

2001 年度
「小型衛星に係るコミュニティの運営」成果報告書

目次

第 1 章	はじめに.....	1
1.1	大学衛星コンソーシアムの趣旨	1
1.2	組織と活動の概要.....	1
1.3	今年度の活動報告.....	1
第 2 章	世界の小型衛星の現状と宇宙工学教育	3
2.1	大学主体の小型衛星ミッション	3
2.2	小型衛星技術の開発戦略.....	3
2.3	小型衛星の特徴と重要な技術.....	5
2.4	小型衛星を利用した宇宙工学教育.....	7
第 3 章	CanSat計画.....	8
3.1	CanSat計画の概要とARLISS実験.....	8
3.2	CanSat計画の意義.....	9
第 4 章	一般プロジェクト支援成果	10
第 5 章	大学宇宙システムシンポジウム	11
5.1	USSS (University Space System Symposium)の概要.....	11
5.2	USSSの将来展望について.....	12
第 6 章	小型衛星ワークショップ成果報告	14
6.1	大学の小型衛星プロジェクトの現状（各大学の発表より）	14
6.2	各技術分野の問題と戦略（サブシステム討議の成果）	17
6.3	将来に向けてのインフラ整備について.....	21
第 7 章	まとめ	24

第1章 はじめに

1.1 大学衛星コンソーシアムの趣旨

本報告書は、平成13年7月に発足した「大学衛星コンソーシアム」の初年度の活動をまとめたものである。本コンソーシアムは、大学・高専の学生による手作り衛星をはじめとする宇宙工学活動を支援し、それをもとに小型衛星の新しい可能性を追求するコミュニティである。大学教官などから構成される運営委員会（日本航空宇宙学会傘下の受託委員会）の運営のもと、宇宙機関及び企業の協力を集め、積極的に衛星プロジェクトにチャレンジする学生を技術的・資金的・設備的・精神的にサポートする。その活動を通し、宇宙工学における人材教育、小型衛星分野における技術やミッションの発掘と向上、国際協力を展開することを目的にしている。

1.2 組織と活動の概要

上記の目的を達成するため、大学衛星コンソーシアムでは以下の活動を行う。

- (1) 大学の衛星プロジェクトへの資金援助
- (2) 宇宙機関・メーカーと大学間の技術協力の窓口
- (3) 研究・技術交流会の実施
- (4) 衛星用機器の共同開発・一括購入のアレンジメント
- (5) 衛星に関わる法的な問題の相談受け付け
- (6) USSS (University Space Systems Symposium)等への派遣援助
- (7) 報告書の取りまとめ
- (8) 情報の発信
- (9) 共同研究等の斡旋
- (10) その他、ボード委員会のアレンジメント、メンバーシップ業務、予算・決算など組織の運営に関する種々の作業

1.3 今年度の活動報告

大学衛星コンソーシアムは今年度、以下の活動を行った。

○平成13年7月まで

大学衛星コンソーシアムの趣旨、方針、組織に関する基礎検討
宇宙開発事業団との契約に向けての事業計画案・予算案等の調整

- 7月16日 大学衛星コンソーシアム発足
(日本航空宇宙学会と宇宙開発事業団間での受託研究契約の締結日)
- 7月20日 ホームページの立ち上げ
<http://unisat.space.t.u-tokyo.ac.jp> 参照
- 7月16日～24日 第1回運営委員会(電子メール会議)
 - ・組織の形態と運営方法に関する討議
 - ・今年度の活動に関する討議
- 8月24日～26日 CanSat 実験派遣支援
 - ・30万円+CanSat 数×7万円、最大50万円までの支援を行う。
 - ・支援対象大学： 日大、東大、東工大、創価大、九大 (5大学)
- 9月10日～9月19日 第2回運営委員会(電子メール会議)
 - ・USSS(大学宇宙システムシンポジウム)への派遣支援の方針に関する討議
 - ・一般プロジェクトの募集・審査方法についての討議
 - ・ワークショップの開催方針に関する討議
- 10月9日～10月22日 一般プロジェクト支援のプロポーザル募集期間
 - ・4大学からのプロポーザル応募(うち1大学はキャンセル)があった。
- 10月23日～11月13日 一般プロジェクト支援プロポーザルの審査
 - ・10月23日 プロポーザルの審査委員への発送
 - ・11月13日 審査委員会(スペースライン会議室にて)
 - ・東京工大(CubeSat)380万円、東大(CubeSat)120万円 の授与決定
- 10月30日から11月16日 第3回運営委員会(電子メール会議)
 - ・衛星設計コンテストと大学衛星コンソーシアムの活動のリンクについて
- 11月10日～11月12日 USSS(大学宇宙システムシンポジウム)派遣支援
 - ・1人10万円 1大学最大30万円まで支援
 - ・支援対象： 北海道工大、東北大、日大、東大、東工大、創価大、九大 (7大学)
- 12月14日 NT Space よりの廃棄品の提供に関する打ち合わせ
- 12月19日～20日 小型衛星ワークショップ開催
 - ・学生55名に旅費、宿泊費援助 参加者： 124名
- 12月20日 第4回運営委員会(NASDAつくば内の会議室にて)
 - ・本年度の活動報告と反省
 - ・ロケットグループとの活動協力についての討議
 - ・今後の活動指針についての討議
 - ・報告書のまとめ方についての討議
- 平成14年1月4日～1月18日 第5回運営委員会(電子メール会議)
 - ・ロケットグループとの活動協力について
- 1月20日 報告書原稿締め切り

○2月4日 ロケットグループとの協働に関する連絡会議

○2月20日 報告書完成

第2章 世界の小型衛星の現状と宇宙工学教育

本章では、大学主体の小型衛星ミッションの例を概観し、その技術開発戦略、教育的意義について述べる。

2.1 大学主体の小型衛星ミッション

イギリスにおいては、Surrey大学が1981年より手作りの小型衛星作りを始め、現在はSSTL (Surrey Satellite Technology Ltd.) という会社に発展し、100名をこえるスタッフを抱える組織になっている。現在までにUoSATシリーズとして14個の50kg級マイクロサットを作ってきており、最近は5kgクラスのナノサット (SNAP: Surrey Nanosatellite Application Platform) にまで挑戦している。

スタンフォード大学 SSDL(Space Systems Development Laboratory) では、SQUIRT(Stanford Quick Research Testbed)と呼ばれる衛星のプロジェクトを進めており、すでに作られて打ち上げられた Sapphire, OPAL 衛星では、多くのメーカーが技術や部品、試験装置・施設の提供をしている。また、OPAL では、大学オリジナルのミッションのほかに、Aerospace Corporation のような大手メーカーや DARPA などの開発した先進的な機器の宇宙試験がミッションとして組み込まれている。さらに、OPAL の打ち上げは Air Force の Minitour というロケットの試験機を使っており、きわめて低コストあるいは無償 (と思われる) での打ち上げを国が提供していると言える。(OPAL,SAPPHIRE の詳細は SSDL のホームページ参照 <http://aa.stanford.edu/~ssdl/about/squirt.html>) このような例はスタンフォード大学に限られたものではなく、10を超える大学に見られる状況である。

2.2 小型衛星技術の開発戦略

アメリカにおいては、国家が主体となって技術開発の舵取りを行い、国立研究所、大手メーカーに研究委託をするような、いわゆる「トップダウン型」の技術開発と、大学、ベンチャー企業が、独自のアイデアをもとに試行錯誤的に新しい技術を研究開発し、それを大学を中心とした低コストで教育目的の小型衛星上で「気軽に」宇宙実証していくという、「ボトムアップ型」の技術開発がバランスよく行われ、宇宙開発の活力を生んでいるといえる。国側も、後者の有効性をしっかりと意識しており、後者の方式でたくさんの技術シーズが自由に生まれてくることを妨げず助長し、国はその中に、国としての宇宙開発のシ

ナリオ、あるいは技術開発のロードマップに適合するものがないかを目を光らせていて、良いアイデアがあるとそれに多額の援助（Grant）を行って一気に開発に持っていく。このような政策を何年もとってきた結果、優れたアイデアと技術を持った大学、ベンチャーは成長し、宇宙開発の一翼をしっかりと担うまでに成長してきている。

小型高機能技術においては、特に、その基礎研究段階においては、アイデアの創出と試行錯誤がきわめて重要で、国家主導によるトップダウン的研究よりは、大学・ベンチャーの多くの頭脳による「多数のアイデアの創出＋自然淘汰」的な研究開発スタイルが適していると思われる。そのような種をまくために、大学・ベンチャーへの研究資金援助を広くコンスタントに行ってきた。重要なのは、宇宙関連の学科・企業だけでなく、非常に広い分野にわたってプロポーザルを集め資金援助を行っていることであり、それが宇宙開発技術の底辺を広げ、新しい技術の目が出る可能性を広げている。

小型衛星の開発においても、特に大学は、その自由な発想とフットワークの軽さ、多分野のコラボレーションがやりやすい、多くの労働力とアイデアを利用しやすい、という特徴を利用して、独自性を出している。大学においては、衛星の開発は教育の一環という位置付けであり、必ず成功してミッションを実行するものを作るというよりは、ミッションアイデアの創出、設計、製作、試験、運用のフェーズを学生に経験させることが目的であるため、失敗に対する許容度が大きい。その結果、通常の衛星ではリスクであるような先進的な技術を試すこと、民生品を使って安価に、かつ部分的には（コンピュータなどは）高機能のものを作ること、非常に短期間に（1～2年）設計から打ち上げまで行うこと、などが可能となり、宇宙開発の中で特色のある貢献を行っている。たとえば、これらは小型高機能の部品やサブシステムの迅速・安価で「気軽」なテストベンチを提供しており、大手メーカーや国研などは、研究開発中の先進的な機器を、通常の（お金のかかる）衛星に搭載して試験する（この場合は失敗はあまり許されない）前に、そのような衛星にのせてプレ試験を実施することが多い。例として、スタンフォード大学で製作し、2000年1月に打ち上げた OPAL という衛星から放出される超小型衛星（PICOSAT と呼ばれる）では、DARPA の MEMS を利用した機器の試験も行われた。大学と大手メーカー・国研は、大学がそのような衛星テストベンチを提供する代わりに、大手メーカー・国研が打ち上げ機会や部品を提供するというような、きわめて効果的な give-and-take 関係を実現していることも宇宙開発の活性化につながっている。これは、スタンフォード大のケースにも見られるが、このような例はスタンフォード大学に限られたものではなく、10を超える大学に見られる状況である。

このような大学の衛星開発を助長するため、国はこれまでいくつかの支援プログラムを用意してきたが、現在走っているものとして有名なものに、University Nanosatellite Program がある。これは、Air Force, DARPA, NASA などからの FUND を、セクションされた10の大学に分配（1大学あたり年600万円程度）して衛星を開発させ、2002年前半にスペースシャトルで（SHELS : Shuttle Hitchhiker Experiment Launch System と

いうインターフェースを利用して) 一斉に打ち上げるというプログラムである。さらに、今アメリカで非常に注目を集めている技術である **Formation Flying** を実験として行う大学には、総額 1.4 億円をその大学数で割った額が **NASA Goddard Space Flight Center** から追加支給される。1998 年、大学からのプロポーザルを受け付け、10 大学と衛星のアイデアが選抜され、すでに衛星開発が進行している状況である。衛星開発の資金援助も大事だが、打ち上げのスロットを用意してくれていることは、大学にとって大きな **Motivation** となっていることは見逃せない。

また、金銭的な支援のみならず、たとえば、NASA で廃棄品となった太陽電池等の高価な部品が大学に「学生の教育目的」という名目で寄付され、また、NASA、メーカーの試験設備も大学が比較的自由に使える、専門の技術者・科学者が大学学生の技術的相談に応じることができる環境を作っており、国を挙げて次世代の宇宙開発を支える人材育成に努力していることが印象的であった。

2.3 小型衛星の特徴と重要な技術

以上のように、小型衛星開発は国家主体の大衛星プロジェクトとは異なった特徴を有しており、それを活かして、宇宙開発に独自の貢献をすべきであると考えられる。

小型衛星の厳密な定義や区分けはないが、慣用的に「スモール (500 kg 程度まで)」「マイクロ (50 kg まで)」「ナノ (5 kg まで)」「ピコ (1 kg 未満)」のような使い分けがされており、これらを総称して小型衛星と呼ぶことが多い。

小型衛星には大型衛星でできるミッションすべてができるわけではなく、当然のことながら「住み分け」をすべきである。小型衛星に不可能ないし不向きなミッションとしては、有人関連、エネルギー関連、製造、大面積ミッションなど、ある程度の規模が必要なもの、規模が大きいほど効率が高いもの等である。通信ミッションも、静止衛星においては、大型になるほど効率が良くなる点、大型のアンテナが必要となる点などを考慮すると、小型衛星に不向きなミッションといえる。

一方、小型衛星でも可能なミッションは、おおむね、情報関連 (観測、通信、測位、実験・技術実証など) のミッションである。たとえば、観測ミッションにおいては、複数の小型衛星の同時観測や干渉計測により、大型衛星 1 個より優れた観測ができるケースもある。通信ミッションでは、複数衛星によるコンステレーションで静止衛星並みのカバレッジと通信容量をもたらすことも可能である。また、複数衛星それぞれが受信アンテナの素子の役目をするにより、空間に擬似的に大きなアンテナを広げるような監視ミッションも検討されている。これらのアイデアは、いずれも、大型衛星 1 個の機能を複数の小型衛星の協調により実現しようというものであり、逆に、フォールトトレランス性があること、漸増的なシステム構築が可能であることなど、1 個の大型衛星によるミッション実現

にはない優位さもあることから、今後の小型衛星利用法の一つの流れとなると予想される。これについては後でも述べる。

技術実証衛星としての役割も重要である。技術実証衛星は、新しく開発された技術を軌道上で実証し、実用化のための信頼性を確認することが任務である。特に産業化・商業化などを見越して今後大事になってくる点は、新しい技術が、できるだけ短いリードタイムで宇宙実証できる点であり、小型衛星の開発期間の短さ、機動性（打ち上げの容易さ）はそれに答えるものとして期待できる。ただし、現在の技術実証衛星（ETS）のようにたくさんの技術を単一衛星で実証するのではなく、たとえば、「1衛星1技術実証」のような小型衛星にあった実証の戦略が必要である。それは悪いことばかりではなく、逆に「1衛星1技術実証」を行うことにより、衛星を危険にさらすような多少革新的な技術の実証も可能になろう。

近年の小型衛星の隆盛は、小型高機能化技術の進展によるところが大きい。特に、小型衛星になればなるほど、エレクトロニクス技術のしめる比重が増えており、その発展が大きな原動力となっている。

例として、小型小消費電力で高機能の CPU の発達、太陽電池の高変換効率化、バッテリーの高効率化（単位重量あたりの容量の増大）、種々センサー・アクチュエータの小型・小消費電力化、半導体の高効率化（アンプなど）などがあげられる。これらの分野では、地上の民生品の市場を狙って小型高機能化がすさまじい勢いで進んでおり、それを宇宙転用する形で小型衛星に利用されている。宇宙用に開発した最先端技術が地上の民生品に利用されるというかつての図式がここでは逆転しており、これが近年の宇宙開発を特徴付けている。この流れは将来ますます加速されると思われ、その環境の中で今後重要になってくるのは、民生品をいかに宇宙空間で利用できるものに転用していくかの技術ないし戦略である。

以上のマイクロエレクトロニクス以外に、小型衛星用として現在研究が進められている、あるいは今後重要になってくる技術としては、次のようなものが考えられる。

- 1) マイクロマシン（MEMS）の応用：超小型のセンサー、アクチュエータ、ヒートパイプなどとして、MEMS の技術を利用する研究が進められている。MEMS を利用した弁、RF スイッチなどが開発され、宇宙実験されつつある。
- 2) 多機能構体：小型衛星の重量・容積等のリソース制約から、構体自体にも何らかの機能を埋め込む努力が進められている。例として、バッテリー、ヒートパイプ、半導体、アンテナなどと一体化した構体が開発されている。
- 3) 超小型の推進系：新しいアイデアの超小型推進系が必要である。PPT 等の超小型電気推進、インクジェットのような方式を利用した推進機（スタンフォードで開発中のコロ

イドスラスタなど)、超小型の固体モーター多数を使い捨て型に利用する推進系の案などが提案されている。

- 4) ソフトウェア技術：CPU の能力の向上により、小型衛星でも相当の情報処理ができるようになってきた。その能力を最大限発揮し、たとえば、複数衛星による協調ミッションなどを自律的にマネジメントするオンボードないし地上のソフトウェア技術が必要である。
- 5) フォーメーションフライング技術：小型衛星の能力を擬似的に拡張する方法として、フォーメーションフライング（編隊飛行）は重要な戦略である。それを実現するための技術は特に重要な技術として開発する必要がある。

2.4 小型衛星を利用した宇宙工学教育

小型衛星は、上記のような特徴とアイデア次第で広がる将来性を兼ね備えており、それをいかすことにより大学・高専等における宇宙工学教育に非常に適した題材とすることができる。特に、教育目的においては次のような貢献が期待できる。

1) 答えの用意されていない問題を解決するプロセスの経験

通常のテキストを使った教育のように、答えが用意されている問題を解かせるような教育ではなく、何も無いところから形あるものを作り出していく教育、正解はないが、その正解自体をも創造していく教育として、衛星プロジェクトは最適である。

2) 宇宙プロジェクトのミッション・アイデアの創生、ミッション計画、衛星概念計画、設計、製作、地上試験、打ち上げ、運用までの1サイクルを通しての経験

短期間に宇宙プロジェクトの全プロセスを経験することは極めて重要である。特に、設計・製作・試験したものが現実世界でいかに動作するかを見て、その結果を考察することで工学の教育は完成する。全プロセスを経験させるためには、学生が卒業するまでの1年ないし2年の間に全プロセスを終える必要があり、その意味で、開発期間の短い小型衛星は適している。また、物作りの楽しさと厳しさを体感できる点も工学教育として重要である。

これらの教育目的は、たとえば、ロボットや計算機の世界では比較的容易に実現可能であったが、莫大なコストと時間がかかるとされてきた宇宙工学においては実現が困難あるいは不可能であった。小型衛星はそれを可能にする一つの手段を提供してくれるわけである。

3) プロジェクトマネジメントやチームワークなどの経験

プロジェクトマネジメントを学生主体で行わせ、チーム作業を経験させることにより、人間、時間、コスト、リスクの管理、ドキュメントの残し方と利用の仕方、チームワークのあり方などを実践的に習得できる。これは、大規模プロジェクトになりがちな宇宙開発における人材教育として重要であるにもかかわらず、これまでは教育の手法がなかった。

このような小型衛星の教育面での利用価値にいち早く気づいた欧米では、20年程度も前から大学で小型衛星を開発する教育的プロジェクトを起こしている。その草分けは、英国のサレー大学、ドイツのブレーメン大学、アメリカのユタ州立大学・Weber 州立大学などである。

一方で、日本の欧米からの立ち遅れは、90年代当初には顕著であり、その問題意識の中から衛星設計コンテストが生まれ、一連の大学衛星に向けた活動が展開され今日の大学衛星コンソーシアムに至っている。

第3章 CanSat計画

3.1 CanSat計画の概要とARLISS実験

CANSAT 計画は Stanford 大学 Professor Twiggs により 1998 年の大学宇宙システムシンポジウム(USSS:University Space Systems Symposium, Hawaii, Nov.1998)で提案された。学生が机上での学習・研究だけでなく、ミッションの立案から、設計、製作、試験、打ち上げ、運用、結果解析までを自分の手で経験することが、宇宙開発の基礎技術や、マネジメントやチームワーク、国際協力などの大プロジェクトに必要な素養の鍛錬としてきわめて重要であるとの教育的な目的が主に謳われた。

各大学が 350 ml のジュース缶の大きさの衛星を作り、1年以内にそれを一挙に軌道に打ち上げるのが当初の計画であったが、軌道上への打ち上げ手段の確保がむずかしいことから、アマチュアロケットグループの提供する固体ロケットを使って、高度 12000 f t まで打ち上げて落下中に実験を行う計画 (ARLISS:A Rocket Launch for International Student Satellite)へと変更になり、1999年9月11日、アメリカ・ネバダ州の Black Rock 砂漠での打ち上げが行われた。重要なことは、「軌道上に打ち上げる手段がないから紙の上の検討に終わる」というのではだめで、サブオービタルであっても打ち上げ実験する環境を提供することで、はるかに質の高い教育を与えることができるという点である。作ったシステムを実際に現実の世界で動作させ、現実の世界からの評価を得て工学教育は完了するのである。

1999年、日本からは東大、東工大、アメリカからはアリゾナ州立大、ケネディミドルスクール等が参加し、各大学が1機のロケットに3個のCANSATを搭載して実験を行った。

CANSAT は 12,000ft の高度でロケットから放出されると、パラシュートを開き、地面に到達するまでの約 15～20 分の間に、衛星・地上局間の通信実験、軌道上に上げる前段階の衛星機器の実証実験などを行い、大きな成果を得ることが出来た。この成果はいくつかの学会・講演会等で発表されると同時に、読売新聞、NHK、日刊工業新聞等に取り上げられ、宇宙工学教育の一つのやり方、大学による新しい宇宙開発への取り組みとして、高く評価された。

2000 年も引き続き行われ、7 月 27,28 日の 2 日間にわたって行われた。参加校も九大、日大が新たに加わり、米国側もスタンフォード大学がさらに加わって総数 11 基のロケットが打ち上げられた。1 ロケットに同じ大学の衛星が複数搭載されると、同時に複数衛星の運用をする必要があるので、1 大学の衛星をいくつかのロケットに分散して打ち上げる戦略をとった。ただし、そのため、異なる大学間で使用周波数の調整が必要となった。また、350ml 缶三個分の大型の CanSat(Open Class と呼ばれる)も可能となり、そのサイズを利用して ASU(アリゾナ州立大)がパラフォイルをリモコンで制御する実験を行った。

2001 年は 8 月 24、25 日に 3 回目が行われた。参加校は日本側からは東大(2)、東工大(3)、九大(2)、日大(3)、創価大(2) (括弧内は打ち上げ衛星延べ個数)が、米国側からはスタンフォード、CalPoly、サイエンスクラブなどの他、Lockeed Martine の技術者も参加し、総数 13 基のロケットが打ち上げられた。Lockeed Martine では、若手技術者の技術研修の一環としてスタンフォード大と共同で CanSat を作らせており、CanSat の教育的効果は大学のみならず、宇宙関連の大企業までその認めるところとなった点は注目に値する。

また、参加学生のモチベーションをさらに高めるために、"Come Back Competition" を日米に呼びかけて行った。これは、ロケットから切り離された衛星が自力で目標地点(緯度経度で指定)に帰還する能力を競うコンテストで、GPS 等による航法、目標に向かう経路の計画(誘導)、パラフォイル等の制御など、航法・誘導・制御のすべてをオンボードで自律的に実行することを要求する極めて技術レベルの高いコンテストであり、大きな教育的効果が期待できる。また、スタンフォード大は、Fly Back ではなく、ローバーが着地した後自力で戻ってくることを計画するなど、着想のコンテストとしても興味深い。最終的にはスタンフォード大はシステムの整備が間に合わず参加しなかったが、日本から東大、東工大、日大、九大の参加があり、それぞれの大学なりの成果をあげた。今後は、このコンテストを毎年の行事とするとともに、日本国内でも行える方策を考えていく予定である。

3.2 CanSat計画の意義

CanSat の技術面での目的は、軌道上衛星に向けてのコンポーネントおよび衛星システム作りの基礎をかためることである。

たとえば、東大では、CANSAT 計画で、超小型衛星バスシステムの設計・製作・試験技

術を獲得してきた。特に、マイクロチップを用いた搭載計算機、EEPROMによるオンボードストレージ、TNC(Terminal Node Controller)と超小型送信・受信機、ジャイロ、加速度計、温度計等のセンサー、モーター等のアクチュエータ、太陽電池とバッテリー等の要素技術については、おおむね、軌道上衛星を作ることのできるレベルにまで達したと考えている。また、サブオービタルといえども打上げ時のランダム振動、静的荷重は実際のロケットに匹敵するものであり、その環境に耐えて動作したことは、大きな自信となった。また、そのための環境試験として行った振動試験では、いくつかの不具合が見つかって補修ができ、事前の試験の有効性と試験方法に関する多くの知見を得ることができた。たとえば、1999年のCanSatでは、事前の振動試験中に半田が取れてしまうという不具合もあったが、それを何度か修正して、本番の打ち上げでは正常に機能するものを作ることができた。また、打ち上げ直前にゲインがどうしてもたたらなかったために通信アンテナを長いものに交換し、十分な試験をせずに打ち上げたところ、案の定、ロケットからの切り離し時にかまってアンテナを破損してしまった。これは、地上試験の重要性を認識させる Lessons Learnedとして、それ以降の開発に生かしてきた。

このような経験は、レベルの違いこそあれ、CanSat計画に参加したすべての大学で獲得できたものと予想される。その意味で、CanSatは軌道上の手作り衛星に向けての最初の実践の場として、極めて有効な実験であるといえる。

CanSat計画は教育目的を第一にかかげた国際協力プロジェクトである。上記の技術面での習熟のみならず、学生に対する教育的な成果も予想以上に大きかったと言える。なかでも、現実の環境下で動作するものを作る難しさ、特に、いいかげんな設計・製作・試験は必ず後になってしっぺ返しを食うことを経験した。小さなプロジェクトであっても、効果的なミーティング、チームワーク、ドキュメンテーションの取り方などを試行錯誤的に模索し、プロジェクトマネジメントの観点でも貴重な経験を得た。国際協力の点でも、インターフェース調整のむずかしさと重要性を実感でき、教育的効果は大であったと考える。

衛星設計コンテストで紙の上での設計の鍛錬を行った大学が、次のステップとして手作り衛星プロジェクトを始める最初のトレーニングの場としてCanSatは最適であり、大学衛星コンソーシアムとしても、今後参加する大学を増やしていくつもりである。

第4章 一般プロジェクト支援成果

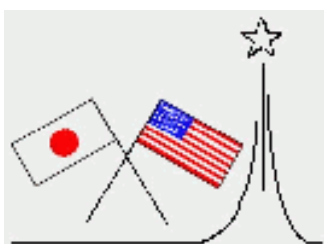
本年の一般プロジェクト支援では、現在開発をすでに進めている東大、東工大のCubeSatプロジェクトが選ばれた。本章では、両大学のCubeSatプロジェクトの概要を述べる。

CubeSatは1999年のUSSSでスタンフォード大学のTwiggs教授より提案された10cm立方、1kg以下の超小型衛星プロジェクトである。参加する大学がそれぞれにCubeSat

を作り、それを3個あるいは6個ひとまとめにして Carrier (P-POD) に装填し、その Carrier を MPA を介して数個上段ロケットに取りつけて打上げ、Carrier のふたを空けるとバネで飛び出すような簡単な仕掛けで衛星を放出するというミッションである。Carrier の数にもよるが、おおむね18個 (Carrier にして6個) 程度の CubeSat を同時に放出する計画である。衛星間・衛星とロケット間のインターフェース調整の必要をなくするために、各 CubeSat は cold launch で切り離しをマイクロスイッチで検知して動作を始め、それぞれが独立にミッションを実行し地上と通信することが義務付けられている。もっとも、将来的には複数衛星の共同ミッションも出てくると思われる。現在、2002年秋にロシアの Dnepr ロケットで最初の打ち上げが行われることが決まっている。最初の打上げには日本からは東大・東工大が参加するが、両大学とも CanSat で培った技術を、今度は宇宙環境に耐えるものに昇華させていくという大きなステップが必要であり、学生は機器の宇宙転用を始め、熱真空、放射線、振動試験など新たな挑戦を行っている。

第5章 大学宇宙システムシンポジウム

5.1 USSS (University Space System Symposium)の概要



USSS (University Space Systems Symposium) は、日米の大学生が、衛星開発および先端科学技術の分野で、ともに力をあわせてシステムを設計し、製作し、そして運用することを学び、体験することを目的に設立されたシンポジウムである。1998年よりスタートし、2001年で第4回の開催となった。本シンポジウムの背景には、JSUTSAP (Japan-U.S. Science, Technology, and Space Applications Program) と呼ばれる日米科学技術協力プログラムがあり、USSSはその中の小型衛星のワーキンググループに母体を置く。

第4回 USSS は、2001年11月10日から3日間にわたって、ハワイ島コナの Royal Kona Resort Hotel において開催された。日本からは北海道工大 (2名)、東北大 (4名)、日大 (6名)、東大 (5名)、東工大 (5名)、創価大 (4名)、九大 (5名) の参加が、アメリカからは Santa Clara University (5)、Washington University at St. Louis (4)、University of Hawaii (5) の参加があった。

第4回 USSS は、2001年11月10日から3日間にわたって、ハワイ島コナの Royal Kona Resort Hotel において開催された。日本からは北海道工大 (2名)、東北大 (4名)、日大 (6名)、東大 (5名)、東工大 (5名)、創価大 (4名)、九大 (5名) の参加が、アメリカからは Santa Clara University (5)、Washington University at St. Louis (4)、University of Hawaii (5) の参加があった。

過去3回の会議では CanSat, CubeSat, Quest など、サブオービタル実験や実際の打ち上げにつながるプロジェクトが生まれている。

本会議では、日米の大学学生間で、衛星を始めとした具体的な (ペーパーワークではない) 共同プロジェクトを立案し、長期的なプラント同時に、次の USSS までの今後1年間の作業計画を立てる。通常のシンポジウムのように、これまでの研究を報告するだけでなく、

具体的なプロジェクトを作り出すことに本シンポジウムの意義がある。

初日のレセプションで日米学生の旧交を温め、Friendshipを作ったあと（写真参照）、2日目の朝には各大学の現在進行中のプロジェクト、研究概要、技術的に強い分野、そしてプロジェクトの案を報告する。その発表に基づき、共通の興味をもったいくつかのWorking Groupを形成し、グループに分かれたディスカッションを行う。3日目の朝には中間報告が行われて、グループ検討の現状が報告され、必要であればグループの統廃合が行われる。夕方までのグループでの検討結果が、最後の発表会でプロポーザルとして報告される。特に、この1年間の具体的な行動計画、マイルストーン、予算獲得や打ち上げ手段の探索方法、日米間での情報交換の仕方など、極めて具体的な計画を立てることを要請され、短い時間の中、英語を使った討議に学生はさらされることになる。

このようにただ聞くだけの会議と違い、具体的なディスカッションと計画の立案作業がもとめられるという非常にユニークなスタイルであるが、本会議も4年目を迎え、そのスタイルがすっかり定着してきたように思われる。また、討議はすべて英語で行われるが、日本側学生の英語力の向上も、本年は強く感じられた。

本年のUSSSでは以下の6つのプロジェクトが提案された。

2001年度提案プロジェクト

- 1) CanSat & CubeSat
- 2) 地上局ネットワーク
- 3) QUEST
- 4) ROVER 遠隔操作
- 5) MotherShip/DaughterShip 実験
- 6) 天体望遠鏡観測ネットワーク

5.2 USSSの将来展望について

USSSは参加者総計が60名を越し、盛会であった。参加大学は日本7、米国5と、3年前に開催して依頼最大の数となった。特に、地元ハワイから2校が積極的に参加したことが特筆される。従来各種のルートで地元参加を呼びかけてきたことがようやく実を結んだわけである。

会議では、まず各大学から研究実績とジョイントプログラムの提案がなされ、これに基づいてグループ討論を行った。この結果、継続中のプログラムのブラッシュアップと拡大に加え、新しい分野のプログラムがなされ、合計6件のジョイントプログラムがまとめられ採択された。注目すべきは、超小型衛星が1年内に実現する状況に達したこと、地上系でのネットワーク（地球局、望遠鏡）が拡大したこと、ロボティクス分野で宇宙だけでなく他

分野への応用が進み出したこと、が挙げられる。参加大学が広がったことが宇宙の特定分野だけでなく、広い視野を開く契機となったことが指摘される。

参加大学が増えた反面、アメリカ側の有力な常連校が参加しなかった。国内での政府系プロジェクトにエネルギーを取られてしまったことに加え、USSS 支援ファンドの不足が原因と見られる。アメリカ側の組織強化が望まれる。

USSS では2日+前夜祭の短い時間の中で濃厚なディスカッションを行っている。この中で6件ものジョイントプログラムが形成されたことは驚異である。回数を重ねるに連れてまとめ方の熟練度が増してきた一方、プログラム形成の形が類型化して上滑りに終わる可能性も出てきた。中身を更に充実させ、たとえば実演や機器、ネットワークの実際の結合などをおこなうために、もう1日会期を延ばすことを検討したい。

参加が無かったアメリカの常連校は、日本の大学に比べて実績が豊富な大学であった。従来より、双方の大学にとって USSS の魅力は何であるかが論議されている。日本の大学は、まだ衛星を実現してない状況でどのように学生プロジェクトを推進するかに関し、極めて現実的な知識と刺激を受けている。一方、すでに何機も衛星を上げている大学にとって、どんなメリットがあるか？ ここで留意すべきは、

(1) JUSTSAP はプロジェクトのきっかけを作るのみで、実行の支援はできない、
(2) アメリカでは NanoSatProgram のような政府支援プログラムが複数走っている。アメリカの有力校が参加を見合わせることは十分理解できる。これまでは、アメリカ側から各種の機会 (CanSat, CubuSat) が提供されている。USSS/JUSTSAP の魅力を高めるためには日本側から提供できることを見つけ出す必要がある。H-IIA のフライトオポチュニティは最大の可能性であろう。宇宙研バルーンの実験を今回提案したが、アメリカ側からの参加希望は無く撤回された。

○地上局ネットワークを使うことは双方のメリットが高い。今回はその方向での進展が大きく、必然的に「小型衛星」だけを守備範囲とすることから抜け出すこととなろう。

○米国の ITAR は共同プロジェクト推進の大きな壁となっている。いくつかの小型衛星計画が消えていったことの原因の一つである。地上ネットワークの活用にあたっては、今後その制約が陽に出てくることは予想できる。

○開催場所については、現在ハワイ側の支援が十分に得られている状況下ではハワイで行う意義は大いにあり、当面はハワイ開催でよいであろう。ただし、将来的には、旅費をはじめとする経費の問題や、デモをやりやすい環境などを考えて、日米大学での持ち回り開

催もありうる。

第6章 小型衛星ワークショップ成果報告

12月19日、20日の二日間にわたり、宇宙開発事業団つくば宇宙センター会議室において、小型衛星ワークショップを行った。7大学から55名の学生が参加し、それぞれの大学の小型衛星プロジェクトについて発表した。アドバイザー、教官、宇宙開発事業団関係者、その他の参加者など合わせて計124名の参加を得た。

6.1 大学の小型衛星プロジェクトの現状(各大学の発表より)

本節では、小型衛星ワークショップで各大学により報告された活動の現状をまとめる。

九州大学 <http://ssdl-www.aero.kyushu-u.ac.jp/quest/index-j.html>

●QUEST

九州大学では Santa Clara University, Washington University at St. Louis と共同で、超小型テザー衛星の開発を進めている。この計画では全長2kmのテザー伸展を行い、伸展のみであれば簡単な制御システムで遂行できることを実証する。伸展後はテザーダイナミクスの検証と、スペースデブリに対する生存性の確認を行う。また、ビーコン波のドップラーシフトを用いた軌道決定理論の実証も行う。

●CanSat

本年度はパラグライダー制御ミッションとセンサー計測ミッションの2機で参加した。パラグライダー機は、GPS情報に基づいて自律制御を行い、着陸目標点を目指す物である。機構的なトラブルにより、飛行開始後の短時間しか正常に制御されず、目標点に近づかなかった。センサー機は降下しながら、温度、加速度、紫外線強度のデータを地上局にダウンリンクできた。来年度はこれらの性能向上を目指す。

日本大学 http://forth.aero.cst.nihon-u.ac.jp/cubesat_2001/index1.html

●CubeSat プロジェクト

日本大学の CubeSat では、ミッションとして温度センサの出力データから姿勢推定を行ないます。同時に、地磁気センサを3軸搭載して、温度センサによる姿勢推定との比較を行ない、妥当性について検討します。また、アンテナに複雑な展開機構を必要としない折り曲げ式の片側給電アンテナを検討しています。この方法は、構体の影響を大きく受けるため、マッチングを取るためにいろいろな形状で試験をしています。

創価大学 <http://homepage1.nifty.com/ssk/cansat/2001/>

●CanSat-1

ARLISS2001 において FPGA の不具合のため失敗してしまった、**cmos** カメラによるデジタル画像の取得をミッションとする。その他に、加速度計、気圧計、ジャイロ、温度計、GPS を搭載する。

●CanSat-2

CubeSat の実験機として、CubeSat で使用予定のトランシーバと自作 TNC を開発・搭載し、創価大学の学生歌をダウンリンクさせる。

東京大学 <http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp>

●CanSat

小型衛星のバス系の技術を習得し、あわせてプロジェクトマネジメントの実践的訓練を行うべく、1998 年より缶サイズの衛星を作る CanSat プロジェクトを遂行し、3 度のサブオービタル打ち上げ実験をネバダ州 Black Rock で行ってきた。通信系、OBC、電力系、構体、センサー、アクチュエータなどの基礎技術の習得とともに、目標地点へのフライバック、着陸機構、DGPS 航法、画像取得・伝送など、将来につながる技術実証を行っている。

●CubeSat

CanSat で習得した技術をもとに、研究室で初めての軌道上打ち上げをめざした超小型衛星 CubeSat プロジェクトを遂行中である。宇宙環境でのバス系の動作の実証と軌道上衛星の運用技術の習得がメインの目的で、また CMOS カメラによる画像取得と伝送をアドバンスミッションとして行う。現在 FM がほぼ完成し最終試験を行っており、来年中旬にアメリカに輸送、10 月～12 月期にロシアより DNEPR ロケットで打ち上げる予定である。

●地上局ネットワーク

小型衛星の運用のチャンスを増やすためには、全世界の大学の地上局をインターネットでつなぎ、遠隔でコマンドの送信とデータの受信を行うことが効果的である。現在、世界の大学に呼びかけてネットワーク参加を募っていると同時に、新規大学が容易に参加できるよう共通のプロトコル、コマンド体系などを整備している。すでに東工大とは遠隔操作実験を行っており、本ワークショップでの議論で日本での共通体系を決定する予定である。

●将来展望

CubeSat でバス系の軌道上実証を行った後は、研究室での研究テーマを超小型衛星を使って軌道上実験する予定である。現在の計画では CubeSat 2 号機を使って姿勢制御系技術の獲得と膜展開実験を、またその先の 2～5 k g 級の衛星を用いて軌道制御技術の獲得とフォーメーションフライング実験を行う予定である。今後、超小型衛星用のアーキテクチャや超小型用技術の開発と、その中で有効なミッションを実施する工夫を追及していく。

東北大学 <http://astro.mech.tohoku.ac.jp/>

<http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/uss/uss2001.html>

●流星観測衛星 <http://astro.mech.tohoku.ac.jp/leonids/>

流星には生命の起源となった有機物が含まれている可能性があるという示唆されている。当研究室では、流星を軌道上から観測し、イメージ及び、分光データを取得する衛星（LEOLEO-II）についての研究の一環として、ミッションに使用するカメラ系の検討を進めている。今後は、小型衛星において使用可能な高感度リモートセンシングカメラの実現を目指して研究を進めていきたいと考えている。

●多関節グripperを用いた衛星サービシングシステム

当研究室では、適応的な把持動作を可能とする多関節グripperに関する研究を行っている。このグripperは厳密な位置合わせなしに、複雑な形状のものをソフトにつかむことが可能である。これは、衛星のドッキング機構にも応用が可能であると考えられる。これまで数機の試作グripper及び、コンセプトのシミュレーションを行ってきたが、これらのさらなる発展形として、新しい衛星ドッキングシステムの検討を行いたい。

東京工業大学

●ARLISS(CanSat, OpenClass) <http://horse.mes.titech.ac.jp/srtlssp/arliiss/index.html>

本研究室はアマチュアロケットで衛星モデルを打ち上げ、各種実験をおこなう ARLISS Project に参加した。350ml 缶サイズの CanSat では 2 つの CCD カメラ画像を一定間隔で切り替え、地上へ送信するミッションを、φ150mm×250mm サイズの"OpenClass"では、GPS の情報をもとにパラフォイルで目標地点まで自律的に誘導制御するミッションおよび、CubeSat のアンテナ展開機構の試験を行った。本発表ではこれらの実験の結果および来年への展望について述べる。

●CubeSat <http://horse.mes.titech.ac.jp/srtlssp/CubeSat/index.html>

東京工業大学松永研究室では、2002 年 11 月に打ち上げが予定されている 10cm 立方の超小型衛星 CubeSat を学生主導で開発している。このプロジェクトは、学生の教育が主な目的であり、小型衛星開発技術の第一段階として、小型バス衛星の開発および民生品の積極的利用による低コスト化の実現を目指している。本発表では、第一回打ち上げに向けた開発の現状および意義、さらに今後のプロジェクトの展望について述べる。

●Ground Station Network(GSN) <http://horse.mes.titech.ac.jp/srtlssp/gs/index.html>

東工大では、現在開発中の CubeSat と通信を行うため地上局の構築を進めて来た。既にアンテナおよび無線機など設備はほぼ整い、実際の CubeSat 運用に向けて調整を行っている段階である。さらに東工大は、世界中の大学の地上局をインターネットで接続し、遠隔操作するという地上局ネットワーク(GSN)プロジェクトに参加し、率先して開発を行ってきた。本発表では地上局システムと GSN の現状および今後の展望について述べる。

●小型親子衛星用ドッキングシステム

<http://horse.mes.titech.ac.jp/research/docking/docking.html>

本研究室では衛星間のランデブードッキング、ターゲットモニタリング技術などの確立を目指した小型親子衛星プロジェクトに北海道工大、東京大とともに参加している。本研究室の担当はハードウェア、ソフトウェア、動力学制御シミュレーションを含むドッキングシステムの開発である。現在ドッキングシステムの一形態を提案し、それに基づいた機構の試作、機能実証実験を行っている。本発表では、現状と今後の展望について報告する。

大阪府立大学

●衛星による誘雷実験

衛星から雷雲に向かってテザーを放出し、上空に向かって誘雷し、テザーを用いてその特性を調べるプロジェクトである。このプロジェクトの現状、大学での実施上の問題点等について述べる。

また、ワークショップにおいて、以下のような招待講演を行った。

12月19日

タイトル：「小型衛星と利用—商業宇宙ビジネスと産業化への展望」

講演者：熊切康雄氏（㈱アストロリサーチ 宇宙システム事業部 技術企画部長、
科学技術庁登録公認・技術士<宇宙部門>）

12月20日

タイトル：「小型衛星の心得—革新的なアイデアを実現するために」

講演者：野田篤司氏（宇宙開発事業団技術研究本部
先端ミッション研究センター 主任開発部員）

6.2 各技術分野の問題と戦略(サブシステム討議の成果)

本節では小型衛星ワークショップにおいて、人工衛星のサブシステムごとに分かれて議論した成果をまとめる。

6.2.1 電子系

In electronics working group, it is determined that each university have information of basic elemental devices in common. Therefore we will make database which shows benefit, figure, and so on of each device on web. The purpose of this database is used to share information, and used as a place of exchanging device between universities. The advance of this database are (1) cut down time of selecting devices (2) take time developing original part of each university (3) avoid failure which other

university was experienced in the past beforehand. This database will be worked on April.

6.2.2 電源系

The role of power system is to supply power, which is demanded by all systems on satellite for operating those. Present CubeSat's power system plays the role. However the power supply will lack if high-speed data communication or other next generation mission is carried out, because of their much consumption power. So the power system session proposed two policies for future CubeSats. One is "Increase supply power" and another is "Decrease consumption power". First policy means that universities, which take part in UNISAT, investigate adoption of high efficiency solar cell, e.g. GaAs cell, and the way of obtaining. Second policy means that the universities search low consumption power device and investigate whether or not consumption power can be saved on operation of every systems.

Also another problem about power system is that solar cell is too expensive. Therefore power session determined the policy, which UNISAT lumps together and buys a lot of solar cells and sells required quantity to universities. However processing the cells should be a business of each university.

6.2.3 通信系

Five universities and one adviser joined "communication working group". We discussed following four themes: (1) joint development of transmitter and receiver, (2) joint development of high performance transmitter (for example GMSK 9600bps), (3) frequency assignment, (4) joint purchase of RF measuring instruments.

These are main results.

- (1) Performance requirements for CubeSat's transmitter are different between universities, so it is difficult to form common specification for onboard transmitter. We made an agreement of listing transmitters and receivers developed by each university for mutual utilization.
- (2) Univ. of Tokyo and TITech may need high data-rate transmitter, but other universities are now under investigation for Tx specification.
- (3) It needs lots of efforts to be assigned frequency for CubeSats. University Consortium of Japan should negotiate with international organizations to get frequency and share it between participating universities.
- (4) Participating universities list up RF measuring instruments used for CubeSat development. If we need other expensive instruments, we will buy through

consortium and use together.

6.2.4 環境系

The outcomes of the environment group meeting are here. (1) All of the participants could understand the problems in space environment through some lectures by NASDA professional engineers. (2) What the student belonging to the consortium can do against the space radiation problem was examined. (3) Each university decided to share their own information about space components, environment test results, parts shops, and so on. The future works are below: (1) to make the database about useful components and commodities (2) to discuss what component to purchase as lot unit or to reserve as the consortium (3) to make rules about various dealing between the consortium and organizations.

6.2.5 構造・メカ系

In this group, the issues on the mechanism of spacecraft are discussed.

The discussion covers the following topics:

- Mechanism of solar cell panel for the CubeSat

Power supply is an important issue for nano-scale satellite including CubeSat. In order to obtain enough power for mission, the nano-scale satellite needs to equip extended solar paddles because the surface area of a nano-scale satellite is very small. However, such extensive mechanisms complicate the satellite and reduce reliability. A recommendation is, therefore, the CubeSat at its first trial, should limit its mission to meet the power budget given by no-paddle configuration.

- Design of rocket interface for CubeSat

The CubeSats are attached to a rocket through a special interface named "P-POD." Three of CubeSats are packed into a single P-POD. A current P-POD design has some problems. To solve the problems, P-POD should be improved, or new interface for the CubeSat should be designed.

- Issues of lubrication

Any mechanisms need lubrication. Both solid and liquid lubrication techniques have been used for space missions. For short-term missions, liquid lubrication is cost effective.

- Advantage of smaller satellite

Smaller satellite has some advantages over bigger satellite. We have discussed the advantages of nano-scale satellites in terms of simplicity of composition, lightness of components, and hence, high stiffness of structure.

6.2.6 地上局ネットワーク

This report is a summary of discussion and conclusions in the ground-station-network working group, which is intended to establish a protocol for ground station network and to encourage cooperation with amateur radio community. Ground Station Network, proposed at University Space System Symposium 1998, is an international network of ground stations via the Internet. It is aimed to share ground stations and consequently extend contact time with satellites. Topics discussed in the group were a network protocol, collaboration with amateur radio operators, and legal issues.

Use of existing protocols is considered as a good choice for several reasons. Participating universities has agreed to use Simple Object Access Protocol (SOAP) as their underlying protocol and to implement prototype software by March 2002.

As collaboration with amateur radio operators is necessary to track CubeSats planned to launch, several ways of collaboration was proposed, that is, to issue an award, to send QSL cards, and to publish enough information on the web site.

Forwarding downlinked data via the Internet is legal while uplinking to satellites via the Internet is not apparently legal. But it is important to make clear the necessity of ground station network in order to take legal advice.

6.2.7 ミッション創成・ビジネス展望

The tasks of "mission working group" are to direct the future of this consortium and to find out the strategy of the small satellite development in Japan. In the workshop the following 3 themes are picked up for discussions; (1) how to cooperate in the consortium, (2) management / development strategy of the consortium, (3) how to get the launch opportunities. 10 people (1 private company staff, 3 university professors, 4 students, 1 NASDA staff, 1 ISAS professor) joined the 2 hours discussions.

The main results of the discussion are summarized in the following action items; (1) To understand our own development ability and technical level, each facility will make the resource mapping database. It will be also open to public to be subject to the external opinions and cooperation. (2) Launch opportunities surveyed by participating universities will be summarized to the common database in the consortium. Each university will survey and monitor different launch opportunities assigned by the consortium.

6.3 将来に向けてのインフラ整備について

ワークショップでは、各系内で今後の展開が活発に議論され、6.2 に述べられたような成果と課題が得られた。今後の活動目標の中には、学生の努力でできるもの、コンソーシアム全体として訴えていく必要があるもの、外部の組織の援助を得る必要があるものなどがある。特に、本コンソーシアムが教育目的であることを考えると、すべてをお膳立てするのではなく、学生の自助努力で解決できるものは解決してもらおうという姿勢が重要である。また、学生から提案された活動の中には、本コンソーシアムだけにとどまらず、日本の宇宙開発全体で進めるべき活動も含まれる。本節では、それらを整理し、コンソーシアムとして今後どのような活動をしていくべきかを論じたい。

学生独自の活動を進めるべき分野

1) 部品の特性・利用に関するデータベースの整備

メーカーの連絡先、費用、スペック、使用時の注意、問題点、くせなどの情報整備。ホームページ化を目指して学生がタスクフォースを作り整備を進めている。特に放射試験の成果などではできるかぎり他大学にも情報伝達し、使用のヘリテージを作ることが重要。

2) 技術課題に対する共同での検討

例) 電力系：小型衛星用に大電力獲得の手法

逆に必要電力を下げる手法（CPU、受信機等の待機時の電力低下など）

3) 機器の共同開発

通信系ではコンソーシアムで共通して使える次期の通信機についての検討が行われた。ここで議論になったのは、共同開発によりダブルエフォートの無駄のない開発が行われる一方で、大学ごとのオリジナリティが損なわれること、大学ごとに異なる要求にすべて答えられるような開発は難しいこと、などの問題点である。技術を作り出す段階では多くの手による試行錯誤と自然淘汰のプロセスが必要であり、その意味では各大学ごとに開発することが理想であるが、資金の問題、付加価値のつきにくい分野では、ある性能の機器が一種類でもあればそれを使いまわしできるというメリットもあり、今後どの分野で共同開発し、どの分野ではオリジナリティを重視する、という戦略を立てていく必要がある。

4) 試験設備の貸借しあい

各大学で保有する、異なる試験設備や試験装置を互いに融通しあうことにより、手軽に地上試験ができる環境を作っていく。保有試験設備とその貸与可能期間等についての情報を交換できる掲示板が必要。

5) 地上局ネットワーク

最も活発に議論が行われた系で、その有効性を誰もが期待している表れである。現在、国内だけでなく、国際的な地上局ネットワーク（地上はインターネットでつないで他大学の地上局を遠隔操作できるようにする）を大学間で整備する活動を始めている。CubeSatの運用(2002 年秋)が最初のテストになるが、それに向けて、共通のプロトコル、コマンド体系、データ書式など多くの取り決めをする必要がある。

大学衛星コンソーシアムとして解決すべき問題

1) どうしても高価になってしまう部品の入手法

コンソーシアムで大量購入したものをストックし、必要に応じて切り売りするようなサポートができる。また、宇宙機関やメーカーでの余剰品やバルク品のドネーションを請う努力も行いたい。アメリカでは、NASA で使い古した太陽電池 (GaAs の効率 23% のもの) が大量にスタンフォード大学に寄付され、学生の衛星作りに利用されていたことが印象的であった。日本でもそのような有効利用が進むよう、働きかけていく必要がある。

2) 部品・材料の共同購入

実際には少量しか使わないのに 1 kg 単位でしか買えないもの、利用期限付きのものなどはコンソーシアムとして共同で購入し、必要分だけ各大学で使えるようなしくみを作りたい。もちろん、宇宙機関・メーカーからのそのような材料の提供もお願いしたい。

3) 共同開発体制の整備

小型の中でも一大学では開発の困難なレベルの衛星を、大学間で共同開発することはコンソーシアムの一つの目標でもある。それを効率よく行うためには、各大学のリソース（技術力、資本金、試験設備、人員など）情報を集約するとともに、戦略を立てる側もシステム・インテグレーション、マネジメント等の技術を磨いていくことが必要である。それもコンソーシアムの一つの活動として行うことを考えたい。

外部組織の援助を仰ぐ必要がある問題

1) 周波数取得の問題

CubeSat 1 号機の計画では、アメリカ側で AMSAT と交渉してまとめて周波数を獲得してもらえたが、AMSAT 自体が衛星用周波数にアマチュアバンドを使うことに否定的になりつつあり、将来にわたって安定して利用できる周波数帯を確保することが急務である。国の機関からは、日本国内だけの訴えでは周波数を獲得することは難しいという返答を受けており、国際組織 (ITU) に訴えていく必要がある。小型衛星の周波数問題はどの国でも発生している国際的な問題であり、今後小型衛星開発をねらう国々と共同して、一種の「教育衛星用周波数」のような形で、ある周波数帯の利用権を獲得し、それを我々の管轄下で

使いまわしするような方策が望まれる。

2) 地上試験

放射線試験、熱真空試験のように大掛かりな試験装置は大学で手配することがむずかしく、NASDA、宇宙研などの宇宙機関の装置を借用できるよう仕組みを作っていく必要がある。できれば保有側にも何らかのメリットが生じるような（たとえば、共同研究のような形で知識や経験が増加するような）しくみができれば最も良いが、そうでなくとも、年間の借用スケジュール早めに作ったり、ルール作りを行うなどして、保有側の試験スケジュールに影響のない形で利用できるようにする必要がある。

問題は、試験装置の使用には通常経験のある技術者が必要で、その時間をいかに借りられるかであり、これについては、コンソーシアム全体でというよりは、各大学ごとに予算措置、共同研究化などの道を探る必要がある。

3) 打ち上げ手段の探索

国内のロケットについては、引き続きピギーバックスタイルでの打ち上げ手段の提供をお願いしていく必要がある。その際に注意すべきことがらは以下のような点である。

(ア) ロケット側とのインターフェースは最小にとどめ、できるだけロケット運用に影響のないようにすること。(衛星側の努力)

(イ) 小型衛星であるので、大型ほどの安全基準は必要はないかもしれないが、少なくともいっしょに打ち上げる本衛星には迷惑をかけないことを保証する安全基準は必要。それをコンソーシアムとロケットプロバイダー間で合意しておくこと。

(ウ) 1年以上前から打ち上げ衛星を決めるという従来のスタイルではなく、余剰重量が直前でもできたら、**waiting list**の最初にある衛星を載せられるような柔軟な運用ができるようしくみを作っていくことが重要。衛星側も、いつでも打ち上げできるように、最低1機は待機していることが必要。

また、国外のロケットについては、分担して調べて情報交換するアクションを開始している。アメリカでは、たとえばロシアのロケットを利用して打ち上げ機会を提供し、種々の交渉やインターフェース作業を代行するベンチャービジネスが生まれている。日本でもそのようなビジネスが生まれることを期待したいが、それが無理でも、大学衛星コンソーシアムがそのような便宜を図れる（ビジネスにつながればさらに良いが）ようになることも考えたい。

以上のほとんどの課題に対して、すでにワークショップで整備したメーリングリスト上での活発な議論が開始している。この勢いを持続して、有機的なつながりのあるコンソーシアムに発展して行くことができるよう、運営委員会としても努力していく所存である。

第7章 まとめ

大学衛星コンソーシアムは我が国における大学の宇宙工学研究の高まりを受けて、実際の小型衛星の製作打ち上げをスムーズに実現するための諸問題を解決することを目指して設立されました。主に国において行われている宇宙開発活動は、学生をはじめとする若い国民に大きな希望と熱意をかきたてています。今までに学会などが提供してきた場において、いくつもの大学で衛星プロジェクトが発表され、学生が自主的に具体的な研究を開始したのはそのあらわれです。しかしながら、実際の宇宙システムを構築することは従来の個別大学に置く研究活動の延長とするだけでは困難な点があります。単なる延長ではないことを逆にいえば、具体的なプログラムを学生が主体的に実行することは従来の大学教育では決して強くなかった実際的な工学能力を涵養することにもなります。一方、大学が宇宙活動に参加することは、今までの国主体の宇宙活動に新たな座標軸、すなわち新たな自由度を加えることとなります。その自由度は迅速で安価な宇宙アクセスであり、それに伴う参加人数の増加です。国全体ではすでに存在する豊富な実績と蓄積を大学教育にも還元することで大学と国双方の宇宙活動に寄与すること、これがコンソーシアムの目指すところです。具体的な運営では、コンソーシアムが行う支援に対しては、必ず具体的なアウトプットで応えてもらうことを基本とし、それにより大学教育と国全体の宇宙活動への寄与を確実にして行きます。

本年の7月に正式発足以来、CanSat, USSS, そしてワークショップと活動を起こし、ここに報告書をまとめることができました。本来のコンソーシアムの目指すところを達成できるかどうかを、今年の短い期間の活動から判断することはできないにしても、とりあえずは順調な滑り出しをしたといえるのではないかと思います。これはひとえに各大学における学生、教官の献身的な努力の賜物です。この活動に理解いただき、ご支援をいただいた宇宙開発事業団におかれましても、必ずや宇宙活動の新しい息吹を感じ取っていただけるものと確信します。次年度以降には小型ロケットの研究開発をも活動範囲に加えることも視野に入れ、具体的な目に見える成果をもってご支援いただく方々のご期待に沿いたいと念ずるものです。