊爾、越南、馬來西亞、印度、斯里蘭卡、孟加拉、巴基斯坦、菲律賓、緬甸、新加坡與台灣，每年輪流在各國舉辦會議暨研討會。本學會參與共同主辦，由女性工程師委員會執行，薛文珍主委負責統籌協調，



▲ 廖慶榮理事長（前排右4）擔任貴賓致詞後合影



▲ 薛文珍主委（右5）與貴賓合影

邀請到IEEE女性工程師委員會、女建築家學會、Bioladies以及INWES 16國等國內外女科技人組織，線上線下齊聚一堂，交流女性在科技與工程領域發展的經驗。特別感謝台積電文教基金會與長春集團等企業界的支持與贊助。國內與會者現場參與、APNN 16國代表及INWES理事會共21國線上參與，線上線下總計近600人出席，中英同步口譯。

本學會廖慶榮理事長於25日擔任大會貴賓致詞，表達中工會對於女性工程師加入與留任職場的重視，希望能逐步改善管漏現象，讓女學生選擇進入工程與科技行業，在友善的環境中充分發展，並將之作為畢生的職業。科技部政務次長林敏聰、行政院性平會委員暨台綜院副院長李安妮皆出席24日大會貴賓致詞。本學會今年發表之「2019工程師職涯發展與性別差異調查」由淡江大學工程法律研發中心主任范素玲教授以「工程師創造包容性未來」為題做簡報。



▲ 與會人員合影

女性工程師委員會委員們除擔任籌備委員外，5位委員分別擔任專題主持人：

專題1：職場中的女科技人－中鼎集團品質管理部資深經理/總工程師江秀丹委員。

專題2：永續議題的性別面向－工業技術研究院量測中心副執行長藍玉屏委員。

專題3：科技研發的性別化創新－成大機械系教授兼附工校務主任張怡玲委員。

專題4：理工教育的性別議題－中興大學化工系教授孫幸宜委員。

專題5：科技女性的社群連結－臺灣藝術大學副校長薛文珍主委。



## 踏訪坪頂古圳體認先民開墾水利灌溉工程的艱辛與貢獻

中國工程師學會於109年11月7日舉辦坪頂古圳參訪活動，了解先民智慧克服困難開墾筆路藍縷所完成的三條古圳，迄今仍完全可提供平等里居民使用，令人敬佩，讓參訪者有深刻的體驗。活動由得獎人聯誼委員會承辦，由張主任委員擔任領隊，林宗銘執行秘書也是專業志工，全程導覽。

人類自古以來逐水而居，水是一切生存的命脈且影響人類的生存發展。根據現有的文獻記載坪頂古圳最早起源1835年。在沒有

怪手電鑽的年代，在平原上開溝鑿圳已是不易，在坪頂大坪尾地區，要種水稻需要鑿穿鵝尾山引對面內雙溪的水才能灌溉。

三條水圳都是動用居民的力量鑿穿鵝尾山相當不容易，鵝尾山從空中俯瞰狀似一隻大鵝，最狹窄的地方就是鵝脖子的部分，若打通大概要鑿60公尺左右的隧道。那個時代沒有現代的電動工具也沒有精密的測量工具，專業開圳施工人員以手工具開挖，隧道部分也可能借助當時煤礦挖坑的施工技術，



▲ 出席人員於入口處合影



▲ 延坪頂古圳行走



▲ 古圳之一：新圳隧道出口合影

克服光線空氣等難題。水圳到光復初期還是維持土溝型態，一直到產業道路開通，相關建材方便運送，改善圳道輸水功能才改變。

坪頂古圳依地勢高而低共有坪頂舊圳、坪頂新圳、登峰圳三條水圳。由上而下就像一個三字，中間有步道貫穿。早期水圳是傳統土溝，對自然環境破壞較小，缺點是運送圳水因滲漏等因素效率差，演進U型溝施工法對生態環境造成的衝擊影響大，難以復原，優點是維護容易，漏水少，效率佳。針對U型溝對生態環境的衝擊，改善施工方式採擬生態工法，著重於營造對水底棲生物有利之生存空間在水圳內堆砌大小石頭交錯產生細縫，使生物有陰暗的孔洞可以棲息。細縫中更會生長出許多植物和苔蘚，讓水中生物產生保護作用，在圳道的設計模擬溪中真正的狀況有深坑、水流有緩急，擬生態工法優點是兼具環境與美觀，盡量平衡人工設施與生態環境。

平等里位於七星山下東南方，內寮溪與菁礮溪間丘陵台地，海拔約400到500公尺之間，面積6.2平方公里，日據時代稱平頂庄，



▲ 新圳隧道內情形

二次世界大戰後才改稱平等里。

最早開鑿時間是西元1714年，清乾隆6年，漳州人何士蘭初來開墾，當時是雜木林地開墾成園地，農作物為甘藷亦為主食。耕作模式：兩年甘藷10年林地（相思樹）之輪耕制度保持地力不衰。經濟模式：將相思樹燒成木炭換取現金，買米和日常用品。

1835年水圳完成後，改為水田墾民生活模式，春季至夏季可種植一期稻米，秋後種甘藷。經濟作物之演變從大菁、茶、柑橘、高山蔬菜、花卉、苗木到後期種觀賞苗木、觀光果園、蘭花等。



## 參訪橋頭地方檢察署

中國工程師學會得獎人聯誼委員會於109年11月12日上午拜訪橋頭地方檢察署，除參觀候訊室、臨時偵察庭、驗尿室、偵察庭、採尿室，並在大會議室安排演講與意見交流，團員對於友善又積極的檢察署作業程序有了進一步信心。

活動由得獎人聯誼委員會楊正宏副主委協調拜訪活動，由陳竹君主任檢察官接待導覽，參觀上述特殊設施。在候訊室時法警長講解訊問程序和安全設施之管控，也見到拘押在欄杆牢房內的罪犯，感到難過。在偵察

庭，陳主任檢察官說偵訊程序和人員角色，說明法袍的意義，藍色法官、紅色檢察官、黑色書記官、綠色公設辯護人、白色律師，也讓大家穿著拍照，增加學習印象。陳主任檢察官特就兩年後要實施的國民法官制度說明和相互交流。洪信旭檢察長親自到會主持整場座談會。

座談時發言熱烈，張秘書長、楊副主委、馬技師、楊教授、世曦徐工程師及洪主任等針對拖延訴訟最後無罪定讞誤人一生案、汙點證人害人案、法官自絕於社交、法



▲ 於臺灣橋頭地方檢察署合影





▲ 橋頭地方檢查署歡迎本學會蒞臨參訪



▲ 本學會致贈會旗表示感謝



▲ 陳主任檢察官導覽地檢署

官和檢察官的互動、臺南某焚化爐碴案、檢察官分科建議等方面提出許多問題。洪檢察長與陳主任檢察官均就目前規定一一說明與建議，至於檢察官分科建議意見，表示目前檢查署設有專業事務官可提供協辦，並以專業單位鑑定報告參考，盡量避免誤判。

感謝楊副主委與臺灣更生保護會沈美利主任委員辛苦協調促成本次活動，感謝檢察署蔡科長與更生保護會蘇助理聯繫。楊副主委及張秘書長代表廖理事長致贈洪檢察長會旗、紀念牌敬表感謝及致贈洪主任委員學會紀念品，圓滿完成檢察署之參訪。

## 參訪南六口罩國家隊

中國工程師學會於109年11月12日舉辦參訪南六口罩國家隊，由得獎人聯誼委員會楊正宏副主委偕張武訓秘書長率領團員共21人赴位於高雄燕巢的南六企業公司，觀摩口罩生產線，由黃清山董事長親自接待及主持座談會，黃總經理、楊副總經理及陳副研發長均參加意見交流。

楊副總經理於座談後帶領全體團員穿著防塵頭套、口罩、鞋套，經過去塵室吹風去塵後，進入水刺布生產線參觀，又在觀景窗外觀看口罩一貫作業生產及參觀熔噴布一貫生產作業。因場內屬商業機密不能拍照，但是經過解說與親自見證，對於南六公司稱霸口罩業界的設備和生產線均予肯定與佩服。

團員馬技師、楊教授、魏專利工程師、雷工程師等於座談會時，對於未來新冠疫苗成功後，口罩產線的出路、中國大陸如何徵收口罩廠、大陸平湖廠的智產是否會被超越、用過口罩汙染與回收的做法等提出請教。黃董事長均一一回答，除展現其慈悲為

懷廣設慈善基金會照顧弱勢，並能不懼國際大廠的刁難外，南六公司經營之道重點在照顧國內外員工一視同仁，且正派經營，技術本位可經優勝劣敗的競爭，且南六公司不斷研發新產品以滿足社會需求。目前仍有許多國家要求南六公司去設廠，設廠與洽談中的有印度、越南等國家，並有許多使節團代表親赴工廠參觀，南六公司的產品有品質、有信心，永續發展是公司的信念。

為感謝南六公司接待，楊正宏副主委及秘書長共同致贈本學會會旗與紀念牌予黃董事長，黃董事長亦回贈每位團員伴手禮。特別感謝楊主委辛苦協調始得以成功參訪。



▲ 楊正宏副主委（右2）致贈禮品予黃董事長



▲ 全員於南六公司合影



▲ 南六公司歡迎本學會蒞臨參訪

# 探索無人機之研發、應用與未來發展 — 專輯序言

國立臺灣科技大學資訊工程系教授 / 戴文凱

空拍機、無人飛機、無人機、無人航空載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 或稱無人飛行器系統 (Unmanned Aircraft System, UAS) 等名詞，是自從2015年以來，應用微機電系統的慣性導航系統 (MEMS-INS) 技術趨於成熟，飛控系統開始大量商業運用在玩具般大小的微型多軸無人機上，才開始圍繞我們普羅大眾生活的日常之中！到了近兩三年，不論是在消費性、商用與軍事用等市場上，由於AI人工智慧、電腦辨識、深度機器學習、群體智慧、慣性導航、自動迴避、通訊等等技術演進與實用化有了爆炸性的進展，使得無人機的功能與應用領域，已更廣泛地應用在生活娛樂與藝術、極限運動、精準農業農藥投放與驅鳥、救災與災難勘查、航拍探檢測、物流配送、電力巡檢和補給、警政執法與監控等領域。因此，我們可以肯定無人機未來的商用領域的產值與規模，必然錢途無量！

各式大小型無人機，不論是固定翼、旋轉翼或混和固定翼以及旋轉翼構型做為主要的動力來源，其主要結構是由機架、飛行控

制器、電子調速器、馬達、槳葉、遙控器、電池所組成。因此硬體核心技術關鍵在於機架系統、動力系統和飛行控制器系統等三大系統。至於無人機管理與應用層面，則定位系統、地面導控站、航空管理系統、與各式的智慧應用軟體，是主要的軟體應用系統的主要核心。

在本專輯中，我們非常榮幸地邀請：

1. 引領國內多旋翼無人機之教育與研究開發之首的長榮大學無人機中心林清一主任與團隊，聚焦於續航及酬載的瓶頸問題，探討以機載發電裝置為主題下，汽油、柴油引擎發電機與氫燃料電池發電系統，針對延長無人機的滯空能力、提升載具的酬載能力、以及強抗風的能力等議題，分享混合動力無人機的發展。同時，提出未來無人機進入國際競爭，在創新的技術整合、客製化的製造面向上，應轉為精緻化、獨特化的經營模式，以建立經營優勢的建言。
2. 執國內國防科技研發牛耳之國家中山科學研究院航空研究所資深工程師林昱甫與與





馬鈞文，協同分析無人機酬載與應用趨勢。將各種酬載，如 EO/IR（可見光 / 紅外線酬載）、Lidar（光達）、超音波傳感器、多光譜感測器、立體視覺感測器、飛時測距（TOF）及結構光等六大類常見的酬載，逐一精闢說明模組結構、運作原理與合適的用途。進而在目前與未來的實際應用上，在各應用領域剖析各式酬載的應用價值。

3. 著墨甚深於無人機於公共領域應用研究的電信三雄的老大 -- 中華電信之研發部門林俊佑研究員，精闢說明無人機商用服務與整合技術。同時以中華電信為例，介紹中華電信如何以 5G 通訊技術為基礎，打造 5G 無人機解決方案 - 空中智能應用服務（無人機飛航管理、智慧物流遞送、安防與設施巡檢），解決目前政府與企業在設施與環境巡檢上所遭遇的難題。
4. 身上常駐創客 DNA 的創客王子航見科技創辦人張東琳總經理，介紹商用無人機視距外飛行（BVLOS）的應用發展。針對如何提供一個基於物聯網架構兼具無人機飛航管理（UAS Traffic Management, UTM）功能又能協助無人機運營商（UAVO）多種任務出勤型態的任務導控平台的課題，剖析無人機之機型選用、無人機聯網、視距外飛行作業環境準備、以及視距外飛行

服務與應用市場等重要議題。

5. 具有絕對無人機飛航控制系統技術掌握能力之台灣無人機之王翔探科技總經理高丈淵，撰文介紹無人飛行載具市場及觀察與投入評估建議。基於多年的市場投入與經歷，高總經理精闢探討消費型無人機市場、工業應用市場、利基型市場，以及無人機相關教學市場的現況與未來可能發展。並且分享無人機產品開發與投資之重要市場需求發展趨勢與之觀察指標。

上述五篇文章的內容，除了涵蓋無人機之硬體構件、組成與運作機制，以及軟體系統與應用軟體之架構之外，也針對目前智慧用研發現況與未來研發課題、市場現況與未來商用應用領域的可能發展趨勢，提出寶貴分享、意見與建言。希望本專輯內容能夠帶給讀者一些基礎了解與啟發！

最後，本人誠心地感謝各撰稿人與編輯團隊，他們在百忙之中，犧牲假期與睡眠，大力協助與投入，使本專輯得以順利編撰、校稿、付梓。也盼望藉此專輯內容，能夠激盪出一絲漣漪，並得以拋磚引玉，使未來能有更多產官學研之各界先進，提出面相更廣，內容更精闢之成果、想法與創意，為未來我國無人機之研發與應用，蓄積閃亮於國際市場之動能。



# 無人飛行載具市場及觀察與投入評估建議

翔探科技股份有限公司總經理 / 高丈淵

關鍵字：無人飛行載具、UAV、AIOT

## 摘要

近年來，物聯網的概念興起，各種可自主移動的聯網設備開始出現，並掀起世界各國的研究單位無不競相投入開發相關的技術領域，無論是仿生及雙足機器人，輪式自走系統或是可在空中飛行的無人機系統，皆是熱門研發目標。而其中以可離地飛行的無人機系統更是具有相對其他載具更不受使用環境限制特性的物聯網載具平台。

在無人飛行載具產品的設計製造上，整合傳統航太及電子製造業所著重的技術開發要點即為在無人機產業勝出的關鍵。傳統航太工業所著重的基礎為複合材料及流體氣動力學，而電子行業所看重則是系統整合與電控技術研製。以上二者不論是航太科技或是電子製造均為我國近年來產業發展著墨的重點，因此，在日益競爭激烈的無人機產業中，以台灣既有的基礎輔以定向發展之策略，在未來的無人機市場上，我國必能占有重要的一席之地。

## 一、前言

在可在空中自動飛行的無人載具及電子元件與周邊相關技術日益進步及更新的同時，許多以無人飛行載具為主體的相關應用推陳出新，舉例來說，美國的亞馬遜公司（Amazon.com Inc.）自2013年起，醞釀著以無人機進行物流運送服務（圖1），計畫完成其電子商務的最後一哩路；在中國及亞洲各地的務農單位亦開始運用小型多旋翼無人機來進行自動化的藥劑噴灑散布，大幅度的降低人工作業成本；亦有世界各地的救災單位利用無人機進行救難物資投擲以及物業管理業者利用無人機來進行定點定時的保全巡邏服務。無人機相關應用市場產值的估算每年以30%以上成長率急速發展。在無人飛行載具的形態上，常見的有固定翼形式、多旋翼形式及混合固定翼及多旋翼的VTOL形式，當然以廣義的飛行載具來說，以輕於大氣的氣體所填充懸浮飛行的飛船也可視為無人飛行載具的一種型態。



圖 1 亞馬遜 (Amazon.com Inc.) 啟動無人物流服務試運行。來源 <https://www.dezeen.com/2019/06/06/amazon-prime-air-drone-news>

在無人飛行載具相關軟硬體產品及服務已形成一新興市場的同時，國內產業如何有效率地進入市場並取得一席之地，對於政府機關乃至於企業研發策略的制定來說，必然是一個重要的課題。

## 二、無人機系統組成簡述

在無人機系統產業的發展上，雖是由傳統的航空模型市場演變而來，然而在無人機應用的系統需求上，與航模的娛樂性質大異其趣。無人機應用系統首要的要求便是穩定性以及高度垂直整合，因此在日益擴張的無人機市場上，除了以無人機設計專業為基礎的新創公司外，傳統航模製造廠商亦是無人機應用市場不可或缺的參與者。臺灣與在無人機應用市場供應鏈的相關產業已有良好基礎，輔以各種無人機應用相關電子系統設計，必能滿足各種相關市場需求，以下為無人機應用系統產品的相關組件簡介：

### (一) 機體框架

無人機產品的開發設計上，機體框架為十分重要之產品設計基礎，原因在於無人機為飛行載具，與一般地面載具最大不同之處為對於荷重十分敏感，尤其是小型化的無人載具。在無人機產品設計之初，必須對於產品應用功能及所需搭載的設備或模組做一詳細重量量測及確認必須搭載之負重。

以室內消毒藥劑無人機產品為例(圖2)，由於必須額外搭載水霧化裝置及消毒藥劑容器，因此在機體框架設計上的挑戰十分嚴峻，額外的荷重使得既有框架無法直接應用，因此必須針對新的無人機應用產品皆必須重新設計，無法以舊有機體框架再利用，大幅提高了產品設計難度及成本。除了機構外型外，尚必須考量其機械強度及重量，因此一般會利用碳纖維材料的高強度低重量的特性來完成無人機產品的機體框架。





圖2 室內無人機消毒系統之碳纖維框架及設計。來源：本文撰稿整理。

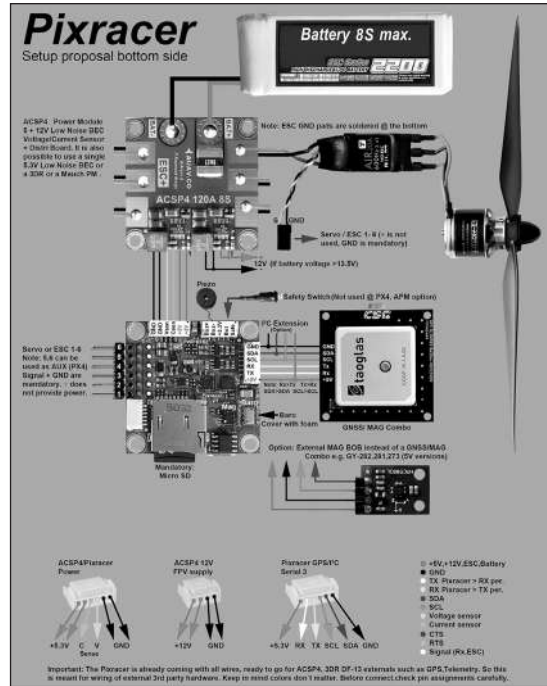


圖3 Pixracer 開源飛控系統及周邊模組架構。來源：[https://docs.px4.io/master/en/assembly/quick\\_start\\_pixracer.html](https://docs.px4.io/master/en/assembly/quick_start_pixracer.html)

## (二) 運動航控系統

可商用的無人機載具與一般遙控航模最大之差異之特徵在於是否具備可進行任務規劃的航控系統。航控系統（亦稱為飛控系統）以微處理器與陀螺儀等姿態感測元件為核心，感測無人機機體本身的飛行姿態並提供推進系統控制信號以維持無人機保持平穩飛行。多旋翼型的無人機與傳統固定翼型及單軸直升機型的飛行載具相比，運動航控系統更為其能否升空的必要條件，因其飛行姿態必須以多個馬達所驅動之螺旋翼依姿態調整轉速方可維持飛行動力。

周邊具備GPS信號接收器的航控系統還

能提供自動返航的功能（圖3）。

## (三) 動力推進系統

在傳統的航空載具設計上，以燃燒燃料為動力的引擎發動機為主流，然而到了目前的多軸飛行載具及小型化的無人機體大部分以電動馬達驅動螺旋葉片為滯空動力來源。在航空載具的開發上，除了必須以最精簡的控制系統架構為輕量化目標外，還必須依目標載重起飛條件及滯空飛行時間為考量來選擇電動馬達與螺旋槳的匹配，以達最大能耗效率。以多軸無人載具使用的電動馬達來說，一般使用的是無刷外轉子馬達，除了馬達本身外，尚須匹配一驅動控制器



(Electronic Speed Controller, ESC)。在螺旋槳的匹配上，以參考原廠所提供之匹配馬達規格，拉力及耗電流來判斷是否適合目標產品規格需求。

#### (四) 通信系統

隨著無人機應用市場及功能日漸廣泛，無人機之通信系統亦從傳統的遙控類比電波信號逐漸轉換至可以傳送影像，遙測數據等等的數位信號，在一般空拍用的無人機產品上使用的為以2.4 Ghz或5.8 Ghz的軟體定義無線電信號 (Software Defination Radio，簡稱SDR)。

根據ITU-R M.2171報告給出的定義，無人機系統通信鏈路是指控制和無載荷鏈路，主要包括指揮與控制 (C&C)、空中交通管制 (ATC)、感知和規避 (S&A)三種鏈路。在無人機通信網路中兩個裝置或節點之間的信

號交換頻道稱為通信鏈路。控制站與無人機之間進行的即時信息交換便需要通過通信鏈路來實現。

操作人員以地面控制站將指揮、控制以及任務指令即時地傳輸到無人機上，同樣，無人機需要將自身狀態 (速度、高度、位置、設備狀態等) 以及相關任務數據傳送回地面控制站以供操作人員判斷飛行任務狀態。

#### (五) 地面站系統及人機介面

在地面無人機操作人員以地面電腦控制站，藉著各種無線通訊信號進行連線，確認連線才可在遠端執行機體起飛並進行任務，功能包含室內地圖建置，室內路徑規劃，噴灑裝置控制，飛行紀錄等四項核心功能 (圖4)，當使用者在平台端設定完任務後，亦可透過手持裝置與App的方式進行操作，在

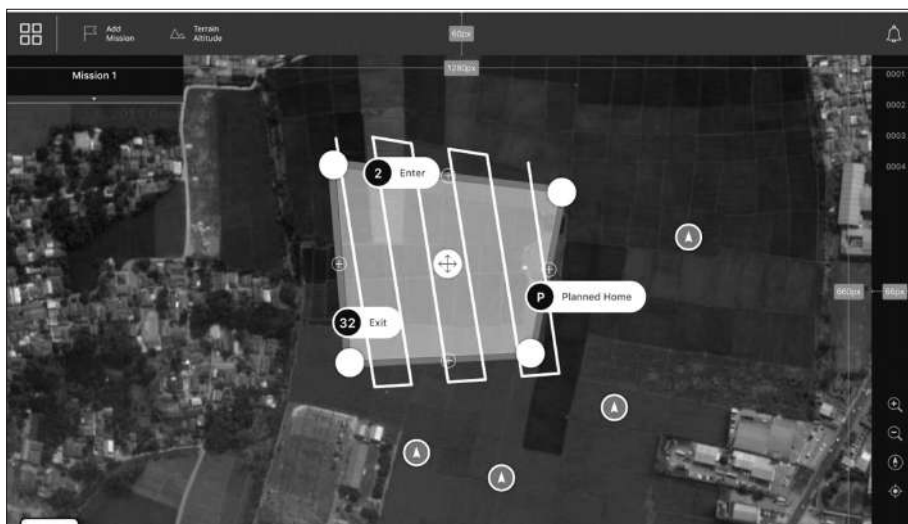


圖4 無人機人機介面設計。來源：本文撰稿整理。

目前市場上的消費級無人機產品操作方式多半為現場執行者透過手持裝置操作為主，另外，除可在平台編輯飛行任務需求外，亦可透過傳統無線電遙控器（緊急情況）切換為人工操作以避免失誤發生。

### 三、市場現況

無人機（或無人飛行系統）的應用市場越來越受到關注，並將移動計算帶入了一個新時代。由於每天都有大量無人機相關應用開發廠商或業餘愛好者投資湧入這一有光明前景的行業，因此在相關應用上技術開發上亦是日新月異，有了廣大技術開發族群的參與，它們很快將無處不在，並隨著通信技術（如5G）時代的來臨，高頻寬且低延遲的無人機網絡可用於提供無人機服務，提高無人機服務在通訊及資料交換的便利性。此外，由於世界各地產業均有不盡相同的無人機應用需求，在國際無人機應用市場上，不論是技術研發上的聯盟，或是商業市場拓展的貿易夥伴，均為國內無人機應用科技業者不可或缺的一環（圖5）。

#### （一）相對成熟的無人飛行載具應用

無人機應用市場從敏感的軍事領域到一般民用及商用領域吸引全世界的無人機技術開發者投入，無人機技術在過去幾年中得到了發展和繁榮。不論是個人，公司法人和政府已經意識到無人機具有多種用途，目前較成熟且已具商業規模的一般民用無人機應用有：

##### 1. 農液噴灑及數據收集

無人機於農用噴灑的應用在近年來逐漸

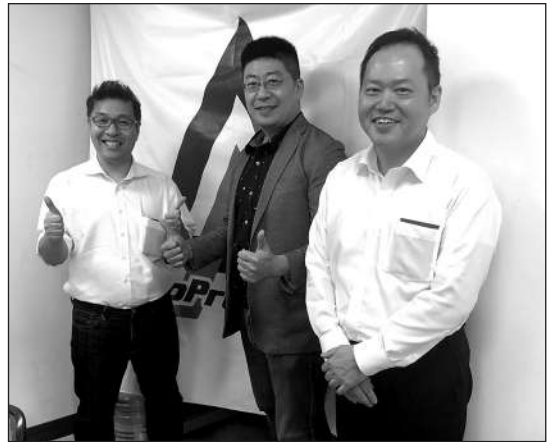


圖5 日本 Blue Innovation Co., Ltd 社長 熊田貴之（左1 來台訪問 Aeroprobing Inc.）



圖6 無人機田野作業車。來源：本文撰稿整理。

成熟並快速普及中，其與傳統作業相比，優勢不外乎：自動化作業可節省人力及時間成本。其次是以無人機噴灑藥劑可大幅降低務農人員與化學藥劑的接觸，降低人員暴露在化學藥劑中中毒的風險（圖6）。除了智慧噴灑，搜集田野的大數據也是未來智慧精準農業不可或缺的一環。「無人機對智慧農業協助產量預測來說，是一項很好的載具。」原





圖 7 日經產業報導日本巡檢用無人機市場規模。來源：日經產業新聞網。

先農民為了量測土壤的濕度、氣溫、病蟲害等數據，必須在田地裡放置很多感測器，如此一來，維護成本是個令人頭痛的大問題。固定裝置在田野間的感測器有著這些隱憂：被野生動物咬壞、電子裝置進水、電力不足等問題。此外，為了得到精準數據，必須大量建置於地面，成為管理上的負擔。以無人機執行資料感測除可解決這些問題外，亦可同時降低監控單位面積大量布置感測裝置的成本，裝載感測器的無人機在噴灑過程中，同時感測並收集田野數據，管理者可在遠端監看，除了可增加資料收集效率也可同時管理不同地區的田野數據作業。

## 2. 建物及公共設施巡檢

無人機巡檢應用的商業領域中，提供利用無人機技術於自動化服務的項目日新月異。特別是在產業基礎設施領域的設備巡檢上，無人機在巡檢作業之特性在於能迅速掌握待檢設備或建設的損耗狀況。且於防災、保全或監視等領域具有運行成本低，備勤時

間短等優勢。其次在電力供應鐵塔或其他不易以人力攀爬的設備、大型設施屋頂等產業基礎設施巡檢領域等可活用無人機設備巡檢的場域快速發展普及。在無人機的巡檢應用技術投入後可減少人力成本並降低人員工安意外風險的優勢，可說是產業的一大進步。因此，我國更必須加強國內工商產業相關檢測用的無人機技術開發。最近，在加速無人機巡檢實現上，已有無人機新創業者以自有技術開發相關整體解決方案（Total Solution）並輸出至鄰近他國市場。另外，在無人機巡檢技術實際操作和導入後的支援體制、適法性在內的產官學界討論和認證是更是加速此技術開發領域不可或缺的一部分。以鄰近的日本為參考，無人機巡檢技術發展上，特別是在電力、鋼鐵、石油、鐵路、建設等產業基礎設施領域應用，不論市政府或是產業，均以最優先資源投入相關研發，在日經產業報導亦提出單一市場的產值，於2025年將達5,073億日圓的規模（圖7）。其中目前該市場主要領導的本土廠商有日商Blue



圖8 防疫噴灑無人機解決方案。來源：本文撰稿整理。

Innovation，及ACSL。另外中國的深圳大疆創新（DJI）亦也在該市場佔有一席之地。

### 3. 防疫相關應用

目前在室內環境清潔與消毒上，大多依照傳統人力進行施作，除人力成本高以外，亦難以做到環境空間徹底施作與24小時定時消毒的水準，目前亦國內無人機新創公司進行研發小型化的無人機結合消毒藥劑噴灑及自動導航技術的產品，並已有產品工程性能測試雛型樣品。其最終目標是發展出一套能依日常作業排在室內外空間進行消毒作業以降低疫情擴散風險。該公司透過電腦視覺技術結合室內外無線電定位技術，控制無人機沿著雲端自動路徑規畫軟體獲得之最佳化噴灑路徑來執行建築物室外內環境消毒作業。該設計所使用之消毒藥劑並可即時彈性變更符合各種作業環境需求（圖8）。

## （二）無人機市場探討

### 1. 消費型無人機市場現況

在中國的DJI（深圳大疆創新科技股份有

限公司）推出了掛載運動相機的無人機產品Phantom後，便成為歐美每年聖誕節最受歡迎的禮物，也為DJI奠定其在消費型無人機市場的領導地位。經數年演進，其產品線的完整性亦已可滿足各種航拍需求。Tractica的報告指出，未來幾年消費性（用於一般休閒和娛樂用途）無人機銷售數量仍將繼續攀高，全球年出貨量將從2015年的640萬台增長到2021年的6,790萬台。目前消費型無人機市場由DJI（大疆創新）所主宰，全球市占率高達76%，其次是Parrot市占率約21%。

### 2. 工業/利基型市場現況

截至本年度（2020），檢測用無人機市場在單一日本地區已成長至多於1500億日圓的規模，然而在各種不同的檢測應用中，除了無人飛行載具本身外，尚須依檢測目標的不同而必須對無人飛行載具做差異化設計以符合功能需求。

## 四、產品開發與投資

在中國大陸的深圳大疆創新以其消費型產品Phantom系列推出並於市場大放異彩，取得全世界近八成的市場占有率後，雖然目前的無人機消費級產品市場難與其競爭，但是消費型無人機在出貨量成長的同時，其平均銷售價格也將持續下降，根據Tractica與Teal Group的預測，數量較少但單價較高的商用無人機市場成長快速，將在2021~2022年超越消費型無人機市場。在蓬勃發展的工業及商用無人機系統的市場上，由於各種不同的應用所需要的無人機產品皆有高度特製化的需求特性，因此在投入無人機產品市場上，較有機會成功的方向應還是以商用無人機系統的



圖 9 具備邊緣運算能力的河川巡檢無人機系統架構

產品市場為藍海市場。在投入商用無人機市場的觀察，所需要的技術如下：

資料處理及運算。

### (一) 無人飛行載具技術整合

參考目前無人機應用技術的發展趨勢及市場需求，我們發現除了無人機系統的整合性，穩定性為垂直整合的關鍵外，在進入5G通信時代後，憑藉5G通信的大頻寬，低延遲特性，無人機與雲端管理平台數據交換技術更是獲得一大躍進。在未來我們可見的是各種針對特殊應用開發的無人機系統及雲端應用軟體的市場展現將會是少量多樣的形式尤其是在物流、基礎設施巡檢、防災、災害應對等廣泛領域，可以提供更加安全、高效率的完全自動化無人機解決方案。除了實現了無人機的自動飛行及自動起降外，還可以管理飛行中、飛行後的飛行紀錄、相機等感應器數據資料處理及運算。機等感應器數據

### (二) 人工智慧的導入

特別是提供了搭載圖像處理、AI邊緣計算科技的最先進自動控制技術和搭載此技術的產業用無人機，已經在基礎設施巡檢、郵政、物流、防災等領域開始被採用。目前常見的架構是網路傳輸所採集到的數據至雲端以後處理方式分析資訊。隨著技術的推陳出新，在更高度自動化的無人機系統趨勢發展上，以無人機搭載邊緣運算系統(圖9)，大幅提升機載人工智慧的處理能力將會是主流方向；演算法將從功能導向轉變為情境導向，降低人為判斷導致操作失誤的可能性且能提升應用的可用性；而未來人工智慧依分析及應用流程將更透明化與自動化，使得人工智慧應用能更與時俱進，使用者亦可視需求自動化建模，極大化人工智慧應用的成





效。產業研究單位IDC預估，隨著人工智慧融合世代來臨，未來演算法將更為透明、人工智慧的使用將更為簡單，該進展亦將加速智慧型無人機產品的應用擴散與普及。

## 五、研究結論與未來展望

無人機的產品類型多元，除可取代人力執行高風險任務外，亦能提升工作效率降低人力資源的浪費，故近年來其整體市場發展迅速且產值年年以倍數成長。在以創新技術的無人機產品逐漸取代傳統工作器械及人力的同時，相關管理法規亦在日漸成熟中。我們期待在管理法規的研議同時，也能兼顧產業的發展需求。

另基於無人機應用市場發展的趨勢，以及我國資通訊產業優勢及科技業人才充沛的特性，在未來投入高價值的無人機應用系統服務，以應用服務來帶動無人機產業相關的軟/硬體系統整合發展是一個必然的產業趨勢。然而在無人機市場這樣的新興科技產業，新創無人機企業在國內也如雨後春筍般地出現在市場上以其獨到的創新優勢來佔有一席之地，在未來我們期望能充分發揮國內的產官學研研發能量，以國家隊的形式來提升我國在此新興產業與世界各國的競爭優勢。

### 參考文獻

1. <https://standards.globalspec.com/std/1404570/itu-r-report-m-2171> (1 December 2009)
2. 日經產業新聞編輯部，產業用ドローン市場は青空。經產業新聞，pp A1. (28 May 2019)



# 混合動力無人機的發展

長榮大學無人機中心教授兼主任 / 林清一  
長榮大學無人機中心博士後研究員 / 裴輝進  
中華電信研究院經理 / 葉雲兆

關鍵字：無人機、混合動力、長滯空高酬載、客製化設計

## 摘要

無人機的發展進入成熟，多項新的科技的融入，引導人類對飛行器應用的破壞性創新概念。多旋翼無人機雖然帶來極大的方便，快速取代固定翼無人機，然而續航及酬載的瓶頸問題，在應用上仍是捉襟見肘。本文探討最近的技術發展，以機載發電裝置為主，探討混合動力無人機的發展現況與未來。發電系統可能包含汽油或柴油引擎發電機，以及氫燃料電池發電系統，以延長無人機的滯空能力，同時也因此提升載具的酬載能力，也增強了抗風的能力。未來無人機進入國際競爭，創新的技術整合、客製化的製造，轉為精緻化、獨特化的經營模式，建立經營優勢。

## 壹、無人機產業現況

### 一、無人機的發展

無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV,

Remote Piloted Aircraft, RPA)、無人機系統 (Unmanned Aircraft System, UAS, Remote Piloted Aircraft System, RAPS) 的發展，已經成為機器人學 (Robotics) 進入空中飛行的重要研究領域。這被稱為“Drone”飛行機器人 (Robot) 載具，產生航空界「破壞性創新」 (Disruptive Innovation) 的技術概念，其中無人機及人工智慧 (AI) 將大幅翻轉航空產業的應用技術與生態結構 [1, 2]。無人機的破壞性創新，免除了機場與跑道設施、高價位的飛機投資、高成本的飛行員培訓、龐大複雜的製造、冗長的生命週期等。在Covid-19的衝擊下，傳統航空業營運及獲利驟降至谷底，部分功能可能被無人機所取代。

國際與國內無人機系統的研究發展，漸進歷程大同小異。過去以軍事用途定翼機為核心的研究，以美國、以色列、歐洲國家為首的軍事用途研發，1990年代末期從軍用的需求帶動民間的應用。中國大陸最近自21世紀以來大量投入政府支助經費，軍方的研究單位及民間的科技公司，如雨後春筍搶食

這塊大餅，從每年不同單位所主辦的各種無人機展覽，可以看到在龐大經費支撐下技術研發及成果突飛猛進。國內無人機的研究發展，以軍方需求為主的中科院研發單位，經費無虞。多年來掌握且獲得重要的技術與成果，學術系統也有超過二十個單位，透過科技部（國科會）的研究計畫及少數民間合作計畫來支助，研發規模與成果都很小，達不到產業規模。國內民間企業的研發也有許多精進的技術成果，更有許多應用發展的成功實例。

2010年以來，微機電系統（Micro-electromechanical system, MEMS）、碳纖維複合材料（Carbon Fiber Composite）、無刷馬達（Brushless Motor）、電子變速器（Electronic Speed Controller, ESC）電力電子、鋰聚電池（Li-Po Battery）及Pixhawk飛行控制等多樣技術的快速發展，使得無人飛行器的研究發展轉向了多旋翼（Multi-Rotor）系統的研究與應用。多旋翼飛行器大幅提升直昇機單一旋翼型的穩定性，簡化製造結構與飛行操控的複雜性，多旋翼系統很快的普及成為玩具形式的量化產品。由於大量製造降低成本、方便可得的飛控電子硬體與軟體資源，讓傳統固定翼無人機的學術研究跌到谷底。2012年起帶動一窩蜂的多旋翼飛行器研發與製造的熱潮。基本上，多旋翼飛行器建置及操控簡單，已普及到玩具的層次。垂直起降（Vertical Take-off and Landing, VTOL）多旋翼無人機快速成長，更成為消費性產品。垂直起降多旋翼無人機快速普及，利用無人機空拍變成時尚，利用無人機可以無所不在，無人機的熱潮旺盛 [3]。Business Insider Intelligence以商業經濟的角



圖 1 當今熱門的多旋翼飛行器

色針對國際市場做深度的分析報告，全球市場情勢一片大好 [4, 5]。

多旋翼飛行器及系統最大的特色在於不需要起降跑道、不受空間限制，可以鄰近應用的範圍作不同的操控應用。圖1為最近熱門的多旋翼飛行器研發成果，造型創意甚多，但是多旋翼機都是以鋰聚電池做為能量來源驅動操控簡單方便的無刷馬達，最大起飛重量（MTOW）大致2~10 kg，有效飛行時間僅有20~50分鐘，飛行速度在6~8 m/sec之譜，實用價值十分有限。

## 二、無人機技術瓶頸

除了飛行時間外，多旋翼飛行器與直昇機一般，因為動力系統的瓶頸，飛行抗風性較差，在長距離飛行可能的風險性較大。國際上多家公司建立完整的現貨市場供應各種類型的無刷馬達，以及所搭配的碳纖維螺旋槳規格，提供設計者選擇設計製作。美國的Turnigy Multistar、日本的信濃（Shinano）、捷克的Axi、大陸的T-Motor都是代表性的





製造商。

Mulristar公司針對馬達動力所需電池能量，相對其本身的重量，來評估四旋翼、六旋翼、八旋翼等設計，為了提昇最大起飛重量所增加旋翼數目的效果，可以發現多旋翼的設計最終是趨向於飽和的現象，也證明了增加旋翼數目對於提昇載具的酬載是無濟於事的。針對不同馬力的無刷式馬達，圖2為電池容量與飛行時間的能力對照，圖3所示為電池重量與飛行時間能力的對照。

為提昇多旋翼飛行器的實用價值，如何改善飛行器的最大起飛重量、續航時間以及操控性能，以創造多旋翼飛行器的更大實用價值。

無人機（UAV）的發展逐漸成熟，智慧農業 [6, 7]、古蹟空拍研究、空拍投影 [8]、物流運輸 [9]、防災偵蒐、地理遙測 [10] 廠區巡檢、醫療物品運送 [11, 12]、急救AED（Automated External Defibrillator）的投遞 [13] 等都是無人機新興的應用方案。這些工

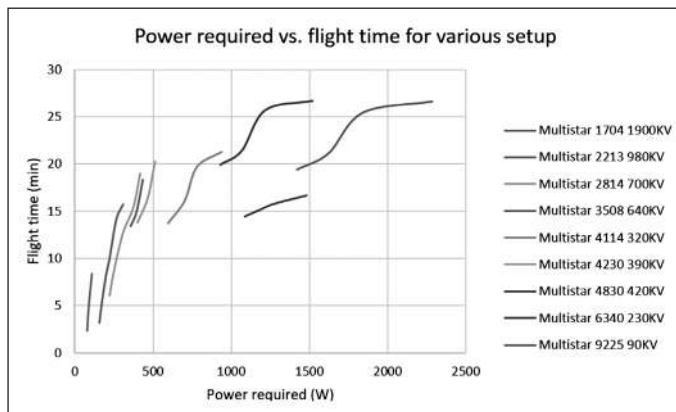


圖 2 Multistar 電池容量與飛行時間的能力對照

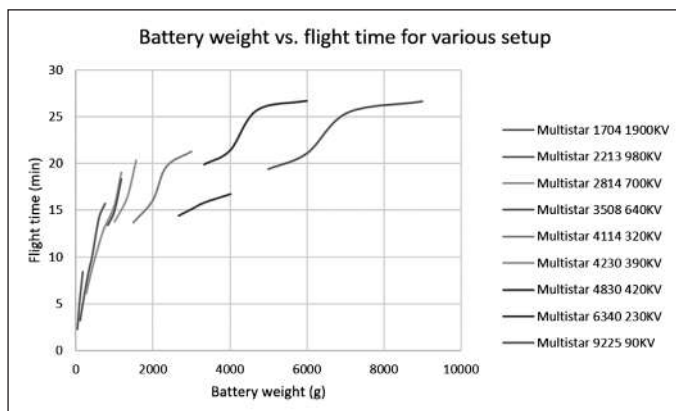


圖 3 Multistar 電池重量與飛行時間的能力對照

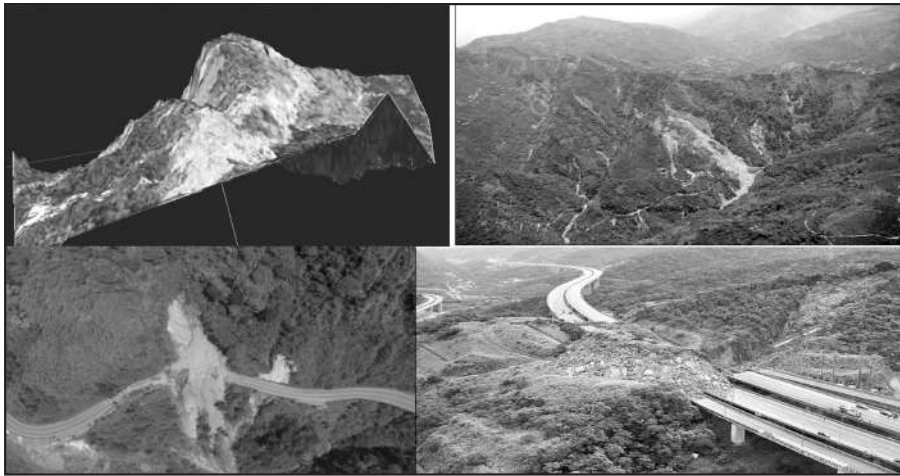


圖 4 大範圍遠端檢測報告 (資料來源：高速公路工程局)

作項目若是所需的酬載大於20 kg、飛行距離都大於30km、抗風性6級風以上，必須依賴固定翼無人機才能達成。最近的應用需求，例如偏遠山區的醫療物流 [12]、大型案場職安與工安巡檢、防災體系的山坡地巡檢、港區巡檢外海進港船隻、環保排汙檢查等都面臨到無人機作業能力的極限，酬載、續航、起降方式等，現有無人機的性能無法滿足，需有更先進的規劃方案以彌補技術缺口。圖4為利用無人機空拍防災的實際成果，利用水平起降 (Horizontal Take-off and Landing, HTOL) 的固定翼無人機可以達成的效果，但是機動性是較欠缺，長滯空垂直起降 (VTOL) 多旋翼機才有機會達成任務。

固定翼無人機受制於跑道與起降空域的必要條件，縱使能有較高的酬載與滯空能力，2012年以來仍被多旋翼VTOL的無人機所取代。多旋翼無人機最大的特色是垂直起降、機動性高，然而其酬載能力與滯空能力卻是無法承擔重要任務能力。單旋翼直昇機

幾乎克服兩項核心技術的問題，滯空能力比較延長，但是操控穩定性的專業條件，在使用上仍潛藏深度的危機。多旋翼機VTOL無人機的發展無須跑道，帶來使用上極大的方便，但是由於都使用直流馬達為動力，受限於電池的容量，續航能力都無法突破瓶頸，許多應用都很難達成。

近幾年來，UAV的研發規劃，酬載及續航能力考量，保有垂直起降的功能，設計構想十分多樣，其中如圖5的概念設計雛型成果，UAV的基本特性都是垂直起降 (VTOL)、水平起降 (HTOL) 的雙模態 (Dual Mode) 飛行操作。這些型態的無人機設計，表面上是解決飛行的問題，但是仍受制於酬載與續航能力的瓶頸，無法成為無人機應用的主力系統，提升任務執行能力。

### 三、小結

固定翼無人機、多旋翼無人機、直昇

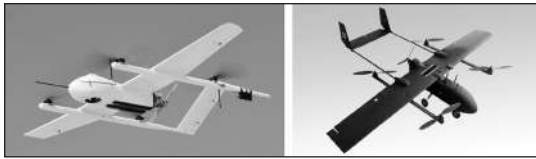


圖 5 雙模態無人機的國際研發概念設計

機等產品的研發各有特色，然而在有限的空間環境下，具備長滯空能力的水平起降（HTOL）性能的固定翼無人機被垂直起降（VTOL）的旋翼系統所取代。雖然鋰聚電池（LiPo）蓄電能力已經是領先各種電池，但是仍無法滿足旋翼機系統長滯空的需求，如圖2及圖3所示的分析，增加電池並不能明顯的提升旋翼直昇機的滯空能力達到需求條件。圖5所示的VTOL + HTOL混合方案，許多研發成果都相當成功，但是酬載能力尚未能突破實用的需求條件。

## 貳、混合動力系統

### 一、能源的能量密度

無人機混合動力（Hybrid Power）顧名思義是指機載系統採用鋰聚電池以外的動力來源，例如汽（柴）油引擎發電或氫燃料電池發電，以提供載具長時間的電力供應。相較於混合動力汽車，無人機的條件只在於基礎的重量，要能在整架飛機的最大起飛重量（Maximum Take-off Weight, MTOW）中保留40%的裕度來規劃必須的酬載。

從規範資料可得，相同重量汽油的能量密度（Energy Density）與鋰聚電池相比較，如圖6所示，鋰聚電池的能量密度為0.36~0.95 MJ/kg，汽油的能量密度為 44.4 MJ/kg，氫燃料電池能量密度143 MJ/kg，可見得在較大的

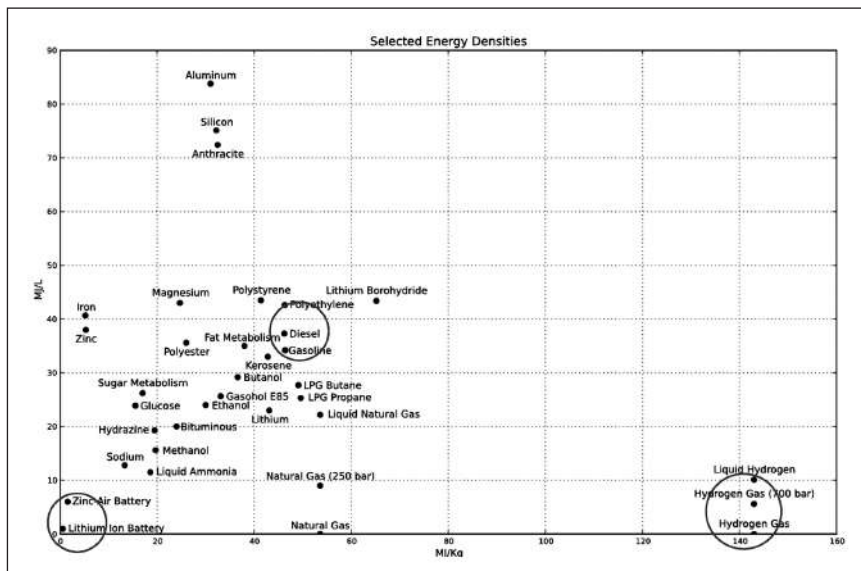


圖 6 能量密度比較 [14]





系統中，使用混合動力的優勢甚高，可以擺脫鋰聚電池的不足。使用汽（柴）油引擎、氫燃料電池等混合動力的所需重量與無刷馬達所需的重量，在相同的起飛重量下，汽油引擎設計的飛行系統可以持續數倍於電動馬達的飛行系統。但是經過評估，氫燃料電池的基礎重量甚大，不適合小型無人機，大約 MTOW > 200 kg 比較恰當；傳統汽（柴）油引擎體積也相當可觀，中大型無人機仍可適合，MTOW > 50 kg，可能達成目標。

## 二、混合動力系統

目前已經成熟的混合動力（hybrid powers）系統[15]技術，包含電池、燃料電池（fuel cell）、太陽光電（photovoltaic），內燃機（internal combustion, IC）引擎等。混合動力的概念是將不同的能源系統的優點整合進入更有效率的電力系統。因此混合電力與推進（hybrid electric propulsion, HEP）系統將可達成節省燃料、提高電力效率以及降低污染的多層效益。Eqbal [15]串聯式HEP系統的能源電力組態，如圖7，其中發電機直接

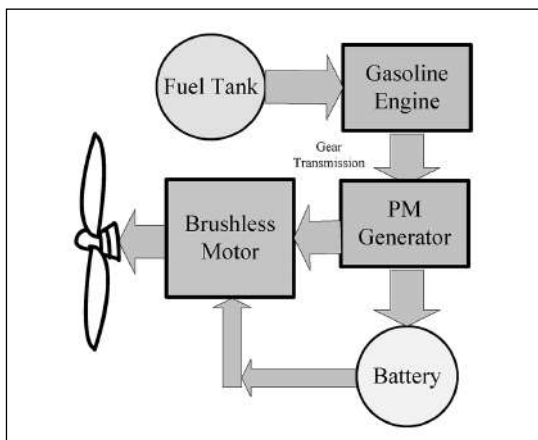


圖 7 串聯式 HEP 系統

供應電動馬達來驅動推進螺旋槳。Eqbal [15]也將內燃機引擎（International Combustion Engine, ICE）與電動馬達的機械輸出，以離合器（Clutch）交互推動螺旋槳，形成並聯機械動力系統，其中引入一個電池為備用電力。

新近成熟的燃料電池（fuel cell）也是用在混合動力系統中一項先進的選項，電力驅動馬達為主要動力系統。混合動力系統最重要的部分是如何建立電池充電的迴路，以延續電動推進系統的續航能力。

Fioriti 及Donateo [16, 17]設計中高度長滯空（medium altitude long endurance, MALE）無人機，採用柴油內燃機建置並聯式動力架構，如圖8所示，機械動力與電機動力以離合器切換。Fioriti的系統中電池也是必要的備援，並特別強調在不同階段的無人機動力飛行下，電力供應與備援電池的有效管理。經過一系列的實驗，柴油內燃機的長效運轉能力，讓無人機的滯空時間更長，且無過熱的疑慮。

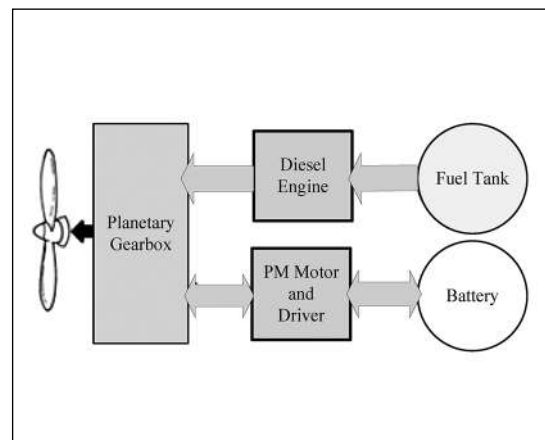


圖 8 並聯切換機電混合系統

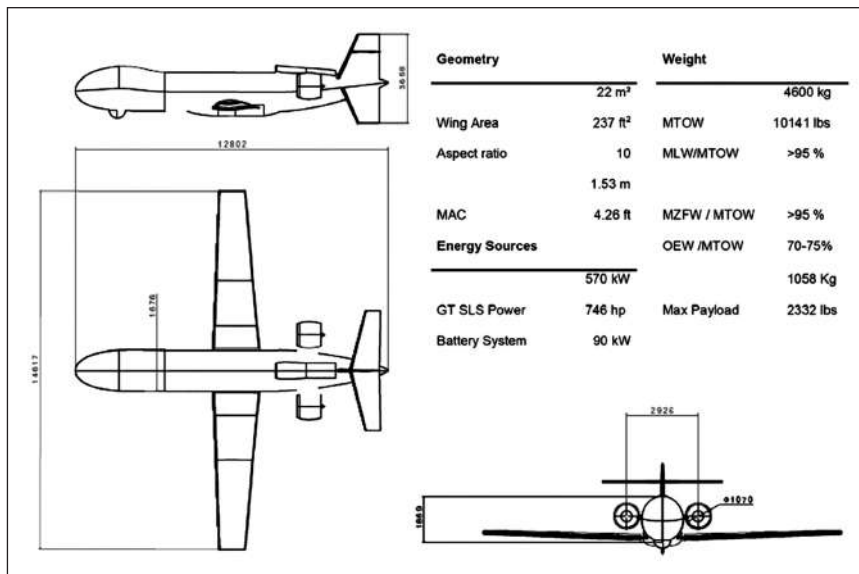


圖 9 混合動力設計的通用航空飛機

混合動力系統的架構，所使用的燃料電池或傳統汽油或柴油引擎（ICE）都會因為重量問題，設計在大型無人機中，無法適用於 24 kg 以下的小型無人機。

大型無人機的研發可以利用老舊的有人機來改裝，例如通用航空飛機（General Aviation, GA）或超輕型飛機（Ultra-Light Aircraft, ULA），可以用極少的成本、很短的時間，建立所需的大型無人機。Sibilli [18] 以類似圖 7 的串聯式混合動力系統設計混合動力通用航空飛機（GA），如圖 9 所示。渦輪風扇發電機發電提供後推的兩具電動馬達為主要的推力系統，相同的概念，也將充電迴路的電池作為備用電力來源。Yezeqelian [19] 以運動用超輕飛機（ULA）來發展混合動力中高度長滯空（MALE）無人機。超輕的最大起飛重量（MTOW）範圍可達 500 kg 左右，因此與通用航空飛機一樣，ICE 重量

不成問題。因此在大型的固定翼無人機設計下，MTOW > 400 kg，利用內燃機引擎設計的無人機，可行性甚高。

Machado [20] 利用小型的無人機引擎建立一套混合動力的實驗系統，如圖 10 所示。

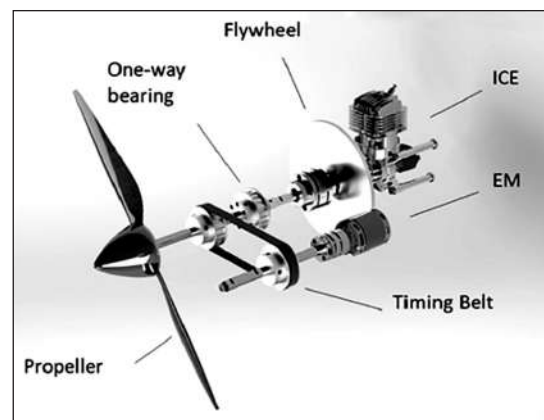


圖 10 機電並聯式混合動力系統



圖 11 美國 TFT 公司混合動力多旋翼機

內燃機引擎 (ICE) 與電動馬達是以單向性軸承結合，用以切換兩種動力來源。系統中仍是用充電電池，以作為電動馬達部分的備用電力。Machado 雖然是實驗系統，但是體積小、重量輕，能夠適用於多種小型無人機上。

圖 11 是美國波士頓 Top Flight Technology (TFT) 公司所研發的混合動力多旋翼無人機，該機已經完成專利申請以及完整商業模式方案的產品，MTOW > 50 kg、滯空時間 > 120 min。該機以汽油發電機提供直流電源，支持長時效的飛行電力，並以電池為備援動力，可以適用於中長程的垂直起降無人機任務。基於商業機密，TFT 公司無法提供更多數據。

混合動力的操作控制也是系統設計十分重要的一環。Borggero [21] 以最大起飛重量 (MTOW) 最佳化的考量，設計模糊控制器，以適應不同重量的變化，達到最佳的操作性能。Wall [22] 將混合電力與推進 (HEP) 建立一個包含內燃機與電池的動力系統模型，主要改善混合動力切換時的暫態

問題。控制的應用與系統組態設計有很深的關聯。

## 二、小結

無人機置入混合動力系統，不論是串聯式或機電離合切換並聯式，都必須加裝一顆鋰聚電池作為備用電源。串聯式的系統著重於以無刷馬達為動力，機載發電或電池都是提供無刷馬達運轉的能源。由於汽油的能量密度是鋰聚電池的 44.4 倍，高能量密度的優勢可以有效增進續航力。機電離合切換的並聯式系統，並沒充分利用無刷馬達的性能優勢，反而帶來操作上的狀態不穩定。以傳統固定翼無人機用的汽油引擎為機械動力來源，配合反接的無刷馬達發電機，可以很有效地獲得電力，讓無人機系統高效率運轉。

## 參、混合動力的 QiQ 設計概念

### 一、QiQ 設計與動力分析

小型無人機的動力系統，可以採用無人機專用內燃機引擎來設計。混合動力多旋翼無人機的系統，可以將汽油引擎與無刷馬達混合設計。因此，發電系統與螺旋槳動力可以是分開的分支，利用離合器混合機械動力的架構，如 Wall [22] 所做的研究，容易造成操作上的不穩定性，徒增困擾。

引擎發電機在供電上有一個致命的問題，發電機無法提供無刷馬達瞬間的大電流需求，基本上仍需要鋰聚電池 (LiPo) 或超級電容 (Super Capacitor) 來協助。鋰聚電池或超級電容的能量密度最高、效率最佳，



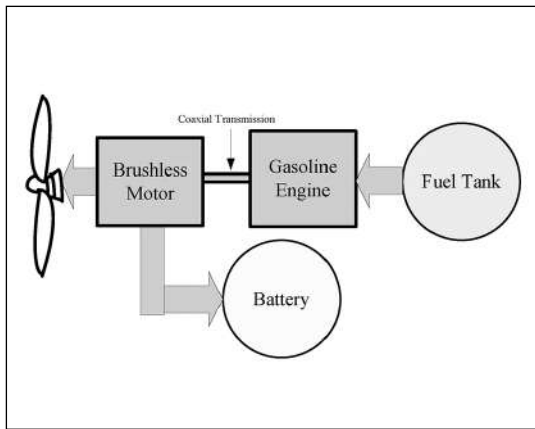


圖 12 同軸式混合動力系統

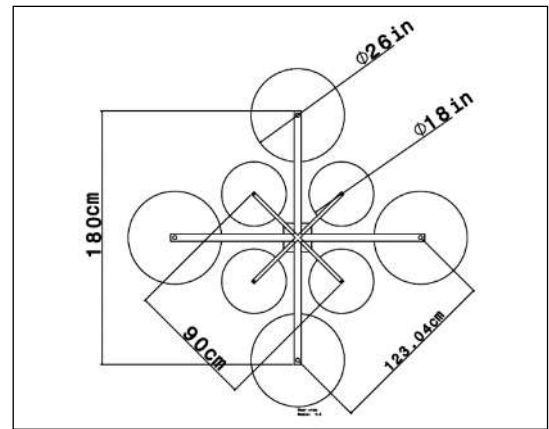


圖 13 QiQ 雙四旋翼飛行器的概念圖

且瞬間放電電流最大出電容量可達額定值的 20~50 倍 (20~50C)，十分有利於無刷馬達在飆速時所需的瞬間大電流。混合動力系統的設計以汽油引擎或柴油引擎為主。兩項都是極為普遍的技術，沒有太大的技術瓶頸。但是不論汽油或柴油，傳統工業技術，2 kW 系統的引擎加上發電機都有相當大的體積與重量，以及運轉下所產生的熱量。

圖12為本文所發展的同軸式 (Coaxial) 混合動力多旋翼系統架構，包含汽油引擎及無刷馬達為動力來源，產生足夠的VTOL升力。其中汽油引擎為傳統的固定翼無人機推力引擎，在他的共軸上加裝一個無刷馬達，汽油引擎提供無人機螺旋槳的動力，同時也帶動無刷馬達發電機，提供所設計的無刷馬達電源。

本混合動力多旋翼系統的設計架構，包含一架以汽油引擎為動力的短臂四旋翼機及一架以無刷馬達為動力的長臂四旋翼機，組合成為雙四旋翼系統 (Quad-in-Quad System,

QiQ)。QiQ多旋翼飛行器及尺寸規範，如圖13所示的概念設計。QiQ之4具汽油引擎匹配三槳推力，提供主要的升力來源；4具無刷馬達匹配雙槳推力，提供部分升力及主要的姿態控制操作。經過設計後，QiQ的主要BOM (Bill of Materials) 如表1所示。

表 1 QiQ 主要零主件材料

1	Gas Engine	O. S. GT-33 Engine, CDI, Muffler
2	Engine Propeller	18×10×3 Multistar
3	Digital Servo	9.6 kg/cm @7.4v, 0.03 sec/60 deg
4	Motor	KDE 5215XF 435 kV, Brushless Motor, ESC
5	Battery	LiPo Super Brother's WIG batteries
6	Motor Propeller	18x6.1x2 Multistar
7	Structure	Carbon Fiber Tube (24-30-300)
8	Engine Base	Aluminum-6061
9	Support Beam	Aluminum-6061
10	Support Plate	Carbon Fiber (phi = 300 mm, h = 4 mm)

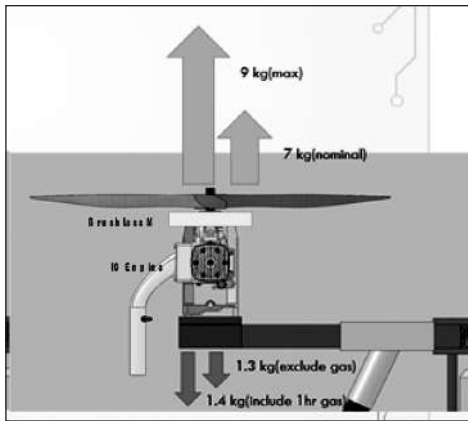


圖 14 引擎升力貢獻推估

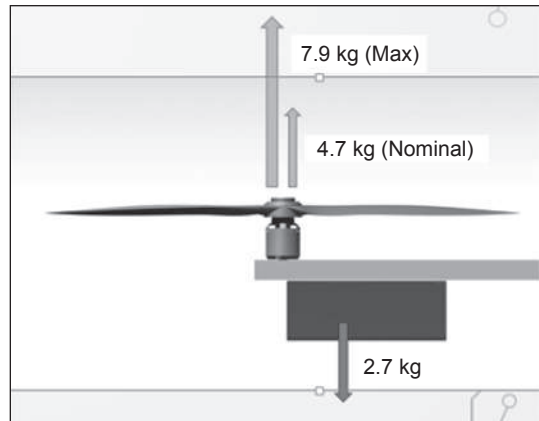


圖 15 無刷馬達的升力貢獻分析

QiQ設計選擇適當的汽油引擎做為系統設計的基礎，選配適當的螺旋槳，將引擎轉速及螺旋槳的動力，評估升力貢獻的可控制範圍。汽油引擎GT-33引擎為5.58 hp，7,000 rpm，重量980 g，搭配螺旋槳在期待的轉速下，產出的推力約為7 kg (nominal)~9 kg (max)，引擎驅動電子系統重1.3 kg。汽油引擎的規範數據，每公升可以運轉飛行40分鐘，保守估計每小時最大耗油1.5公升 (0.75 kg max/hr)，可用推力4.3~6.3 kg，汽油引擎之總升力貢獻可達17~25 kg，初步的探討如圖14所示。無刷馬達搭配18×6.1×2螺旋槳的推力7.95 kg (max)，驅動電子系統及電池重2.7 kg，如圖15所示，無刷馬達70%之總計升力貢獻為16.8 kg (nominal)是最大動力極樂觀的評估數據。

QiQ完成初步設計後，針對選用的OS-33引擎及KDE5215XF無刷馬達都經過實驗測試，驗證動力系統在100%至70%轉速時，選擇的槳配均要能滿足所設定的條件，否則將會造成升力不足的問題。

## 二、QiQ 動態分析

QiQ雙四旋翼飛行器的系統座標轉換如圖16所示，它的升力與力矩貢獻如圖17所示。

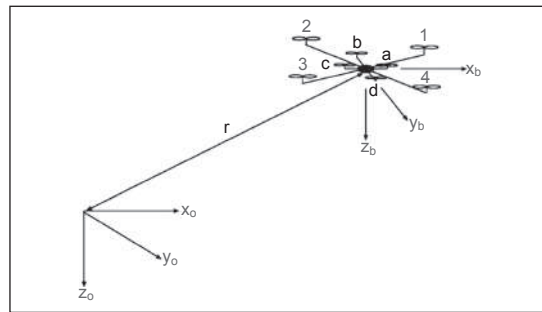


圖 16 QiQ 雙四旋翼系統的座標轉換

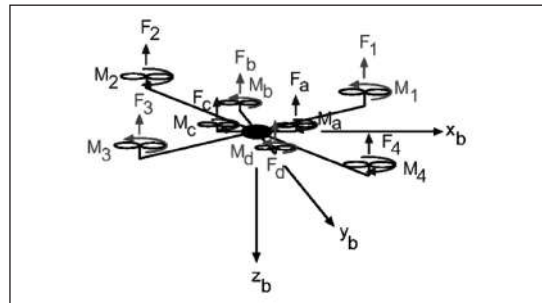


圖 17 QiQ 雙四旋翼飛行器的升力與力矩貢獻



考慮 QiQ 處於穩定狀態，

$$\text{此時 } \dot{z} = \dot{\phi} = \dot{\theta} = \dot{\psi} = \dot{w} = \dot{p} = \dot{q} = \dot{r} = 0 \quad (1)$$

$$\text{且 } w = p = q = r = 0 \quad (2)$$

因此，原來運動方程式

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & -c\phi s\psi + s\phi s\theta c\psi & s\phi s\psi + c\phi s\theta c\psi \\ c\theta s\psi & c\phi c\psi + s\phi s\theta s\psi & -s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi \\ -s\theta & s\phi c\theta & c\phi c\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s\phi t\theta & c\phi t\theta \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi/c\theta & c\phi/c\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -qw + rv \\ pw - ru \\ -pv + qu \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -W \sin \theta \\ W \sin \phi \cos \theta \\ W \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} + \frac{1}{m} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & I_{xz} \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ I_{xz} & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & r & -q \\ -r & 0 & p \\ q & -p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & I_{xz} \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ I_{xz} & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & I_{xz} \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ I_{xz} & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \cos \theta \cos \psi u + (-\cos \phi \sin \psi + \sin \phi \sin \theta \cos \psi)v \\ \dot{y} &= \cos \theta \sin \psi u + (\cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta \sin \psi)v \\ m\ddot{x} &= F_z(\sin \phi \sin \psi + \cos \phi \sin \theta \cos \psi) \\ m\ddot{y} &= F_z(-\sin \phi \cos \psi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi) \\ m\ddot{z} &= W + F_z \cos \phi \cos \theta \\ M_x &= 0 \\ M_y &= 0 \\ M_z &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

其中

$$\begin{aligned} F_z &= -(F_a + F_b + F_c + F_d) - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 \\ M_x &= (F_b \ell_1 - F_d \ell_1) + \frac{\ell_2}{\sqrt{2}}(F_1 + F_2 - F_3 - F_4) \\ M_y &= (F_a \ell_1 - F_c \ell_1) + \frac{\ell_2}{\sqrt{2}}(F_1 - F_2 - F_3 + F_4) \\ M_z &= (M_a - M_b + M_c - M_d) - M_1 + M_2 - M_3 + M_4 \end{aligned} \quad (8)$$

且  $F_a$ 、 $F_b$ 、 $F_c$ 、 $F_d$ 、 $M_a$ 、 $M_b$ 、 $M_c$ 、 $M_d$  為 1,000 段中的固定引擎推力與扭力，實際穩定性仍是由馬達所控制，亦即控制四顆馬達推桿位置來滿足轉換後最後四個式子。

$$\begin{aligned} M_x &= (F_b \ell_1 - F_d \ell_1) + \frac{\ell_2}{\sqrt{2}}(F_1 + F_2 - F_3 - F_4) = 0 \\ M_y &= (F_a \ell_1 - F_c \ell_1) + \frac{\ell_2}{\sqrt{2}}(F_1 - F_2 - F_3 + F_4) = 0 \\ M_z &= (M_a - M_b + M_c - M_d) - M_1 + M_2 - M_3 + M_4 = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

上三式為控制 QiQ 的姿態，當此三式為 0 時，QiQ 姿態不轉動保持固定。一般而言，引擎產生的推力與扭力會比馬達產生的推力與扭力大許多，而臂長可減小此穩定問題，但為使馬達保有控制裕度，推桿位置不應太高或在 50% 左右。

$$m\ddot{z} = W + [-(F_a + F_b + F_c + F_d) - F_1 - F_2 - F_3 - F_4] \cos \phi \cos \theta \quad (10)$$

(10) 式為控制 QiQ 的高度，當等號右邊為正時，表示 QiQ 往地面接近，為使 QiQ 不墜落，應盡可能保持等號右邊為負。一般而言，當 QiQ 保持水平，即，重量等於推力。然而，當 QiQ 傾斜時，推力需大於重量才能使等號右邊為零或負值。值得注意的是，推力有其極限值，因此存在一極限角度使 QiQ 必會墜毀。為找出此一極限角度，以下將 QiQ 實際數據納入考慮。

假設 QiQ 估計重量大概為 20kg (結構) + 8 kg (> 1 hr 燃油)，引擎力臂 45 公分，馬達力臂 90 公分，一般載重 (裝備) 為 10 公斤，總重大約 38 公斤，在此情況下考慮四個引擎與馬達皆為理想狀態，亦即四個引擎與馬達各自有相同的推力與扭力，因此力矩平衡。另外，考慮實際引擎與馬達可持續運作的極限狀態，引擎最大轉速為 7600 轉，其推力值為 6.9849 公斤，馬達最大推桿位置為 85%，其推力值為 9.8394 公斤，因此於極限狀態下最大總推力值約為 67.2972 公斤。為防止 QiQ 下墜，控制高度的方程式須滿足：



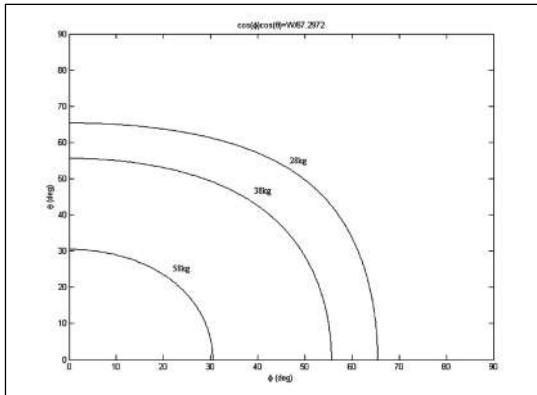


圖 18 QiQ 升力控制相對於滾轉角與俯仰角的關係

$$W + [-(F_a + F_b + F_c + F_d) - F_1 - F_2 - F_3 - F_4] \cos \phi \cos \theta < 0 \quad (11)$$

$$38 * g + (-67.2972 * g) \cos \phi \cos \theta < 0 \quad (12)$$

$$\cos \phi \cos \theta > \frac{38}{67.2972} = 0.564659450913262 \quad (13)$$

從圖18可知，當滾轉角與俯仰角落在左下角區域內時，QiQ高度可控制，在此區域外則高度無法控制持續下墜。另外，上式中的極限狀態下最大總推力值不會改變，但每次任務載重會有所不同，當總重28公斤（結構+ 1 hr燃油）時，最大傾斜角度不可超過65°，當最大載重至30公斤（總重58公斤）時，最大傾斜角度只能在30°以內。然而考慮到實際引擎與馬達的推力與扭力皆不同時，力矩平衡應先考慮，以現有力臂長分析x軸與y軸力矩平衡，引擎與馬達推力比例需約為1.4:1，z軸力矩則需進一步由實驗分析，故最大傾斜角度須再減小10°以增加控制裕度。

### 三、同軸發電

為了達成混合動力的最大目標，QiQ引



圖 19 引擎同軸發電機組裝三視圖

擎以同軸驅動方式設計發電機。發電機選擇Turnigy 9014-105 kV無刷馬達，額定功率，2600W、117A (max)。KDE5215XF穩定運轉需要大約40A。在OS33引擎5.58 Hp，其中80%螺旋槳動力、同軸發電，上加一個固定框架，將無刷馬達固定上去，完成如圖19的系統組裝。本文第一個雛型完成後，若OS33引擎動力不足，將升級為OS55引擎。

無刷馬達倒裝，就是三相無刷發電機，6S系統輸出電壓可達34V以上，經過三相橋式全波整流，可以獲得低漣波（Ripple）的直流輸出，用以提供動力的無刷馬達運轉，或回充鋰聚電池，以發電與供電設計，每一個發電機提供一個無刷馬達所需的電力。為避免飛行時操作無刷馬達大電流需求，每一個發電輸出端將增加一個小顆的6S鋰聚

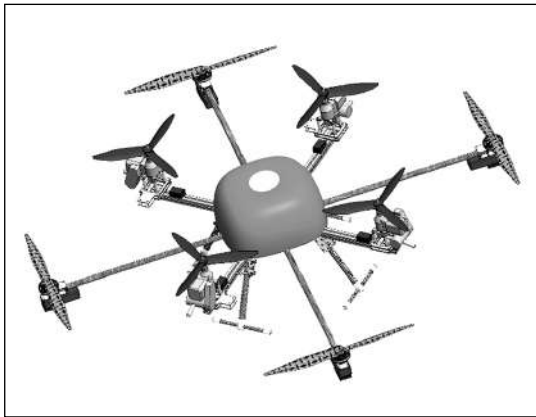


圖 20 QiQ 設計外觀

電池，以緩和瞬間大電流。

#### 四、小結

圖13所構想的雙四旋翼系統（QiQ）將主要的飛行動力讓汽油引擎來承擔，而無刷馬達則承擔部分動力並負責姿態操控。汽油引擎同時也帶動同軸發電機，提供無刷馬達及飛控與電子系統的電力。

#### 肆、實現與測試

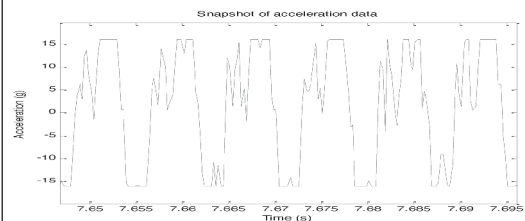
QiQ設計完成後，如圖20之外型，耗費大約10個月的時間細部設計及選擇材料，零組件加工及組裝。

##### 一、震動抑制

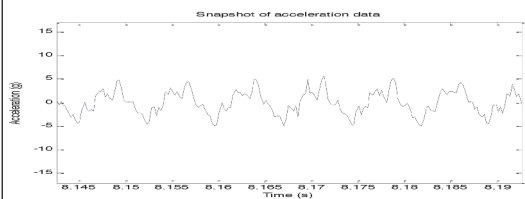
QiQ的初步測試，震動達45G，無法穩定飛行，因此改用彈簧避震系統，震動狀況改進到5G左右，如圖21所示，讓飛行控制可以順利達成。



(a) 震動改善後的實體



(b) 震動改善前 > 20G (量測系統15G飽和)



(c) 震動改善後 < 5G

圖 21 引擎避震器實體 (a)，震動改善前 (b) 及改善後 (c)

##### 二、引擎控制

汽油內燃機引擎的控制十分棘手，必須調校引擎控制器，至接近的條件。四顆引擎的轉速不能差距太大，否則四旋翼的升力無法平衡，經過精密的PID調校，如圖22所示。由於內燃機引擎不容易線性操作，因此透過近似的線性化，將RPW與PWM逼近到一

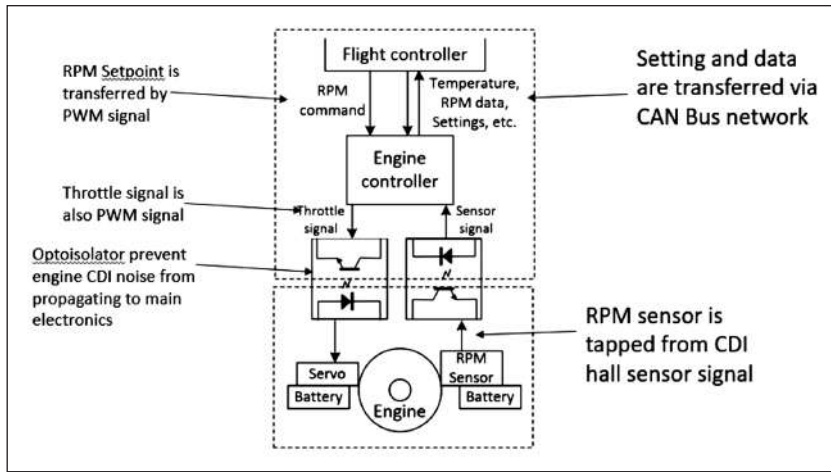


圖 22 引擎轉速回授控制調校

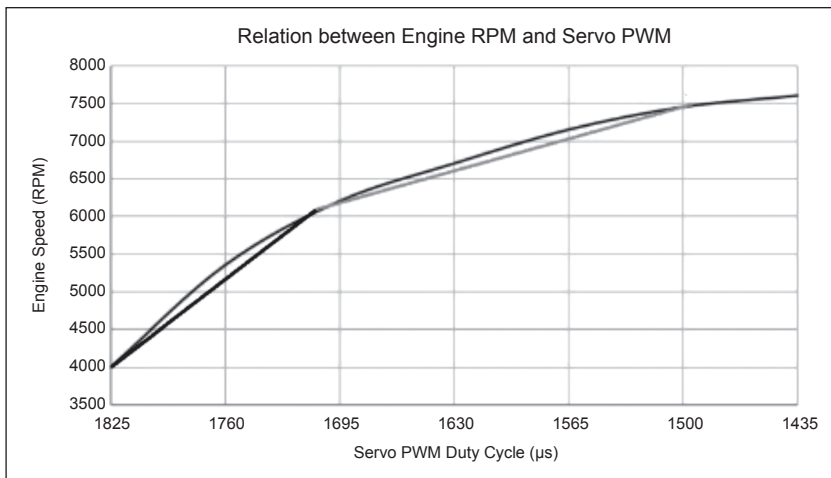


圖 23 引擎 RPM 線性化 PWM 控制

個接近的控制範圍，如圖23以利操作。完成引擎調校後四顆引擎的轉速誤差小於100 rpm (<1.4%)，如圖24所示。

### 三、引擎反轉

多旋翼系統偶數顆動力必須靠正逆轉來

平衡機身的旋轉力矩。選用OS33引擎後面臨一個大問題，原來設計的逆轉機構製作上無法達成效果。引擎旋轉靠一個轉軸上的Hall sensor來決定點火角度，正轉時1-2-3-4，若將Hall sensor對稱反向120°，可以將引擎反轉為1-4-3-2。本項修改，順利完成OS33引擎逆轉的問題。



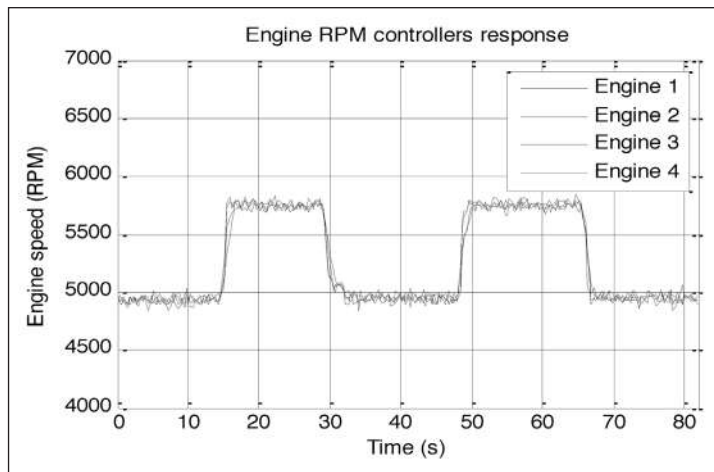


圖 24 引擎轉速調校結果，變動振幅 <100 rpm

#### 四、姿態控制

QiQ完成後空重將達22 kg，MTOW > 45 kg，在飛行上的抗風能力有大幅改善，但是傳統多旋翼系統操作上都是靠局部的馬力增加來改變姿態，將十分耗電，QiQ設計於無刷馬達下方加裝一片控制面（Fin），4個方向的控制面可以用較少的功率輸出輔助QiQ做姿態控制，如圖25所示。

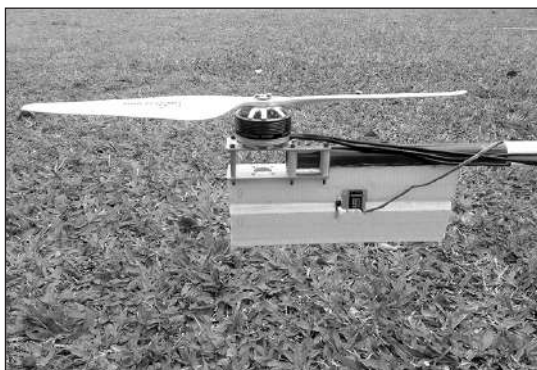


圖 25 QiQ 長臂上無刷馬達下加裝的控制面

#### 五、油箱

QiQ是混合動力系統，主要能源來自機載油料，因此本無人機上必設計有效的油箱，以供足夠的油料，如圖26所示。油箱設計考慮飛行時的動態搖晃，不能斷油，因此油槽是向下漏斗形，在出口處保留大約0.5公升的即用油。根據需求，油箱設計最大15公升空間，可以支撐QiQ飛行超過2小時。油箱

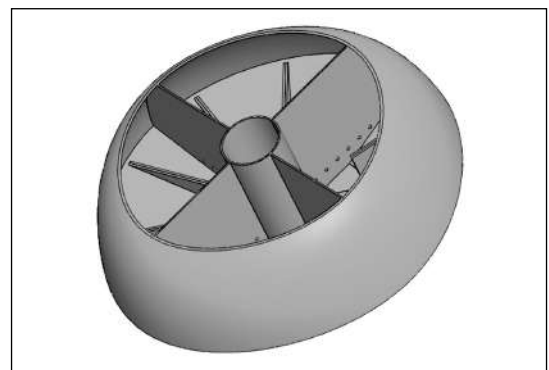


圖 26 QiQ 油箱設計

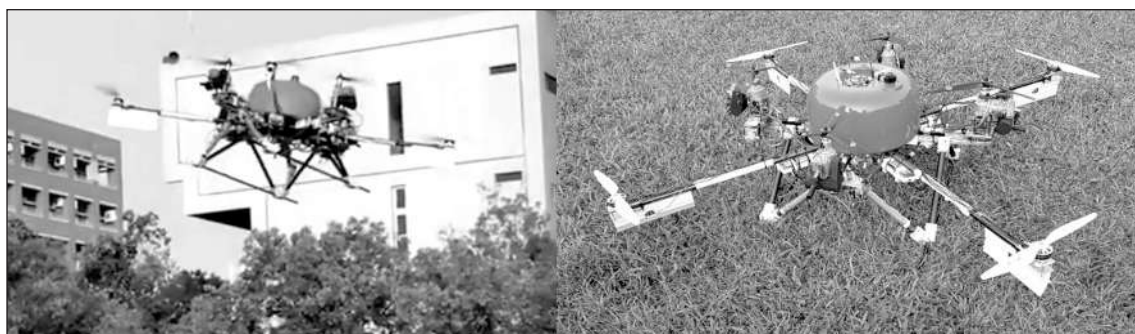


圖 27 QiQ 完成後開始試飛

為玻璃纖維材料，結構強度考慮異常碰撞的承受力，避免油箱破裂。

## 六、性能測試

QiQ完成後做幾項極限測試，第一是飛行動態測試，利用操場空間做長時間飛行，第二是載重測試，將16 kg重的人行道鋪地磚掛載於QiQ底部，做幾個動作的飛行測試。第三是滯空時間及抗風性測試，利用賽嘉隘寮溪河床進行飛行測試，紀錄飛行時間67分鐘，完成性能檢視及油耗的測試。圖27為QiQ在校區內進行測試飛行的照片。

## 伍、結論

無人機的破壞性創新正因為技術可行、市場需要，有許多傳統飛機的業務會被無人機所取代。本文從無人機近幾年發展歷程的回顧，無人機受限於跑道起降（HTOL）、酬載及滯空（VTOL）能力，很難成為有效的空中運具。如何克服設計上的問題，發展符合需求的無人機，才能讓無人機應用走入實務系統。本文提出一架完成測試的混合動

力雙四旋翼無人機（Quad-rotor in Quad-rotor, QiQ）。也許QiQ的設計不是最適合的系統，但是本文的目的期望提出一個無人機未來的展望，從可用的混合動力系統去發展更適當的無人機，做為下一個世代的無人機基礎。

QiQ的設計比較大的缺點有幾項：（1）噪音大約85dB（10 m內），是否有改善空間；（2）引擎啟動須加裝自動點火系統，以便熄火時可以再度啟動；（3）圖19所選用引擎發電機的無刷馬達不再生產，須另覓替代方案；（4）飛行控制有點繁複，需改進；（5）OS33引擎動力稍嫌不足，將須改為OS55引擎。

QiQ已經達成的特點也有幾項值得關切：

（1）混合動力無人機確實可行，可以解決無人機的實用瓶頸；（2）利用傳統固定翼飛機用引擎可以成為體積小容易安裝的發電系統（專利）；（3）油箱的設計可用；（4）長臂下的控制面改進操控性十分有效果（專利）。

本文是一個拋磚引玉的探討，期望引起更多學者專家的注意，投入混合動力無人



機系統的研究發展。

## 謝誌

本研究於科技部計畫MOST-109-2622-E309-001-CC1支助下完成。

## 參考文獻

1. Farnborough International, “The five most disruptive technologies for aviation”, available on web: November 9, 2017, <https://www.wearefinn.com/topics/posts/the-five-most-disruptive-technologies-for-aviation/>.
2. H. Goudarzi, IATA, “6 technologies that will revolutionise the aviation and airport industry in 2017”, *The International Airport Review*, available on web: February 20, 2017, <https://www.internationalairportreview.com/article/26374/technology-revolutionise-aviation-2017/>
3. P. Barry, “Introduction to Unmanned Aerial Vehicles”, *Baseline Surveys*, Available on web in January 2014, <http://www.uav.ie>.
4. Business Insider Intelligence, “Commercial Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market Analysis – Industry Trends, Forecasts and Companies”, February 11, 2020.
5. Business Insider Intelligence, “Drone Market Outlook: Industry Growth Trends, Market Stats and Forecast”, March 04, 2020.
6. V. Puri, A. Nayyar, L. Raja, “Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture”, *Journal Statistics and Management Systems*, (2017) 20:4, 507-518, DOI: 10.1080/09720510.2017.1395171.
7. W. Budiharto, et al., “A Review and Progress of Research on Autonomous Drone in Agriculture, Delivering Items and Geographical Information System (GIS)”, December 2019.
8. B. McNell, C. Snow, “The Truth about Drones in Mapping and Surveying”, Skylogic Research LLC, 2016.
9. R. Kellermann, T. Biehle, L. Fischer, “Drones for parcel and passenger transportation: A literature review”, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, in press June 2020.
10. J. Gao, Y. Yan, C. Wang, “Research on the Application of UAV Remote Sensing in Geologic Hazards Investigation for Oil and Gas Pipelines”, *ICPTT 2011*: pp. 381-390.
11. Dark Daily, “Swiss Post Medical Drone Carrying Clinic Laboratory Specimens Crashes in Switzerland”, May 15, 2019.
12. A. Claesson, et al., “Unmanned Aerial vehicles (Drones) in out-of-hospital-care-arrest”, *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, (2016) 24:124, DOI: 10.1186/s13049-016-0313-5.
13. A. Pulver, R. Wei, C. Mann, “Locating AED Enable Medical Drones to Enhance Cardiac Arrest Response Times”, *Prehospital Emergency Care*, 20:3, 378-389, DOI: 10.3109/10903127.2015.1115932.
14. Hydrogen Fuel Cell-Energy Star of Tomorrow: (<http://163.30.125.8/life/index.php?op=ViewArticle&articleId=10500&blogId=610>)
15. S. A. M. Eqbal, N. Fernando, M. Marino, G. Wild, “Hybrid propulsion systems for remotely piloted aircraft systems”, *Aerospace*, Vol. 5, 2018.
16. M. Fioriti, S. Vaschetto, S. Corpino, G. Premoli, “Design of hybrid electric heavy fuel MALE ISR UAV enabling technologies for military operations”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 92 No. 5, pp. 745-755, 2020.
17. T. Donateo, A. Ficarella, L. Spedicato, “A method to analyze and optimize hybrid electric architectures applied to unmanned aerial vehicles”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 90 No. 5, pp. 828-842, 2018.
18. T. Sibilli, C. Senne, H. Jouan, A. T. Isikveren, S. Ayat, “Synergistic hybrid-electric liquid natural gas drone: S.H.I.E.L.D”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 92 No. 5, pp. 757-768, 2020.
19. A. Yezeguelian, A. T. Isikveren, “Methods to improve UAV performance using hybrid-electric architectures”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 92 No. 5, pp. 685-700, 2020.
20. L. Machado, J. Matlock, A. Suleman, “Experimental evaluation of a hybrid electric propulsion system for small UAVs”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 92 No. 5, pp. 727-736, 2020.
21. L. Boggero, M. Fioriti, C. S. Ragusa, S. Corpino, “Trade off studies of hybrid-electric aircraft by fuzzy logic methodology”, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 56, No. 1, pp. 143-152, 2018.
22. T. J. Wall and R. T. Meyer, “Hybrid Electric Aircraft Switched Model Optimal Control”, *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 36, No. 4, 2020.





# 商用無人機視距外飛行 (BVLOS) 的應用發展

航見科技股份有限公司總經理 / 張東琳

關鍵字：BVLOS、無人機、5G

## 摘要

近日隨著5G行動網路的開台各式垂直場域應用陸續開展，商用無人機服務發展也因此相得益彰。無人機裝置總數在經過消費性產品的爆炸性成長後推波助瀾了法規面的跟進，讓各式商業應用能有較正規化的環境而能適性發展。其中視距外飛行 (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) 在更大的操作範圍中涵蓋了較多種的應用場景，為無人機商業應用展開全新的篇章。BVLOS操作情境有許多好處，亦有相關限制，考量未來蓬勃發展的商業應用所需，如何提供一個基於物聯網架構兼具無人機飛航管理 (UAS Traffic Management, UTM) 功能又能協助無人機運營商 (UAVO) 多種任務出勤型態的任務導控平台便是一項重要課題[1]。

美國現今由FAA，NASA與無人機業者正在研擬無人機航管系統 (UTM) 的通訊格式、資料交換規範、資訊架構以及導航方

式。FAA與NASA共同成立了研究過渡小組 (Research Transition Team, RTT) 研擬視距外低空域多機飛行的航管系統草案，國內亦有學術單位提出透過全國型無人機飛航管理 (National UTM, NUTM) 與區域型無人機飛航管理 (Regional UTM, RUTM) 使用Internet串聯各無人機運營商 (UAVO) 導控系統提交的飛行計畫並實時監控匯流至國家空域系統 (National Airspace System, NAS) 的商用無人機任務架構[2]。

本文探討的是針對長距離無人機操作情境所需的相關技術支持包含飛行器構型、能源配置、通訊解決方案，綜合討論針對不同場景如何提供無人飛行器系統視距外飛行能力。

## 一、前言

臺灣資通訊科技 (Information and Communication Technology, ICT) 基礎設施發展完善催生了許多智慧應用，也讓無人機應



用的觸角更進一步延伸如：農產畜牧等一級產業、防救災、國家安全防護等高價值應用領域，這般殺手級革命創新趨勢令人期待。然而，無人機一方面帶來許多契機，另一面也帶來許多隱憂，就如同其他的物聯網裝置。隨著5G開台無人機產業成形更是指日可待，5G的可靠性、低延遲時間及大頻寬等特性，將使無人機在執行地形測繪及空拍建模任務時，可大大提升工作效率。此外，5G也能提供無人機實現各種複雜的應用。這樣的外環因素與體質改善讓商用無人機普及的願景終將來臨。紐西蘭警方已經計畫利用5G連網的無人機提供高解析視訊流，將畫面傳給指揮中心，隨著全面部署的實施，可以合理預期會影響警力的調配，讓無人機發揮最大的效率。無人機產業硬體的技術壁壘逐漸消失服務亦出現同質化，價格戰爭煙硝四起亦驅使市場逐漸往更高附加價值方向發展。

## 二、文獻回顧

本節將對目前無人機在視距外操作應用情境進行分析、回顧，以了解行動通訊與IOT裝置在無人機應用領域目前的發展與應用。

### (一) 無人機操作距離

視距外 (BVLOS) 意味著超越了操作者的視線範圍，其距離定義在各國無人機相關管理辦法中皆有被提及[3]。參考我國民航局遙控無人機管理規則中第99條之14提及：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。正常雙眼視覺在視角為1分角的測試中以小數紀錄法表示若為1.0表示可在5M外清楚分辨1.45 mm的物

體，經換算可推估：若有一翼展5M的無人機靠肉眼可清楚辨識的範圍大約在400-500M之內。目前雖無明確定義視距範圍的距離，但可參考前述法規第28條之4提及：延伸視距飛航者，最大範圍為以操作人為中心半徑九百公尺、相對地面或水面高度低於四百呎內之區域，且目視觀察員應與遙控無人機保持目視接觸，並提供操作人必要之飛航資訊。意即現行進行視距外飛行主觀上並不合乎規範，但美國聯邦航空署 (Federal Aviation Administration, FAA) 亦有以整合試點計畫 (Integration Pilot Program, IPP) 輔導通過提交營運風險報告書 (Specific Operations Risk Assessment, SORA)、操作概念書 (CONOPS) …等報告書針對FAA之 § 107.31 操作規範得到豁免之案例。

圖1顯示了無人機在不同操作限制中可以涵蓋的範圍，分別是視距內 (VLOS) 的0.8平方公里與延伸視距內 (EVLOS) 的2.5平方公里，及視距外 (BVLOS) 的310平方公里。以單次作業範圍差異來看，視距外飛行對於將無人機應用在地面測繪、地質調查中進行操作限制的解除確有其必要性。

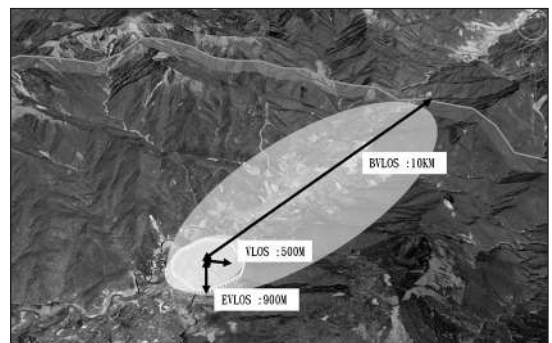


圖 1 無人機操作距離涵蓋範圍



表 1 頻譜與波段劃分說明

頻段名稱	頻段名稱	頻率範圍	波長範圍	用途
極低頻	ELF	3-30Hz	長波	極長距離點與點間之通信 航海及助航系統
超低頻	SLF	30-300Hz		
特低頻	ULF	300-3000Hz		
甚低頻	VLF	3-30kHz		
低頻	LF	30-300kHz	中波	無線電定位、固定行動業務、 海洋浮標、業餘通信
中頻	MF	300-3000kHz		
高頻	HF	3-30MHz	短波	業餘通信、無線電天文、標準 頻時信號、民用無線電
甚高頻	VHF	30-300MHz	超短波	雷達、調頻廣播、電視、導航
特高頻	UHF	300-3000MHz	分米波	短距離通信、中繼系統、電視、 衛星氣象
超高頻	SHF	3-30GHz	釐米波	微波、中繼、各種雷達、衛星通 信、無線電天文
極高頻	EHF	30-300GHz	毫米波	
兆赫輻射	THF	300GHz-3THz	亞毫米波	非破壞檢測

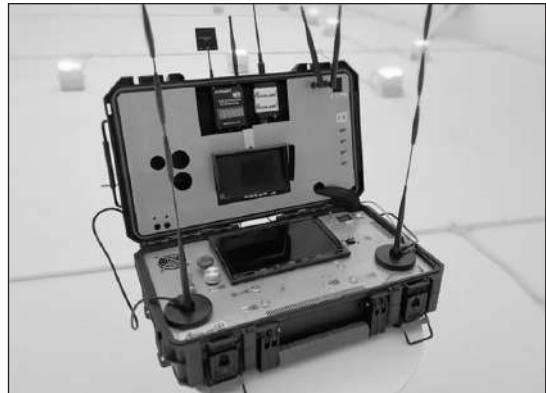


圖 2 整合多個 ISM 頻段的在地面控制站設備

## (二) 無人機聯網

無人機不僅可以用於偵查，還可以作為各種物聯網應用平台，再通信技術方面傳統無線通訊系統協定構築簡單，高速、低延遲通信能力，在許多防救災應用場景中已有許多應用實績如表1。

特殊應用通訊方式在頻譜劃分時已另規劃專門頻段，而商用無人機與消費無人機僅能基於國際電信聯盟無線電通信部門 (ITU, Radiocommunication Sector) 的ISM 頻段 (Industrial Scientific Medical, ISM)。包含了13.56 Mhz、27.12 Mhz、40.68 MHz、433 Mhz、915 Mhz、2.4 GHz、5.8 GHz等頻段[4]。在頻段使用中除了有資源授權低的狀況外且較為低頻的頻段往往頻寬不足以支持無人機應用時高解析度影像的傳輸，因此市面上多見如圖2具有多頻段通訊設備的整合式的地面導控站。

商業任務飛行的需求與偵查打擊有所不同，往往需要綜合多重感測資訊以及多路影像的回傳因此更像是物聯網應用的延伸。隨

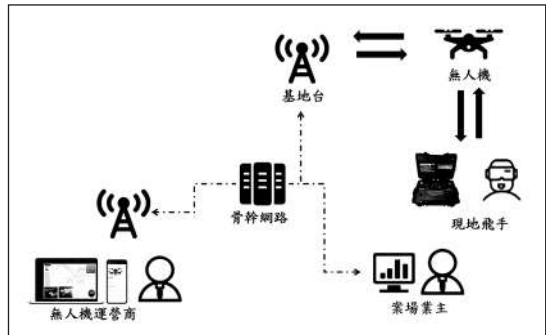


圖 3 結合行動通訊以及 UHF 通訊的任務架構

著5G時代的到來，5G的優點在IOT領域能發揮的空間將更大幅增加[5][6]。目前如圖3的任務導控架構各界還持續在摸索，如果最終能建構出一個低延遲且沉浸式互動的任務操作終端，營運商更可以透過分析各種巨量資料，利用電腦預測地障在遠端發揮地面迫近警告系統 (Ground Proximity Warning System, GPWS) 的功能並綜合天氣對於飛航任務的影響，提高每個趟次飛行任務的安全性[4]。

## (三) 無人機型的選用

無人機發展至今已衍生多種構型，以起





降方式可區分為水平起降式及垂直起降兩種形式，以水平起降為主的固定翼飛機（fixed-wing aircraft）具有長距離、長滯空的特點缺點是需要較大空間進行起降。

旋翼機（rotorcraft）雖能克服起降需要跑道的限制但停懸所需功率較高，作業時間通常較固定翼飛行器短，但其優異的機動性以及快速部屬的特性還是讓許多無人機應用選擇了旋翼機此種構型，因此在市場上也出現了綜合兩種優勢的垂直起降固定翼（vertical take-off and landing, VTOL）此種特殊構型。

旋翼機在旋翼配置的不同還能夠細分為單旋翼直升機（helicopter）、雙旋翼直升機（bicopter）以及泛指三個旋翼以上的多旋翼直升機（multicopter），整體來說旋翼機在任務當中的構型是相當靈活的，目前商用較常見的四旋翼構型筆者認為除造價相對低廉外，四旋翼飛行器更有方便攜帶等優勢，但在需要較長續航力以及較大作業範圍時單旋翼直升機則更有效益。依起飛方式不同的飛行器構型分類如圖4。



圖 4 無人飛行器構型分類 [5]

心的資訊通透整合，更是未來無人機服務高價值重要路徑之一。

以設施巡檢應用為例Eric Schwartz [10] 等人提到視距外飛行讓我們在執行巡查任務時能夠最大幅度的跨越目標區了解設施的所有細節從而節省了大量時間與金錢。在美國聯邦航空局於2014年許可了無人機的商業使用後不久，就有許多公有事業將其用於基礎設施維護並透過機載感測設備取得大範圍的數據資料。

#### （四）視距外飛行應用市場

國內外也早已有將行動網路整合於無人機服務的作法在論文中提出。利用機載通訊模組和飛控系統的即時數據交換，加上來自聯網模組設備上所採集的資料，即構成了無人機服務系統的資訊流。有別於單純物聯網，無人機智慧化服務側重在三度空間中有效的對目標範圍查找並取得感測試距，在更廣泛的救災應用場景中將現地與情資整合中

表2顯示了公有設施巡檢的無人機業者針

表 2 無人機設施巡檢操作方式成本比較

	視距內操作飛行(VLOS)	視距外操作飛行(BVLOS)
人力需求	2人	1人
保險	\$250/人/月	\$400/人/月
薪資費用	45000-55000/人	45000-55000/人
巡檢距離	5 英里 / 8小時	50 英里 / 8小時
移動成本	65,000-80,000/人	65,000-80,000/人
油料與維護	20,000/年	20,000/年
設備	1000,000年	150,000/年
運營營銷	170,000年	300,000/年



對常規巡檢方式與導入視距外無人機導入後的成本差異比較，其中常規並使用無人機進行視距內巡檢方法的單位巡檢成本約為500 USD每英里，而使用視距外飛行的成本則為65 USD每英里，且在同樣人力配置下每月巡查量有10倍的差距。

### 三、視距外飛行作業環境準備

商用無人機的聯網是無人機跨出應用藍海的重要一步，結合雲端的數據資料庫，協調邊緣運算（Edge Computing）更讓無人機的每一次出動都更智慧化，下文將以實務應用的角度，導入國人所開發的雲端遙導控系統進行無人機自動飛行任務。

#### （一）商用無人機視距外飛行痛點

一趟全自動的視距外飛行事前規畫充滿許多變數，在路徑規劃過程就必須考量地障對飛行安全的影響並透過模擬飛行充分了解任務中對於興趣點的拍攝與感測是否精確，在現地飛行也需要多樣的資訊進行統整包含了小區域天氣資訊的即時提供，即時畫面的不中斷，飛航資訊的監控，最終完成的飛行任務亦要匯入GIS系統或相關分析工具進行畫面或感測點的數據處理，飛行任務過程中會發生的問題整理如表3。

上述的實務操作問題可概略分為任務前、任務當中、任務後三個時間點，在事前

表 3 視距外飛行任務難題

	問題現況
飛行計畫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 事前規劃現地飛行任務無法事先掌握高程資訊地障、建物的資訊。</li> <li>2. 航線規劃完畢對模擬飛行的需求。</li> <li>3. 飛航申請紙本準備冗長，無法自動生成且有繁複的簽核流程。</li> </ol>
現場協調	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 現地的小區域天氣狀況需提前確認，才不致發生到了現場卻因天候因素無法作業之狀況。</li> <li>2. 現場作業畫面無法即時取得往往於事後分析或進行建模實發現有缺漏。</li> <li>3. 巡檢或是植保應用缺乏一套涵蓋範圍的判斷標準流程，在現場即時回報完成度。</li> </ol>
資訊管理	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取得之畫面以及監測數據需要一簡便的途徑轉換成GIS圖資。</li> <li>2. 人工分析過程中每一個感測節點與畫面易有疏漏。</li> </ol>



需透過工具生成安全可靠的飛行計畫，任務中從即時畫面、機上資訊回傳、雲端的監控掌握每秒飛機的任務完成狀況並透過機載裝置或雲端的感測與避讓Detect-and-Avoid (DAA) 功能確保飛行過程安全。

任務完成後所取得的畫面以及Raw data 非常繁雜，整合飛行軌跡的分析亦是一大難題。

## (二) 視距外飛行任務解決方案

本節將以航見科技開發的無人機隊遠端導控系統Topology切入，介紹商用無人機聯網的遙導控解決方案，如圖5所示。

### 1. 4G與5G連網能力

以往無人機作業常以UHF頻段點對點傳輸數據與影像傳輸，配合筆電或平板作業。控制鏈路傳輸距離約二至三公里，在符合ISM頻段使用規範的條件下雖可將傳輸距離延伸至七至十公里。然而對於更多商用無人機應用情境來說依舊不足。因此機載4G/5G通訊裝置DroneLink如圖6，使無人機獲得行動網路通訊能力將可大大延伸作業場域。



圖 5 智慧飛行任務管理解決

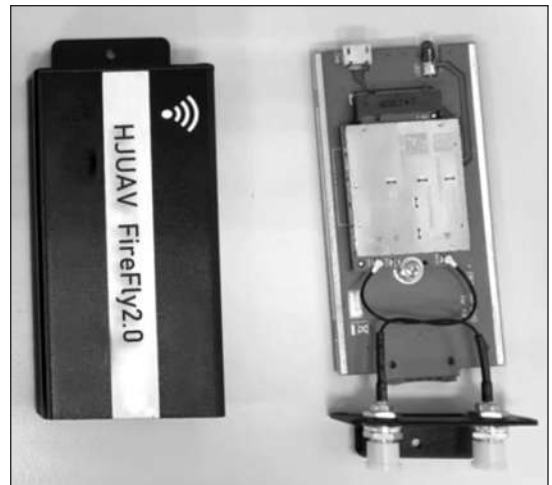


圖 6 機載 4G-LTE/5G 通訊模組

DroneLink支援飛行控制電腦的通用通訊格式，從飛控電腦上讀取並解析飛行姿態、GPS位置等資訊，整合影像串流，即時回傳至雲端伺服器，使用者便可藉由Topology桌面應用程式即時觀看無人機的作業狀況。由於使用行動網路，控制範圍不受地理距離限制。

有別於傳統數據傳輸方案只在無人機與地面站之間建立通訊鏈路，DroneLink會透過行動網路將數據即時上傳雲端，並存入Topology資料庫中，過往若發生無人機墜機或誤入禁航空域等情事，不見得能有數據佐證，但搭載DroneLink的無人機形同裝設了黑盒子 (Flight Recorder)，飛行過程中的數據都得以備份在機上與雲端資料庫，供後續調閱或檢視，減少糾紛與爭議。舉例來說，在農業案場中常發生無人機噴灑時是否誤噴鄰田之爭議，此時有DroneLink將飛行過程中的GPS位置資訊即時上傳雲端紀錄留存，就能



在發生爭議時調閱飛行紀錄檢驗是否無人機路徑確實涵蓋到臨田，便能解決紛爭。更廣泛地來說，無人機若能進行自主回報，由中央單位統一管控，便能將其納入ATM系統資料中，識別可能影響民航機航道之無人機，或在區域內避免飛行中的無人機互相碰撞，大幅增加航空安全。而DroneLink與Topology系統正符合了與現有UTM系統介接的功能，能夠及時搜集與交換無人機飛航資訊。與常見的開源地面站不同的是，Topology乃一視距外多機飛行管理系統，經授與權限的管理者可同時監看所有在線無人機之飛行航線與狀態，在必要狀況下能遠端命令無人機降落或返航，而Topology系統能解析無人機傳輸之原始訊息，以加密的HTTP持久連線進行資料交換與共享，因此航管局或其他合作單位在與Topology對接後能夠簡便而有效的接收無人機訊息，充分符合UTM系統之需求。若政府經由與產業與學界充分的討論後，能與無人機業者攜手打造UTM系統，則能有效降低開發成本，並貼近實際無人機作業需求，確保民航機與無人機視距外多機飛行之飛航安全。

## 2. 路徑規劃工具

無人機應用的導入最直觀的效益即是作業效率，以農業植保應用來說，傳統人力噴灑費時一小時的面積，使用無人機在二十分鐘內便可作業完成，大幅降低人力成本，也減少作業人員暴露在農藥中的健康危害。而作業效率除了仰賴機體構型、能源、動力系統等硬體設計外，飛行路徑的最佳化更是一項重要的因素[7]。針對特定範圍巡檢或農藥噴灑等作業，需要能產出覆蓋各種多邊形範圍之最短飛行路徑。如上圖7於本案例中規劃

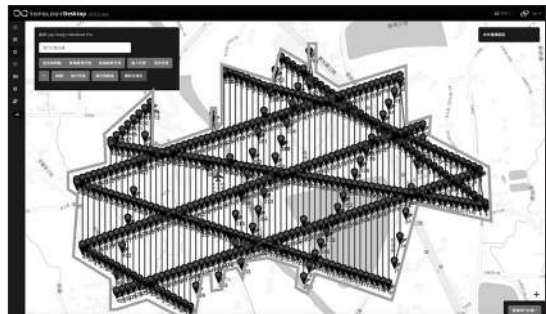


圖 7 系統整合資訊看板

軟體透過全域覆蓋路線規劃 (Coverage Path Planning, CPP) 即使在複雜交錯的凹多邊形中，也能保證涵蓋作業區域，毫無多餘的往返與連接線，並保留使用者旋轉航線角度以及調整航線間距之選項。在與眾多商規地面站軟體的比較下，TopologyDesktop 能產出不亞於前者的路徑規劃航點，但操作與介面繪製上更為直覺與精準。

## 3. 飛行任務模擬

傳統上執行自動飛行任務除了實際飛行紀錄，並無法在規畫初期就得知飛控電腦以及機體在任務運行中的機載資訊以及周遭地理環境，造成任務規畫中沒有現地勘查造成的碰撞風險，所幸現在透過軟體可在電腦環境運行一完整的飛控電腦，透過軟體中的動力學模型模擬無人機在飛行中的真實狀況，並且與GIS軟體進行互動提供如圖8所示的即時模擬畫面，在飛行員訓練中模擬飛行也被大量的使用在部分功能訓練器 (Part-Task Trainer, PTT) 及整合六個自由度運動的座艙執行最完整模擬的全功能飛行模擬機 (Full Flight Simulator, FFS)，同樣的在無人機自動飛行任務之初讓飛手最大限度掌握飛行中

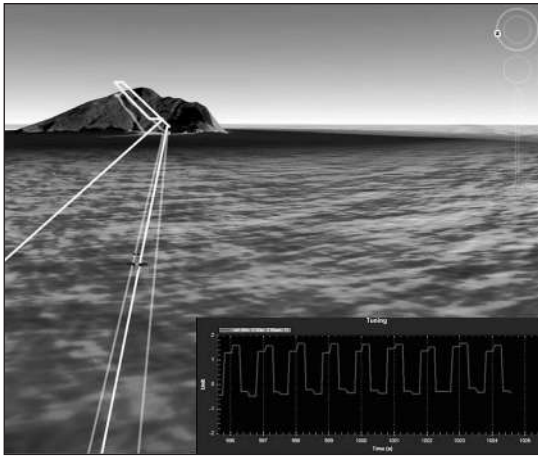


圖 8 無人機模擬任務畫面

每個任務點的視角與機身狀況亦有異曲同工之妙，除了即時瀏覽每個飛行畫面或任務過程細節外，完成後亦可得到軌跡的GPS連續紀錄資訊從不同的GIS軟體中回放與修改。

#### 4. 機隊與任務管理

常態任務執行的效率與任務路徑管理是否得當有高度相關性如圖9，以目前產業應用中又以農業植保應用有在同區域頻繁出勤的使用型態，因此遠端導控系統亦規畫了任務自動上傳與下載的功能板塊，對於每一趟次



圖 9 機隊任務管理功能模組

的任務既可確保飛行任務資訊不遺失，更可實質協助作業飛手一抵達現場並於完成起飛檢查項目後即可自動運行先前曾在此區域執行的最佳化後飛行路徑，更可與主管機關依法即時回報作業狀況，透過一個高度靈活的數位化與客製化的服務平台，更是讓競爭對手無法輕易複製其作業流程與提升效率的不二法門。

#### (三) 智慧物流應用案例

即時的數據與影像回傳對於視距外飛行（BVLOS）作業至關重要，尤其是物流、救災等場域。在物流的應用場景中，2018年臺灣首度進行偏鄉山區醫療物資運補的示範飛行如圖10，即是使用Topology系統進行任務規劃以及無人機制導，將原本車程一個小時以上的遞送時間，縮短到僅十分鐘，飛越嘉義縣阿里山鄉上空，海拔兩千公尺的落差，將毒蛇血清從阿里山鄉衛生所遞送至里加部落，全程不僅使用4G-LTE通訊，為了保持血清的有效性，無人機搭載的保溫箱亦透過聯網溫控裝置保持在攝氏二度到八度之間。

任務過程亦針對多旋翼與單旋翼直升機在實務上之經驗進行能校的對比，經過實測

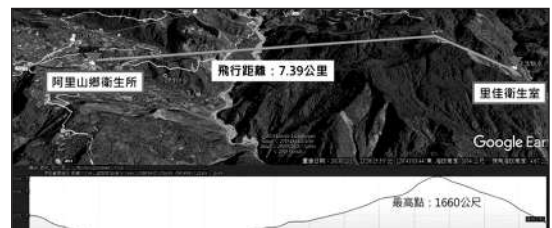
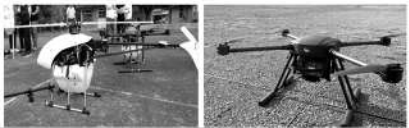


圖 10 交通部與疾管署無人機血清運送路線



	電力單旋翼	電力四旋翼
續航力	>=70min	>=35min
動力	電池與 氫能燃料電池	電池與 氫能燃料電池
起飛重量	16Kg (輕附載)	14Kg (輕附載)
推力效	電池：8.1g/W	電池：5.1g/W
	氫燃料：9.8g/W	氫燃料：6.8g/W

圖 11 多旋翼與單旋翼能效實測

後選用電力單旋無人機完成本次任務比較表如圖11。

載具推力效 (g/W) 是一項綜合考量任務需求以及附載大小的參考指標，涉及層面與引擎、馬達、載具結構材料選用、槳葉配置有直接相關，這邊只進行了兩種電源在同樣的起飛重量下的比較，以呈現構型本身差異所帶來的效率不同，單旋翼的構型在鋰聚合物電池 (Li-Po) 測試中有 8.1 g/W 的推力效對比四旋翼為 5.1 g/W，此一結果在改為使用氫質子交換膜燃料電池 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) 測試後有一樣的差異，除了槳葉、機身材質等變因，必須要考量的是多旋翼飛行時透過飛控電腦隨時對姿態進行及時修正，較單旋翼直升機的定速運轉會有更多的能量耗損，另外一方面在同級數的機種需要高載重時單軸直升機卻無法提供足夠的生力。

由此可知我們在進行長距離的飛行任務

中對於酬載重量，飛行高度與續航力的選用與預估需要非常多的考量與模擬方能確保無人機能夠順利完成任務。

#### 四、導入長距離導航系統之效益

案例公司透過導入視距外飛行任務導控系統，在不增加設備與人力下，實現資源利用最大化及降低對於人力與經驗的依靠，總結後有以下的改善成果與效益：

1. 透過模擬飛行系統將路徑中各任務點參數化與標準化，整體規劃的時間由原來需要 30 小時勘查規劃縮短到 3 小時。
2. 系統可將飛行資料自動產生 3D 路徑檔及派工單，減少人工作業疏漏，數位化的聯網作業環境連結飛行案場與後端分析人員，減少原本各單位對檔案、資料維護與備份的作業。
3. 無人機具與區域級及國家級 UTM 系統對接能力，實現邊緣段與雲端的感測與讓避 (DAA) 能力最大限度的避免無人機在運行中的碰撞意外。
4. 整合天氣風險評估，讓任務在設計階段時即可同步評估任務的可行性，節省作業時間，避免傳統無人機作業設備到達現場後卻無法升空的試誤成本。
5. 現場人員與領域專家可透過平台即時溝通因行業中探測項目與畫面需求提升探勘與巡檢任務完成度創造差異化服務價值。



系統具有權限管理的機制，未經驗證的使用者無法存取不具權限的資料或任務紀錄，有效避免因為錯誤的資料導致加工錯誤的發生。

透過任務現場的機聯網設備與雲端服務，將事前規劃的任務與現地的施工過程可以被自動收集，無人機操作者無需停下工作進行資料輸入、分析等作業。這些資料完整地串聯起來後，在後製程便能在及早取得正確資料時來提前因應，有效縮短等待和準備的時間。並可將這些軌跡資料作為後續優化飛行任務改善的依據。

## 五、結論

目前都在談「企業專網」、「垂直場域」，目的無非是希望藉由5G技術強化資安及可靠度等競爭力，因此各種產業都可能因為此一技術的引入，引起新一波的產業革命，由於遠程自動導控任務是一個由人、機器與分析高度整合的系統化作業流程，而非僅是設備自動化升級。從上述案例導入的介紹中，在硬體的效能提升與軟體配套同步必然同時發生，在無人機聯網應用的發展歷程中，無人機的使用是大勢所趨，而價值累積不只是在飛機操作端而已，無人機營運商對於欲導入的既有產業更需在每次飛行任務中所收集資料思考價值創造與經驗如何累積在企業之中，更重要是要能夠協助團隊避免過程中任何錯誤發生，更能在新的技術導入後的新形態服務流程中發展決策輔助工具，提升無人機進入商用市場的效益輔助既有產業轉型。

## 六、未來展望

在可預見的未來透過5G低延遲及大頻寬的特性。讓無人機在執行各項三維空間中的測繪、救災、物流等專業服務大大提升了工作效率。5G也能提供無人機實現各種複雜的應用。使用TOPOLOGY這樣的雲計算服務就可達到多台無人機實現多機協作，以及AI增值服務的無人機隊優勢。無論在一級產業的資訊化發展或工業、軍事等專業領域應用，相信無人機與5G的結合都將把物聯網及機器人產業帶往空中全新的高度，跳脫以往IOT平面覆蓋的思維，創造臺灣各項航太產業相關供應鏈及技術服務的新藍海。

### 參考文獻

1. Jeremy Grogan, "107 BVLOS Waivers", FAA UAS symposium, 2019.
2. 林清一，邵珮琪，葉雲兆，「無人機飛航管理(UTM)系統」，中國工程師學會工程會刊 92 卷 04 期，108 年。
3. UK Civil Aviation Authority, "Beyond Visual Line of Sight in Non-Segregated Airspace", CAP1861, November 2019.
4. 張昕，「消費類無人機圖傳系統設計中的一些關鍵」，雷鋒網，pp.2-5，2016 年。
5. Vishal Sharma, "Advances in Drone Communications, State-of-the-Art and Architectures", MDPI, 23 February 2019.
6. Bin Li, Zesong Fei, Yan Zhang, "UAV Communications for 5G and Beyond: Recent Advances and Future Trends", IEEE Internet Of Things Journal, Vol. 6, No. 2, April, pp.2245-2258, 2019.
7. Precisionhawk, "The Economics Of Using Drones For Beyond Visual Line Of Sight Inspections", Skylogic Research, 2018.
8. Ming-Der Yang, Yu-Chun Hsu, Hsin-Hung Tseng, Wei-Cheng Tseng, "Applications of Unmanned Aerial Vehicles to Precision Agriculture", 科儀新知 220 期，September 2019.





# 無人機酬載與應用趨勢分析

中山科學研究院航空研究所資深工程師 / 林昱甫

中山科學研究院航空研究所資深工程師 / 馬鈞文

中山科學研究院航空研究所實習生 / 陳力諺

中山科學研究院航空研究所實習生 / 彭智冠

關鍵字：UAV、UAS、酬載、EO/IR、光達、超音波傳感器、多光譜感測器、立體視覺感測器、飛時測距感測器（TOF）、結構光感測器

## 摘要

隨著科技的進步，無人機的應用蓬勃發展，尤其是嵌入式系統微型化、處理器運算能力大增與影像識別演算法的突破，再加上3D列印等新製造技術的進步，大幅降低機械件設計的門檻，使得原本只能限於軍事用途的感測系統，出現了許多民用無人機可使用的設備。以目前的技術水平而言，新世代無人機的載具平台開發，屬於高投入成本、高驗證期的資本密集領域，台灣因為在機械製造、電子電機、半導體製造等領域具備優勢，更適合將研發的資源投入無人機的應用領域，以期在無人機市場的藍海中取得先機。

## 壹、前言

無人機（Unmanned Aerial Vehicle，UAV）一般又稱作為drone，單純的無人機

結合其他的周邊設備就成為一套功能完整的無人機系統（Unmanned Aircraft System，UAS）。近些年間，新興的科技領域如：工業4.0、大數據、IOT物聯網（Internet of things）等新技術，目標都聚焦在產業的增值能力提升、生產效率提高，但是傳統的工業產品仍有規模經濟的限制，而且彈性生產制度、大量的感測器及自動化機械、資料探勘與數據分析等相關的軟硬體投資金額高，因此目前仍然還在摸索試探與醞釀的階段。另一方面，因為空拍機成本的降低、消費型無人機市場的飽和，無人機製造商無不磨拳擦掌，等著在新興的行業裡開疆闢地，依照「創新雙螺旋」的理論，技術的進步與創新的應用是推動進步的雙駕馬車，部分工業4.0、自動化、IOT物聯網、大數據相關新技術，非常適合在商用無人機的領域找到合適的應用場景。以目前常見的無人機農業噴灑為例：隨著農村的老年化，接手的年輕農



夫，如果還要靠人力噴灑農藥，可能已經很難找到合適的勞動力，無人機可能是改變台灣農村的重要工具。另外像是高樓設施檢測、高壓電塔檢驗清洗、太陽能板、風力發電設備這些任務，如果還用傳統的方式由人員冒生命危險爬到高處執行任務，既花費過多人力成本、成本效率又無法提升。無人機的出現，對於所謂的3D工作（dirty, dull, dangerous）而言無疑是個福音。使用無人機取代人力執行3D工作，不僅提升了工作效率，而且讓操作人員的風險降至最低。

本文將繼續從無人機系統的分類、酬載的簡介及應用趨勢分析等面向，為大家介紹無人機系統。

## 貳、無人機系統

依照飛行載具的形式，我們可以約略分為3類：

### 1. 定翼型無人機：

定翼型無人機的優勢在於續航時間長、飛行效率高、載重能力強、飛行穩定性高，當需要執行長航程長滯空的任務時，定翼型無人機將會是較佳的選擇，但是缺點是對場地有較大的需求。定翼型起飛需要跑道、助跑或感測器彈射輔助裝備，而載具降落必須採跑道滑行、掛繩、回收網或是降落傘的方式回收，限制了它的應用範圍。

### 2. 直昇機型無人機：

直昇機型無人機的優勢在於可以垂直起降，對起降環境要求不大，故地形適應力強，且相對於多旋翼型無人機有更好的抗風

能力，其缺點是機械結構複雜、技術門檻高、維護成本相對較高。

### 3. 多旋翼型無人機：

與直昇機型無人機一樣對起降環境要求不大，且相對於直昇機型無人機結構較簡單，技術門檻較低、維護容易，缺點是續航力不足，適合進行短距離小範圍的任務。

### 4. 其他混合型無人機：

混和型無人機結合了定翼型及直昇機型無人機的優點，既可在原地進行垂直起降，又能像一般固定翼飛機般在空中飛行。典型的混和型無人機系統配備旋翼系統，垂直起降時運作原理跟一般多軸無人機無異；當機體飛升至一定高度後，便切換至固定翼模式，實現水平飛行。

另外還有一些特別的無人機，像是模仿鳥類的撲翼機，因為離商業化較遠，所以本文就不多做介紹。

一般而言定翼型無人機具有容易控制、抗風性強的優勢，但是旋翼型或直昇機型的無人機，可以在特定地點懸停（hover）、又不需要起降的跑道。混和型無人機，結合定翼型和旋翼型兩者的優點，既可垂直起降、自動懸停、又可以像固定翼無人機高速飛行，我們預期這類混和型的無人機有可能會是下一代無人機的主流。如何選擇合適的飛行載具，要視運用場景和環境的屬性來決定。

介紹完無人機系統的類型後，我們將概略的說明無人機系統的5個關鍵模組：



### 1.無人機載具：

載具系統就是指無人機本身（UAV），是無人機系統中最重要也最基本系統，可以粗略分為載具結構、電力系統、飛行控制系統、導航系統、推進系統。

### 2.酬載（payload）裝備：

泛指安裝在無人機（UAV）載具上，用來執行任務的額外裝備，根據任務的需求而有不同的設備，例如光達、紅外線等各類感測設備，或是農藥噴灑裝置、攝影雲台等皆屬於酬載裝備。

### 3.遙導控設備：

其用途讓操作者透過無線電訊號，遠端操控無人機，一般商用無人機常用的無線頻譜主要有2.4 G及5.8 GHz（Wifi頻段），其中2.4 GHz波長較長，訊號傳輸距離較遠，5.8 GHz波長較短，傳輸距離較近，惟共用的裝置較少，干擾較為輕微。除了2.4 G、5.8 GHz的遙導控設備，還有少數無人機使用72 Hz或者900 MHz（UHF）的頻率來做為數據傳輸或者影像傳輸。其他頻率的通訊裝備，則必須和NCC（中華民國國家通訊傳播委員會）申請才能夠合法使用。

### 4.地面導控站：

地面導控站為無人機任務之控制中心，利用遙導控設備，傳送無線訊號，就可以對無人機發出命令，例如控制攝影機光圈、鏡頭方向及影像放大縮小等動作，讓載具上之攝影機可以鎖定追蹤的目標；另外，導控站也可以接收來自無人機上的即時狀態，包含飛機姿態、位置及相關大氣數據資料。較複雜的地面導控站，除了接收載具資料、控制

酬載外，一般同時也具備自動任務規劃、即時資料處理能力，甚至有些還會具備飛行模擬、影像拼貼、資料比對、或者與遠端資料庫連接進階功能。

### 5.地面支援裝備：

指支援無人機執行任務的裝備，包含協助起飛裝置、回收用的設備（如攔截網）、發電機、精準定位RTK（Real Time Kinematic即時動態技術）地面接收站，以及用於維修、保養的各類工具。

其中酬載決定了無人機的應用範圍，所以本文主要著重於酬載相關技術介紹。

## 參、各種酬載的簡介

本章將介紹EO/IR（可見光/紅外線酬載）、Lidar（光達）、超音波傳感器、多光譜感測器、立體視覺感測器、飛時測距（TOF）及結構光等六大類常見的酬載。

### 1.EO/IR（可見光/紅外線酬載）：

EO/IR是無人機最重要的酬載（如圖1），它主要是由光學的EO（可見光酬載）和



圖 1 EO/IR（KOLEAD 的 Star SAFIRE III）

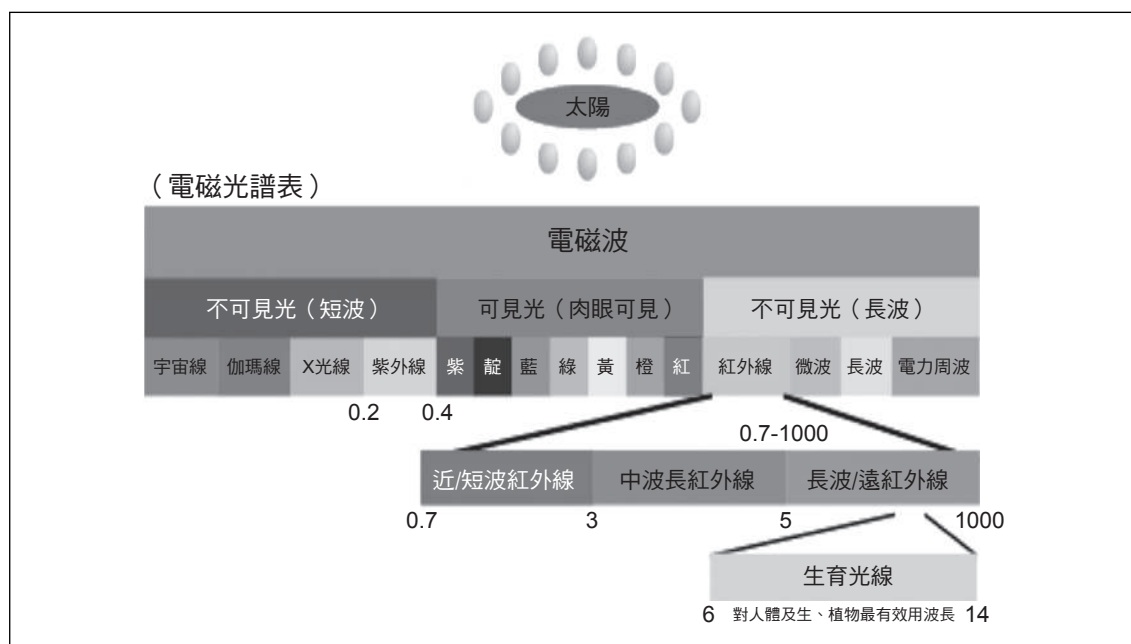


圖 2 頻率與應用

表 1 不同紅外線比較

	近紅外線 (NIR/IR-A DIN)	短波長紅外線 (SWIR/IR-B DIN)	中波長紅外線 (MWIR/IR-C DIN)	長波紅外線 (LWIR/IR-C DIN)
波長	0.7-1.0 μm	1.0-3 μm	3-5 μm	8-15 μm
應用	夜視設備	遠距離通訊	紅外線追熱導向 飛彈技術	熱成像

IR (紅外線酬載) 組合而成，我們先從IR開始，再回頭介紹EO及EO/IR的相關模組。

(1) IR感測器原理與應用：

IR (Infrared, 紅外線)，是一種非可見光，室溫下物體所發出的熱輻射多在此波段，波長介於微波和可見光之間(如圖2)。紅外線在不同材質物體上的反射與吸收方式不同於一般可見光，紅外線對部分材料甚至擁有穿透能力，因此透過紅外線感光設備與紅外線濾鏡進行拍攝，輸出的畫面對比強烈，可以看到某些可見光無法呈現的細部

資訊。

紅外線因不同波段，可以概略分類為：近紅外線、短波長紅外線、中長波紅外線、長波紅外線。每一種波段都有特殊的用途，例如近紅外線(0.7-1.0 μm)被運用於夜視設備；短波長紅外線(1.0-3 μm)被用來作為通訊；中長波紅外線(3-5 μm)是用在熱導向飛彈技術；而最廣泛被應用於工業領域的熱成像儀則使用長波紅外線(LWIR)，如表1和圖3所示。[1]

IR感測器它是一種能量偵測器，在我



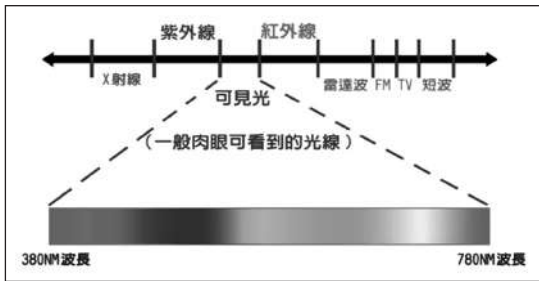


圖 3 紅外線頻率分布



圖 4 可見光和紅外熱成像比較

們生活的環境中，只要溫度高於絕對零度（-273°C）的物體，都能輻射紅外線能量。

因為不同物體甚至同一物體不同部位對紅外線的反射強弱不同，利用各部分的輻射起伏及差異，從而能顯示出景物的特徵，如圖4。

IR感測器運用的範圍十分廣泛，包含火災現場偵測/監控、農林調查、以及重要設備檢測。以目前政府主推的綠能產業來說，IR感測器可以用來檢測太陽能板及風力發電機的葉片。檢測太陽能板時，利用IR感測器偵測光電板的熱斑，出現的熱斑代表模組內有局部異常。造成局部異常的有許多不同的原因，例如電池正負極之間絕緣不良導致短路、局部電路損壞、輕微髒污、焊接不良等因素。我們利用紅外線熱圖像來找尋這些熱斑，提早發現潛在的危險，即時對模組進行修復或更換，

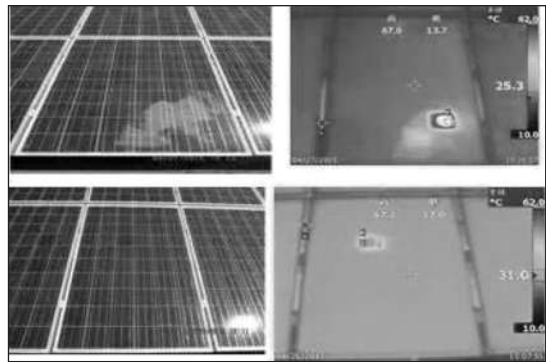


圖 5 太陽能板熱斑成像圖

以維持較高的發電效率，如圖5。

風力發電機的葉片高懸於100公尺的半空中，而離岸風力發電廠又位於海洋中，要執行缺陷檢測相對也困難。一般結構常用的非破壞性檢測方式有螢光滲透顯影、射線、渦電流檢測等技術，但其過程過於複雜，所需檢測設備不適合裝載於無人機上。目前比較簡單的檢測方法，是利用無人機搭載高倍率的高速光學攝影機（EO），從遠方拍攝轉動中的葉片，並且將運轉的音頻錄下來，再透過影像處理的技術分析每一幀（frame）是否有明顯的裂紋，同步交叉比對聲紋資料用來確認異常的情況。但是可見光的檢測方法，準確度相較於非破壞性檢驗方法來的差，若改使用IR感測器偵測可以找到深度大於0.5吋的裂紋。另外最新的技術還有超音波熱成像技術，該技術利用超音波作用在不同位置不同材質的結構上，促使材料或結構內部產生機械振動，使其缺陷部位（裂紋或者是複材層的脫膠現象）因熱彈效應和滯後效應，導致聲能衰減而釋放出熱能，最終引起材料局部溫度升高，這對於複合材料的淺層分層等的檢測非常有效，目前超音波熱成像技術主要應用於發動機的檢測上，未來也可能運用



在葉片的檢測。

紅外線技術若結合3D感測技術，衍生的酬載有飛行時間感測器（TOF）、結構光等設備，後面會再介紹。為了避免讀者混淆，本小節中的IR就純粹指被動式紅外線感測器。

(2) EO (Electro Optics電子光學) 感測器的原理與應用：

EO (電子光學感測器) 是利用光學結合電子技術成像，精準清晰的成像就是EO技術的關鍵。市面上常見的光學攝影機，就是最簡單的EO。在電子光學儀器中，若入射的光電子束被限制在離軸很近的範圍內，軌跡與軸的交角很小時（即滿足近軸近似條件small-angle approximation），所形成的像是理想像或稱高斯像。但是實際的光線軌跡不可能完全滿足近軸條件，因此實際形成的像總是和理想高斯像有一定的差異，這種區別稱為像差 (Optical aberration)，光學鏡組的像差決定成像品質的優劣。[2, 3]運用透鏡組合、鏡片研磨、改善鏡片品質、鍍膜等技術，可以解決各式各樣的像差現象，達到精準成像的目的。

EO影像感測器 (Image Sensor) 可以分為 CCD 及 CMOS 兩大類。CCD (Charge Coupled Device感光耦合元件)，為可記錄光線變化的半導體，主要採用交錯式掃描的方式處理影像；而 CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor互補型氧化金屬半導體) 與 CCD 雖然同為記錄光線變化的半導體，但是 CMOS 影像感測器採用非交錯式或循序掃描的方式處理影像。

CMOS 感測器中每個畫素都包含了放大器與 A/D 轉換電路，多的額外設備壓縮單一畫素的感光區域的表面積，因此在相同畫

表 2 CCD 和 CMOS 比較表

	功耗	影像雜訊	影像動態範圍	感測器製造成本
CCD	中至高	較低	高	高
CMOS	低至中	較高	中至高	低

素、同樣大小之感光器尺寸，CMOS 的感光度通常會低於 CCD，CMOS 感測器的雜訊也會比 CCD 嚴重。CCD 感測器在靈敏度、解析度、雜訊控制等方面都優於 CMOS 感測器，而 CMOS 感測器則有低成本、低功耗、及高整合度特點（如表 2）。不過隨著 CMOS 感測器在降噪技術的進步，兩者差異有逐漸縮小的趨勢。

(3) 完整的 EO/IR 模組

一套完整的 EO/IR 模組包含光學鏡組、影像感測器 (Image Sensor)、穩定環架及控制與補償迴路等重要的部分。影像感測器 (Image Sensor) 就是我們之前提過的 EO 模組和 IR 感測器模組，但是如果沒有穩定環架 (gimbal)，航行過程的震動將會嚴重影響成效品質。入門級的酬載可能只具備簡單的機械式避震機構（如橡膠墊、彈簧），但是中高階的 EO/IR 會使用到三軸的穩定環架及快速反應的步進馬達。

穩定環架 (gimbal) 又被稱為雲台或穩定器，是一個具有樞紐的機械裝置，以單一軸穩定來說，他可以讓物體繞單一軸的旋轉。一組功能完整的穩定環架由三個 gimbals 組成，任一個穩定環架都和其他環架呈現正交的關係。三軸的 gimbal 使物體可以隨時和地平線保持固定的姿態，而不會受到載具震動、轉向的影響。陀螺儀 (gyroscope) 正是一個運用 Gimbal 裝置最佳例子，如圖 6 所示，

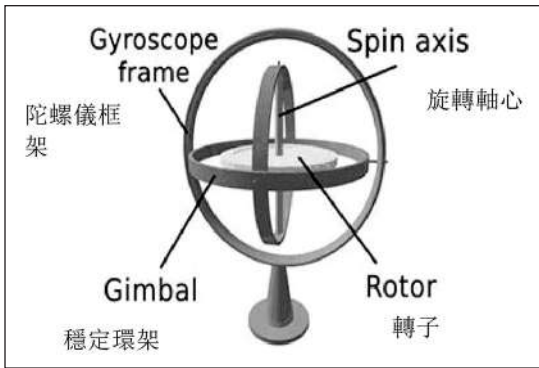


圖 6 陀螺儀

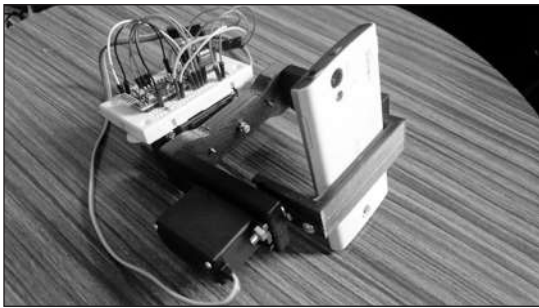


圖 7 用 Arduino 實作穩定環架

中間有一根豎軸，穿過一個金屬圓盤。金屬圓盤稱為轉子，豎軸稱為旋轉軸。轉子用金屬製成，是為了增加質量，從而提高其慣性。豎軸外側三層重疊的圓環，它們相互交叉，帶來了三個方向自由度的旋轉。

持續旋轉的轉子，因為角動量守恆的緣故，讓物體可以抗拒載具方向改變，維持原來的姿態。

而無人機會在空間中劇烈的運動，因此需要有快速反應的gimbal系統，讓酬載維持在原來的位置，反應速度就決定了穩定環架的成本。不同於陀螺儀，EO/IR上的穩定環境是透過加速規等感測器偵測到系統的運動後，利用步進馬達控制環架旋轉到正確的位置。圖7是利用Arduino搭配三軸加速規和馬

達實作出穩定環架的範例。

## 2. Lidar (光達) / Li-Fi (光通訊)

Lidar一般稱為光學雷達或簡稱為光達 (light detection and ranging, LIDAR)，是一種光學的感測技術，它會主動通過向目標點發射一束光線 (通常是脈衝雷射)，並且接收反射的訊號，利用發射和反射訊號的差異得到深度的資訊。光達技術廣泛的被運用在地貌測繪、農林業、國土探勘任務，甚至也可以運用在特殊的大氣物理領域。以前Lidar是非常昂貴的高價設備，目前因為汽車自動駕駛科技的蓬勃發展，出現了許多入門版的光達，如圖8所示，美國Luminar公司利用光達偵測馬路上的行人。[4]

### (1) 光達的工作原理：

光達對物體距離的測量方式和雷達量測的方式類似，都是主動發射訊號，然後比對發送和接收訊號的差異來計算物體的距離。光達所發射的光束可依照使用目的，選擇不同的波段，如紫外光、可見光或近紅外光等，可以進行包含地表、岩石、水氣、風場及化學分子等特性之量測，依照光達的載具，還可以區分為衛星載光達、空載光達、車載光達、船載光達以及地面光達等。

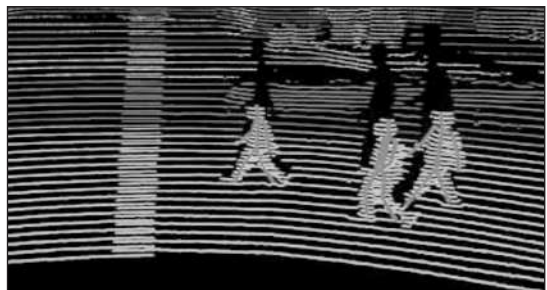


圖 8 光達輸出影像

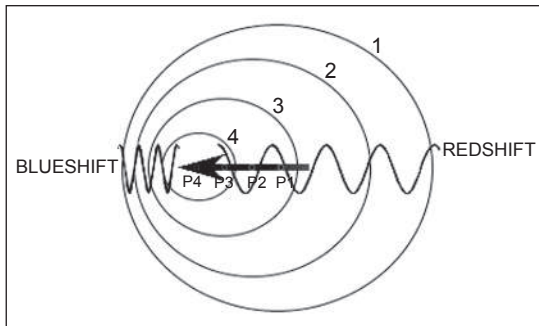


圖 9 都卜勒效應示意圖

光達屬於主動式的感測技術，它們會發射訊號進行主動式的探測，訊號撞擊物體後，反射訊號經過檢測和運算之後可以得到深度/距離相關的資訊，通過記錄發射和背散射脈波之間的時間並利用都卜勒效應計算行進距離，來確定物體的深度資訊（如圖9）。再利用掃描的機制，可以得到一個特定區域的深度資訊。雷射光測距儀（Laser rangefinder）就是一種主動式的測距儀，它使用雷射傳輸器發射雷射光，並且利用接收器來測量反射訊號，光達可以視為一個加強版的雷射測距儀。

光達掃描的方式可以概略區分成機械式和非機械式兩大類。傳統利用機械馬達的方式驅動，模組的體積及單價都居高不下，新的方式透過非機械結構，利用MEMS（Microelectromechanical Systems微機電，縮寫為MEMS）的機構設計方法改變折射率及光線的方向達成光束掃描的目的，非機械式掃描的光達設備具備有體積和成本的優勢。

本小節所指的光達，主要指的是能量級別比較高的「雷射光達」，Apple公司也把用在iPhone上的結構光感測器叫做光達，這是屬於能量級別比較低的感測器，我們會放在

後面的章節介紹。本文的介紹以概念性簡介為主，具有同樣名字的設備，性能差異可能非常大，所以若要進一步了解無人機酬載，還是需要仔細了解該設備的細部規格才能確定它的性能及適用的場景。

(2)光達的應用：

利用光達產生深度資訊，可以描繪精準的地形地貌，或者可以作為躲開障礙物的避讓設備（See and Avoid）。例如在近距離檢查橋樑或者其他重要設備時，使用光達可以避免載具撞上固定的物體。

另外一種比較不普及，但是未來也許有機會應用在無人機上的技術：Li-Fi光通訊技術（Light Fidelity），Li-Fi使用LED作為通訊的訊號發射源，具備有節能和低熱量的優勢，在一般手機通訊的市場這個優勢並不明顯，所以難以推廣，但是無人機的通訊中繼的用途上就有可能派上用場。Li-Fi可以應用在載具間的傳輸，辦公室或開刀房的室內傳輸（避免電磁干擾的問題），或者特殊的保密傳輸用途上。如圖10所示，Li-Fi 使用可見光

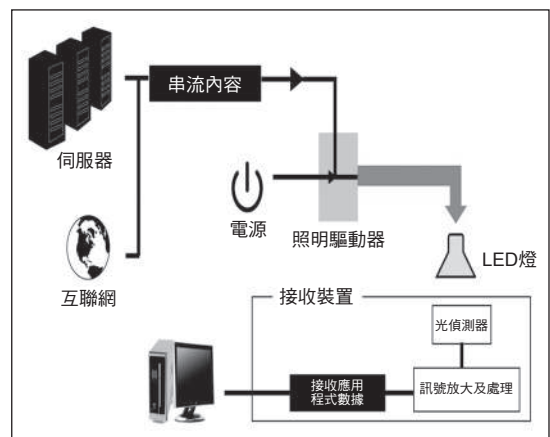


圖 10 Li-Fi 運作流程圖





表 3 Li-Fi 和 Wi-Fi 比較

	Li-Fi	Wi-Fi
運作	利用 LED	利用終端數據機
數據傳輸速度	>1 Gbps	Wifi 4.0 理論值為 600 Mbps
安全性	高	普通
設備成本	高	低
能量消耗	較少	較多

通訊 (Visual light communication, VLC)，只要光源可及的地方，我們都可透過Li-Fi連接網絡。光通訊的數據傳輸速度高達1 Gbps，較Wi-Fi快。WiFi和Lifi的比較參考表3。

可見光無法穿透牆壁，限制了Li-Fi的覆蓋範圍，但反之也得到了傳輸資訊更加安全的優點，可以避免通訊被駭客 (hacker) 入侵。Li-Fi也許並不適合常規的通訊網路上，但是在無人機執行勘災的任務上，應用Li-Fi作為長時間通訊中繼的技術，也是另一種可行的備援選項。

### 3. 超音波傳感器

#### (1) 超音波的工作原理：

超音波 (Ultrasonic) 是指任何聲波或震動的頻率，高於一般人類可以聽到的最高頻率 (20kHz) 的訊號。傳感器發出超音波訊號，訊號以音速前進，根據接收器接到反射訊號的時間差可推算出距離。由於空氣中的超音波訊號會隨著頻率和濕度的增高而增加衰減率，因此超音波傳感器一般都被應用於短距離的偵測用途。

#### (2) 超音波傳感器應用：

超音波的用途很廣，從工業上的焊接、鑽孔、粉碎、清洗、乳化，到醫療檢驗、非

破壞檢測、水文探勘、魚群偵測等相關用途。超音波亦可作為無人機輔助降落的重要設備，就像是汽車利用倒車雷達 (使用超音波技術) 輔助停車。透過超音波設備，可以檢測無人機底部與著陸區域的距離，判定著陸點是否安全，然後緩慢下降到著陸區域。超音波傳感器和雷射測距儀都可以用來測距離，但是超音波比較適合用來執行距離較短、運動速度比較慢的場景。儘管精準的GPS模組 (如常見的精準定位RTK模組)、氣壓高度計、雷達高度計、地貌比對和視覺辨識技術都可以輔助降落，考量感測器成本/技術成熟度，超音波傳感模組是小型無人機中最經濟的感測器 (網路上即可找到200元台幣以內的超音波傳感器)。大多數直昇機和旋翼式無人機多具備懸停功能，主要用於捕捉目標的連續性鏡頭、或者在固定高度執行特定任務，透過超音波傳感器和相關的導航設備，可以有助於將無人機在低空中保持在穩定高度。

超音波傳感器除了做為降落輔助、懸停用途外，無人機避讓 (See and Avoid) 功能也是很重要的應用。避讓功能作為如圖11所

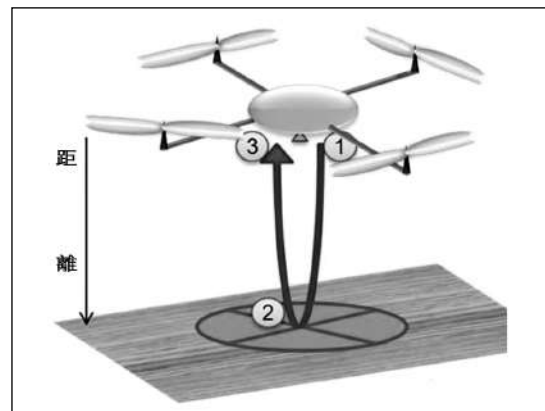


圖 11 超音波避讓原理



示，無人機在飛行過程中從點1的超音波傳送器發出訊號，超音波到達點2撞到物體反射，於點3被超聲波感測器接收，通過超音波傳感器持續收集周邊環境的障礙物，並將資訊回饋給飛控電腦調整飛行軌跡，進而達到避讓的作用，當操作者弄錯方向，要把無人機往障礙物前進，飛控電腦將發出警報聲或者忽略指令。以往一些人為疏忽造成的撞擊，現在都能可以透過低成本的超音波傳感器搭配飛控電腦的自動防護機制去避免這些操作的疏失，既保障了無人機飛行安全，也避免了對周圍人員/財產的損害，讓操作人員可以把注意力聚焦在任務上。

超音波在無人機上還有其他特別的應用，像是超音波的風速計，可以用來探測特定區域的風場，作為空速計的替代性方案。傳統的空速管量測總壓和靜壓推算出飛行速度，需要具備有一定的速度才能夠正確的量得到數值，在室內或緩慢移動的場景中，就很難得到正確的風速，這時候超音波風速計就可以派上用場。

超音波在非破壞性檢測（NDT）的領域常被用來檢測的裂紋，但是目前在無人機搭載超音波檢測裂紋仍在實驗開發階段，例如：美國Sandia國家實驗室正在開發結合爬行機器人與無人機的風力發電機葉片檢測系統。目前技術比較成熟的檢驗方式，是利用高速攝影機（EO）拍攝照片後回傳至地面站做影像處理，或是利用紅外線感測器檢測外部裂紋或破損。未來如果感測器整合及訊號處理的技術有所突破，就會出現可執行超音波或其他搭載非破壞性檢驗酬載的特殊無人機。

#### 4. 多光譜感測器

(1)多光譜的工作原理：

自然界的太陽光是由不同波長的輻射組合而成的連續光譜，一般人眼可以感受到的波段稱為可見光，除了可見光之外，還有一些光線是人眼感受不到的，例如波長比可見光還短的 $\gamma$ 射線、X射線、紫外線，以及波長比可見光還要長的紅外線、熱紅外線、無線電波等，這些光線通稱為輻射線。人的眼睛能看到不同顏色的可見光就是因波長差異而呈現出色彩變化。由於不同物體，在接受到太陽光照射時，物體表面吸收與反射太陽光的比例也不盡相同。多光譜感測器的概念，就是利用不同物體在連續光譜中具備不同特徵值的特性，蒐集特定幾種頻率的訊息，用來作為分析之用。

(2)多光譜感測器的應用：

以農業用途為例，植物的光譜反射曲線會呈現出其獨特的性質，植物富含的葉綠素除了會反射較多的綠色光外，它對於近紅外線有很強的反射效應，反射強度與植物的種類及健康狀況有關，利用這個特性常被用來進行森林或植被的分析。通過觀測與分析作物反射不同波段光譜的情況，可以對農作物的生長狀況有更精準的了解。

所以多光譜相機可以擷取特定波長的信息數據，再將這些特定波長數據經過影像處理後得到整合性的訊息。

目前常見的多光譜相機（或者成像儀）主要分為如下幾種方式：

- I. 光束分離型的多光譜相機，它採用一個鏡頭拍攝景物，用多個三稜鏡分光器將來自景物的光線分離為若干波段的光束，用多套圖像系統分別將各波段的光信息記錄下來。
- II. 多相機型的多光譜照相機，它是由幾台照相機組合而成，各台相機的鏡頭



上分別帶上不同的濾光片，分別接收景物的不同光譜帶上的信息，同時拍攝同一景物以獲取一套特定光譜帶的圖像信息

III. 多鏡頭型的多光譜照相機，它具有4-9個鏡頭，每個鏡頭各有一個濾光片，分別讓一種較窄的光譜通過，多個鏡頭同時拍攝同一景物，用一張膠片同時記錄不同光譜的圖像信息。其中最廣為人所知的是大疆公司(DJI)所推出Phantom上所搭載的多光譜相機(圖12)，由一個可見光鏡頭和五個不同波段的多光譜鏡頭組成。



圖 12 DJI Phantom 的多光譜相機

有了多光譜相機收集到的原始數據(raw data)，如何將這些數據轉換成所需的資料，以適合於各個應用的領域中，就是最關鍵部分。以農業中最具代表性的歸一化植被指數NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)為例，因植被在紅光波段吸收強，近紅外線反射強，通過計算紅光波段反射值與近紅外線波段反射值之差比上兩者之和，即可得到NDVI指數。通過NDVI指數分析植被的葉綠體含量，可以用來判斷植被的健康狀況。(如圖13)



圖 13 通過 NDVI 指數監控植物生長狀況

歸一化差異紅色邊緣指數NDRE(Normalized Difference Red Edge Index)，跟NDVI指數類似，也可以用來判斷植物的狀況，NDRE把NDVI中的紅光換成了紅色邊緣的光線(紅光到近紅外線NIR過渡帶中的一個區域)。除了常見的NDVI、NDRE，還有LCI、OSAVI、GNDVI、SIPI2、MCARI等指數，針對特定的應用領域，使用者亦可以參考相關論文重新組合成專屬的指數，去滿足

特定的應用領域。

### 5. 立體視覺感測器

(1) 立體視覺感測器的工作原理：

立體視覺演算法(Stereo Vision)是基於視差(parallax)的原理，由三角法定位原理得到物體的深度資訊。如圖14所示，利用兩個安裝於不同位置的攝像機的圖像平面和物體P之間構成一個三角形，兩個攝像機之間的位置關係是已知的，因此就可以透過幾何的

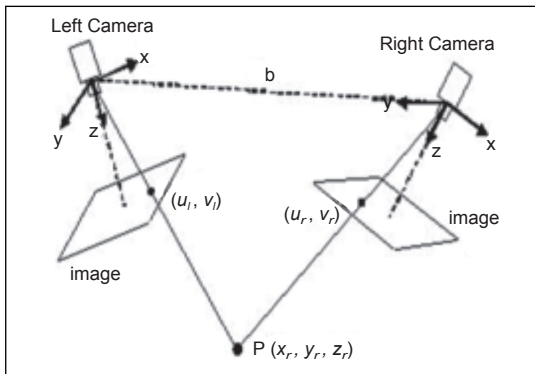


圖 14 立體視覺幾何光學



圖 15 MIT 的實驗結果

關係推算出物體P的坐標。

立體視覺感測器又叫做立體攝影機，其中左邊攝影機的成像面上的任意一點只要能在右攝影機成像面上找到對應的匹配點，就完全可以確定該點的三維坐標。這種方法是點對點的運算，只要平面上所有點，在左右兩台攝影機都存在相對應的匹配點，就可以代入方程式中進而解析出對應的三維坐標。目前若要純粹基於立體攝影機要達成自動飛行目標，因為環境的複雜度、光照條件以及大量運算的遲延效應的影響，仍有許多限制，因此目前適合在速度緩慢、室內飛行的場景，如果未來演算法及硬體運算技術突破的，讓無人機可以快速計算出不同的環境景深，並且比對其他感測器的資訊，將可規劃出最佳的飛行航道。

(2)立體攝影機的應用：

目前立體攝影機主要被應用在3D相機/攝影機、人臉識別、行人偵測、VR/AR穿戴式裝置及機器人的用途。在無人機領域也可以做為避讓的設備，例如麻省理工學院(MIT)研發出建基於簡單的硬體平台，就能讓無人

機執行即時偵測、分析障礙物、迴避，以便安全穿過樹林，而相關硬體設備的成本只要1,700美元。它的原理在於利用兩套高速攝影機獲取飛行前方10公尺範圍的環境資訊，透過立體視覺演算法建立起飛行四周的完整地圖，規劃出迴避障礙物的航道，它的好處是的光學攝影機屬於無人機的標準配備，因此不需要額外安裝光雷之類的重型裝置，也不用預先建立起整個環境地圖，單靠立體攝影機就可以獨自飛越有障礙物的複雜環境，該技術將可大幅增加運用無人機的彈性。如圖15所示，紅色是障礙物，綠色是預定航道，無人機一邊飛行，一邊更新障礙物的資訊並同步修正飛行的航道。

6. 飛時測距 (TOF) 及結構光

(1)飛時測距 (TOF) 及結構光工作原理

飛行時間測距 (TOF, Time of Flight, 飛行時間測距法，又稱為飛時測距)。立體視覺演算法、飛行時間測距 (TOF) 和結構光三種技術，是目前智能可攜式裝置中三大主流3D感測技術，相對於傳統的RGB彩色攝影機/相機，只能得到2D的資訊，3D感測技術多了深



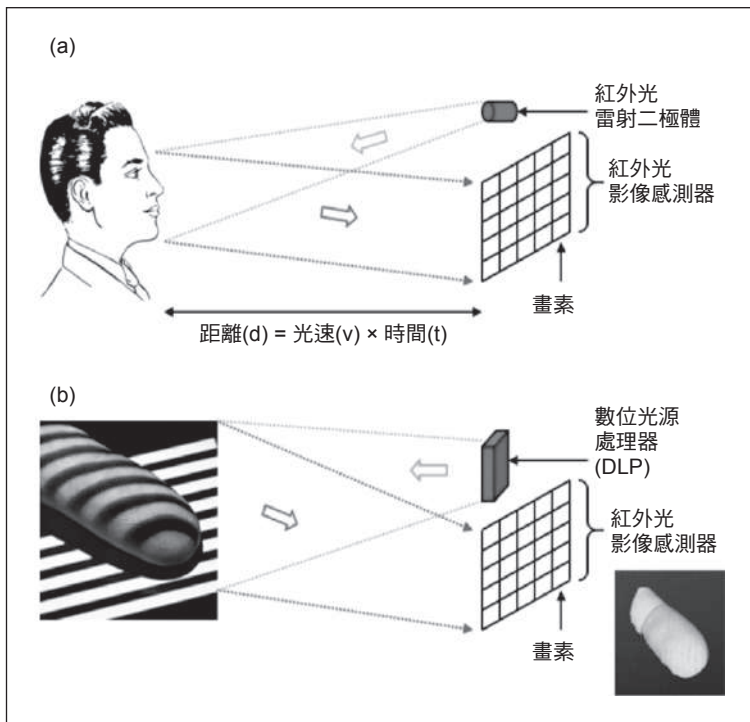


圖 16 TOF 與結構光作用原理

度的資訊，將可提高辨識的精準度。其中立體視覺演算法使用的是可見光，飛時測距和結構光使用的是非可見光（通常是紅外線），這三大主流的3D感測技術不會發出傷害人視力的光束，適合有人員存在的場景。

TOF（飛時測距），利用紅外線產生深度資訊的傳感器，能夠產生高精度的3D成像。這種成像技術通過向目標發射連續的特定波長的紅外光線脈衝，由於光速已知，通過傳感器接收待測物體傳回的光信號，計算光線往返的飛行時間或相位差，利用簡單的數學公式就可以得到待測物體的距離（深度）資訊，如圖16(a)所示。

結構光傳感器（Structured light）又被稱呼TrueDepth傳感器：利用雷射二極體（LD，

Laser Diode）或數位光源處理器（DLP，Digital Light Processor）投射出特殊的IR光線圖形（例如：點、單線、多線、單圓、同心圓），經由物體不同深度或位置，反射回來會造成反射圖案紋路的改變。例如：投射出直線條紋光線到手指上，由於手指是立體圓弧形，光線反射回來變成圓弧形條紋，進入紅外線影像感測器後就可以利用圓弧形條紋反推手指的立體結構，如圖16(b)。[5]

## (2)飛時測距（TOF）及結構光的應用

結構光技術和TOF非常類似，但是兩者關注的重點不太一樣：TOF聚焦反射的時間找出深度的資訊，而結構光需要投影出特定樣式的紅外線，用來重建物體的立體



結構。TOF及結構光是由幾個模組化的硬體所組成的，其中關鍵模組是能發出紅外線的垂直腔面發射雷射器VSCEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser)，它能以相對較小功率發射信號，硬體上容易實現。結構光相對於TOF具備有更精細的定位能力，但是不太一樣有著幾個難以突破的限制，例如參照點不能太多（因為太密將無法拍出距離），相關的傳感器設計也比較複雜，而且結構光的鏡頭拍攝的圖像需要系統的額外運算比對才能識別，因此大幅增加了處理器的負擔、延長了辨識時間。

目前結構光的產品主要是由Apple公司所領導的供應鏈，主要用在對於安全性更高的量測場景，例如人臉識別，而TOF的傳感器主要是由ADI公司大力推廣，主打於一般化的場景；目前因為功率的限制兩者偵測的距離都不遠（一般而言偵測距離小於2公尺，主要用於手機及智能可攜式裝置中）。或許未來還可能出現可以兼具精準度和成本的新架構，能夠融合TOF及結構光兩者的優點。

## 肆、目前應用趨勢的方向

### 一、精準農業

負責執行農藥噴灑的植保機，發展歷史悠久，像是日本的山葉公司（YAMAHA）早在30年前就已經開發出RMAX植保機，以因應農村老年化的問題，中國大陸也跟進得很快，目前在淘寶網頁上就可以找到各式各樣的植保機。相形之下，我國的發展算較晚。根據統計，我國目前90%以上的植保機械是手動背負式噴霧器，農友所使用的產品是單管噴霧劑、壓縮式噴霧器、背負式噴霧器等

傳統的產品，預估目前農村裡保有一億台以上的各種手動噴霧器，這些老舊設備難以精準控制農藥的劑量及霧化方式。因為人工無法準確控制噴灑的結果，農夫習慣將整株植物噴的濕潤，但是即便大量噴灑農藥，也未必能確保藥劑可以覆蓋到葉子的背面。設計良好的植保機可以透過氣流擾動的方式，讓葉子的背面更容易的被藥劑覆蓋，所以能夠落實農藥的安全劑量。依照目前的資料研判，植保機具備現代化、智能化、節能化的優勢，預期需求將會穩定成長。

目前國內已有多家業者及法人投入開發農藥噴灑無人機，包括經緯航太、亞拓、雷虎科技、工研院等單位。高負載、高續航力的植保機，是很優異的載台，更換酬載模組後還可以應用於救災、農林巡檢等任務。

### 二、物流運輸

中國的京東公司於2016年公開宣布該公司的無人機已經獲得了四省的飛行許可，勘測超過10條可行的航線，並且保證這些航線在配送過程中的安全無虞，各大物流公司（包含最早起步的亞馬遜Prime Air送貨無人機）都把無人機視為解決廣大地區的配送問題的重要工具，並且希望結合物流運輸後台的技術、大數據分析等等工具，讓配送變得更加智能化[6]。

若有相關公司要投入無人機物流運輸的領域，必須要向民航局等相關部門申請特別的批准。以目前來說，無人機運用於物流運輸除了載具開發之外，最關鍵的部分還是在於如何有效的管理機隊、運營無人機配送系



統，並且和整個物流運籌系統結合。物流運輸是一切經濟活動的關鍵技術，決定了商品流動的方向，也主導了金流和資訊流方向，目前像是沃爾瑪、亞馬遜公司都不斷的在無人機物流運輸的專利領域佈局，甚至將觸角也延伸至住宅監視、災防警報等領域，可見得若是誰掌握物流的優勢，就獲得了一個足以撼動市場的支點。

目前眾多網際網路電商、外賣平台都將無人配送視為「未來物流」戰略的重要一步。但是，業界尚未有一致的方向，有的公司是走無人機方向，有的公司嘗試無人車或者外賣機器人，如何妥善的整合這些載具，仍是這場「物流最後一哩路」戰爭的挑戰。

臺灣因為地狹人稠、空域繁忙，受限於先天環境的限制，要學習美國發展無人機物流的策略，確實有所不足。目前國內除了幾次實驗性質的載具試驗之外，尚未有業者投入無人機配送的營運測試，鄰近的日本、南韓、中國都有不少指標性的業者已經投入類似沙盒測試的實驗中，我國在這方面的投入顯得相當不足。如果公務部門在離島運輸、地質脆弱的偏遠山區，規劃例行的物流運輸、通訊傳輸及地貌監控營運路徑，策略性的引導廠商投入相關研發領域，可以讓我們在這個新世代的技術革命中不缺席，並且有機會和國際物流大廠進行戰略性的聯盟。

### 三、災後緊急通訊

臺灣是個地震、颱風頻仍的區域，偏遠的山區常在豪雨之後道路中斷、基地台毀損，就陷入孤島狀態，這是臺灣社會必須面

對的考驗。因為有救災的需求，中華電信與雷虎科技合作，開發出結合無人機的4G/5G的行動通訊台，建立「空中的基地台」，可滿足緊急救難通訊需求。例如在颱風、地震後，災害破壞了通信設備便可以運用此系統快速為災區提供僅局通訊服務，使災區可與外界作連結，協助救災指揮中心能掌握實際災情。該系統中所使用的雷虎CX-180 ICEMAN同軸雙旋翼無人機，屬於通用型無人機，搭載噴灑設備可以作為農噴植保機、掛載災防探測裝備則可作為勘災之用。該款無人機亦可改裝成繫留方式執行非試任務，透過其他支援的車輛（如衛星車）提供源源不絕的電力，允許無人機執行長時間的救災任務。[7]在無人機通訊的領域，近期則有Alphabet（Google母公司）旗下的Loon無人機公司和軟銀合作開發的高空太陽能無人機Sunglider，目前該機已經可以在平流層提供地面LTE連線，未來相關研究成果可能納入國際通訊標準。

如同無人機的物流運輸，如果我們的公務部門能例行性的勘測固定航線，並且保證這些航線安全無虞，平常的演練就可以確保災難發生的當下，除了可以用最短的時間部署相關災防體制，也可以讓我們在新世代的通訊技術爭霸戰中和國際接軌。

### 四、娛樂

無人機的燈光秀，為娛樂領域帶來新的亮點。目前在國內外的大型慶典中，無人機的飛行表演似乎成了標準配備。2018年平昌的冬季奧林匹亞運動會開幕式上，Intel以1218架Shooting Star無人機照亮夜空，之後無



人機就變成了慶典的「常客」。相信未來結合相關的場景規劃、影像製作、音樂、舞蹈、傳統煙火及光電顯示技術，會更讓表演藝術的更加豐富。

## 五、探勘 / 檢驗 / 警政公務 / 其他

還有很多特殊應用領域，也是適合無人機發展的領域，比如像是：

1. 土地測繪：公務部門所需要的土地測繪資料，可以利用EO/IR、光達執行完成相關地形地貌建模。
2. 石油/礦產探勘：油田/礦產區域的地理測繪、管道規劃，都可以由無人機來執行。結合視覺化及資料探勘 (data mining) 的技術，讓使用者可以更直觀的獲得關鍵資訊。
3. 工業巡檢監控：使用無人機代替人工作業進行石化管線巡檢、高空裝置檢查、電塔基座檢查、風力發電機巡檢、油庫安全巡查等。
4. 建築工程：透過無人機隨時掌握工地營造進度，監控/警戒工地周遭情況 (例如部署於檔土牆、山坡地、上游河川附近執行監控，如果有問題立刻警告施工單位)，另外像是歷史古蹟的建模任務，也可以使用無人機。
5. 警政用途：呼叫特定地點起飛的無人機，可以讓警用無人機比第一線警察或快打部隊更快的抵達治安事件的所在地，代替公權力執行現場偵察或者嚇阻犯罪。自動化的無人機可實現晝夜監控、跟蹤鎖定等功

能，有效彌補人力巡檢方式的不足，降低基層員警的負荷。目前臺南市和新北市的警察局都已經設置警察無人機隊，預計未來其他縣市政府也會陸續跟進。

6. 消防用途：無人機可穿透濃煙實施探查及並且用IR監控火場溫度，巡查尋找現場的火源；另外可以掛載氣體探測系統，即時探測是否有危險氣體洩漏並鎖定來源，通知消防人員迅速採取處置措施。
7. 橋樑等重要設備的巡檢：相比於人工巡檢，或者是造價高昂的橋樑檢測車，無人機巡檢的優勢十分明顯-無人機機動靈活、操作便捷、能搭載多種感測器適應不同應用場景。不僅能克服路程遙遠、路況複雜、人員難以到達等困難，蒐集的資料 (如可見光、紅外光、以及其他重要資訊)，經過後處理後可以建立起橋樑及重要設備3D模型，讓研究人員可以利用大數據等相關資料科學的技術，為設備執行全方面的檢查。

## 伍、結論

民用的無人機從最初的玩具/模型市場開始發展，後來因為科技的進步，無人機系統將從單純的空拍任務，朝向商業租賃、營運服務、廠區安全防護等領域延伸，從而在經濟活動及社會發展中，產生更深入而廣泛的影響，蓬勃的需求將拉動無人機產業的發展，並活絡產業鏈的發展。

目前無人機在行業應用領域仍然處於持續探索的初步階段，市場成熟度及產業聚落





仍有待提升。得益於自動駕駛及無人車技術的不斷進步，無人機的技術領域也雨露均霑。從技術層面來看，除了各式各樣的酬載將擴大無人機的應用之外，個人認為電池技術還有增值服務架構（類似data as a service 資料即時服務的概念，衍生成亞馬遜公司提出的surveillance as a service的概念）有可能是下一世代的發展趨勢。未來新的電池技術（如：燃料電池、空氣電池或者超級電容）進步，讓無人機的續航力大幅提昇時，就可能讓無人機更加的普及化。當無人機數量的急遽擴展後，應該如何妥善的管理無人機隊就成為當務之急。像是亞馬遜、Intel等公司投入無人機技術的同時，也同時開發相對的機隊管理的系統，這類的系統程式有部分功能會與無人機航管系統類似（無人機航管系統，UAV Traffic Management，UTM，如圖17所示），必須同時兼顧營運效率與飛行風險的管控。從發展的趨勢來看，無人機的增值服務、系統化的解決方案相對於硬體設計或製造，是利潤更高的市場，但是面對系統整合及法令規章的困難度也越高，並非一般中小企業可以投入的領域，必須要由經濟部等

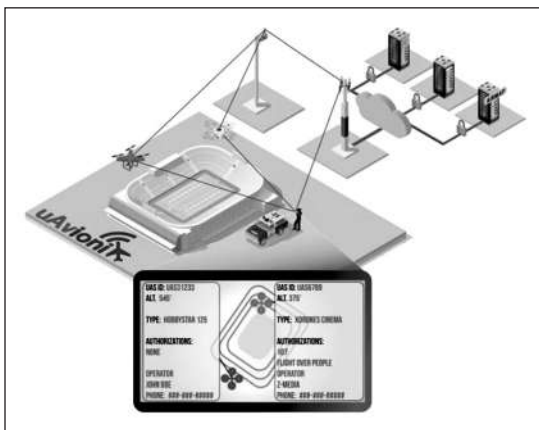


圖 17 無人機航管系統

公部門結合產/官/學的力量，並且將視野拉高到國際市場才能推動。

能夠解決生活/工作中所遭遇的問題，就是無人機最好的應用領域，本篇所介紹的，主要是無人機的基本應用領域為主，希望能夠發揮拋磚引玉的效果，促使讀者發想出創新的運用方式。無人機系統是個很強大的平台，但是仍須要找到合適的應用場景，才能發揮平台的功能。

未來如果讀者有心想要更深入瞭解無人機應用領域的最新發展，可以關注物流無人機以及亞馬遜、Intel、facebook、沃爾瑪、樂天等這些長期在無人機領域默默佈局的國際公司的最新動態，另外也可以搜尋專利資料庫，這些方法都有助於掌握無人機產業最新的動態趨勢。

#### 參考文獻

1. Brick 公司 IR 簡介 [https://www.brickcom.com.tw/news/press-release\\_detailview.php?id=269](https://www.brickcom.com.tw/news/press-release_detailview.php?id=269)
2. 維基百科 - 電子光學 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9B%BB%E5%AD%90%E5%85%89%E5%AD%B8>
3. 張宜仁、周家復 物理雙月刊 NO.39 2017 年 8 月第四期 [https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article\\_detail\\_acc.php?classify=p1&cid=67](https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article_detail_acc.php?classify=p1&cid=67)
4. 維基百科 - 光學雷達 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E5%AD%B8%E9%9B%B7%E9%81%94>
5. STOCKFEEL 網路文章 2019/01/02. <https://www.stockfeel.com.tw/3d%E6%84%9F%E6%B8%AC-%E9%A3%9B%E6%99%82%E6%B8%AC%E8%B7%9D-tof/>
6. 康顧嚴 工業雜誌 399 期 夢想起飛 - 無人機時代來臨
7. 中華電信攜手雷虎科技，打造無人機空中基地台解決方案 2019/08/16. <https://technews.tw/2019/08/16/chtuas/>



# 論無人機商用服務與整合技術

中華電信研究院副研究員 / 林俊佑

關鍵字：無人機、飛航管理系統、智慧巡檢、5G 通訊

## 摘要

近年來，空中無人機軟硬體技術逐漸成熟，促使各種無人機應用服務百花齊放，例如：物流遞送、農業噴灑、警用巡檢、設施巡檢、環境監測、視覺表演等不同的應用。預計未來幾年內，商用無人機市場商機將大幅度成長，同時無人機相關技術方案將更廣泛地應用於不同領域中，並產生新型態的服務或商業模式。因此，本文將從無人機技術、產業現況，以及應用服務不同層面來說明無人機的技術與市場趨勢，同時以中華電信為例，介紹中華電信如何以5G通訊技術為基礎，打造5G無人機解決方案，解決目前政府與企業在設施與環境巡檢上所遭遇的難題。

## 一、前言

早期無人機的發展主要是以軍事國防用途為主，但近年來無人機核心技術的進步、硬體成本的降低，以及飛行穩定度與安全性

的提升，讓無人機漸漸地從過去國防應用，開始在消費與商用市場領域迅速發展起來。一般而言，根據用途分類，無人機可分為消費型及商業型兩類。消費型無人機比較傾向於航拍攝影、娛樂展演等娛樂面，讓一般人也能夠輕易上手地操作無人機；而商業型無人機的應用則廣泛許多，在農作實務、智慧巡檢、物資運送及建築工程等廣泛領域都可以看到它的應用蹤影。

由於無人機具備高度機動性，能夠輕易飛往人類難以到達或危險的區域進行作業，並將拍攝影像即時回傳至後端，甚至搭配深度學習AI辨識與偵測技術，做到各類型的智慧巡檢應用。因此，越來越多企業、政府、執法機關都期望運用無人機來取代傳統人力，執行高危險且耗力的工作，提升傳統作業效率。

## 二、無人機簡介

在享受無人機便利性同時，無人機操控



安全性也受到政府重視。本國民航局於民國109年3月31日頒布遙控無人機專章，規定法人或自然人操作無人機前，必須有合格的操作證及註冊無人機於民航局，藉以確保無人機操作的「責任制」。

### (一) 無人機管理規則

民航局透過無人機構造將其分類為：無人飛機（定翼機）、無人直升機（單旋翼）和多旋翼無人機，並依照最大起飛重量2 kg、25 kg及150 kg進行劃分。操作者必須依照操作證分級進行考照，才能合法地操作對應起飛重量之無人機。如果操作者有排除限制需求，需考取G1、G2、G3三類之專業操作證，才能排除飛行限制（高度400呎以上、視距外飛行、物流投擲、夜間飛行、人群飛行等）。

### (二) 無人機介紹

無人機全名稱為「無人飛行載具 Unmanned Aerial Vehicle」（UAV），可簡單定義為沒有搭載飛行員，且可重複使用的飛行器，主要透過無線通訊系統從遠端操控，搭配全球定位系統（GPS）、慣性導航系統（IMU）等，來進行半自動或全自動導航飛行，涉及了感測器、通訊協定、影像處理、智慧控制及航空動力推進技術等，其價值在於形成空中平台，並結合其他組件擴展應用，以替代人類完成空中作業[3]。

### (三) 無人機服務與應用

目前商用無人機的服務應用相當多元，

如：農藥噴灑、場域巡檢、設施巡檢、災害救援、物流遞送，以及空中通訊平台等應用。

1. 農藥噴灑：無人機以定速、定高及定量噴灑飛行，不只是提升作業效率，一方面也能減少地形限制與農作物遭受輾壓的風險。
2. 場域巡檢：定期派出無人機巡檢場域、園區，當有可疑人士、車輛出沒時，可第一時間發出警示告知後端，達到空中巡邏效果。
3. 設施巡檢：利用無人機拍攝設施（電塔、橋梁）影像，並結合AI辨識技術找出設施異常情況（脫漆、裂縫、鏽蝕）所在位置。
4. 災害巡檢：可扮演救災的關鍵角色，協助空中拍攝進行勘災，以加速救援過程中的任務安排，大幅提升救災人員及災民的生命安全保障。
5. 物流遞送：運送必需品、運輸急救物資到山區等偏遠地區來投入救災工作，讓無人機能夠在緊急救難時達到挽救生命的作用。
6. 空中通訊平台：透過無人機飛到倒塌基地台處，提供WIFI、LTE、5G的通訊環境，形成空中網路熱點讓災民可以取得訊號。

### (四) 無人機整合技術

隨著各項應用的崛起，對於無人機的自主性要求也愈來愈高，因此無人機廠商開始將其發展重點朝向整合性技術開發，讓無人

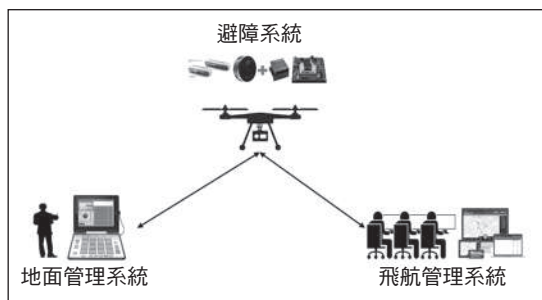


圖 1 無人機整合技術

機每次執行任務時，能夠在完善的監控下，安全、有效率地完成各項任務需求。相關主要技術包括：飛航管理系統、地面管理系統、避障系統，期待藉此充份發揮無人機之優勢，如圖1所示。以下章節將會一一介紹這些無人機整合主要技術。

### 三、飛航管理系統（UTM）

近幾年來，無人機應用越來越廣泛，不論是個人拍攝影片、表演、商業用途等活動都能夠使用。但是當大量無人機飛上天空時，可能造成空域安全的隱憂，為了因應未來新型態的無人機服務，必須開始思考如何更安全地、有效率地管理無人機。

#### （一）UTM 簡介

無人機飛航任務管理系統，其理念是讓所有飛行中的無人機即時狀態都能傳送到UTM雲端以納入控管，可讓營運業者或管制單位，能夠以管理者身分，對無人機進行必要的監視與管理。並在飛行空域有緊急情況、安全疑慮等事件發生時，可隨時介入無人機的飛行，讓飛手能夠有序安全地執行

飛航任務。

#### （二）核心技術

無人機可藉由廣播式自動回報監視（Automatic Dependent Surveillance-Broadcast，ADS-B）透過衛星導航系統確定其位置，並進行定期廣播使其可被追蹤，再透過導入行動通訊4G/5G、XBee、LoRa、APRS等技術，將無人機座標位置、高度、航向、速度等數據回報UTM雲端，使UTM伺服器處理無人機資料，建立無人機系統飛航大數據，並將這些數據進行分析或用來延伸更多應用服務[2]。

#### （三）功能服務

藉由無人機狀態數據，延伸出多種功能服務，如：無人機、飛行任務管理、禁航區顯示、電子圍籬設定、歷史紀錄調閱、多分割監控、模擬航跡等功能：

1. 無人機管理：無人機註冊於UTM後，便可即時監控該架無人機動態數據（座標、影像等資訊）。
2. 飛行任務管理：可自行對無人機設計自主巡檢任務，規劃飛行路線，並指定起飛時間，讓無人機能夠自動執行任務。
3. 禁航區顯示：可透過電子地圖查看該飛行區域否為禁航區。
4. 電子圍籬：可自訂電子圍籬區域，當無人機超出電子圍籬區域時，會立即警示並對無人機自動發出返航或降落指令。





5. 飛行歷史紀錄：可調閱每次無人機飛行後的歷史紀錄，其包括無人機飛行路線、AI辨識事件（人員偵測、車輛偵測等……）、無人機歷史影像。
6. 多分割監控：可同時監控正在飛行之多台無人機，顯示其資訊、路線、影像，並以多分割畫面呈現。
7. 模擬航跡：可事先測試欲飛行路線於電子地圖中，用來檢查其飛行航跡有無異常或偏離，以檢查航跡正確性。

#### 四、地面管理系統

地面管理系統是透過無線通訊方式（WIFI、LTE）與無人機進行雙向通訊，讓飛手可透過該系統對無人機指揮、控制、規劃任務，同樣也能接收無人機飛行姿勢、座標、影像等即時數據，以便飛手隨時監控無人機之狀態，並根據需要修改其任務航線。

##### （一）系統介紹

原本是設計成內建無線通訊模組且高效的的地面控制站，支援搖桿操控功能及自帶顯示螢幕，用來即時接收與呈現多種重要的飛行資料。而近年來，陸續有廠商開發專屬地面飛行軟體，能夠直接與手機、平板等載具端對接，透過APP與無人機溝通、下達指令，如圖2所示。

##### （二）系統功能

由於地面管理系統的簡易化，讓一般飛



圖 2 高效能及 APP 地面管理系統 [5]

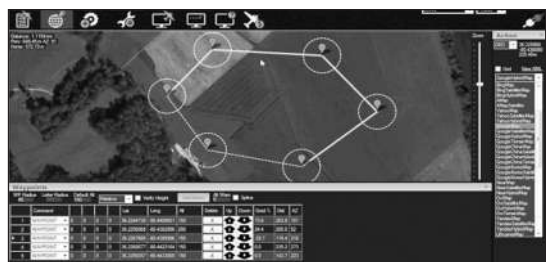


圖 3 地面控制站呈現畫面 [6]

手於現場操作時，能直接透過其UI/UX，只需輕點螢幕，便可輕鬆規劃複雜的航線任務或設定電子圍籬，來達成與無人機的即時監控、基本操作、任務排程等功能，如圖3所示。

1. 即時監控：顯示無人機之電池電壓、座標、高度、方向、姿態、飛行速度、飛行路徑、GPS狀態等資訊。
2. 基本操作指令：控制無人機進行起飛、停懸、旋轉、返航、降落、旋轉、傾斜、模式切換等動作。
3. 故障報警與自救：當無人機因為電池、動力、感測器等因素造成異常時，自動告警並觸發緊急指令，如：返航、降落、懸停等動作，使無人機降低失事機率。
4. 任務排程：自訂規劃航線任務並設定排程



與週期，上傳到無人機後即可透過一鍵起飛執行任務。

5. 安全功能：設定電子圍籬、斷訊處理機制（返航或降落）、低電力警告等機制。
6. 軌跡調閱：顯示每一次任務後的軌跡、航點即時影像，並整合高度、羅盤、IMU等資訊供使用者調閱，只要滑鼠移到軌跡中的某個航點就可顯示出資訊。
7. 自動軌跡記錄：當使用者手動飛過一次任務後，可根據這次的飛行軌跡計算出最佳路徑並自動匯出任務，供下次自動飛行。

## 五、無人機避障系統

無人機雖然靈活又敏捷，但在飛行過程中，始終最關心的就是其飛行安全問題，如果無人機因為操作不當、氣候、設備等各種因素，造成無人機遇到障礙物卻沒能及時閃避，可能造成無人機墜機意外，使得無人機機體、建築物的損壞，甚至傷及人身安全。

因此完善的無人機自主避障系統，能夠大幅減少因操作失誤造成的事故，而目前無人機避障系統主要是在機身上裝載感測器，藉由收集各種環境數據，來達到避障效果，因此整理了目前市場上較為主流的感測器如下：

1. 超聲波測距：對於無人機超音波感測器能夠放在機身的前後左右四個方向，在無人機飛行過程中，能夠對周圍遮蔽物進行距離上的監測。而放在機身上方或下方，則可以在起飛或降落時，避免無人機因為速

度太快，直接碰撞到天花板或地面造成機體受損。但其缺點是有效距離約5公尺，並且對應的反射物體必須是平面光滑，如果是凹凸不平的草地就會造成距離上的誤判。

2. 紅外線測距：透過感應器發射出紅外線光波時，其光波遇到物體之後，光會反射回來，當檢測到反射光後，再通過結構上的幾何三角關係光波到接收端，而根據距離的遠近，反射的強度大小也會有所差異，以此計算出無人機與障礙物之間的距離。
3. 飛時測距：Time-Of-Flight (TOF)，其原理跟超聲波測距相似，藉由發射器發出光脈衝，讓光波碰上物體使其反射，再由接收器接收反射光，並透過發射跟接收之間的時間差，來計算出無人機與障礙物之間的距離。而且跟超聲波相比，光速遠快於音速，因此能讓無人機更加即時的計算出距離數據。
4. 立體視覺：其原理是以雙鏡頭模仿人類雙眼視覺進行測距，藉由無人機上的兩組鏡頭直接對前方障礙物進行測量，計算障礙物與鏡頭之間的夾角，再以三角測距定理，計算出障礙物與無人機之間的距離，這便是所謂的「視差」，而視差的大小對應着障礙物與鏡頭之間距離的遠近。但其缺點是容易受到光線角度、強度影響。

各種感應器都有其相關優點與缺點，因此目前大多無人機的廠商，是藉由視覺圖像複合型技術（以立體視覺感測器為主，輔以超聲波、紅外線感應器搭配，如圖4所示），



圖 4 複合型避障系統

來實現無人機三維避障系統，讓無人機在飛行中能夠更加智能，順利地完成任務。

### 六、中華電信智慧無人機平台

今年中華電信5G服務開台，其高頻寬、低延遲的特性可大幅強化無人機以往的相關應用，例如：能夠更即時地傳送高畫質影像、控制大量群飛無人機、無人機飛航管理，這些應用都是需要透過高速的網路系統，來聯繫無人機與控制系統間的數據與指令傳輸。

為了能打造出完整的空中智能應用服務，目前中華電信以5G為無人機平台打造了以下許多服務與應用：

#### (一) 無人機飛航管理系統 (中華 UTM)

欲打造更多無人機服務應用同時，最重要的是必須先有個完善的無人機管理系統。因此中華電信透過科技部前瞻產學合作計畫，與長榮大學合作開發出中華UTM，採用(ADS-B Like)技術，讓UTM管制中心可以隨時監控無人機狀態，提供安全飛行指引。

針對管理部分，UTM提供無人機及飛行任務規劃管理，可註冊無人機於UTM下，並

無人機管理									
無人機編號	無人機名稱	無人機註冊編號	狀態	目前經度	目前緯度	高度(m)	位置	修改	刪除
S01	S01	tt-02	已連結					新增	刪除
00:04:4b	杜俊	無人機	00:04:4b	已連結				新增	刪除
221:12x	博哥智慧低空無人機	221:12x	已連結	123.004019	25.0047226	7455		新增	刪除
ts00:4b	ss00:4b	S01	已連結					新增	刪除

飛行任務列表									
無人機編號	操作人員編號	預定起飛時間	應期性飛行	適用參數(m)	AI辨識引擎	執行	修改	刪除	
221:12x	844	2020-09-01 16:31	關閉	1 Hour	人形無人機	執行	修改	刪除	
00:04:4b	yui6	2020-06-03 14:52	啟動	5 Days	人形無人機	執行	修改	刪除	
00:04:4b	102	2020-06-04 14:32	關閉		智慧機員	執行	修改	刪除	

圖 5 無人機及飛行任務列表

依照情境、需求自訂規劃任務，而當無人機執行任務時，便可能從UTM系統中監控無人機動態數據，如圖5所示。

安防部分提供了模擬航跡、禁航區顯示、電子圍籬設定，讓使用者在飛行前，能夠事先查看該區域是否為禁航區，並模擬飛行路線，確認飛行路線正確性，以及預先設定好電子圍籬，便能限制無人機於該區域飛行，減少飛安事件的發生，如圖6、圖7所示。



圖 6 模擬飛行航跡



圖 7 國內禁航區與電子圍籬區域



圖 8 無人機飛行歷史紀錄



圖 10 裝載急救物資後，至指定地點拋投物資

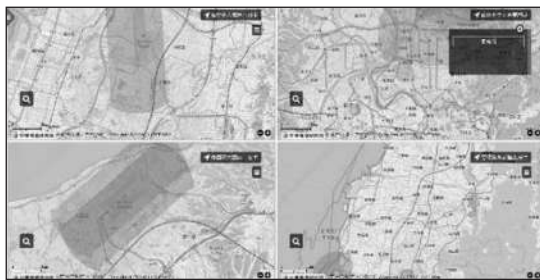


圖 9 UTM 多分割畫面顯示

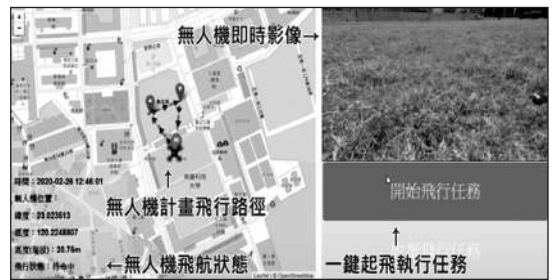


圖 11 物流遞送 APP

歷史紀錄部分，提供使用者能夠查看每次任務後的飛行軌跡、影像及AI辨識事件。透過這些紀錄數據也能對後續規畫最佳飛行路徑時有所幫助，如圖8所示。

無人機監控部分，透過多分割畫面，可同時查看多台無人機的飛行路線跟影像，即時掌握所有無人機的動態資訊，如圖9所示。

## （二）智慧物流遞送服務

中華電信與民間企業合作，開發全自動物流遞送無人機，透過專屬的物流遞送APP，能夠一鍵驅動無人機執行遞送任務，派遣無人機將載具內的急救物資送到目的地進行投擲，順利讓需求人員取得物資並成功

返航。全程中透過5G通訊傳送即時影像，管理者也能透過中華UTM以視距外模式來確認無人機完成遞送任務，如圖10、圖11所示。

## （三）無人機安防巡檢系統

中華電信與民間企業合作，打造出無人機安防巡檢系統，透過中華UTM預先設定任務路徑，派遣無人機進行視距外飛行，以無人機空中視角巡檢園區，並搭配5G通訊即時傳輸影像到AI辨識引擎，能夠第一時間針對可疑人員、車輛進行辨識，讓管理方隨時掌握園區狀況。而無人機在任務完成後會自動返回園區頂樓的無人機停機坪內，進行自動充電，無需人工替換電池，如圖12、13所示。





圖 12 無人區巡檢路線圖

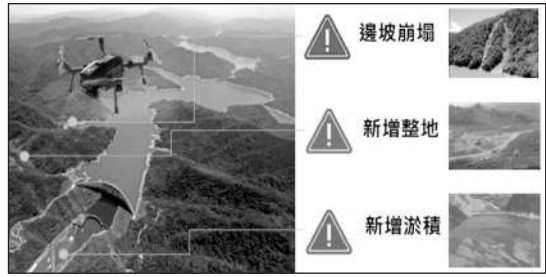


圖 14 無人機水庫巡檢

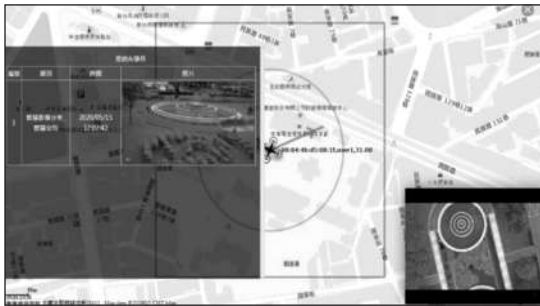


圖 13 可疑人物告警顯示

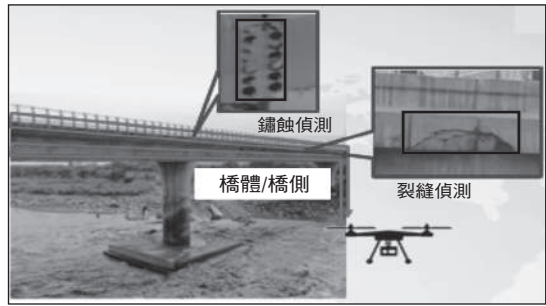


圖 15 無人機拍攝橋梁裂縫

#### (四) 無人機設施巡檢（水庫、橋梁）

中華電信與政府單位合作，將傳統需要透過人力的設施巡檢，導入無人機技術及中華UTM，以實現自動化定期設施巡檢：

1. 智慧水庫無人機-牡丹水庫：建置無人機系統，定期自主飛行巡檢，偵查是否有人進行濫墾、盜採的不當行為，並利用蓄/集水區的長期空拍影像，檢查水庫的土建構造物、周邊邊坡是否有異常，以確保水庫的安全，如圖14所示。
2. 橋梁巡檢無人機-新威大橋：事先由飛手人工操作無人機以收集飛行紀錄與無人各項感測器數據，結合AI技術規劃出最佳飛

行路徑。再將巡檢時的空拍影像結合中華電信IoT大平台（橋梁裂縫AI模組），精確地找出橋梁裂縫、鏽蝕所在位置，如圖15所示。

#### 七、無人機瓶頸與安全議題

在龐大無人機市場下，現階段商用無人機的服務應用發展速度最快，但事實上，無人機仍存在些技術上的瓶頸跟安全上的疑慮需要探討，方能創造出多元且安全的無人機環境：

##### (一) 無人機技術瓶頸

從廣義來看，無人機不僅提升以往工作



上的效率，更也為許多行業帶來人員的安全保障。但這些關於無人機的發展，其實仍有以下技術上的瓶頸：

1. 通訊技術：無人機在飛行過程中，如果太接近電塔、基地台、頻段接近的電台廣播，無線遙控和即時影像傳輸的訊號便很有可能會受到干擾，造成無人機通訊、定位異常，因而導致無人機發生失控、意外。
2. 避障系統：由於環境、地形、氣候等因素，可能使無人機在飛行過程中，感測器的誤判或失靈造成避障系統失效，導致無人機碰撞及墜毀。而這些感測器面對著突發的天氣狀況或空中的障礙物卻是束手無策。惟有把GPS定位、圖像導航與物體感測器整合起來，令無人機能夠對周遭環境進行預判、甚至有主動修正飛行姿態以迴避障礙物，才可徹底解決問題。
3. 電池續航：為減少體積與重量，無人機所裝載的電池容量有限，目前無人機的續航時間大約為30分鐘左右，並可能因為環境因素，減少其飛行時間。

往往像是設施巡檢、搜索救援等情境，是需要長時間續航要求，因此目前有廠商針對開發高性能電池來提高續航力，或是透過燃料電池（氫動力）取代傳統鋰電池，都是為求根治問題之道。

另外，接觸式無人機充電台也可幫助無人機因電量不足而返航的問題，當無人機降落到平台，便可對無人機自動進行充電，並透過機隊管理，讓下一台無人機能夠繼續任



圖 16 無人機自動充電站 [7]

務，實現無間斷的任務需求，如圖16所示。

## （二）無人機安全與因應

無人機相關技術及市場越來越成熟，一般民眾都能夠輕易取得及操作，但也延伸出一些相關的安全上的議題值得我們思慮。

1. 禁航區域飛行：民眾不經意地就在禁航區中操作無人機，可能對交通、航空造成莫大地威脅。如果無人機不小心撞上民航機、高鐵等交通運輸設施，可能會造成嚴重事故及人員傷亡，如圖17所示。因此民航局於民國109年3月31日制定了全台禁航區區域及無人機相關條款，希望民眾們在操作無人機時，可以符合安全管理、互相尊重及承擔責任的原則下，從事遙控無人機活動。



圖 17 無人機與民航機碰撞示意圖 [8]

2. 資安風險：無人機是透過無線通訊進行操作，所以在不安全的網絡或未經加密的通訊管道下操作無人機，可能讓有心人士輕易駭入無人機內部系統，便可直接截取無人機的影像、數據，甚至是控制權。並對修改、偽造數據，讓無人機偏離原先任務目標，或是直接癱瘓機體本身而影響到飛航安全。因此在資安上，必須對無人機、UTM伺服器、地面管理站這些軟、韌體系統中，添加非對稱加密機制以進行認證，並在飛控SDK中增加驗證機制，確保在操作無人機過程中，提供足夠安全的保護機制。
3. 恐怖事件：無人機如果讓有心人士或恐怖分子改造作為新式武器，於人群、政治領袖、重大設施附近進行恐怖攻擊，後果將會不堪設想，導致無人機引發安全隱憂。所以在無人機發展進步的同時，反無人機技術也正在同步進行，常用的有電磁戰干擾、探測追蹤、預警技術或入侵訊號等方式，藉由早一步偵測到無人機的位置，再透過反制設備干擾、接管敵方無人機作為主要方式，如圖18所示。



圖 18 Drone Dome 屬車載反無人機系統 [9]

## 八、結論及未來展望

目前國內多家企業皆投入無人機這塊龐大的市場，針對無人機開發各種延伸應用。

### (一) 無人機市場與趨勢

無人機能夠應用的領域相當廣，擴及軍事、企業、政府、民生應用，而且無人機的優點是可以降低人力成本來執行偏遠且高風險的任務，並且能夠即時回報拍攝影像，第一時間掌握現場狀況，因此成為空中平台產業重要的發展趨勢之一。

現在國內5G通訊服務已開台，相信透過5G的高速通訊之下，可以讓無人機在執行任務中，不管是地形探勘、空拍地圖、3D建模、拍攝4K高清影像時，都能夠大大提升效率及品質，甚至在機隊管理時，能夠讓UTM、地面管理站更迅速接收、分析無人機狀態，並即時下達正確的指令給群飛無人機，來對飛行空域實現更有效的管理及應用。

### (二) 中華電信無人機平台未來發展

#### 1. 最佳飛行路徑規劃技術：

中華電信目前致力於開發無人機飛行控制系統及路徑規劃技術，希望無人機在執行任務時，讓無人機透過分析數據及決策模組，能夠自動判斷及閃避障礙物所在地，順利完成任務並成功返航；以及在每次的飛行過程中，取得飛行數據與紀錄，來自動最佳化下一次的飛行路徑，讓任務最大效益化。

#### 2. 空中廊道：

雖然無人機具備探測、航拍、廣播等功



能，但這些並沒有上升到交通運輸管理的層面，於是當多台無人機在天空上飛行時，民眾們難免憂心其飛行安全性。因此，中華電信未來希望跟政府合作，設計一套能讓無人機空中飛行的專屬高速公路-空中廊道。

空中廊道不同於傳統的二維平面道路，是以三維方式規定無人機必須於特定高度內飛行，制定像一般地面道路類似的通道，讓無人機可以在這條隱形廊道裡，安全且迅速地執行任務，不需擔心多台無人機同時執行任務時，可能造成交通時的打結或是碰撞意外。

#### 參考文獻

1. 尹魯杰，“基於小型涵道無人機地面站軟體設計”，103年5月。
2. 林清一，“階層式無人機飛航管理系統研發簡報”，109年2月。
3. 財團法人資訊工業策進會，“無人機應用在5G的發展潛力觀察”，108年12月。
4. W15地面站控制系統，<https://www.81uav.cn/product/4555.html/>
5. DJI GS Pro地面站專業版，<https://www.dji.com/tw/ground-station-pro/>
6. mission planner Introduction, [https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/content/en/choosing\\_a\\_ground\\_station/index.html/](https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/content/en/choosing_a_ground_station/index.html/)
7. 電信操控無人機隊解決方案，<https://udn.com/news/story/7241/4248926/>
8. Altitude Angel事故通報系統，<https://dronesplayer.com/uav-news/altitude-angel>
9. Drone Dome, <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/c-uas-counter-unmanned-aircraft-systems/>





# 輕軌車輛零組件國產化及在地維修化

新北市捷運工程局局長 / 李政安  
台灣車輛股份有限公司專案工程師 / 范群忠  
新北市捷運工程局工程員 / 林仁國

關鍵字：軌道產業、輕軌車輛、國車國造、零組件國產化、在地維修、國產化百分比

## 摘要

長期以來，國內軌道車輛與機電系統多採取國際標，國內相關廠商皆因實績不足導致標案大部分皆由國外廠商得標，且國外廠商亦考量避免產生未來之競爭者而未將相關技術轉移合作廠商，新北市政府藉由輕軌系統之採購策略，擴大市場規模吸引國內廠商投資，藉由導入完整之設計體系，建立我國軌道工業獨立自主與解決人才不足之困境。

淡海輕軌及安坑輕軌列車為台灣車輛股份有限公司與德國設計公司合作，採用設計買斷之方式，以國車國造為目的導入之設計圖自行尋找合適之搭配廠商生產。延續國產化的發展，不僅提供國內廠商擴大參與建設之機會，使未來維修及後續採購更具彈性。後續安坑輕軌以淡海輕軌合約採取後續擴充方式，採購同型列車與機電系統並以整體路網規劃單一機電系統為基礎，藉以降低設備

系統維護費用，朝向輕軌系統單純化、最佳化及本土化，扶植並帶動國內輕軌相關產業，拓展在地生產市場，達成節省建造經費、提升經濟效益之目標。

目前國產化之成效評估，透過淡海輕軌列車案國產化百分比約22%，主要是散料等小型零組件之國產化；後續安坑輕軌列車案國產化百分比則由約22%增加至約42%，主要是大型料件及設備之國產化。

## 一、前言

臺灣的城市發展往往深受交通運輸所影響，從海運、鐵路、公路、高速公路到高鐵時代，城市發展均朝向車站樞紐中心來發展。雖已發展至今，國內仍面臨城市交通壅塞、偏鄉交通不便、私人運具持有比例高、公共運輸量提升已達瓶頸等課題，就全國鐵路網之建置，包括骨幹、城際、都會內鐵道



建設做全面性規劃，並打造更普遍之軌道系統，已成為臺灣後續發展不能缺席之一部分。

其中，臺灣軌道之車輛經常性由國外廠商標得，國內廠商僅能獲得小部分產品或勞務訂單。所幸的是，國內車廠藉由與國外車輛廠商合作組裝車輛，逐步累積起軌道電聯車車廂之設計及製造能量，並與廠商形成了長期的夥伴關係，期間執行了多次車輛設計之技術轉讓，使其逐步發展成為具有設計製造能力之公司。

自政府於2009年7月簽署政府採購協定（Agreement on Government Procurement，簡稱GPA），並於2012年起取消軌道產業之工業合作計畫（Industrial Cooperation Program，簡稱ICP）後，國內軌道車輛產業廠商須憑自身競爭力與國外廠商爭取合作。為了將核心技術留在臺灣、建立產業鏈、提升本地需求與就業機會，因此必須更進一步在標案中不斷提升技術能力與國外軌道車輛廠競標。惟往往採購單位於投標資格中要求特定期間內一定數量或金額之主標實績，使國內軌道產業始終處於低迷狀態。

直至2014年新北市政府開放採認國內廠商實績，且順利由中國鋼鐵股份有限公司結合國內各工程單位組成團隊標得淡海輕軌一案，此為國內軌道產業發展奠定基石，亦是後來「國車國造」理念的發軔。

## 二、輕軌列車國產化促成契機

國內軌道產業至今仍大部分仰賴國外廠

商，相關設備及零組件皆完全綁定國外特定廠商，幾近原裝進口，雖省去向世界各地廠商詢價之麻煩，卻也換來極高之造價及後續維護成本。

淡海輕軌運輸系統為國內第一條「國車國造」計畫，新北市政府藉由將新北市淡海、安坑及八里等輕軌系統，採後續擴充的方式擴大採購規模，吸引國外廠商進入，使各輕軌系統設計單純化，以便利國內廠商能建立本土化軌道產業。為提昇機電系統維修效能（即設備維修在地化、降低維修成本），新北市政府亦參考工業合作之精神，由廠商自行提報其機電系統之各子系統預計提昇維修效能之項目及其預定金額，藉此了解廠商預定於國內生產製造零組件或設備比例、技術轉移之程度，及車輛在地組裝製造之構想，除有利未來執行時能降低營運維修成本，亦可促進國內輕軌產業發展升級。

其中，台灣車輛股份有限公司為臺灣軌道車輛之領頭羊，為準備國產化車輛所需具備之能力，於技術轉移、軟體環境、驗證認證、海外受訓、生產線建置及測試廠房與設備方面投資超過6億元，更直接由國內車廠執行原型車之製作及後續驗證與調修工作，目的就是為未來的「國車國造」鋪路。

輕軌車輛主要關鍵技術包含模組化車體、低底盤轉向架、牽引動力與能量儲存裝置等，台灣車輛股份有限公司從德國著名之車輛設計公司全面導入輕軌車體、轉向架、艙裝、電裝及內裝等設計、製造與驗證技術，經由此技術移轉方式不僅可充分掌握關鍵技術，提高產品自主性且充分掌握採購關



鍵子系統（如牽引與儲能裝置）與零組件之主導權，更可以使營運單位對於後續之維修可大幅降低成本及縮短維修時程。

### 三、輕軌列車國產化策略

#### （一）國內輕軌列車之各系統能力

為便於了解國內軌道列車之優勢及欠缺之能力將車輛簡化分成五大類，包含車體；內裝、照明、空調系統等；轉向架；煞車系統；推進系統，並將車輛生產之各階段能力分析製成對照表，如表1。

由表可知，國內廠商在車體部分已具備一定程度以上之能力；在內裝、照明、空調系統等部分具有部分能力；轉向架部分，除設計外有一定程度以上之能力；其餘煞車系統及推進系統僅於組裝及測試有部分能力外，其餘仍不具備能力。因此，國內輕軌列車在各系統之自主能力仍有成長空間。

#### （二）國產化百分比計算

為使國產化成效能具體展現，本文採取量化方式說明，透過將其國產化換算成百分

表 1 輕軌列車生產之各階段能力對照表

項次	項目	設計	製造	組裝	測試
1	車體	◎	●	●	◎
2	內裝、照明、空調系統等	◎	◎	◎	◎
3	轉向架	○	◎	●	◎
4	煞車系統	○	○	◎	◎
5	推進系統	○	○	◎	◎

註：○不具能力；◎具部份能力；●具完整能力

比進行計算有助於判斷執行之成效，並可分類作為國產化先後順序之依據。

國產化百分比計算式如後：總採購金額為分母，各設備/材料之價格為分子，換算出各分項之分率，即可得出該設備/材料之百分比。

國產化百分比如下列算式：

$$\frac{\text{設備/材料價格 (外幣換算成新台幣; NTS)}}{\text{採購總金額 (新台幣; NTS)}} = \text{國產化百分比(\%)}$$

此需注意之處有三項重點：

1. 關鍵技術之設備價格較為昂貴（意指難度越高，並為國外廠商獨佔），價格與策略國產化成效之重要性成正比，故不另計算其加權指數。
2. 國產化成功之項目，亦不會將其分母及分子價格替換成國內廠商價格，一方面將失去國產化重要性之闡釋，且可能造成低估成效。
3. 國內車廠組裝、設計等國產化項目，因不易量化，本文不納入計算。

#### （三）國產化策略目標

依上述（一）、（二）說明為基準，作為國產化目標訂定之依據。為使國產化可確實執行，將其目標制訂為近程及遠程之策略方式逐步拓展，如下說明。

##### 1. 短期目標

- (1) 國外廠商合作，建立臺灣與國外技術公司的信賴合作關係，奠定拓展相關產業的技術輸入基礎（如：零組件生產技術



輸入)，讓輕軌產業在臺灣扎根，並進行一定程度以上之技術轉移。

- (2) 輕軌車輛國內生產亦可同時進行技術人員培訓，並利於就業市場發展，如車輛生產所需原料（金屬素材、機械加工、複合材等產業），造就至少千人以上就業人口，逐步形成生產供應鏈。
- (3) 以實際輕軌列車案逐案提升設計能量，隨設計能量提升（預期與輕軌案大小及規模成正比），將可提升軌道相關產業品質，有助於RAMS（可靠性、可用度、維護度、安全度）展現之提升與穩定。
- (4) 維修保養相關之國產化，將定期更換之耗材及周邊設備（如生產耗材之設備）

一併國產化，未來可轉由國內供應，提升整體軌道車輛產業鏈之價值。

## 2. 長期目標

- (1) 提升國內測試驗證能力，第三方驗證轉由國內具公信力單位進行。
- (2) 統一輕軌產業規格便於未來輕軌系統之整合，並提升國內市場需求量。

## 四、淡海輕軌 - 國產化 1.0

### （一）由小至大逐步推動零組件國產化

淡海輕軌列車為全臺灣第一個國內生產的輕軌列車案（路網規劃圖如下；圖1），最



圖 1 淡海輕軌路網規劃圖





初僅能由原國外設計公司直接選配其熟悉廠商，因此初期除了部分之碳鋼及不鏽鋼材外，幾近等同國外產品。基於設備及材料由國外進口十分昂貴，且國外各設備交期普遍至少半年起至一年不等，因此於淡海輕軌列車生產初期即著手國產化之進行。

國產化採用的策略為由小至大、由易至難逐步推動方式，從小型零件開始，尋求國內現有的廠商直接購入以替換掉國外進口，較簡易之連接組件則找材料廠商依圖製造，設備等難度較高恐難以於淡海輕軌列車上實現之部分，則於國內軌道車輛廠商生產輕軌列車時即開始洽詢具國內軌道實績之設備廠商開始研發，並連結工業技術研究院等研究單位協助尋求合適的合作廠商共同研發，為

未來國內輕軌列車國產化市場開始作準備。

## (二) 淡海輕軌列車國產化成效

淡海輕軌列車案因新北市政府與台灣車輛股份有限公司於執行初期即刻進行國產化的推動，才可於淡海輕軌15列車生產完畢時，由最初僅少量板材國產化至最終增加為約22%。淡海輕軌先從國內已有生產之板材、散料（螺絲等）進行，再將有軌道車輛零組件生產經驗之廠商拉入開發（如空調設備，於後續安坑輕軌案實現國產化之開發），部分無國內軌道車輛實績但已是國際大廠亦尋求合作開發材料完成（如車頭玻璃纖維強化塑膠（FRP）等）。

淡海輕軌國產化成果量化說明如表二，

表 2 淡海輕軌國產化進度

項次	項目	已國產化百分比
1	車體 - 車體結構	6.0%
2	車體 - 車體飾板料件	0.3%
3	車體 - 緊固件、散料及組裝	1.7%
4	車頭 - 玻璃纖維強化塑膠（FRP）	1.5%
5	風道料件	0.2%
6	接線箱	0.3%
7	扶手、行李架、吊環	0.8%
8	車門料件	0.2%
9	配電盤	2.0%
10	車內設施散料及組裝	0.4%
11	推進系統電纜、接頭及組裝	1.9%
12	轉向架結構體	4.2%
13	轉向架懸吊、避震、其他設施等	0.3%
14	閉路電視（CCTV）	1.4%
15	部分油漆	0.3%
16	其他（所有支架、管路、貼紙等散料）	0.3%
淡海輕軌列車案百分比加總		21.8%



圖 2 淡海輕軌列車營運照片

其百分比加總後國產化比例共21.8% (約22%)，後續淡海輕軌綠山線於107年12月24日營運通車後 (營運照片如下；圖2)，其國產化零組件並無出現重大問題，且因屬國內廠商製造，相關疑慮之部分在反應的同時即可獲得解決及應對。而尚未於淡海輕軌列車進行國產化之部分，如集電弓等關鍵技術設備，則須待國外廠商遠端分析或抵台進行檢

測解決，除無法立即解決問題外，此亦導致營運單位維護及處理問題之困難，故新北市政府與台灣車輛股份有限公司持續不間斷地找尋國內技術廠商進行合作討論。

## 五、安坑輕軌列車 - 國產化 2.0

### (一) 淡海輕軌列車案後續

淡海輕軌列車案於初期即開始謀求國產化的潛力廠商，雖陸續開始洽談合作，但由於開發不易，且其耗費時間長 (如與工業技術研究院洽談數項材料之國產化開發，材料的分析與開發可行性評估即耗費半年以上時間)，故無法於淡海輕軌中完成國產化，但開發成效於安坑輕軌列車案即可陸續展現 (路網規劃圖如下；圖3)，如空調機等重要設備開發成功等。

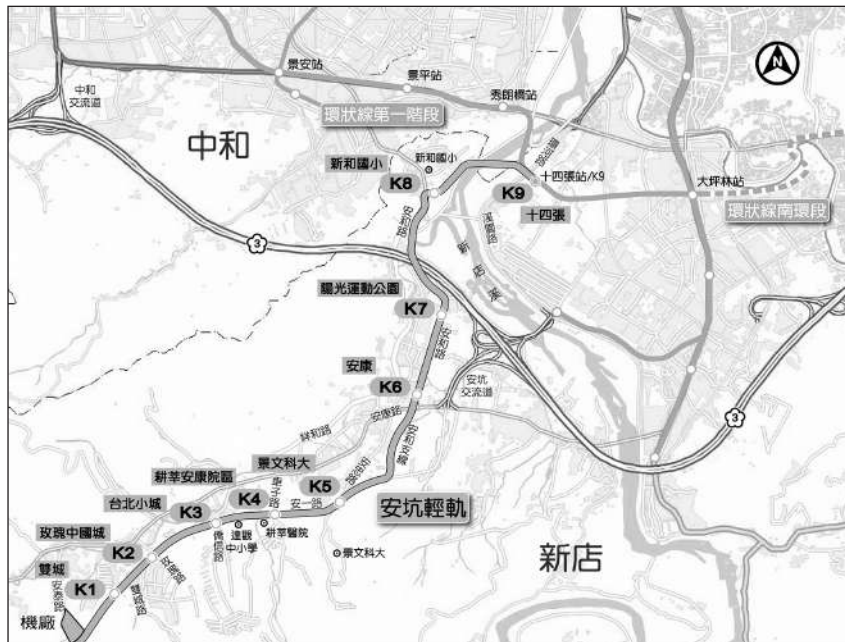


圖 3 安坑輕軌路網規劃圖



為免除國內設備或材料的生產可能有不  
如國外產品的疑慮，新北市政府要求將所有  
國產化項目皆需通過原國外設備或材料的檢  
測項目及符合國際相關標準，部分項目如工  
業技術研究院開發的地板及外板等，甚至具  
有更優化的條件，為安坑輕軌國產化的重大  
突破。

## (二) 安坑輕軌國產化成效

安坑輕軌列車案之國產化推動承繼淡海  
輕軌列車案，部分淡海輕軌列車案執行即投  
入國產化之開發於本案完成，如空調（實際安  
裝照片如下；圖4）、地板、外板等項目，除  
前述項目外，本案也因淡海輕軌列車案營運  
狀況回饋為國產化開發依據；另外也將國外  
無法生產的項目改轉為國內開發，如香檳金  
之油漆材料（實際成果照片如下；圖5）。經



圖 4 國產化空調機



圖 5 安坑輕軌列車（香檳金塗料）

由漸進式國產化的共同成果，使得國產化百  
分比成效較淡海輕軌列車案增加為約20%。

安坑輕軌國產化成果量化說明如表3，

表 3 目前整體國產化進度

項次	項目	已國產化 百分比
淡海輕軌列車案國產化百分比		
1	車體 - 車體結構	6.0%
2	車體 - 車體飾板料件	0.3%
3	車體 - 緊固件、散料及組裝	1.7%
4	車頭 - 玻璃纖維強化塑膠 (FRP)	1.5%
5	風道料件	0.2%
6	接線箱	0.3%
7	扶手、行李架、吊環	0.8%
8	車門料件	0.2%
9	配電盤	2.0%
10	車內設施散料及組裝	0.4%
11	推進系統電纜、接頭及組裝	1.9%
12	轉向架結構體	4.2%
13	轉向架懸吊、避震、其他設施等	0.3%
14	閉路電視 (CCTV)	1.4%
15	部分油漆	0.3%
16	其他 (所有支架、管路、貼紙等散料)	0.3%
淡海輕軌列車案百分比加總		21.8%
安坑輕軌列車案國產化百分比		
17	空調	5.0%
18	車頂板	2.4%
19	內裝板玻璃纖維強化塑膠 (FRP)	4.8%
20	地板布	0.2%
21	地板	1.5%
22	客室座椅	0.5%
23	玻璃	0.1%
24	外板	2.2%
25	車內照明	0.8%
26	油漆	0.8%
27	電線電纜	1.8%
安坑輕軌列車案百分比加總		20.1%
整體國產化進度		41.9%



圖 6 淡海、安坑輕軌國產化高強度塑膠材質座椅

其與淡海輕軌比較後增加百分比約共20.1%（約20%），透過新北市在建工程之淡海輕軌列車案及安坑輕軌列車案，國產化百分比已達41.9%（約42%）。

### （三）淡海輕軌列車設計精進回饋

本案中值得一提的是，安坑輕軌列車案在淡海輕軌列車案後期試營運時即開始進入設計階段，營運中所有獲得的意見反饋、缺失問題皆可於安坑輕軌列車設計藍圖上進行精進。舉例來說，淡海輕軌原座椅材質設計使用鋁板表面貼人工皮呈現，原意是為提供更佳的旅客搭乘體驗，惟人工皮設計較不耐旅客隨身鑰匙、背包金屬扣件或牛仔褲鈕扣等刻劃問題，造成部分座椅出現磨耗破皮的狀況，進而影響使用壽命，因此安坑輕軌國產化設計階段改採高強度塑膠材質，除表面質感亦納入乘坐防滑問題及耐刻劃強度，同時也一併將淡海輕軌列車座椅全面優化為相同材質（實際照片如下；圖6）。

## 六、未來面臨之挑戰

### （一）目前情形

綜上，淡海輕軌列車案及安坑輕軌列車案之國產化已有相當成效，但隨著國產化百分比的提升，國產化難度也逐步攀升。雖然國內軌道產業實績、產製能量等皆已具備，且中央政府亦推動前瞻計畫助瀾國產化的成績，惟國內輕軌車輛仍僅具簡易自主設計能力、市場規模使多數國內供應商望之卻步等卻也是未來持續進行國產化最大的阻礙，該相關之優勢、劣勢、機會、威脅等，於此進行強弱危機（SWOT）分析，如下表4中說明。

### （二）精進方向之建議

目前輕軌列車多數採用系統性設備（例：車門系統、集電弓系統、轉向架系統…等），其關鍵技術大部分均受制於國外廠商，國內





表 4 國產化對於優勢、劣勢、機會、威脅進行 SWOT 分析

優 勢 (Strength)	劣 勢 (Weakness)
1. 國內軌道車輛產製實績已建立。 2. 國內軌道車輛產製能量初步建立。 3. 具備配合現有系統即時調整能力。	1. 車門系統、轉向架系統、推進系統、煞車系統等僅簡易設計與選配能力。 2. 系統及機電整合設計能力尚待加強。 3. 供應鏈體系尚未完整。 4. 國內廠商研發及製造設備不足。 5. 設備零組件國產化智慧財產權問題。
機 會 (Opportunity)	威 脅 (Threat)
1. 國內軌道車輛市場增加 - 前瞻計畫。 2. 東南亞國家市場需求增加。	因數量與市場規模考量而降低國產化意願。

產業尚未掌握技術，無論是透過中央單位媒合或是地方政府推動，給予國內廠商或研發單位適時協助相當重要，如下列建議：

1. 扶持國內具備產品檢測能力等相關研究機構建立輕軌車輛零組件之測試驗證能力，除將國外技術帶入國內外，並取得可於國內之測試驗證資格。
2. 藉由國產化佔比及通用規格，整合各地輕軌採購需求，提升國內軌道產業技術能量並擴大市場規模，則國產化比例可望大幅度提升。

目前國內已設立交通部鐵道局，以協助整合各系統規格並訂定出標準作為第一步，而新北市政府將持續進行八里、五泰、深坑及泰板等本市輕軌建設。未來全台輕軌列車倘皆採用淡海輕軌之相同規格，國產化比例將更有機會（甚至提前）達到50%。

全國各路線興建輕軌列車規模預計約為

217輛，在採購時程及需求明朗且商機規模巨大的條件下，國內廠商及研究單位將較有足夠的市場誘因進行系統性設備的開發，使國外進口直接轉由內需，國產化比例預期可躍進式提升，亦可有更大的優勢於後續維修保養及擴充，同時具有更高的優化自由度及開發空間。

### 七、結論及未來展望

經過淡海輕軌列車案的努力，新北市政府以策略化之較簡易的、可取得性高的優先執行，將國內本來就有生產且較簡易的組件改由國內購入，並督導台灣車輛股份有限公司在特殊材料與國內廠商合作開發有了初步成效，淡海輕軌案國產化提升為21.8%（由最初國產化3%增加18.8%）；安坑輕軌列車案則陸續完成需要專業技術及能力才能開發的設備及材料。另外，國內研發之設備與其他國外設備也在不斷修改及測試下完成了整列車之系統整合，將國產化僅花了3年即達到41.9%（增加20.1%）。



新北市政府除持續媒合台灣車輛股份有限公司與適合廠商協同合作外，另對未來遠景預計採行以下策略，以便逐步擴大並強化目前之供應鏈雛型：

1. 政府單位協助業者共同合作開發輕軌車輛零組件。
2. 建立輕軌車輛零組件之測試驗證能力。
3. 提升國內軌道產業技術能量並擴大市場規模。

國車國造之本意在於打破國內軌道產業長期受外商壟斷系統技術，以降低建置、營運及維修成本為出發點，並非整列車都由國內廠商進行生產製造。政府需提供足夠之在地內需市場，國內廠商全力投入進行開發，並建立驗證軌道列車諸多核心設備之能力如車門系統、煞車系統、推進系統等具有安全相關之需求為第一要務，方可突破目前現況。

從這些經驗下可得知，新北市輕軌網絡並不是國車國造的起點與終點，而是作為促成國車國造發展的推手，不僅止於此，淡海輕軌問題均將回饋到安坑輕軌等其他後續擴充路線加以精進，期盼中央及地方能持續與軌道產業相關廠商共同謀求一致共識，以促進整體軌道產業發展，目標在未來臺灣的軌道產業也可以在國際上駐足一席之地。

#### 參考文獻

1. 淡海輕軌運輸系統綜合規劃報告書，新北市政府捷運工程局，[https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=111&parentpath=0,6&mcustomize=download\\_view.jsp&dataserno=201802140001&t=null&mserno=201801170002](https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=111&parentpath=0,6&mcustomize=download_view.jsp&dataserno=201802140001&t=null&mserno=201801170002)。
2. 安坑線輕軌運輸系統暨周邊土地開發綜合規劃報告書，新北市政府捷運工程局，[https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=111&parentpath=0,6&mcustomize=download\\_view.jsp&dataserno=201802070109&t=null&mserno=201801170001](https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=111&parentpath=0,6&mcustomize=download_view.jsp&dataserno=201802070109&t=null&mserno=201801170001)。

3. 新北市政府捷運工程局資訊網，<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/>。
4. 輕軌系統採購作業指引，交通部鐵道局資訊網，<https://www.rb.gov.tw/showpage.php?lmenuid=45&smenuid=311&tmenuid=215&pagetype=0>。
5. 低底盤輕軌車輛設計及系統整合技術，經濟部工業局工業合作推動小組，<https://www.icpo.org.tw/Page.aspx?ID=24cf6203-53ca-41ea-9a29-0889292fe843>。
6. 社團法人中華軌道車輛工業發展協會資訊網，<http://www.crida.org/>。
7. 輕軌列車國產化 - 淡海輕軌「國車國造」，循軌·尋軌 - 臺灣軌道的根與芽 (p.292-p.294)，台灣軌道工程學會，108年6月。



# 淡海輕軌大地工程經驗分享

新北市政府捷運工程局局長 / 李政安

新北市政府捷運工程局科長 / 鄭紹祥

新北大眾捷運股份有限公司資深經理 / 楊鵬飛

關鍵字：淡海輕軌、藍海線、綠山線、新北捷運

## 摘要

淡海輕軌第一期路網於109年底完工通車，本路線由紅樹林站經淡金路連接淡海新市鎮，採平面及高架型式佈設，雖避免都會區捷運系統深開挖工程之困難與風險，但臺北盆地周邊地形變化大、地質變異性高的特性，使得基礎工程仍面對相當挑戰。本工程採統包方式施工，統包工程因設計、施工併行的特性，可在維持原功能需求條件下，彈性檢討不同設計方式，採取最有利的工程方案，本工程累積之輕軌運輸系統工程規劃、設計、監造、施工之技術與經驗，可作為國內其他都會區推動輕軌運輸系統參考。

## 一、前言

大臺北都會區捷運「三環六線」路網是由文湖線、環狀線（以上為第一環）、新莊線、萬大-中和-樹林線（以上為第二環）、板南線、三鶯線、機場線（以上為第三環）等三環以及淡海輕軌、安坑輕軌、五股泰山輕

軌、八里輕軌、深坑輕軌、汐止民生線等六線之捷運路線所構成，完整路網詳圖1。

「三環六線」完成後形成新北市境內主要捷運路網，總共206站，長度235 km，使原本以臺北車站為中心的捷運路網，擴大涵蓋到新北市中心及桃園地區，串連北北桃生活



圖 1 新北市捷運建設願景圖



圈，以「三環六線」作為大眾運輸骨幹，達成大臺北一小時交通生活圈的目標。

### （一）淡海輕軌運輸系統

淡海輕軌運輸系統為六線之一，可服務淡水地區及淡海新市鎮，將捷運核心路網往外圍地區延伸，透過路線轉乘機能擴大整體路網面。淡海輕軌包含綠山線與藍海線兩部份，路線全長約13.99 km，共設置20座車站，1座機廠，路線及車站位置如圖2；其中綠山線已於107年12月24日通車，藍海線第1期將於109年底通車，第2期目前進行設計中。

綠山線始於臺北捷運淡水信義線紅樹林站北側，以高架型式跨越中正東路（台2乙線）接淡金路（台2線）沿中央分隔島往北，至金龍橋南側由淡金路中央轉至道路西側，沿金龍橋西側平行前進跨越谷地後，再轉回淡金路續北行至濱海路左轉往西，並於跨越中山北路後由高架轉為平面型式，至沙崙路

轉往北至新市六路路口，共設置7座高架車站及4座平面車站；藍海線以平面型式自中山路（台2乙線）與中正路（淡水老街）交會處之捷運淡水站起，其後上下行軌分別沿中山路與淡水河岸採單軌布設，至文化路與中山路交會後併為雙軌，並沿台2乙線往西至沙崙海水浴場淡海路右轉，跨公司田溪後再右轉沿濱海路至沙崙路口後，往北與綠山線銜接，共設置9座平面車站；機廠配置包括駐車區、維修區、行政辦公區、及其他相關設施，面積約為5.0公頃。

整體路網分為兩期推動，第1期路網興建綠山線與藍海線濱海沙崙（G06）站至淡水漁人碼頭（B06）站路段（約9.55 km，共7座平面車站及7座高架車站）；第2期路網興建藍海線由淡水漁人碼頭（B06）站至捷運淡水站前之B01站路段（約4.44 km，6座平面車站）。

### （二）沿線地質特性

淡水區位於新北市西北端、淡水河出海口北岸、大屯山群西側。境內除淡水河口狹小平原外，其餘地區為屬大屯山範圍，地形發育主要受火山熔岩噴發所控制。

依據經濟部中央地質調查所區域地質圖林口圖幅（詳圖3），淡海輕軌沿線行經區域包括全新世沖積層或更新世凝灰角礫岩。沖積層為砂、黏土及礫石所組成，凝灰角礫岩則為火山碎屑之堆積，由略帶稜角、大小不一之安山岩碎塊，以及顆粒較細之凝灰岩、泥砂等夾雜混合構成，一般膠結良好，主要分布於火山邊緣，或覆蓋於火山岩流上部或夾於其中。由於噴發前地形各異，噴發量亦



圖 2 淡海輕軌整體路線圖



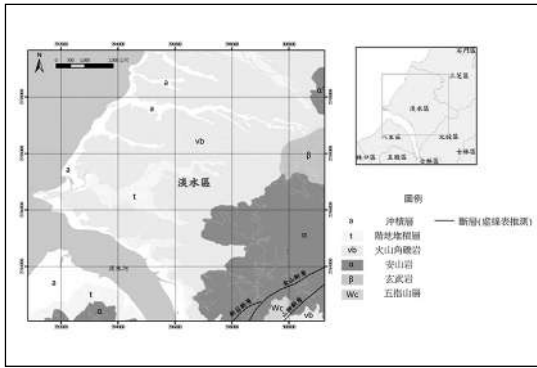


圖 3 區域地質圖

隨處不同，故凝灰角礫岩之厚度各地不一，可以從數公尺至300 m以上。

計畫路線之地形以東南側為最高，向海岸線漸次降低，主要為向海緩緩傾降的火山周緣斜坡地形，綠山線行經淡金路（台2線）路段屬大屯火山群西麓邊緣地帶，地表高程介於EL.8~70 m之間，藍海線則沿淡水河北側佈設，地表高程介於EL.5~22 m之間。

依據補充地質調查鑽探資料，火山碎屑階層上方覆蓋深度約5~8 m黃棕色、具堅實稠度之粉土質黏土，常含岩塊，SPT-N值約8~25，地下水位約在地表下3 m。

### （三）統包工程優勢

淡海輕軌第1期路網採統包工程方式，除了設計、施工併行作業可縮短工期的優點外，現場施工人員遭遇之工程議題，可即時回饋設計人員，採取因地制宜之設計方案與施工規劃，可發揮統包廠商之專門施工技術進而加快工程進度、發揮最大工程效益。茲將本工程在設計與施工總體整合方面之作為

說明如后。

## 二、高架橋基礎工程案例介紹

### （一）基礎設計原則

高架段路線佈設於中正東路、淡金路及濱海路；依輕軌系統列車軸重需求，以及地盤承載層深度較深（至少在6 m以下）之條件，高架橋之基礎型式採深基礎方能滿足設計需求；再者，考量淡金路為連繫三芝、石門之主要交通幹線，平、假日交通流量大，遇有特殊節慶常發生交通壅塞，故採施工風險性低、工期較短的全套管基樁工法，並避免對道路路面污染、降低對交通之衝擊。

淡金路沿線既有特殊地下管線如 $\varnothing 1000$ 自來水管、台電161 kV高壓電纜等重大管線，本案以BIM（Building Information Modeling）輔助設計如圖4所示，高架橋基礎以避開既有管線為設計原則，但仍有部分與之衝突，在不影響工期的考量下，分別採管線遷移或調整基礎設計等方式克服，並積極研擬代辦、吊掛保護等方式與管線單位溝通協調，以減少對工程進度之影響。

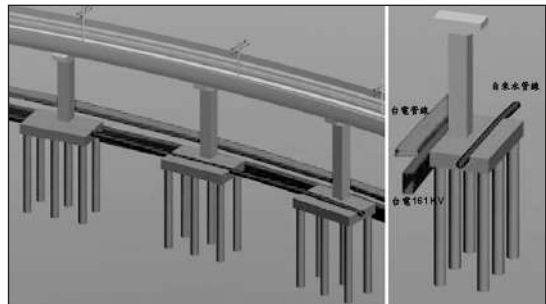


圖 4 特殊地下管線與高架橋基礎 BIM 模型圖



圖5 台電 161 kV 高壓電纜吊掛示意圖

以淡金路於坪頂路段下方配置之既有台電161 kV高壓電纜為例，受限於161 kV高壓電纜線無法臨時遷移、永久遷移遷移期程過長，在基樁位置無法調整的狀況下，改採井式基礎設計並配合161 kV高壓電纜吊掛保護，現場施工如圖5所示。

另部分無法與既有公路橋梁共構、跨越谷地之路線（全套管樁施工機具設置困難）之橋墩基礎，亦採井式基礎如下節所述。

## （二）金龍橋西側井式基礎案例

### 1. 基礎型式與設計

金龍橋跨越水源街與忠愛街間谷地，為淡金路沿線重要橋梁。金龍橋長約200 m、寬約24 m，最大跨徑約90 m，設置有4座橋墩。

民國80年代完工之金龍橋，並無考量與淡海輕軌共用橋墩基礎所需之額外載重；再者，考量於金龍橋既有結構補強之施工困難度，以及施工期間對淡金路之交通衝擊，高架段路線改由金龍橋西側穿越。新設橋墩與金龍橋既有橋墩採平行、併列方式配置（如



圖6 金龍橋西側高架路線示意圖

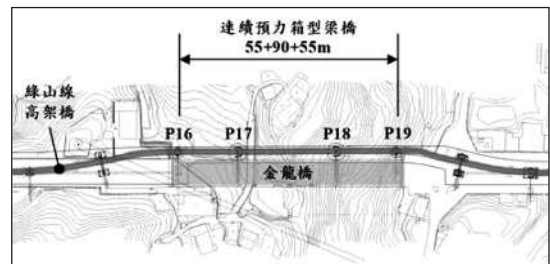


圖7 金龍橋西側高架橋墩結構配置圖

圖6），以降低當地景觀衝擊。

金龍橋西側高架橋上部結構設計採場鑄預力鋼筋混凝土箱型梁，以懸臂工法施作。下部結構配置P16至P19等4座橋墩（如圖7），P17與P18橋墩間跨徑達90 m，橋墩結構設計採雙壁式柱結構，最大柱高約35 m，基礎則採井式基礎結構，基礎外徑9 m、深度25 m。

依據地質調查結果，地表下約14 m以上為自立性好之粉土質黏土、砂土層，以下則為砂岩層，地下水位約在地表下3 m。井式



表 1 金龍橋側高架橋簡化土層

層次	地層種類	說明
1	粉土質黏土層	主要為粉土質黏土夾細砂，分布地表下約 6 m，T-N 值約為 8，屬中等堅硬黏土
2	砂土夾礫石層	主要分布於地表下約 6~14 m，厚度大約 8 m，PT-N 值大於 50，屬緊密砂土
3	砂岩層	主要分布於地表下約 14 m，厚度大約 25 m（孔最大深度），SPT-N 值大於 100。

基礎採分階段開挖，每階開挖深度約 2.0 m，開挖後於井壁鋪設鋼絲網及噴凝土以保護井壁，簡化地層如表 1 所示。

### 2. 特殊施工狀況

105年6月中旬P17橋墩井式基礎於開挖至地表下 22 m 時，井體北側開挖面發生地下水夾帶土砂湧入之狀況，地下水入滲量約 100l/min，統包廠商緊急回填土方穩定開挖面。初步研判是局部砂岩層高透水性造成地下水滲入。經檢討於井體北側滲水處以樁徑 1m 灌漿改良樁進行長 22.5 m、寬 8 m 之地盤改良，開挖面以上部分採低壓水泥灌漿 LW 填充地層孔隙、開挖面以下部分則採高壓噴射灌漿 JSP 補強地層強度與止水。

後續開挖過程開挖面及開挖至預定開挖深度仍持續有大量地下水湧入，配合開挖區內抽水作業仍無法順利施作底層鋼筋。考量金龍橋西側高架段為本工程要徑工項，工進落後將延誤完工通車時程，故除增加開挖區

外降水作業控制開挖面湧水並嘗試以進行基礎結構施工外，另同步檢討若必須以混凝土封底穩定開挖面，採提升井體周邊地層強度方式增加井體單位面積承載力。再以厚度 2m 之水中混凝土封堵開挖面後，配合開挖區外持續降水作業進行基礎結構施工，以及時完成 P17 橋墩井式基礎工程。

### 3. 地盤補強改善

為擬定 P17 橋墩井式基礎周邊地層之地盤改良作業，補充地質調查工作包括地質鑽探取得原狀土樣進行岩層單軸抗壓試驗，以及地電阻影像探測。岩層的單軸抗壓試驗，深度位於地下 13.15 m 至 13.78 m，qu 值介於 3.11~8.01 kgf/cm<sup>2</sup> 間。深度位於地下 20.0 m 至 20.46 m，qu 值介於 0.2~0.63 kgf/cm<sup>2</sup>；依綜合以上資料，地質為泥岩，岩質極弱，並且土層中有許多孔洞，地層極為疏鬆（如表 2）。

經檢討後採雙環塞地質改良工程，

表 2 地改前岩石力學試驗總表

孔號 (No.)	深度 (M)	含水量 Wi (%)	乾密度 γd (kN/m <sup>3</sup> )	破壞應變量 Ef (%)	單軸抗壓強度 Uc (kgf/cm <sup>2</sup> )	岩心描述
ABH-90	20.00~20.17	28.34	1.59	5.53	0.63	棕黃色泥岩
ABH-90	20.17~20.32	27.10	1.57	2.57	0.16	棕黃色泥岩
ABH-90	20.32~20.46	28.74	1.56	1.46	0.20	棕黃色泥岩
ABH-91	13.15~13.33	24.24	1.50	1.33	3.12	棕黃色砂質泥岩
ABH-91	13.49~13.61	21.02	1.75	2.63	8.01	棕黃色砂質泥岩
ABH-91	13.61~13.78	15.89	1.87	1.90	3.11	棕黃色砂質泥岩



圖 8 地盤改良雙環塞灌漿施工

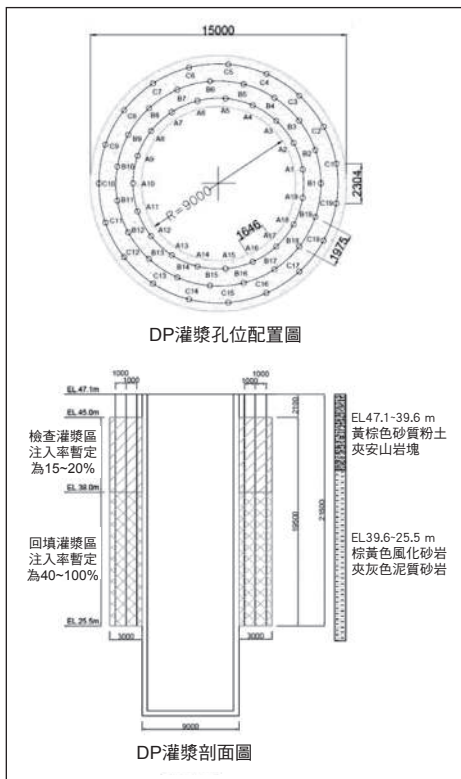


圖 9 井體周邊灌漿

於工作井周圍進行二重管雙環塞止水灌漿 (Double Packer) (如圖8)，於井體周邊地表下5至25.5 m間，形成厚度2 m、深度20.5 m的連續改良體，改良樁樁徑1 m，採交錯配置計三排共57支 (如圖9)。



電阻試驗作業情形

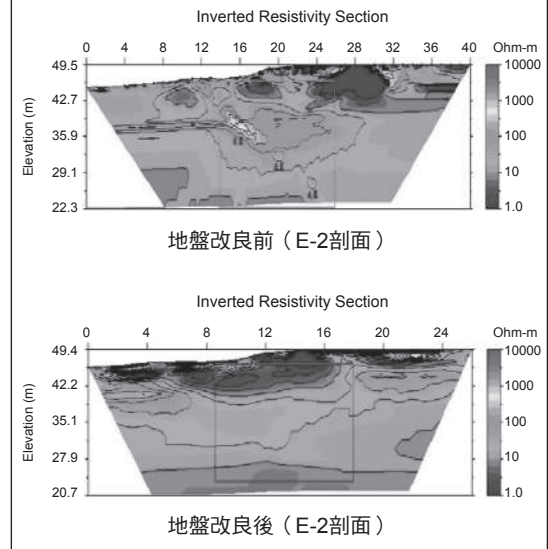


圖 10 地盤改良前、後地電阻影像剖面圖

由探測得知地盤改良前、後E-2測線地電阻係數剖面圖如圖10所示。比較改良前後之地電阻係數剖面圖得知，改良前於測樁16 m高程36 m附近、測樁20 m高程32 m附近，及測樁24 m高程27 m附近之疏鬆或有孔隙地層，由於疏鬆土壤地電阻值 (R) 較大，於圖上顯示為綠色、黃色區塊，另色塊顏色不連續代表其質地分佈不均勻；地盤改良後疏鬆地層被水泥取代且地電阻較小，圖上顯示





表 3 地改後改良範圍內改良體強度試驗總表

孔號 (No.)	深度 (M)	含水量 Wi (%)	乾密度 $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	破壞應變量 Ef (%)	單軸抗壓強度 $U_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	岩心描述
ABH-92	2.30~2.60	70.30	14.51	1.18	39.58	灰白色水泥
ABH-92	2.60~3.75	62.90	13.56	1.53	24.34	灰白色水泥
ABH-92	4.40~4.65	67.10	13.87	0.72	38.93	灰白色水泥
ABH-92	6.00~6.15	57.50	13.92	0.93	31.27	灰白色水泥
ABH-92	8.25~8.5	71.00	13.76	1.08	30.93	灰白色水泥
ABH-92	9.10~9.30	74.4	13.89	0.81	27.98	灰白色水泥
ABH-92	10.35~10.60	62.80	14.57	1.03	45.75	灰白色水泥
ABH-92	13.55~13.75	57.20	13.64	0.76	29.04	灰白色水泥
ABH-92	14.55~14.75	55.70	13.86	0.94	24.24	灰白色水泥
ABH-92	15.60~15.85	71.80	14.12	1.03	28.93	灰白色水泥
ABH-92	17.60~17.80	72.40	13.83	0.69	34.84	灰白色水泥
ABH-92	19.35~19.55	79.80	14.03	1.27	30.37	灰白色水泥
ABH-92	20.15~20.40	67.10	14.24	0.97	31.77	灰白色水泥
ABH-93	2.65~2.85	64.50	14.17	0.93	30.94	灰白色水泥
ABH-93	3.15~3.40	68.60	13.69	1.30	33.02	灰白色水泥
ABH-93	3.75~4.00	70.20	13.94	1.24	24.50	灰白色水泥
ABH-93	5.45~5.60	73.90	14.11	1.79	27.09	灰白色水泥
ABH-93	6.00~6.25	75.50	14.17	1.24	23.96	灰白色水泥
ABH-93	8.00~8.30	72.50	13.85	0.95	29.61	灰白色水泥
ABH-93	10.30~10.55	65.50	14.20	0.93	44.94	灰白色水泥
ABH-93	12.05~12.25	68.00	13.79	0.93	34.77	灰白色水泥
ABH-93	14.60~14.80	71.60	14.05	1.01	32.21	灰白色水泥
ABH-93	16.45~16.70	61.10	14.51	1.32	37.78	灰白色水泥
ABH-93	17.40~17.65	72.50	13.51	0.67	39.05	灰白色水泥
ABH-93	18.80~19.00	68.70	13.97	1.25	38.71	灰白色水泥
ABH-93	21.40~21.65	68.20	13.66	0.89	35.89	灰白色水泥

為藍色、藍綠色區塊，色塊面積大且連續顯示地盤改良後已為均勻之水泥改良體，顯示改良效果良好，且地盤的單軸抗壓強度也顯著提昇，從0.2~8.01 kgf/cm<sup>2</sup>，提昇至24~38 kgf/cm<sup>2</sup>間，達到整體地盤固結的效果（如圖11、表3）。

### 三、平面段軌道路基設計

#### (一) 平面段軌道設計原則

平面型式之輕軌系統多沿既有道路佈



圖 11 地盤改良後順利施工之 p17 墩柱

設，以目前國內採用的隔離路權型式，在橫交路口處需與一般車輛共用路口，必須採用



對既有道路使用影響最小之嵌埋式軌道。不同於傳統道碴式軌道可藉由整碴方式調整鋼軌面高程，嵌埋式軌道直接固定於鋼筋混凝土軌道版，需藉由剛性軌道版克服地層不均勻分布之自然特性。

軌道版下方基層之彈性模數為軌道版設計之重要基本參數，以能確保列車荷重能透過軌道版均勻分配至基層，保持鋼軌的相對變位與相對變位角在容許範圍內，增進列車行駛之平順，不致於因為軌道版之相對變位與相對變位角過大，影響列車或軌道之正常功能，而必須進行大量維修工作進而影響正常之營運。

## (二) 平面段軌道路基

### 1. 地質特性

綠山線於淡海新市鎮範圍採平面型式佈設，配置於濱海路及沙崙路之中央分隔島。設計單位彙整綠山線平面段沿線地質資料，於地表下3.5 m左右（以上）深度為黏土層夾安山岩塊之火山堆積層，且該黏土層屬「過壓密」黏土層，依SPT-N值評估屬堅實程度，其承载力良好；另由現地鑽探資料（圖12），平面段沿線之地層變異性低，簡化地層說明如表4所示，平均參數如表5。

### 2. 設計考量

平面段軌道採嵌埋式軌道設計，主要構件包括槽型鋼軌（54R2）、彈性包覆材（CDM）、軌道版及基層，嵌埋式軌道橫斷面配置如圖13所示。

依據軌道工程設計規範，統包廠商需依據車輛系統及其軌道變位限制等設計條件與

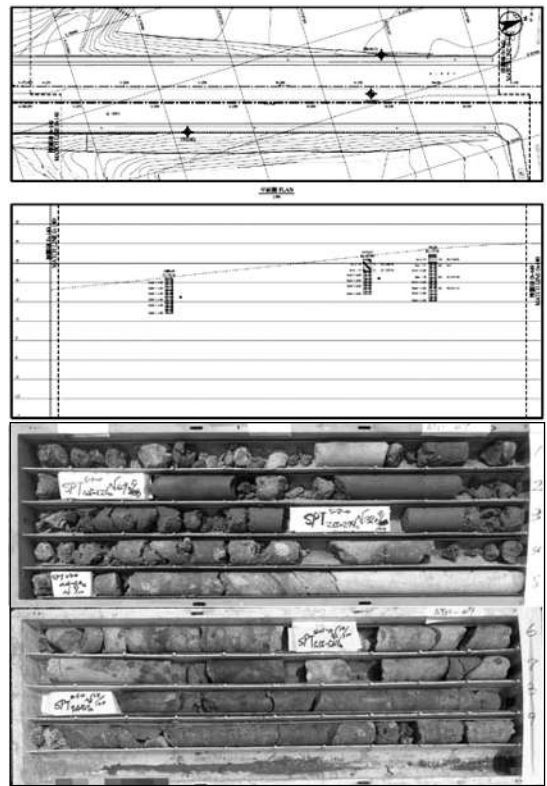


圖 12 G06 至 G07 站間鑽孔剖面圖及鑽孔岩心

表 4 綠山線平面段簡化地層

層次	地層種類	說明
1	回填層	主要為岩塊、鋼筋混凝土及礫石等組成，本層分布於地表下約 1.6 m
2	粉土質黏土層	分布地表下約 1.6~4.4 m，平均厚度約 3 m，SPT-N 值 5~10，屬中等堅硬黏土
3	安山岩塊層	主要分布於地表下約 4.4~12 m（鑽孔最大深度），平均厚度大於 10 m，SPT-N 值大於 100。

地質調查成果，評估軌道路基承载力及差異沉陷是否滿足軌道角變量不超過1/1,000之設計需求。

統包廠商依日本「鐵道構造物等設計標



表 5 平面段地層平均參數表

里程	G04 0K + 530~G08 0K + 050 (地下水深度 4.0 m) 平面段地層平均參數表						
層次	地層種類	深度 (m)	分類	N 值	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	su (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
一	回填層	1.6	-	-	-	-	-
二	高塑性黏土/ 高塑性粉土	3.5	CH / MH	4~16 (9)	1.54~1.81 (1.78)	5.625	-
三	安山岩塊夾黃棕色 粉土質砂/ 凝灰質角礫岩 夾安山岩塊	12.0	BR	100	2.20	-	36

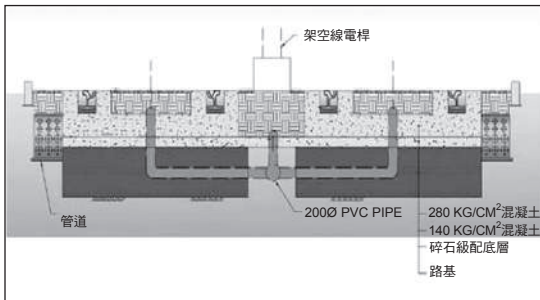


圖 13 嵌埋式軌道橫斷面配置

準同解說-省力化軌道用土構造物 (1999) 之標準」進行軌道版設計，有關軌道版最大變形量之設計需求，考慮行車舒適性，軌道版應滿足列車活載重AW3 (列車在空車狀況加上每一節車座位坐滿且立位密度以7人/m<sup>2</sup>站滿旅客之總重，總重約70t) 下彈性變形量小於2 mm之條件。

有關路基及級配粒料底層之設計需求，路基部分要求路基面下方3 m內之粉土質黏土層，其SPT-N值必須大於4，且K30  $\geq$  110 MPa/m；級配粒料底層部分則要求K30  $\geq$  150 MPa/m，且壓實密度比90%以上。

依列車載重分布，採用彈性基礎梁解析法，來求算軌道版的配筋需求量及彈性變量。列車載重引致軌道版最大變位約1.38

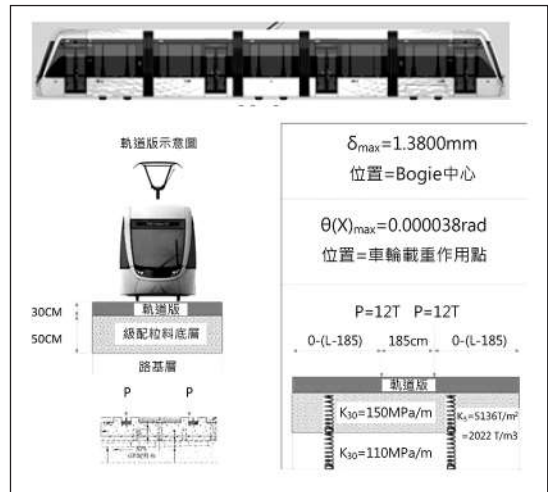


圖 14 軌道版最大變位、最大角變量檢核示意圖

mm，發生在轉向架之兩輪軸中間，小於2 mm之要求；最大角變量為 $3.8 \times 10^{-5}$ ，出現在車輪載重位置，如圖14所示。

### 3. 路基施工

平面段軌道工程的施工步驟之順序如下：

- (1) 於既有道路上，進行路基開挖至設計深度。
- (2) 於路基完成面進行夯壓與整平，並檢核是否達到工地密度之要求。
- (3) 達到工地密度要求後，進行級配粒料底



圖 15 路基施工



圖 16 路基平板載重試驗

層的分層夯壓填築並辦理相關品質檢試驗。

- (4) 級配粒料底層施工品質檢驗合格後，進行PC層的鋪設。
- (5) 綁設軌道版鋼筋，以由上而下 (Top-Down) 方式，於固定鋼軌並確認設計高程後，進行軌道版混凝土的澆置並進行後續養護 (如圖15)。

為驗證路基K30是否符合設計需求，現場依據CNS12392進行平板載重試驗。最大試驗載重為30 t/m<sup>2</sup>，以每階段增加3 t/m<sup>2</sup>方式分10階段加壓及解壓 (如圖16所示)，試驗結果如表6、圖17所示。試驗結果顯示可符合設計

表 6 平板載重試驗結果

編號	K30 (MPa/m)	對應 SPT N 值
1	>235.4	5
2	>235.4	6~9
3	164.8	4~5

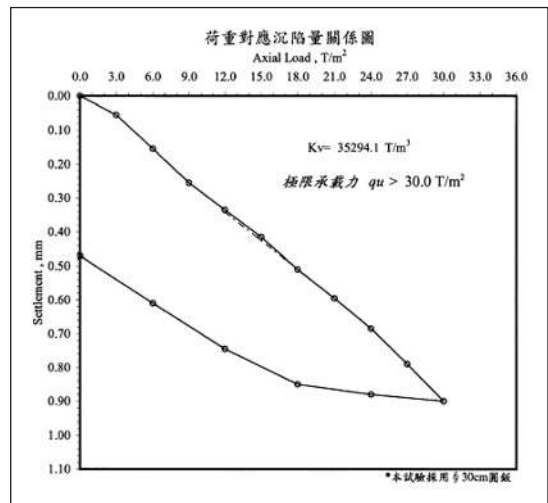


圖 17 平板載重試驗曲線 (以 G06 站為例)

單位K30之設計假設。

#### 四、結論與建議

淡海輕軌運輸系統銜接臺北都會區大眾捷運系統，提供淡水地區及淡海新市鎮往來臺北市便利之交通服務，並將帶動區域之社經發展及休閒旅憩。

以平面、高架型式為主的輕軌運輸系統，雖避免大範圍地下深開挖工程的困難與風險，但臺北盆地周邊地形變化大、地質變異性高，是輕軌運輸系統基礎工程寶貴的經驗。





統包工程設計、施工併行的特性，在維持原功能需求的條件下，可彈性檢討不同設計方案，採取最有利的工程方案。如淡海輕軌金龍橋西側高架橋墩井式基礎工程，施工過程因地層變異性而面臨開挖面湧水的施工風險，在工程要徑工項的考量下，彈性修正設計方案並經後續檢測確認，在既定工期內、完成工程需求。

因應平面段輕軌運輸系統採用嵌埋式軌道之需求，如何避免因軌道版變位量大而影響軌道功能是軌道基層設計、施工之重點。以黏土層夾安山岩塊之火山堆積層為主的綠山線平面段，路基部分以 $K30 \geq 110\text{MPa/m}$ ，級配粒料底層部分以 $K30 \geq 150\text{MPa/m}$ ，且壓實密度比90%以上之路基及級配粒料底層設計需求，經現場靜載重試驗確認，完全符合系統功能需求。

淡海輕軌運輸系統第一期工程於109年底完工通車（圖18），累積之輕軌運輸系統工程之規劃、設計、監造、施工之技術與經驗，可作為國內其他都會區推動輕軌運輸系統參考。



圖 18 遠眺臺灣海峽之藍海橋

### 參考文獻

1. 新北市政府捷運工程局，“淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程契約書（第二冊）業主需求書（一）整體服務需求及規定”，103年。
2. 新北市政府捷運工程局，淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程契約書（第四冊）業主需求書（三）軌道工程功能規範”，103年。
3. 新北市政府捷運工程局，“淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程契約書（第五冊）業主需求書（四）土建工程及其他一般機電工程設計規範”，103年。
4. 新北市政府捷運工程局，“淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程補充地質調查工作成果報告書”，106年。
5. 新北市政府捷運工程局，“淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程 G2A02P17 井式基礎雙環塞灌漿地質改良成果報告書”，106年。
6. 台灣大學軌道中心/台灣大學嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心，淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程綠山線平面段軌道版功能驗證報告”，106年。



# 由國內首例 NEW RC 預鑄結構採用 蓮根梁新工法談預鑄結構的應用與發展

遠揚建設、遠揚營造、亞利預鑄工業（股）公司顧問 / 林泰煌

關鍵字：NEW RC 預鑄結構、蓮根梁新工法

## 前言

預鑄工法由於是先在預鑄廠設計規劃生產梁、柱等主要構件，所有構件皆在預鑄工廠內先行鑄造完成，並經適當的養護措施，達到設計要求之規定強度後，始可經由拖板車載運至施工現場，交由吊裝設備將預鑄構件按照正確的定位訊息安裝定位，並用高強度砂漿將續接於套筒內之鋼筋灌注固結，除了可以減少現場的垃圾、粉塵、噪音，工地也能更整潔、安全、還能夠精簡人力，會比傳統現場施作更容易維持品質與安全，且更能夠縮短工期。

臺灣正面臨勞工短缺、人口老化等問題，大多數人認為在工地風吹日曬雨淋進行扛鋼筋、組模板、灌混凝土等作業不但辛苦、疲累，加上工作常常無法持續與穩定，相對的收入也不太穩定，因此面臨了年輕人大部份不願意踏入營建工地工作的窘境。而且像高樓層的建設，工人必須要在高空組模

板、紮筋、灌漿等，危險性也增高許多，如何讓施工環境更好，或者降低人數執行危險的工作，將是未來營建業必須面對的課題，隨著建築工業化的推展，相信「預鑄工法」將成為爾後營建業必走的趨勢。

## 工程案例簡介

本案例為一地下三層、地上27層之高層 RC 預鑄隔震集合住宅（如圖1所示），總樓地板面積為28706.4平方公尺，樓高99.95公尺。隔震層主要位於地上2層下方及地下一層電梯底部，地上3F至27F為預鑄結構，3F以上高層部份規劃以每層約七至八天的速率快速施築。此外，本案由地上三層開始即採蓮根梁預鑄新工法，包括預鑄柱梁吊裝與梁梁續接以及柱頂與柱底高強度灌漿，堪稱國內首例之 NEW RC 預鑄隔震採蓮根梁新工法高層住宅建築。

本案結構混凝土強度高達10,000 psi，



圖 1 案例高層 NEWRC 預鑄隔震集合住宅外觀模擬

並依結構分析結果適度調整各樓層混凝土強度，伴隨各樓層RC柱載重由上而下逐漸遞增，其相對使用的混凝土強度也由5,000 psi逐層往下遞增至10,000 psi，柱主筋為SD490另柱箍筋採日本進口POWER RING SD785焊接

鋼箍筋圍束，惟為確保混凝土強度與品質，必須從混凝土的配比試驗開始嚴格把關，並對混凝土的澆築方法與高強度灌漿施工順序詳加控管，才能符合設計規劃的要求。

本案由日本日建設計辦理基本設計，國內大矩建築師事務所辦理細部設計，結構分析時取大於六級地震，以2,500年迴歸期進行分析，結果所有構件均能保持在彈性範圍內，不同於一般非彈性設計需要注意塑鉸的問題。本案採強柱弱梁設計，有關預鑄分割均比照日本類似案例進行辦理，並經結構技師確認無虞。

為配合本高層大樓的隔震需求，特別從日本進口各種不同尺寸鉛心積層橡膠隔震墊，包含直徑110 cm至130 cm圓型等大小不等之鉛心隔震墊總共28個及100噸阻尼器共16支（規格詳圖2隔震概要）。

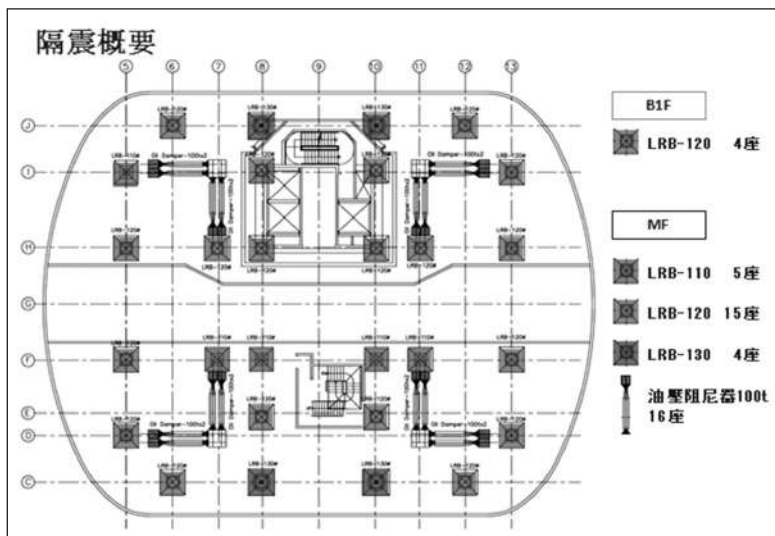


圖 2 隔震概要





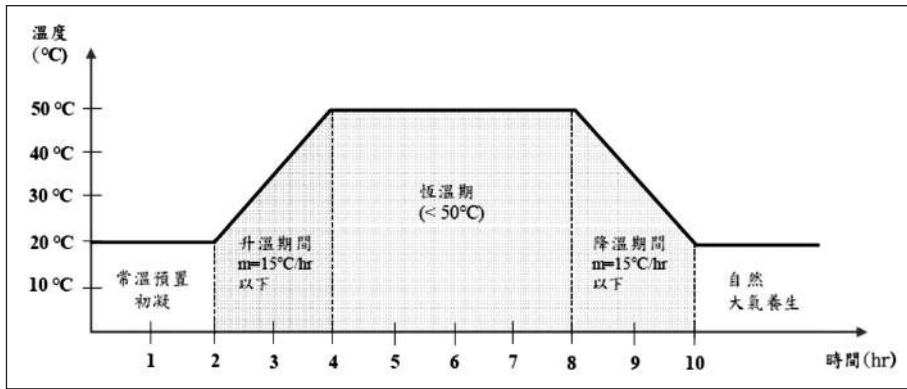


圖 5 養生時間—溫度曲線圖

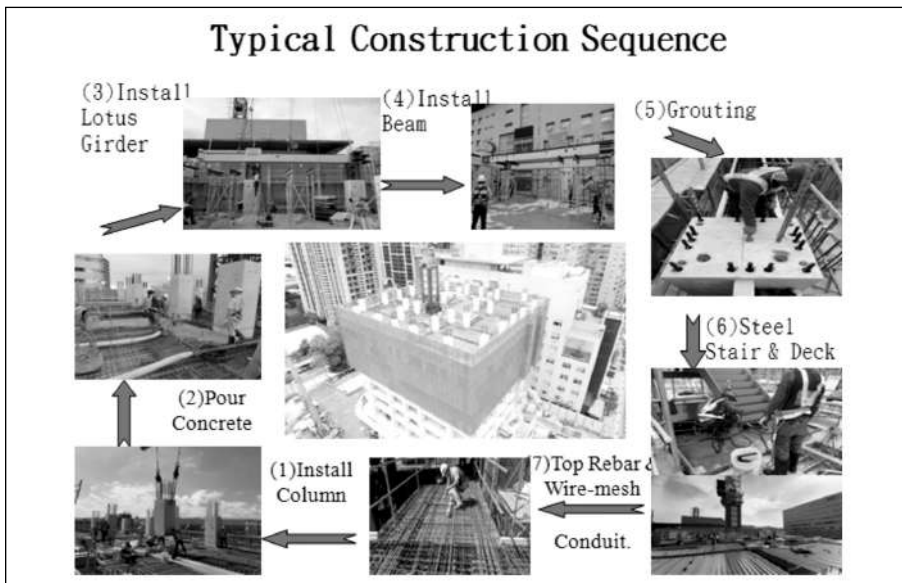


圖 6 地上層結構體預鑄施工標準作業循環

作時，自我要求從混凝土配比與拌合澆築及鋼模製作誤差及預埋件安裝檢驗等均嚴加控管務求成品精度誤差在3厘米內，執行結果各構件成品均優於規範要求5厘米誤差標準。至於廠內預鑄構件之混凝土養生係將整個構件覆蓋在夾網PVC布內進行蒸氣養生，有關養生時間與溫度控制曲線圖（詳圖5）。

## 二、預鑄構件吊裝

本工程地上層結構體預鑄施工的標準作業循環如（圖6施工標準循環）所示，其主要之吊裝施工步驟包括（1）上層預鑄柱吊裝（2）混凝土澆築（3）預鑄蓮根梁吊裝（4）預鑄單梁吊裝（5）梁梁續接灌漿，柱頂鋼筋旋

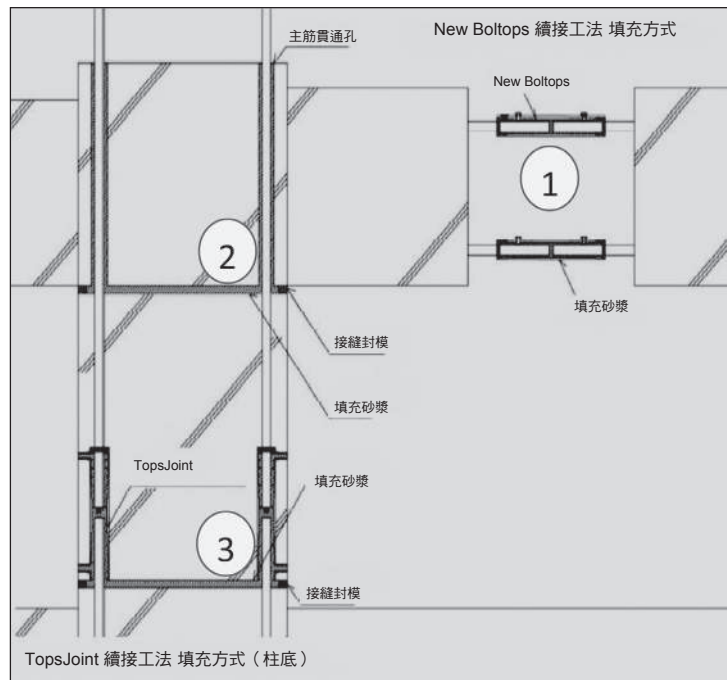


圖 7 灌漿順序

楞套管（西斯管）灌漿，柱底灌漿，（6）鋼梁與鋼梯吊裝（7）水電配管與鋼筋綁紮。另有灌漿順序（詳圖7）。

### 進度控制

本案整體進度能否順利推展為本工程能否成功完成之關鍵所在。為確保工進與安全特別引進電動爬昇鷹架配合預鑄構件吊裝，並於大樓主體西側靠中央天井部位安裝一部440 m-tf的爬昇式塔式吊車，作為本工程的主要吊裝機具，並輔以一部300噸輪型吊車協助構件之卸料與定位儲放。本案吊裝順序為首先將本案結構外圍8支雙蓮根梁以順時針方向吊裝完成接著吊4支單蓮根梁形成外圍一整圈構造以確保外周的正确閉合，再就內部蓮根梁吊裝最後再吊裝預鑄單梁。隨即進行梁梁續接作業，完

成後接著進行柱頂西斯管灌漿最後再進行柱底灌漿作業。預鑄梁吊好後再配合吊鋼梁與鋼梯（詳圖8標準層預鑄柱梁與鋼梯及鋼梁位置示意圖）。緊接著進行梁梁接合部位之系統封模作業與鋼承版（metal deck）舖設，最後三天則進行水電配管與版面鋼筋作業並進行上層預鑄柱之吊裝，計劃目標工期為七天循環，執行下來歷經學習曲線逐步改善，於12樓確實達到預期規劃7天循環目標，有關標準循環工期進度排程（詳圖9）所示。

### 預鑄結構將是未來發展的趨勢

#### 一、國內預鑄現況

臺灣於2020年正式進入高齡化社會，生育率不足，造成勞動力短缺。因太辛苦，年

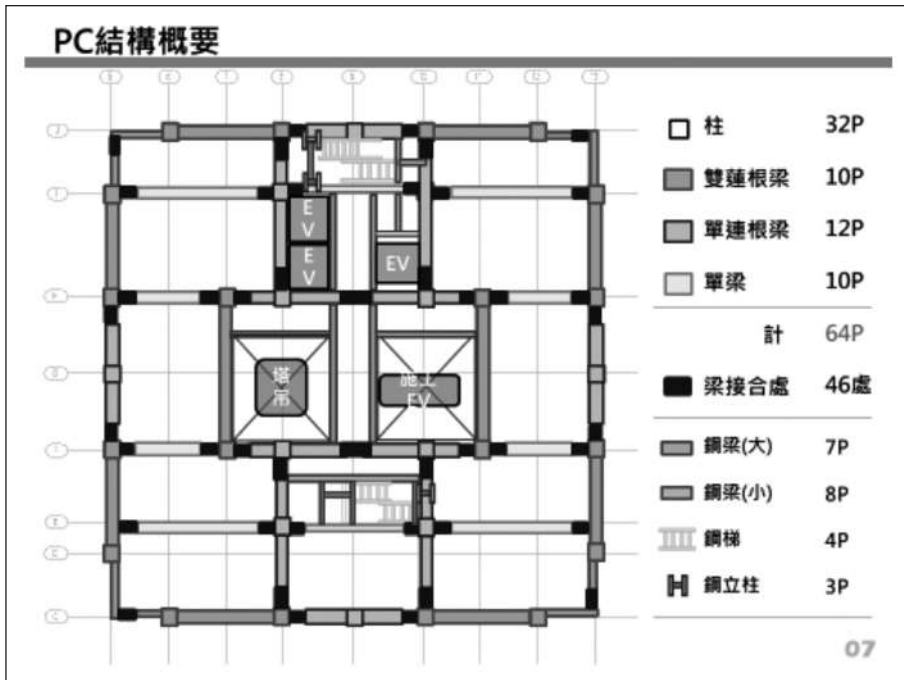


圖 8 標準層預鑄柱梁與鋼梯及鋼梁位置示意圖

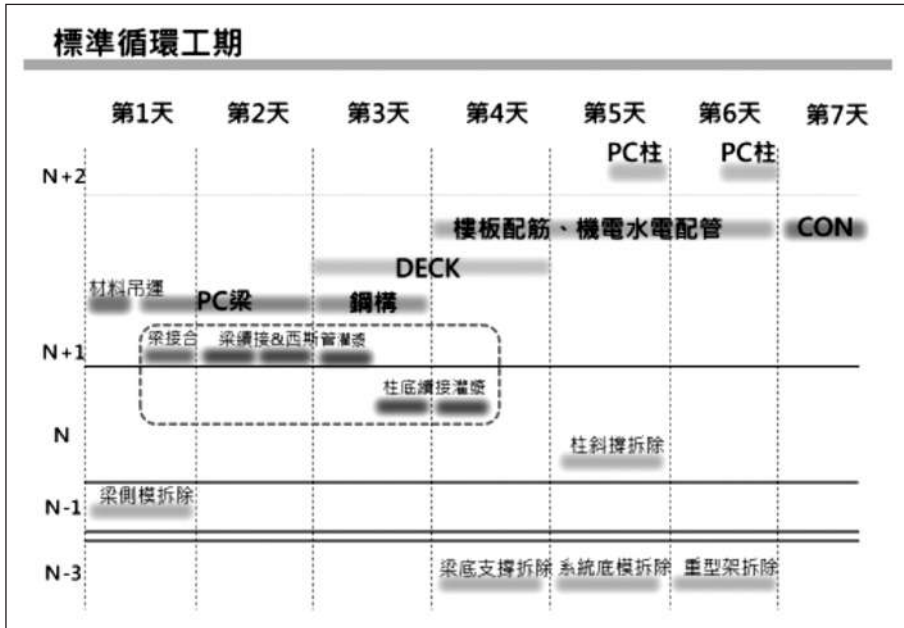


圖 9 標準循環工期進度排程



輕人不喜歡進入營造業，再加上疫情影響導致台商回流，造成近來營造業缺工嚴重，工資上漲。一般大眾才開始注意到預鑄結構安全、快速的特色。

預鑄工法的優勢在於工廠製作生產品質控管較工地組裝為佳，已是不爭的事實。再則工地利用塔式吊車與輪吊配合吊裝可大幅度縮短工期，預鑄結構7至8天完成一樓層較傳統場鑄需21天可節省大量工期。另工地較為整潔與安全也是有目共睹。

預鑄構件的製作由於採用鋼模大量生產，模組化與標準化為降低成本的必要條件，另外由於目前能有效執行結構預鑄僅「潤弘精密」與「亞利預鑄」兩家，肇因臺灣市場有限不易存活。

另外一般大眾對於預鑄結構缺乏認識，一方面熟悉預鑄結構設計單位較為稀少，且要投入預鑄結構製作的門檻較高需要有熟悉BIM軟體操作人員配合製圖與結構細部分割以及相當規模的工廠設施。導致實際案例不多且價格與市場上鋼結構相當。

政府主管單位雖了解預鑄結構的優點但礙於公部門的資料短缺，雖然民間有少數案例資料可供參考，由於區位與價格不敢冒然引用，且受限於傳統RC建築的預算價格，部份承辦人員寧可嚴守採購法一般規定，減少變相圖利少數業者的疑慮，也導致社會住宅推動受限。

## 二、國外預鑄發展情況

日本與臺灣均處於環太平洋地震帶上，

日本在近二十年來對於預鑄結構建築的蓬勃發展足堪作為國內的參考借鏡。日本經濟發展較為先進，更早感受到人工缺乏的壓力以及自動化大量生產的需求，其預鑄結構的演進已進入第三代，對於品質在RC結構強柱弱梁的要求下更加嚴格控管，相對的也較第一代常見的預鑄結構在製作上要求更加精密，在吊裝組立也更為複雜，相對的成本也更高。

目前日本由於地狹人稠，人口大量集中於大都市，且市區發展也趨向高樓化，又因地震的頻繁老百姓對於抗震的安全與舒適的要求也更高，當前對於30層以上高層集合住宅均採預鑄隔震結構為大宗，相對於一般鋼構辦公大樓給住戶有更加安全與舒適的感覺。在東南亞熱帶非地震區的新加坡則主動由政府興建高層綠建築組屋作為老百姓的社會住宅。

### 政策的推廣與相關的配合

國內預鑄結構混凝土工法的應用與發展已達十多年，經由臺灣混凝土學會與臺灣營建研究院諸位學者專家結合工程先進們於2015年著手編輯新版預鑄混凝土工程設計與施工規範並於2017年底出版，也於2017年正式納入公共工程委員會之公共工程編碼中新增預鑄工法的編碼，讓公部門與相關業者對於預鑄工法的推行有所依據。

目前營建業正處於缺工與高工資的困境，模板工與泥水工大量缺工，工資上漲三至五成，電焊工由於風電發展的需求更喊到一天工資一萬元的高價，連帶影響鋼構的報





價，從去年的4萬元/公噸漲至6萬元/公噸。

政府承諾8年20萬戶社會住宅的計畫經過4年已大量落後，當前公部門的發包預算較市場行情有極大的落差，若不儘速調整預算並採用較為安全與快速的預鑄結構工法恐怕無法改善目前持續延宕的計畫時程。

當前唯有靠公部門主動加速採用預鑄工法協助推展計畫的執行，才可提昇營造業自動化的發展，更有助於節能減碳目標的推進。

另一方面對於民間投資開發業者若無極大誘因的考量下，業者在將本求利的情况下不會多花錢去推案，若能由主管機關主動提供業者誘因，採用相當比例的預鑄結構可享部份容積增加的優惠，對於受疫情影響的經濟亦有相當提振的功效。

### 結語

感謝工程師學會對本案預鑄工法的關注，讓諸多工程先進能光臨指教，獲益良多，謹此致謝！

在生命週期的總成本考量下，除了建設階段的工程成本尚需考慮完工日後的維護成本。預鑄結構的建築對節能減碳有不少的加分且對於居住的安全以及日後維護成本都有相當的助益。也希望藉由本案的研討能對社會住宅的推動工作盡棉薄之力，也期望能激發營建業共同參與的動能。

### 參考文獻

1. 亞利預鑄工業股份有限公司，「遠揚建設 T-Park 專二 B 區集合住宅新建工程預鑄生產計劃書」，108 年。
2. 亞利預鑄工業股份有限公司，「遠揚建設 T-Park 專二 B 區集合住宅新建工程預鑄施工計劃書」，109 年。
3. 林泰煌，「由國內首例 NEW RC 預鑄結構採用蓮根梁新工法談預鑄結構的應用與發展」簡報，遠揚建設，遠揚營造，亞利預鑄工業股份有限公司，109 年。
4. 林泰煌，「國內 NEW RC 預鑄工法實際應用與發展簡介」，國家地震中心，108 年。



# 中國工程師學會第 72 屆理監事簡歷

## 中國工程師學會第 72 屆理監事簡歷

中國工程師學會第72屆理監事選舉已於今（109）年11月6日舉行，會中經各會員代表大會代表投票選出27位理事、5位監事。學會續於11月20日召開第72屆第1次理監事聯席會議，由施義芳董事長當選為本學會第72屆理事長，交接典禮將於12月18日舉行。

職稱	姓名	現職
理 事 長	施義芳	台灣世曦工程顧問股份有限公司 董事長
常務理事	李世光	工業技術研究院及資訊工業策進會 董事長
常務理事	胡湘麟	交通部鐵道局 局長
常務理事	許鈺漳	交通部公路總局 局長
常務理事	楊偉甫	台灣電力股份有限公司 董事長
理 事	王宇睿	林同棧工程顧問股份有限公司 總經理
理 事	王錫欽	中國鋼鐵股份有限公司 總經理
理 事	伍勝園	交通部鐵道局 副局長
理 事	江秀丹	中鼎工程股份有限公司 資深經理
理 事	余信遠	中興工程顧問股份有限公司 執行副總經理
理 事	宋裕祺	國立臺北科技大學工程學院 院長
理 事	李順欽	台灣中油股份有限公司 總經理
理 事	杜 俊	中國工程師學會對外關係委員會 第 71 屆主任委員
理 事	林聰利	交通部公路總局 副局長
理 事	俞克維	國立高雄科技大學 副校長
理 事	張武訓	中國工程師學會 第 71 屆秘書長
理 事	莫仁維	亞新工程顧問股份有限公司 董事長
理 事	陳伸賢	中興工程顧問股份有限公司 董事長



理 事	陳哲生	柏林股份有限公司 總經理
理 事	陳國隆	交通部高速公路局 副局長
理 事	楊正宏	國立高雄科技大學 講座教授
理 事	楊宗興	中鼎工程股份有限公司 董事長
理 事	廖學瑞	台灣世曦工程顧問股份有限公司 副總經理
理 事	歐善惠	國立成功大學水利及海洋工程學系 名譽教授
理 事	鄭文隆	台灣國際造船股份有限公司 董事長
理 事	鄭光遠	台灣高速鐵路股份有限公司 總經理
理 事	賴建信	經濟部水利署 署長
常務監事	廖慶榮	國立臺灣科技大學 校長
監 事	李元唐	台灣世曦工程顧問股份有限公司 副總經理
監 事	邱琳濱	中國工程師學會 第 71 屆常務監事
監 事	高宗正	亞新工程顧問股份有限公司 副董事長
監 事	陳宗德	中國鋼鐵股份有限公司 副總經理



大地工程之調查規劃設計與監造  
Geotechnical Engineering

隧道設計、監造與檢測補強  
Design · Construction Supervision &  
Rehabilitation of Tunnels

工程地質與工址調查、地球物理探測

Engineering Geology · Site Investigation  
& Geophysical Prospecting

水利水保工程之規劃設計與監造

Hydraulic Engineering · Soil & Water Conservation



土木運輸工程之規劃設計與監造  
Transportation Engineering

專案管理

Project Management



調查 · 規劃 · 設計 · 監造 · 專案管理

Investigation · Planning · Design · Construction Supervision · Project Management



## CTCI 中鼎集團

CTCI 中鼎集團 (TWSE: 9933、TPEX: 5209、TPEX: 6803) 為國際級工程統包公司，承攬多元化重大工程。創立於 1979 年，總部位於台灣台北市，業務範圍包括煉油石化、電力、環境、交通、一般工業等工程領域，致力提供全球最值得信賴的工程設計、採購、製造、建造施工、試車操作及專案管理等服務項目。於全球超過 15 個國家地區成立約 40 家關係企業，集團員工總數超過 7,000 人，並入選道瓊永續指數 (The Dow Jones Sustainability Indices, DJSI)。

# CTCI

Discover Reliable



### 業務領域

- 煉油石化
- 電力
- 環境
- 交通
- 一般工業

### 服務內容

- 專案管理
- 可行性研究及前端工程設計
- 工程設計
- 工程採購
- 設備製造
- 工程建造與維修
- 工廠試車
- 智能解決方案
- 自動化控制
- 無塵室與機電配管工程
- 智能頂進工法
- 地盤冷凍工法
- 操作及維護

### 產品項目

- 設備製造
- 化學添加劑
- 智慧化能源管理系統

**CTCI**  
中鼎集團

11155 台北市中山北路六段89號  
Tel: (886)2-2833-9999  
Fax: (886)2-2833-8833

[www.ctci.com](http://www.ctci.com)

**CTCI EF**

財團法人中鼎教育基金會

10571 台北市南京東路五段188號2樓之2  
Tel: (886)2-2769-8599  
Fax: (886)2-2769-9299

[www.ctcief.org](http://www.ctcief.org)