

# 微衛星之科學實驗與應用

科學及應用衛星經過四十多年來的發展，已從過去重視大衛星、大型計畫，到現在重視小型衛星（1000 公斤以下）以及多顆衛星星系的佈署與軌道掌控。在所謂更快、更好、更小和更便宜的發展主軸下，運用微衛星執行相關科學實驗與應用的衛星計畫已證實可行。本文簡單地介紹了包含中華衛星三號計畫的四個微衛星計畫，並指出衛星計畫的微型化和星系化已是未來發展衛星計畫的重要主流方向。

丁南宏

## 一、前言

自從蘇聯於 1957 年成功的發射第一顆人造衛星史波尼克號 (Sputnik) 後，由於美國和蘇聯兩國間的太空競賽，衛星計畫很快的成為一個錢坑，計畫的規模愈來愈大，研發過程也愈加複雜耗時，計畫預算的規模更是增加到一般國家都難以獨立支應的地步。但是在後冷戰時期，隨著東西兩大陣營的和解，雙方投入太空武器競賽經費的大幅減少，美國政府更在蘇聯政權瓦解後，大刀闊斧的刪減太空計畫經費。面對這樣嚴苛的現實，美國太空總署開始思考，提出所謂：較快、較好、較小，較便宜 (faster, better, smaller, cheaper) 的口號，也就是：以較少的經費，更短的時程，使用最新科技，以較小的衛星來執行單一或簡化後的太空任務，一方面降低任務失敗的風險，一方面也能增加可獲得執行衛星計畫的數量。近年來隨著科技的進步，衛星元件

可以做得更小而功能完備，人造衛星的尺寸及重量有微小化的趨勢，而衛星尺寸的縮小，更可使衛星發展及發射費用降低，和搭乘其他大型衛星發射時剩餘酬載能量的便車，大幅增加發射機會，至此太空計畫不再是超級大國的專利，如瑞典或我國等國家，甚至大學都有可能推動發展和執行個別的小型衛星計畫。

常用的人造衛星分類，可依軌道特性，分為低地軌道衛星、太陽同步衛星、地球同步衛星及星際衛星等；或依任務功能，分為科學衛星、通信衛

表 1. 衛星等級分類表。

衛星等級	全重 (含燃料)
大型衛 (large satellite)	1000 公斤以上
小衛星 (small satellite)	500 - 1000 公斤
迷你衛星 (mini satellite)	100 - 500 公斤
微衛星 (micro satellite)	10 - 100 公斤
微小衛星 (nano satellite)	1 - 10 公斤
微微衛星 (pico satellite)	0.1 - 1 公斤
超微衛星 (femto satellite)	<100 公克

丁南宏先生為英國倫敦大學帝國理工學院大氣物理博士，現任國科會太空計畫室籌備處研究員。

星、軍事衛星、氣象衛星及資源衛星等。另外，由於發射人造衛星的價格依然偏高，而且價格隨著尺寸和重量增加，因此依重量來區分人造衛星的大小等級（參見表 1），也是一般常用的分類方式。本文所指的微衛星就是依重量分類，以衛星升空時的全重在 10 至 100 公斤間的衛星。這個類別的衛星，已證實可以 (1) 低價格、(2) 低風險、(3) 快速、(4) 有效的執行許多軍事或民間任務，如：特殊通訊服務和研究任務、地球資源探測任務、小型太空科學任務、技術展示或驗證任務，以及教育和訓練任務等。一般而言，這個類別的衛星計畫，其發展時程都在 48 個月以內，價格在 25 億元台幣以下，軌道高度為 1000 公里左右的近地軌道。

## 二、微衛星的科學實驗與應用

有關微衛星的通信用途，早在 1970 年代前蘇聯時，就開始使用微衛星構成的通訊系統來支援短程戰術通信。這個軍用通信系統是以一個發射載具，一次運送 8 顆微衛星到 74 度傾角、1400 × 1500 公里的軌道上，第一次發射日期是 1970 年 4 月 25 日，發射的衛星編號為 COSMOS 336 - 343。英國 Surrey 大學在網頁上 ([http://www.ee.surrey.ac.uk/SSC/SSHP/list/list\\_mil.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/SSC/SSHP/list/list_mil.html)) 提供了一些軍事用途微衛星的清單可供參考。

由於微衛星具有發展時程短、低價位、低風險和容易發射的特性，微衛星的應用由早期的軍事用途，如通信、新技術展示或測試等，隨著商用機電產品的微型化發展，微衛星也開始成功的執行一些科學實驗任務。以下將介紹幾個已發展成功的科學實驗與應用微衛星計畫，其中我國的中華衛星三號計畫，即是一個應用微衛星星系組成一個全球大氣監測網重要計畫。

### 1. ASTRID 2

這是瑞典的第二顆科學微衛星，由瑞典太空公司學系統部負責製造，於 1998 年 12 月 10 日發射，衛星總重量小於 30 公斤，酬載重量為 10 公斤，本體為 45 × 45 × 30 公分之四方體，太陽能面板展開後的大小為 170 × 110 × 30 公分 (如圖 1)，軌

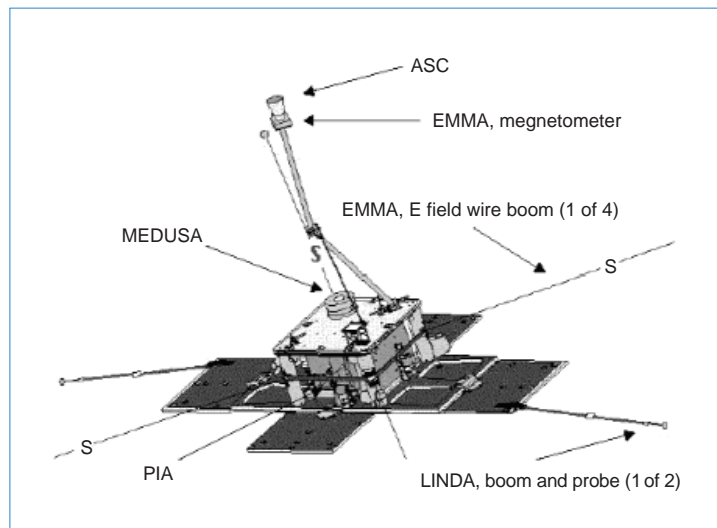


圖 1. ASTRID2 衛星本體及酬載儀器示意圖 (取自 <http://www.plasma.kth.se/~blomberg>)。

道高度為 1000 公里，圓形軌道，83 度傾角。1999 年 7 月 24 日與地面失去聯絡止，共在軌道上成功運轉 7.5 個月。這個衛星所載的科學酬載有：EMMA (electrical and magnetic field monitoring of the aurora)、LINDA (langmuir interferometer and density experiment for Astrid-2)、MEDUSA (miniaturized electrostatic dual-tophat spherical analyzer) 和 PIA (photometers for imaging the aurora) 等四項主要儀器，主要的科學任務是量測極光區中高解析度電場 (E-field) 及磁場 (B-field) 資料、電子密度量測、電子和離子分佈函數的高解析度量測、極光紫外線攝影和大氣紫外光吸收量測等。所涉及的科學領域有：極光和黑極光的電動力學 (electrodynamics of aurora and black aurora)、橫向電子加熱的物理 (physics of transverse ion heating)、跨極區能量下跌來源 (sources of the cross-polar potential drop)、電 - 磁場相關性及尺度關聯 (E-B correlation and its scale size dependence)、全球電場及平行電流分佈圖 (global mapping of the E-field and parallel currents)、全球磁場分佈圖 (global mapping of the B-field)、次極光及赤道電場結構 (sub-auroral and equatorial electric field structures)、一千赫以下之低頻波及脈衝 (waves and pulsations up to 1 kHz) 等。

有關 ASTRID2 衛星的科學任務、各科學酬載

儀器的規格及功能、本體系統、通訊規格、動力、姿態控制、溫度控制等之說明，可參考瑞典太空公司 (Swedish Space Cooperation) 網頁 (<http://www.ssc.se/ssd/msat/astrid2.html>) 上對這個微衛星的介紹及說明。

## 2. FedSat-1

FedSat-1 是澳洲的第一顆科學微衛星，重量約為 50 公斤，58 公分立方體 (如圖 2)，計畫經費約為二千萬澳幣，由澳洲衛星系統合作研究中心 (Cooperative Research Centre for Satellite System, CRCSS) 負責研製，預定於 2002 年年初發射，軌道高度約為 803 公里，99 度傾角。主要的目標是研製一顆微衛星，執行通訊、太空科學及 GPS 相關研究，提供澳洲的科學界及工程界有價值的太空環境資料，並結合澳洲產、學、研各界的力量，使得參與計畫的大學研究所生，得以經由協助製作及操作衛星科實驗，獲取太空工程及應用的實作經驗。

FedSat-1 衛星共搭載四項主要實驗酬載，分別為：GPS 酬載 (GPS experiment receiver)、磁力實驗酬載 (newmag experiment)、高速電腦實驗酬載 (high performance computing experiment) 及通訊實驗酬載 (communication experiment) 等，可從事的科學研究有：精密軌道定位相關研究、電離層三維動

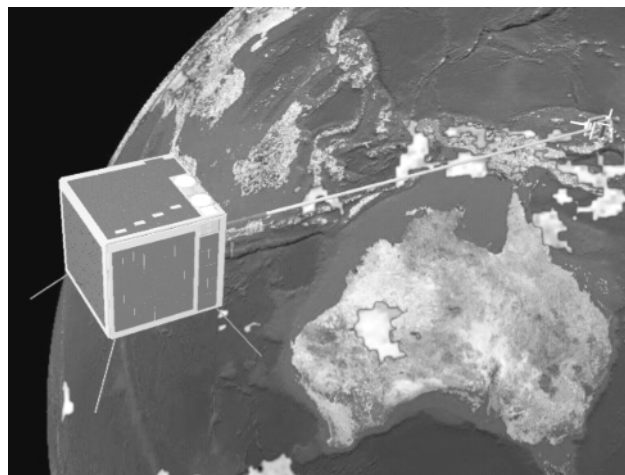


圖 2. FedSat-1 軌道上飛行示意圖 (取自 <http://www.crcss.csiro.au/fdsatpic/fdsatpic.htm>)。

畫研究、地球磁層 (magnetosphere) 動力學研究、由軟體控制改變硬體線路的可改裝電腦 (reconfigurable computer) 太空環境測試研究、Ka 頻段通信相關實驗研究、衛星對衛星和衛星對地面間通訊協定研究，及提供超高頻 (UHF) 通訊封包傳輸服務等。圖 3 為取自 CRCSS 網頁上有關 FedSat-1 科學實驗酬載的系統配置示意圖。有關這個衛星計畫的進一步資料，可參考 CRCSS 網頁上的介紹及說明 (<http://www.crcss.csiro.au/overview>。

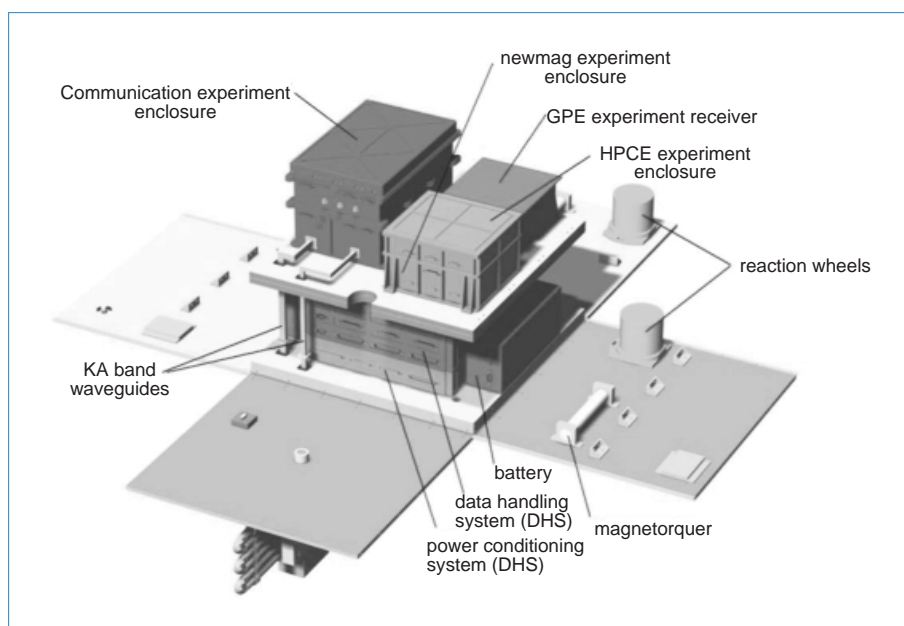


圖 3. FedSat-1 系統配置示意圖 (取自 <http://www.crcss.csiro.au/fdsatpic/fdsatpic.htm>)。

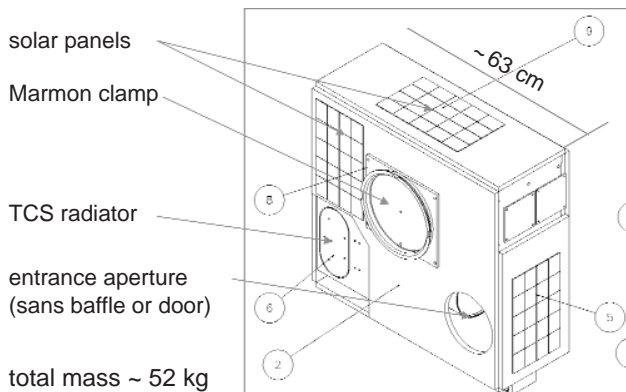


圖 4. MOST 衛星示意圖 (取自<http://www.crcss.csiro.au/fdsatpic/fdsatpic.htm>)。

htm)。

### 3. MOST

MOST (the Microvariability and Oscillations of Stars) 計畫主要的目的是利用一個約 52 公斤重，尺寸為 63 × 58 × 25 公分的微衛星平台 (請參見圖 4)，搭載一個直徑 15 公分的天文望遠鏡，在離地面 800 公里高的太陽同步繞極軌道上觀測遙遠星光度的快速震盪變化，以推估星的年紀，並將觀測極限推至接近宇宙的源頭 - 「大爆炸 (big bang)」。

這是加拿大第一個太空望遠鏡計畫，預定在 2002 年隨同 Radarsat II 一起發射，太陽同步軌道，98.6 度傾角，高度 785 公里。包含一年任務操作費用，預期不超過 4 百萬加幣。微衛星本體由位於加拿大多倫多市的 Dynacon 公司負責承製，而科學任務所使用的高光度精準光學望遠鏡系統，則由哥倫比亞大學 (UBC) 負責研製。有關這個衛星計畫的進一步資料，可參考 Dynacon 公司網頁 (<http://www.dynacon.ca/most.html>) 和哥倫比亞大學網頁上的介紹及說明 (<http://www.astro.ubc.ca/MOST/index.html>)。

### 4. 中華衛星三號

中華衛星三號計畫 (ROCSAT-3) 又稱為「氣象、電離層及氣候星系觀測系統 (constellation observing system for meteorology, ionosphere and climate, COSMIC)」，是中美兩國共同合作推動之科

學研究計畫。總經費約一億美元，我國出資約八千萬美元，美方出資約二千萬美元。由太空計畫室、與美國大學大氣研究聯盟 (UCAR) 及美國軌道科技公司 (OSC) 共組團隊執行。計畫目的為建立一組微衛星星系觀測系統，利用衛星上裝載的氣象用全球定位系統接收器 (GPS/MET)、小型電離層光測器 (tiny ionosphere photometer, TIP) 及三頻指標信號儀 (tri-band beacon, TBB)，以經濟快速之方式量測全球大氣層及電離層之即時變化。圖 5 為 ROCSAT-3 號衛星及酬載配置示意圖。每顆衛星的重量約為 70 公斤，外形呈扁平圓柱形，直徑約 120 公分，高約 43 公分，兩側各有一片圓形太陽能電池板，直徑約為 110 公分，分別展開 90 度和 53 度。三個科學酬載的功能分別為：

- (1) 氣象用全球定位系統接收器 (GPS/MET)：每顆衛星上安裝四個 GPS 天線，接收美國 24 顆 GPS 衛星之 L1 及 L2 頻段之電波訊號，由電波訊號穿過電離層和大氣層時受電子密度、溫度、壓力及水氣含量等影響而轉折之時間延遲，推算電離層和大氣層相關的資料。
- (2) 小型電離層光度計 (TIP)：使用光譜頻段為 135.6 nm，推算沿衛星對著地球方向之電子密度總量。

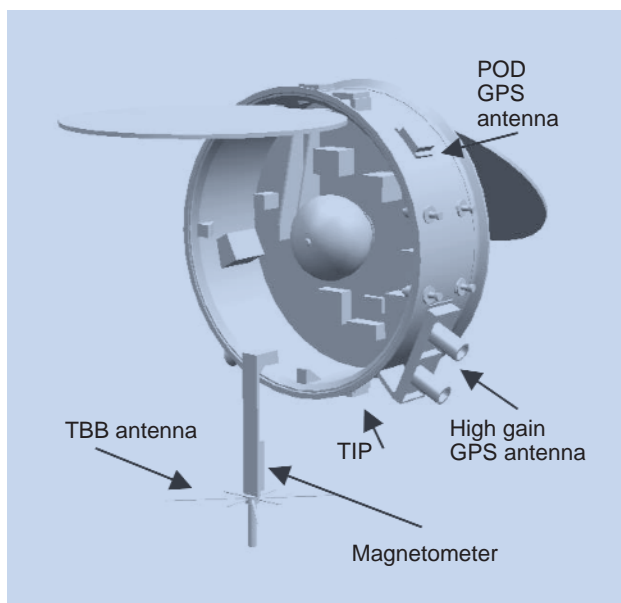


圖 5. ROCSAT-3/COSMIC 衛星示意圖。

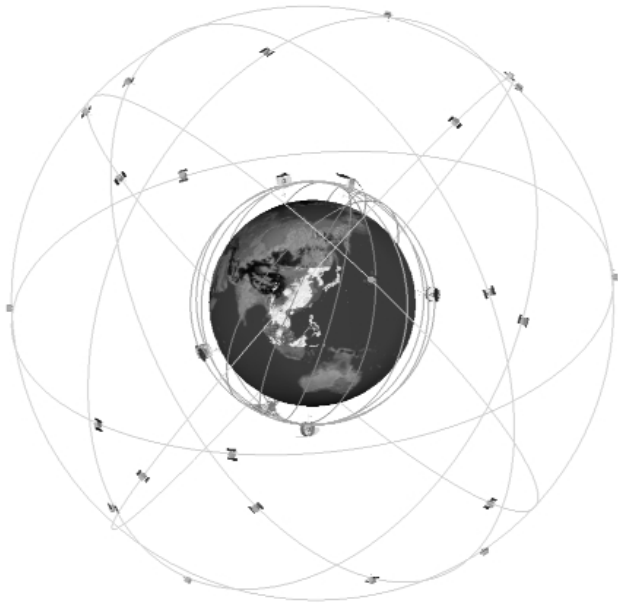
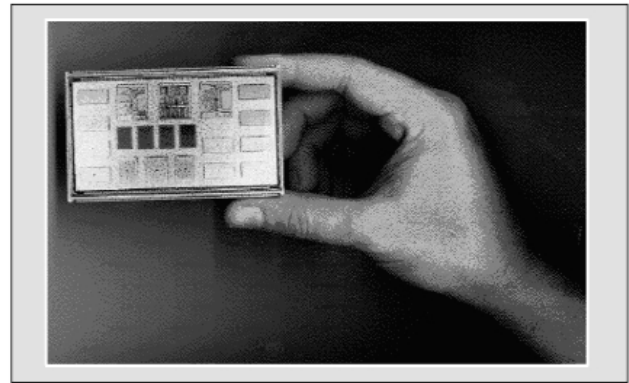


圖 6. ROCSAT-3 微衛星星系觀測系統示意圖。

(3) 三頻指標信號儀 (TBB)：使用 150、400、1067 MHz 三個頻段之同調無線電發射機 (coherent radio transmitters) 發射電波信號，經由分布各地之接收站接收後，推算在電離層高度 (90 - 700 公里) 之高解析度電子密度場和總電子含量 (total electron content, TEC)。

中華衛星三號計畫預計將在 2005 年中，利用美國空軍所提供的 Minotaur 火箭，一次把六顆衛星一起發射送入離地約四百公里的太空暫駐軌道，然後再以一年的時間陸續調整至八百公里高度，傾角為 72 度的六個圓形軌道上，軌道間赤經夾角為 30 度。這六顆微衛星組成之低地軌道衛星星系觀測系統，接收二十四顆全球衛星定位系統所發射的無線電信號，從微衛星上觀測穿越地球大氣層時無線電信號的折射 (或彎曲) 現象，可推算不同高度上的大氣密度資料，再由密度資料，研究人員可以推算出氣壓和溫度的分佈。這個觀測系統平均每天約可提供 3000 個全球均勻分佈的觀測點資料，即每個觀測點上接近地球表面大氣層垂直剖面上的溫度、壓力與水汽含量，以及至 600 公里高度的電離層電子密度變化等大氣重要參數資料。衛星上所記錄的資料，將由美國的資料分析儲存中心 (COSMIC Data Analysis & Archive Center, CDAAC)



FEATURES	SPECIFICATIONS
24-satellite tracking	Mass: < 300 g
Dual frequency	Power: 1.5 w avg, 3 w peak
P-code and Codeless	Volume: 10 x 6 x 1 cm
PowerPC 603e $\mu$ processor	Storage: 30 Mbytes
Orbit & attitude determination	Antenna inputs: 4
Uplink extraction	Phase error: < 2 mm, 1s (AS on)

圖 7. GPS-on-a-Chip (摘自 [http://www.genesis.jpl.nasa.gov/html/constellation/gps\\_on\\_chip.shtml](http://www.genesis.jpl.nasa.gov/html/constellation/gps_on_chip.shtml))。

負責接收及分析，再把結果即時傳送到設在我國中央氣象局的資料分析中心 (Taiwan Analysis Center for COSMIC, TACC)，直接運用在天氣預報作業系統中，以提升預報精度，同時也會將全部資料免費提供給國內學界及相關研究單位使用。圖 6 為 ROCSAT-3 微衛星星系觀測系統示意圖，其中外層星系為 GPS 星系系統，近地表層星系為 ROCSAT-3/COSMIC 微衛星觀測系統。

### 三、未來展望

隨著微機電技術的快速發展，未來科技及衛星技術的發展趨勢，將朝更小、更好、更快、更經濟之方向發展，衛星酬載可望陸續微型化，而人造衛星的超微化發展亦指日可期。以發展中的氣象用全球定位系統接收器為例，一個由美國太空總署所資助研究計畫，美國噴射推進實驗室 (JPL) 正將 MicroLab-1 實驗中所使用 GPS/MET 接收器，微型化成為所謂的「GPS-on-a-chip」，也就是從現在的書本大小、公斤級的接收器，縮小到重量只有 300 公克、厚一公分、名片大小 (如圖 7)。利用這種超小型的「GPS-on-a-chip」，加上微型化的人造衛星飛行姿態控制系統，製造僅需消耗數瓦電力的公斤

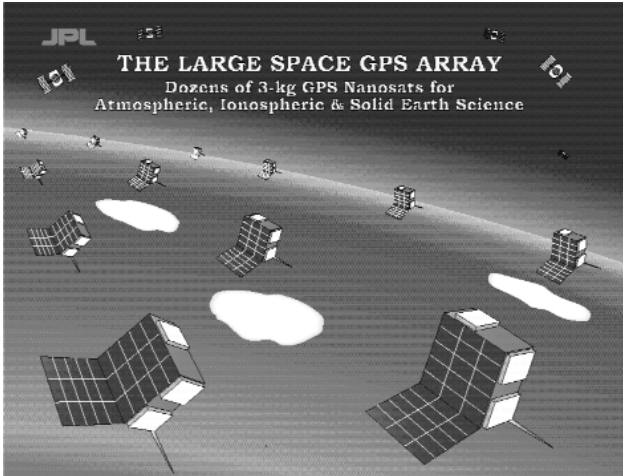


圖 8. 未來的 GPS 微微衛星星系觀測系統 (摘自 <http://www.genesis.jpl.nasa.gov/html/constellation/array.shtml>)。

級 GPS 微小衛星變為可能。接續中華衛星三號計畫後不久的將來，我們可能會看到這樣的事實 (如圖 8)：數目以十和百計算，功率消耗低於 10 瓦，重量不到 10 公斤，造價在千萬元台幣左右，全自動操作且無需特定地面接收系統，內裝行動電話，可以自行撥號下載資料至特定電腦的 GPS 微小衛星所組成的即時氣象、電離層及氣候星系觀測系統 (Yunck et al, 2000, A History of GPS Sounding, TAO, 1-20, 11)。因此在執行中華衛星三號計畫後，太空計畫室將主導規劃一後續微衛星星系國際合作計畫，將邀請歐美、日本等國家共同參與。預計逐漸

增加微衛星至五十顆，平均每天可提供全球約二萬五千個觀測點，應用分布如此密集的觀測資料，更可提升全球天氣預報準確度，及掌握台灣地區颱風及豪雨的動向。

太空計畫室在持續發展小型衛星，提高技術層次與精度，擴大應用領域的同時，目前亦積極進行微微衛星研究計畫 - 蕃薯衛星 (YamSat)，自行研製重量在一公斤以下的十公分正方體微微衛星，並搭載國科會精密儀器發展中心自製的微光譜儀，預定於 2002 年送入離地 650 公里、65 度傾角的低地軌道。希望透過自行研製 YamSat 的過程，與成功大學、精密儀器發展中心、工研院、產業界，及其他相關產、學單位合作，確立分工並建立技術能量，培訓國內衛星科技人才。並以 YamSat 之發展基礎，配合太空計畫室未來發展規劃，持續進行微微化衛星發展計畫。

## 參考文獻

1. 相關網頁資料網址：  
<http://genesis.jpl.nasa.gov/html/constellation/array.shtml>  
[http://genesis.jpl.nasa.gov/html/constellation/gps\\_on\\_chip.shtml](http://genesis.jpl.nasa.gov/html/constellation/gps_on_chip.shtml)  
<http://www.astro.ubc.ca/MOST/index.html>  
<http://www.crcss.csiro.au/fdsatpic/fdsatpic.htm>  
<http://www.crcss.csiro.au/overview.htm>  
<http://www.dynacon.ca/most.html>  
[http://www.ee.surrey.ac.uk/SSC/SSHP/list/list\\_mil.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/SSC/SSHP/list/list_mil.html)  
<http://www.ssc.se/ssd/msat/astrid2.html>
2. Yunck et al, 2000, A History of GPS Sounding, TAO, 1-20, 11.