

國際微小衛星之發展現況與展望

微小型衛星與大型衛星比較，具備較短研發時程、較少預算需求、較多任務適應性、對於先進科技的應用反應快速，以及較低的進入門檻等特性，因此國際間漸漸重視發展微小型衛星。尤其我國的太空計畫發展，經過多年來的慘澹經營，績效日漸彰顯，頗受國人所矚目的一系列中華衛星發射計畫，也有走向微小化的趨勢。因此本文即針對微小衛星的特性，簡述回顧國際微小衛星的發展狀況，並且討論幾個大學或其研究機構典型的微小衛星計畫作例子，用以突顯我國如何轉變微精密機械、微電子及材料等微型科技的應用，以進行微小型衛星的發展契機，達到微小型衛星系統整合科技深值我國的目標。

蕭飛賓、林國偉

一、微小衛星的先鋒：史波尼克一號

西元 1957 年，蘇聯發射人類第一顆人造衛星「史波尼克一號 (Sputnik 1)」(圖 1)，打開了人類發展衛星科技的序幕。「史波尼克一號」質量僅有 83.6 公斤，是一個直徑約 56 公分的球體，其任務是從太空中將 300 毫秒 (ms) 的電報脈衝傳回地球上來。從現在衛星科技發展的水平來看，這項任務可說是非常的簡單，但是卻為人類在太空中的發展開創了最具代表性的里程碑！

蕭飛賓先生為美國南加州大學航太工程博士，現任國立成功大學航空太空工程研究所教授兼工學院副院長。
林國偉先生現為國立成功大學航空太空工程研究所碩士班學生。



圖 1. 人類第一顆人造衛星「史波尼克一號」(Sputnik 1)。

往後的數十年，從冷戰時期美蘇的太空競賽一直到現在，衛星已廣泛的應用在許多方面，包含通訊、遙測、科學實驗，相對於對衛星與日俱增的需求，衛星所需具備的功能就必須越來越強大，這也使得衛星的大小及質量不斷的提高，一些商用通訊衛星的質量甚至到達了數以噸計的地步，價錢更是越來越昂貴，但是對一個發展衛星科技的新興國家而言，實在無法在一開始就投入大筆的人力和物力，因此微小衛星的發展就必須是一個重要的過程。

「史波尼克一號」衛星從質量上看，就可以說是一顆不折不扣的微型衛星，雖然「史波尼克一號」衛星的功能不算強大，但是這一項任務的成功，卻為以後蘇聯在衛星科技的發展奠定良好的基礎，也誘發了美國與蘇聯間一連串的太空競賽。像「史波尼克一號」這種著重於技術驗證的衛星，正好說明了微小衛星在太空科技中所能達成的其中一項重要功能。

二、何謂微小衛星

在定義微小衛星之前，我們必須先從質量將衛星分類，並將其整理在表 1 中。其中，微小衛星所指的是質量在 500 公斤以下的衛星，包含有迷你衛星 (mini-satellite)、微衛星 (micro-satellite)、奈米衛星 (nano-satellite)、皮米衛星 (pico-satellite) 及分米衛星 (femto-satellite)。

和大型衛星比較起來，微小衛星的用途及種類並沒有大衛星來得多樣，功能也比較受限，對可靠性的需求比較低，壽命也較短。但是微小衛星的造

表 1. 衛星之質量分類。

Group name	Wet Mass	
Large satellite	> 1000 kg	Big Satellite
Medium sized satellite	500 - 1000 kg	
Mini satellite	100 - 500 kg	Small Satellite
Micro satellite	10 - 100 kg	
Nano satellite	1 - 10 kg	
Pico satellite	0.1 - 1 kg	
Femto satellite	< 100 g	

價低廉，也由於質量不大，發射成本也就跟著減少很多，最常以搭便車 (piggyback) 的方式來發射，甚至可以一次發射多顆。此外，微小衛星在研發成本與時程上均比大衛星少很多，如此便可以有效率地針對先進科技的發展迅速反應 (表 2)。概括來說，微小衛星具有以下幾項優點：

- (1) 較短的研發時程
- (2) 較少的預算需求
- (3) 和大衛星比有較多的任務適應性
- (4) 對於先進科技的應用反應快速
- (5) 較低的進入門檻

簡而言之，衛小衛星所追求的就是要更小、更快、更好、更便宜！

微小衛星所具備的特性，使其非常適合用於進行新技術的應用與測試、短時間的科學實驗、提供短期在太空系統工程上的教育與訓練，甚至可作為特定用途的通訊或遙測衛星，更甚至是軍事方面的任務。筆者茲將目前微小衛星最適合從事的任務簡列如下，並在表 3 中列舉數顆微小衛星及其所進行

表 2. 微小衛星與大衛星之比較。

	大型衛星	小型衛星
優點	1. 用途種類多樣化 2. 可靠性高 3. 壽命較長	1. 造價較低 2. 多衛星同時發射，發射成本低 3. 研發與製造時程短
缺點	1. 造價昂貴 2. 獨立研發、發射成本高 3. 研發與製造時間長	1. 用途較少且功能受限多 2. 可靠性較低 3. 壽命較短
特性	著重於成熟技術應用、長期商業服務或特殊用途	著重於新技術運用測試與短期發展之訓練與教育

Mission	Work Theorem	Demonstration
Education and training	Student training and international cooperation	Wo-18, KO-23, KO-25, SEDSAT1, SQUIRT-1, HUNSAT, PANSAT, KTHSAT
Theorem demonstration	New tech. application and theory demonstration	HEALSAT, TechSAT-1
Communications		
Voice stored and broadcasting	Synchronism voice oscillation crystal	Do-17, AO-21, SQUIRE-1
Satellite phone	Advanced digital frequency sharing dual tech.	PANSAT
Packet comm.	Advanced communication protocol	PoSAT-1, HealthSAT-2, Cerise, FaSAT-Alfa/Bravo
Wireless net	Radio carrier connected PC and other devices	UoSAT-3
Research		
Digital packet communication	Digipeater	UO-14/22, AO-16, LO-19, FO-20, IO-26, HUNSAT, PANSAT, KO-23/25
Earth observation	CCD image	UO-14/22, WO-18, KO-23/25, TechSAT-1/2, FaSAT, PoSAT-1, SEDSAT1, JAWSAT
GPS location	Orbital determination	KO-25, PoSAT-1, TechSAT-1
Digital signal processing	High speed mo/demodulation	UO-22, PoSAT-1, KO-23/25, TechSAT-1/2
Universe rays	Sensor	KO-23/25, PoSAT-1, SQUIRT-1

表 3.
微小衛星之功能。

的任務：

- (1) 特定用途的通訊
- (2) 遙測
- (3) 短時間的科學實驗
- (4) 軍事任務
- (5) 技術展示
- (6) 實驗平台
- (7) 訓練和教育

三、國際間微小衛星之現階段發展

目前在世界上，微小衛星的使用量正一直不斷的增加，截至目前為止已經有數百顆微小衛星在地球軌道上運行，並進行科學實驗、教育或軍事方面

等任務。

英國「蘇瑞衛星科技公司 (Surrey Satellite Technology Ltd.)」⁽¹⁾ 在 2000 年對全球在 1980 年到 1999 年所發射的微小衛星進行了一項調查，調查的結果顯示了微小衛星目前在世界上發展的概況。由圖 2，我們可以很明顯的發現，從 1980 年以後衛小衛星的數量就不斷的在增加，1997 年開始，微小衛星的成長更為明顯，甚至有越做越小的趨勢，我們可以由圖 3 清楚的看出這樣的趨勢。圖 4 和圖 5 則分別針對微小衛星在任務及使用者上的分類。我們發現，微小衛星在功能上雖不比大衛星來的強大，但是卻可以有更多的任務適應性，不論在通訊、教育、科學實驗及軍事等都有發揮的空間。值得一提的是，目前國際間由大學來發展微小衛星

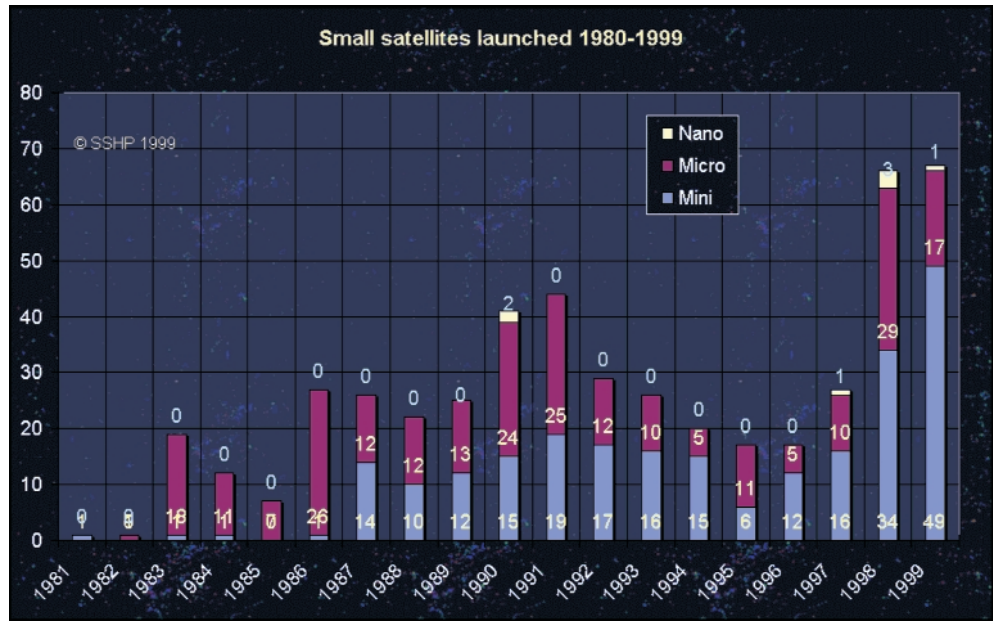


圖 2.
微小衛星之成長趨勢⁽¹⁾。

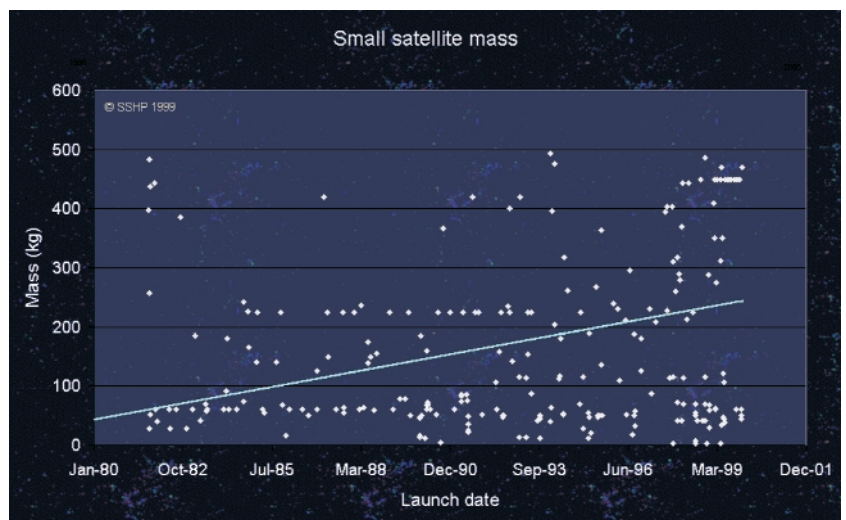


圖 3.
微小衛星重量分布圖⁽¹⁾。

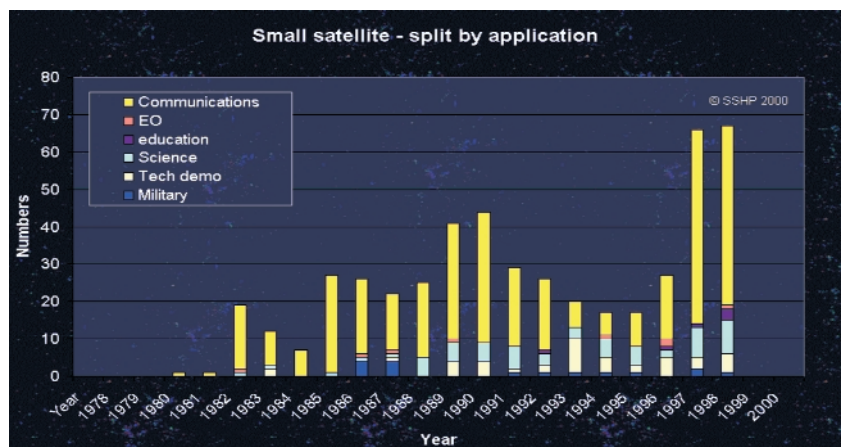


圖 4.
微小衛星任務分布圖⁽¹⁾。

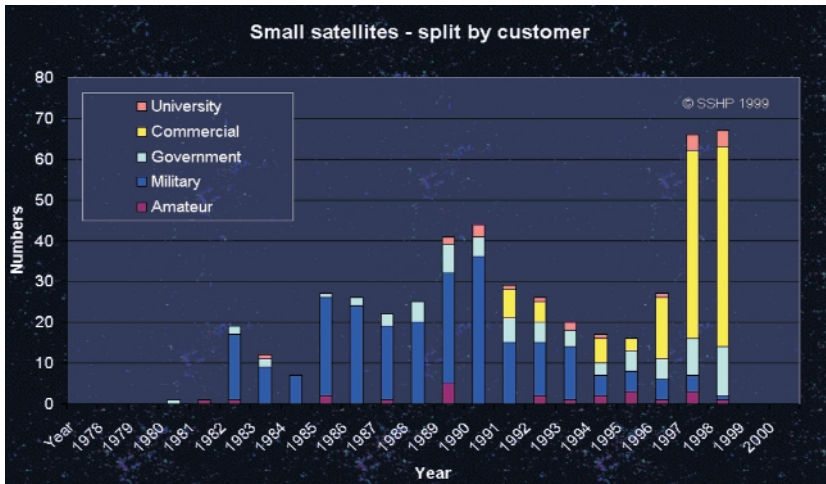


圖 5. 微小衛星之發展單位⁽¹⁾。

的比例也在逐年提高中，這代表著衛星科技已不再是像往常一般專屬於軍事機構或大型企業所擁有，學術單位在有限的經費之下，依然可以在衛星的發展上有卓越的貢獻。

目前國際間正在發展微小衛星的國家有很多，發展的單位更遍及大學教育單位、公司及政府單位(請參見表 4)。

國家	發展單位	衛星名稱	發射日期
美國	Weber State University	Weber Sat	Launched 1990
	University of Alabama	SEDSAT 1	Launched 1998
	Arizona State University	ASUSat 1	Due to launch 2000
	Naval Postgraduate school	PANSAT	Launched 1998
	Stanford University	SAPPHIRE	Due to launch 2001
		OPAL	Launched 2000
EMERALD		Due to launch 2001	
英國	University of Surrey	UoSAT series	1982 to present
韓國	Korea Advanced Institute of Science and Technology	KITSAT-1	Launched 1992
		KITSAT-2	Launched 1993
		KITSAT-3	Launched 1999
以色列	Technion (Israel Institute of Technology)	Techsat	Launched 1998
智利	Chilean Air Force	FASat-Bravo	Launched 1998
南非	University of Stellenbosch	SUNSAT	Launched 1999
德國	Technical University of Berlin	TUBSAT	Launched 1999
中國大陸	北京清華大學	Tsinghua-1	Launched 2000
馬來西亞	TiungSat-1	Astronautic Technology	N/A
芬蘭	Helsinki University of Technology	HUTSAT	Future
泰國	Thai Micro Satellite Co., LTD	TMSAT	Launched 1998

表 4. 國際間部份發展微小衛星的單位。

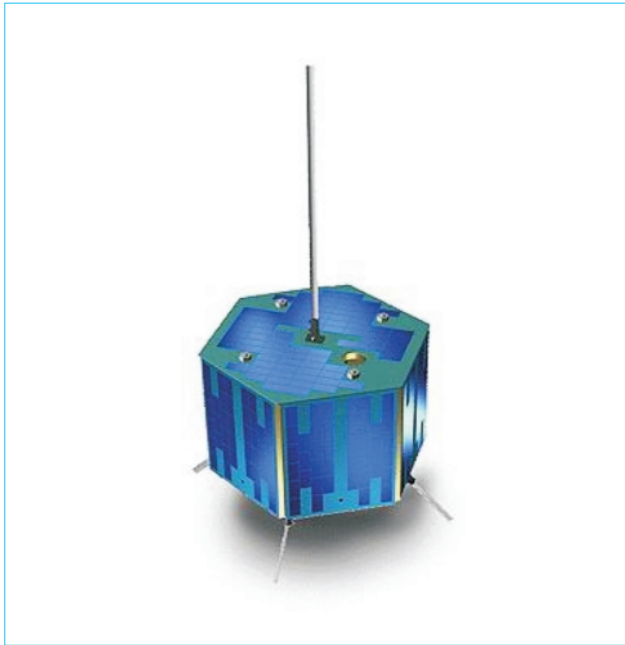


圖 6. SAPHIRE衛星⁽²⁾。

1. 史丹佛大學的「太空系統發展實驗室」

以學校單位來說，最具知名的當可算是美國史丹佛大學的「太空系統發展實驗室 (Space Systems Development Lab., SSDL)」⁽²⁾了。SSDL 目前正在進行 SQUIRT (Satellite QUIck Research Testbed) 計畫，此計畫的最主要目的是讓學生藉由全程參與衛星之設計製造一直到發射等一連串的生命週期，來培養學生在系統工程上的觀念，並可將微衛星所能搭載的酬載應用於學校的其他科學研究之上。SQUIRT 計畫與一般大型太空計畫不同的地方在於它是以教育的觀點出發，讓學生可以在較廉價的成本及較低餘裕度下，完成各種設定的任務，並獲得實際工程與管理的知識及經驗；也因為如此，它可以比一般的太空計畫更具有承受失敗的空間，即使任務不見得百分之百成功，學生亦能從中學習。此外，SQUIRT 計畫也可提供一個科學實驗的平台，在衛星相關技術發展較為成熟之後，便可搭載各種科學儀器以進行太空物理方面的學術研究。SQUIRT 計畫更與美國業餘微衛星組織 (Radio Amateur Satellite Corporation) 合作，微衛星通常採用業餘頻道來進行通訊，而該組織對業餘通訊技術有相當豐富的經驗與完善的地面設施，對計畫的執

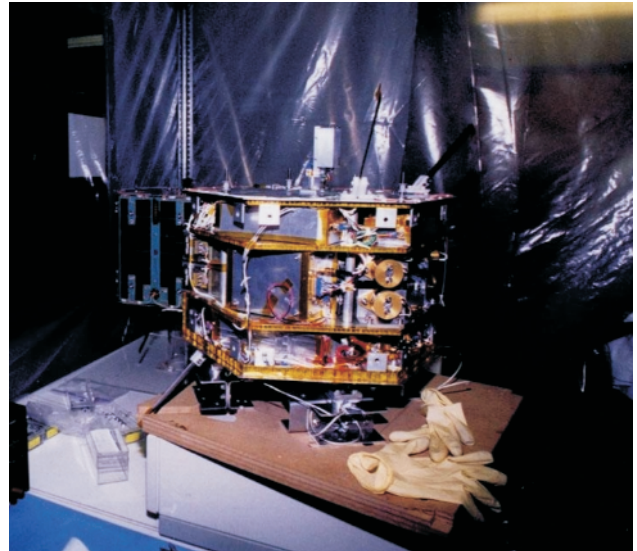


圖 7. OPAL 衛星⁽²⁾。

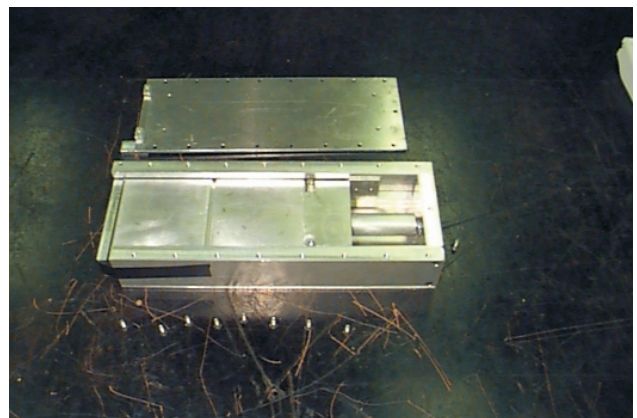


圖 8. OPAL 計畫中的 picosatellite 子衛星⁽²⁾。

行有相當大的助益。

SQUIRT 計畫目前包含有三顆衛星，分別為 SAPHIRE、OPAL 及 EMERALD：

- (1) SAPHIRE 衛星 (圖 6) 預計於 2001 年 8 月隨著 Kodaik Star Mission 發射，其任務包括進行 SSDL 實驗室的發展、研究與教育及發展科學儀器酬載，其中發展 SSDL 的任務不只是在於衛星本體的製造，還將實驗測試設備的取得列為重點，更重要的是尋求工業界技術指導及支援的夥伴，並且建立從製作、組裝、發射、到在軌道操作的配套流程。
- (2) OPAL 衛星 (圖 7) 計畫開始於 1995 年 4 月，

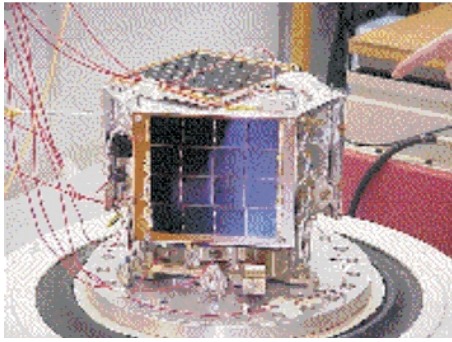


圖 9. SNAP-1 衛星⁽¹⁾。

2000 年 1 月 26 日發射升空，主要任務為驗證從母衛星發射多枚 picosatellite 的可行性，當 OPAL 在軌道上運行操作正常後，約一週後將 picosatellite 彈出 (圖 8)，各個 picosatellite 各自進行其實驗，總共攜帶了 6 枚，兩枚由 Aerospace Corporation 製造，一枚由華盛頓特區的一群業餘人士製造，稱為 STANSAT，另外三枚由 Santa Clara 大學的學生製造。次要的任務則為在母衛星本體進行加速度測試實驗及磁場實驗。

總而言之，SSDL 為學術單位發展太空計畫的模式立下了一個相當成功的典範，期間所培養出的太空科技人才，更提供國家發展太空科技很重要的能量。

2. 英國「蘇瑞衛星科技公司」

之前我們曾談到的英國「蘇瑞衛星科技公司 (SSTL)」，則是另一個以學術單位為基礎來發展微衛星科技的典範。SSTL 目前是全球發展微小衛星科技的翹楚，與蘇瑞太空中心、蘇瑞大學衛星工程學系組成的研究團隊可以提供快速的微小衛星研究時程，在商業利益競爭之下，由研究生與教授組成的完整研發團隊是 SSTL 的最大優勢。

目前 SSTL 最受矚目的一枚衛星是 SNAP-1 (Surrey Nanosatellite Application Platform) (圖 9)，是一個奈米級微衛星商用實驗平台。由於電子與微機電技術的進步，衛星在技術上已經可以達到質量輕、體積小，這樣的技術也使得 SNAP-1 衛星的質量僅僅只有 6.5 公斤，建造的時間不但縮短，成本更低。

表 5. 與 SSTL 進行合作的單位。

國 家	日 期	衛 星 名 稱
Pakistan	1985 - 1989	BADR-1
South Africa	1989 - 1991	UoSAT-3/4/5
S. Korea	1990 - 1994	KITSat-1/2
Portugal	1993 - 1994	PoSAT-1
Chile	1995 - 1997	FASat-Alfa/Bravo
Thailand	1995 - 1998	TMSAT-1
Singapore	1995 - 1999	Merlion payload
Malaysia	1996 - 1998	TiungSAT-1
China	1998 - 1999	Tsinghua-1

由 SSTL 的 SNAP-1 可知，微衛星正藉由微機電與精密機械的發展，一步步突破以往衛星無法有效減少機械裝置與電子設備的重量與體積的技術瓶頸。

由於衛星技術的發展幾乎都是各個國家科技進步與否的指標，因此許多新興國家均將發展微衛星納入國家發展計畫，而 SSTL 正扮演了一個諮詢的角色，SSTL 與很多國家均有合作計畫 (表 5)，他們可以作為有意發展太空計畫之國家的諮詢者，除了可以替各個國家製造衛星之外，更可以幫助這些顧客訓練太空人才，及進行相當程度的技術轉移。

3. 韓國高等理工學院 KAIST

韓國為了發展微小衛星，上至總統到科技部與交通部，皆在政策上給予實際的支持，並結合民間單位的技術支援，使「韓國高等理工學院 (Korea Advanced Institute of Science and Technology, KAIST)」⁽³⁾ 於 1989 年便成立了「衛星科技研發中心 (Satellite Technology Research Center, SaTReC)」，期間也派遣多位學生及工程師至英國、美國、日本及法國等國家研習。KAIST 可說是在亞洲與 SSTL 合作並完成技術轉移，而具有發展完全自主的衛星科技之最佳典範。

KAIST 的衛星 KITSAT 系列共有三枚，第一枚 KITSAT-1 由 SSTL 設計製造，並於 1992 年 8 月 11 日在南美洲法屬圭亞那發射場由亞利安火箭發射，並成功進入高度 1300 公里、軌道傾角 66.08 度的圓軌道。KITSAT-1 的任務設定為：



圖 10. CanSat 衛星。

- (1) 獲得衛星發展之技術
- (2) 訓練衛星科技相關人員
- (3) 加強國民對於衛星科技的認知
- (4) 升級國家的太空教育計畫
- (5) 完成太空環境的研究

1993 年 9 月 26 日，KITSAT-2 由亞利安火箭載運至 800 公里太陽同步軌道，其任務為：

- (1) 改善並加強 KITSAT-1 系統
- (2) 嘗試使用韓國自製的零組件
- (3) 搭載並測試韓國的實驗儀器
- (4) 升級韓國的太空工業

1999 年 5 月 26 日 KITSAT-3 發射升空，其任務為：

- (1) 發展三軸穩定衛星的技術
- (2) 發展低成本的衛星遙測系統
- (3) 獲得太空科學實驗的資料
- (4) 持續訓練並教育衛星科技工程師

由 KITSAT-1 到 KITSAT-2 的任務可以知道，韓國發展 KITSAT 系列衛星的目的是在於發展韓國的太空技術，使得工業技術往上提昇，並且藉由吸收 SSTL 的技術，一步步的將衛星零組件的自製比率提昇，目的在於完全由韓國掌握本土的衛星科技。同時，人員的訓練也是 KITSAT 計畫著重的主要任務之一，在藉由參與設計製造 KITSAT-1 的機會，受訓的工程師、學者與學生獲得完整的經驗，緊接

著一年後的 KITSAT-2，讓參與的人員在 SSTL 的幫助下增進實際設計生產製造的經驗，除了可以再進一步提昇韓國本土的衛星的自製率，也讓韓國的衛星科技人才獲得更多學習的空間，並將任務藉由發展 KITSAT-3，完全製造出屬於韓國本土的衛星系統。

韓國藉由與 SSTL 合作的計畫將衛星科技由英國轉移到韓國，並且持續發展使衛星科技真正根留本土並發展出自己的衛星系統，其政策的前瞻性非常值得國內的太空科技發展作為借鏡。

4. CanSat 計畫

1998 年 11 月 10 日，University Space System Symposium (USSS) 在夏威夷舉行，美國史丹佛大學 B. Twiggs 教授在會中提出一項名為 CanSat 的計畫⁽⁴⁾，這項計畫的內容在於讓學生親身經歷衛星的設計及製造過程並從中學習經驗，而衛星的本體將被裝於一顆可樂瓶大小的鋁罐上(圖 10)。這項計畫一共吸引了美國 12 所大學及日本東京工業大學的參與，特別是這項計畫的時程不到一年，衛星在次年 10 月發射升空並於 11 月在 JUSTSAP 會議上發表。CanSat 計畫正是利用微小衛星這種生命週期短的特點使其在教育的功能上發揮了極大的功用。關於更詳細的資料請參照表 6。

目前類似的比賽正在國際間各大學不斷的被舉辦著，而競賽最主要的目的在於培養學生在衛星設計上基本的觀念，並由學生嘗試自行設計及製造衛星，藉由研討會的舉辦進行互相交流。

四、我國衛星科技之發展

我國在衛星技術上的發展，可以說是從民國 80 年 10 月行政院院會通過「國家太空科技發展長程計畫」，並成立「國家太空計畫室籌備處」開始。「國家太空科技發展長程計畫(簡稱十五年計畫)」之首要目標在於建立我國太空科技基礎架構和系統工程能力，因應國內外環境變遷及評估計畫執行成效以策進未來發展，逐步發展衛星與地面系統、次系統和部份零組件之技術能力，積極培養太空科技人才，充份運用太空科技資源，提昇我國太

Partner Institutions	University of Tokyo Tokyo Institute of Technology Stanford University Santa Clara University University of Hawaii University of Texas, and others
Mission Statement	Students design, build, launch, operate Cansat by JUSTSAP '99
Technical Concept	Mass Volume : limited by size of COKE can
Experiment Timeline	1 year + operations (1 day to 1 year)
Payload	University choice
Ground Segment	University amateur satellite stations
Program Management	Division of responsibilities . to be determined Estimated schedule : . launch by Oct. '99 . operate at JUSTSAP '99
Launch Strategy	lean on JPL and NASA
Funding	Cost per Sat > 1,000 US\$ Source . bake sale, others

表 6.
CanSat 任務概念⁽²⁾。

空科學和技術水準，培植具高品質、高可靠度能力之太空相關產業，以服務社會大眾。「十五年長程計畫」原則上是以衛星本體及其應用技術之研究為主，以帶動相關之基礎及應用科學研究為輔。

在太空計畫執行的十五年內，除了進行研製及發射不同任務與軌道的衛星，還要建立並運用資源衛星接收站，以接收及處理國內外資源衛星訊號；建立具有遙傳、追蹤及指令 (TT&C) 能力的地面站。⁽⁵⁾

目前太空計畫室正在進行的衛星計畫有三個，分別為華衛一號、二號及三號，而華衛一號已經於民國 88 年 1 月 27 日在美國佛羅里達州卡那維爾角 (Cape Canaveral) 美東發射場由洛克希德馬丁一型載具 (ATHENA-1/LMLV1) 發射升空。

與世界先進國家相比，我國投入太空科技發展的歷史可說不長，但是在短短的幾年之間，也成功的發射一顆屬於自己的衛星，而二號及三號衛星的計畫也正如火如荼的進行中，這些成果仰賴著許多人共同的努力，其成就是不容輕易抹煞的。然而，相較於世界各國不斷地投入衛星科技領域的開發，我國在太空科技的參與及貢獻仍稍嫌不足，還可以

加強努力的地方尚有很多。

五、結語

綜觀國際間目前正在發展中或未來規劃發展的微小衛星，其功能已逐漸能追上以往的小衛星或中大型衛星，不論是在遙測、通訊或是科學實驗，微小衛星都提供了一個相當適合的平台；微小衛星最適合用來進行儀器驗證、新技術的測試。此外，由於微小衛星的開發成本極低，使得微小衛星對太空系統工程人才的培養也會有很大的幫助。

在我國發展太空科技這 10 年來的過程中，確實已經累積了相當多的經驗與技術，這些累積的能量，如果因為 15 年太空計畫的結束而無法延續下去，對我國太空科技的發展將是一個重重的打擊！太空科技是各個國家科技發展的指標，在許多國家都將發展微小衛星納入國家發展計畫之中的同時，台灣將在其中扮演何等角色，將由我們自己來決定。

我國電子電機相關產業的技術，在世界上已經有一定的地位，但傳統的機械加工業卻極待升級，

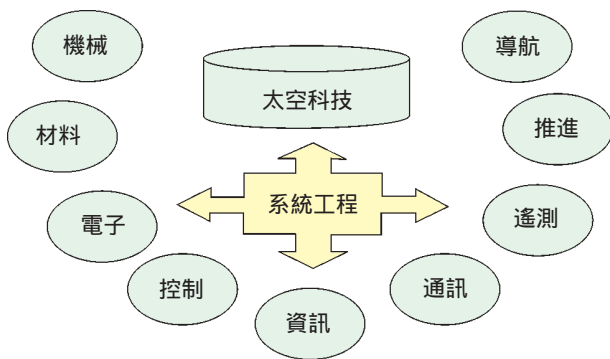


圖 11. 太空科技之相關技術領域與系統工程之關係。

放眼未來，勢必應將我國的產業結構定義在技術研發及精密製造的方向，而微小衛星的发展正可對此一方向有極為正面的幫助。

衛星是一項整合性的科技，其所包含及應用的領域非常的廣，舉凡機械、材料、電子、控制、資

訊、通訊、遙測、推進及導航等都與衛星有很大的關係（圖 11），也因此衛星科技的发展對國家整體科技等級的提昇將會有極大的幫助，而系統工程在其間扮演的角色，對我國將來在不同科技層面上的整合想必也會有相當的助益。

參考文獻

1. Surrey Space Technology Ltd., <http://www.sstl.co.uk/>.
2. Stanford Space Development Lab., <http://ssdl.stanford.edu/aa/>.
3. Korea Advanced Institute of Science and Technology, <http://www.kaist.ac.kr/>.
4. http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/cansat/r_index.html.
5. 國科會太空計畫室, <http://www.nspo.gov.tw/>.
6. 苗君易, 造衛星科技需求調查, 國科會工程科技推廣中心.
7. 蕭飛賓, 人造衛星科技與應用, 省立台中圖書館科學知識, 第 36 期, 11.
8. 蕭飛賓, 劉惠平, 范國俊, 赴歐洲進行 Bird 微衛星數據接收與分析、衛星本體及航太科技技術討論 (NSC 87-I-2911-12) (1998).