

發射台灣的立方衛星

方振洲

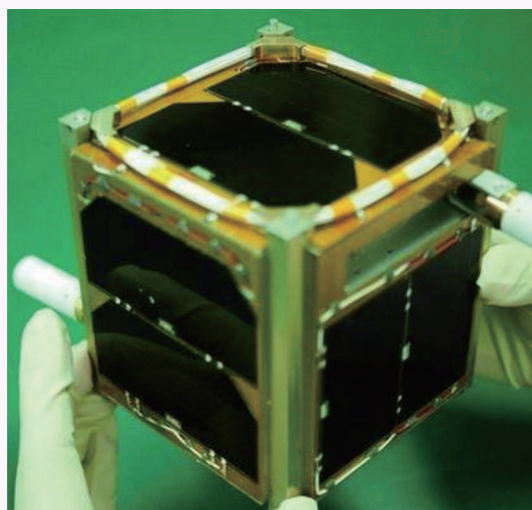
世界知名期刊《自然》在2014年報導了立方衛星的科學潛力，《科學》更宣稱「立方衛星的崛起」是2014年的十大科學突破之一，立方衛星正從各個領域顛覆太空產業。

過去台灣的人造衛星（簡稱衛星）是透過國外的火箭發射進入太空，隨著衛星越做越小，台灣自行發射衛星將不再是個夢。特別是太空產業商業化及大型衛星小型化的趨勢創造出龐大的太空商機，發射台灣的立方衛星變成未來幾年可能發生的事。

但什麼是立方衛星？台灣過去發展過嗎？台灣未來有機會嗎？立方衛星正從各個領域顛覆太空產業的傳統做法。讓我們回顧台灣過去的歷史，再看看世界的趨勢，然後來規劃台灣的立方衛星太空夢。

什麼是立方衛星

大學生製造衛星的事可追溯到20世紀80年代，惟當時做的衛星不怎麼實用，且發射費用非常昂貴。全世界第一批的立方衛星（CubeSat，約為1公斤，10厘米立方大小，因此又稱為方塊衛星）於1999年由美國加州理



蕃薯衛星 第一枚中華民國（台灣）國家太空中心自製的立方衛星。

太空產業商業化及大型衛星小型化的趨勢創造出龐大的太空商機，發射台灣的立方衛星變成未來幾年可能發生的事。

工大學的喬迪·普格—蘇亞里 (Jordi Puig-Suari) 和史丹佛大學的鮑勃·特威格斯 (Bob Twiggs) 兩位教授共同開發，當時他們希望發明一個讓大學及研究生的程度就能設計製造，在太空中運行操作的小型衛星。

國際上通常用重量來歸類衛星，大於 1,000 公斤的稱為大衛星，1,000 ~ 500 公斤的稱為中衛星，500 ~ 100 公斤的稱為小衛星，100 ~ 10 公斤的稱為微衛星，10 ~ 1 公斤的稱為奈米衛星，1 ~ 0.1 公斤的稱為皮米衛星，0.1 ~ 0.01 公斤的稱為費米衛星。立方衛星的重量約 1 ~ 10 公斤，屬於皮 / 奈米等級衛星。

立方衛星之父特威格斯回憶當時說：「我們必須做一些改變來獲得更多的機會以發射衛星。」當時他們專注的重點在於給衛星瘦身，因為衛星重量決定了發射的費用。普格—蘇亞里則回憶說，有一天他們在一家三明治店午餐時，兩人一起在餐巾紙上勾勒出了這個選項。

他們思及 10 公分立方及 1 公斤重量的潛在能力—恰好是 1 公升水的體積及重量。外部如果包覆著太陽能電池面板，則約可產生 1 瓦的功率，足夠供給一台小型電腦及一支無線電通訊，於是「史普尼克 (Sputnik) 式的人造衛星」概念設計完成，立方衛星開放的標準也正式誕生。巧的是當特威格斯回到史丹佛大學時，隨即發現一個完美的真實模型，一個儲存豆豆娃公仔 (Beanie Babies) 的 10 公分立方塑膠盒子。

後來，加州理工大學的學生設計了一個「多枚皮米級衛星軌道部署器 (Poly-Picosatellite Orbital Deployer, 又稱為 P-POD)」，P-POD 能一次把多枚皮米級衛星打包在一起，然後釋放於太空軌道上。P-POD 就像一個會打開盒蓋跳出玩偶的匣子 (Jack-in-the-Box)，藉著內部彈簧把衛星

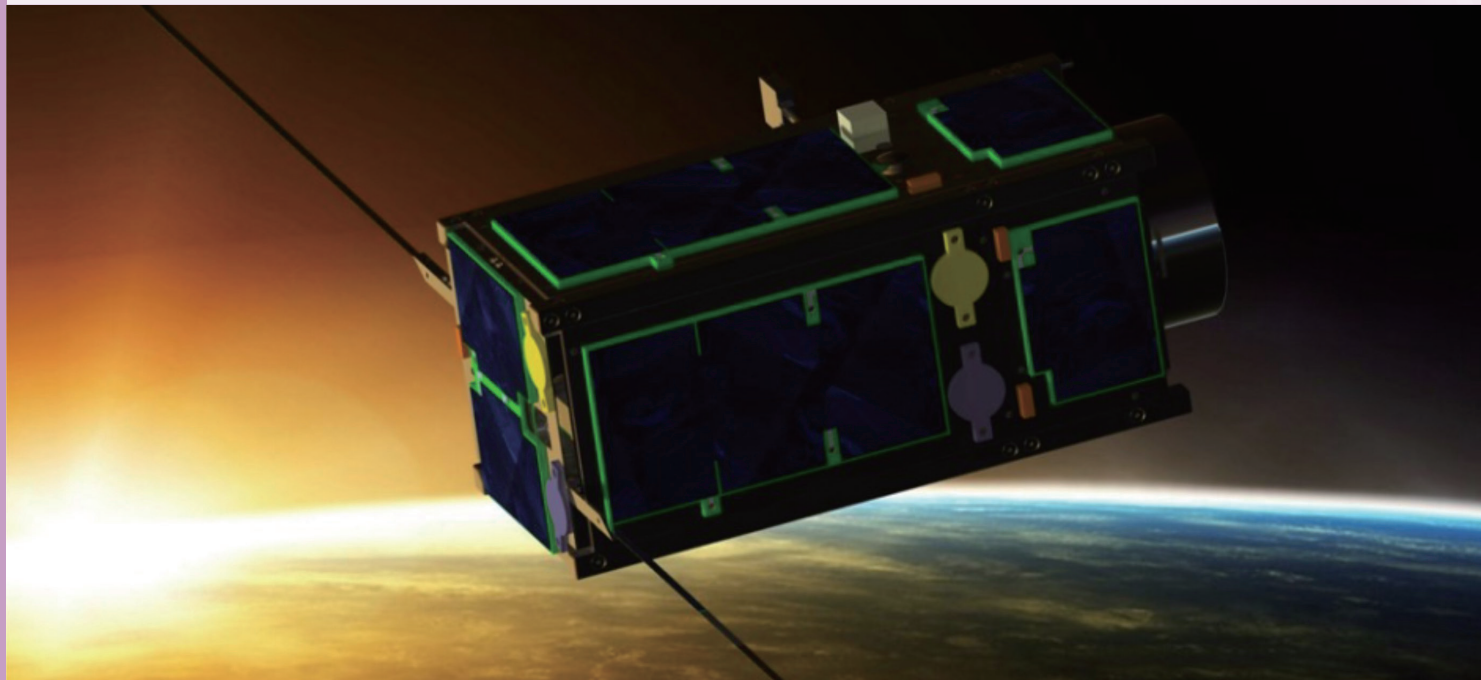
彈出，可以放置在火箭的主衛星旁邊的剩餘空間，且不會干擾主衛星的發射作業。

第一批立方衛星於 2003 年 6 月 30 日搭載在俄羅斯的 EUROCKOT 火箭上正式發射，這 6 枚立方衛星的先鋒者分別是：加拿大多倫多大學的 CanX-1，目前該團隊已經發展到第 7 代的 CanX-7；丹麥技術大學 (DTU) 的 DTUSat-1；丹麥奧爾堡大學 (AAU) 的 AAU 立方衛星，該大學已發展到第 5 代的 AAUSAT-5；美國史丹佛大學的 3U 利用極低頻電磁波探測地震的立方衛星 (QuakeSat)；日本東京工業大學的 CUTE-1 立方衛星，又稱為奧斯卡衛星 55 號 (OSCAR-55)；以及日本東京大學的 XI-IV 立方衛星 (又稱為 OSCAR-57)。

台灣立方衛星的發展

台灣立方衛星的發展起源於 2001 年初的一個「衛星系統設計」專題課程，由前國研院院長莊哲男教授授課。莊前院長時任國家高速電腦中心 (現改名為國家高速網路與計算中心) 主任，透過遠距教學系統，在美國德州農工大學、成功大學工程科學系及國網中心三地進行同步教學。除了授課外，課程的專題是以團隊分工合作的方式實際設計一枚立方衛星。

當時國家太空中心有筆者、研究員張志立、副研究員林信嘉，以及多位同仁參加。剛好，美國史丹福大學正推動一個合資共同發射立方衛星的計畫，要求參與者在 1 個月內支付發射費用以確定使用權。筆者還記得下課時，與張研究員討論是否爭取第一批衛星發射的難得機會。後來在國科會 (現為科技部) 的支持及指示下，這筆費用委託成大航太中心支付，並預訂了 2002 年的發射艙位。



成功大學自製的鳳凰立方衛星

於是立方衛星正式從課堂作業延伸為實體衛星的發展計畫—蕃薯衛星（YamSat）計畫—便正式誕生，由林副研究員擔任主持人，這是國家太空中心主導的台灣第一枚自製立方衛星。這計畫並和成功大學、當時的儀科中心及國內合作廠商共同決定製造3枚，並進行多項國產元件的太空驗證，包括：太陽能晶片、電池、電磁線圈、微控制器、記憶體晶片、機械結構、微光譜儀等。蕃薯衛星原定於2003年發射升空，但因故並未發射。

不過蕃薯衛星的全新經驗仍帶給太空中心一套新的快速原型化系統工程方法。太空中心便把這技術及經驗透過衛星課程傳承給大學／研究所（包括：成功、中央、淡江、逢甲、嘉義、中華、台北科技、虎尾科大等），在國內大學裡建立起衛星的發展經驗，教育及訓練學生有關太空科技的知識及能力，提供實際的衛星設計、製造及操作的經驗，並在大學裡建立衛星科技本土化的能量與培養相關衛星技術及系統工程人才。



PACE 衛星 成功大學自製的第一枚 2U 立方衛星。

2002年，成功大學參與教育部的航太科技教育改進計畫，並開始規劃及發展2U（註：1U = 10公分立方，2U = 2×10公分立方 = 10公分×10公分×20公分，依此類推）的姿態控制實驗平台（Platform for Attitude Control Experiment, PACE）立方衛星計畫。這計畫由苗君易及莊智清教授主導，PACE是當時國內大學自行發展的第一

個立方衛星計畫。PACE 計畫突破 1U 立方衛星無法做主動式姿態控制的缺點，採用動量偏斜設計，進行衛星 3 軸穩定設計的驗證，以完成姿態指向為主要任務。

PACE 衛星原預定在 2006 年發射，因故延遲，在成功大學等多方的協調下，於 2014 年 3 月 29 日終得以參加美國軌際系統（Interorbital Systems）火箭公司的新型火箭升空飛試。但火箭飛行到預定高度的一半後卻因壓力系統的異常而折返，失去事前規劃擬驗證一些 PACE 衛星功能的機會。

這家公司並主導桶狀衛星（TubeSat）套件的推廣，包括發射到 300 公里軌道的費用，桶狀衛星套件組合只賣 8 千美元。同年 6 月 19 日，PACE 衛星又使用蘇俄 Dnepr 運載火箭發射升空進入 610 公里的太陽同步軌道，但因故並沒有收到無線電訊號。

成功大學的鳳凰（PHOENIX）2U 立方衛星是 QB50 衛星計畫中的一枚，預計於 2016 年的年中隨國際太空站商業補給任務置入國際太空站後，再由國際太空站分批部署入軌。QB50 計畫是歐洲航太總署（ESA）委託比利時的馮·卡門研究院（VKI）主導的計畫，任務是廣召國際各個大學研製並以分散式方式部署 50 枚立方衛星，以探索 90~320 公里間的次軌道太空環境，進行大氣層的資料蒐集及相關物理研究。

隨著立方衛星全球市場需求不斷增長，太空中心在前國研院陳良基院長的創新提倡下，重新檢討發展立方衛星的可能性，目標是自主發展有商業價值的個人衛星太空產業，以因應未來立方衛星的快速變化。

2013 年底筆者提出「個人衛星實驗研發計畫」，目的是自主發展具備智慧型手機功能的個人衛星實驗工程體，林副研究員則提出發展「手機衛星研發計畫」。發展

中的個人衛星計畫將建立 5.84 GHz 高速傳輸空中系統工程發展模型體及其地面系統。2014 年底，中心並結合成功大學及 VKI 向國研院提出一個 3U 返回地球大氣 R-SAT（Earth Atmospheric Re-entry）立方衛星的國際合作創新計畫（2015 ~ 2016 年），並獲准於 2015 年開始執行。

立方衛星的特徵及應用

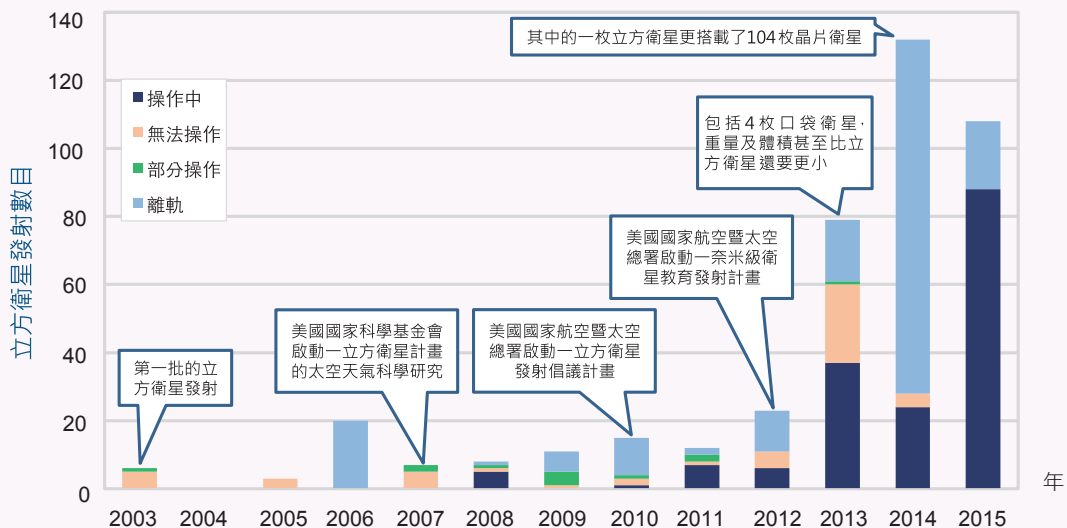
立方衛星的特徵有：體積小、外形緊緻、重量輕、開放的標準、發展時程短、設計及製造成本低、操作壽命短、容許從失敗中學習及失敗的自由、元件的太空驗證、太空關鍵技術的驗證、前瞻太空科學研究的平台、可以搭順風車方式搭載於主衛星酬載旁、與教學研究結合做為衛星系統課程的標的物、讓學生有機會從概念到發射參與每一個衛星發展階段的工作。

未來更有以數量取勝的優勢，可以編隊飛行，甚至以一群或星系的方式呈現，使得以 DIY（Do-It-Yourself，自造）方式人人都可自造衛星的「個人衛星」時代能夠實現。

立方衛星有什麼用？最早它是用於教育，可以與教學研究結合，特別是做為學生專題實作或競賽的主題，以訓練學生衛星系統工程與團隊合作的能力。

英國的第二位太空人提姆·皮克（Tim Peake）已於 2015 年年底進入國際太空站執行太空任務，配合歐洲太空總署及英國太空局的主導，它們推出了太空派（Astro Pi）名片型電腦計畫，完成各項太空環境的測試後，也於 2015 年底送入國際太空站。此計畫的執行吸引了全球的國小 / 中及高中 / 大學生競相學習開源的樹莓派電腦。太空派

拜廉價及標準化的零組件和增加的發射部署之賜，在 2014 年打破紀錄地 132 枚立方衛星發射升空，遠超過他們第一個十年的總數。



歷年立方衛星的發射數目統計 (統計日期：2015 / 11 / 13)。

是繼 Arduino 上太空的 ArduSat 熱潮之後，成為第一個有作業系統上太空的開源電腦，並再次成為 2016 年的年初大事。

從目前已發射升空的立方衛星，可以歸納出以下一些立方衛星的應用，包括：進行衛星元件及太空技術驗證、地球觀測—光學照相及攝影、大氣氣象或太空氣象研究、通訊用途、科學實驗、太空生物領域研究、加值型立方衛星、外太空新挑戰，以及擔任新一代行星探險家，利用立方衛星太陽帆技術承擔大型行星探險任務，例如設計立方衛星上月球、火星及土星。

不斷增長的全球市場需求

歷年立方衛星的發射數目顯示全球市場的需求不斷增長，自 2003 年第一批立方衛星發射後，2007 年美國國家科學基金會開始啟動立方衛星計畫於太空天氣科學研究。2010 年美國國家航空暨太空總署啟動了一個「立方衛星發射倡議計畫」，2012

年再啟動一個奈米級衛星教育發射計畫 (ELaNa)，口號是「發射教育進入太空」。

同年國際太空站部署入軌，打開了立方衛星進入太空途徑的另一扇門。於是 2013 年創紀錄地有 67 枚衛星發射，裡面還包括了 4 枚口袋衛星 (5 公分立方、重量 125 克)，以及 1 枚由美國維州的一所高中學生團隊製作的立方衛星。

企業創投資金也開始注意及大量投在這新的領域。最著名的例子是行星實驗室 (Planet Labs) 新創公司由 NASA 前科學家於 2010 年創立，公司願景在建置較便宜的小型衛星組成 100 ~ 150 枚的遙測衛星網路，以加速衛星影像重複率及資料傳輸速度。這公司把它的 3U 地球觀測立方衛星取了一個人道主義考量的名字，稱為鴿子 (Dove) 衛星，並在 2013 年共發射 4 枚鴿子衛星，成功完成遙測技術的展示。

在 2014 年，共有破紀錄的 132 枚立方衛星發射升空，其中行星實驗室貢獻了 93 枚鴿子衛星，比過去第 1 個 10 年 (2003 ~



兩枚鴿子衛星於 2014 年從國際太空站上釋出

2013 年)的總數還多,其中的一枚衛星更搭載了群眾募資的 104 枚費米衛星等級的晶片衛星(ChipSat)。因受 2015 年年中,美國太空探索科技(SpaceX)公司的獵鷹 9 號(Falcon-9)運載火箭執行第七次商業補給任務時爆炸的影響,專家原預測 2015 年會有超過 200 枚立方衛星發射升空。目前發射升空的立方衛星,有半數還在運行中。值得注意的是,第一批日本東京大學製造的 XI-IV 立方衛星是現役在太空運作最久的立方衛星,它的壽命已超過 12 年且還在運轉中!

截至 2015 年 11 月止,已有 29 個國家發射過立方衛星,包括發展中的國家如越南、祕魯、厄瓜多爾、哥倫比亞、愛沙尼亞等。值得注意的是,立方衛星是很多落後國家的第一枚衛星。

世界知名期刊《自然》在 2014 年報導了立方衛星的科學潛力,2014 年底《科學》更宣稱「立方衛星的崛起」是 2014 年的十大科學突破之一。值得一提的是,2014

年底第一個立方衛星開源計畫—自由方塊(LibreCube)—正式成立,並釋出立方衛星的相關開源軟硬體資訊。經由這個開源網站提供的開源資料,大眾已經可以依照資訊建造 1U 立方衛星的大半數功能。

而這計畫的創始者李阿杜(Artur Scholz)博士是苗教授及莊教授在 PACE 衛星發展期間共同指導的碩士生,博士指導教授是莊前院長。PACE 衛星在開源計畫中向世界貢獻自己的生命,像浴火鳳凰般參與另一場太空探索和太空利用,以達成人類大同世界福祉的革命。

一群人做夢 夢想就會實現

約翰·藍儂說:「一個人做夢,夢想只是空想。一群人做夢,夢想就會實現。」這句話之所以令人感到內心十分鼓舞,是因為這句話煽動我們可以和其他人分享夢想。

甫於 2015 年 1 月中成立的台灣微衛星發展中心,將以發展立方衛星為主要目標。

「個人衛星」的時代已經來臨，台灣發展立方衛星及發射台灣的立方衛星已經確定將在未來太空舞台中扮演重要角色。

擔任這中心團隊顧問的葛廣漢先生是史丹福大學的航太碩士，筆者曾問他為什麼想發展立方衛星？他說在史丹福求學時，曾把一枚立方衛星握在手掌上，當時就認為：「這個可以做！」他歡迎有熱忱的教授和企業共同發展立方衛星，促進台灣太空技術的進步。

這中心結合了臺灣大學、大同大學、北科大等多所學校的大學生、碩博士生，以及太空相關團體。中心的兩位學生創辦人分別是石恩（臺灣大學）與諸恩平（大同大學），他們表示目前在進行跨校的聯合專案，發射探空氣球做為高空實驗平台，希望各單位也能一起合作進行科學實驗。

最近向群眾募資的交通大學「前瞻火箭研究中心」打算公司化，其主任吳宗信教授在受訪時說：「現階段太空產業的兩

大趨勢，分別是載人進入太空及方塊衛星等小型衛星。」因此前瞻火箭研究中心瞄準發射讓中小企業也有能力擁有的超低成本衛星。「台灣開放平台俱樂部」的創始人周明達更認為，「個人衛星」提供了台灣代工製造的舊思維下一個新的動能，以及原創性科技創新的新泉水。

「個人衛星」的時代已經來臨，如同過去「個人電腦」時代的來臨，台灣發展立方衛星及發射台灣的立方衛星已經確定將在未來太空舞台中扮演重要角色。如何扮演呢？就待你 / 我來共同決定。

方振洲

國家實驗研究院國家太空中心

深度閱讀資料

方 (Alex Soojung-Kim Pang)、特維格斯 (Bob Twiggs) (2011)，太空科學新要角—立方衛星，科學人，110，48-55。

史騰 (S. Alan Stern) (2013)，平價上太空，科學人，135，48-53。

苗君易、Artur Scholz、莊智清、蔡永富 (民100)，衛星能多小—皮米及奈米衛星，科學發展，457，51-55。

