



UNIFORM-1 の打ち上げ運用成果 初期報告と今後の方針

The Early Products of UNIFORM-1 Satellite and Future View

秋山 演亮¹，平松 崇²，山浦 秀作³

¹和歌山大学宇宙教育研究所 ²一般社団法人衛星技術協力機構

³慶応義塾大学大学院システムデザインマネジメント研究科

UNIFORM プロジェクトの1号衛星である UNIFORM-1は、2014年5月24日に打ち上げられ、4日後の5月28日には初画像の撮像に成功した。運用は和歌山大学に新設された地上局を用いて実施されている。2014年9月27日に噴火した御嶽山についても、翌日28日、翌々日29日と直後に連続観測を行い、データは気象庁にも提供されるなど、当初の予定通り防災面でも大きな成果を挙げている。UNIFORM プロジェクトは2014年度末日をもって終了するが、2015年度以降にも大学間連携により継続される予定である。

キーワード：超小型衛星・地上局・国際協力・防災

1. UNIFORMプロジェクト概要

UNIFORM プロジェクトは2010年度～2014年度の5年間、和歌山大学を代表として実施された文部科学省による補助金事業である。UNIFORM プロジェクトに先立ち実施された、内閣府最先端研究開発支援事業（FIRST）として実証された、いわゆる「ほどよし」プロジェクト（代表：東京大学中須賀教授）においては、50kg級超小型衛星の設計や衛星・コンポーネントの開発・製造、試験施設の整備、サプライチェーン

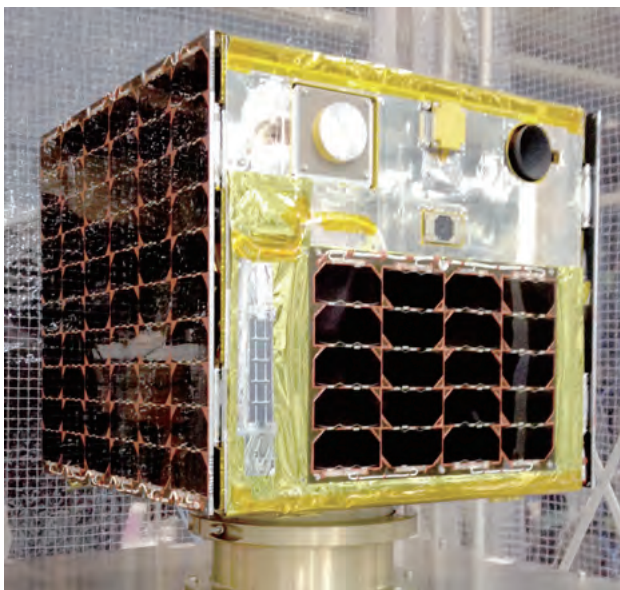


図1 UNIFORM-1号機

の構築などが実施された。UNIFORM プロジェクトはこれらのヘリテイジを受けて独自開発は極力避け、世界に超小型衛星と地上局技術を広げ、国際連携（出資・協力）による超小型衛星コンステレーション・地上局ネットワークの構築と、それを支える若手技術者向けのキャパシティービルディングプログラムを開発することを目的として実施された。当初予定より原型となるほどよし衛星の開発が遅れたため、プロジェクト前半の4年間では必要な開発を行いながら、初号機である UNIFORM-1号機の製造を行った（図1）。またプロジェクト開始時期より、APRSAF（Asia Pacific region space agency forum：アジア太平洋宇宙機関会議）を中心に、宇宙開発に関心を持つ、新興国を中心に協力関係の構築を行ってきた。また最終年度には、カザフスタン・ブラジルより合計5名の若手技術者を受け入れ、ほどよし1号機の設計をベースとした、製造訓練機である UNIFORM-2号機・UNIFORM-3号機の製造を行った。またこの過程を通じて衛星設計ではなく、衛星の製造（部品調達・組み立て・試験等）を行うためのキャパシティービルディングプログラムを開発した。

一方、地上局に関しては「各国が独自に製造しメンテナンスできる」ことをコンセプトとして掲げ、和歌



図2 右側：3m Sバンドアンテナ
左側：12m, Xバンドアンテナ

山大学にて、プロジェクト最初の4年間にSバンドアンテナ（3m, アップリンク・ダウンリンク用）およびXバンドアンテナ（12m, ダウンリンク用）の開発、製造を実施した。また最終年度には、UNIFORM-1号機の運用にあたり地上通信施設の役割を果たすと同時に、ベトナムから若手技術者を迎え入れ、製造・運用訓練を実施し、その課程をキャパシティービルディングプログラムとして記録に留めた。

UNIFORMプロジェクトに関してはその総括を実施する必要があるが、本稿では特に今年度を実施された、UNIFORM-1号機の打上げおよび運用、地上局の運用に関して、解説を実施する。

2. UNIFORM-1の打上と運用

2.1 UNIFORM-1号機衛星および地上局に関して

UNIFORM-1号機（表1）は、ほどよし3号機・ほどよし4号機として開発されたバスを利用し、国際的な汎用使用を目指して製造・打ち上げられた50kg級超小型衛星である。衛星には白黒の可視カメラ（解像度100m程度）および熱赤外カメラ（解像度200m程度）が搭載され、山火事や泥炭火災、火山活動などを検出することが可能である。UNIFORMプロジェクトは国際的な協力体制の確立と、衛星の実利用（そのための衛星コンステレーションおよび地上局ネットワークの構築）を目指しており、そのためには「広く利用される」ミッションを設定する必要がある。そこで事前に1年ほどかけてじっくりと広くミッション内容の検討を行い、国内においても（火山等の熱源監視）海外においても（森林火災/泥炭火災の早

表1 UNIFORM-1号機仕様

Mass / Size	< 50 kg, < 50 x 50 x 50 cm
Mission Payloads	Microbolometer Array Sensor x 1 Visible Light Camera x 1
Onboard Computer	SOI-SOC Small Size OBC x 2, RS422, Discrete, Active Analog, Passive Analog, (SpW)
Communication	S-band Transmitter (HK) 64kbps S-band Receiver (HK) 10kbps S-band Antenna x 2 X-band Transmitter (Mission) 10Mbps X-band Antenna x 1 CCSDS compliant
Power	Max Generation > 100W, Solar Array :GaAs 20 series x 1 parallel (+x panel) 20 series x 2 parallel (-x panel) 20 series x 1 parallel (+y panel) 20 series x 1 parallel (-y panel) 20 series x 1 parallel (+z panel) 20 series x 7 parallel (-z panel) Max Consumption > 50W
	Li-ion Battery : 8 series x 2 parallel 2.5~4.2 x 8 = 20~33.6 V 2.9 x 2 = 5.8 Ah
Attitude Control Sensors	GPS Receiver (GPS Antenna x 2) Sun Sensors x 3, Star Tracker x 1 Fiber Optics Gyroscope x 1, Magnetometer x 1
Attitude Control Actuators	Magnetic Torquer Rods x 3 Reaction Wheels x 4

期発見）必要性の高かった、熱赤外画像を取得するミッションと決定した。UNIFORM-1号機のバス部分の製造に関しては、ほどよし3号機・ほどよし4号機の製造を手がけたNESTRA（次世代衛星技術研究組合）が分担し、地上局の開発は和歌山大学が担当した。またミッション機器の製造、およびデータの分析・配信システムの構築に関しては、北海道大学が担当した。

地上局の開発・製造は、和歌山大学が担当した。和歌山大学では以前にも、野辺山天文台から8mクラスの太陽観測アンテナを分解、地元「みさと天文台」で再建した経験を有する。この作業にも参加経験を有し、地元にてプラント設計製造を実施する下代組機工の協力を得た。またポインティングシステムに関しては、長年望遠鏡等の制御システムの開発を行っ

表2 和歌山地上局性能表

Size	3m	12m
Frequency	S-Band	X-band
Gain	32.72dB	50.61dB
Bit rate	64Kbps	10Mbps
Driving speed	18deg/s	3deg/s

てきたNTTファシリティーズ（株）の協力を得ることができ、必要な精度を実現できた（表2）。

なお3mに関しては当初、Sバンドによるアップリンク・ダウンリンクのみが可能な可動局の設計製造を行った。その後、約1年弱の衛星運用を通じた利得実測などを通じ、Xバンドの受信にも耐え得るとの判断から、Sバンドのアップリンク・ダウンリンク、Xバンドのダウンリンクが実施可能な固定局の製造も実施している。

2.2 UNIFORM-1号機の運用体制

2014年5月24日12時5分（日本標準時）、UNIFORM-1号機はALOS-2（だいち2号）のピギーバック衛星として、H-IIAにより打ち上げられた。放出直後のUNIFORM-1号機の映像を図3に示す。H-IIAから撮られた動画からは、UNIFORM-1号機は放出後、折りたたまれた両側の太陽電池パネルの中心を結ぶ軸を中心にわずかに回転（1～2 rps）している様子が観測された。

分離後の最初に和歌山局を通過時に、衛星からの通信を受信、以下を確認することが出来た。

- テレメトリの受信
- コマンドの送信，実行
- バッテリー状態，温度状態などのテレメトリの値が健全であること

UNIFORM-1号機は太陽同期軌道を取るため、毎

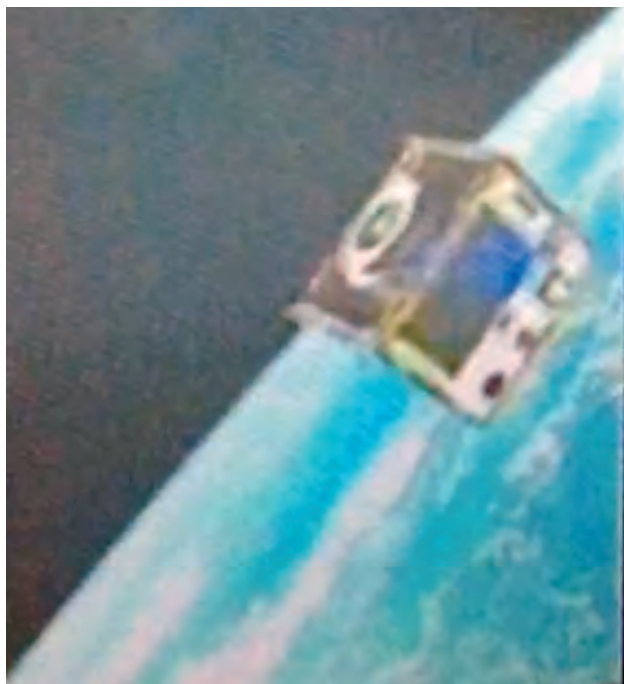


図3 H2Aから分離直後のUNIFORM-1号機

日、打上とほぼ同じ時間帯（12時前後）に北から南に、また12時間ずれた時間帯（深夜前後）に南から北に、日本（和歌山局）上空を通過する。条件が良ければ、その前後のパス（±90分前後）でも、和歌山局からの通信・受信が可能である。ただし600km程度の非常に低い高度を飛んでいるため、和歌山局での通信時間は1回につき数分～10分前後と非常に短い。衛星の状態が安定しない運用初期（約3週間程度）においては毎日昼・夜の2回運用を行い、衛星の状況把握に努め、衛星の運用訓練を繰り返し実施した。またこの過程で、センサや運用方法等に若干の問題点が発見され、衛星が安定して給電されない状況が発生し、初期には数度のハードリセットを繰り返す状況も見られた。ハードリセットはバッテリーの電圧が危険領域にまで低下していることを示しており、これを繰り返すことは、バッテリー寿命を著しく縮める可能性がある。そこでソフト的な対応を行い、電圧低下が危険域に低下する前にソフトウェアリセットをする機能を急遽追加することにより、状況を改善させた。

またUNIFORM-1号機には様々な姿勢モードがあるが、搭載したセンサの一部の過剰反応等により、姿勢が安定せず、衛星が反転する（地球指向すべき面が太陽方向を向く）などのトラブルも発生した。これらも様々な条件設定等を行い、運用を調整することにより、徐々に成功している。

本稿を作成段階では、全体としてわずかにバッテリー温度が高めであるなどの問題点もみられるが、打ち上げ後に積み上げてきた運用経験により、比較的安定した運用が可能となっている。3週間から1ヶ月程度の初期運用後、緊急時を除き昼間だけの定常運用に移行し、最近では週2回の運用日を中心とした運用体制に移行しつつある。

また初期運用時には、衛星のコマンドを作成・送信するオペレータも和歌山局の管制室に参集し、地上局運用者と共に運用を実施していた。しかし定常運用段階頃からオペレータはリモートアクセスにより、日本各地からインターネット回線を介して運用に参加することが出来るようになり、運用の自由度を広げた。またテレメトリの受信等のダウンリンクだけのパスにおいては、法律적으로는無線従事者が現地にいる必要もない。そこで将来的にはこのような

パスにおいては、地上局運用者も遠隔あるいは自動にてアンテナ制御が行われることが望ましい。しかし和歌山局はまだ実験局の位置づけであり、緊急時に運行を停止せざるを得ないトラブルもまだ起こりえるため、更なる運用経験を積むまでは地上局運用者は現地にて運用に参加を継続する予定である。

2.3 UNIFORM-1号機の運用成果

UNIFORM-1号機は熱赤外カメラを搭載しており、森林火災や火山活動など、熱異常を検知することが可能であり、完全に定常運用に移行した9月以降、様々な観測を行ってきた。そのような中、9月27日に御嶽山において大規模な噴火活動が発生した。

大型衛星は製造コストも高く（数百億円）、また多

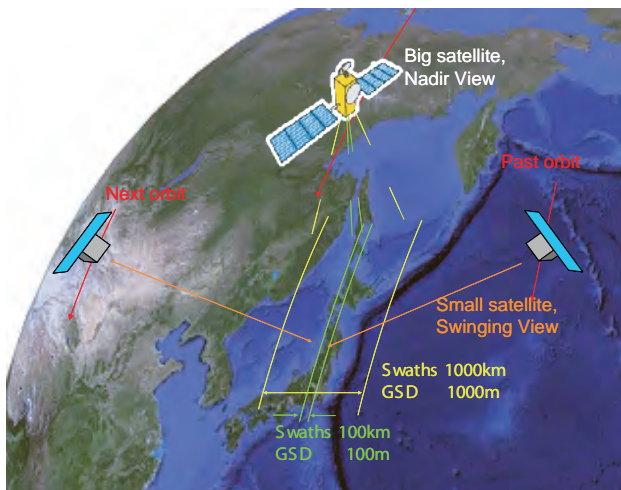


図4 大型衛星・超小型衛星の観測イメージ

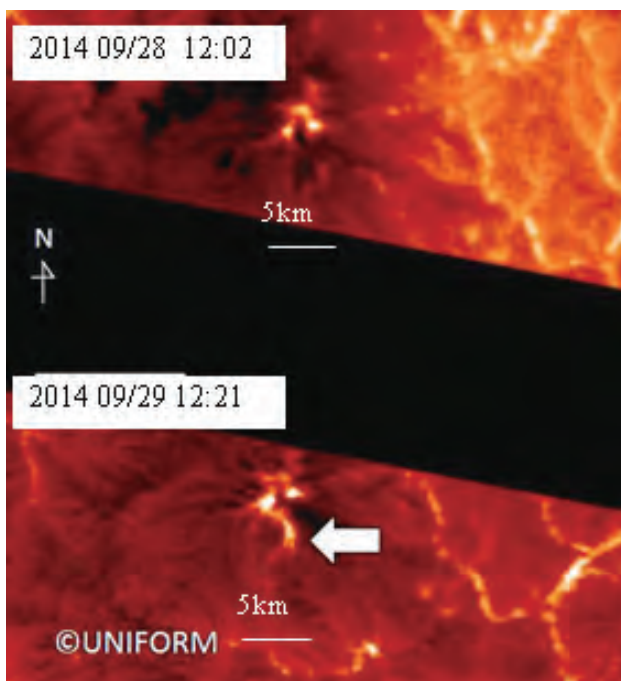


図5 UNIFORM-1による御嶽山火口の観測例

くのセンサを搭載しているため、通常はもっとも観測条件のよい直下観測を行っている（図4）。実際、御嶽山の噴火に際して、まずはレーダによる緊急山体膨張観測要求が内閣府防災担当より出たこともあり、だいち2号機に搭載された（ジンバルを持たない）熱赤外カメラは、首振り観測等で機動的に火口を観測することが出来無かった。そのため、大型衛星による高解像度熱源（災害後の救助活動等に必要となる100~200m程度の解像度）観測は、噴火から1週間後、10/3にASTERによって実施されたものが最初であった。

一方、小型衛星は極めて製造コストが安く（数億円以下）、また運用権も大学等の研究室が有している。そのため、首振り観測など、機動的に観測スケジュールを変更することが可能である。御嶽山の例では、噴火のあった翌日・翌々日には、熱源の観測に成功している（図5）。9月29日の観測では、28日には見られなかった熱源が南側（図5白矢印先端部分）に観測されているが、当日は風が北西から南東に吹いていたこともあり、航空機は当該部分の撮影を行うことが出来ず、この熱源の存在は観測されていない。本観測データは直ちに気象庁に提出され、他のデータと併せて利用されている。衛星データは地上での観測データとあわせ、校正されることが必要不可欠である。今後、地上での活動と連動した観測が行われることが強く望まれる。

2.4 UNIFORM-1号機の運用上での問題点

前述のように、UNIFORM-1号機は噴火後直後（翌日・翌々日）の御嶽山の観測に成功している。しかしながら、実際に観測データを地上にダウンリンクが出来たのは、3日後の9月30日になってからである。UNIFORM-1号機は運用試験・実証衛星であり、衛星との通信を行える地上局が1局に限定されていたことが原因である（図6）。今後、観測頻度を上げるためには、衛星の数を増加させる必要があり、超小型衛星を多数打ち上げることが、コスト的にも現実的な解である。一方で地上局に関しても、インターネット等を使ったネットワーク化が必要不可欠である。そのためには、衛星と地上局の通信方法・プロトコル等の標準化を進めることが重要となる。

一方で通常時の運用に関しては、インターネット

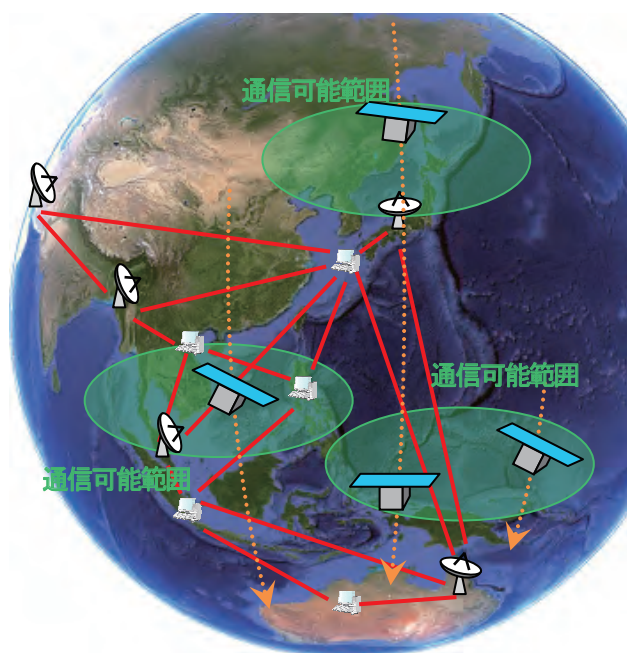


図6 地上局の通信可能範囲イメージ図

を利用したオペレータの遠隔参加などにより、交通費や人員の確保など、多くの問題点は解決した。また技術的な側面での様々な問題点があったが、いずれも運用経験を積みながら、その対処法が見つかりつつある。また本稿では技術的な課題に関する記述をすることは目的ではないので、割愛する。一方、大学における人材雇用や予算上の理由に起因する問題がいくつか存在している。

現在、和歌山地上局は2名の研究支援員によって運用されている。しかしその職種の位置づけ上、本来は勤務時間は日中に限定され、また時間の変更に関しても柔軟性を欠いている。しかしUNIFORMのような実験・実証衛星においては、突然に夜間運用が必要となるなど、稚児を育てるにも似た機動的な対応が必要となる。しかし大学における現行の雇用制度は、このような機動性を有していない。他の方法として、従事者を裁量労働制をもつ教員として雇用することも一つの方法である。しかしこの場合、教員には研究や教育という側面も求められるため、技術職員の側面をもつ従事者には必ずしも適さない。本学においてはこれまで、緊急避難的な運用に際しては、労働基準に違反しないように事後に対応を取るなど、対処療法的に対策を講じてきた。しかし定期的に衛星運用が行われる場合には、きちんとした制度の確立が必要である。運用に関しては外部委託するなどの方法も検討していきたい。

次に大きな問題は、いわゆる「研究開発」段階で獲得した補助金が終了し、定常運用に移行した場合の運用費の確保である。補助金の考え方は、研究の打ち上げ時に必要となるイニシャルコストを提供するが、定常運用に移行する段階では、補助金に頼らない独自予算による運用が求められている。しかし国立大学予算全体が強い削減圧力の中にあり、せっかく補助金で製造・打上を行い、成功裏に運用を続けている衛星であっても、予算不足のために運用を打ち切らざるを得ないような状況が生まれている。実際、来年度の本研究所予算は半年分の人件費のみ（事業費は無し）しか認められておらず、独自に予算を確保しない限り、UNIFORM-1の運用を半年後には停止せざるを得ない状況である。当研究所としては開発を行った地上局や衛星システム、キャパシティービルディングプログラムなどによる収益獲得活動も目指しているが、今後の状況は極めて不透明である。研究開発された装置・システムが継続的に利用され、発展していける仕組み作りが急務である。

また、現在軌道上を様々な物体が周回しており、衝突現象も時々発生している。このような現象をあらかじめ予測しメール等にて通知するサービスがJSpOC（The United States Joint Space Operations Center）で無料で公開されており、UNIFORM-1号機も同サービスに登録している。2014年7月18日の近接アラートを皮切りに、これまで3度の連絡を受け取っている。衛星の周回軌道は大きく変化しないので、一度アラートが発生すると、その後3日程度はアラートが継続するのが普通である。これまでの最接近距離として、96mのアラートが発生している。

このような衛星とデブリ、衛星同士の衝突可能性に関しては、予測値が必ずしも正確ではないこと、またUNIFORM-1号機には瞬時に軌道を大きく変更する機能を有していないことなどから、運用上出来ることはほとんど無い。初期においては近接アラート前後で緊急運用を行い衛星の健全性を確認したりもしたが、現在では特に対応方法も無いため、アラート発生時に緊急運用を入れるなどの対応は行っていない。今後、数mまでの接近アラート等がある場合にはまた、緊急運用の必要性に関して、議論を行う予定である。

3. 今後の展望

UNIFORMプロジェクトでは、衛星や地上局の製造・運用に関するキャパシティービルディング手法を確立することも一つの重要な課題である。現在、新川崎にある慶應白坂研のラボにて衛星製造・運用の、和歌山大学において地上局製造・運用のキャパシティービルディングが実施されている。



図7 新川崎における衛星製造キャパビルの様子

3.1 衛星キャパシティービルディング

2014年度には、カザフスタンから5名、ベトナムから1名の若手技術者を受け入れ、ほどよし-1号機をベースとしたUNIFORM2号機・3号機を使ったキャパシティービルディングを実施している（図7）。キャパビルの実施に際しては、事前に経済産業省に技術輸出申請を実施し、許可を得て実施を行った。

プロジェクトが終了する今年度末には、UNIFORM-2号機・3号機は製造訓練機として、一応の完成体として製造を終了する。使用周波数が未申請・劣化部品に関してはダミーを使用している等の理由により、これら製造訓練衛星はそのままFMとして打ち上げることは出来無い。一方で来年度以降の打ち上げ予定もまだ決まっていないため、現在、カザフ国立大学、ブラジル宇宙庁等と調整を進めている。来年度以降には両国からの資本導入も受け入れ、共同衛星としての実打ち上げ・運用を実施したいと考えている。

3.2 地上局キャパシティービルディング

2月末に、JSTさくらサイエンス予算を利用して、

ベトナムから約10名のエンジニアが参加、地上局の製造方法および運用に関するキャパシティービルディングを1週間、実施した。（図8）ベトナムではSバンドおよびXバンドの自国内での製造・運用を希望しており、今後、ベトナム国内予算の獲得後に、具体的な製造・運用支援を行う予定である。

一方で大学としてはこのような機器を海外に輸出する実施主体とはなれないため、外部企業等との協力や、学内ベンチャー企業の起ち上げ等、実施可能な体制を構築する必要がある。また実際の販売・技術支援に当たっては、人員やイニシャルコストの確保も必要不可欠である。今後はこれらの体制や財政面も含めた検討を行っていく予定である。



図8 ベトナム若手技術者研修

4. おわりに

本年度は、UNIFORMプロジェクトの大きな節目であるUNIFORM-1号機の打上・運用を実施し、和歌山大学として、衛星運用能力を獲得した重要な一年となった。また和歌山大学が中心となり製造・運用を行った地上局は、落雷による迷走電流等の被害などもありながら、極めて安定的に定常運用されていることは、大きな成果である。

一方、補助金が終了する来年度以降に関しては、得られた技術・ノウハウを元に、運営資金を自ら稼ぐことが求められている。大学組織はビジネス主体となることを前提には構築されておらず、また今後も現在と変わらない活動を実施していればよい、という雰囲気も根強く残っている。しかしUNIFORMプロジェクトを通じて実践してきた教育から人材育成、産業育成へと続く一連の活動は、今後の我が国

の宇宙開発の産業化や、人材育成にとって非常に大きな意味を持つと考えている。

今後、様々な困難も予測されるが、当研究所としてはしっかりと業務を継続していきたい。

謝辞

UNIFORM プロジェクトは、北海道大学・東北大学・東京大学・慶應大学等の参画機関、および産業技術総合研究所や次世代宇宙研究開発組合等の協力機関の献身的な御協力により、活動を行ってこることが出来ました。関係者の皆様、一人一人に、心から感謝の念を述べたいと思います。

また学内での運用に当たっては、教育企画課の山田課長・上山係長には、ひとかたならぬ御理解と御尽力を賜りました。重ねてお礼、申し上げます。

本研究所の活動の一部は、総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成されたものです。またUNIFORM プロジェクトは、文部科学省からの補助金事業として実施しています。「さくらサイエンス」はJST事業として実施しました。心からの感謝を申し上げます。

