



資料57-1

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第57回)2020.07.21

革新的衛星技術実証1号機 小型実証衛星1号機（RAPIS-1）の 成果について

2020年7月21日

宇宙航空研究開発機構

理事 張替 正敏

革新的衛星技術実証グループ長 金子 豊



本報告の概要



【経緯】

- 「革新的衛星技術実証プログラム」の軌道上実証1号機である、革新的衛星技術実証1号機（7つの衛星：10機関の13実証テーマ）は、2019年1月18日にイプシロンロケット4号機により打ち上げられ、JAXAが開発した小型実証衛星1号機（RAPIS-1）は、約1年間の定常運用を実施した。
- RAPIS-1の運用終了の妥当性及びプロジェクトの終了について、2020年3月24日JAXA理事会議において了承され、2020年6月24日に停波した。（他の6機については、現在も運用を継続している。）

【本報告の内容】

- 革新的衛星技術実証1号機のRAPIS-1の定常運用を終えた現時点で、衛星システム 及び 搭載実証テーマにおいて、当初設定した成功基準 及び 5年後として設定したアウトカムが達成できており、その成果を報告する。



報告内容



1. 革新的衛星技術実証1号機の概要
2. RAPIS-1搭載実証テーマの成果
3. 衛星プラットフォームとしての成果
4. まとめ

【目的と構成】

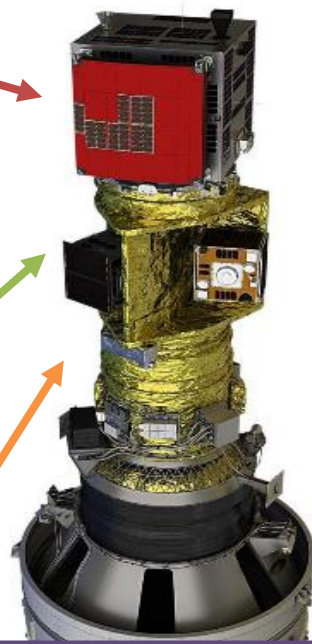
- ①衛星のキー技術の宇宙実証により宇宙分野を支える技術基盤・産業基盤の持続的な維持・発展、及びITARフリー化など衛星産業の国際競争力の獲得・強化に繋げる。
- ②新規の民間企業等参入のため、定期的な相乗り打ち上げ機会の確保によりハードルを下げることで宇宙利用拡大を促進する。これにより新規参入する民間企業等との相互利用・連携が進み、新たなイノベーション創出にも繋がる。
- ③チャレンジングかつハイリスクな衛星技術/ミッションの開発・実証ができる機会を確保することで、宇宙産業のベンチャービジネス促進や宇宙分野におけるより優秀な人材の育成を図る。

■ 小型実証衛星 1号機 (RAPIS-1)

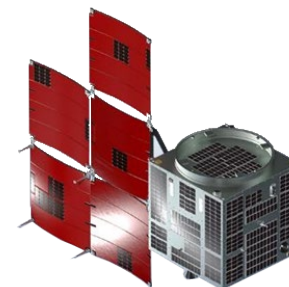
7つの部品・コンポーネント実証テーマを搭載した JAXA開発の小型実証衛星

- ① 革新的FPGA (NEC)
- ② Xバント® 高速通信機/Xバント® 中利得アンテナ(慶大)
- ③ グリーンプロペラント推進系 (JSS)
- ④ 粒子エネルギー spektrometer (JSS)
- ⑤ 革新的地球センサ・スタートラッカ (東工大)
- ⑥ 軽量太陽電池パドル (JAXA)
- ⑦ 超小型・省電力GNSS受信機 (中部大)

7機の衛星 (13の実証テーマ)
を高度500kmの軌道に投入



■ イプシロンロケット4号機



RAPIS-1の軌道上外観
RAPIS-1の概要

項目	諸元
サイズ	1022 mm×1082mm×1060mm
質量	200 kg
姿勢制御	地球指向三軸姿勢制御
電力	ミッション系発生電力：100W以上 バス系発生電力：100W以上
太陽電池	ボディマウント方式
軌道	太陽同期軌道 高度500km 軌道傾斜角97.24度
打上げ	2019年1月18日9時50分20秒
運用終了	2020年6月24日7時50分
ロケット	強化型イプシロンロケット

■ 超小型衛星 (50kg級× 3機)

小型実証衛星の下部に横向き搭載

- ① MicroDragon (慶大)
- ② RISESAT (東北大)
- ③ ALE-1 (株) ALE)

■ キューブサット (3機)

3Uサイズの放出機構を2式搭載

- ① OrigamiSat-1 (3U;東工大)
- ② AOBA VELOX-IV (2U;九工大)
- ③ NEXUS (1U;日大)

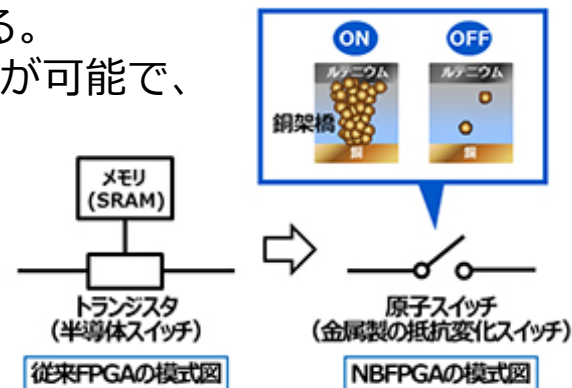
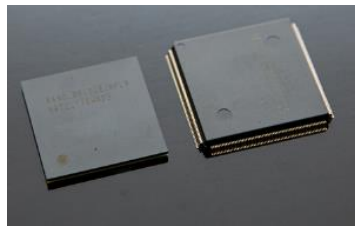
① 革新的 FPGAの耐宇宙環境性能軌道上評価／NBFPGA（日本電気株式会社）

【実証概要・目標】

- FPGA（field-programmable gate array）の動作に「原子スイッチ」を用いた放射線によるエラーが少ない宇宙用集積回路を実証する。
- 最先端FPGAと比較して、小型化、低消費電力化、低コスト化が可能で、衛星のシステム競争力向上への寄与を目指す。

同等の処理能力を持つFPGAと比較し

- ・ サイズは1/3（28×28×3.4mm）
- ・ 電力1/10（効率10倍向上）
- ・ 放射線によるエラー発生率は1/100以下



NEC提供

【実証結果】

- 運用期間を通じて、革新的FPGA（NBFPGA）の放射線によるエラーは発生しなかった。
- NBFPGAの部分書換えも実施し、軌道上でのFPGAの書換えも実証した。
- 宇宙用の不揮発性FPGAで、耐放射線性が高く、書換えが可能なFPGAはNBFPGAのみで、かつ既存のSRAMメモリ型と比較して10倍の電力効率があり、高い国際競争力を有する。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：一部達成

【アウトカム成果】

- NBFPGAの本格的な事業化に向けて活動を開始した。

NBFPGA: NanoBridge FPGA（金属原子移動型スイッチ"Nanobridge"を搭載したFPGA）

2. RAPIS-1搭載実証テーマの成果

② X 帯2-3Gbpsダウンリンク通信の軌道上実証／XLTX, XMGA（慶應義塾大学）

【実証概要・目標】

- 降雨に強いX帯通信の特徴を最大限活用しつつ、省電力、低価格の使い勝手の良い通信システムとして、大容量データのダウンリンクを実証する。
※ほどよし4号で64APSK、505Mbpsを実証済み

375MHzの帯域幅で2-3 Gbpsの通信を実現
(地球周回衛星からでは世界最高通信速度、従来の6倍)

APSK: Amplitude & Phase Shift Keying (振幅位相変調)

【実証結果】

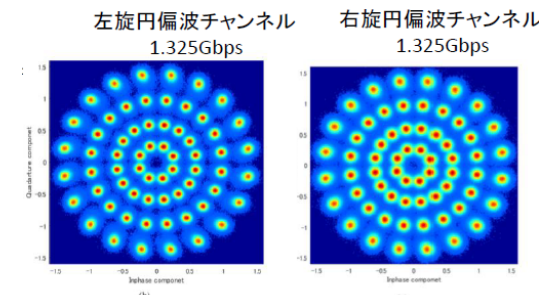
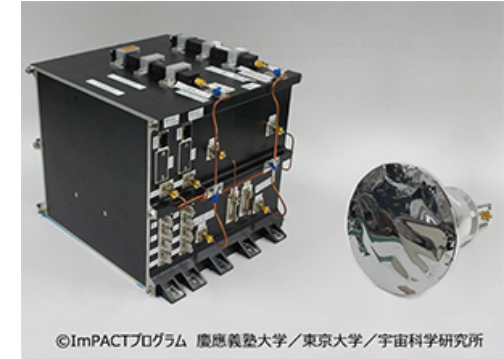
- 64APSK変調にて、合計2.65Gbpsのエラーフリーの通信速度を確認した（右図）。実験的なシステムではあるものの、低軌道周回衛星からのダウンリンク通信としては世界最高速度を達成した。
- 周波数利用効率8.4bit/Hzという値も、観測衛星のデータ伝送としてエポックメイキングなものである。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：達成

【アウトカム成果】

- 軌道上実験で得られたX帯高速通信技術に係る知見が、宇宙ビジネスのスタートアップ企業に活用されることが期待される。



Rapis-1衛星からのX帯信号を復調したIQ平面でのコンスタレーション。同じ周波数で左旋円偏波/右旋円偏波の2チャンネルを使用(偏波多重)。64-APSKでは、正弦波信号に振幅と位相の変調をかけて、複素IQ平面上で64個の情報のどれかを1個のシンボルで伝送するため、1シンボルで6ビットの情報を伝送する。

慶應義塾大学 提供

64-APSK変調 2チャンネル合計2.65Gbps

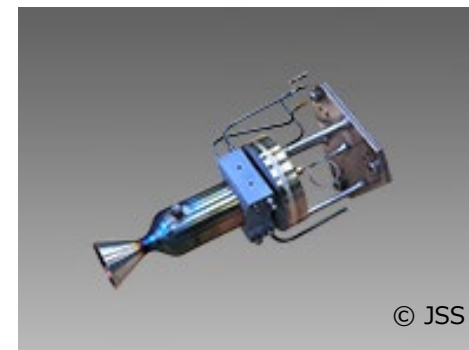
2. RAPIS-1搭載実証テーマの成果

③ グリーンプロペラント推進系（GPRCS）の軌道上実証 （宇宙システム開発利用推進機構（JSS））

【実証概要・目標】

- 将来の規制強化を睨み、低毒性推進薬を用いた安全かつ低コストな推進系を実証する。小型衛星市場の海外への展開も目指す。

- 運用性向上：ヒドラジンのような防毒設備や防護服不要
- 低コスト化：安価な材料を使用のため低価格化（約1/3）
- 低省電力化：低融点のためヒータ電力低減
- 高性能推進薬：高密度高比推力推進薬

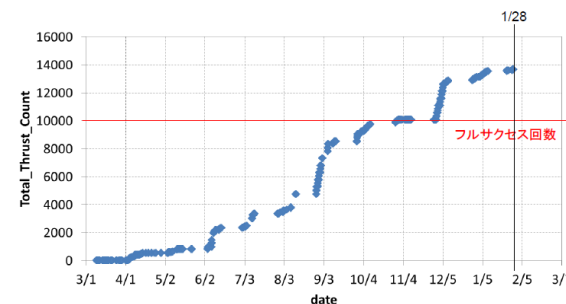


© JSS

ヒドラジン：信頼性やコストの観点で衛星推進薬として主流だが、毒性があり取扱性に難点がある
※海外では、ECAPS社製の低毒推進システムがすでに軌道上実証されている

【実証結果】

- 低毒性のHAN系推進薬（SHP163）を用いた推進系としては世界で初めて軌道上実証を達成した。
- 推力:1.1N、Isp:209s、累積噴射回数:13660回（右図）、累積噴射時間:4635秒を達成した。
- 競合する海外製1Nスラスタに対して、低価格（1/3程度）な機器を開発した。



軌道上での累積噴射回数の推移

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：達成

【アウトカム成果】

- エクストラサクセスの枯渇までの噴射を反映し、製造担当メーカーの衛星推進系カタログに「Flight Proven」としてGPRCSの記載を追加した。国内衛星システムメーカー2社への適用提案の検討及び海外衛星システムメーカーからコンタクトのフォローアップを実施中。

2. RAPIS-1搭載実証テーマの成果

④ 粒子エネルギー spektrometer (SPM) の軌道上実証 (宇宙システム開発利用推進機構 (JSS))

【実証概要・目標】

- 民生部品を活用し、安価かつ小型・軽量のSPMを実証する。
- 打ち上げ数の増加が見込まれる小型衛星での宇宙環境観測装置として搭載を目指す。

民生部品の使用で、環境モニタ装置の小型・軽量・低コスト・短納期化を実現。競合製品と比較し、質量約2/3、価格約1/5



【実証結果】

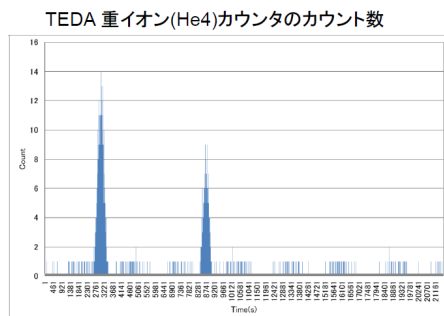
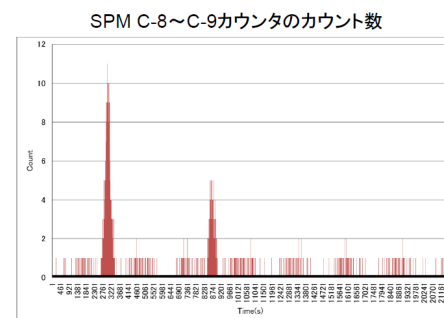
- JAXAコーディネートの高精度な宇宙放射線観測装置TEDAと校正した結果、同じ傾向のデータが取得できた（右図）。また、SPMセンサと回路系の劣化は確認されなかった。
- 宇宙放射線による機器の誤動作や故障の原因究明、放射線による異常発生回避運用のための「放射線環境計測」として、十分な計測性能を有することを確認した。
- 海外競合機器に対抗しうる小型・軽量の機器を開発できた。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：N/A※

【アウトカム成果】

- 製造メーカーHPにSPMカタログの掲載を開始し、2020年2月時点で、見積り依頼や静止軌道での使用検討の引合いを得ている。



JSS 提供

SPMとTEDAの比較（重粒子）

※運用期間中に対象となる大規模な太陽フレア等のイベントが発生しなかった。

2. RAPIS-1搭載実証テーマの成果

⑤ 深層学習を応用した革新的地球センサ・スタートラッカの開発／DLAS (東京工業大学)

【実証概要・目標】

- 民生品のカメラ画像とオンボード計算機を用いた低コストな地球センサやスタートラッカを実証する。
- 軌道上にてシンプルな深層学習で地球の認識を行う。

現行品（スタートラッカ）より1桁低価格

【実証結果】

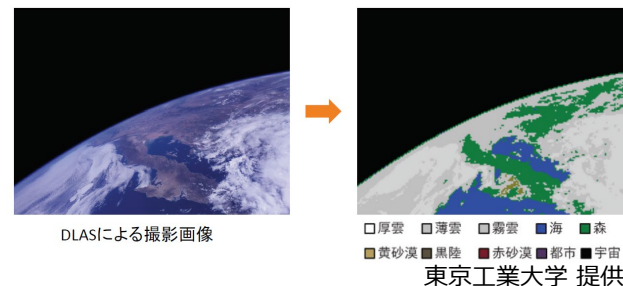
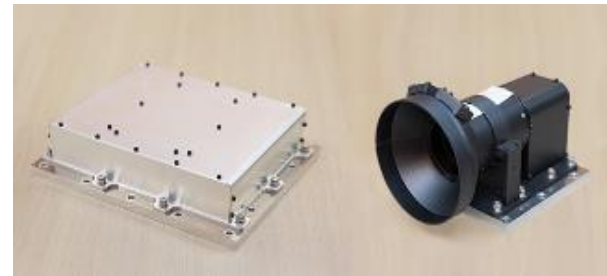
- 可視光画像の深層学習を用いた軌道上リアルタイム画像認識を世界で初めて実現した(右上図)。陸地・雲・海を含む8つの分類での識別精度は70%を上回った。
- 地球センサによる地心方向推定精度は0.4degで、安価なシステムで実用レベルの地心方向推定を実現した(右下図)。
- 可視光画像認識を応用した3軸姿勢推定精度は2.3deg、処理時間は平均0.3秒という結果が得られ、世界初の可視光画像認識を応用した3軸姿勢推定を軌道上で実証した。
- スタートラッカで13.5arcsecの姿勢決定精度を達成した。

【サクセスクライテリアの達成状況】

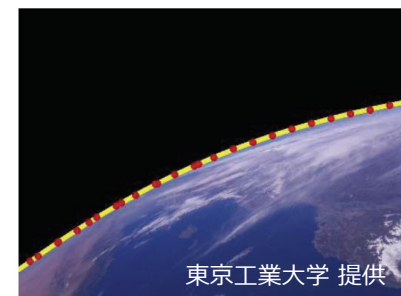
ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：達成

【アウトカム成果】

- 実証したスタートラッカの改良型の製作や深層学習機能を用いた画像解析を行う東工大発ベンチャー株式会社「天の技」を設立した。
- 小型実証衛星2号機に搭載し、軌道上実証後、市販予定。



深層学習による識別結果例



地心方向決定画像

赤点：検出したエッジ点
黄線：地心方向推定結果から逆算したエッジ

⑥ 軽量太陽電池パドル機構 / TMSAP (JAXA)

【実証概要・目標】

- JAXAが開発した薄膜電池を採用した太陽電池パネル5枚を用いたパドル機構の展開を実証する。
- 従来の太陽電池パドルと比較して、1/3の軽量化が可能であり、
- オール電化衛星・探査機等のニーズへの対応を目指す。

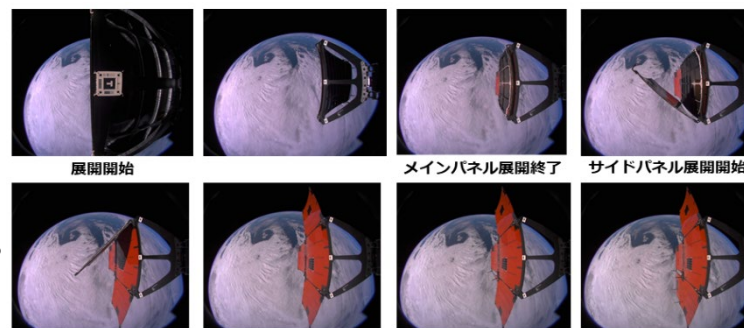
- JAXA開発の高効率薄膜太陽電池(効率30%)アレイシートを使用
- 従来パネルの1/3という軽量化を実現



©JAXA

【実証結果】

- 世界最高レベルの出力質量比 (150W/kg超) を実現する薄膜太陽電池を搭載したパドルの展開を実証。展開確認用モニタカメラ画像および展開モニタスイッチのデータから正常展開を確認した(右上図)。
- 1年間の電力出力特性をモニタした結果、予測範囲内の劣化で、正常動作を確認した(右下図)。
- 地上では計測が困難な μG での展開挙動も計測し、動的特性の精密なモデル化ができた。



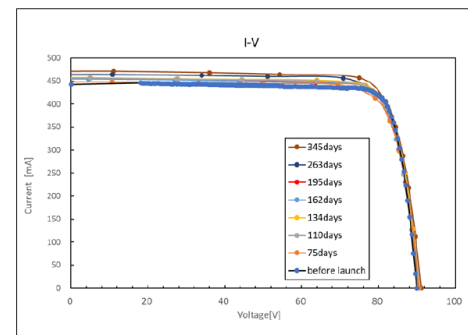
展開確認用モニタカメラによる画像

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：達成

【アウトカム成果】

- 薄膜太陽電池パネル数を増加した太陽電池パドルが、深宇宙探査実証機DESTINY+に採用予定。



1年間のI-V特性の変化

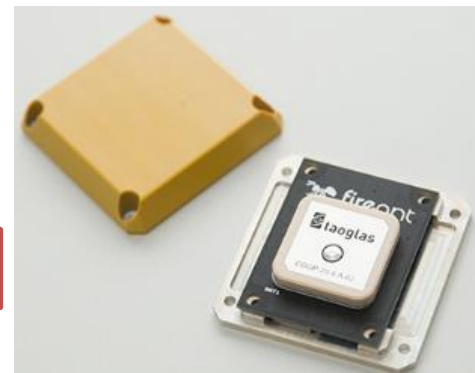
⑦ 超小型・省電力GNSS 受信機の軌道上実証／Fireant（中部大学）

【実証概要・目標】

- 最新の車載用GNSS受信機をベースに、超小型衛星用にアンテナを組み込みパッケージとしたものを実証する。
- 小型・低消費電力・低コストを実現し、小型衛星の運用の自動化などの低コスト化を目指す。

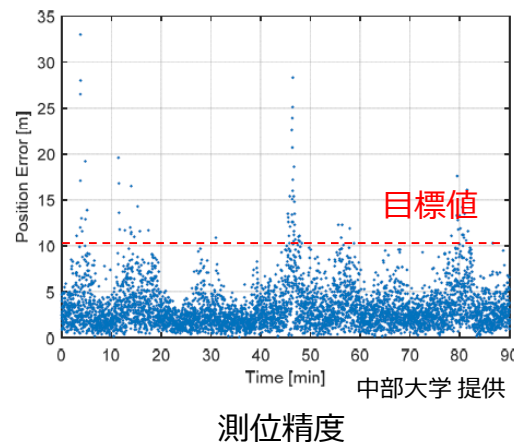
切手大サイズの超小型・省電力GPS受信機（既開発）にアンテナを一体化

※SS520で打ち上げられたTRICOM-1Rにおいて宇宙空間での測位は実証済みであるが、詳細な受信機データの取得はRAPIS-1が初めてとなる



【実証結果】

- 測位精度、TTFF（time to first fix）、放射線耐性において、当初想定以上の結果を確認することができた（右図）。
- 従来の超小型衛星向け製品と比べ、サイズ・消費電力・価格の全てにおいて数倍以上改善された市場競争力の高いGNSS受信機を実証した。



【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成、エクストラ：一部達成

【アウトカム成果】

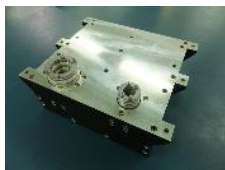
- 軌道上実証により製品の問合せが増加し、以下の販売実績を上げた。
 - 大学及び研究機関向け：4機関に21台
(革新2号機搭載の「ひばり」「KOSEN-1」を含む)
 - 一般企業向け：20台
(小型実証衛星2号機のシステムメーカー三菱電機でも採用予定)

3. 衛星プラットフォームとしての成果

- 13の実証テーマ（7機の衛星）を打ち上げ、軌道上実証機会を提供**
 - イプシロンロケット4号機の複数衛星の搭載機構・キューブサット放出機構により、複数衛星の同時打ち上げに成功した。
 - RAPIS-1では、電子部品単体・衛星推進系・展開物など、従来実証機会が少なかった要素技術を含む13テーマの軌道上実証を実現した。
 - 革新的衛星技術実証2号機では14テーマ、3号機では15テーマを打ち上げ予定で拡がりを見せている。
- 短期間・低コストな開発を実現**
 - JAXA衛星で初のスタートアップ企業（株式会社アクセルスペース）に開発・試験・運用を委託。企業の開発実績と経験を最大限活用すると同時に、JAXAの開発知見等を組み合わせることで、同クラスの衛星に比べ競争力の源泉となる低コスト、かつ、約2年という短期間での開発を実現した。
 - アクセルスペース社は、JAXAとの開発で、これまで製作したことがない200kg級衛星を開発した。「JAXAとの契約は、同社の進める事業の特に東南アジアでの売込み時の信頼感に貢献した。」と、アクセルスペース社からコメントを頂いている。
 - 自動化されたシステムで運用し、ヒューマンエラー排除や運用の省力化・低コスト化を実現した。
- JAXAがコーディネートすることにより効果的な実証を実現**
 - 単体で持ち込まれるテーマに、JAXAが実証環境、必要リソース、計測・確認手段の提供を提案し、効果的な実証を実現した。

例) 部品・コンポの実証環境＋他の実証テーマの確認手段を同時に提供

宇宙環境モニタ装置
(JAXA開発)



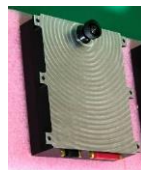
部品評価のための
放射線環境データ
等を取得・提供

革新的FPGA
(部品実証テーマ)



実証環境提供
JAXA開発カメラの
処理部への組み込み

衛星搭載カメラ
(JAXA開発)



確認手段提供
展開実験の確認
手段としても活用

軽量太陽電池パドル機構
(別の実証テーマ)



革新的衛星技術実証1号機 小型実証衛星1号機（RAPIS-1）は、2019年1月18日にイプシロンロケット4号機により打ち上げられ、その後当初の計画通り1年間の運用を実施した。

その間、以下の成果を得ることができ、1号機として目的を達成した。

- 衛星システム 及び 搭載実証テーマすべてにおいてフルサクセス以上を達成。
- 5年後の目標として設定したアウトカムである「宇宙機器の産業化や新たな企業設立」について、現時点でも達成。

引き続き、「革新的衛星技術実証プログラム」を通じて、宇宙利用の拡大と日本の宇宙産業の発展に寄与する予定である。

補足資料

1. 小型実証衛星1号機（搭載実証テーマを含む）
サクセスクライテリア達成結果
2. 革新的衛星技術実証1号機 超小型衛星／キューブサットの
現状とミッション達成状況
3. 革新的衛星技術実証2号機の状況
4. 革新的衛星技術実証3号機の状況



1. 小型実証衛星1号機（搭載実証テーマを含む） サクセスクライテリア達成結果



小型実証衛星1号機 サクセスクライテリア



- RAPIS-1においては、
 - ① 機器・部品実証の機会提供を行う
 - ② 次号機以降も共通的に使用できるプラットフォームの技術実証を行うの2つのミッション目的に対して、フルサクセス以上を達成した。
- RAPIS-1では、以下のアウトカム目標を設定している。

【アウトカム目標】

小型実証衛星1号機搭載の実証テーマから、新しいコンセプトや格段に高い性能の宇宙機器が産業化されたり、新たに宇宙産業に参入する企業が育まれること。

＜達成判断時期：運用開始5年後＞

搭載した実証テーマのアウトカム（産業化、新たな企業参入等）成果として、現時点でも、宇宙機器の産業化や新たな企業設立は見られており、目標を達成する可能性は高い。最終的には運用開始5年後に判定する。

- 7つのRAPIS-1搭載実証テーマのうち、
4つの実証テーマでエクストラサクセスを達成し、
3つの実証テーマでフルサクセスを達成した。
（詳細は、次ページ以降を参照のこと。）

ミッション目的	サクセスクライテリア		達成結果	
革新的衛星技術実証プログラムで実施する「軌道上実証」のうち、機器・部品実証の機会提供を行う。	ミニマムサクセス 【基本機能の実証】	各実証テーマ（機器・部品）に対する電源及び通信環境を確立すること。	達成	初期運用で、各実証テーマへの電源・通信環境の提供を確認した。
	フルサクセス 【宇宙実証の実現】	定常段階において、各実証テーマ（機器・部品）のインタフェース管理仕様書に記載する実証データを取得すること。 【打上げ1年後に判断】	達成	ICSに記載の各実証テーマの実証データを取得した。
	エクストラサクセス 【JAXAコーディネート効果確認】	① 実証テーマの新たな利用形態や価値の創出を目指して、NBFPGA単体の実証に加えて、モニタカメラの部品としてNBFPGAを組み込んだ実証を行う。 ② 宇宙環境計測装置を搭載、計測データを提供することにより、全実証テーマの耐宇宙環境性能評価を支援する。 【運用終了時に判断】	①達成 ②一部達成	① NBFPGAを処理部に組み込んだモニタカメラを搭載し、NBFPGAの実証に加え、TMSAPの展開をも検証した。 ② 取得したTEDA計測データはHPで公開され、各実証テーマに提供されたが、当初は常時計測の計画が、衛星電力不具合のため間欠計測になった。
次号機以降も共通的に使用できるプラットフォームの技術実証を行う。	フルサクセス	実証テーマ（機器・部品）の軌道上実証評価に必要な実験環境(放射線・温度及び実験時の姿勢及び軌道位置)を計測し、実証テーマ提案者に提供すること。 【打上げ1年後に判断】	達成	放射線・温度及び実験時の姿勢及び軌道位置データを各実証テーマ提案者に提供した。



RAPIS-1搭載実証テーマのサクセスクライテリア達成結果 (1/3)



実証テーマ	サクセスクライテリア		達成結果	
NBFPGA	ミニマム	軌道上で1回の所定の動作実績が得られること。	達成	初期C/Oで確認済み
	フル	運用期間一年間、所定の動作実績が得られるとともに、軌道上で取得したデータからソフトエラー率を算出し、受けた環境から予想されるソフトエラー率と同等な結果となること。（具体的な評価内容はICS3.2.4項）	達成	予測エラー率が1000時間に最大で数回となっているため、1000時間の評価が必要。既に約3300時間を達成。
	エクストラ	軌道上で革新的FPGAの書き換えを行い、所定の機能を確認できること。また、当初の運用期間1年間を超えて所定の動作実績が得られること。（具体的な評価内容はICS3.2.4項。その中でエラー計測の5000時間の要求あり）	一部達成	1年間の累積動作時間約3300時間において正常動作を確認。軌道上で革新的FPGAの部分書換えを行い、正常動作を確認。
XLTX/ XMGA	ミニマム	① 右円偏波チャンネルと左円偏波チャンネルの通信回線が同時に成立した事を実証。 ② 2. どちらかの偏波チャンネルにて、コーディングレートを考慮しない通信速度 1 Gbpsの通信回線が成立した事を実証 ③ 3. 地上復調・復号システムに問題がある場合には、上記 1, 2 項を満たす送信信号が衛星から送信されている事を、地上局の受信スペクトル観測にて確認する。	達成	初期C/Oで確認済み
	フル	① コーディングレートを考慮しない通信速度として 2 Gbps以上の通信回線が成立した事を実証。 ② コーディングレートを考慮しない通信速度として 2 Gbps以上の通信回線が成立する送信信号が衛星から送信されている事を、地上局にて確認。	達成	臼田10mアンテナにて受信しソフトウェア復調を実施した結果、64APSK変調にて2.65Gbpsの通信速度を確認した。
	エクストラ	① コーディングレートを考慮した情報としての通信速度として2Gbps以上の通信回線が成立したことを実証。 ② コーディングレートを考慮しない通信速度として2.5 Gbps以上の通信回線が成立した事を実証。 ③ 定常段階 1 年以上、フルサクセスが継続して達成できている事。	達成	



RAPIS-1搭載実証テーマのサクセスクライテリア達成結果 (2/3)



実証テーマ	サクセスクライテリア		達成結果	
GPCRS	ミニмум	GPCRSの性能確認	達成	初期C/Oで確認済み
	フル	軌道上運用における推力：0.8N@BOL	達成	1.1N@BOL
		軌道上運用におけるISP：180s以上@BOL		209s@BOL
		軌道上運用における累積噴射時間：3,000s以上		総累積噴射時間は4635s
		軌道上運用における累積パルス数：10,000回以上		総累積パルス数は13,660回
	エクストラ	推奨枯渇まで噴射ができること	達成	枯渇を確認
SPM	ミニмум	軌道上にて放射線計測を実施し、実験テレメトリデータを取得できること。	達成	初期C/Oで確認済み
	フル	電子、陽子、重粒子の弁別及びエネルギー量の観測ができること、及びTEDAと比較し、同傾向の実験テレメトリデータが取得できること。	達成	電子、陽子、重粒子それぞれのカウンタでTEDAと同傾向のデータが取得できた。TEDAとの同時運用で妥当性を確認した
	エクストラ	太陽フレア等、軌道上の放射線環境を同定できる実験テレメトリデータが取得できること。	N/A	運用期間中に対象となる大規模な太陽フレア等のイベントが発生しなかった。
DLAS	ミニмум	【HW健全性の確認・基本動作確認】 ①結像性能・温度制御等H/Wの動作状況を確認 ②実装した全機能が動作することを確認 ③画像データの取得・転送	達成	初期C/Oで確認済み
	フル	【機能実証：姿勢決定実験】 ①軌道上姿勢決定実験の実施 ②姿勢決定精度・成功・失敗率の評価 ③教師画像データ取得（目標500枚） ④性能目標： ・地球センサ：陸地/雲/海の識別（識別成功率70%） ・スタートラッカー：恒星の検知（5等級相当の検知成功率70%）	達成	・教師画像として2024枚取得 ・地球センサの識別精度：78% ・STTの恒星の識別率：83.7%(STT-A)、78.7%（STT-B）
	エクストラ	【長期運用・信頼性評価】 ・教師画像データ取得（1000枚以上） ・センサ劣化・OBCの放射線障害の評価 ・連続した安定動作の実証（軌道上1年） ・性能目標：地球センサ±5°, スタートラッカー±10'	達成	・地球センサによる姿勢決定精度：2.3° ・STTの姿勢決定精度：13.5(arcsec)=0.225'



RAPIS-1搭載実証テーマのサクセスクライテリア達成結果 (3/3)



実証テーマ	サクセスクライテリア		達成結果	
TMSAP	ミニマム	軌道上において出力重量比150W/kg以上の性能を有する軽量太陽電池パドルが正常に展開したことを以下の検証項目で確認する。 ①衛星システム側搭載モニタカメラ(バス機器：静止画撮像が可能)によりメインパネル、及びサイドパネルの展開シーケンスが正常に進行したことを確認する。 ②展開モニタにより各パネルヒンジ部のラッチ動作が正常に動作し、展開シーケンスが正常に完了したことを確認する。	達成	初期運用の展開において、モニタカメラの画像、各パネルヒンジ部のラッチ動作により正常に展開したことを確認済み。
	フル	(打上げ環境を含めた)軌道上環境下でパドル電気計装系の健全性を以下の検証項目で確認する。 ・軌道上1年後の搭載太陽電池の保存率が、開放電圧Vocが0.97、短絡電流がIsc0.95以上であること	達成	Isc：劣化なし Voc：0.98以上
	エクストラ	他ミッションで搭載されるモニタカメラ(動画撮像可能)により展開シーケンスの動画撮像が取得され、地上試験とのコリレーションモデルを構築する。	達成	モニタカメラ動画等からコリレーションモデルを構築した
Fireant	ミニマム	・GNSS受信機が正常に起動し、低軌道衛星環境であっても測位が開始されることを確認する。	達成	初期C/Oで確認済み
	フル	①軌道1周期以上の測位データを取得し、測位精度が目標値である10m(CEP)を満足していることを確認する。 ②複数回の受信機の起動により、測位開始までの平均時間が目標値である60秒以下を満足していることを確認する。 ③放射線などの影響による受信機のリセット頻度が、数か月に1回程度であることを確認する。	達成	・測位精度(CEP)：2.5m ・起動時間：26～40秒 ・これまでに偶発的な再起動は観測されていない
	エクストラ	1年以上の測位データから推定される衛星高度の変動などから、大気密度の季節変動など、地球環境情報が得られる。	一部達成	測位情報から代表的な大気密度モデルのNRLMSISE00やJB2008と同程度のオーダーで大気密度を推定できた



2. 革新的衛星技術実証1号機 超小型衛星／キューブサットの現状と ミッション達成状況

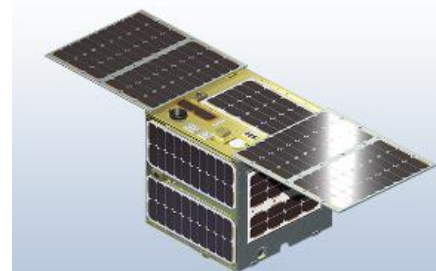
海外新興国への衛星開発教育支援により衛星利用及び 海外市場を拡大するための地球観測マイクロ衛星の提案

(慶應義塾大学/MicroDragon)

【実証概要・目標】

- ・ 海外市場の拡大に向け、新興国（ベトナム）からの留学生に対し、衛星開発で教育支援を実施する。
- ・ これまで宇宙利用をしていなかった新興国に、低コストな衛星バス（ほどよし）を提供することで、宇宙利用の拡大を目指す。

- ・ ベトナムの持続可能な漁業・養殖業への貢献を目指した観測ミッション
- ・ 波長可変フィルタ搭載カメラによるマルチスペクトル観測、その大気補正のためのエアロゾル偏光リモートセンシングを実施
- ・ 約50×50×50cm、50.5kg



【現在の運用状況】

- ・ ベトナム地上局の整備が滞っており、定常運用に移行できていないが、東京電機大学の地上局を使用して間欠的なヘルスチェック運用を実施し、衛星の電源、通信、姿勢状態の健全性は確認できている。

【今後の予定】

- ・ ベトナムの地上局が開通次第、定常運用を開始する予定。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：**達成**、フル：未達、エクストラ：未達

【アウトカム成果】

- ・ ベトナム国家宇宙センタの研究者36人が開発に参加し、今後ベトナムの宇宙活動の中核になると期待。
- ・ NECがベトナム向け地球観測衛星「LOTUSat-1」を受注し、同センターに提供予定。
「LOTUSat-1」は、イプシロンロケットで打上げることを受託した。
- ・ ベトナム首相より賞賛があったとの情報があり、選定時の国際貢献は達成できた。



MicroDragon (慶應義塾大学)



【サクセスクライテリア/アウトカム達成状況】

サクセスクライテリア		達成状況	補足説明
ミニマム	日本人教員の助言の元、ベトナム人の手により開発された超小型衛星が打ち上げられ、衛星からの電波を一度でも受信できること。	達成	
フル	各搭載ミッションで最低2回データが取得でき結果を解析できること。 1) 海色リモートセンシング： クロロフィル-a濃度などの各種海洋プロダクトを導出できること。 2) エアロゾル偏光リモートセンシング： エアロゾル光学的厚さ・オンゲストローム指数を導出できること。 3) ATOコーティングした太陽電池のVI特性・薄膜からのリーク電流を測定し、測定値の経時変化を確認すること。 衛星バスに関しては以下のクライテリアをそれぞれ評価する。 4) 改善を施したFOGの動作確認を含め、ほどよしバスが正しく新ミッションを遂行できる能力を確認できること。 5) ベトナムの地上局とほどよしで利用した国内地上局を連携利用し、東大局およびVNSC局から遠隔運用・データ取得を行うこと。	未実施	JAXA宇宙科学研究所の地上局での初期運用は1月末に終了。日本側が担当する運用は終了。 ベトナム政府の予算執行が止まり、現地での地上局整備が滞っていたため定常運用に移行できずにいたが、予算事情が変わりつつあり現在待機状態。
エクストラ	1) 「ほどよしバス」採用衛星の受注が獲得できること 2) 他の「ほどよしバス」衛星と連携して地球観測衛星コンステレーションを構築、データの共同利用を実施できること 3) イプシロンロケットの海外衛星打上げの実績を得て、同ロケットがベトナム及びそれ以外の国の衛星の打上げ受注につながる	未実施	LOTUSatの契約によるイプシロンロケット打上げ受注につながった。

目標		達成状況	補足説明
アウトカム	1) 「ほどよしバス」の衛星の軌道上実証を通じて、海外に向けて日本の技術力を示すことによる、さらなる超小型衛星市場の拡大 2) 日本の海外へのキャパビル支援能力を実証し、第二第三の海外からの教育支援の依頼を獲得 3) さらなるアピールによる「ほどよしバス」採用衛星の受注獲得 4) 今回の衛星を加えた「ほどよしバス」衛星のコンステレーションを実現し、日本との連携への海外ニーズを満たし、参加国の獲得 5) イプシロンロケットの海外衛星打上げの実績を得て、同ロケットがベトナムおよびそれ以外の国の衛星の衛星打ち上げ受注獲得	未達	定常運用未実施だが、LOTUSatの契約やNANODRAGONの打上げ(革新2号機)など、国内のサプライチェーン活性化やイプシロン受注に貢献した。

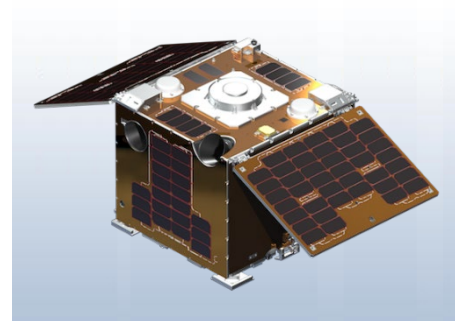
高空間分解能スペクトル撮像技術の確立による新規地球環境計測及び農林水産鉱業市場の開拓と海外衛星利用市場の拡大

(東北大学/RISESAT)

【実証概要・目標】

- ・ 高空間分解能スペクトル撮像技術の確立のため、液晶可変波長フィルタ技術を採用し、解像度5mのマルチスペクトルセンサーを実証する。
- ・ 小型衛星で新規地球環境計測及び農林水産鉱業市場の開拓のためのリモートセンシング市場へのビジネス展開を目指す。

- ・ 5m分解能によるマルチスペクトル観測、420nmから1050nmの範囲630バンドの中から10バンド程度を選択して観測
- ・ 約50×50×50cm、59.3kg



【現在の運用状況】

- ・ 視野が広い海洋観測カメラOOCについてはサイエンス的に有意義な観測を安定して実施できている。
- ・ 東北大局、キルナ局、函館局を利用してほぼ毎日運用を実施し、これまでに5000枚以上の画像の撮影を行っている。
- ・ FOGの1軸故障後の制御ソフトウェア調整により、マルチスペクトル望遠鏡HPTによる月観測が可能となった。
- ・ 海洋観測運用について、衛星の軌道情報と天気予報データから観測計画を自動的に立案するシステムを構築した。
- ・ 海洋観測カメラOOC、放射線環境センサTIMEPIXについては観測成果のプレスリリースを発表済み。

【今後の予定】

- ・ 海洋観測カメラOOCを中心とした定常的な観測運用と、観測センサの劣化を確認するための月校正観測を継続実施。
- ・ 太陽電池パネル展開やスピン安定化実験、超小型光送信機(VSOTA)を用いたレーザ通信実験を実施予定。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：ほぼ達成、エクストラ：未達

【アウトカム成果】

- ・ 超小型衛星で低コストなリモセン衛星を実現できた。
- ・ 実証成果に基づき、北海道大学発ベンチャー企業のPolar Star Spaceと連携し、超小型衛星観測データソリューション事業の展開を計画している。小型衛星におけるリモートセンシング市場への波及効果が実現しつつある。

【サクセスクライテリア達成状況】

サクセスクライテリアは、概要版(一部抜粋・修正)

サクセスクライテリア		達成状況	補足説明
ミニマム	1-1) テレコマ系の基本性能、電力収支、温度制御の機能を確認する。 1-2) 時刻指定コマンドを用いた全球観測を確認する。 2-1) 姿勢制御系センサの性能を評価し、要求値を満たすか確認する。 2-2) 姿勢制御系アクチュエータを用いて姿勢制御を確認する。 3-1) 恒星センサの検出姿勢と取得画像を地上で解析し、姿勢決定精度が 0.1° 未満であることを確認する。 3-2) GPSの時系列データを地上で解析し、機上での位置決定精度が100m未満であることを確認する。 3-3) 特定の観測対象が観測機器の視野内に収まることを確認し、姿勢制御精度が 1° 未満であることを確認する。 3-4) 観測機器を用いて観測を行い、データを取得する。	達成	1-1) SEUに起因すると思われるC&DH異常が10回生じたが、設計通り再起動により復帰に成功した。 2-1) 月を利用した姿勢センサおよびペイロードカメラのアライメント校正を実施し、観測に反映させている。 3-1,3) 視直径約 0.5° の月を半角視野 0.1° のHPTで観測可能であることから、決定精度 0.1° 未満、制御精度 1° 未満を達成していることを確認した。詳細な精度については解析中(フルサクセス4-1と連動)。 3-2) 地球観測写真の撮影地点誤差から、機上での位置決定精度は100m未満であることを確認した。詳細な精度については解析中(フルサクセス4-2と連動)。 3-4) これまでに合計5000枚以上の撮影を行っている。
フル	4-1) 恒星センサの検出姿勢と、取得画像を地上で解析し、姿勢決定精度が 0.02° 未満であることを確認する。 4-2) 機上での位置決定精度が50m未満であることを確認する。 4-3) 姿勢制御精度が 0.1° 未満であることを確認する。 4-4) 50msの間、 $30^{\circ}/s$ の姿勢安定を達成する。 5-1) 定点指向観測を行い、姿勢制御性能・姿勢安定度が要求値を満たすか確認する。 5-2) 定点指向観測で取得されるマルチスペクトル画像が要求感度、要求空間分解能を満たしていることを確認する。	ほぼ達成	4-1,2) データ取得済。解析中。 4-3,4) 半角視野 = 0.1° 度のHPTにより、ブレが生じることなく月観測に成功している。 5-1,2) HPTを用いたマルチスペクトル定点指向観測を実施し、十分な姿勢安定度、感度、空間分解能を達成していることが確認された。ただし、搭載する光ファイバジャイロ(FOG)のうち1軸が永久故障したため、オンボード姿勢決定フィルタリング機能が使用できなくなり、指向精度要求を満たすことができなかった。現在、精度が劣るバックアップ機能により観測運用を継続中。
エクストラ	6-1) 機上での位置決定精度が30m未満であることを確認する。 6-2) 姿勢制御精度が 0.04° 未満であることを確認する。 6-3) 60秒以内にピッチ角 60° の姿勢変更を達成する。	未達	6-1) データ取得済。解析中。 6-2) 上述のFOG故障にともない、達成は困難と予想する。 6-4) 今後実施予定。

【アウトカム達成状況】

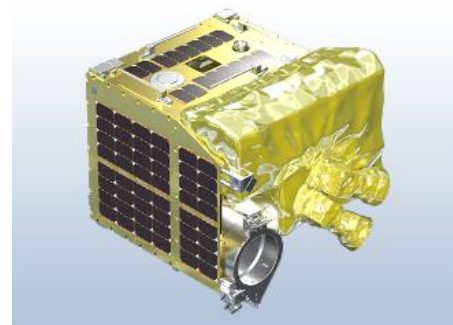
目標	達成状況	補足説明
アウトカム 1) 宇宙用液晶波長可変フィルタを用いた5mの分解能と、観測帯域630バンドの中から目的に応じて10バンド程度を自在に選択できるスペクトル撮像技術確立し、農林水産鉱業への応用、環境計測、災害情報把握において、かつてない高精度かつ高確度の情報を提供し、超多点地球監視産業分野で圧倒的な優位性を確保する。 2) 姿勢決定精度0.02°、位置決定精度50m、姿勢制御精度0.1°、姿勢安定度30"/s(50ms)の姿勢制御性能を達成し、再利用可能な柔軟且つ拡張性の高い超小型衛星バスシステムを構築し、早期コンステレーション化、広範な新規ミッションへの応用、及び早期ビジネス化を実現する。 3) 以下の分野で、人工衛星需要を喚起する： ①農業における収量予測、病虫害の早期発見、施肥や農薬の効率化 ②植物プランクトンの分布から漁場推定や養殖場候補地の選定 ③大気のエアロゾルの起源の特定、水質汚濁の原因の推定 ④炭素循環の高精度把握 ④地下水位把握による災害予測や農作物・森林地帯の災害被害地域の同定。 ⑤途上国での鉱毒汚染管理を通じた国際貢献事業の推進。	未達	2019年度より、戦略的情報通信研究開発事業(SCOPE)に「超小型衛星のターゲットポインティング制御を活用したオンデマンド・リモートセンシングシステムの研究開発」というテーマで採択を受け、現在アウトカム目標の実現に鋭意取り組んでいる。 RISESATの開発成果および運用経験を生かして、現在新たな50kg級地球観測衛星を開発中である。 東南アジアを中心に国際的な協力関係を強化し、衛星コンステレーションの構築および観測データの商業利用展開に取り組んでいる。

流星源と放出装置を用いた人工流れ星の実現可能性と市場性の検証 (株式会社ALE/ALE-1)

【実証概要・目標】

- ・ 時刻・場所を指定して、人工流れ星の元となる流星源を衛星から放出し、大気圏に再突入させ流れ星を発生させる技術を実証する。
- ・ これにより、宇宙エンターテインメント市場を開拓する。
- ・ また、人工流れ星の発光を利用した高層大気の科学的分析のミッションも実証する。

- ・ 世界初の流星源の放出による人工流れ星の発生実験
- ・ 約60×60×80cm、68kg



【現在の運用状況】

- ・ 2019年12月時点で、軌道降下用 膜展開に成功。現在、軌道降下中。
- ・ 流星源の放出/流星源の発光等は、軌道が十分に低下してからなので今後となる。

【今後の予定】

- ・ 所定の軌道高度に達した後に、人工流れ星実験を行う予定。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：未実施、フル：未実施、エクストラ：未実施

【アウトカム成果】

- ・ 直接的な影響は評価できないが、株式会社スペース・バジル設立や、ENJOY ONEやMEZAMEなどのVR利用やリーマンサットによる人工星座など、宇宙のエンターテインメント利用が広がっている。

【サクセスクライテリア/アウトカム達成状況】

サクセスクライテリア		達成状況	補足説明
ミニマム	①流星源の放出 流星源を適切な角度・速度で放出できるか 目標：事前の軌道シミュレーションにおいて算出した、サービスレベルを確保可能な範囲内の誤差（放出方向・放出速度）で、流星源を放出する ②流星源の発光 流星源が大気圏に突入して発光するか 目標：流星源が大気圏突入し、地上から観測可能な光度で発光する	未実施	
フル	③地上からの人工流れ星の観測 人工流れ星が地上から肉眼でも観測可能な光度で光るか 目標：事前のシミュレーションで観測可能とされた地点において、肉眼での観測で流れ星が視認できること ④天然流星リファレンスデータの作成 人工流れ星のデータから、天然流星の成分を判定させる 目標：人工流れ星を通じて、H27年時点では未知だった、流星の成分の輝線を1件以上明らかにする	未実施	
エクストラ	⑤流星の発光地点の精度向上 流星の発光地点の精度が有意なレベルで向上すること 目標：事前に定めた、地上における観測状態をしめす仕様書と、実際の人工流星の誤差を、初回時点から半減させる	未実施	

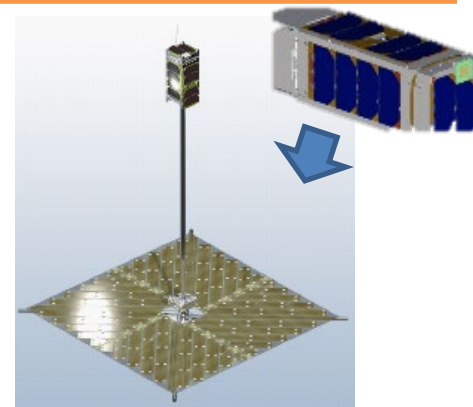
目標		達成状況	補足説明
アウトカム	- 宇宙を利用したエンターテインメント市場と人工衛星需要の創造：商業目的の小型人工衛星の日本国内における製造数がH27年時点とくらべて増加していること - 既存の宇宙利用では実績の無いテーマによる、新たな宇宙利用者の取り込み：宇宙を利用するエンタメ企業数を、H27年時点と比べて年間で国内外で50社増加させる	未達	

3U キューブサットによる高機能展開膜構造物の宇宙実証

(東京工業大学/OrigamiSat-1)

【実証概要・目標】

- ・ ブーム・膜複合構造による「多機能展開膜構造」を実証する。
 - ・ 展開・展張の軌道上特性を評価することにより、将来の宇宙大規模構造物等の設計・検証方法への発展を目指す。
- ・ 多機能展開膜構造 (1m×1m) を展開し、展開挙動・展張状態を計測
 - ・ 多様な構造展開実験を可能にする実験プラットフォームの構築・実証
 - ・ 5.8GHzアマチュア無線帯の高速通信実験
 - ・ 10×10×34cm (3Uサイズ)、4.1kg



【現在の運用状況】

- ・ 2019年1月24日に衛星からの通信が途絶し、現時点で復旧していない。
- ・ バッテリーが一度枯渇して再充電された場合、衛星が初期状態に戻り復旧する可能性があり、その条件を地上モデルの試験で検討している。
- ・ 2019年8月以降は、1か月に1度程度の東工大地上局運用を行い、地上局設備の機能の維持確認を行うとともに、運用者の運用ノウハウの継承を実施している。
- ・ また世界各地のアマチュア無線家らがほぼ毎日、CW信号取得を目指してくれている。

【今後の予定】

- ・ ①衛星復旧の可能性があること、②衛星運用訓練の機会として用いていること、③アマチュア無線家が自動追尾を継続してくれていることから、2020年度中は運用を継続し、衛星の復旧を待つ。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：一部達成、フル：未達、エクストラ：未達

【アウトカム成果】

- ・ OrigamiSat-1の開発技術については、革新3号機のサカセ・アドテック㈱提案テーマに活用される。
- ・ 人材育成として一定の成果が創出されている。開発に参加した学生のインタビュー動画をYouTubeで公開した。

【サクセスクライテリア達成状況】

サクセスクライテリア	達成状況	補足説明
ミニマム - データのダウンリンク／アップリンクを実施【プラットフォーム】 5.8GHz高速通信で1024×768pixel画像をダウンリンク【アマチュア無線】 - 伸展マストの伸展開始を確認【プラットフォーム】 - 約1mX1m正方形の多機能膜構造の展開開始を確認【膜展開】	一部達成	打上げ後、6日間半の運用を行い、データのアップリンク／ダウンリンクを実施。しかし、その後衛星からの通信が途絶し、その他3つのミッションについては未達成。
フル - 伸展マストを伸展し、膜が全展開した場合に膜全体が撮影可能な位置へ膜展開部を移動【プラットフォーム】 - 膜面の90%以上の展開を確認【膜展開】 - 膜展開過程でのブーム／膜・衛星本体の動的応答を画像と角速度計・加速度計で計測【膜展開・プラットフォーム】	未達	上記の理由により、現状、未達成である。
エクストラ - 膜面の展開後の面外形状モードを計測【膜展開・プラットフォーム】 - 展開膜上の薄膜太陽電池の発電量を評価【膜展開】 - 展開膜上のSMA（形状記憶合金）製アンテナの機能を確認【アマチュア無線・膜展開】 - 展開膜上のSMA製アンテナの形状伸展を確認【膜展開】 - 球状太陽電池の発電による膜上LEDの発光を確認【膜展開】 1地球周回以上の時間で膜形状の時間変化観察【膜展開・プラットフォーム】 - 伸展マストが伸展完了しない場合を想定しても膜展開が画像で確認できること【プラットフォーム】 - 展開膜をバス部から切り離し、軌道上寿命を延長できること【プラットフォーム】 40 fps以上のレートの膜展開動画を取得【膜展開・プラットフォーム】	未達	上記の理由により、現状、未達成である。

【プラットフォーム】：宇宙実証プラットフォーム開発ミッション
 【アマチュア無線】：アマチュア無線ミッション
 【膜展開】：多機能膜展開ミッション

【アウトカム達成状況】

目標	達成状況	補足説明
アウトカム (1) 高機能な多機能展開膜構造の実現 ・ 提案する高機能展開膜構造のユーザーを獲得する。 ・ 5年後にはユーザーの要求に対応し、従来の展開構造よりも質量・収納容積・展開信頼性などの性能において優位性のある多機能展開膜宇宙構造の設計・試作を実施する。 (2) 展開構造の大型化を実現するための、数値解析を積極的に利用した設計・検証法の構築 ・ 提案する設計・検証法を用い、CubeSatサイズよりも大型の多機能展開膜構造の設計・解析を実施する。 (3) 今後継続的に宇宙実証を行うための実証実験プラットフォームの構築 ・ 「実証実験プラットフォーム」を活用した次号機OrigamiSat-2の開発を実施する。 (4) 5.8GHz帯アマチュア無線衛星通信技術の確立および膜上アンテナの実現 ・ 手法・結果を公表することを通じ、同周波数利用の衛星数およびユーザー数を増加させる。 ・ 薄膜上へのアンテナ素子の貼付技術を構築する。 (5) 継続的にイノベーションを起こす『研究開発拠点』の形成 ・ 「実証実験プラットフォーム」の仕様書をインターネット上に公開する。	継続中	(1) OrigamiSat-1の膜構造の製造を担当したサカセ・アドテック株式会社が代表となり、OrigamiSat-1の技術を用いた薄膜太陽電池アレーおよび膜上アンテナの宇宙実証を革新3号機の提案テーマとして実施する。 (2) 数値解析の研究を実施している。 (3) 上述の革新3号機の提案テーマにおいて、OrigamiSat-1の「実証実験プラットフォーム」の技術の一部（民生用カメラによるステレオ計測）を活用した宇宙実証を実施する。また、さらにその先の実証としてOrigamiSat-2の概念設計を開始している。 (4) OrigamiSat-1運用時に北米のアマチュア局との連携を実施した。現在膜面リフレクトアレーアンテナで5.8GHz通信を行う実験モデルを製作しており、TRLが向上したのちにOrigamiSat-2に搭載して宇宙実証を目指す検討を進めている。 (5) OrigamiSat-1の設計および運用状況について、ホームページ上で比較的詳細な資料を公開している。またUNISEC内にて、開発・手続きのノウハウを共有している。



AOBA VELOX-IV（九州工業大学）



ルーナーホライズングロー撮影を目指した、パルス・プラズマ・スラスタによる
CubeSat の姿勢・軌道制御と超高層大気撮像高感度カメラの実証

（九州工業大学/AOBA VELOX-IV）

【実証概要・目標】

- キューブサットに搭載可能な小型推進系（パルスプラズマスラスタ：PPT）と超高層大気撮像高感度カメラを実証する。
- 高感度カメラは、このサイズでは撮像困難であった夜景なども撮像可能で、地球外縁部の超高層大気発光現象の観測などを旨す。
 - パルスプラズマスラスタ（PPT）によるキューブサットの姿勢・軌道制御
 - 超高層大気撮像高感度カメラの実証
 - 10×10×22cm（2Uサイズ）、2.6kg



【現在の運用状況】

- 非常に小さな村の夜景まで撮影でき、センサの性能を確認した。
- 現在、定常運用中(ミッション遂行中)。衛星は、電源、通信ともに安定している。

【今後の予定】

- 大都市等誰もが知っている街の夜景の撮影、および PPTの推進性能確認を進めていく予定。
- 上記を達成するまで、運用を継続する予定。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：一部達成、フル：一部達成、エクストラ：未達

【アウトカム成果】

- シンガポール地上局による運用等、アジア地域における人的交流が実現できている。それら人的交流を活かし、シンガポール、アメリカ、イタリアと組んでArtemis-2相乗りを目指している。
- カメラとして製品化に向け検討中で、今後、露光調整などの制御性が上がれば、商品としての価値は上がると思われる。

【サクセスクライテリア/アウトカム達成状況】

サクセスクライテリア		達成状況	補足説明
ミニマム	(1)PPTによる角運動量ダンピングに関する軌道上データを取得する (2)PPTによる軌道変化能力に関する軌道上データを取得する (3)昼から夜に移行する際の地平線近傍の写真を撮る	一部達成	(1)成功。 (2)軌道変化能力の確認には未達。 (3)写真撮影に成功。
フル	(1)2Uキューブサットの短軸廻りの回転に対して、 $0.0001(N \cdot m \cdot sec)$ の角運動量をPPTを用いて1時間以内に解消できることを確認 (2)PPTを用いて1年間に $\Delta V=100m/s$ の軌道制御をできることを確認 (3)日照側から蝕側に移行する際に地平線近傍のイメージを連続で数枚撮影する。 (4)高感度カメラによる地球の夜景撮影に成功する	一部達成	(1) $0.001(Nmsec)$ 以上の角運動量を4分で変化させたデータを取得。 (2)1年間で $\Delta=100m/s$ の推進には至っていない。 (3)4枚の写真を連続で撮影した。 (4)複数の地上の村などの撮影に成功。
エクストラ	(1)PPTを用いて $\Delta V=100m/s$ を超える軌道制御を達成する (2)蝕側から、地球縁部のオーロラのような超高層大気発光現象をカメラでとらえる (3)高感度カメラ画像配布と画像の解析から新たな科学的知見を得る	未達	(1) $\Delta=100m/s$ を超える推進は未達。 (2)月の撮影には成功したが、超高層大気発光現象を捉えることは未達。 (3)新たな知見はまだ得られていない。

目標		達成状況	補足説明
アウトカム	2021年迄にLHG撮影ミッションを実施、LHGの撮影に成功する - 実証運用終了後3年以内に地球周回キューブサット用の軌道変更用推進システムとして製品化され、他のキューブサットに採用される。 - 実証運用終了後3年以内に夜間撮影カメラとして製品化され、他のキューブサットに採用される。	未達	- LHG撮影は今後の継続課題である。 - 今回のPPTはCubeSatに使用するにはノイズ影響が大きすぎることが判明、ノイズ対策を施す必要があり、まだ検証が必要である。 - カメラとして製品化に向け検討中。センサは十分な性能を示したが、露光調整や制御性の問題があり、これらの電子制御系の変更が必要。

次世代アマチュア衛星通信技術の実証（日本大学/NEXUS）

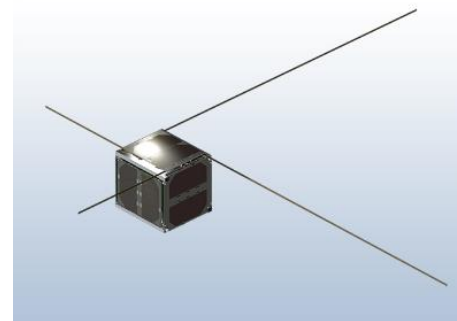
【実証概要・目標】

- 小型高性能なアマチュア無線用のトランスポンダを実証する。
- 日本アマチュア衛星通信協会（JAMSAT）も開発に加わっている。
- アマチュア無線家によるキューブサット開発を促進することで、
- 衛星搭載部品や衛星通信機器の産業発展を目指す。

・実証する機器

- $\pi/4$ shift QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）送信機
- FSK（Frequency Shift Keying）送受信機
- リニアトランスポンダ
- カメラシステム

- ・ 10×10×11cm（1Uサイズ）、1.3kg



【現在の運用状況】

- 現在、定常運用中（ミッション遂行中）。
- 衛星は、電源、通信ともに安定しており、重大な問題は起きていない。
- 新型コロナの影響により大学への入構が制限されているため、運用回数を減らして運用中。

【今後の予定】

- 2020年9月にミッションを行う定常運用を終了し、アマチュア運用等を行う後期運用に移行する予定。
- 後期運用は衛星が大気圏突入するまで（2024年頃まで）行う予定。

【サクセスクライテリアの達成状況】

ミニマム：達成、フル：達成予定、エクストラ：達成予定

【アウトカム成果】

- 運用継続中で、軌道上評価後の製品化の計画が進行中。
- ミッションとは別にアマチュア無線家の方々に衛星通信技術鍛錬の機会を提供するため、アマチュア運用として、SSTV運用、Digitalker運用、リニアトランスポンダ運用を行っており、全世界の方々から約700件以上の受信報告をいただいております、国際貢献に寄与している。

【サクセスクライテリア達成状況】

サクセスクライテリア		達成状況	補足説明
ミニマム	1. $\pi/4$ shift QPSK送信機を用いて38400bpsの送信レートによりデータをダウンリンクすること。 2. FSK送信機を用いて1200～19200bpsの間で指定した送信レートによりデータをダウンリンクすること。	1. 達成 2. 達成	1. 2019年1月23日の夜運用にて達成 2. 2019年1月23日の昼運用にて達成
フル	1. $\pi/4$ shift QPSK送信機を用いてデータをダウンリンクし、正味の通信速度が従来の通信機よりも300%以上であること。 2. FSK送信機を用いてデータをダウンリンクし、正味の通信速度が従来の通信機よりも150%以上であること。 3. リニアトランスポンダによりデータを中継すること。 4. Full HD(1920x1080px)以上の地球画像撮影を行うこと。	1. 30%達成 2. 50%達成 3. 達成 4. 達成	1. BladeRFというSDRはS/N比が低いため、実用に至らなかった。 現在、LimeSDRという異なるSDRを用いた新たな復調機開発を進め、今年度中にミッション達成予定。 2. バス送信機に対するFSK送信機の正味の通信速度は約155%。9600bpsは本ミッション達成。 最高通信速度19200bpsの通信評価は今年度中にミッション達成予定。 3. 2019年1月26日の昼運用にて達成。 4. 2019年2月12日の昼運用にて達成。
エクストラ	1. リニアトランスポンダを用いて軌道上の電界強度を測定し、軌道上の145MHz帯の電界強度マップを作成すること。	1. 60%達成	1. 電界強度測定の機能は正常に動作していることを確認した。 現在、地球全体の電界強度測定を行うため、電界強度センシングおよび測定データのダウンリンク運用を進めている。今年度中にミッション達成予定。

【アウトカム達成状況】

目標	達成状況	補足説明
アウトカム 1. 38400bpsのアマチュア帯の$\pi/4$ shift QPSK送信機を製品化し販売することにより、CubeSatを用いたミッションの多様化を促進するとともに、国内外のCubeSat開発のハードルを下げ、衛星開発の新規参入を促進すること。 2. 送信レートが可変であるアマチュア帯のFSK送信機送信機を製品化し販売することにより、従来よりも運用効率の高いCubeSatが開発されるようになること。 3. リニアトランスポンダを製品化し海外に向け販売することにより、リニアトランスポンダを搭載した超小型衛星が開発され、国内外のアマチュア衛星通信のユーザーが増加すること。 4. 低画素数からFullHD程度まで画素数が可変なCubeSat用のカメラシステムを製品化し販売することにより、従来よりも高性能なカメラシステムを有するCubeSatが国内外で開発されるようになること。 5. 汎用的なCubeSat用バスシステムをオープンソース化すること（設計を公開すること）により、今後の新規参入者によるCubeSatの開発期間が劇的に短縮化され、かつ、上記のコンポーネントとの相乗効果により、衛星開発の新規参入を促進すること。	1. 10%達成 2. 20%達成 3. 30%達成 4. 30%達成 5. 90%達成	1. 現在、販売に向けて軌道上での性能を評価中。全ミッション達成後、共同開発のJAMSATと株式会社アドニクスと連携しながら技術移転を行い、製造販売を委託する会社を選定予定。 2/3. 現在、販売に向けて軌道上での性能を評価中。全ミッション達成後、共同開発のJAMSATと連携しながら技術移転を行い、製造販売を委託する会社を選定予定。 4. 全ミッション達成後、製造販売を委託する会社を選定予定。 5. HP上で、衛星システムの概要と衛星全体のシステムダイアグラム、サブシステムごとのシステムダイアグラム、仕様書、衛星構体CADデータ、電子基板回路データを公開。現在、仕様書の英語化等を進めており、今年度中に公開予定。



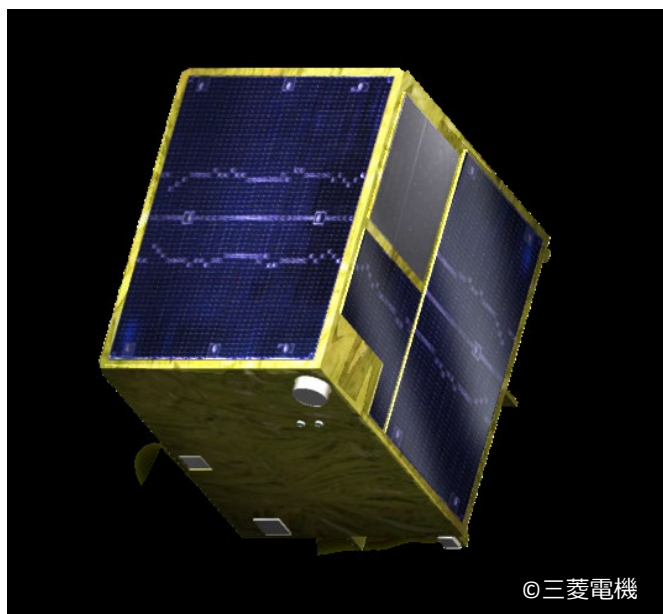
- 3. 革新的衛星技術実証2号機の状況**
- 4. 革新的衛星技術実証3号機の状況**

3. 革新的衛星技術実証2号機の状況

【小型実証衛星2号機（RAISE-2）の主な経緯と状況】

- (1) 2018年12月： 革新的衛星技術実証2号機実証テーマ選定（**14**の実証テーマを打上げ予定）
- (2) 2019年4月： ミッション定義審査/システム要求審査(MDR/SRR)を行い計画策定フェーズに移行
- (3) 2019年9月： 提案要請を行い、技術及び価格の総合評価から三菱電機㈱を選定
- (4) 2019年11月： システム定義審査(SDR)及びプロジェクト移行審査を行い基本設計フェーズに移行
- (5) 2019年12月： 宇宙開発戦略本部第21回会合にて、宇宙基本計画工程表が改訂され、
打上げ時期が2020年度から2021年度に変更された
- (6) 2020年3月のシステム基本設計審査（PDR）を経て、現在詳細設計中。システム電気試験を6月から開始。

小型実証衛星2号機主要諸元



小型実証衛星2号機

項目	内容
打上げ	2021年度／強化型イプシロンロケット
投入軌道	太陽同期軌道(高度：560km、 $i=97.6^\circ$) 降交点通過地方太陽時(LST)：9:30
運用期間	初期段階1ヶ月、定常段階1年
寸法	形状：750mm×1000mm×1000mm
質量	110kg以下
電力	発生電力：230W以上（BOL定常姿勢・日照時平均） 太陽電池セル：ボディマウント方式
姿勢	定常運用時：地球指向姿勢 制御方式：ゼロモーメント方式
通信回線	HK運用：S帯(DL64kbps以上、UL4kbps以上) ミッションデータ送信：X帯(DL16Mbps以上)
熱制御	ヒータによる保温およびMLI・放熱面による放熱制御
構造	構造様式：パネルによる箱型構造

3. 革新的衛星技術実証2号機の状況

【革新的衛星技術実証2号機実証テーマの状況】

区分	テーマ名称	提案機関	開発状況
部品	ソニー製小型・低消費電力マイコンボード「SPRESENSE(TM)」の耐宇宙環境性能評価 (SPR)	ソニーセミコンダクタソリューションズ	- EMを製作し、衛星システム電気試験に供するため6月に衛星側に引き渡し済み（3D-ANTは7月、CHLIBは8月の予定）。 - PFMは、1月末に衛星側に引き渡す予定。 - 新型コロナウイルスによりスケジュール遅延が発生しているものの衛星システム試験に影響は無い。
コンポーネント	クローズドループ式光ファイバジャイロの軌道上実証(I-FOG)	多摩川精機株式会社	
	CubeSat用小型・安価な国産スタートラッカーの商用化に向けた宇宙実証 (ASC)	株式会社天の技	
	民生用大容量リチウムイオンバッテリー (CHLIB)	三菱電機株式会社	
	3Dプリンタで製作する廉価版アンテナ (テレメトリ・コマンド受信) の軌道上評価 (3D-ANT)	三菱電機株式会社	
	軽量・無電力型高機能熱制御デバイスの軌道上実証 (ATCD)	東北大学	
	冗長MEMS IMUの軌道上放射線環境での飛行実証 (MARIN)	JAXA	
超小型衛星	超小型衛星による可変形状機能を用いた姿勢制御の軌道上実証	東京工業大学	・ EM製作中。8月から振動試験実施予定。
	超小型衛星による複数波長帯での革新的赤外線画像処理技術の実証	三菱重工業株式会社	・ PFM製作済み。環境試験試験を終了。今後、フィットチェック及び質量特性試験実施予定。
	デブリ除去事業に活用するデブリ接近技術及びデブリ捕獲機構の実証	川崎重工業株式会社	・ EM製作中。
キューブサット	キューブサットによる宇宙塵・スペースデブリ観測を目指した膜型ダストセンサおよび国産キューブサットバスシステムの軌道上実証【3U】	千葉工業大学	・ EM製作済み。電気性能試験を実施中。10月に、振動・衝撃試験実施予定。
	1Uキューブサットによる機上突発天体速報システムの実証実験【1U】	青山学院大学	・ FM製作中。8月から放射線耐性試験及び機能試験開始予定。
	高機能CubeSat用OBCの軌道上実証【3U】	明星電気株式会社	・ EFM製作中。11月から環境試験を実施予定。
	2Uキューブサットによる超高精度姿勢制御・超小型LinuxマイコンボードによるOBC・木星電波アンテナ展開技術の実証【2U】	高知工業高等専門学校	・ EM製作中。9月から環境試験を実施予定。

4. 革新的衛星技術実証3号機の状況

- 2020年5月29日に、革新的衛星技術実証3号機の実証テーマの選定結果を公表（**15**の実証テーマを打上げ予定）
- 小型実証衛星3号機の概念設計を実施中

【革新的衛星技術実証3号機実証テーマ】

区分	テーマ名称	提案機関
部 品 ・ コ ン ポ ネ ン ト ・ サ ブ シ ス テ ム	衛星MIMO技術を活用した920MHz帯衛星IoTプラットフォームの軌道上実証	日本電信電話株式会社
	フレキシブルな開発手法を用いたソフトウェア受信機	NECスペーステクノロジー株式会社
	民生用GPUの軌道上評価およびモデルベース開発	三菱電機株式会社
	水を推進剤とした超小型統合推進システムの軌道上実証	株式会社Pale Blue
	小型衛星用パルスプラズマスラスタ（PPT）の軌道上実証・性能評価	合同会社先端技術研究所
	超小型衛星用膜面展開型デオービット機構の軌道上実証	株式会社アクセルスペース
	Society 5.0に向けた発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物の実証	サカセ・アドテック株式会社
超 小 型 衛 星	超小型人工衛星のマイクロISS化実現へ向けた衛星バスシステムの軌道上実証	帝京大学
	理工学が融合した超小型衛星システムの開発と重力波天体のX線観測	金沢大学
	超低コスト高精度姿勢制御バスによるマルチスペクトル海洋観測技術の実証	東京工業大学
キ ュ ー ブ サ ッ ト	回転分離を用いた超小型衛星のコンステレーション形成（3U）	名古屋大学
	民生用半導体と汎用機器の宇宙利用拡大を目的とした軌道上実証（2U）	九州工業大学
	超高精度姿勢制御による指向性アンテナを搭載した海洋観測データ収集衛星の技術実証・持続可能な宇宙工学技術者育成とネットワーク型衛星開発スキームの実証（2U）	米子工業高等専門学校
	衛星筐体の一体成型技術の実証（1U）	早稲田大学
	CubeSat搭載用マルチスペクトルカメラの技術実証（1U）	一般財団法人未来科学研究所