

自己的衛星自己做

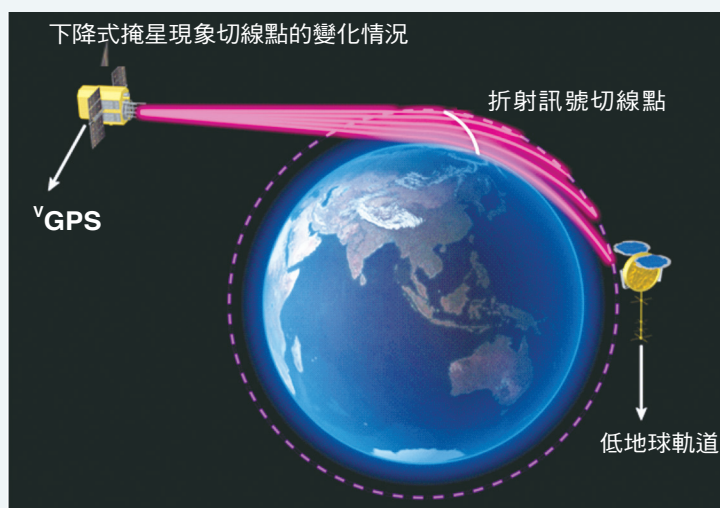
林辰宗

福衛七號計畫中，自主衛星的系統與次系統完全由太空中心負責設計。衛星的關鍵元件以及攸關衛星任務最重要的科學酬載，也大多由太空中心率領國內產學研界研製。這近乎完全自製的衛星系統提升了我國的衛星研製能量。

台灣位於太平洋西南環場洋流地帶，每年的梅雨、西南氣流、颱風所產生的大風和豪雨經常來襲，因此民眾對於氣象預報準確度的需求非常迫切。由於劇烈的天氣系統多形成於中低緯度的熱帶海洋，而傳統探空氣球的氣象觀測資料多集中於陸地，且台灣四周環海，對於天氣監測和預報的資料需求與附近海洋上空的氣象狀態息息相關，因此增加海洋上空氣象監測資料的來源有助於台灣地區的氣象預報。

全球暖化的趨勢使得全球的天氣和氣候變化出現極端的現象，近年來全球發生重大災害的嚴重性和發生率已明顯對我們的生活和生存產生重大的威脅。當務之急在於善用衛星科技對環境進行監測並及時提出預警，萬一天災來臨時可降低生命和財產的損失。

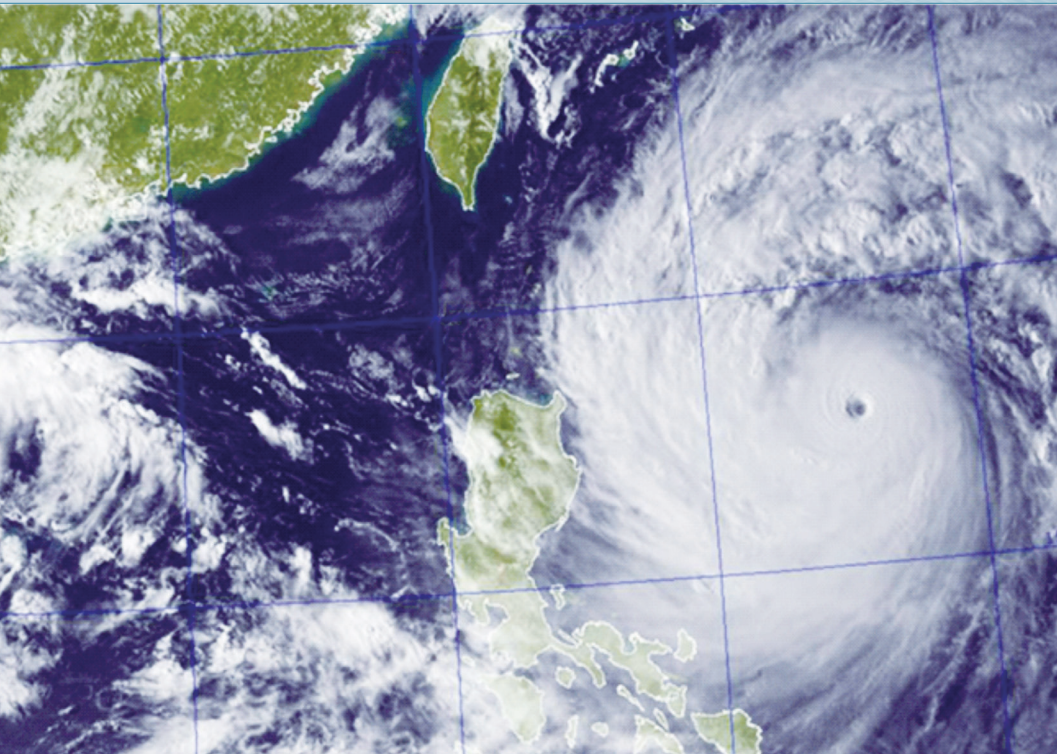
無線電掩星（radio occultation）技術是藉由無線電訊號的折射現象探測大氣層的垂直結構，並經由量測折射的各項參數間



無線電訊號折射現象是掩星技術的原理，可以探測大氣層垂直結構。圖中較低軌道的衛星是福衛三號衛星。

接計算包含水氣、空氣密度、溫度、風速等氣象參數，進而預報天氣、研究全球氣候變遷和電離層特性。

善用衛星科技對環境進行監測並及時提出預警，萬一天災來臨時可降低生命和財產的損失。

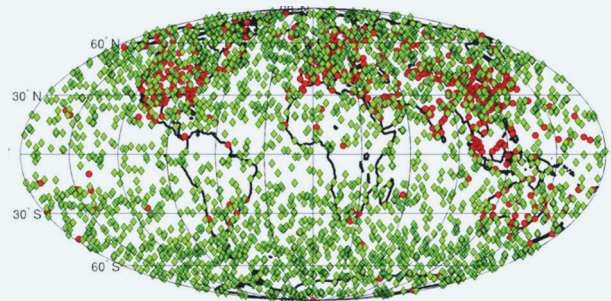


平均每年約有 3 到 4 個颱風侵襲台灣

福衛三號衛星由 6 顆衛星組成，不斷地環繞地球，每顆衛星上都搭載科學用 GPS 訊號接收儀，接收 GPS 無線電波受到地表大氣折射後的訊號。藉由 6 顆福衛三號衛星與約 30 顆 GPS 衛星間的無線電掩星現象，福衛三號衛星每天提供全球氣象單位與研究機關超過 2,000 組均勻分布於全球包含水氣、空氣密度、溫度、風速等的氣象數據，大幅彌補全球以施放高空氣球方式取得而局限於陸地上空的 900 組資料。

目前福衛三號提供的資料已經廣為世界氣象中心與學術研究機關所使用，在氣象預報系統中納入福衛三號資料，能有效改善如颱風路徑、豪大雨地區、累積降雨量等特殊天氣的預報準確度。

Occultation Locations for COSMIC, 6 S/C, 6 Planes, 24 Hrs

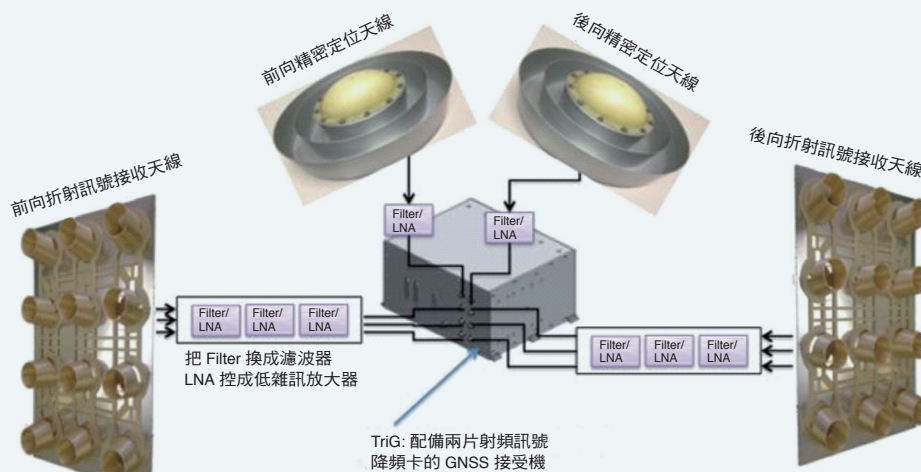


福衛三號衛星每天可提供圖中綠色超過 2,000 組的大氣層量測資料，而圖中紅色是施放高空氣球取得的 900 組資料。

福爾摩沙衛星七號計畫

由於國家太空中心在執行福衛三號星系計畫時，成功累積了許多寶貴的經驗和

福衛七號計畫是福衛三號的後續計畫，任務是建立高可靠度操作型（非實驗型）衛星系統，以延續福衛三號計畫的掩星氣象觀測任務。



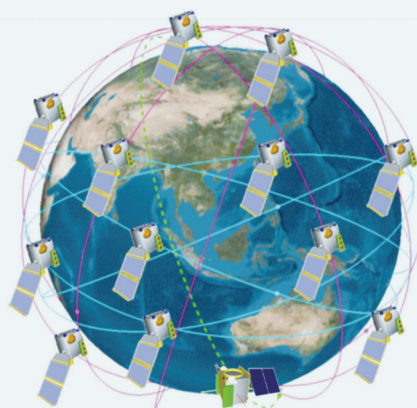
福衛七號搭載全球最新式的全球導航衛星系統無線電訊號接收器

技術，美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）因而於 2009 年向我方提出共同進行福衛三號後續計畫的國際合作案。

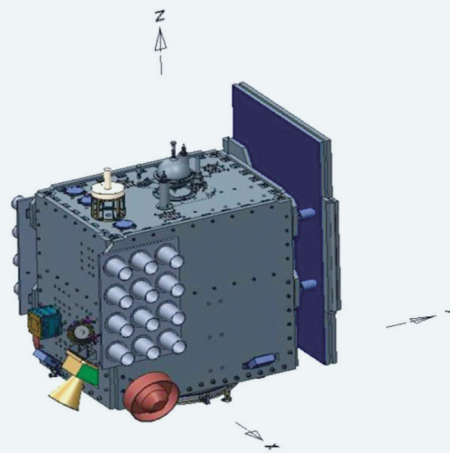
經台美雙方協商後，授權國家太空中心與美國國家海洋暨大氣總署共同執行福爾摩沙衛星七號（福衛七號）計畫。在計畫分工上，我方將提供 12 顆任務衛星本體與 1 顆自主衛星本體，美方則提供衛星科學酬載。12 顆任務衛星本體將以國外採購方式取得，1 顆自主衛星則由太空中心研發與製造。另外，我方將負責衛星本體與科學酬載的整合測試暨衛星的環境測試與發射後的操作，美方則提供發射服務與海外地面接收站。衛星科學資料的處理與資料應用及推廣則由台美雙方共同合作執行。

福衛七號計畫是福衛三號的後續計畫，任務是建立高可靠度操作型（非實驗型）衛星系統，以延續福衛三號計畫的掩星氣象觀測任務。福衛七號計畫將部署 12 顆任務衛星及 1 顆自主衛星，分兩批發射。

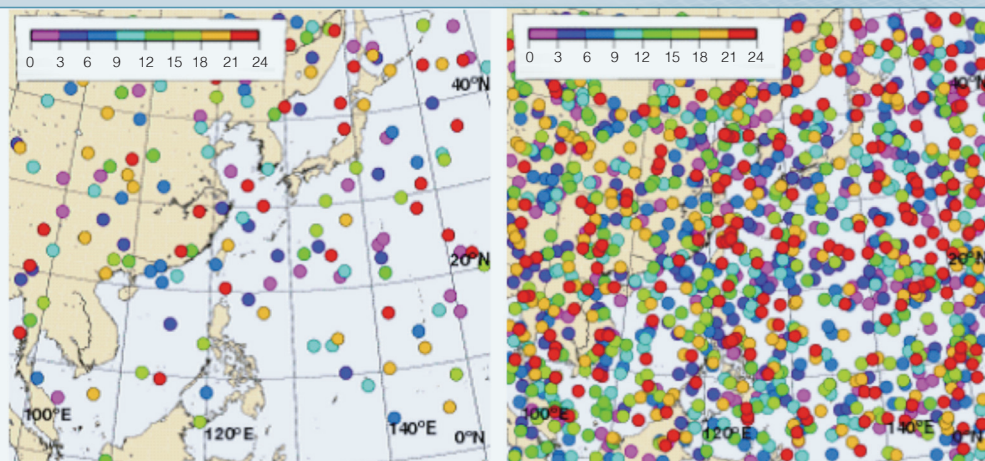
這兩組衛星分別部署於高低兩種傾角的軌道，以提供更多且密集的全球氣象觀測資料。第一組衛星包含 6 顆任務衛星，預計於 2017 年第一季發射於低傾角軌道；



福衛七號 13 顆衛星分兩組發射，分別位於低傾角軌道（藍）與高傾角軌道（紫）。



福衛七號自主衛星搭載美方提供的 TGRS 科學酬載



FORMOSAT-3

FORMOSAT-7

福衛三號（左）與福衛七號（右）科學資料量與資料分布圖。

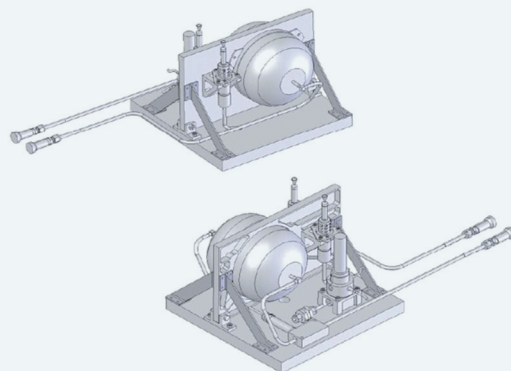
第二組衛星包含 6 顆任務衛星與 1 顆自主衛星，預計於 2018 年發射於高傾角軌道。兩組衛星分別位於低、高傾角軌道，除了可以涵蓋全球外，並可特別著重於颱風密集產生的低緯度赤道區，以提升台灣地區颱風預測的準確性。

福衛七號的衛星將搭載由美方研製的最新式全球導航衛星系統（global navigation satellite system, GNSS）無線電訊號接收器（TriG radio-occultation system, TGRS），可接收美國的 GPS 及俄國的 GLONASS 或歐盟的 Galileo 等全球導航衛星系統的訊號。這 TGRS 無線電訊號接收器包含兩個天頂指向的高精度軌道定位天線、兩個接收微弱折射訊號的地平線指向的高增益陣列天線、8 個低雜訊訊號放大器，以及一個訊號處理單元。

當福衛七號兩組星系部署完成後，每天約可提供 8,000 點平均分布於全球的氣象資料，對於未來的全球天氣預報與氣候觀測有很大的幫助。



國內研製的第一個太空級 GPS 導航接收機將搭載於福衛七號自主衛星上



國內研製的第一個衛星用推進模組，採用無毒性的過氧化氫為燃料。

福衛七號計畫定位為大型台美合作計畫，將提升未來的天氣預報準確度，並對全球氣候變遷研究提供全球性的資料。

自主衛星的目的

福衛七號計畫定位為大型台美合作計畫，將提升未來的天氣預報準確度，並對全球氣候變遷研究提供全球性的資料。國家太空中心希望藉由執行福衛七號計畫提升國內衛星研製的能量，因此，除了 12 顆任務衛星外，特別規劃 1 顆自製的自主衛星同時執行任務。

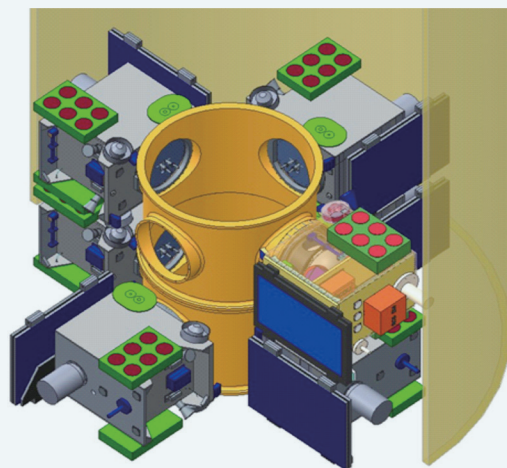
自主衛星在福衛七號計畫中的目的包含：提高科學資料數量；研製一個太空中心標準化的小型衛星平台，未來若有福衛七號後續計畫或其他科學衛星計畫，太空中心可採用這標準化平台加速衛星計畫的進程；提供平台驗證國內研製的衛星關鍵元件與技術，本次自主衛星驗證的項目包含小型化的衛星電腦與電力控制單元、太空級 GPS 導航接收機、太空級光纖陀螺儀、過氧化氫推進模組、微步進太陽能板驅動器等。

自主衛星的設計與自製關鍵元件

自主衛星將與 6 顆任務衛星安裝在同一枚火箭內發射，它必須滿足火箭對衛星的限制，也因此自主衛星與國外採購的任務衛星在外形與規格上相近，但其內在及設計上與任務衛星卻大不相同。鑒於火箭對衛星的限制，自主衛星重量必須少於 300 公斤，外形尺寸必須小於 $1.04 \times 1.4 \times 1.27$ 立方公尺。

自主衛星全部由太空中心的團隊設計，上至整體的系統，下至 8 個衛星次系統，包含：姿態控制次系統、飛行軟體次系統、資料處理次系統、電力控制次系統、通信次系統、結構次系統、熱控次系統、推進次系統。包含電氣測試與機械測試等衛星設備，也由太空中心設計。

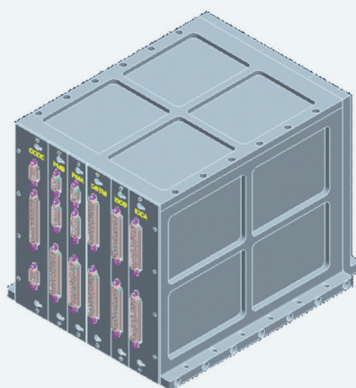
自主衛星包含備援 (redundancy) 設計，也就是幾乎每個元件都有備份，當主要元件



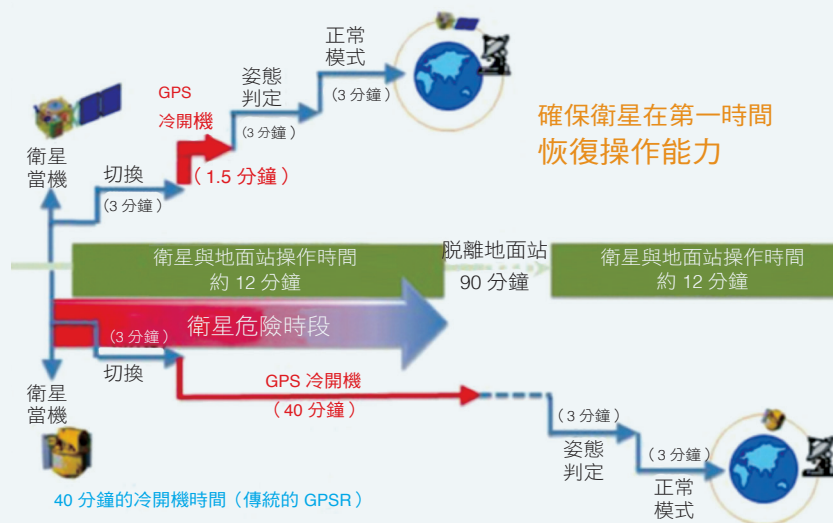
自主衛星將與任務衛星安裝在同一枚火箭內發射。圖中包含 6 顆任務衛星與 1 顆自主衛星。



衛星星象儀可對星空照相並求得衛星的姿態



衛星電腦外形設計與介面安排



確保衛星在第一時間恢復操作能力

太空中心研製的 GPS 導航接收機具備開機快速的特點，可以確保衛星當機後在第一時間恢復操作能力。

損壞時，衛星就可切換到備份元件，繼續進行任務。衛星的主要元件包含：衛星電腦、電力控制單元、通訊模組、推進模組、星象儀、陀螺儀、GPS 導航接收機、反應輪。

由於衛星元件價格高昂、發展時程冗長，自主衛星子計畫對各項衛星元件是否由國內自製的考慮因素包含：價格、時程、出口管制、國內能量、永續經營。例如，包含衛星電腦與電力控制單元的航電系統，它連接的元件眾多，並有許多各式各樣的介面，也與飛行軟體的撰寫暨測試等息息相關，是衛星的核心與靈魂，因此必須排除萬難由國內研製。

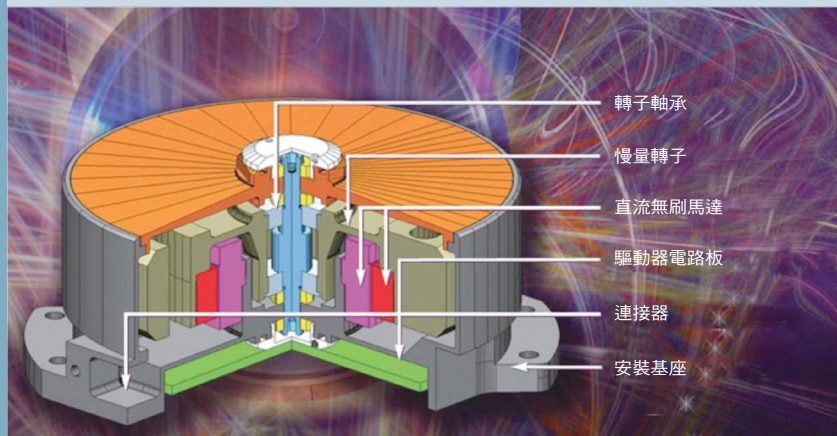
推進模組是航太領域的敏感系統，與飛彈技術息息相關，甚至這些零組件都難以由國外採購，因此，國內自行研製推進模組是刻不容緩的。考慮到某些推進燃料具有毒性，操作上必須非常嚴謹以避免可能的危險性，太空中心特別以無毒性且國內可以自製的過氧化氫做為燃料發展推進系統。但是過氧化氫系統具有自分解特性，非常容易與儲存桶或管路反應，因而造成燃料變質。目前，太空中心已經克服主要



衛星推進模組用以改變衛星軌道

障礙，過氧化氫燃料能夠儲存於燃料桶中長達 5 年，可滿足對衛星壽命的要求。

衛星飛行軟體連貫所有的衛星次系統，堪稱是衛星的靈魂，是自製衛星系統的重要指標，完全由太空中心設計、撰寫與測試。部分衛星元件則考慮研製價格，委託任務衛星本體合約商以批次採購方式一次採購 13 套元件（供 12 顆任務衛星與 1 顆自主衛星使用），以降低成本與採購人力。



衛星反應輪主要由馬達加上大慣量的飛輪組成

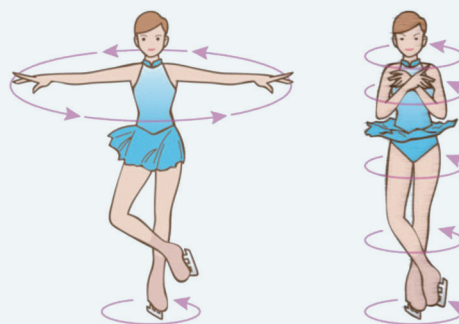
自主衛星的縮裝與自製酬載

由於福衛七號第二組衛星仍有不確定性，因而自主衛星的發射機會與 TGRS 科學酬載的取得尚無法明確預知，因此，太空中心對科學酬載與發射機會需要考慮備案。

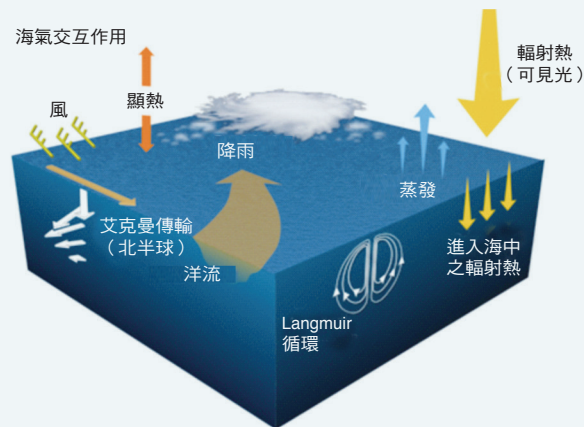
太空中心長期與學界進行 GPS 反射訊號接收與科學應用的研究，加上太空中心已具備太空級 GPS 導航接收機研製能量，因此於民國 103 年底決定把自主衛星的科學酬載由美方提供的 TGRS 無線電掩星接收機更改為自製的 GPS 反射訊號接收機。GNSS-reflectometry (GNSS-R) 反射訊號的研究近來蓬勃發展，並初步證實在幾個領域非常有應用潛力：颱風研究、海洋風場與風速、海洋波浪高低、陸地土壤溼度監控、雪地厚度。

在縮裝方面，為了額外相容於更多發射載具的各項外形限制，自主衛星的外觀與尺寸由原先長寬高的 1.06×1.40×1.27 立方公尺修改縮小為 1.0×1.20×1.25 立方公尺。

GNSS-R 科學酬載系統包含一個訊號處理單元、一個對天頂全指向天線、一個對地高增益天線及兩個低雜訊放大器。這科學酬載系統完全由國內研製，包含：全指向天線由太空中心研製、低雜訊放大器與對地高增益天線由工研院研製、訊號處理單元中的導航單元由太空中心負責、科學單元中的演算法與軟體則由成功大學負責。

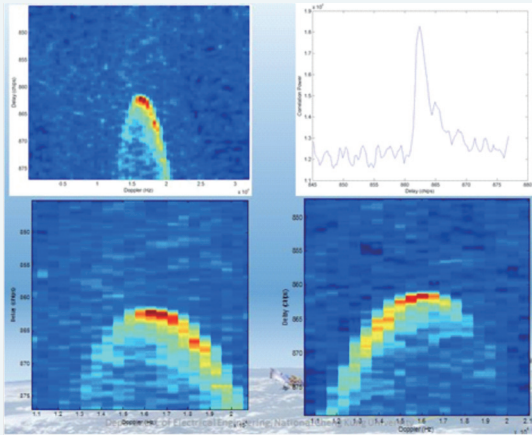


反應輪以角動量守恆原理調整衛星的姿態

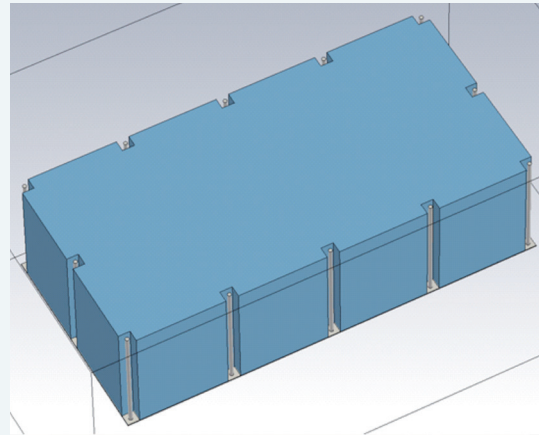


GNSS-R 對海洋動態的監測

經過數個先期研究計畫的淬鍊，成功大學已經可以有效地把國外衛星資料處理成有效的第一階科學資料。工研院研製中的對地高增益天線，其性能會比國外衛星



成功大學已經成功地把英國 TDS-1 衛星提供的原始反射訊號處理成科學資料

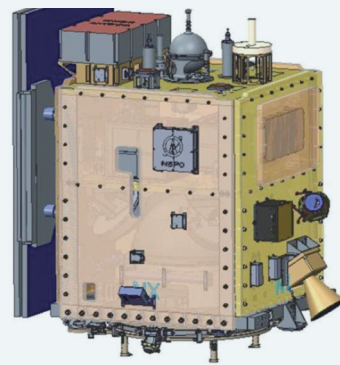


設計中的對地高增益天線

使用的更加優異，預計福七自主衛星科學資料的解析度將進一步提升。

福衛七號計畫除了達到改善天氣預報的目的外，也擔負了提升國內衛星研製能量與航太產業技術的任務。福衛七號計畫中，自主衛星的系統與次系統設計完全由太空中心負責。衛星的關鍵元件包含衛星電腦、電力控制單元、飛行軟體、GPS 導航接收機、光纖陀螺儀、過氧化氫推進模組、衛星結構體等都由太空中心或國內產學研界研製，少部分元件考量研製成本、取得容易等而逕行自國外採購，整體上，自主衛星已經接近 100% 自製。

此外，攸關衛星任務最重要的科學酬載，也是由太空中心率領國內產學研界進行研製，目前進度一如規畫將可按時完成。這科學酬載與資料應用在全世界目前尚處於萌芽階段，若福衛七號自主衛星能順利研製完成、順利升空、順利執行科學任務，將使我



搭載 GNSS-R 科學酬載並縮小化的自主衛星

國在 GNSS-R 科學領域與資料應用上居於領先地位，而這近乎完全自製的衛星系統也進一步提升了我國的衛星研製能量。

林辰宗
國家太空中心

福衛七號計畫除了達到改善天氣預報的目的外，也擔負了提升國內衛星研製能量與航太產業技術的任務。