

# 漫談我國大學衛星科技教育與虎 科大的立方衛星的發展

## Brief Review of Satellite Technology in University Education and the CubeSat Development at National Formosa University

呂文祺

Wen-Chi Lu

SpaceX 太空探索公司自創立以來的高知名度加上該公司建立的低軌通訊衛星星系 starlink 引發的全球低軌通訊衛星風潮，我國也順勢政府推動太空產業為我國六大核心戰略產業之一。我國大學太空科技教育在這股風潮中也受到重視，我國大學過去從微衛星到近年立方衛星的開發，研究已累積不少經驗，但所培育的人才仍相當少，去年在教育部的推動下由四所學校成立太空系統工程研究所，藉以擴大太空科技人才庫，而國立虎尾科技大學則有幸透過執行國家太空中心立方衛星計畫，經歷從設計到入軌運作的所有衛星發展階段，期間培育超過 10 位研究生，並建立基礎立方衛星次系統軟硬體開發能量。

Since its establishment, the high visibility of SpaceX, coupled with the global trend sparked by the low-orbit communication satellite system Starlink, has prompted our country to promote the space industry as one of our six core strategic industries. The education of space technology in Taiwan universities has also been emphasized in this trend. Taiwan universities have accumulated considerable experience in the development of microsatellites to cubic satellites in recent years. However, the talent cultivated in this field is still relatively scarce. Last year, under the promotion of the Ministry of Education, four schools established institutes of space system engineering to expand the talent pool in space technology. National Formosa University, through its participation in the National Space Organization's cubic satellite program, has had the opportunity to go through all stages of satellite development from design to orbit operation. During this period, over 10 graduate students have been trained and established capabilities in the development of basic subsystems for cubic satellites.

## 一、台灣衛星研究的發展沿革

近幾年美國太空探索公司 SpaceX 發展 Starlink 的低軌通訊衛星星系帶動我國太空科技發展熱潮，「太空產業」於 2020 年列為我國六大核心戰略產業之一，並於 110 年訂定通過「太空發展法」，宣示政府推動太空發展的決心。話說我國正式國家太空科技發展肇始於國家太空中心的設立，衛星是發展主軸之一，主要以科學應用為主要發展方向，而學術界發展衛星最早由國立成功大學開始，由國家太空中心在 2008 年公開遴選出國立成功大學 CKUTEX 微衛星團隊進行設計與製作 (30 公斤級) 微衛星，而後由於 2010 年因政策調整，自主發展微衛星計畫中止。而立方衛星發展歷史更悠久，最早由國家太空中心自 2001 年開始發展，第一枚蕃薯衛星 (YamSat)，但發射總是不順利，最終儲放於國家太空中心，後續國立成功大學所開發的 2U 立方衛星 (PACE) 則在 2014 年升空後失聯；我國第一枚成功發射並正常運作的衛星是由國立成功大學所研製的鳳凰衛星 (PHOENIX)，鳳凰衛星於 2017 發射入軌後持續運作了 2 年，是目前學術界研製最成功的衛星，隨後在 2021 年也有國立中央大學所研製的飛鼠衛星發射入軌後短暫地運作。回顧我國學術界開發衛星的歷程真是篳路藍縷，從技術、經費、政策到國際政治等因素不斷阻礙著太空科技在學術界的發展，太空科技在學術界主要以研究計畫形式展開，以科學應用為主的目標進行衛星的研製工作，因此學術界衛星科技發展在過去三十多年間始終是斷斷續續地延續著。

我國尚稱完整的太空工程教育應是從 1998 年始於國立成功大學航太空研究所的太空系統工程組，僅設立數年後即停止招生；後有國立中央大學於 2020 年設立太空科學與工程學系是少有完整課程規劃的大學學程；直到 2023 年教育部推動設立四所太空系統工程研究所，才算是有完整太空工程教育教學規劃，包括國立陽明交通大學、國立成功大學、逢甲大學、臺北科技大學等四所。其中國立臺北科技大學是其中唯一科技大學設立太空相關研究所，隨後 2023 年國立虎尾科技大學航空與電子科技研究所申請增設無人機與衛星科技組。在國家太空科技政策的推動下，太空工程的學程才由一般大學擴散至科技大學，擴大培育未來太空科技人才的來源。

## 二、立方衛星成為學生實踐太空工程的機會

立方衛星 (CubeSat) 是一種小型、標準化的人造衛星，其原始定義的尺寸為 10 厘米 × 10 厘米 × 10 厘米，稱為 1U (單元)，質量通常在 1 公斤左右。隨著應用需求的擴展，現最大擴展至 12U，最常見為 3U 及 6U 的尺寸。特別一提的是這種由美國大學提出的標準有一個重要的目的就是在大學教育推展使用公制單位系統 (metric system)，NASA 計畫已使用公制單位系統，例如軟體計算使用公制，但人機介面顯示仍可能為英制 (English/imperial unit) 單位系統。我國大學工程教育也普遍有公制與英制單位系統混合使用的現象，對於大型系統的發展而言同樣有潛在發生單位不一致的計算誤差風險。

由於立方衛星發展的初衷便是利用市售元件進行開發，而非以大型衛星必要的太空規格元件進行開發，成本相對較低，因此它們成為了大學、研究機構和企業進行太空實驗和科學研究的理想平台。立方衛星提供了實踐太空工程的機會，使學生能夠參與實際的設計、組裝和測試過程。這種實踐經驗可以強化學生的理論知識，培養他們的實際技能。開發一個立方衛星需要跨足多個領域，包括機械工程、電子工程、資訊工程等。這促使學生進行跨學科的

合作，模擬真實的太空工程團隊合作環境。由於立方衛星的尺寸和質量限制，學生需要在有限的條件下進行設計和工程，這推動了技術創新的需求。學生可能需要發展輕量、高效的技術，以滿足空間限制。面對立方衛星開發過程中的挑戰，學生需要解決各種實際的技術和工程問題。這種實際的問題解決能力對他們未來在航太工程領域的職業生涯非常有價值。透過發射立方衛星進行太空科學實驗，學生能夠參與科學研究，推動太空科學的進展。這有助於培養對科學研究的熱情和對太空探索的理解。總的來說，立方衛星為航太工程教育提供了一個實際而成本效益的平台，使學生能夠在太空工程領域中獲得實際的經驗，同時也激發了創新和團隊協作的精神。這有助於培養學生的領導能力、解決問題的能力以及在太空科技領域的發展中扮演積極角色的能力。

所以立方衛星的開發是一種問題導向的學習方法，缺點是發射成本仍是相當高昂，若衛星開發後無法進行發射，那麼就無法真正驗證開發過程所做的各項努力。針對發射費用高昂的問題，美國 NASA 便提供立方衛星發射專案 (CubeSat Launch Initiative) 供教育或非營利機構提出申請免除發射費用，值得我國借鏡以有效推動運用立方衛星作為工程實務教育的工具。

### 三、堅果衛星的設計過程

2017 年國家太空中心執行臺灣新興太空產業領航計畫，以委託研製方式提供國內三所大學及業者發展立方衛星，並為研製的立方衛星提供免費的發射機會，最後順利完成的立方衛星分別是玉山立方衛星 (1.5U)、飛鼠立方衛星 (3U) 與堅果立方衛星 (2U)。其中國立虎尾科技大學的教師和學生組成團隊研製一枚 2U 立方衛星，後定名為堅果立方衛星，如圖 1，這枚衛星主要任務為利用 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 接收機收集、儲存並轉發民航飛機的飛航資料，建立飛航大數據提供飛航安全相關的研究，如圖 2。堅果立方衛星團隊在太空中心專家群的指導下，歷經三年的設計、製造與測試等工作，發展歷程如圖 3 所示。最終在 2020 年將立方衛星順利遞交給國家太空中心並運送至美國等待發射。

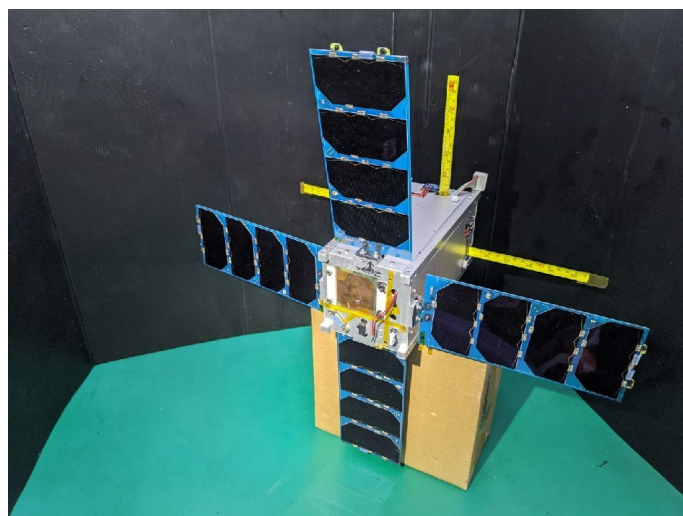


圖 1. 2U 立方衛星。

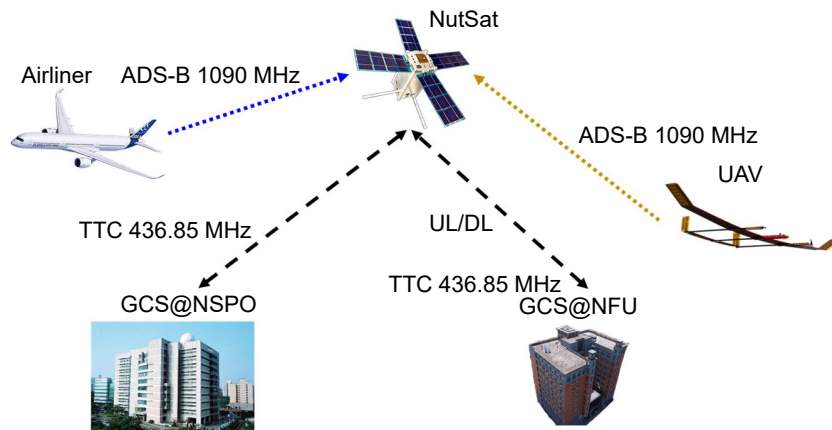


圖 2. 堅果立方衛星任務系統架構。

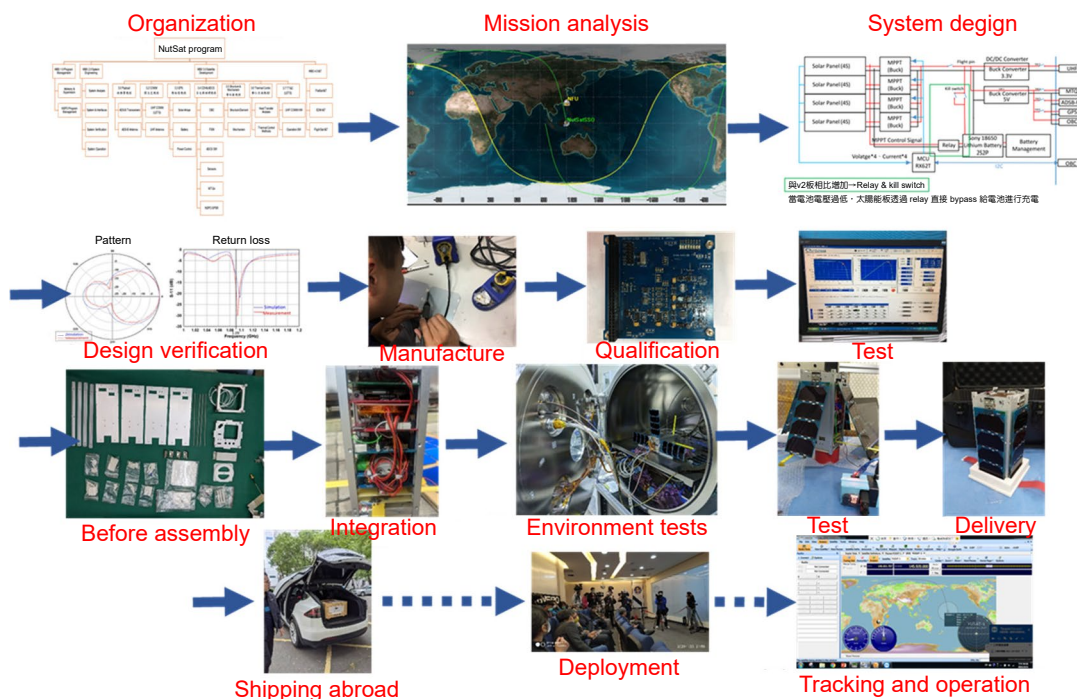


圖 3. 堅果立方衛星發展歷程。

然而由於美國發射代理商遲遲無法獲得發射許可，加上新冠疫情爆發，發射作業只能延宕，直到在發射代理商儲放一年的衛星進行發射前充電作業時發生異常，經國家太空中心專家建議運回衛星並進行檢修，在團隊成員的努力下，以六個月的時間進行衛星檢修作業，查明並修復充電功能並更新通訊模組，同時也完成複製另一枚衛星，兩枚衛星接續完成各項整合測試，也順利通過各項環境測試，最終，由太空中心專家選定其中一枚重新運送至美國進行發射作業。疫情緩和後衛星發射的作業在 2022 年 11 月 26 日順利由 SpaceX 的火箭運送至國際太空站進行衛星投放，衛星也同樣在太空站儲放遲至 2022 年 12 月 29 日才真正投放進入太空軌道中。衛星入軌後當天的衛星遙測資料便由國外業餘衛星追蹤者接收到訊號，訊

號如圖 4 所示；後續國家太空中心公布遙測訊號的解碼方式後，國際業餘衛星追蹤者便可直接將衛星訊號部分資料解碼出來，資料如圖 5。衛星訊號發射持續到 2023 年 3 月 30 日止，由於衛星軌道高度已低於 200 公里，如圖 6，美國北美防空司令部便不再追蹤。太空中心專家則判斷應已墜入濃密的大氣燒毀以致無法發射訊號，雖然不是我國存活最久的立方衛星，但仍是國家太空中心目前委託學術單位研製的立方衛星持續存活最久的一顆。這枚總共存活了三個月，透過國家太空中心地面站、虎科大地面站、國內及全球業餘衛星追蹤者的協力追蹤接收，讓堅果立方衛星團隊有機會透過大量遙測資料與衛星操作過程檢視設計的成果，如圖 7、圖 8、圖 9、圖 10。

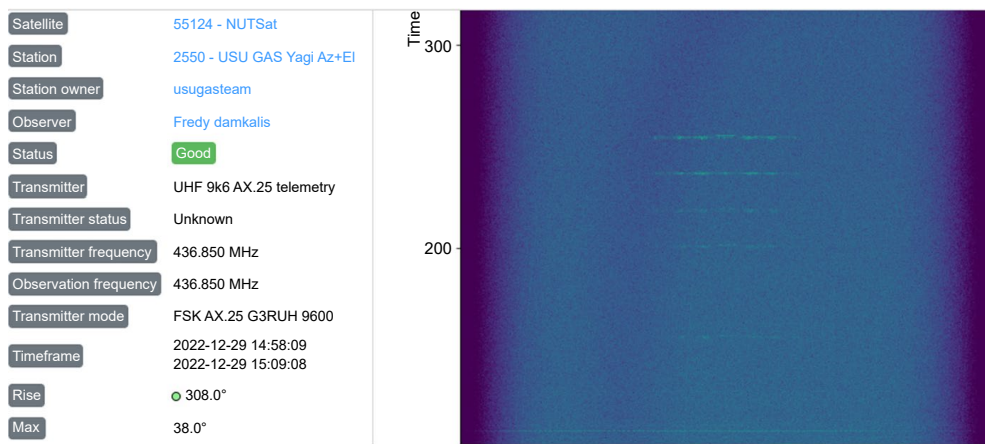


圖 4. 衛星發出的無線電訊號瀑布圖。

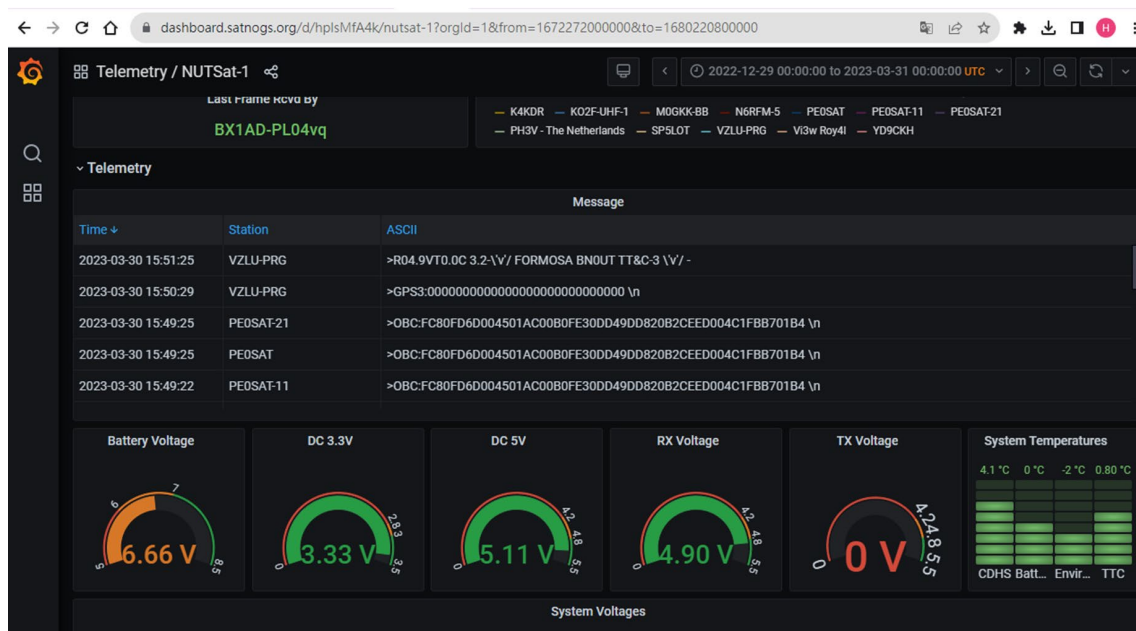


圖 5. 衛星訊號解碼資料圖形化界面。

回顧堅果立方衛星的設計過程，團隊共有五位教師分別帶領一至二位研究生進行研製工作，教師專業包括導航控制、通訊、電力、熱流與結構，國家太空中心則為三個團隊的師生辦理衛星工程相關入門課程，包括衛星系統工程、衛星姿態控制、衛星結構與熱控制、衛星環境測試等課程，課程以工程實務內容為主，對於大多數科技大學的學生而言是新奇的，這些短期的課程對後續衛星研製工作提供一定的基礎，也補足了校內的資源。

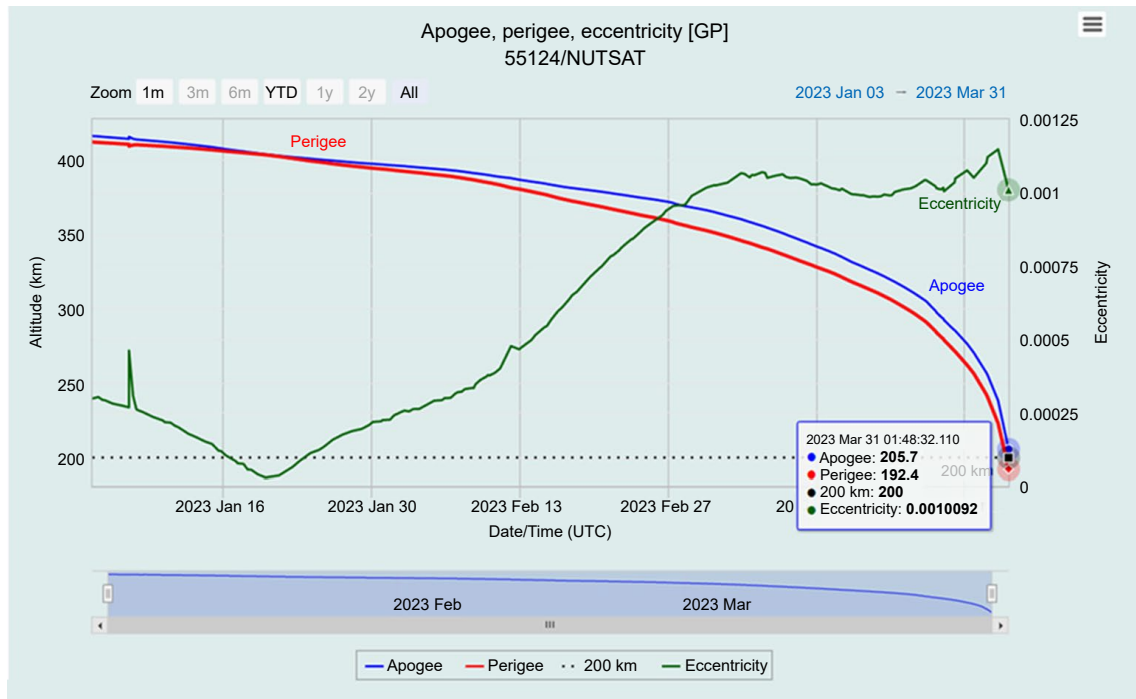


圖 6. 堅果立方衛星軌道高度變化圖。

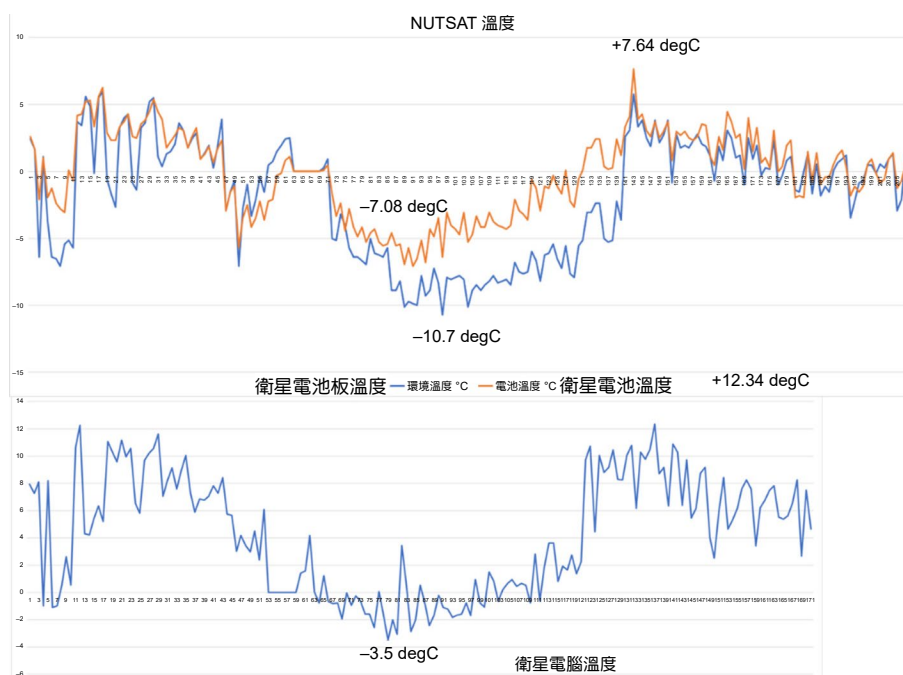


圖 7. 衛星本體溫度變化圖。



圖 8. 業餘衛星追蹤愛好者建立堅果立方衛星遙測資料儀表面板。

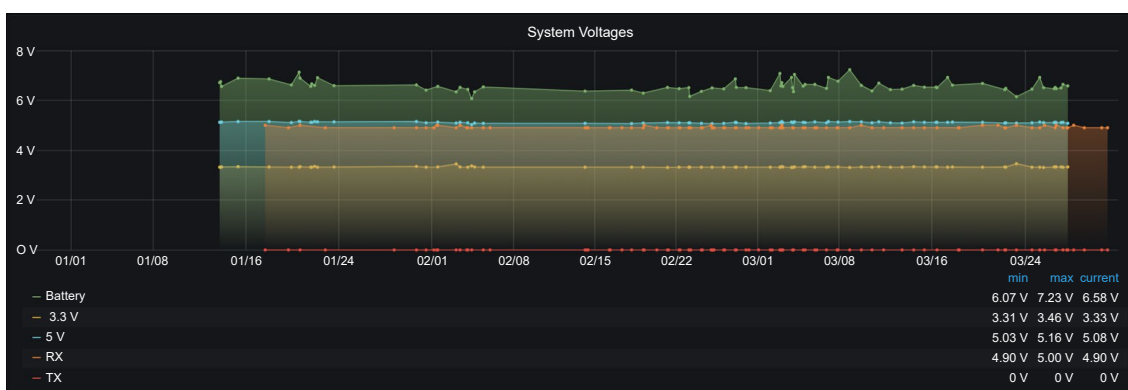


圖 9. 堅果立方衛星電壓變化歷程。

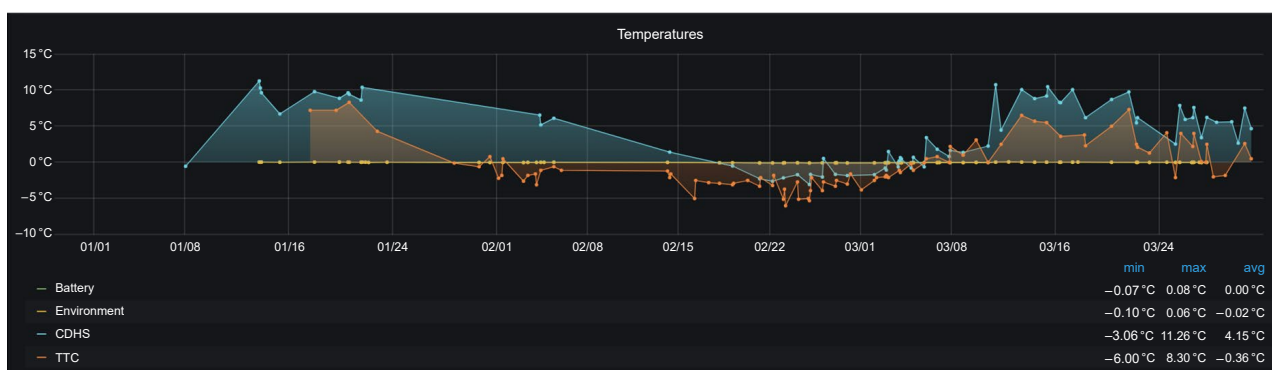


圖 10. 堅果立方衛星各次系統溫度變化歷程。

堅果立方衛星大致花了一年的時間完成設計工作，每個月的工作報告加上從任務設計、初步設計審查到關鍵設計審查，緊湊的各階段設計工作加上報告總算是逐步打造出衛星的雛形，在設計階段事實上也完成了衛星各次系統的設計實作與測試，自製次系統如圖 11 所示，因為在設計階段的次系統仍需驗證其硬體功能與性能滿足整體衛星規格需求，對於大多數科技大學的學生而言，與其建立複雜的數學模型與模擬不如直接實作以測試方式進行驗

證，因此堅果立方衛星多數的設計是建構在實作與測試的基礎上。此外，在國家太空中心專家的要求下，設計文件的撰寫也成為學生工程設計的重要訓練，而文件內容也反映著設計的過程與結果，從某種角度而言，衛星設計似乎是一種文件驅動的設計方式，而文件的架構與流程建立在太空中心累積的經驗之上，是一種標準化的設計流程，即便在我們僅善於技術實作的狀況下，仍然提升設計效率並降低錯誤的機率，加上師生的工作效率，確保了堅果立方衛星研製進度的良好控制。

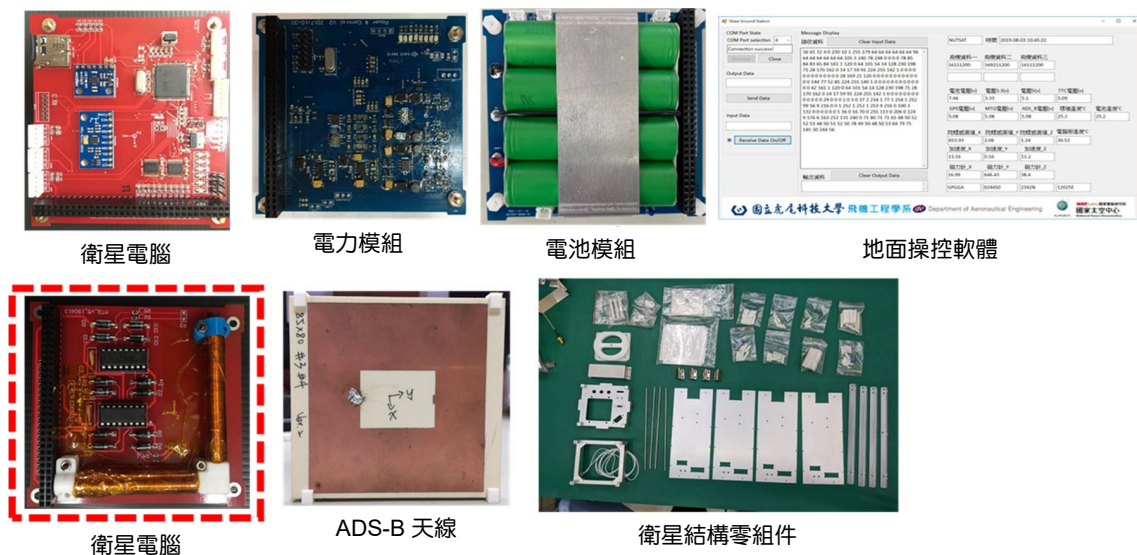


圖 11. 堅果立方衛星自製軟硬體次系統。

第二年的工作主要在持續次系統各項測試與修改工作，後期則進行衛星硬體組裝整合工作，其中關鍵電子元件與模組進行輻射測試對於團隊來說是最新奇的一項，第三年則主要進行包含常壓熱循環、真空熱循環與振動測試等工作，測試的準備工作繁複與費時絕對遠勝測試過程。除了設計文件的撰寫外，這階段又新增了測試計畫的撰寫。太空中心專家同樣費心的指引測試規劃，讓各項測試順利完成。三年多林林總總的研製工作已經產生出大量的文件報告，很難在這篇短短的文章中一言以蔽之。但是研製工作實實在在地推動著團隊所有人不僅在專業上完成工作，更要能在團隊中確保溝通與合作。堅果立方衛星研製計畫讓團隊中所有各有所長的研究生，透過執行專案過程學習所有與衛星相關的專業知識，而衛星發射後追蹤與操作收集而來的遙測資料也展現研製的成果，並為後續建立寶貴的經驗傳承。

以立方衛星研製方式推動工程教育是一種問題導向的學習方式 (problem based learning)，相當辛苦但也相當有效率地培養出即戰力的太空工程人才。相較於傳統科研計畫執行訓練學生而言，由專家指引加上長期而持續的研製計畫目標將是最好的太空工程教育模式。

## 作者簡介

呂文祺先生為法國土魯斯大學資訊博士，現為國立虎尾科技大學飛機工程系暨航空與電子科技研究所副教授。

Wen-Chi Lu received his Ph.D. in Computer Science from University of Toulouse. He is currently an Associate Professor in the Department of Aeronautical Engineering & Graduate Institute of Aviation and Electronic Technology at National Formosa University.