

第11章 九州の宇宙開発

九州航空宇宙開発推進協議会

幹事長 八坂 哲雄

Space Development Activities in Kyushu

Tetsuo Yasaka

Council for the Promotion of Aerospace Development in Kyushu

ABSTRACT Japanese space launch sites are located in southern Kyushu. In spite of these spectacular facilities, space industry activity in Kyushu is far behind of those in other portion of Japan. Although strong space industries are very few, small satellite developments are recently undertaken by universities, with a strong tie with local small industries. COPAD is in a position of coordinating and promoting these activities. These activities are reviewed including some of peculiar items developed in the small satellite projects.

1. はじめに

種子島、内之浦というロケット打上基地が存在する九州は、日本における宇宙への門口であるといえる。しかし、宇宙産業という立場から言えば、九州は後進地域である。九州から打ち上げられるロケット、人工衛星のどちらも九州以外の地で造られて九州の地へ送られてくる。人工衛星が運用に入ったときでも、九州の企業や研究所がその結果を積極的に利用する例は少ない。宇宙開発に関与した実績のある企業はただ1社があるのみといった状況で、九州で宇宙への出発という最終段階を迎える宇宙開発の波及効果は、九州域内には限定的である。一方、九州域内の一般企業にとって、宇宙は大きな魅力を抱えた対象と写り、参入の機会があれば是非とも捕まえたいとの意欲と希望は、特に中小企業の中に多い。

域内の宇宙開発の核として期待されているのは、大学である。小型衛星、あるいはその利用形態を対象とした研究・開発を行っている大学が各地に存在している。大学の活動は地域の企業と密接に関連している。企業としては、利潤とは直接リンクしないまでも企業の宇宙に対する夢に近づくことを意味し、大学にとっては企業に蓄積された優秀な製造技術を利用することができる。大学で開発した新しい技術は積極的に企業に開示され、衛星開発に使うだけでなく、一般的な利用を促進している。

域内の宇宙活動を推進する組織的母体として、九州航空宇宙開発推進協議会（九航協）がある。産学官からなる九航協は、地域に航空宇宙産業の育成誘致を目的としており、大学を中心とした宇宙活動に地域企業の参加を促す役割を果たしている。

2. 大学における宇宙開発の実践

2.1 九州大学

九州大学では 1994 年ごろから宇宙関係の研究が本格化した。当初から、スペース・デブリの研究で宇宙利用の在り方を考えることと、小型衛星に向けた技術開発の両面で日本の先導的役割を果たしてきた。

スペース・デブリの研究ではわが国の大学としてほとんど唯一の存在であるだけでなく、国のスペース・デブリ関連の政策策定にもユニークな寄与を果たしている。デブリ研究は、国際的にも、観測、モデリング、防御、環境保全の 4 分野からなる。観測と防御は宇宙ステーションの安全設計に関連して、国レベルの活動が主体である。九州大学ではモデリングに力を注ぎ、その結果を環境保全につなげることを行ってきた。そのため、世界各国で収集されたデブリや衛星のデータを元に、独特の手法でデブリ環境の推移を推定してきた（図 1）。スペース・デブリは宇宙のごみとも言われて、ロケットの残骸や寿命を終えた人工衛星などからなると思われている。しかし、実際に問題となる環境を作り出している

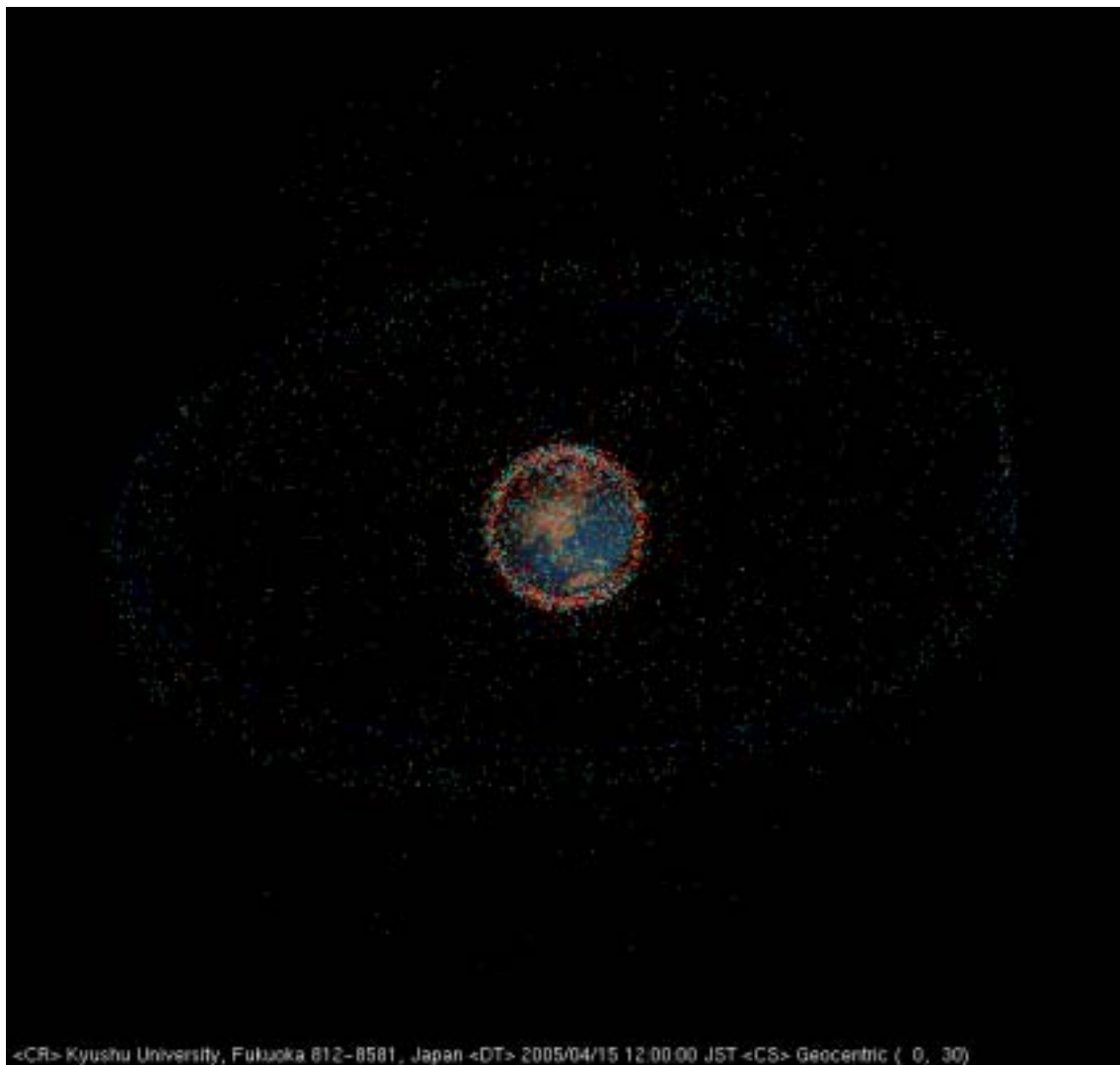


図 1 . スペース・デブリの分布

のは、ロケット、衛星自体よりは、それらが破壊されてできた多くの破片である。現在カタログ化されている宇宙物体の半数はこのような破片である。カタログは地上のレーダーと望遠鏡で観測した物体を整理したものであるが、観測の技術的制約からサイズとしては10cm（静止軌道では1m）が限界である。ロケットや衛星は10cmよりはるかに大きい、破片ではそれより小さなものが桁違いに多く存在している。実際に宇宙を危険な環境としているのは破片であるといえる。九州大学では、爆発や衝突で発生する破片の性格を実験と理論で明らかにしてきた。数、大きさの分布、放出速度を推定する独特のモデルを作り、実験で採取された破片の実測とあわせている。高速のガンを生試体に衝突させる実験は九州大学以外でも各所で行われている。その目的とするところは宇宙ステーションなどの宇宙の建造物が被害を受けないようなシールドを開発することである。九州大学では、破壊された板や小型衛星の破片を細かなものまで採取することが特徴で、世界的にもユニークなデータを蓄積し、破片生成の数学モデルを構築している。爆発や衝突の確率的発生と、それによってさらに生成する破片を予測し、百年以上の将来にわたって、デブリ環境がどのように推移するかを予測できるようになった。九州大学が静止軌道のデブリ環境推移モデルを作ったのは世界で最も早かったと考えられている。より低い軌道の環境モデルに関しては、NASAとESAが宇宙での観測データなどを駆使して早くからきわめて精密なものを作っているが、九州大学の破片生成のモデルはNASAにも注目されており、一部にそれが取り込まれている。

小型衛星に関しては、1990年代中ごろからテザー衛星に焦点をあわせて研究されてきた。テザー衛星は、複数の衛星を細い紐で結んだもので、衛星の軌道を変えたり、物資を違う高度に運搬したり、異なる高度における物理現象の同時観測を行ったり、さらにはきわめて大きな（数千kmもの）構築物を宇宙に設置するなど、ユニークな利用法が考えられる。九州大学は長さ2kmの紐で2つの衛星を結んだシステム、「QTEX」(Q-syu Tether Experiment)の実証を目的とした(図2)。この中で、衛星自体の設計試作、テザーを繰り出す機構の開



図2. テザー衛星 QTEX 外観

発とダイナミクスの研究を進めた。2005年頃になると、小型衛星が具体的に打ち上げる可能性が高まったことを受けて、まずは単体の衛星を打ち上げるべく研究の焦点を絞ることとなった。JAXAが相乗り衛星の公募を行った時点で、科学観測ミッションを取り込んで九州大学理学部、九州工業大学、福岡工業大学とともに、オーロラ帯磁化プラズマ観測衛星「QSAT」の開発にシフトした(図3)。2008年度打ち上げの選には漏れたが、現在もこの衛星の完成に向けた活動を行っている(文献1)。

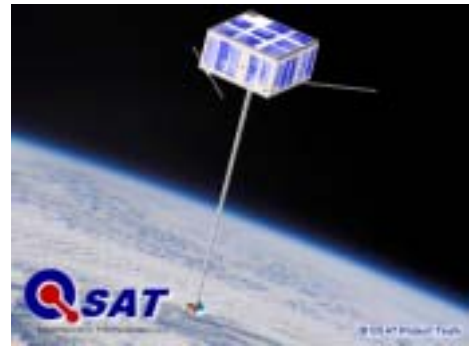


図3．QSAT

2.2 九州工業大学

日本の人工衛星の地上試験では九州工業大学は特異な位置づけにある。高度2000km以下のいわゆる低軌道衛星は、きわめて薄いながらも大気の中を航行している。この大気は電離してプラズマとなっており、人工衛星には電子やイオンが降り注ぐ。そのため、太陽電池など、外部機器は帯電し、場合によっては放電を起こして絶縁破壊などの故障を引き起こす可能性がある。実際、日本の地球観測衛星「みどり」の故障はこのような原因によると推定されている。九州工業大学の「宇宙環境技術研究センター(La SEINE)」は、希薄プラズマ環境を模擬する装置を設置して、このような現象を深く研究してきた。「みどり」などの故障原因解明にあたっては、九州工業大学の研究蓄積が貴重な貢献をした。最近の衛星では、この装置によって地上試験を行い、帯電、絶縁破壊などが発生しないことを確かめてから打ち上げることが通例となってきた(図4)。さらに最近では、このような試験プロセスをISOに提示して、国際標準として採用された。実験だけでなく、帯電現象を解析するソフトウェアMUSCSATを作り、スピンオフしたベンチャー企業MUSCUTを通して販売を行っ



図4．九州工業大学、宇宙環境技術センターの施設

ている。当研究センターは、帯電・放電現象だけでなく、デブリなどの超高速衝突現象、宇宙材料の表面劣化現象、ならびに、それらに関連した基礎研究を実施してわが国のみならず世界でもユニークな存

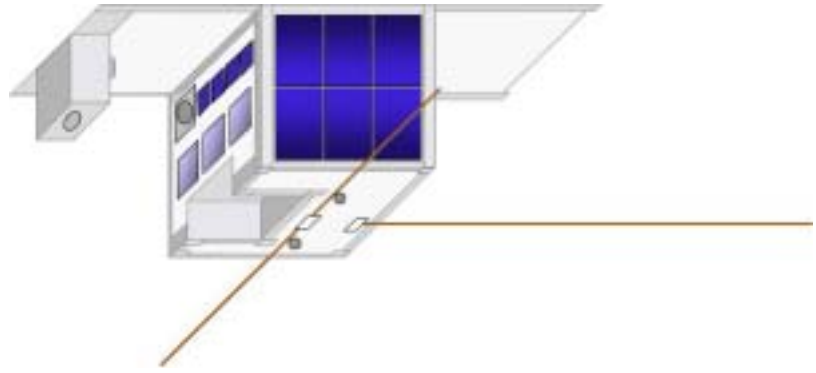


図5．九州工業大学の小型衛星「鳳龍」

在となりつつある。さらに、大学としては、このセンター以外にも、宇宙工学コースのなかで、ダイナミクス、燃焼、構造など全般的な教育研究が実施されている。学生の活動としては、大学創立100周年を祝うプロジェクトとして位置づけている「鳳龍」プロジェクトがある(図5)。これは、衛星の表面材料が宇宙環境に暴露される際の表面劣化の様子を映像として地上に送信することを狙った超小型衛星である。

2.3 佐賀大学

佐賀大学の「持続的地球環境リモートセンシング研究施設 (Superior)」では、各種の地球観測衛星からのデータを受信、解析したうえ、ユーザーへの配布を行っている(図6)。気候変動、地球温暖化、オゾン層破壊、砂漠化、森林破壊、酸性雨、海洋汚染などの環境破壊の進行と、これに伴う自然災害の拡大が世界的に問題となっている。地球環境破壊メカニズム解明のためにこのような現象をモニターする方法として、地球環境観測衛星が強力な手段を提供する。当研究施設では、Terra, Aqua, Oceansat, NOAAの各衛星からのデータを受信し、その解析を行っている。これら受信データは、受信後2時間以内に、海面温度、海上風速、水蒸気量などの物理量に変換され、これらを必要としている機関に配信し、漁業、気象、農林業などの用途に供されている。そのほか、植生指標、クロロフィル濃度、懸濁物質、地表面温度、エアロゾルの光学的厚さなど、20種類以上の物理量を高い精度で推定していることが特徴である。海流の変化や漁獲量の減少が問題となっている有明海に近いことから、このようなデータは、地域としても利用価値が高いと評価されている。

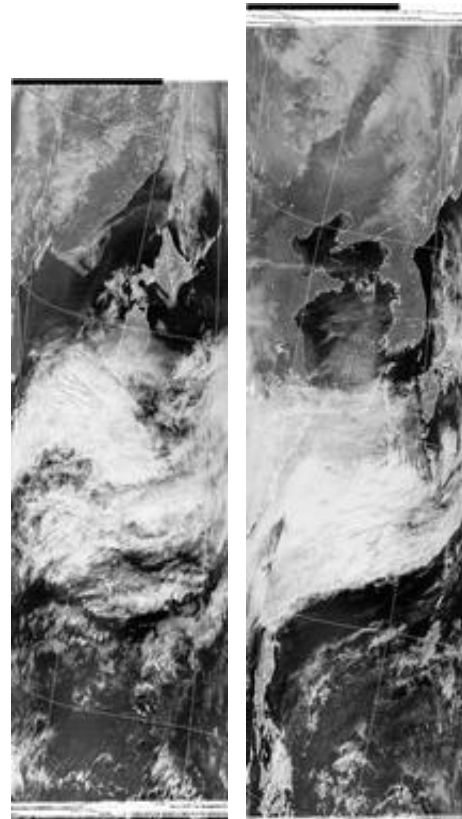


図6．佐賀大学、Superiorによる衛星画像処理の例

2.4 鹿児島大学

鹿児島大学理学部では、衛星からのマイクロ波を受信し、電波の通路にあたる大気層の水蒸気量を測定する研究がなされている。雲の観測と異なり、水蒸気の観測は他に手段がない。局地的な大気水蒸気の分布と時間変化を高感度で測定することは、雲が生成される以前に気象変化の前哨を把握することにつながり、集中豪雨などの気象災害が多発する南部九州として意味がある。このような観点から、最適な周波数(10GHz帯)のマイクロ波を送信する自前の衛星、「Ksat」を打ち上げることを目的に、大気水蒸気観測衛星プロジェクトが発足した。一遍10cmのCubeSatクラスの衛星に姿勢制御用ブームを配した独特の形状をしている(図7)。鹿児島では打ち上げ基地があることに加え、新たな意義をもたらすプロジェクトの出現として認められ、地域の強い支援を得ている。小型のマイクロ波送信機をはじめとして、衛星を構成する機器の開発は九州域の企業を巻き込んで精力的に行われている。



図7 . 鹿児島大学の Ksat

3. 九航協の足跡と役割(文献2)

1991年に開催された「九州地方知事会と九経連との第6回意見交換会」において、九州地域における航空宇宙産業の振興を図るためには、組織的かつ積極的な取り組みを行うための一体的な推進組織を早急に設立する必要があるとの報告がなされ、地域の産学官からなる協議会組織として1992年に「九州航空宇宙開発推進協議会(九航協)」が設置された。組織構成は、正会員として九州・沖縄8県と福岡、北九州の2政令指定都市、経済団体および企業から成っている。また特別会員として域内の大学や学識経験者が参画し、役員に各県知事・市長、企業の代表および大学の学長が就任している。九航協の目的は、「わが国における航空宇宙開発の促進、当地域における航空宇宙関連産業の振興、宇宙開発拠点の形成、関連実験・試験・研究・訓練機関等の建設誘致等を促進して、地域産業経済の発展に寄与すること」である。この目的を達成するために行う事業として、(1) 政府等に対す

る要望事業、(2) 調査・研究事業、(3) 航空宇宙関連産業、宇宙環境利用産業等の域内誘致事業、(4) 航空宇宙開発に関する普及・啓発事業、(5) その他必要な事業の5つが掲げられた。

要望活動として、航空宇宙関連予算の確保、射場の基盤整備、小型衛星の打ち上げ制度の確立などを関係機関へ働きかけ、近年では「第三期科学技術基本計画」に国家基幹技術としての宇宙産業が位置づけられたこと、小型衛星のピギーバック打ち上げに係る制度がJAXAによって確立されたこと、などが成果としてあげられる。調査・研究活動においては、「九州地球観測情報センター」構想策定調査や、「九州航空宇宙開発プロジェクト実現化調査」、宇宙往還機用飛行場及び支援センターについての検討が行われ、特に地球観測に関する情報を提供する「仮想・九州地球観測情報センター」については実際に開設されるに至っている。普及啓発活動については、航空宇宙関連分野において積極的な活動をされている著名人を招いた講演会の開催や、小中学生を対象としたロケット製作教室の開催、大学・高専の学生を対象とした種子島ロケットコンテスト等を開催している。しかしながら、最も重点をおくべき誘致事業については、結果的に期待に応えられていないのが現状である。

設立10年目の節目である2001年に、これまでの九航協の取り組みを再検証した結果、それ以降の活動において重点的とする事業として、小型衛星の開発、種子島打上げ施設及び周辺環境の整備、などが選定された。

打上げ施設に関しては、H-IIA ロケットの民間移管を踏まえて、地元ならびに客の立場の意見を取りまとめ、将来の商用打ち上げを盛んにするための施設面の改善項目をまとめた。また、種子島と内之浦を一体化した運営、韓国などの打上需要を取り込むなどの国際化の重要性をも論じた。これらを諸官庁、宇宙開発機関などに示した。

小型衛星の活動は、「九州エアロスペーステクノロジーデータベースの構築」を目的としたワーキンググループの活動の中から具体化した経緯がある。すなわち、九州域内の団体、組織のエアロスペースに関する実績とポテンシャルを調べる中で、企業としては自分の持つ技術がエアロスペースに適用可能かどうか、自ら判断しかねるという実態が明らかになった。そこで、九州大学で実施中の小型衛星の実態を示し、その中で衛星を構成する具体的な技術に対し、それぞれの企業が適用可能な技術を持っているかどうかを判断してもらうこととした。このような調査の過程で、衛星開発に興味とポテンシャルを持つ企業が大変多いことがわかった。そこで、九州大学の小型衛星を取り巻く企業群を組織した研究会 - QPS 研究会 - ができ、九航協はこれを支援することとなった。QPS 研究会には九州地域に限らず全国から約200名の会員が集まり、小型衛星の成果発表、技術の討論と交流を行った。また、この会員は、九州大学の小型衛星 QTEX の開発に協力し、衛星コンポーネントのエンジニアリングモデル製作にあたった。

2005 年ごろから、九航協は九州域の宇宙開発を総合的に推進するためのさらに広い範囲を含めた組織の検討を行った。その中では、宇宙開発を専門にする中核組織を設立する考えもあったが、結局は九航協の中に「九州宇宙利用プロジェクト創出研究会」を設け、地域や国に対して魅力ある宇宙利用プロジェクトを提案することを目的とした。この研究会は、小型衛星、宇宙環境、宇宙利用の3つのグループからなる（図8）。

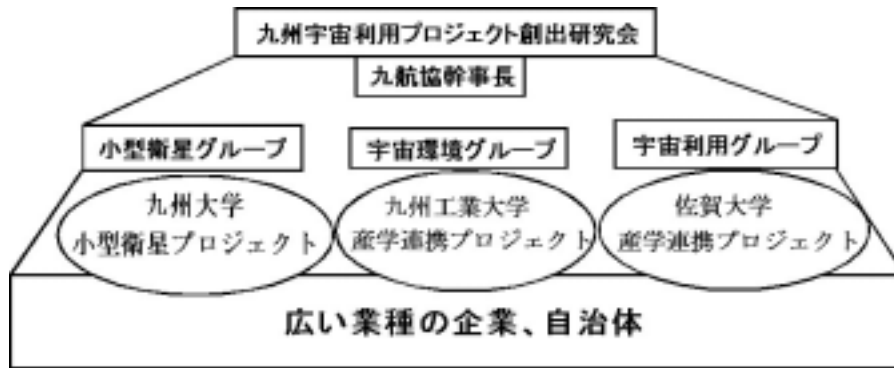


図8 . 九州宇宙利用プロジェクト創出研究会

小型衛星グループは、従来のQPS研究会を受け継ぐものであるが、九州大学の衛星に限らず、域内の他の小型衛星プロジェクトをも包含するものである。宇宙環境グループは軌道上での帯電・放電、材料劣化などを中心とした検討の中から、新たな部品材料の開発と宇宙実証を目指すもの。宇宙利用グループは、小型衛星を使うミッションと、ビジネスモデルを検討するもの。3つのグループは有機的に関連しているので、適宜ジョイントの研究会を持って魅力あるプロジェクトを見出そうとするものである。九航協では平成19年度中に成果を取りまとめ、今後の方向性を見出すことを狙っている。

4. 特色ある成果

九州域の小型衛星プロジェクトの中で、いくつかの特色ある技術が開発された。基本的には大学が衛星のシステムとコンポーネントの構成を考え、バラックモデルを使って機能を確認する。フライト用コンポーネントの製作は、高い工作技術を持つ企業に依存するのが通例である。地域内の中小企業を中心として、衛星開発に意欲をもつ企業に大学から技術を開示し、製作したコンポーネントは大学で試験をしてフライトに供することとなる。企業は民生部品で培った技術を宇宙用部品に適用し、試験の結果をフィードバックすることによって、宇宙用機器がどのような特性を要求されるかを理解することができる。いまや、九州域の中小企業は、宇宙用部品を製作するのに十分な技術力を持つことが明確となっている。

4.1 CANバスを用いた分散型バスシステム（文献3）

衛星を構成する電力制御、姿勢検出、姿勢制御、熱制御、通信、その他観測機器など、各ユニット間の情報交換には、CANバスを用いた分散型バスシステムを開発した。これは、

以前より九州大学の無人航空機プロジェクトで開発した、H8MPC を用いた Quartet と称する電子基板を基本としている。Quartet 基板は A/D コンバーター、電圧変換機能、CAN 通信ポートを持つ。九大の QTEX では、Quartet を贅沢に、ふんだんに使い、一つのユニットには、そのユニットに固有のローカル基板と、管理基板として一枚の Quartet 基板を組み合わせて持たせた(図9)。この基板は、センサーのデータ収集などユニット固有の機能をサポートし、バスとはそのままつながる。そのため、ユニットの開発担当学生は機能チェック、デバックを他のシステムとは独立に行うことができ、開発効率が上がった。この基板は、衛星用に限らず、一般民生用機器にも適用範囲を広げている。

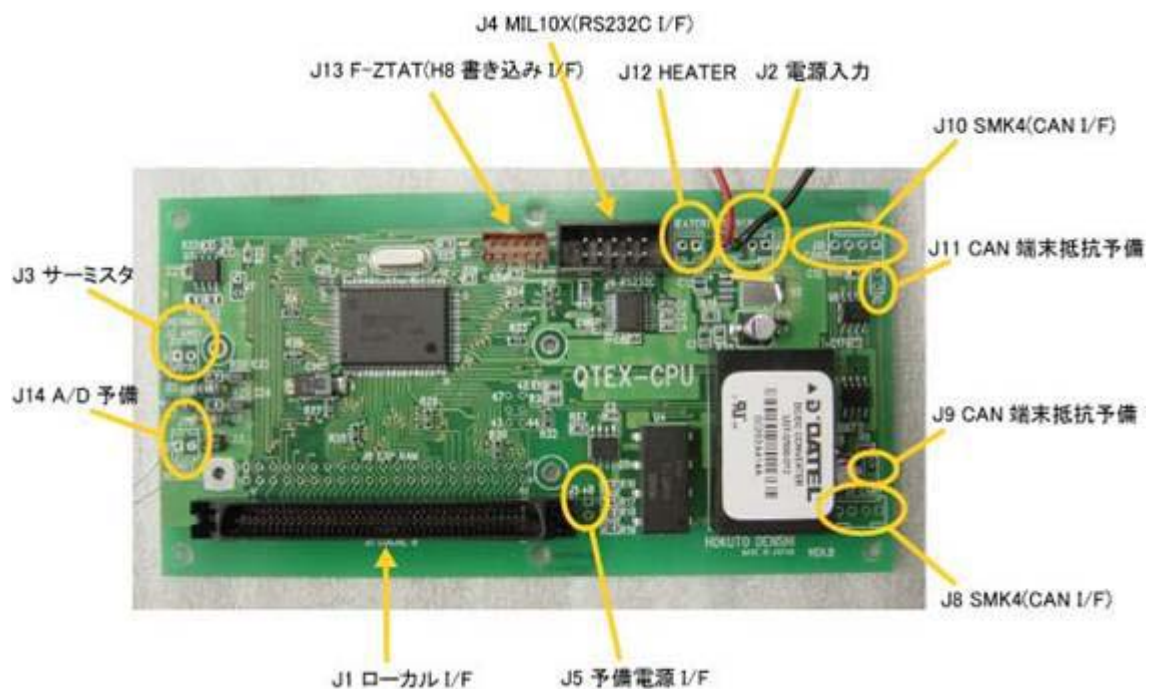


図9 . QTEX 用管理基板

4.2 伸展ブーム (文献4)

衛星には姿勢制御、センサーの設置などの用途で、伸展ブームを必要とすることがまれではない。通常はばね材をコンパクトに収納し、軌道上で伸ばす形式が多いが、剛性と形状安定性に問題がある。そこで、釣り竿形式のパイプを伸ばす方式を考案し、マイクロモーターで適切な剛性を持つケーブルを送り出し、釣り竿の内部部材を押し出すことで伸展ブームを形成した(図10)。パイプには釣り竿メ



図10 . 伸展ブーム

ーカー、押し出し機構には自動車の自動伸展マストのメーカーの協力を得ている。また、モーターとしては、直流モーターを用いるものに加え、超音波モーターを用いるものも開発した。釣り竿や自動車伸展マストのように、わが国の独特の技術を持つメーカーをグループに加えて軽量、高剛性の宇宙用伸展ブームが実現できた。

4.3 非火薬式分離機構（文献5）

テザー衛星「QTEX」では、軌道上で親機と子機を切り離す必要があった。これに対して比較的荷重負荷の小さい分離機構が必要となり、非火薬式の機構が開発された。これは、50 kg 級衛星をロケットに搭載する際の固定・分離機構としても利用できる（図11）。

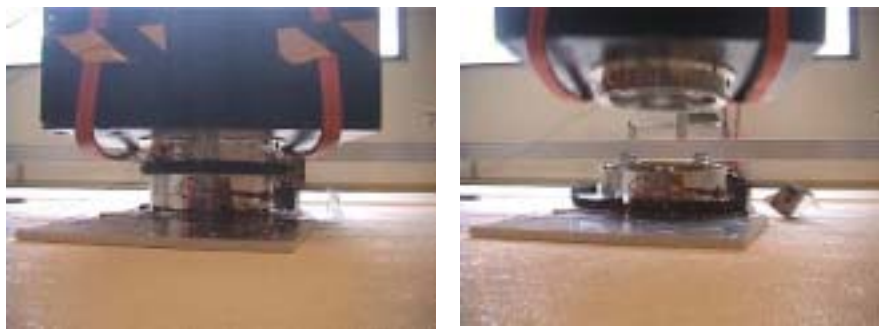


図11. 非火薬分離装置による衛星分離試験

ロケットと衛星の分離に多用されているマルマンバンド方式であるが、通常は火薬を使った分離ボルトに換えて、電動機駆動のカムでバンド端の台形歯型を固定する形式である。バンドの端部の歯形はカムで押さえられて、バンドの張力に耐える。カムを動作させることによって歯形の押さえを除去し、分離が実現させる。火薬方式に比べてきわめて安価、安全であり、加えて複数回の使用が可能で、飛翔前試験を実機で行うことができる利点がある。さらに、分離に伴う衝撃レベルは、火薬式に比べて一桁小さく、特に小型衛星への適用には好ましい分離機構である。

4.4 新しい検出方法による磁力計（文献6）

現在、磁界の測定には宇宙用に限らず地上、船舶などにも広くフラックスゲート型磁力計が用いられている。ところが、フラックスゲート型磁力計は、その原理上磁力計自身が大きな磁界を発生する。QSATは微細な磁力を測定するミッションを持ち、磁力計自身の磁気擾乱は好ましくない。これに対し、磁気ブリッジを検出回路とする新しい形式を考案し、現在開発の最終段階にある（図12）。この磁力計は、ブリッジによって外部磁界を検出するため、検出回路の励磁レベルが小さく、フラックスゲート型より擾乱が小さいだけでなく、検出感度も高い

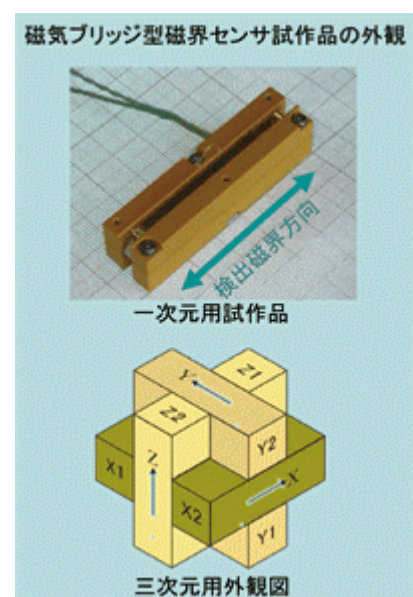


図12. 磁気ブリッジによる磁界センサー

ことが特徴である。小型衛星に搭載して宇宙実証すれば、将来の惑星探査を含めて広く磁気測定を伴う多くのミッションに適用できるものである。

4.5 Ku 帯無線送信機 (文献 7)

小型衛星には 144/430MHz 帯のアマチュアバンドが多用されている。しかし、鹿児島プロジェクトでは、衛星から 10GHz 以上の Ku 帯電波を放射する必要がある。Ku 帯は放送衛星や通信衛星に用いられているが、これらの送信機は小型衛星に搭載するには大きさ、消費電力、さらには価格の面から無理がある。そこで、サイズが 10cm 級の鹿児島衛星にも搭載できる小型送信機が開発された(図 13)。用いる部品は全て民生品であり、独特のマイクロ波回路技術によって、10cm 級衛星にも搭載できるように構成した。電力増幅は GaAs の MMIC で構成され、出力は最大 2W である。デバイスの調整により、11 - 26GHz の間の周波数に対応できる回路構成であり、今後、小型衛星のミッションが多様化することに伴って生じると予想される高周波化の需要に応えることができるものであると考えられる。



図 13 . Ku 帯マイクロ波送信機

5. むすび

九州の宇宙開発は、国によるロケット打ち上げ事業が種子島、内之浦で行われている一方、別途いくつもの大学が企業と密接な関係を持って小型衛星を対象に進められている。これには、産学官の組織である九航協が全体的な推進母体としての役割を果たしている。しかし、本年夏に予定される JAXA の H-IIA 相乗りプログラムに選定された衛星はなく、確定した衛星打ち上げ予定はまだない。大学と地方企業の連携は、九州に限らず、日本各地で行われている小型衛星の開発に共通する図式である。しかし、早くから元気な開発を行っている東大阪や北海道と異なるところは、プロジェクトを強力に引っ張る企業側体制がないことである。このように、小型衛星の活動を取り上げると、日本の他の地域に比べて派手さはなく、表立った盛り上がりにも欠けているかに見える。しかしながら、大学と企業の連携は地道に実力を蓄えつつあり、独自の技術をもって宇宙事業への参入の可能性は高い。九航協を中心とした推進体制の強化が望まれている。

文献

- 1) 花田俊也、中島昭二、桜井晃、船越国弘、「目指せ九州発の小型衛星：九州小型衛星の会の紹介」第51回宇宙科学技術連合講演会 2 B07、2007年11月
- 2) 真次一満、荒木三喜、八坂哲雄、「九州地域における宇宙開発の状況」第50回宇宙科学技術連合講演会 3 A14、2006年11月
- 3) 桜井晃「CANバスを用いた分散型バスシステム」日本航空宇宙学会西部支部講演会(2007)、OS-6、2007年11月
- 4) 中島昭二、船越国弘、吉田公一、藤村光男「小型衛星用伸展ブームの開発」日本航空宇宙学会西部支部講演会(2007)、OS-10、2007年11月
- 5) 川島徳夫「超小型人工衛星用低衝撃・非火薬分離装置の開発」日本航空宇宙学会西部支部講演会(2007)、OS-11、2007年11月
- 6) 忠津孝「微小磁界の新しい検出方法による宇宙用磁力計の開発」日本航空宇宙学会西部支部講演会(2007)、OS-7、2007年11月
- 7) 西尾正則、時藤勉「民生用部品を使用した超小型衛星搭載用Ku帯送信機の開発」日本航空宇宙学会西部支部講演会(2007)、OS-8、2007年11月