

超小型衛星利用シンポジウム2023

アーカイブレポート

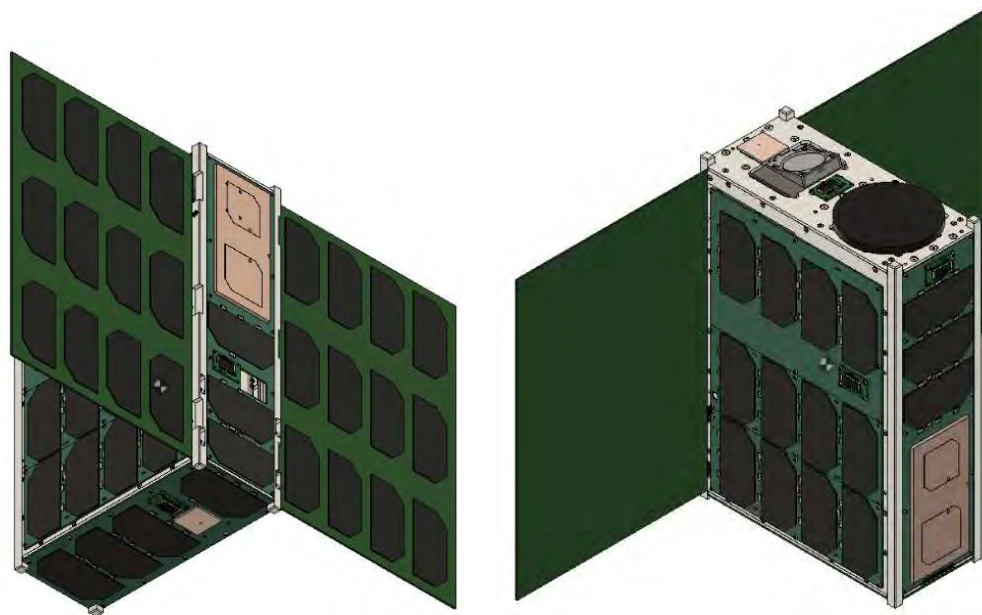
まとめ

2023/2/21

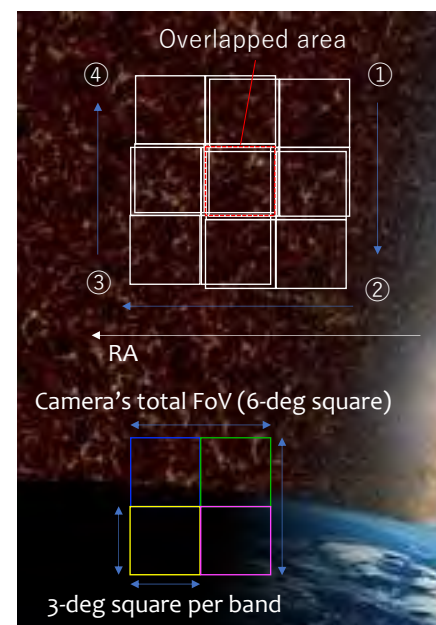
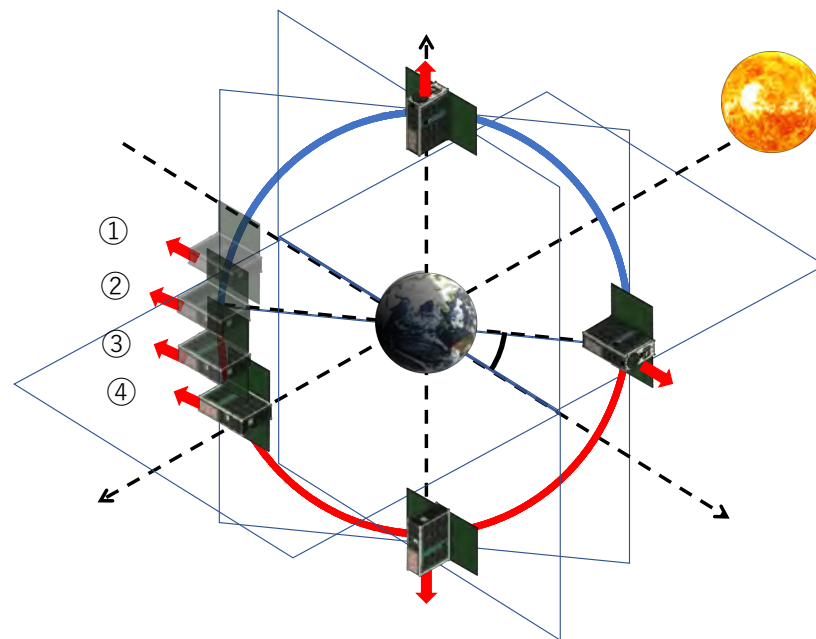
項目	発表 番号	発表タイトル	所属	氏名
セッション2 拡充P第1回公募で選定された 超小型衛星ミッションの紹介	2-1	高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史	九州工業大学	佐野 圭
	2-2	カーボンナノチューブ製テザーによる超低高度軌道維持	STARs Space Service(株)	松尾 講輝
	2-3	ARICA-2 (AGU Remote Innovative Cubesat Alert system -2)	青山学院大学	坂本 貴紀
	2-4	みどりの食料システムを支える衛星(Green Food system support Satellite (GreFSat))	東京大学	川島 高弘
セッション4 地球観測ミッション	4-1	衛星データから新型コロナ陽性者を予測する	(株)オープンソシオ	山口 章
	4-2	DiskSat SAR for Mega Constellation (メガコンステレーションのための2次元小型SAR衛星 DiskSat SAR)	早稲田大学	斎藤 宏文
	4-3	テラヘルツセンサによる氷雲・水同位体の小型衛星観測検討	JAXA研究開発部門	田村 亮祐
セッション5 宇宙科学ミッション	5-1	6U X線天文衛星 NinjaSat	理化学研究所	玉川 徹
	5-2	地球磁気圏X線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager)	東京都立大学	江副 祐一郎
	5-3	超小型衛星群CAMELOT計画によるガンマ線バースト位置決定	広島大学	深沢 泰司
	5-4	スペースからの天体物理観測促進のための共通プラットフォーム化	JAXA宇宙科学研究所	中川 貴雄
	5-5	VERTECSから始める新時代の光赤外天文学は惑星間宇宙望遠鏡へ続く	関西学院大学	松浦 周二
セッション6 月・深宇宙探査ミッション	6-1	深宇宙コンステレーションによる小天体超マルチフライバイ構想	JAXA宇宙科学研究所	尾崎 直哉
	6-2	月の水資源探査と素粒子・宇宙観測を同時に行う MoMoTarO 計画	京都大学・理化学	榎戸 輝揚
	6-3	テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査 TSUKIMI	Space BD(株)	本多 哲也
	6-4	ソフトウェア無線で月以遠の自主運用を可能とする非同期レンジング技術	(株)構造計画研究所	藤井 義巳
	6-5	将来の多様な超小型ミッションを支える深宇宙軌道間輸送機DSOTV	JAXA宇宙科学研究所	武井 悠人
セッション7 宇宙環境利用ミッション	7-1	マイクロイメージングデバイスによる宇宙バイオ実験システムの開発	(株)IDD K	上野 宗一郎
	7-2	小型衛星で目指す新しい宇宙環境利用の可能性	東北大学	栗原 聡文
	7-3	有人宇宙ステーションの布石的無人模擬ステーション実験衛星ミッションの提案	CHILD(株)	杉本 博貴
	7-4	超小型衛星搭載マイクロラボの開発	JAXA宇宙探査イノベーションハブ	上野 宗孝
セッション8 超小型衛星利用に関連する新 しい構想	8-1	宇宙科学・地球観測双方に使える超小型データ処理衛星の構想について	北九州市立大学	山崎 進
	8-2	キューブサットで構築する衛星通信ネットワークの試み	愛知工科大学	西尾 正則
	8-3	超小型衛星との相性の良い多用途の推進系による厳密な姿勢制御を必要としない軌道離脱の提案	東京都立大学	安平 浩義
	8-4	超々小型衛星フォーメーションフライトによる通信ビジネス	Our Stars(株)	野田 篤司
	8-5	人類のEdgeに挑戦するアークエッジ・スペースの将来戦略	(株)アークエッジ・スペース	福代 孝良

①発表番号	②セッション	③セッション名
2-1	セッション2	拡充P第1回公募で選定された超小型衛星ミッションの紹介
④発表タイトル		⑤発表者所属・氏名
高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史		九州工業大学 佐野 圭
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス
①(代表)佐野圭、布施哲人、瀧本幸司、趙孟佑、北村健太郎、増井博一、寺本万里子、山内貴志、Necmi Cihan Örger、Rodrigo Cordova、Joseph Ofosu、Schuls Victor Hugo、Pooja Lepcha、Zangmo Pema、Reynel Josue Galindo Rosales、Almonte John Paul Breta、Eyoas Ergetu Areda、Fielding Ezra、Keenan Alexsei Aamir Chatar、中山大輔、大谷将壽、林田健太郎、黒崎香名、宮川大樹、當銘優斗、川崎悠貴、②中川貴雄、松原英雄、和田武彦、磯部直樹、宮崎康行、船瀬龍、河原創、平子敬一、榎木谷海③松浦周二、小鹿哲雅、④津村耕司、⑤高橋葵、⑥五十里哲、⑦谷津陽一、田中颯、⑧軸屋一郎、⑨青柳賢英	①九州工業大学、②ISAS/JAXA、③関西学院大学、④東京都市大学、⑤自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、⑥東京大学、⑦東京工業大学、⑧金沢大学、⑨福井大学	⑨現在の状況： 開発決定済
⑩概要（200字程度）	⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
可視光波長における宇宙背景放射は、宇宙創成から現在に至る天体形成史を解明するために重要な観測量である。宇宙可視光背景放射の精密観測のためには、長時間露光における高い姿勢安定性および広視野での観測が要求される。そこで本ミッションでは、JAXA技術フロントローディング事業により開発された1Uサイズの高精度姿勢制御系と、独自開発する広視野望遠鏡を搭載した6U衛星によって宇宙可視光背景放射の観測に挑戦する。本ミッションで開発する高精度姿勢制御6Uバスを共通化し、将来の様々な超小型衛星ミッションへの貢献を目指す。	これまでの研究で、近赤外線宇宙背景放射は系外銀河の足し合わせよりも明るく、超過成分が示唆される。本ミッションは、可視光で宇宙背景放射を観測することによって、超過成分の起源が宇宙初期と近傍宇宙のいずれに存在するのかを、解明することを狙う。	・姿勢安定性約10秒角/1分間を達成する姿勢系 ・2Uサイズに収まる広視野光学系とバッフル機構
⑬衛星のスペック	⑭開発状況・計画	
<ul style="list-style-type: none"> ・サイズ：6U ・姿勢系 絶対指向精度約1度かつ指向安定性約10秒角/分（3σ） ・通信系 ダウンリンク時に数Mbpsのデータレート。 ・太陽同期軌道のdawn-dusk軌道が最も望ましい。 	2021年7月頃から概念検討を開始している。拡充P第1回公募において衛星開発フェーズで選定されており、2023年中にEMを開発し、2024年11月までにFMを完成する。衛星の打ち上げ後、1年程度継続的に科学観測を実施する。	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

可視光から赤外線で観測される宇宙背景放射は、宇宙初期の天体など未知天体からの放射を含むため、天体形成の歴史を解明するために重要な観測量である。これまでの天文衛星等の観測により、近赤外線における宇宙背景放射の輝度は通常銀河の足し合わせの数倍に達すること、またその空間的なゆらぎは銀河の分布だけでは説明できないことが分かってきた。これらから、宇宙背景放射には未知の天体からの放射が寄与していることが示唆されるため、そのような天体の特性を解明する必要がある。次の宇宙背景放射観測ミッションにおいては、観測波長域と観測領域を拡大することによる多波長スペクトルおよび大角度スケールのゆらぎを観測することが重要である。特に可視光の0.5umより短波長での広域サーベイは科学的に重要であるとともに、世界的にも例がない。宇宙背景放射は空間的に広がった放射であるため、比較的小型の望遠鏡で観測可能であり、点源観測ほどの高い指向安定性が要求されないという特性がある。また、可視光観測においては赤外線観測ほど観測装置を冷却する必要がない観点からも、超小型衛星の利用が適当である。超小型衛星のサイズは6Uを想定し、3U程度を占めるミッション部には、約10度角の広視野をカバーする望遠鏡光学系、迷光除去機構、暗電流が小さく安定な検出器、検出器を約0°C以下に冷却する機構が必要となる。また、バス部の姿勢系には、絶対指向精度約1度、指向安定性10秒角/分 (3σ) 程度が必要となり、観測データのダウンリンクのために数Mbpsのデータレートが必要である。前述の通り、本ミッションの狙いである“宇宙可視光背景放射の観測”を行うためのサイエンス要求をもとに、我々は3Uサイズの小型望遠鏡の設計・開発を進めている。本衛星は、1軌道あたり~90分の太陽同期軌道を想定し、うち20分間で科学観測を実施する計画である。観測天域を選定する上で、太陽離角 $>90^\circ$ かつ、地球離角 $\sim 180^\circ$ を条件とすることにより、望遠鏡への迷光混入を防止する。本ミッションでは、1日あたり計15回の観測を行い、1観測軌道につき4枚の撮像データを取得する。撮像データは、AOCSによる~10秒角/分の指向安定性のもと、1枚につき1分間の露光時間で取得され、4波長帯でそれぞれ $3^\circ \times 3^\circ$ のタイルを構成する。さらに、各画像の異なるタイルが重なるように各々の観測を 3° ずつずらして行なうことにより、1観測軌道あたり $3^\circ \times 3^\circ$ の観測天域、4観測軌道あたり $9^\circ \times 9^\circ$ の観測天域のフルカラータイルを取得する。

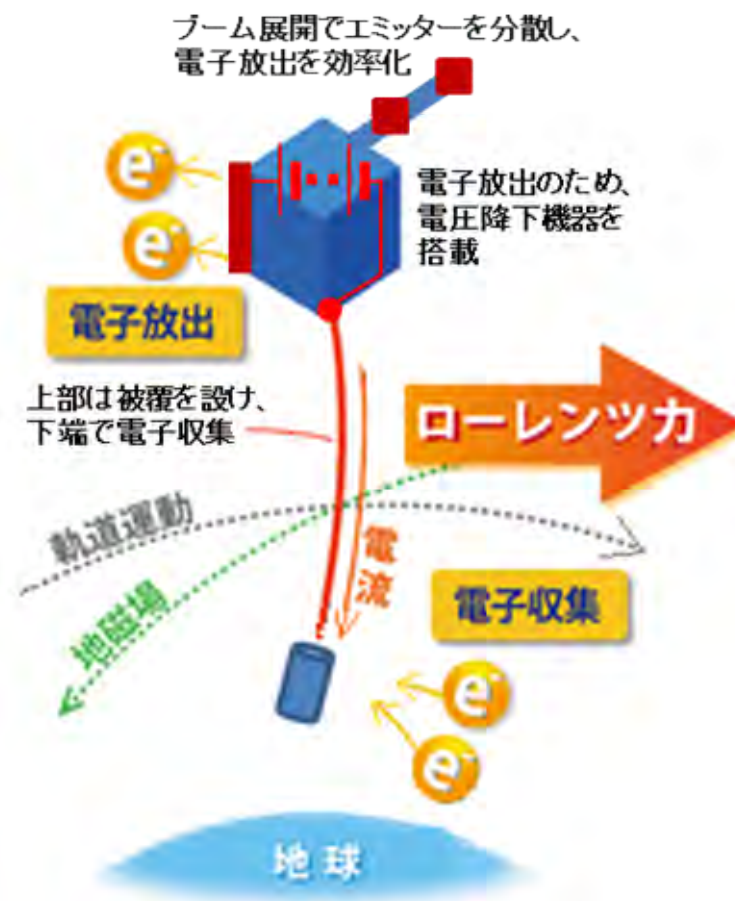
⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
2-2	セッション2	拡充P第1回公募で選定された超小型衛星ミッションの紹介	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
カーボンナノチューブ製テザーによる超低高度軌道維持			STARs Space Service(株) 松尾 講輝
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
松尾講輝	STARs Space Service株式会社		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>EDTの素材にカーボンナノチューブ（CNT）を採用し、超低高度での軌道維持を図る。</p> <p>CNTテザーはベアテザーの電子収集能力が高く、また強度が高く電気抵抗が小さいことから、大気抵抗に打ち勝つ電流収集が期待できる。</p> <p>実現にあたっては、CNT素材に適したテザー伸展手法の構築やエミッターの高能率化が必要となるため、それらの研究開発を進める。</p>		<p>超低軌道における衛星の長期運用を実現する。また、導電性テザーによる電気推進は、推進剤が不要で、サステナブルな運用が可能である。</p> <p>加えて、超低軌道においては、電流収集をストップすれば衛星はすぐに大気圏に突入し、デブリ化の懸念もないため、挑戦的ミッションの敷居を下げる役割もある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・CNTテザー（電気性能向上/大気抵抗面積の低減） ・CNTテザーの長所を妨げずに伸展させる手法の構築 ・電子放出装置の効率的な空間配置（電子密度制限を緩和） ・導電性テザーの重力傾斜安定化（振動・回転抑制）
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>本提案実証超小型衛星として、50kg級、50cm立方程度（テザー両端衛星の合計）を想定する。通信は2GHzの実験試験局を想定する。推進剤などを使用する推進系は無く、導電性テザーによる電気推進系を有する。搭載する電源系の電力はフィージビリティスタディにて検討する。</p> <p>衛星の投入軌道は高度500km程度を想定している。まず高度500kmにて初期実験を実施し、徐々に高度を落としながら軌道維持の検証を行う。</p>		<p>現在、拡充PのFSフェーズ。</p> <p>衛星開発フェーズに移行後、2年で引き渡し（計画）</p>	

⑮衛星のイメージ図

TBD

⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

1. カーボンナノチューブ製テザー

達成目標: 高度300kmで大気抵抗に抗うローレンツ力を発生できるテザー。

実施内容: 高度300kmでの大気抵抗下で運用可能なカーボンナノチューブ繊維を用いた導電性テザーの試作製造。カーボンナノチューブの軽量性と電気特性の特長を生かし、(株)カーボンフライのオリジナル技術で作製する高強度、且つ、微細なカーボンナノチューブ繊維を用いて、超低高度でローレンツ力>大気抵抗力となるテザー形状を検討する。

2. テザー伸展機構（親子分離機構）

達成目標: 1kmテザー伸展機構を開発 / 導電性テザー検討結果から、必要テザー長さを収納できる機構の仕様決定 / 張力フィードバックによる最適伸展制御法の確立

実施内容: テザー伸展機構および親子結合分離機構を静岡大学で開発。リールドラムへのテザー巻き付け（収納）について、また機能試験について、JAXA設備を使用。大気抵抗や原子状酸素フラックス、誘導起電力等、JAXAで開発したEDT解析ツールで、軌道や時期、テザーの長さや電気抵抗等のスペックをパラメータとし、IRIやIGRF等のモデルを用いたシミュレーションを実施。ミッション検討を行う。

3. 電子放出装置の開発

達成目標: 50mAの電流収集が可能な電子放出装置を開発 / 静岡大学にて、空間電子密度を稼ぐ伸展ブームを開発。

実施内容: これまでのノウハウを活用し、電子放出装置を開発。電子放出による空間電子密度の飽和状態を推定評価し、静岡大学のコンベックステザー伸展技術により、空間電子密度を小さくするため、電子エミッターを伸展ブームで離れた位置に配置する装置を開発。なお、JAXAが有する電子放出装置FECのHTV6号機実験成果として、原子状酸素による劣化について高度370kmで1週間ほど作動という実績がある。この点について、FECの主要構成材料であるカーボンナノチューブについて、(株)カーボンフライと検討する。

4. 超小型衛星システム設計

達成目標: 1kmテザー伸展を可能とする衛星システム / 導電性テザーにより電気推進が可能なシステム

実施内容: テザー伸展機構を搭載、電子放出装置の分散配置、などを実現する構造系、電子放出装置の要求電力および制御、テザー伸展および電流収集が可能となるシステムを開発する。

⑱ 参考文献など（optional）

河本聡美, 池田哲平, 大川恭志, 西田信一郎, 北村正治, “導電性テザーのダイナミクスとその応用例について”, 日本航空研究開発機構 (JAXA)

https://jaxa.repo.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_action_common_download&item_id=5592&item_no=1&attribute_id=31&file_no=1&page_id=13&block_id=21

山極芳樹, 竹ヶ原春喜, 小境正也, 大西健夫, 田原弘一: エレクトロダイナミックテザー, 日本航空宇宙学会誌, 52 (2004)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kjsass/52/603/52_101/_pdf/-char/ja

①発表番号	②セッション	③セッション名	
2-3	セッション2	拡充P第1回公募で選定された超小型衛星ミッションの紹介	
④発表タイトル		⑤発表者所属・氏名	
ARICA-2 (AGU Remote Innovative Cubesat Alert system -2)		青山学院大学 坂本 貴紀	
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
坂本 貴紀	青山学院大学		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>重力波天体に代表されるガンマ線バーストを始めとする突発天体であるが、その研究において重要な事は機上の観測で発見した突発天体の情報を即座に地上に速報し、詳細な観測につなげていく事である。本ミッションはイリジウムやグローバルスターといった民間衛星通信ネットワークを利用した新しい突発天体速報システムを2UキューブサットARICA-2に搭載し、軌道上での実証実験を行う事を目的とする。ARICA-2で開発する Spresense を用いたOBC部、民間衛星通信部、姿勢制御部は、キューブサットで利用可能なパッケージとして製品化する事を視野に入れ、開発していく。</p>		<p>突発天体を探査する科学衛星の実現に向けて、現在、誰でも利用可能な速報システムの実現は不可欠な要素である。また、この速報システムは、いつでも衛星の状態が監視でき、緊急時には迅速なコマンドアップリンクが可能なシステムへの応用が可能である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・姿勢制御系アルゴリズムの開発 ・OBC ボードの開発 ・ガンマ線検出器開発 ・アマチュア無線通信機の運用、およびデータ設計
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 2U ・ 姿勢制御: 5-10度の精度 ・ 高度550 kmの極軌道 		<p>来年度に EM の製作を完了し、機械、環境試験を一通り行う。その結果を踏まえ、FM の設計/製作を開始し、来年度終わりまでに FM の組み上げを完了させる。FM の機能確認試験、機械、環境試験などを 2024年度内に完了させ、衛星引き渡しができる状態にする。</p>	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

突発天体の研究において鍵を握るのは、発見した突発天体を即座に世界中の観測者へ速報し、様々な望遠鏡によるさらなる詳細な追観測へとつなげ、天体の正体を明らかにすることである。しかし、ガンマ線バーストのように衛星上に搭載した観測装置で発見した突発天体を即座に地上に速報するためには、常時、衛星と地上が通信できる状態を確保する必要があり、特別なシステムが必要になる。我々は、現在、利用可能な民間衛星通信網であるイリジウム衛星とグローバルスター衛星に着目し、これらの衛星通信網を利用した、新しい突発天体速報システムを高度500 - 600 kmで軌道上実証することを目標とする。

現行の民間衛星通信ネットワークのイリジウムやグローバルスターを用いた突発天体の速報システムというアイデアは、宇宙科学研究所において気球観測を行っているグループが気球の制御においてイリジウム通信端末 Short Burst Data (SBD) を利用しているという所から得た。SBDは小型で低消費電力な通信端末であり、小さなサイズのデータの送受信は地上のどこでも可能であり、このSBDを衛星に搭載したら、公共のデータリレー衛星や地上局などに依存しない、突発天体の速報システムを構築できるのではないかと考えた。高度500-600 kmで、これら民間衛星通信網を積極的に利用し、速報システムとしての優位性を軌道上実証した例はほとんどなく、日本独自の突発天体探査衛星の実現に向けて、意義のある実証実験となる。

ミッションゴールは「民間衛星通信を利用した突発天体速報システムの実証」である。本ミッションゴールを達成できた暁には、1) 日本独自の突発天体探査を主目的として科学衛星での利用や 2) 衛星の健康状態を常時監視し、問題発見時には迅速な衛星へのコマンドアップリンクなどでの利用が可能となる。ミッションとしては

1. 高度 500-600 km における民間衛星通信によるダウンリンクを検証
2. 高度 500-600 km における民間衛星通信によるアップリンクを検証
3. 民間衛星通信を利用したリアルタイムデータ配信の実証
4. ガンマ線バーストの速報

の4つが柱となる。ガンマ線バーストの速報情報は、世界のガンマ線バースト研究者の観測ネットワークである Gamma-ray Coordinated Network (GCN) へ報告し、衛星の科学的な成果をしっかりと世界へ向けて発信する。我々が開発した速報システムを含むサブコンポーネントは、多くの超小型衛星で利用していただけるような形での公開やビジネス展開を考えている。

⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
2-4	セッション2	拡充P第1回公募で選定された超小型衛星ミッションの紹介	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
みどりの食料システムを支える衛星(Green Food system support Satellite (GreFSat))			東京大学 川島 高弘
⑥著者		⑦所属	⑧代表者メールアドレス
①(代表)川島高弘、岩崎晃、中須賀真一、井上吉雄、横矢直人、②木村俊義、佐野琢己、佐藤世智、野田篤司、③高橋秀典、黒瀬実、岩崎裕行、尾形和次、④鈴木清三		①東京大学、②JAXA、③(株)エーティーエー、④東明技研(株)	⑨現在の状況： 概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
食料安全保障の基盤である作物生産においては、収量向上とともに窒素肥料・農薬使用の適正化による省資材生産と環境保全（みどりの食料システム）がグローバルな重要課題となっている。本ミッションでは、上記課題に対応するため超小型衛星搭載ハイパースペクトルセンサにより作物成長・収量の基幹プロセスに関わる窒素含有率などの成分、光合成などの生理生化学的な機能の計測を実現させることを目標とする。連続分光スペクトル(400-1700nm)、植物蛍光(波長分解能2nm)の併用により作物成長・収量の基幹プロセスに関わる窒素含有率などの成分、光合成などの生理生化学的な機能を推定する		農業の情報化・スマート化、各国の作物の生育状況監視する食料安全保障への貢献、森林・草原等の植生資源の見える化等が期待される。衛星技術開発の観点では、高性能ハイパースペクトルセンサの小型化技術を確立し、様々な目的で超小型衛星によるコンステレーション観測の実現を可能とする。	<ul style="list-style-type: none"> ・可視エンハンス型InGaAs検出器を用いたVNIR～SWIR一体型ハイパースペクトルセンサ ・視野多重化およびポインティング撮像によるSNR向上 ・オンボード処理によるダウンリンクレート削減
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
寸法：6Uまたは12U, 質量：15-30kg, 消費電力:T.B.D データレート:T.B.D ATポインティング（角度TBD）、CTポインティング(+/-30°） 軌道：高度500km、軌道傾斜角約97°、回帰日数5日、地方時10:00		2023年のフィージビリティスタディにおいてミッション要求検討、システム設計、センサおよび衛星バスのハードウェア検討を実施、設計仕様(暫定)を固める。その後、開発フェーズ移行審査を経て2024～2025年の2年間で衛星システムの設計・製造を実施、2026年に初号機の打ち上げを目指す。初号機でデータ品質を検証後、2号機以降を順次打ち上げ、2030年までに8機体制を目指す。	

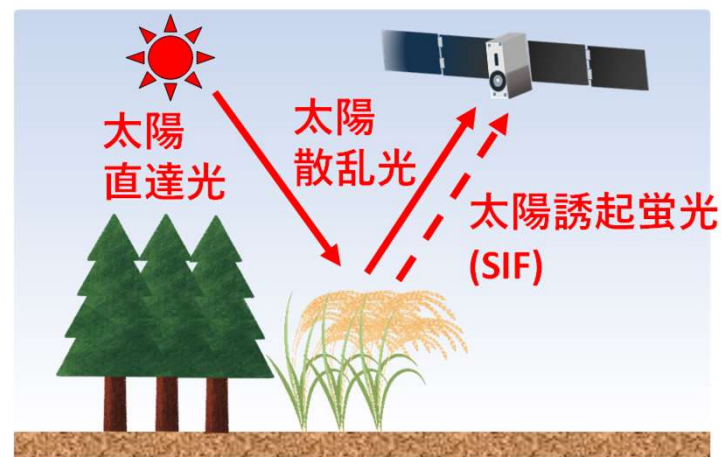
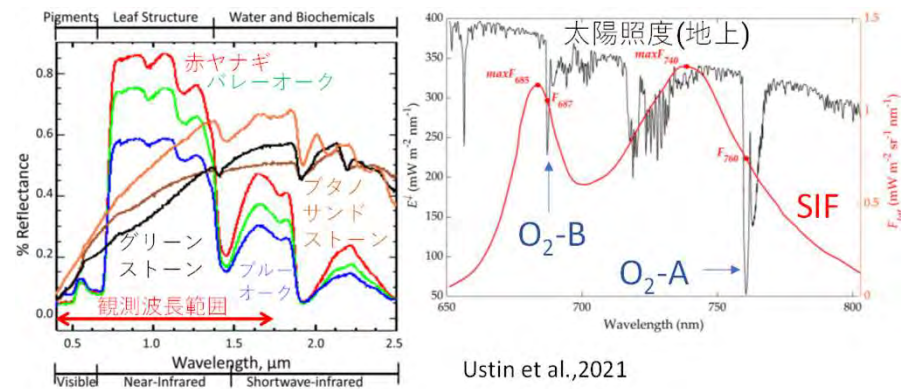
⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

植生スペクトル：可視域の色素、近赤外域の葉の構造、短波長赤外域の水分・生化学域をカバー

太陽誘起蛍光(SIF)：O₂-B帯(687nm), O₂-A帯(760nm)では太陽直達光がマスクされ植物蛍光が衛星から観測可能



ハイパースペクトルセンサによって得られる作物の窒素含有率等スマート農業に有益なプロダクトを提供

⑰ ミッションや技術詳細

食料安全保障の基盤である作物生産においては、収量向上とともに窒素肥料・農薬使用の適正化による省資材生産と環境保全（みどりの食料システム）がグローバルな重要課題となっている。本ミッションでは、上記課題に対応するためハイパースペクトルセンサにより作物成長・収量の基幹プロセスに関わる窒素含有率などの成分、光合成などの生理生化学的な機能の計測を実現させることを目標とする。上記の目的実現のためセンサ要求仕様は波長域400～1700nm、波長分解能10nm（蛍光観測モードで2nm程度）、GSD=10～30m、SNR～130を目標とする。これら高い要求を超小型センサで実現するために最新の可視エンハンス型InGaAs検出器を用いて可視近赤外部と短波長赤外部を一体化し、視野多重化技術及び衛星ピッチポイントングによる重ね撮りによりSNR向上を行う。さらにE-to-E simulatorを軸とした開発プロセスのデジタル化、専用チップ搭載によるオンボード処理化、他衛星マルチ画像とのデータフュージョンによる高解像度化といった最新手法・コンセプトを従来の中大型センサに先駆けて導入する。事業化に際し、精密農業を推進する官公庁、民間企業（アグリテック企業、農機・肥料メーカー、商社等）を顧客に想定し、植生パラメータ・窒素含有量等のプロダクトを提供する。2号機目以降は外部資金、民間資本、事業収入により2030年度までに8機程度のコンテレーションフライトを実現する予定である。

⑱ 参考文献など（optional）

- ①Ustin, S. et al., Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications, Ecol Process, 10, 1, 2021
- ②Inoue, Y. et al., Diagnostic mapping of canopy nitrogen content in rice based on hyperspectral measurements, Remote Sensing of Environment, 126, pp.210-221, 2012
- ③Nakasuka, S. et al., Discussions on attitude determination and control system for micro/nano/pico-satellites considering survivability based on Hodoyoshi-3 and 4 experiences, Acta Astronautica, 145, pp.515-527, 2018
- ④Yokoya, N. et al., Hyperspectral and Multispectral Data Fusion: A comparative review of the recent literature, IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 5, 2, pp.29-56, 2017
- ⑤Kawashima, T. et al., End-to-end performance simulator for greenhouse gas observation sensor, Proc. SPIE, 11858, pp.293-304, 2021

①発表番号	②セッション	③セッション名	
4-1	セッション4	地球観測ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
衛星データから新型コロナ陽性者を予測する			(株)オープンソシオ 山口章
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
山口章	株式会社オープンソシオ		開発決定済
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>世界の疾病発症を、衛星データと地上データの組み合わせから3か月前に予測する「疾病予測サービス」です。いったん、新型コロナ感染爆発が発生すれば、救急車で運ばれても入院が不可能になるほど医療資源を圧迫します。これは経済だけではなく、人命に直結する重大な危機です。この危機に対応するには、新型コロナ陽性者数を3か月間前に予測する必要があります。我々は、大気汚染と陽性者数の相関関係からこの予測に成功しています。具体的には、衛星データと地上データの組み合わせ解析～予測を1年以上実施しています。適中率(R2) 84.8%(2022/08/28 および2022/09/18 東京都庁 報告済)</p>		<p>超小型衛星を利用することで、疾病予測に必要な大気汚染量の高度かつ精巧な予測実施を目指します。とくに疾病予測に必要な不可欠な短寿命大気汚染物質の測定（現在継続的に行われていない成分別観測）です。</p>	<p>1.地上での観測が困難な空域、対流圏などの大気汚染観測。2.自然由来と人為由来など汚染源を区別した汚染ホットスポットの特定と軽減。3.長距離の汚染物質(とくに短寿命大気汚染物質)の移動を観測することにより、大気汚染の空間的、時間的変動に関する情報取得</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>スペックニーズ：疾病予測に不可欠な短寿命大気汚染物質の測定（現在継続的に行われていない成分別観測）が継続的に、高度かつ精巧にできることです。</p>		<p>現状 衛星データと地上データの組み合わせから予測を行い1年以上実施しています。その結果、3か月先の陽性者数を科学的かつ正確に予測できます。適中率(R2) 84.8%(2022/09/12時点) これは人流予測よりもはるかに正確です。証跡：2021/12/19 ,2022/01/15 ,2022/08/28 および2022/09/18 東京都庁 報告済)</p>	

⑮衛星のイメージ図	⑯ミッションのイメージ図（※あれば）
<p>イメージ図を挿入できないので、文字で説明します。上記、小型衛星による観測は 観測→科学解析→社会政策実施→政策評価の適切な評価のよい循環(PDCA?)を生みだせるはずです。このことによって、低汚染・低健康リスクで持続発展可能な社会の形成(SDGs3（健康）、11（都市）、13(気候))に貢献します。</p>	<p>イメージ図を挿入できないので、文字で説明します。"超小型衛星は、画像分光計やライダーなど、大気汚染を観測するためのさまざまな機器を搭載することができます。とくにオゾン、二酸化窒素、一酸化炭素などの汚染物質などのさまざまなガスの濃度を測定は大変有用"です。なお、大気汚染量（とくに現在観測されていない）の高度な推定で精巧な予測の実施。とくに疾病予測に不可欠な短寿命大気汚染物質の測定（現在継続的に行われていない成分別観測）は必須と考えます。</p>

⑰ ミッションや技術詳細

超小型衛星観測による大気汚染(継続的、高度かつ精巧)データの科学利用で、日本が世界リードするために必要な研究と開発を進展させます。具体的には、最新の分光技術、キロメートル級大気汚染計測による短寿命大気汚染物質観測の実現です。この検証は、基礎研究への世界的インパクトも大きく革新性に富んでいるはずで、そのため、当然、疾病予測による人命に直結する重大な危機に対応できます。

⑱ 参考文献など (optional)

大気汚染が新型コロナ感染症の発症、重症化をきたすメカニズムの一端を解明 -PM2.5が新型コロナウイルスの細胞侵入口を拡大する-
Environmental Research Volume 195, April 2021, 110722

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121000165?via%3Dihub>

Association of Short-term Air Pollution Exposure With SARS-CoV-2 Infection Among Young Adults in Sweden
2022 Apr 1;5(4):e228109. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.8109.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35442452/>

PM2.5の頑固な汚れ「ブラックカーボン」も東シナ海では降雨が洗い流す～アジアからの汚染粒子が広がる範囲と温暖化影響を検証するための観測知見～

国立研究開発法人海洋研究開発機構

https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160831/

北極に運ばれるブラックカーボンはどこからくる？～地上ではロシアから、上空ではアジアからが多いことが判明

国立研究開発法人 国立環境研究所

<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20170925/20170925.html>

①発表番号	②セッション	③セッション名																																																												
4-2	セッション4	地球観測ミッション																																																												
④発表タイトル						⑤発表者所属・氏名																																																								
DiskSat SAR for Mega Constellation (メガコンステレーションのための2次元小型SAR衛星 DiskSat SAR)						早稲田大学 齋藤 宏文																																																								
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス				⑨現在の状況:																																																								
齋藤 宏文	早稲田大学					開発移行可能																																																								
⑩概要 (200字程度)						⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術																																																							
<p>筆者らが2013-2018年に開発した小型SAR衛星は既に軌道上で3機運用されている。その展開型ハニカムパネルスロットアレーアンテナは、低価格、薄型の収納形状、太陽☀️パドルとの兼用が可能等を特長とする。今後の数100機以上のSARコンステレーションには、ロケットフェアリングに多数機衛星を積み重ねて数10機の同時打ち上げが可能な、薄型収納形状のSAR衛星が必要であると予測されている。米国AeroSpace Corporation はdisk状の衛星DiskSatを提案している。筆者らの小型SARシステムは、このDiskSatに適合性が高いことに着眼して大規模コンステレーションを目指したDiskSAT SARのシステムを提案している。このDiskSat SARシステムの実現性についての検討の現状を報告する。</p>						<p>数100機以上からなる合成開口レーダ衛星メガコンステレーションを可能にする、薄型SAR衛星を開発し、軌道上実証する。薄型衛星では、350km程度の低高度軌道でも小推力のイオンエンジンで軌道維持ができるため、高度の3乗に比例してレーダ観測に著しく有利である。</p>	<p>帯域1.2GHzの並列給電スロットアレーアンテナ、薄型衛星バス機器、SAR搭載機器の小型化、と薄型化、DiskSatの低高度軌道運用</p>																																																							
⑬衛星のスペック						⑭開発状況・計画																																																								
<ul style="list-style-type: none"> ・LEO(600km)では、パネル4枚で分解能3m, パネル7枚で分解能1m. ・VLEO(350km)では、パネル4枚で分解能0.3m, パネル7枚で分解能0.25m. ・軌道維持はCube用イオンエンジン, 0.35mN. . アンテナパネル 0.7m×0.7m ・アンテナは新規開発の完全並列給電スロットアレーアンテナ. <table border="1" data-bbox="147 1235 954 1474"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">ImPACT(Synspective)</th> <th colspan="3">DiskSat LEO</th> <th colspan="2">DiskSat VLEO 350km</th> </tr> <tr> <th>Res3m</th> <th>Res1m</th> <th>Res3m</th> <th>Res1m</th> <th>Res0.3m</th> <th>Res0.6m</th> <th>Res0.2m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Panel#</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>BW(MHz)</td> <td>75</td> <td>300</td> <td>75</td> <td>300</td> <td>1000</td> <td>500</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>Pt(kW)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Alt(km)</td> <td>600</td> <td>600</td> <td>600</td> <td>600</td> <td>600</td> <td>350</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>δr(m)</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>0.3</td> <td>0.6</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>							ImPACT(Synspective)		DiskSat LEO			DiskSat VLEO 350km		Res3m	Res1m	Res3m	Res1m	Res0.3m	Res0.6m	Res0.2m	Panel#	7	7	4	7	7	4	7	BW(MHz)	75	300	75	300	1000	500	1500	Pt(kW)	1	1	1	1	3	1	1	Alt(km)	600	600	600	600	600	350	350	δr(m)	3	1	3	1	0.3	0.6	0.2	<p>JAXA宇宙研で開発した小型SAR衛星Micro-X-SARは民間会社Synspective社により既に3機軌道上で運用されている。これを発展させて、小型薄型化し、地上分解能0.25mを可能にするアンテナ試作、システム検討を行っている。薄型衛星DiskSatバス技術を保有する米国Aerospace Corporation と共同プロジェクト化の話し合いを進めている。</p>	
	ImPACT(Synspective)		DiskSat LEO				DiskSat VLEO 350km																																																							
	Res3m	Res1m	Res3m	Res1m	Res0.3m	Res0.6m	Res0.2m																																																							
Panel#	7	7	4	7	7	4	7																																																							
BW(MHz)	75	300	75	300	1000	500	1500																																																							
Pt(kW)	1	1	1	1	3	1	1																																																							
Alt(km)	600	600	600	600	600	350	350																																																							
δr(m)	3	1	3	1	0.3	0.6	0.2																																																							

⑮衛星のイメージ図

メガコンステレーションが可能な DiskSat SAR

- ・フェアリングに多数機段積みできる薄型収納の合成開口レーダ衛星
- ・レーダ観測に有利な超低高度軌道での運用も可能

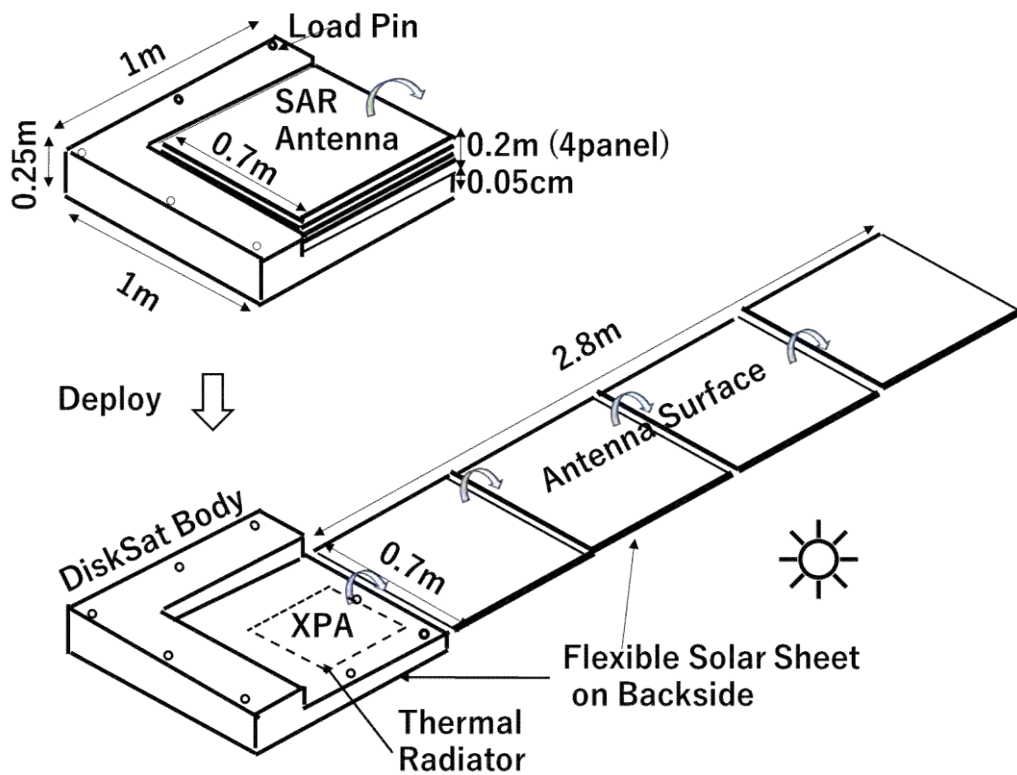


Fig.1 Conceptual Layout of DiskSat SAR.

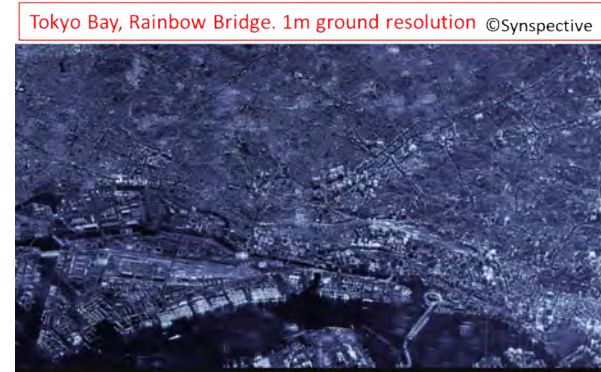
⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

メガコンステレーションが可能な DiskSat SAR

- ・フェアリングに多数機段積みできる薄型収納の合成開口レーダ衛星
- ・準リアルタイムにSAR画像を取得するメガコンステレーション



modified from ©starlink



modified from © Starlink

⑰ ミッションや技術詳細

[ミッション目的] 準リアルタイム,全天候型地上撮像
ミッションのためのメガコンステレーションを可能にする薄型SAR衛星 DiskSat SARの軌道上実証を行う。

[実績] 低コストで薄型収納が可能な展開型スロットアレーアンテナを利用した従来型の立体的な小型SAR衛星は、Fig.2のように既に軌道上で3機運用されている。Fig.3は搭載機k配置である。Table1は主要諸元。

[DiskSat SAR 開発]

1. SARシステムの高性能化. 地上分解能0.25m対応の完全並列給電スロットアレーアンテナの実用化

2. X帯電力増幅器の高出力化 (3kW)

3. 衛星の薄型化

Fig.2の搭載機器領域を30%小型化して、Fig.1の薄型後退に収納させる。SAR信号発生処理装置、PCDUの小型化。

4. DiskSat SARのバス機器の開発 (米国 Aerospace Corporation 担当) CubeSat用搭載機器の実績品を利用、改修、改良。



Fig.2 Micro-X-SARの軌道上実証機 ©Synspecive

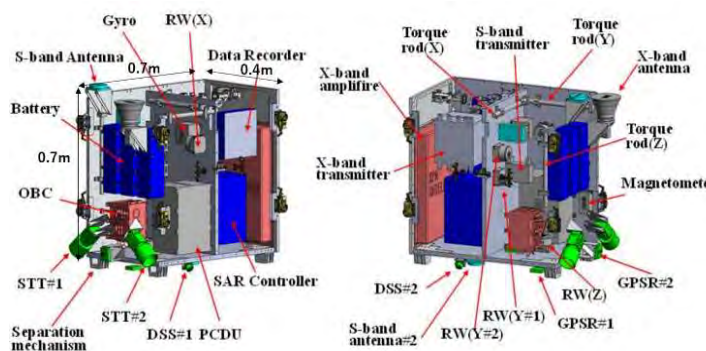


Fig.3 Layout of First-Generation Micro-X-SAR. Satellite.
Body Size 0.7x0.7x0.4m.
From Hirako. J Physics: Conf.Series 1130 (2018) 012012.

Tabl 1 Micro-X-SARのSARシステム仕様諸元

Item	SAR Mode	
	Strip Map	Sliding Spotlight
Altitude	600km	
Resolution	3m	1m
Center Frequency	9.65GHz	
Swath	25 km	25km
Chirp Band Width	75MHz	300MHz
Polarization	V/V	
Antenna Size	4.9 m×0.7 m	
Ant Efficiency	50%	
TX Peak Power	1000 W	
TX Duty	25%	
System Loss	0.6 dB	
System Noise Figure	2.6 dB	
Off Nadir Angle	15~45 deg	
Pulse Repitition Frequency	3000 ~ 8000 Hz	
NESZ (beam center)	-15dB	-18dB
Ambiguity (beam center)	>15dB	

⑱ 参考文献など (optional)

[1]H.Saito, K.Ishimura, Mitsuteru Kaneoka, "DiskSat SAR for Mega Constellation – 2D Satellite of Synthetic Aperture Radar with Deployable Slot Array Antenna –," International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2022,SANE2022–68,N.agasaki, Dec.15,16,2022

[2]齋藤宏文、金岡充晃 “メガコンステレーションに適する薄型SAR衛星DiskSat SARの検討” 電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会, 宮古島、2023年3月2日

[3][H.Saito, K.Ishimura, Mitsuteru Kaneoka “DiskSat SAR for mega constellation 2d satellite of synthetic aperture radar with deployable slot array antenna.” 14th IAA Symposium on Small Satellites for Earth System Observation, ,IAA-B14–1502, May 7–12, 2023.

①発表番号	②セッション	③セッション名	
4-3	セッション4	地球観測ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
テラヘルツセンサによる氷雲・水同位体の小型衛星観測検討			JAXA(研究開発部門) 田村 亮祐
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
田村亮祐	宇宙航空研究開発機構研究開発部門センサ研究グループ		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>テラヘルツ放射計を搭載したキューブサット衛星ミッションの検討状況を紹介する。本ミッションには科学的、工学的目的がある。前者においては、テラヘルツ帯の特性を生かした氷雲、水同位体比を観測することで、気候学や水循環のさらなる理解の深化に向けた観測情報の提供を目標とする。後者においては、次世代の低雑音増幅器を利用した放射計の技術実証を通じたテラヘルツセンサを将来的な地球観測衛星に利用する技術的基盤の構築を目標とする。これらの目的を踏まえて、キューブサットによる観測実証を検討中であり、本検討内容の紹介を行う。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・テラヘルツセンサの技術実証 ・氷雲・水同位体の観測実証 <p>を実施して、将来の実用衛星にテラヘルツセンサの搭載を目指す。実用衛星では、気象予報精度の向上や大気科学分野への貢献を見込む。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高周波デバイスの開発 ・解析アルゴリズムの開発 ・キューブサットへの搭載
⑬衛星のスペック	⑭開発状況・計画		
3~6Uのキューブサット	<p>テラヘルツセンサを利用した地球観測ミッションの初期検討段階で、具体的な衛星開発スケジュールは未定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気観測：テラヘルツセンサによる大気観測の感度シミュレーション実験を実施中。 ・センサシステム：FY2023年度に本格的な高周波キーデバイスの評価を開始予定。 ・衛星システム：キューブサットミッションの概念検討に着手。 		

⑮衛星のイメージ図

⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

検討中のミッションについて

ミッションテーマ③：テラヘルツセンサ技術実証

Cubesat で

- ・テラヘルツセンサ技術実証
- ・氷雲,水同位体の観測実証



海外の類似衛星 (*TROPICS)
*W. J. Blackwell et al. 2016, MIT/NASA



実用衛星 で

- ・テラヘルツチャネルを追加
- ・氷雲,水同位体の観測を実施



社会的・科学的意義

- ・天気予報精度向上
- ・大気科学への貢献

技術実証段階

実用衛星

- * センサのキーデバイスを国産化
- ⇒ 将来の地球観測技術の競争力向上

2023/2/20

© 2023 JAXA

p.11

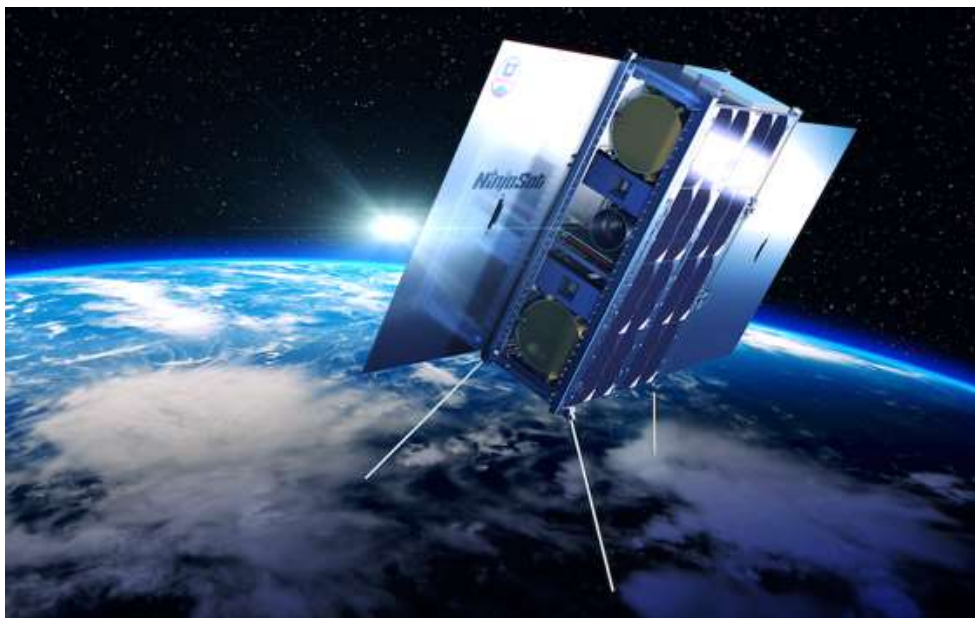
⑰ ミッションや技術詳細

衛星ミッションおよびセンサシステム、衛星システムの詳細は、今後検討を実施する。

⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
5-1	セッション5	宇宙科学ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
6U X線天文衛星 NinjaSat			理化学研究所 玉川 徹
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
(1) (代表) 玉川 徹, 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘, (2) 榎戸輝揚, (3) 岩切 渉, (4) 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 内山 慶祐, 渡部蒼太, 重城新大, 周 圓輝, (5) 佐藤 宏樹, (6) 沼澤 正樹, (7) Chin-Ping Hu, (8) 高橋 弘充, (9) 小高 裕和, 丹波 翼, (10) 谷口 絢太郎	(1) 理化学研究所, (2) 京都大/理研, (3) 千葉大, (4) 理研/東京理科大, (5) 理研/ 芝浦工大, (6) 都立大, (7) 彰化師範大/ 理研, (8) 広島大, (9) 東大, (10) 早稲田 大		開発決定済
⑩概要 (200字程度)		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
大型の衛星では困難な、明るいX線天体の長期占有観測や、機動力を活かした多波長同時観測を実現するために、6U CubeSat による天体ポイント型X線衛星 NinjaSat を開発している。1UのガスX線検出器2台と超小型の放射線帯モニター2台を搭載し、2023年10月にSpaceX Transporter-9 で打ち上げる。科学観測を素早く実現するために、衛星バス部開発は民間企業に任せる戦略をとる。		(1) 超小型衛星による汎用X線天文ミッションの実現 (2) 長期占有観測や機動力を活かした、地上望遠鏡との協力による、多波長、マルチメッセンジャー観測の実施 (3) 教育用公開X線天文台の実現	1Uサイズに収まる、十分な有効面積を持つX線検出器
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
		2020年度 EMペイロード製作 2021-22年度 FMペイロード製作 2022-23年度 衛星インテグレーション&テスト 2023年10月打ち上げ (1年以上運用予定)	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

⑰ ミッションや技術詳細

伴星から質量降着するブラックホールや中性子星など、X線で明るく輝く天体の占有観測を狙うミッションである。地上の可視光望遠鏡や電波望遠鏡などと連携し、多波長での強度変動をモニターすることで、強重力天体への物質降着メカニズムを探る。また、理化学研究所がJAXAと共同で運用している、国際宇宙ステーション搭載の全天X線監視装置 MAXI が発見した明るい突発天体などを、長期間観測することで、X線放射の時間変動の起源を探る。さらに、さそり座 X-1 (中性子星連星) の自転周期をX線観測から求めることで、同時期に観測を行っている重力波天文台が、定常重力波を検出するための基礎情報を提供する。

主ペイロードとして、1U サイズのガスX線検出器 (Gas Multiplier Counter; GMC) を2台搭載する。1台当たりの質量は 1.2 kg、Xeベースのガスを封入しており、2-50 keV 帯域のX線に感度を持つ。X線信号増幅には、理化学研究所で開発し、既に宇宙実証されている、ガス電子増幅フィルムを用いる。衛星バスとペイロードの間は、CSP over CAN と UART により通信を行う。軌道上の荷電粒子をカウントするため、1 cm 角、500 μ m 厚の Si-PIN フォトダイオードを用いた、放射線帯モニター (Radiation Belt Monitor; RBM) も2台搭載する。GMC は、荷電粒子の多い南大西洋異常帯 (SAA) やオーロラ帯では観測を停止するが、RBM は常に荷電粒子計測を行い、放射線環境を可能な限り連続的にモニターする。

チームメンバーがペイロード製作に注力するために、衛星バスは、ある程度 6U cubesat の打ち上げ経験がある民間企業への外注とした。衛星バスとの間はインターフェースを切った上で、ミーティングを頻繁に繰り返すことで、お互いの意思の相違を減らす工夫をしている。民間企業を活用した cubesat 衛星プロジェクトは、今後、宇宙実験が短期サイクルで回り、科学者にとって身近なものになるための、パイロット実験である。また、観測時間の一部を利用し、一般や学生からのリクエストで任意のX線天体観測を行う、アウトリーチ活動も予定している。

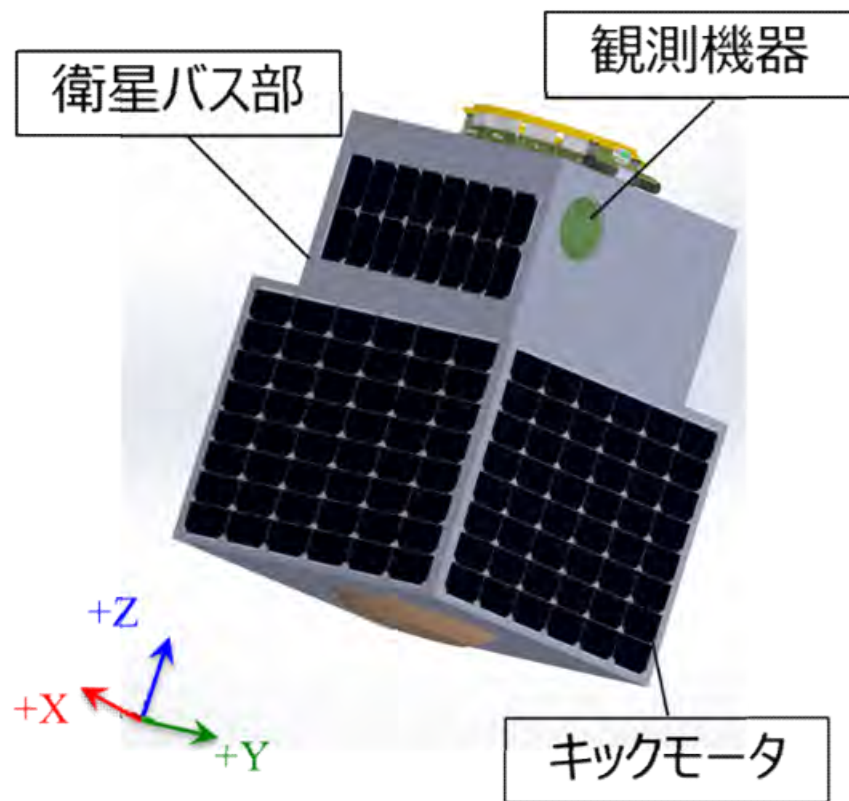
⑱ 参考文献など (optional)

(1) Twitter https://twitter.com/ninjasat_xray

(2) "NinjaSat: an agile CubeSat approach for monitoring of bright x-ray compact objects", T. Enoto, et al., Proc. of SPIE, 11444, 114441V (2020)

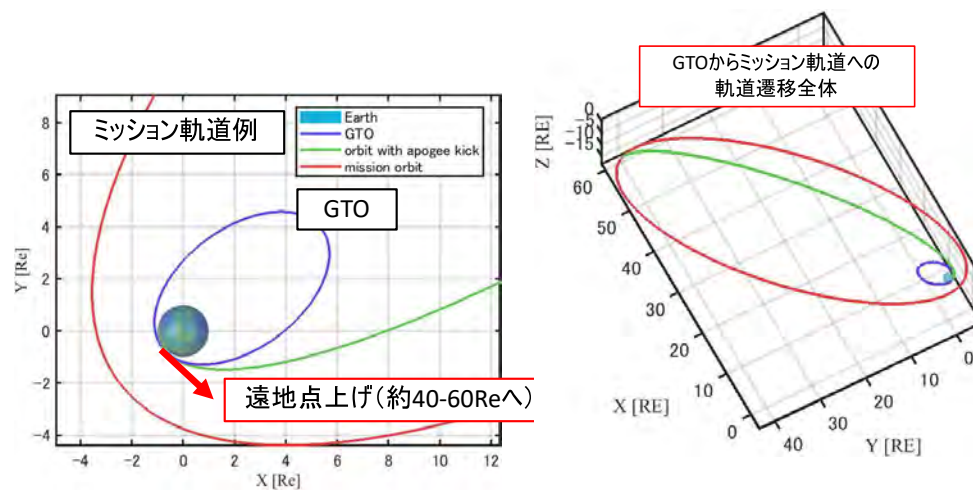
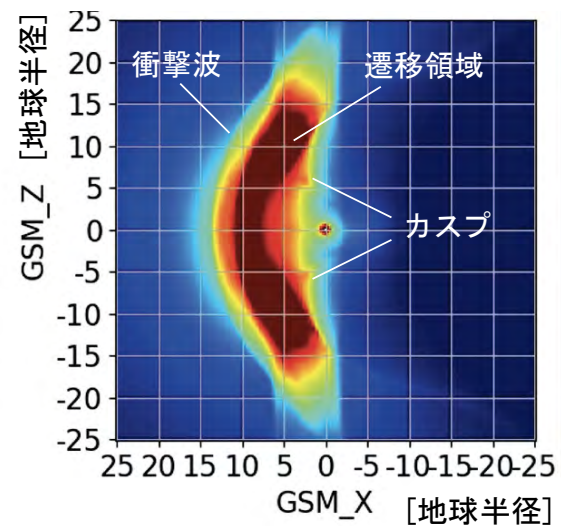
①発表番号	②セッション	③セッション名	
5-2	セッション5	宇宙科学ミッション	
④発表タイトル		⑤発表者所属・氏名	
地球磁気圏X線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager)		東京都立大学 江副 祐一郎	
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
江副祐一郎, 船瀬龍, 永田晴紀, 三好由純, 中嶋大, 三石郁之ほか	東京都立大学, JAXA 宇宙研, 北海道大, 名古屋大, 関東学院大ほか		開発決定済
⑩概要 (200字程度)		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
GEO-X (GEOspace X-ray imager) は地球磁気圏の大局構造の可視化を世界で初めて実現する超小型衛星計画である。地球磁気圏は人工衛星によるその場のプラズマ計測と地上観測で調べられてきたが、大局構造とその変化の把握は困難であった。GEO-X では広視野の軟X線撮像観測という新手段でこれを可能にする。		X線を用いた磁気圏の大局構造、特に磁気圏の太陽側に存在する衝撃波、遷移領域、カスプを撮像する。さらに太陽風動圧の変化で動的に変化する磁気圏システムの姿を捉える。これらにより磁気圏の大局構造とその変動を理解する。	(1) 超小型衛星の限られたリソースで大型天文衛星並の感度を実現する超小型X線撮像分光装置。 (2) さまざまな相乗り機会に柔軟に対応できる高推力の推進系を持った超小型衛星。
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
(1) サイズ ~50 cm 立方 (2) 重量 ~50 kg (うち 18U Cubesat 20 kg、ハイブリッドキックモーター 30 kg) (3) 電力 100 W max (4) データ送受信 X-band (5) 軌道変換能力 Δv 700 m/s		(1) 科研費 特別推進研究 等を獲得。JAXA 小規模計画※に採択。 (2) 衛星バスの詳細設計中、推進系は EM 開発、観測装置も EM 開発。 (3) 2024-25年頃の打ち上げ (太陽活動極大) を目指す。 ※ 打ち上げ機会確保の条件付き	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

X線による地球磁気圏撮像 シミュレーション



⑰ ミッションや技術詳細

"GEO-X は地球磁気圏のX線による可視化と磁気圏構造の理解を目的とする超小型衛星計画である。このためには月付近の高度 (40-60 Re) から俯瞰的な広視野 (5x5 deg) の軟X線撮像分光 (0.3-2 keV) が必要だが、従来のX線天文衛星は遠方天体の観測が主であり、地球近傍からの狭視野観測が主流であるため未実施である。そこで GEO-X では来る太陽極大での打ち上げを目指し、超小型衛星で実現する。打ち上げは大型ロケットへの相乗りを想定し、GTO 以遠の軌道から最終的な観測軌道に自力で投入する。

実現に必要な技術は二つあり、一つが超小型衛星の限られたリソース (<10 kg, <10 W, <3U) の中で、大型X線天文衛星すざくに匹敵する広がった放射への感度を実現する超小型X線撮像分光装置である。従来技術では不可能なため、我々は新技術を用いて、すざくの望遠鏡・検出器システムを焦点距離を 1/15、重量を 1/4 にコンパクト化する。望遠鏡には日本独自の手法である Si 基板の微細穴加工を用いた MEMS (マクロマシン) 方式を用いる。世界最軽量であり、JAXA 宇宙技術ロードマップで獲得すべきキー技術に選定された。検出器には高速読み出しが可能で安価なX線CMOSを採用し、ポリイミド薄膜に Al を成膜した可視光遮光フィルタと組み合わせて昼地球からの可視光ノイズを低減する。望遠鏡は東京都立大、検出器は関東学院大、可視光遮光フィルタは名古屋大が担当する。現在、各コンポのEM相当品の開発と性能評価を進めている。

もう一つの必要な技術が、さまざまな相乗り機会に柔軟に対応できる高推力推進系を持った超小型衛星である。そこで JAXA 宇宙研・東大と北海道大学が開発中の新技術を用いる。18 U CubeSat (20 kg) に、大推力のハイブリッドキックモーター ($\Delta v > 700$ m/s) を組み合わせる。それぞれ JAXA 宇宙研・東大、北海道大が担当する。現在、衛星の詳細設計を進めており、推進系もEMの実証試験(推力履歴、気密など)を完了済みである。

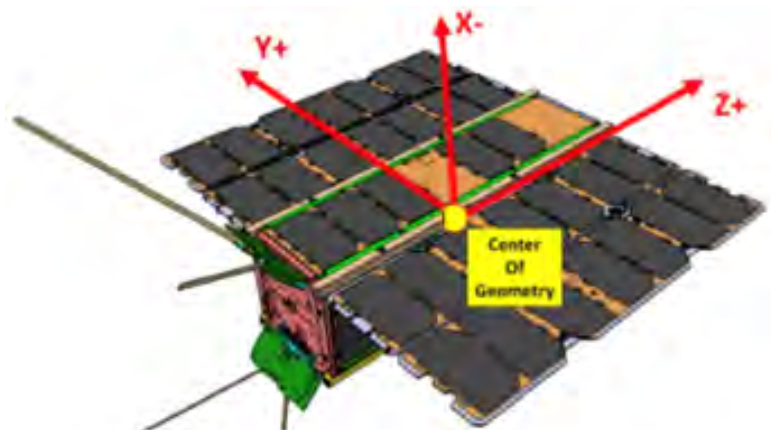
"

⑱ 参考文献など (optional)

- (1) プロジェクトホームページ <https://tokusui-geox.jp>
- (2) Ezoie et al., 2020, "GEO-X (GEOspace X-ray imager)", SPIE, 11444, 1144428, <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11444/1144428/GEO-X-GEOspace-x-ray-imager/10.1117/12.2560780.short?SSO=1>
- (3) 日本学術会議 地球惑星科学委員会 ロードマップに記載, <http://www.jpogu.org/wp-content/uploads/2020/05/scjreport20200515.pdf> (p.18)

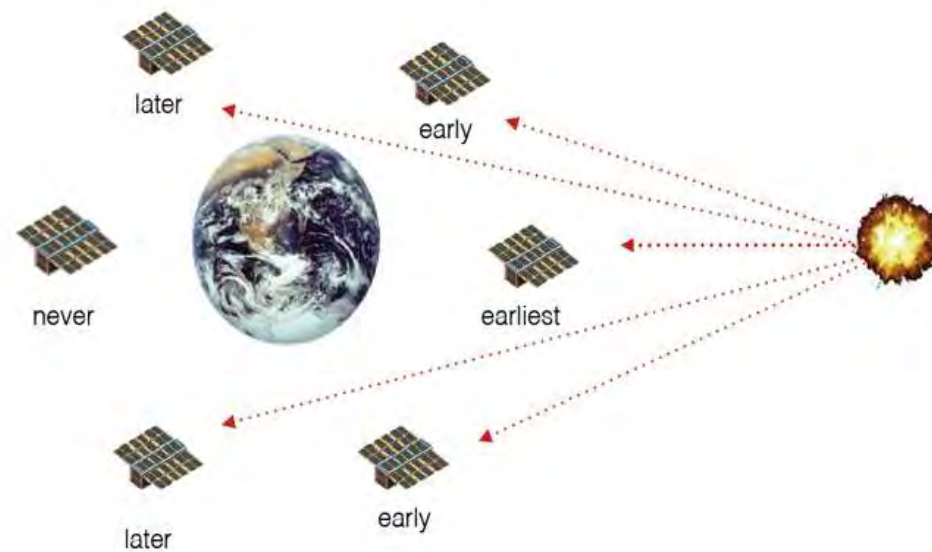
①発表番号	②セッション	③セッション名	
5-3	セッション5	宇宙科学ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
超小型衛星群CAMELOT計画によるガンマ線バースト位置決定			広島大学 深沢 泰司
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
深沢 泰司	広島大学		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>重力波を発する天体の候補であるガンマ線バーストは、これまでの通常衛星のガンマ線衛星において、広い視野で2度以下の位置決定精度、もしくは、狭い視野で数分角の精度で通知され、他波長で追跡観測がされてきた。しかし、通常の可視光望遠鏡の視野は0.5度以下であることが多く、2度の精度では追跡しづらい。そこで、超小型衛星群を用いてガンマ線検出時刻の差をGPSを用いて精度良く決定して、全天で位置決定精度1度以下で通知するCAMELOT計画を進めている。現在は、試験衛星を2つ打ち上げて、順調に衛星運用、データ取得が続いている。今後、打ち上げ機会を獲得して、順次打ち上げたい。</p>		<p>重力波天体候補であるガンマ線バーストの天球での位置を超小型衛星群を用いて1度以下の精度で軌道上で求めて通知する。</p>	<p>GPSを用いたガンマ線検出時刻の差オンボードで測定し、オンボードで天球でのガンマ線バーストの位置を決定して通知すること</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>3Uスケール。2つのガンマ線検出器(15cmx7.5cmx0.5cm シンチレータ+SiPM、2台で1kg以下)搭載。姿勢決定機器を可能なら搭載。1日数MBダウンロード。5W.以下のアナログ（50Vの2次電圧必要）、デジタル回路（FPGA含む）。</p>		<p>1Uスケールのガンマ線検出器を搭載した超小型衛星を2機打ち上げ、順調に衛星運用、データ取得ができています。また2024年に1Uスケールの衛星を打ち上げ予定。</p>	

⑮衛星のイメージ図



3U cubesat developed
by C3S LLC for the ESA sponsored
RadCube mission

⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

重力波を発する天体の候補であるガンマ線バーストは、これまでの通常衛星のガンマ線衛星において、広い視野で2度以下の位置決定精度、もしくは、狭い視野で数分角の精度で通知され、他波長で追跡観測がされてきた。しかし、通常の可視光望遠鏡の視野は0.5度以下であることが多く、2度の精度では追跡しづらい。そこで、超小型衛星群を用いてガンマ線検出時刻の差をGPSを用いて精度良く決定して、全天で位置決定精度1度以下で通知するCAMELOT計画を進めている。現在は、試験衛星を2つ打ち上げて、順調に衛星運用、データ取得が続いている。今後、打ち上げ機会を獲得して、順次打ち上げたい。

3Uスケールの2つの直交する面にガンマ線検出器(15cmx7.5cmx0.5cm シンチレータ+SiPM、2台で2kg以下)をを搭載し、アナログ回路(50Vの2次電圧含む)、デジタル回路(FPGA含む)を通してデータ送信。姿勢制御は行わないが、姿勢決定機器を可能なら搭載。1日数MBのデータをダウンロード。全体で5W以下。

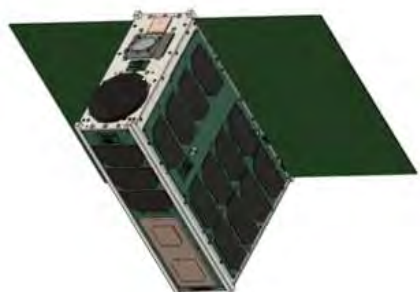
このような3U衛星を10機以上いろいろな軌道に打ち上げるが、打ち上げは世界中のあらゆる機会を狙う。10機がいろいろな軌道に存在すれば、全天に対して1度以下の精度でガンマ線バーストの位置を決定できる見込み。

⑱ 参考文献など (optional)

1. Werner, N., R^ó ípa, J., Pál, A., et al. 2018, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol. 10699, Space Telescopes and Instrumentation 2018: Ultraviolet to Gamma Ray, ed. J.-W. A. den Herder, S. Nikzad, & K. Nakazawa, 106992P
2. Pál, A., Ohno, M., Mészáros, L., et al. 2020, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol. 11444, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Ultraviolet to Gamma Ray, ed. J.-W. A. den Herder, S. Nikzad, & K. Nakazawa, 114444V

①発表番号	②セッション	③セッション名	
5-4	セッション5	宇宙科学ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
スペースからの天体物理観測促進のための共通プラットフォーム化			JAXA宇宙科学研究所 中川 貴雄
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
中川貴雄	JAXA宇宙科学研究所		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>スペースからの天体物理観測にとり、特に新しいアイデアをいち早く実現するという観点から、超小型衛星は魅力的なプラットフォームである。しかしながら、現状においては、超小型衛星による天体物理観測の実現は極めて限られている。これは、信頼性ある衛星バスを構築する枠組みが確立されていないためであると思われる。そのため、天体物理観測において、ある程度共通的に使える衛星バスのプラットフォームの構築を提案する。特に天体物理観測で要求される指向精度を達成するため、別途開発が進められている超小型衛星用の姿勢制御ユニットを活用する。</p> <p>この考え方の第一号機として、VERTECSプログラムを進めている。</p>		<p>本活動で、天体物理学ミッション用の共通衛星バスがプラットフォームとして確立する。それにより、超小型衛星を用いた天体物理観測の実現が現実かつ容易になるとともに、研究者がミッション部に集中することで、より新しいアイデアを創出を促す。</p>	<p>本構造のとりまとめにあたり、天体物理学ミッションに必要な仕様のアンケートを実施した。その結果、以下がキーとなる技術要素である。</p> <p>(1) 高い指向安定性 (<10 arcsec/min)への要望を多い。</p> <p>(2) 軌道として、dawn-duskの太陽同期軌道が要求するミッションが多い。</p> <p>(3) データレート等は、地球観測衛星と大きくは異なる (< a few G Bytes/day)</p> <p>(4) 将来的には、検出器冷却の要望がある。</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<ul style="list-style-type: none"> まずは6U衛星を想定する。 絶対指向精度約0.1度、指向安定性について厳しいものは <10arcsec/min (3σ) ダウンリンク時に数Mbpsのデータレート。また、観測後、約1日でダウンリンク可能であること。 低inclination軌道でも成果を得られる熱構造を設計するが、太陽同期軌道 (Twilight zone) が熱的な観点からより望ましい。 		<p>一号機として、VERTECS がJAXA-SMASHプログラムに採用され、開発中である。シリーズ全体としては、構想検討中である。</p>	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

⑰ ミッションや技術詳細

スペースからの天体物理観測にとり、大気の影響のないスペースからの観測は、非常に重要なものである。しかしながら、現在の天体観測ミッションは、大型化し、実現までに非常に長時間を必要とするという問題点がある。そこで、特に新しいアイデアをいち早く実現するという観点から、超小型衛星の活用を検討しているグループが多く存在する。

しかしながら、現状においては、超小型衛星による天体物理観測の実現は極めて限られている。これは、信頼性ある衛星バスを構築する枠組みが確立されておらず、天体物理ミッション提案者が、バス部の開発まで担当する必要があるためであると思われる。ただし、天体物理観測に要求されるバス部の要求は、共通項が多い。

そこで、本講演では、天体物理観測において、ある程度共通的に使える衛星バスのプラットフォームの構築を提案する。超小型衛星に興味を持つ天体物理関係者へのアンケートから、共通バスプラットフォームに必要な仕様の概要をまとめた。特に天体物理観測では高い指向安定性が要求される。これを達成するため、別途開発が進められている超小型衛星用の姿勢制御ユニットを活用する。

⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
5-5	セッション5	宇宙科学ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
VERTECSから始める新時代の光赤外天文学は惑星間宇宙望遠鏡へ続く			関西学院大学 松浦 周二
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
松浦 周二	関西学院大学		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>光赤外域における銀河系外背景光(EBL)の観測は、初期宇宙の天体や近傍の微弱天体など個別天体として捉えられない隠された宇宙を明らかにする重要な研究手段である。VERTECSは超小型衛星によりEBLの観測を行う画期的な計画であるが、太陽系ダストによる前景光の影響が排除しきれない。そこで私たちは将来は太陽系ダストが希薄な惑星間空間へ望遠鏡を投入することを計画している。その第一歩が超小型ソーラーセイル計画である。</p>		<p>地球近傍ではなしえない究極的な精度のEBL観測を深宇宙に投入する望遠鏡により実現する。</p>	<p>まだ国内にはない外惑星探査機や遠方の深宇宙探査機を手に入れる必要がある。その宇宙機技術として有望なのがソーラーセイルであり、これを超小型機から段階的に実証する。</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>2AU以遠の惑星間空間において望遠鏡が機能する電力と通信が確保できるうえ長期安定な姿勢制御ができること。</p>		<p>ISASにおいてソーラーセイルWGの活動を行ってきた。ソーラーセイルはIKAROSの開発以来、国内には多くの実績があり、これを後ろ盾に開発と検討を進めている。6Uセイルは2020年代での実現を目指す。WGでは6Uに限らず50kg級の超小型ソーラーセイルを検討しており、2030年代の打上げを目標としている。</p>	

⑮衛星のイメージ図

⑯ミッションのイメージ図（※あれば）

⑰ ミッションや技術詳細

地球近傍ではなしえない究極的な精度のEBL観測を深宇宙に投入する「惑星間宇宙望遠鏡 IPST」により実現する。IPSTの実現のためには日本がまだ持っていない外惑星系探査軌道や黄道面外軌道をとる宇宙機の開発が必要である。その技術として有望なのがソーラーセイルであり、これを超小型の実証機からはじめ開発を進める。超小型天文衛星VERTECSで培う観測技術を応用し、超小型ソーラーセイルの搭載機器を開発する。また、将来は50kg級の超小型ソーラーセイルを開発し、深宇宙での本格的なEBL観測を実現する。

⑱ 参考文献など (optional)

Matsuura, S., Arai, T., Bock, J. J., et al. 2017, ApJ, 839, 7

Matsuura, S., Yano, H., Yonetoku, D., et al. 2014, Trans. Japan Soc. Aeronautical Space Sci., Aerospace Tech. Japan, 12, Tr_1-Tr_5

Matsuura, S. 2002, in Proc. Far-IR, Sub-mm MM Detector Technology Workshop, ed. J. Wolf, J. Farhoomand, & C. R. McCreight (Washington, DC: NASA), NASA/CP-211408, i-04

Toshihiro Chujo, Yuki Takao, Synodic Resonant Halo Orbits of Solar Sails in Restricted Four-Body Problem, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 59, No. 6, pp. 2129-2147, 2022.

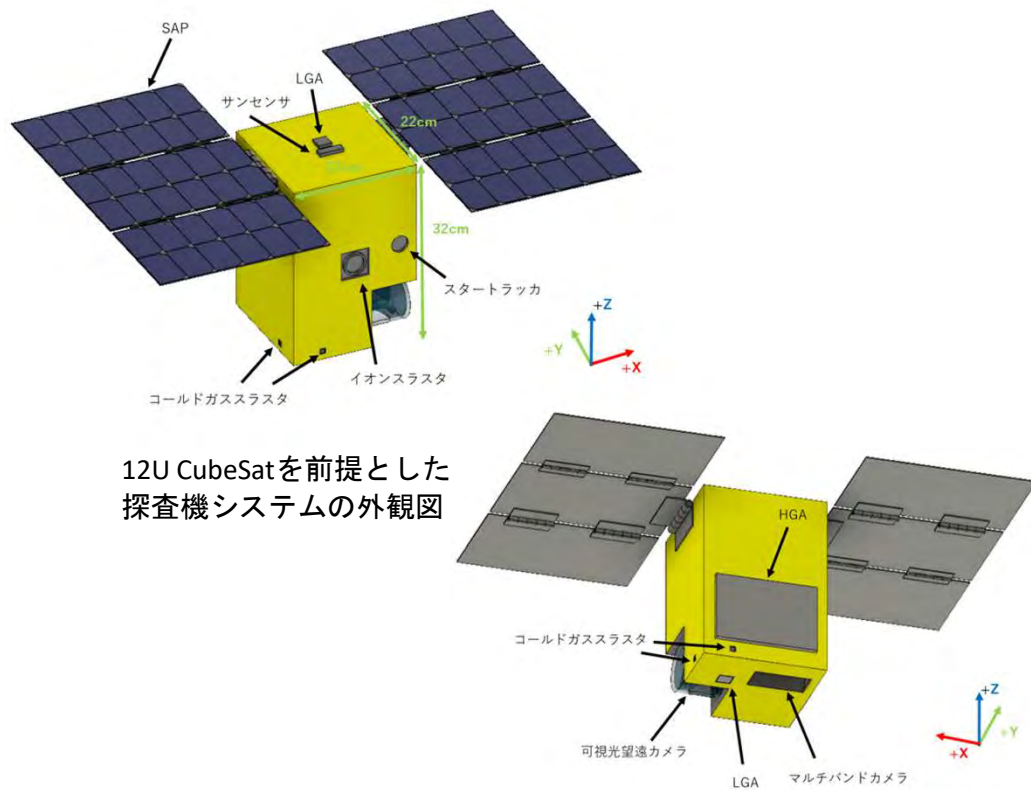
高橋 秀幸, 松下 将典, 高尾 勇輝, 森 治, 角田 博明: 太陽光圧によるソーラーセイルの姿勢制御に向けた形状記憶合金ワイヤを用いた膜形状制御, 航空宇宙技術, No.21, pp.21-30, 2022.

A. Russo, B. Robb, S. Soldini, P. Paoletti, G. Bailet, C. R. McInnes, J. Reveles, A. K. Sugihara, S. Bonardi and O. Mori, "Mechanical Design of Self-Reconfiguring 4D-Printed OrigamiSats: A New Concept for Solar Sailing," Frontiers in Space Technologies, Vol.3, 2022.

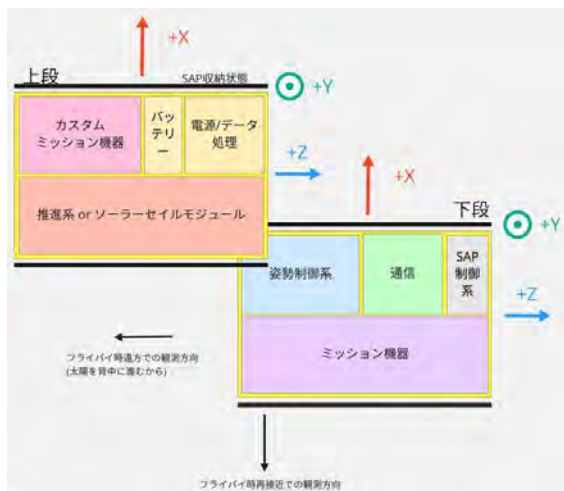
S. Yamada, A. K. Sugihara and O. Mori, "Numerical Analysis on Optimal Deployment Configuration of Tightly-Folded Device-Laden Space Membrane," Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, No.20, pp.49-57, 2022.

①発表番号	②セッション	③セッション名	
6-1	セッション6	月・深宇宙探査ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
深宇宙コンステレーションによる小天体超マルチフライバイ構想			JAXA宇宙科学研究所 尾崎 直哉
⑥著者		⑦所属	⑧代表者メールアドレス
尾崎直哉, 兵頭龍樹, 高尾勇輝, 寫生有理, 笠原慧, 長福紳太郎, 鶴飼諭史, 久本泰慶, 筒井真輝, 小塚陽希, 河北秀世, 脇田茂, 岡田達明, 吉川真, 稲富裕光, 津田雄一, 船瀬龍, 川勝康弘, 藤本正樹		JAXA, 九州大学, 東京大学, 京都産業大学, MIT	⑨現在の状況: 概念検討中
⑩概要 (200字程度)		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
本ミッションは、地球スイングバイと小天体フライバイを交互に繰り返す小天体フライバイサイクラー軌道を用いて、数年に1個の頻度で小天体フライバイを行うミッションである。フライバイ観測ミッションであるため、光学望遠鏡・分光カメラ等のリモートセンシング観測がメインとなるが、質量リソース次第では、(50~100kg級の小型探査機であれば)超小型インパクタ(弾丸)やフライバイサンプルリターンも候補となる。「フライバイ頻度」を高める観点では、地球近傍小惑星や彗星等の地球近傍を通過しうる天体が対象となるが、突発的に訪れる恒星間天体や地球に衝突しうる小惑星等も探査対象となり得る。		<ul style="list-style-type: none"> ・継続的な超小型深宇宙探査機の開発を通じた産業育成および技術力向上 ・恒星間天体や長周期彗星といった人類未到の天体に対する直接探査 ・(プラネタリーディフェンス)地球に衝突しうる危険のある小惑星の衝突回避のための事前探査 	<ul style="list-style-type: none"> ・深宇宙空間(地球距離が0.5au程度)にコンステレーションを組む必要があるため自律的な軌道決定と運用技術 ・小天体の質量を推定するための観測機器(微小物体の重力散逸測定技術) ・小天体フライバイ探査のための誘導制御技術
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>サイズ: 20-50kg程度 (12U CubeSat~MicroSat)</p> <p>観測機器: 3-15kg程度</p> <p>推進系: 約100m/s程度のΔV能力を有すること</p> <p>通信系: 0.5au程度の地球距離で通信できること</p> <p>軌道決定・制御: 極力自律的な軌道決定・制御を実施すること</p> <p>姿勢制御等: フライバイ時に対象天体を撮像できること</p>		日本国内の有志検討チームによる概念検討を実施して、米国のKeck Instituteが主催のKISS Workshopにてミッションアーキテクチャに関する検討が実施済みである。現在、深宇宙コンステレーションを実現するためのミッション設計に関する研究を加速している状態である。宇宙機バスシステムについては、JAXAのComet Interceptorの子機ヘリテージが利用可能であると考えており、そのバス技術の開発が進んでいる。	

⑮ 衛星のイメージ図

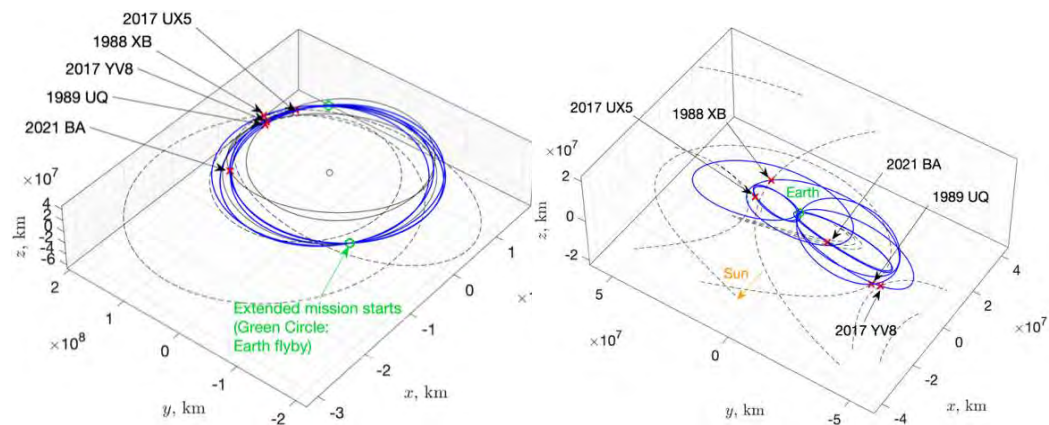


12U CubeSatを前提とした
探査機システムの外観図

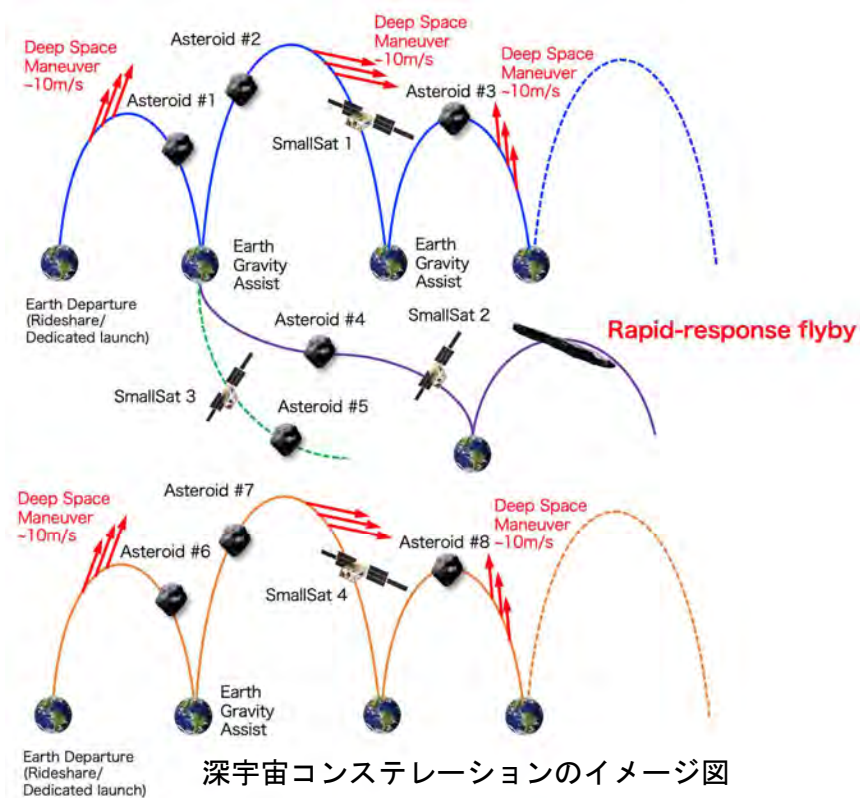


12U CubeSatを前提とした
探査機システムの内部機器配置

⑯ ミッションのイメージ図 (※あれば)



1機ごとの小惑星マルチフライバイ軌道の例



深宇宙コンステレーションのイメージ図

⑰ ミッションや技術詳細

近年、太陽系形成の解明やプラネタリーディフェンスの観点から、小天体探査が注目されている。これまでに100万個以上の小天体が発見されているのに対して、直接探査がなされた小天体はまだ数十個程度である。太陽系天体の理解を深めるためにも、また、プラネタリーディフェンスの対策を考える上でも、より数多くの小天体を直接探査し、統計的な情報を得ることが不可欠である。そこで、本ミッションでは、数ヶ月に1個の頻度で小天体をフライバイ探査するための深宇宙コンステレーションによる小天体マルチフライバイ構想を提案する[1,2]。本コンセプトでは、地球スイングバイと小惑星フライバイを交互に繰り返す「小天体フライバイサイクラー軌道」[3,4]に複数の超小型宇宙機を配置する。小天体フライバイサイクラー軌道に分散された宇宙機は、およそ1年に1回の頻度で小天体フライバイを行うことが可能である。そのため、12機の超小型宇宙機を配置することができれば、約1ヶ月に1回の頻度で小天体の直接探査が可能となる。

小天体フライバイサイクラー軌道を利用したマルチフライバイは、ほとんど燃料を必要としないため、超小型宇宙機であっても十分に実現可能である。そして、そのような超小型宇宙機を複数打ち上げて、深宇宙コンステレーションを構築することができれば、数ヶ月に1個の頻度の小天体フライバイ探査が実現可能である。また、本コンステレーションでは、宇宙機が地球スイングバイを行うタイミングで、目指すべき対象天体を変更することも可能である。そのため、恒星間天体、長周期彗星、地球に衝突しうる危険な小惑星が突発的に発見された場合、そちらに向けて軌道を変更することも可能である。すなわち、本ミッションでは、マルチフライバイによる高頻度な小天体探査を実現すると同時に、突発的に現れた天体に対する即応型探査（Rapid Response Exploration）も実現可能である。更に、本ミッションは超小型深宇宙探査機の継続的な技術向上・産業育成にも貢献すると考えている。本ミッションはコンステレーションのメリットが活かせ、1機喪失したとしても、他の探査機で穴埋めをすることが可能である。そして、複数の深宇宙探査機を打ち上げるため、超小型探査機技術に関する統計的な情報も取得することが可能であり、将来の深宇宙探査ミッションの品質・信頼性向上にもつながると考えている。

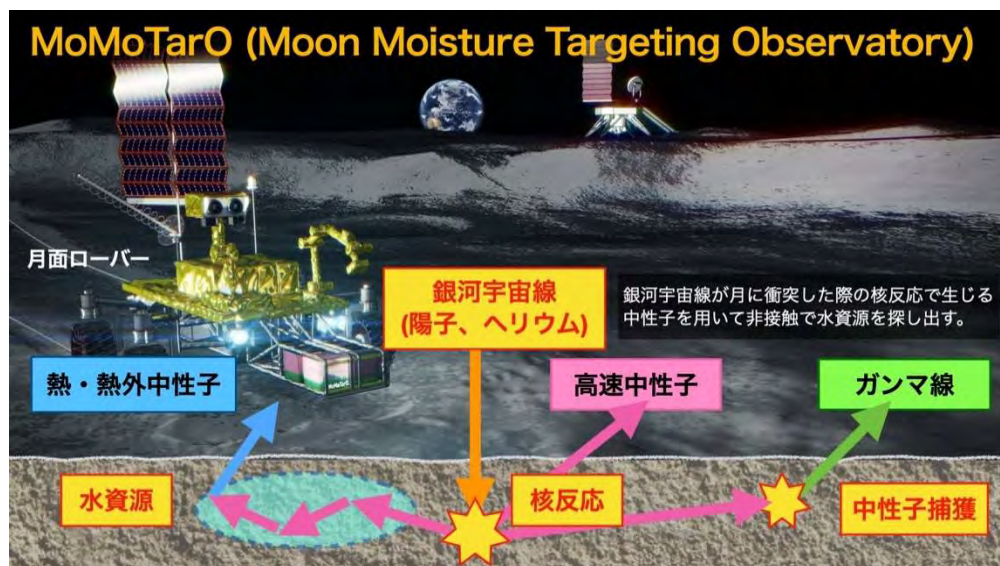
技術的な観点では、深宇宙探査機の自律的な運用が鍵となる。本構想を実現する初期段階であれば、従来の地上局を介した運用を実施することが可能であるが、将来的に10機以上の探査機が深宇宙を航行している状態では、全ての探査機に対して、常に地上局を用いた運用を実施することは困難である。そのため、それぞれの探査機に高い自律性が求められる。小天体フライバイの観点では、科学観測データのダウンリンクが必要であるため、地球スイングバイ近傍で科学観測データのみをダウンリンクして、その他の期間では完全に自律的に運用できる仕組みが理想である。特に深宇宙コンステレーションでは、地球周回コンステレーションと異なり、自律的な軌道決定がボトルネックとなると考えており、技術開発が急がれる。

⑱ 参考文献など (optional)

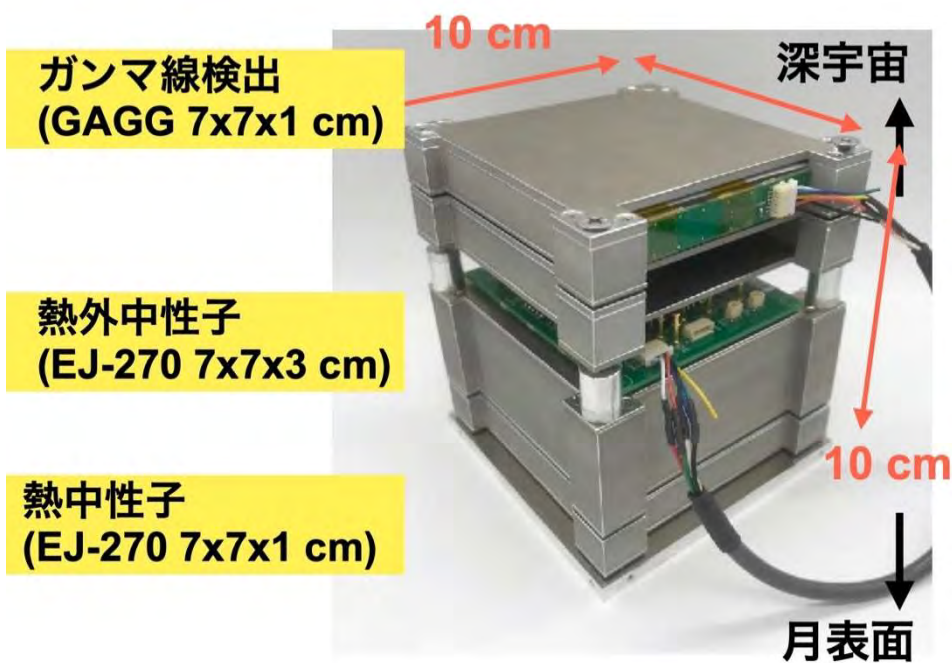
- [1] 尾崎直哉, 高尾勇輝, 他, "深宇宙コンステレーションによる小天体マルチフライバイ探査構想," 第66回宇宙科学技術連合講演会, 2L08, 2022年11月.
- [2] Naoya Ozaki, Ryuki Hyodo, et al., "Rapid-response Flyby Exploration using Deep Space Constellation deployed on Asteroid Flyby Cyclers," IAA Planetary Defense Conference, April 2023.
- [3] Naoya Ozaki, Takayuki Yamamoto, et al., "Mission Design of DESTINY+: Toward Active Asteroid (3200) Phaethon and Multiple Small Bodies," Acta Astronautica, Vol. 196, pp.42-56, July 2022.
- [4] Naoya Ozaki, Kanta Yanagida, et al. "Asteroid Flyby Cyclers Trajectory Design Using Deep Neural Networks," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.45, No.8, pp.1496-1511, 2022.

①発表番号	②セッション	③セッション名	
6-2	セッション6	月・深宇宙探査ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
月の水資源探査と素粒子・宇宙観測を同時に行う MoMoTarO 計画			京都大学・理化学 榎戸 輝揚
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
榎戸 輝揚, 長岡 央, 辻 直希, 加藤 陽, 谷口 絢太郎 (1), 晴山 慎 (2), 大竹 淑恵, 岩本 ちひろ, 高梨 宇宙, 若林 泰生 (1), 小林 泰三 (3), 池永 太一, 中野 雄貴, 塚本 雄士 (4), 草野 広樹 (5), 玉川 徹 (1), 星野 健, 上野 宗孝 (6), 森本 健志 (7), 吉浦 伸太郎, 本間 希樹 (8), 高橋 弘充, 木坂 将大 (9), 中澤 知洋 (10), 仏坂 健太(11)	1: 理化学研究所、2: 聖マリアンナ医科大学、3: 立命館大学、4: ソイルアンドロックエンジニアリング社、5: 量研、6: JAXA、7: 近畿大、8: 国立天文台、9: 広島大、10: 名大、11: 東大		開発移行可能
⑩概要 (200字程度)		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
月面に絶えず降り注ぐ銀河宇宙線で生じる熱・熱外中性子を測定することで、非接触で水資源探査を行える中性子水モニタの開発を行っている。これを月面ローバーに搭載するだけでなく、月周回機にも搭載して熱中性子の高度プロファイルの測定をすることで、中性子の寿命測定という素粒子物理学の研究をも狙う。さらに、月周辺でのガンマ線バーストの測定を行い、その到来方向の測定を行うなど、月面天文台として運用する。		<ul style="list-style-type: none"> ・月の水資源探査 ・中性子寿命の測定 ・ガンマ線バースト観測による宇宙論への貢献 ・低周波電波観測と連携した月面天文台 	宇宙放射線計測、特に熱・熱外中性子の高感度で安定した測定
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
本提案では、サイエンスペイロードのみを検討しており、1U-size モジュールでは 2 kg 以下、2 W 以下、5 V 駆動、動作温度 -20~+40 degC、データ量 50 MB/day 以下を想定して設計している。これを1~2 モジュール搭載できる衛星とのマッチングを検討している。		検出原理は確認できており、EM モデルの開発を進めるとともに、Geant4 シミュレーションやモデル土槽を使った実証実験を進めている。宇宙環境に向けた実証試験を2023年度は実施したい。	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

- ・ MoMoTarO の検出器 1 モジュールは、3層のシンチレータを検出部とする。月面側から深宇宙側に向けて熱中性子、熱外中性子、ガンマ線を主に測定することを主目的とする。熱中性子と熱外中性子の測定には、バックグラウンドとなるガンマ線を波形弁別できるリチウムを添加したプラスチックシンチレータを用いる。熱と熱外の違いは、中性子吸収材をシンチレータに巻くことで行う。3層のシンチレータの厚みは、月面側から7x7x1 cm³, 7x7x3 cm³, 7x7x1 cm³とする。
- ・ 読み出しは、各シンチレータに光検出器SiPMを複数個取り付けて行い、アナログ・デジタル回路処理は地球低軌道の超小型衛星(NinjaSat等)をもとにした1層の電子回路基板で行う。
- ・ 3つのシンチレータからの放射線イベントでのエネルギー(ADC値)と取得時刻を記録するとともに、検出器全体の健康管理上のHouse Keepingデータを記録する。
- ・ 月面ローバーでは、熱・熱外中性子による水資源の可能性を調べるため1~2モジュールを搭載する。同型機を月周回機に搭載する。

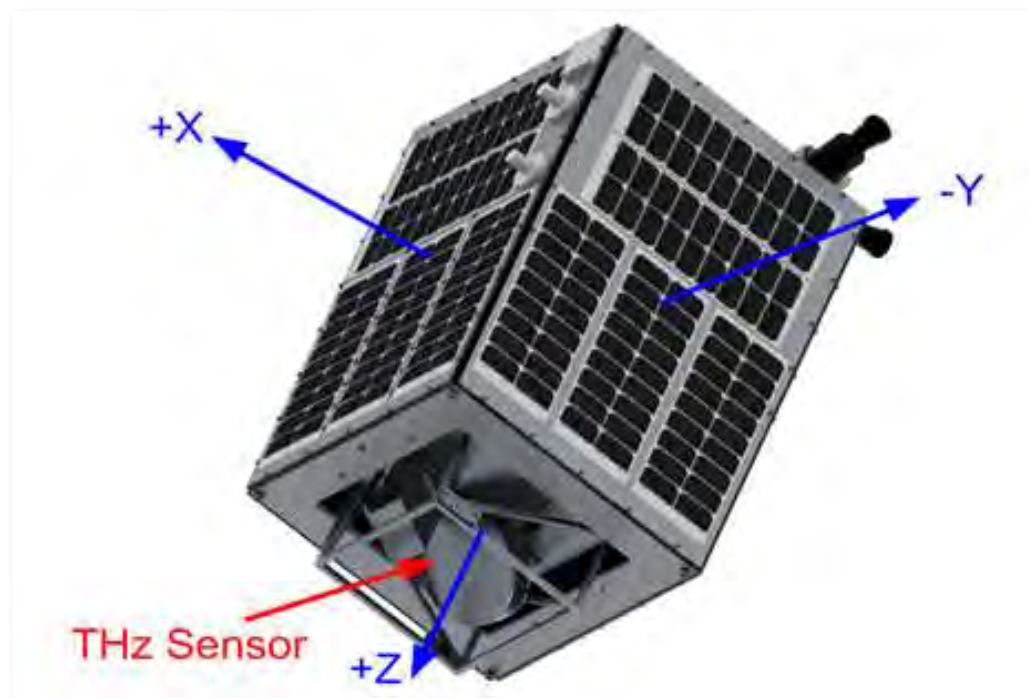
⑱ 参考文献など (optional)

発表資料：<https://www.dropbox.com/s/hixezpoa5xww61z/6->

2_%E4%BA%AC%E5%A4%A7%E7%90%86%E7%A0%94_%E6%A6%8E%E6%88%B8_%E7%99%BA%E8%A1%A8%E8%B3%87%E6%96%99.pdf?dl=0

①発表番号	②セッション	③セッション名	
6-3	セッション6	月・深宇宙探査ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査 TSUKIMI			Space BD(株) 本多 哲也
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
①笠井康子 ②宮本英昭 ③西堀俊幸 ④前澤裕之 ⑤本多哲也	①情報通信研究機構②東京大学 ③宇宙航空研究開発機構④大阪公立大学 ⑤Space BD (株)		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>テラヘルツ電磁波伝搬モデルを含む解析アルゴリズムを開発し、月面の輝度温度分布を高精度に観測し、月面の水・氷含有量の推定分布の取得を可能とする多チャンネルテラヘルツ波センサを開発する。月周回軌道上での効率的な探査を実現するために必要な衛星とセンサを統一的に制御する衛星デジタル処理技術を開発する。</p> <p>超小型衛星に搭載可能な小型軽量のセンサ部とデータ処理部を統合し、宇宙での運用が可能なシステムを開発することで、月面の水循環の実態を把握し、効率の良い資源獲得の指針が得られることを検証する。</p>		<p>テラヘルツ波による水・氷検出の有効性を検証し、データ解析アルゴリズムを確立すると共に、月面表面の観測や感度向上などのための複数周波数対応センシング機器を開発する。</p> <p>開発した機器・技術の小型衛星への搭載、月面における水資源探査の実証を目指す。</p>	<p>テラヘルツ波による水・氷検出の有効性の検証、複数周波数対応センシング機器の開発、軌道上データ処理技術を開発するとともに、小型衛星への搭載、月面における水資源探査の実証を検討。</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>エンベロープ：50x50X80cm</p> <p>質量:最大 60kg</p> <p>消費電力：最大110W</p> <p>通信：X帯</p>		基本設計実施中。	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

⑰ ミッションや技術詳細

サイエンス要求を明確化してミッション要求を精査し、ミッション要求書を作成した。

そのミッション要求に応じて衛星システム要求をより具体化し、衛星システム開発仕様案として取り纏めている。

衛星システム開発仕様確認のため、衛星システムの基本設計を行い、センサ・バス間でより具体的な要求・仕様の擦り合わせを実施している。

BBMでの要素試験ならびに基本設計作業は設計審査（PDR）で審査を実施予定。

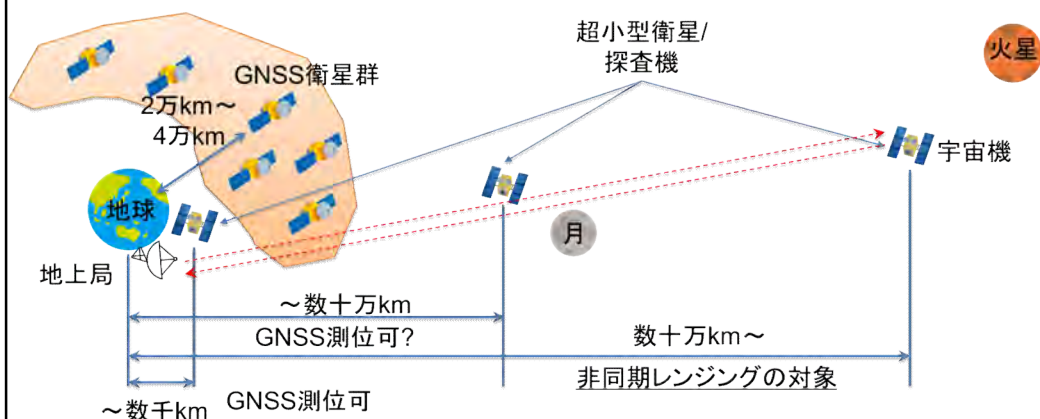
⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
6-4	セッション6	月・深宇宙探査ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
ソフトウェア無線で月以遠の自主運用を可能とする非同期レンジング技術			(株)構造計画研究所 藤井 義巳
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
藤井義巳	株式会社構造計画研究所		開発移行可能
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
主として月以遠のミッションにおいて宇宙機と地球局との間の距離を測定(レンジング)する際、従来の専用のトランスポンダを搭載する方式に代り小型、軽量のSDRとマイコンによるソフトウェア無線機を搭載。地球局と宇宙機が非同期にテレメトリを送り合うことで高精度のレンジングを可能とする。		従来方式と比べて搭載機器を小型軽量化できるため、超小型衛星の搭載機器を体積・重量の両面で削減でき、搭載可能なミッション機器に充当可能となる。	ソフトウェア無線(SDR)
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
衛星そのものではないが、小型のマイコンボード(Raspberry Pi4)とSバンドの送受信が可能なソフトウェア無線機(地上局、宇宙機両方)、Raspberry Pi4と地上局で動作する測距ソフトウェアで構成される。		基本的な開発はほぼ終わり、地上の模擬環境で測距誤差の評価と最小化のための作業を継続している。来期には実際に電波を飛ばして測距の実験が予定されている。	

⑮衛星のイメージ図

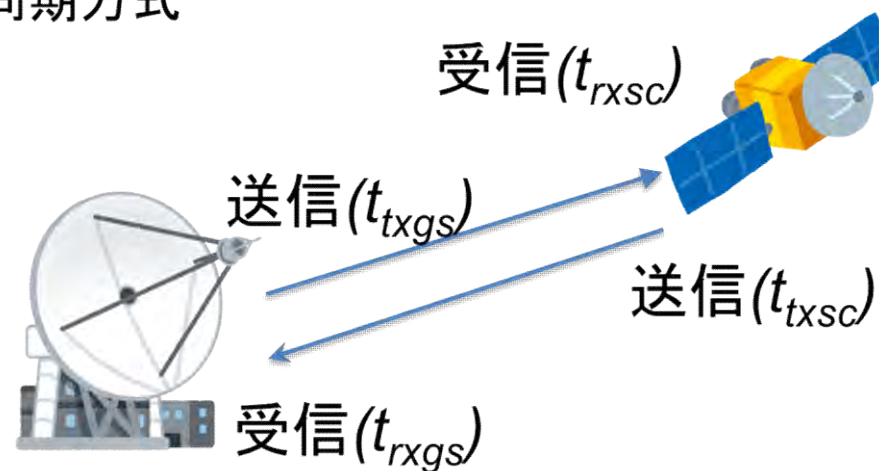
衛星を作っているのではないためイメージ図はありません。

⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



SDR+マイコンを搭載

非同期方式



$$D = c((t_{rxsc} - t_{txgs}) + (t_{rxgs} - t_{txsc}))/2$$

⑰ ミッションや技術詳細

月以遠の探査機ミッションにおいて地上局ー探査機間のレンジングを行う技術。

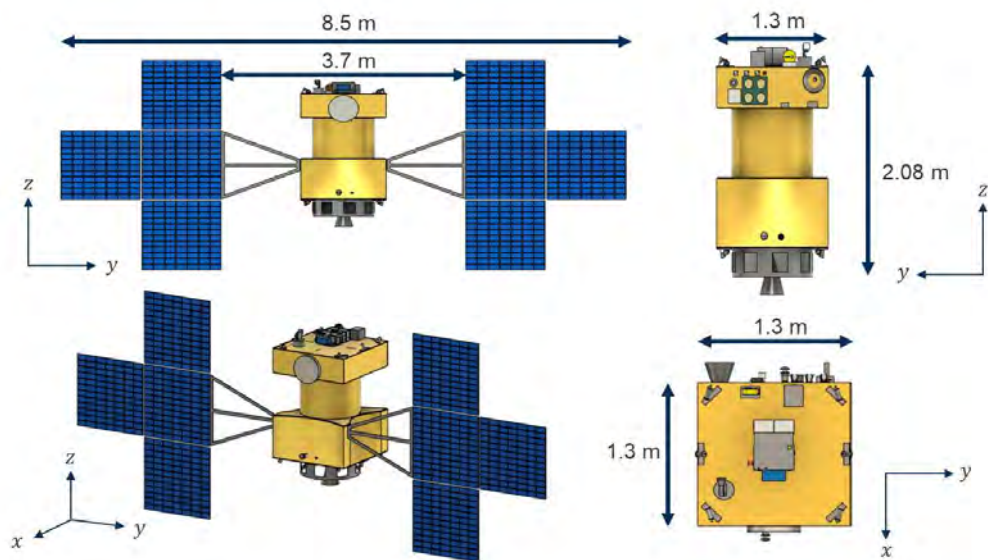
ソフトウェア無線を使い、GNSSで採用されている拡散符号を用いたレンジング方式を応用し、地上局と宇宙機がお互いに非同期に測距信号を送信し合う。地上局は宇宙機から得られた信号受信時刻などのデータと自身のデータを使い、宇宙機搭載の精度の低いクロックに起因する誤差を除去する形で高精度のレンジングを可能とする技術である。宇宙機側の搭載装置は小型、低消費電力のマイコンでも動作するため、超小型衛星の小型・軽量化に寄与しながら高精度のレンジングを提供する。

⑱ 参考文献など (optional)

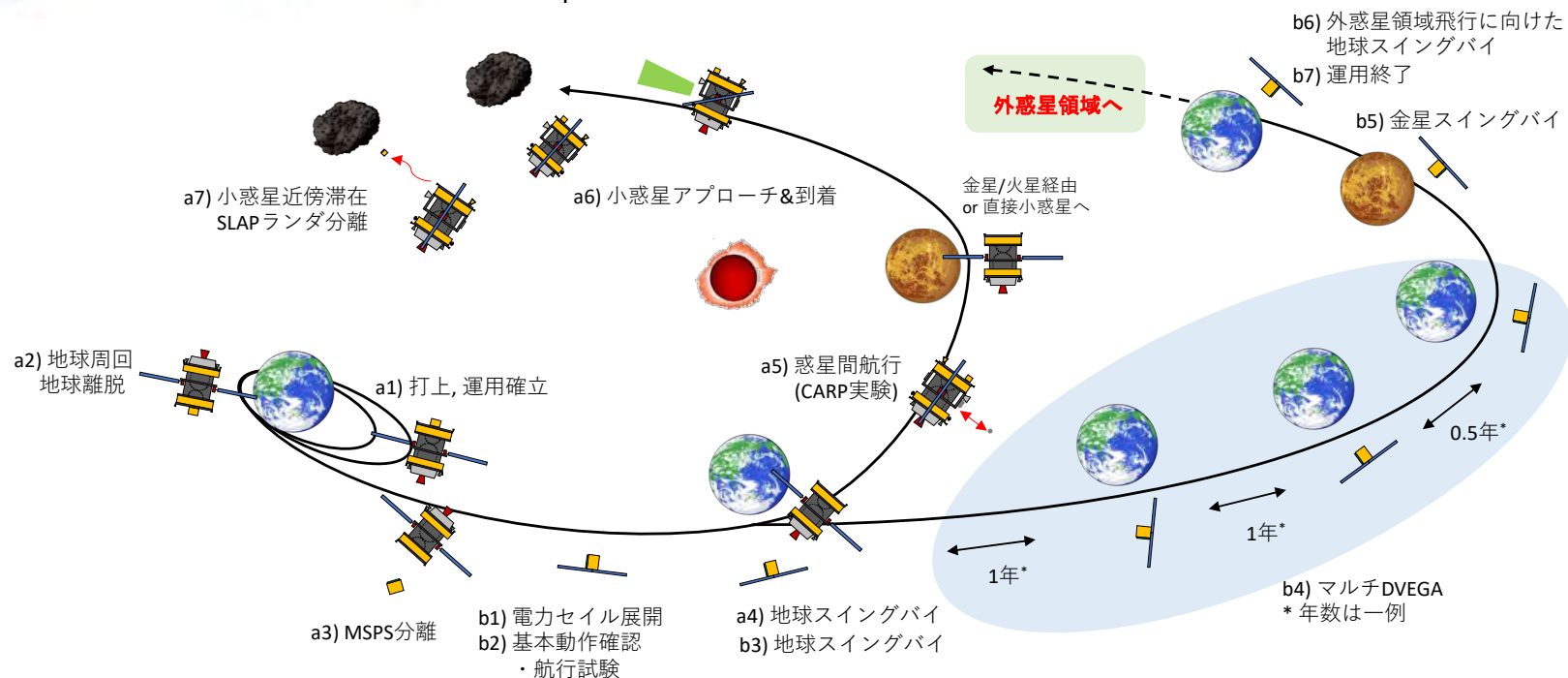
Kawaguchi, Junichiro & Nada, Yuichiro & Ishigooka, Yuka & Kuwahara, Toshinori & Yoshida, Kazuya. (2022). Asynchronous One-Way Range Measurement Applied to Microspace Probes. *Journal of Spacecraft and Rockets*. 59. 1-11. 10.2514/1.A35241.

①発表番号	②セッション	③セッション名	
6-5	セッション6	月・深宇宙探査ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
将来の多様な超小型ミッションを支える深宇宙軌道間輸送機DSOTV			JAXA宇宙科学研究所 武井 悠人
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
武井悠人	JAXA宇宙科学件空所		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
本提案では、深宇宙航行、目的天体への到達までを担う標準的な輸送システムDSOTV（Deep Space Orbit Transfer Vehicle）により輸送のパラダイムシフトを提唱している。ヘリテージ技術を活かした共用性の高いDSOTVが深宇宙航行を確実に、目的地に到着後の挑戦的な探査は「超小型機」が担うミッション形態を提案する。STARMINEミッションでは3種の超小型ペイロードとして、MSPS（超小型ソーラー電力セイル航行実証機）、CARP（深宇宙ランデブー・物資捕獲実験ペイロード）、SLAP（超小型小惑星離着陸機）の実証を計画する。		標準的な輸送システムDSOTV（Deep Space Orbit Transfer Vehicle）により、従来の輸送と探査の分界点を押し上げ、深宇宙の目的地までを共用化された輸送機が担い、挑戦的な探査を超小型機が担うミッション形態を実現すること。	深宇宙軌道間輸送機（DSOTV）
⑬衛星のスペック			⑭開発状況・計画
イプシロンS打ち形態(キックモータあり)において480 kgのWet質量 搭載推薬226kg（N2H4/MON-3）、30kg以上のペイロードを搭載可 太陽距離2.5auにおいて400W以上の発生電力、500N級OME1基、3-20N級RCS×12~16基 RCS・RWによる3軸姿勢制御、RW1軸によるバイアスモーメント姿勢制御 RCSによる6自由度並進・偶力回転姿勢制御、Xup/Xdown, 2wayコヒーレント, RNG, DDOR機能 低利得アンテナによる全方位カバー、中利得/高利得アンテナ具備 小惑星接近・近傍フェーズにおいて2 Kbps以上のD/Lレート			公募型小型2022年度の公募に対して工学実証ミッション「STARMINE（Space Transporter for Asteroid Rendezvous and Microspacecraft INterplanetary Experiment）」としてエントリー。

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



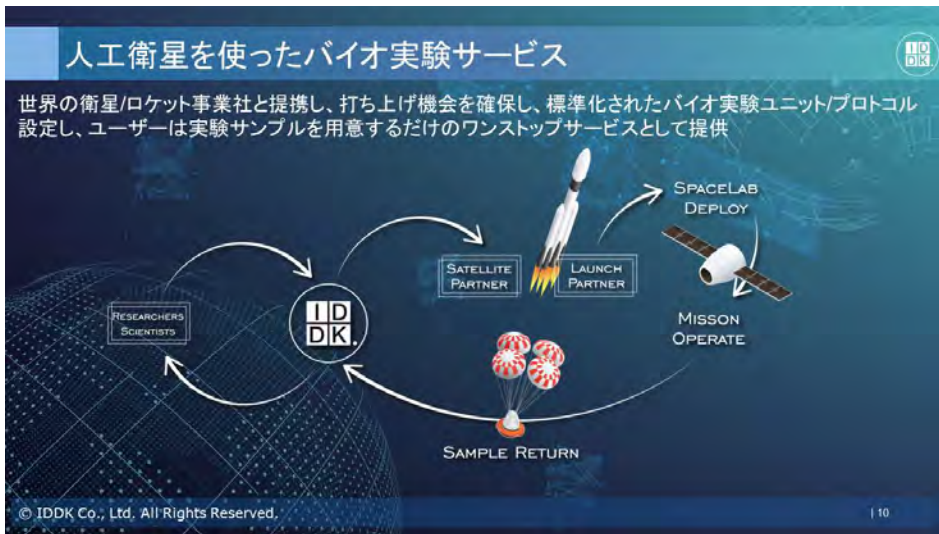
⑰ ミッションや技術詳細

本提案では、深宇宙航行、目的天体への到達までを担う標準的な輸送システムDSOTV（Deep Space Orbit Transfer Vehicle）により輸送のパラダイムシフトを提唱している。ヘリテージ技術を活かした共用性の高いDSOTVが深宇宙航行を確実に、目的地に到着後の挑戦的な探査は「超小型機」が担うミッション形態を提案する。STARMINEミッションでは3種の超小型ペイロードとして、MSPS（超小型ソーラー電力セイル航行実証機）、CARP（深宇宙ランデブー・物資捕獲実験ペイロード）、SLAP（超小型小惑星離着陸機）の実証を計画する。

⑱ 参考文献など（optional）

①発表番号	②セッション	③セッション名	
7-1	セッション7	宇宙環境利用ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
マイクロイメージングデバイスによる宇宙バイオ実験システムの開発			(株)IDDK 上野 宗一郎
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
上野 宗一郎	株式会社IDDK		開発決定済
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
1Chipで顕微観察を実現するMID（Micoro imaging Dvice）の技術を用いて、人工衛星に搭載可能なバイオ実験システム（Micro Bio Space LAB）を開発することで、現在、国際宇宙ステーションで実施されている宇宙でのバイオ実験を人工衛星で実現することを目指している。観察、培養、分析など、バイオ実験に必要な機能のコンパクトに実現したMicro Bio Spece LABを開発している。		人工衛星でバイオ実験ができるようにすることによって、宇宙でのバイオ実験をより手軽に提供し、人類の宇宙進出と科学の発展に貢献する。また、ISSで成果が出始めているバイオ実験を人工衛星で展開することで、民間の宇宙利用を加速させる。	・生物試料を宇宙に運ぶために、打ち上げ前の待機時間の短縮と冷凍状態の維持のための手順や体制の構築。 ・バイオ実験のために射場近くで生物サンプルが扱える施設環境の整備。
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>搭載衛星</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サイズ・重量：1Uサイズ～搭載可能（1Uサイズに最大4実験の搭載を予定） ・低軌道～ <p>バイオ実験モジュール要件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイコン制御（温度制御、ポンプ制御、等） ・圧力容器（1気圧） ・環境センシング 		<p>2022年：MIDユニット放射線試験を実施</p> <p>2023年：ES開発及び環境試験</p> <p>2024年：FM開発</p> <p>2025年～2026年 サービス開始</p>	

⑮ 衛星のイメージ図



⑯ ミッションのイメージ図 (※あれば)


オートメーション化されたバイオ実験モジュール

細胞培養/タンパク質結晶実験などのバイオ実験ユニットを開発し、ユーザーニーズに合わせて組み上げ提供を行ってゆく。


base

MIDboard

RaspberryPi Zero2



Micro Bio Space Lab

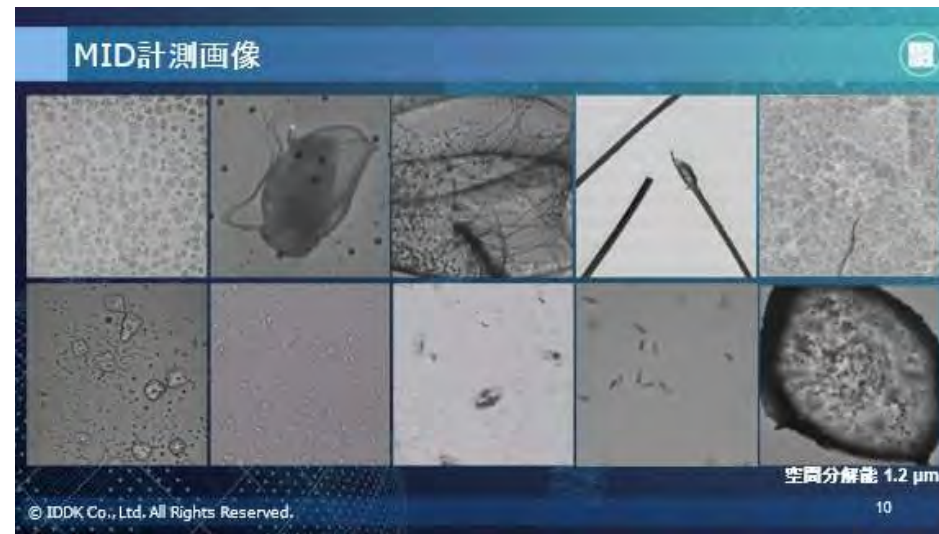


実証機ボード

拡張ボード	sensor	Pump
培養容器	流路	tank
		other

バイオ実験モジュールイメージ

© IDDK Co., Ltd. All Rights Reserved. | 19



⑰ ミッションや技術詳細

○ ミッション

【宇宙バイオ実験 ワンストップショップサービス】

1. 宇宙バイオ実験のデザイン：研究アイデアをもとにミッションの技術的要件及び実験プロトコルを詳述し、想定されるリスクと対応策を検討します。
成果物は、装置の仕様書と実験手順の定義に加え、サンプルの実験データとなります。
2. 実験装置の製造：宇宙バイオ実験を実現するために必要な実験装置を設計・開発します。成果物は衛星搭載装置の開発製造となります。
3. 宇宙実験の実施：提携先の宇宙実験プラットフォームにて実験を行います。
成果物は、微小重力空間での反応や変化を撮影した画像を遠隔で取得し、実験完了後には大気圏再突入により実験サンプルを回収します。

【観察対象の例】

結晶（タンパク質、化合物）培養細胞、生殖細胞、多細胞生物、酵母、菌、粘菌・変形菌、微生物、など

【実証機ミッション】

対象；微生物、プランクトン

機能：培養条件維持、環境センシング、顕微観察（タイムラプス）

環境センシング（温度、湿度、CO₂、等）

実験フロー：実験スタート→培養開始（温度コントロール、培地コントロール）→培養中（明視野観察、環境センシング）→実験終了→データ送信（地上伝送）

○ Micoro Bio Space LAB

【ハードウェア構成】

コントロールボード：raspberry-pi Zero 2W

顕微観察ユニット：MID-BOARD（解像度1.2 μ m、視野4.7mm×3.2mm）

オプション：ポンプ、センサー（温度、湿度、ガスセンサ等）、照明、ヒーター等

【M I D（Micoro imaging Dvice）技術】

ワンチップで顕微観察が可能になる新しい顕微観察技術。MIDでは半導体でメッシュ構造を作り、メッシュの目の細かさで対象を観察する顕微観察方式も用いている。

通常の顕微鏡が焦点の合っている所だけを見て画像化しているのに対して、MID技術では光を重ね合わせる事で対象物の特徴を捉えている。

透明で観察しづらい細胞なども観察する事ができる。

⑱ 参考文献など（optional）

University of Zurich and Airbus grow miniature human tissue on the International Space Station ISS

<https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2021-08-university-of-zurich-and-airbus-grow-miniature-human-tissue-on-the>

高品質タンパク質結晶生成実験

<https://humans-in-space.jaxa.jp/protein/>

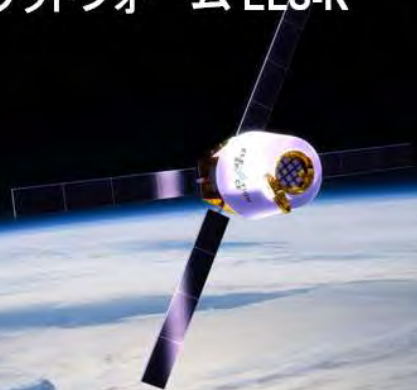
①発表番号	②セッション	③セッション名	
7-2	セッション7	宇宙環境利用ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
小型衛星で目指す新しい宇宙環境利用の可能性			東北大学 栞原 聡文
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
栞原 聡文	東北大学		開発決定済
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>小型再突入カプセルを用いたサンプル回収を伴う高頻度宇宙環境利用技術確立し、ポストISS/次期月・惑星有人宇宙開発との連携と継続的な宇宙環境利用の枠組みを構築する。質量約30kgの小型再突入カプセルを用いて、高頻度回収技術の技術実証を行う。高推力推進装置を用いて超小型衛星を軌道離脱させ、小型再突入カプセルを大気圏に再突入させて、海上において捕獲し、サンプルの回収を行う。小型生命維持装置、高推力推進装置、小型再突入カプセル、海上回収技術について研究開発を実施する。</p>		<p>小型人工衛星技術を活用し、小型再突入カプセルを用いた、サンプル回収を伴う短期・廉価・高頻度・高難度宇宙環境利用技術を構築し、ポストISS/次期月・惑星有人宇宙開発に貢献し得る宇宙環境利用の機会を創出する。</p>	<p>① 小型生命維持装置を用いた軌道上での生物培養実験技術 ② 高推力推進装置を用いた軌道変換・軌道離脱技術 ③ 小型再突入カプセルによる大気圏再突入技術 ④ 小型再突入カプセルの海上回収技術</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>● <u>小型回収カプセル</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・質量：約30kg ・形状/寸法：HSRC相似形状/直径470mm <p>● <u>超小型人工衛星</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・質量：100kg以上 ・機能：高推力推進装置、培養装置運用機能、カプセル分離装置 		<p>● <u>ELS-R100</u></p> <p>2023年2月現在：基本設計段階 2025年：打上実証予定 ※約6カ月の軌道上運用を経て大気圏再突入の後、サンプル回収</p> <p>● <u>BioCube</u></p> <p>2023年2月現在：詳細設計段階、打上機会調整中</p>	

⑮衛星のイメージ図

小型宇宙利用・回収プラットフォーム ELS-R



ELS-R100 100 kg ~
ELS-R1000 1000 kg ~



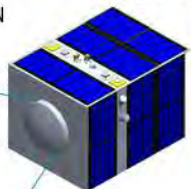
ELS-R100による技術実証



ELS-R100システム構成

- 小型回収カプセル: 約30 kg
- 推進装置(ハイブリッドスラスタ): 約170 N
- 衛星総質量: 約200 kg

◆ 衛星バスシステム



◆ 再突入制御



- ◆ 軌道上バイオ実験
- ◆ サンプル回収 (<1kg)
※HSRC相似形状



小型回収カプセル

超小型衛星ELS-R100

◆ 軌道離脱



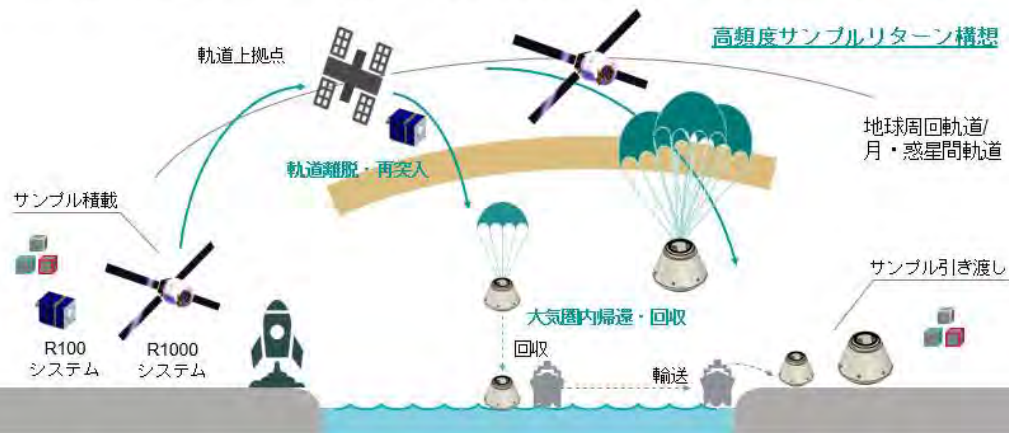
推進装置

⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

小型回収プラットフォーム



ELS-Rシステムを用いた、軌道上拠点経由及びフリーフライヤーによる高頻度サンプルリターンの実現



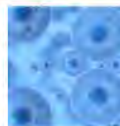
アプリケーション分野



現状の宇宙開発利用の発展状況を鑑みると、幅広い領域においてニーズが見込まれる

基礎研究	応用研究	実証・テスト	量産
		材料	
		創薬・バイオ	
		食糧	
		宇宙旅行用製品	
		宇宙機・宇宙用機器	
		その他(エンタメ・教育)	

➤ 実験・試験系



➤ 製造系



➤ エンタメ・教育系



⑰ ミッションや技術詳細

これまで東北大学において研究開発に取り組んできた超小型人工衛星技術を活用し、超小型人工衛星を用いた宇宙環境利用技術の確立を目指す。東北大学発宇宙スタートアップである株式会社ElevationSpaceが主導する。将来の大型化を見据えつつ、技術実証プロジェクトELS-R100では30kg級小型再突入カプセルを用いた宇宙環境生命培養実験とサンプル回収技術の実証を目指す。軌道変換・軌道離脱に必要となる高推力推進装置についても株式会社ElevationSpaceが主体となり、関係協力機関と共同開発を行う。ELS-R100における生物培養実験は株式会社IDDK社、及び株式会社ユーグレナ社と共同で取り組む。また、将来の実験装置として、東北大学プロジェクトにおいて小型生命維持装置TU BioCubeの研究開発に取り組む。本プロジェクトにおいて研究開発する要素技術は将来の宇宙開発に大きな貢献が期待されるものである。超小型人工衛星搭載用高推力推進装置は、軌道上のモビリティ確保とより発展的なミッションの遂行に寄与する。また、回収カプセル技術は、地球低軌道からだけでなく、月・惑星間軌道からの再突入にも応用できると考えられる。更に、高精度軌道変換技術は、将来の軌道上サービスに必要不可欠な技術である。

ペイロード事例

ELEVATION SPACE

ユーグレナ社との共創活動

宇宙環境による微細藻類ユーグレナの培養についての影響を調べるために、技術実証機ELS-R100内に微細藻類ユーグレナを搭載する。実験では衛星内での成長観察、データ収集を行う。さらに軌道上から再突入したカプセルを回収して、カプセル内に搭載した微細藻類ユーグレナを生きた状態で回収し、DNAの変化を調べる。



© Euglena Co., Ltd.



© IDDK Co., Ltd.

IDDK社との共創活動

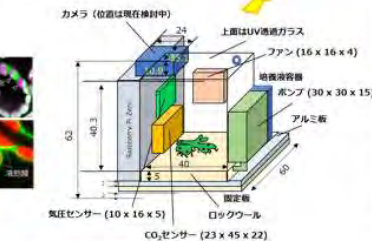
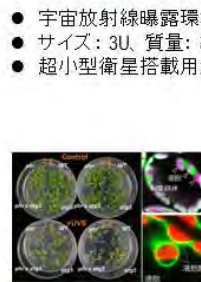
医療スタートアップのIDDKが開発した小型顕微鏡 Micro Bio Space LAB (MID) を用いて培養と観察の最小化を実現し、人工衛星内で微生物、細胞培養観察を実施し、培養状況のセンシング及び顕微鏡観察画像を取得する。MIDを用いることで、超小型宇宙システムを用いた宇宙バイオ実験を可能にし、人工衛星の実験搭載能力を最大化する。

宇宙での生命維持機構の解明：Biosatellite Cube

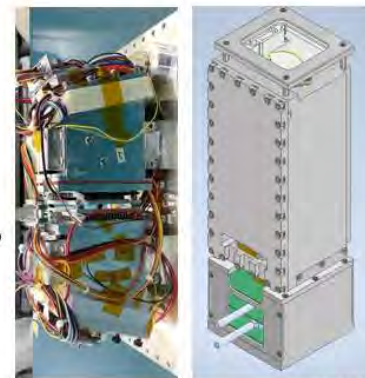
東北大学内プロジェクト - “新領域創成のための挑戦研究デュオ”

Tohoku Univ. Biosatellite Cube (TU BioCube)

- 宇宙放射線曝露環境実験ユニット
- サイズ：3U、質量：約4 kg
- 超小型衛星搭載用超小型生命維持装置



生物培養器容器



Biosatellite Cube

© 東北大学

⑱ 参考文献など (optional)

- [1] 高岡 光希, 栗原 聡文, 藤田 伸哉(東北大), 佐藤 悠司(ElevationSpace), 齋藤 勇士, 斉藤 拓実, Alice Violaine Saletta(東北大), "小型回収カプセル技術実証衛星ELS-R100の再突入軌道の設計解析," 第66回宇宙科学技術連合講演会, 2022
- [2] 川俣 陽, 栗原 聡文(東北大), 佐藤 悠司(ElevationSpace), 藤田 伸哉, Saletta Violaine Alice, 斉藤 拓実, 高岡 光希(東北大), "スピン安定性を用いた小型回収カプセルの弾道飛行制御の評価," 第66回宇宙科学技術連合講演会, 2022
- [3] ElevationSpace. "IDDKとElevationSpaceは宇宙での小型バイオ実験環境”Micro Bio Space LAB”の開発に向けた協業を開始". PRTIMES. 2021-11-30. <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000007.000053748.html> (accessed 2023.02.17)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
7-3	セッション7	宇宙環境利用ミッション	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
有人宇宙ステーションの布石的無人模擬ステーション実験衛星ミッションの提案			CHILD(株) 杉本 博貴
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
杉本 博貴	CHILD株式会社		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
「宇宙にもう一つの地球と社会をつくる」ことをミッションに、宇宙ステーションを建造し、宇宙ホテルサービスを提供します。フルスケールのテストをする前に、日本が培ってきた超小型衛星の技術を活用し、模擬ステーションを製作し打ち上げ、小型スケールで部分的なサブシステム単位・包括的システムのテストを行います。		有人宇宙ステーションの部分的なテストを行います。特にECLSSが肝になります。	水循環、与圧、衛星バス、断熱・温度制御など
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
50 - 100 cm立方、100 kg程度		コンセプト段階	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

⑰ ミッションや技術詳細

複数の植物や菌類、可能であれば動物の成長実験。推進系・姿勢制御系・環境生命維持系・光通信などの要素技術の実証。

⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
7-4	セッション7	宇宙環境利用ミッション	
④発表タイトル		⑤発表者所属・氏名	
超小型衛星搭載マイクロラボの開発		JAXA/理化学研究所 上野 宗孝/高橋恒一,砂川玄志郎	
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
上野宗孝	宇宙航空研究開発機構・宇宙探査イノベーションハブ		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>生命科学分野では研究の発展速度が速く、非常に短いターンアラウンドで成果を積み重ねることが重要な要素であり、また細胞レベルの実験であれば、実験期間を必ずしも長期間必要としない研究対象も多く存在する。利用可能な超小型マニピュレーション技術、超小型顕微観察技術等を用いると、1U～2U 程度の生命科学実験のカートリッジ型のパッケージの開発が可能になりつつある。小規模な閉鎖環境であり、実験の規模や期間は大きく制限されるものの、標準化を行うことで、これまで宇宙環境での生命科学実験に参加することが困難であった多くの研究者の目指す研究環境を実現できる可能性がある。</p>		<p>超小型衛星の新たな可能性・適用性を開拓 生命科学におけるブレークスルーの実現</p>	<p>超小型実験モジュールの実現</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
2U 及び 3U のサイズでの実現を想定		要求取りまとめと概念設計に向かうフェイズ	

⑮衛星のイメージ図

⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

⑰ ミッションや技術詳細

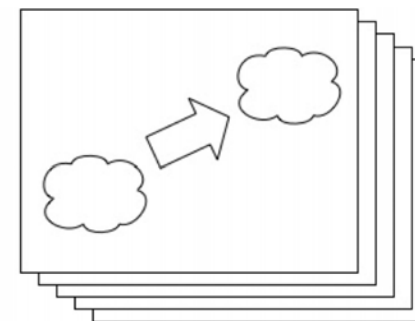
⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
8-1	セッション8	超小型衛星利用に関連する新しい構想	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
宇宙科学・地球観測双方に使える超小型データ処理衛星の構想について			北九州市立大学 山崎 進
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
山崎 進	北九州市立大学		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
超小型衛星に、衛星データに対して短時間でSAR再生処理を含む信号処理・画像処理・機械学習を行う能力を持つコンピュータ・システムを搭載することを目的とする。このコンピュータ・システムはFPGAで構成されており、消費電力あたりの処理性能やリアルタイム性、変更性に優れることが期待される。		SAR再生処理を含む信号処理・画像処理・機械学習を行える程度の処理能力を持つコンピュータ・システムを含む、デュアル・ユーティライゼーションを踏まえた製品系列を設計する。	領域特化アーキテクチャ(DSA)の製品系列開発、離散フーリエ変換/逆離散フーリエ変換を含む信号処理・画像処理・機械学習向けのDSA、耐ソフトウェア性の確立
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<ul style="list-style-type: none"> ・ SAR再生処理や画像処理・機械学習を効率よく行える ・ 太陽電池で衛星全体を十分駆動できる程度の消費電力 ・ 耐ソフトウェア性を備え、冗長構成にする ・ CubeSat規格に準拠、3U以内の大きさの実現を目指す 		要素技術を研究開発中、関連科研費を実施中、研究開発予算を申請 東北大学・インターステラテクノロジズ株式会社と耐ソフトウェア性整数表現・浮動小数点数表現の要素技術に関して連携 株式会社ダイモンとIT企業向けの領域特化アーキテクチャの共同研究開発を計画中	

⑮衛星のイメージ図

⑯ミッションのイメージ図（※あれば）

宇宙機器産業、宇宙利用産業、
その他の民間企業等の事業構想
(デュアル・ユーティライゼーション)



多様なニーズの部品化と組合せによる効率的な開発

ミリワット級消費電力	高速・大量データ処理
放射線に対する耐性	画像処理
小型化	信号処理
高信頼性	機械学習
リアルタイム処理	3次元処理



解決方針

領域特化アーキテクチャ
RISC-V
FPGA

⑰ ミッションや技術詳細

領域特化アーキテクチャ(DSA): コンピュータ・アーキテクチャを特定の用途や専門領域に特化させることで、特定機能の性能を汎用プロセッサよりも飛躍的に向上させることができる

たとえばGoogleのTPUはディープラーニングに特化

ただし、宇宙機器産業向けだけにDSAを特注していたのではペイしない

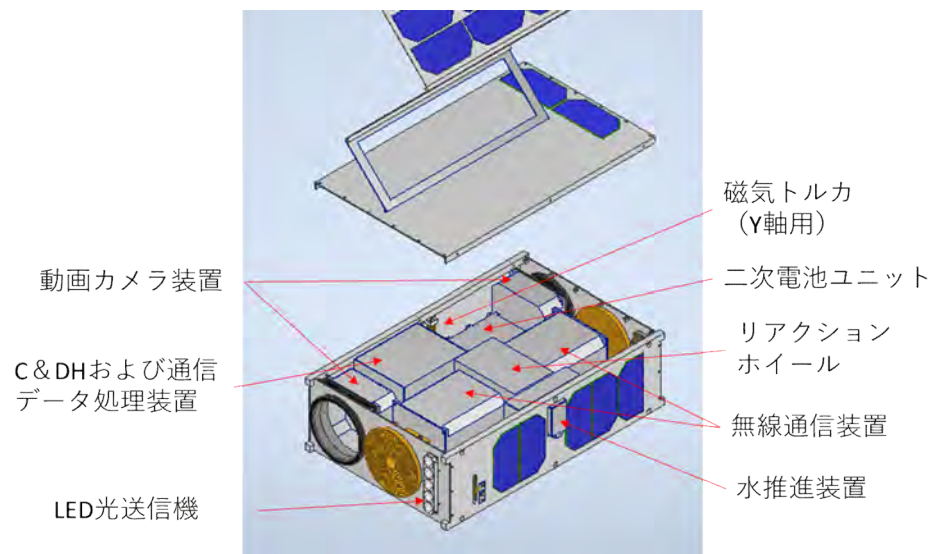
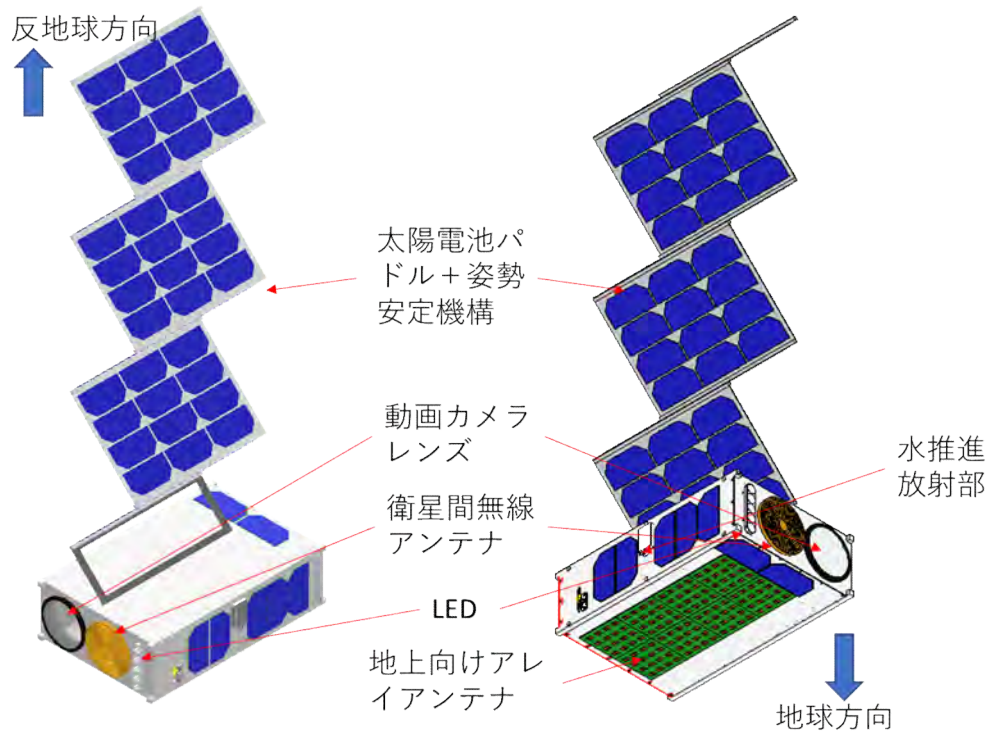
→デュアル・ユーティライゼーション: 宇宙機器産業の他に宇宙利用産業その他民間企業等向けにも対応できるようにする

→個別のニーズに対応するのではなく、多様な事業構想とニーズを踏まえ、十分な可変性を持つDSAの製品系列全体を設計し、部品化と組み合わせによる効率的な開発を行えるようにする

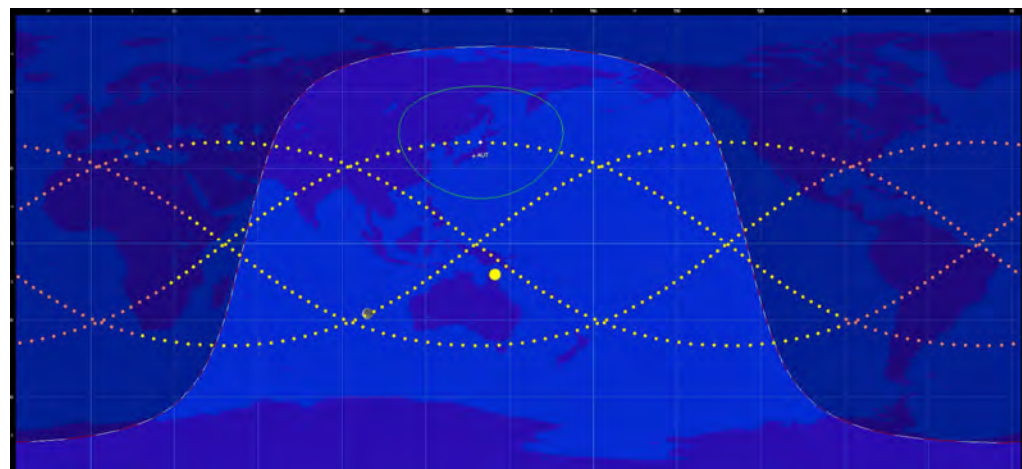
⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
8-2	セッション8	超小型衛星利用に関連する新しい構想	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
キューブサットで構築する衛星通信ネットワークの試み			愛知工科大学 西尾 正則
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
西尾正則 ¹⁾ ・中谷淳 ¹⁾ ・鎌田尚允 ²⁾ ・林衆治 ³⁾ ・戸谷一幸 ⁴⁾	1)愛知工科大学・2)株式会社シムスバイオ・3)財団法人グローバルヘルスケア財団・4)株式会社ダイレクトアールエフ		開発移行可能
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
低軌道衛星通信システムを6Uキューブサット級の衛星により構築するための要素技術を宇宙実証するものである。衛星-地上間については、WiFiルータの機能を衛星に搭載し、衛星を介した複数の地上局間でのデータ通信を評価する。衛星間の通信のために、拡散光ビームと動画カメラを用いた衛星間光通信を軌道上で評価する。衛星-地上間通信は送信電力1W、通信速度40Mbps程度、衛星間通信は当面100 kbps程度、衛星間距離400 kmとする。本ミッションをもとに、スペースデブリの発生リスクを抑えた、低軌道衛星通信網を実現する。		6Uキューブサット級の超小型・軽量人工衛星による低軌道衛星通信網の構築に向けた ・衛星間光通信軌道上実証 ・地上-衛星-地上間での高速データ中継の軌道上実証を行う。	1) 衛星搭載用拡散ビーム型高出力レーザー 2) 二次元センサーによる送信側衛星の補足アルゴリズム 3) リアクションホイールと二次元光学センサーによる姿勢安定 4) 衛星搭載用Ku帯WiFiルータ 5) 超小型衛星での排熱技術
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<ul style="list-style-type: none"> ・ (6U, 8 kg) × 2機 ・ 微小重力安定+リアクションホイール ±1.5 deg. ・ Ku帯サービスリンク回線+Ku帯フィーダリンク ・ 衛星間光通信（拡散ビーム型レーザー光） ・ 高度500 km円軌道、軌道傾斜角 40 度程度 		<ul style="list-style-type: none"> ・ 室内および室外実験により、衛星間400 kmで40 Mbps程度の光通信の実現可能性を確認済み。 ・ 室内実験により、カメラによる光源の位置追跡とデータ再生に関する手法を確認済み ・ 衛星-地上間の通信システムの基本設計を実施している。 	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

StarlinkやOneWebなど、多数の小型通信衛星によるブロードバンド通信サービスを行う低軌道衛星コンステレーションの実用化が急速に進んでいる。これらのネットワークを構成する衛星は数mの大きさ、数100 kgを持ち、打ち上げや維持は数兆円ともいわれている。

本ミッションは、低軌道ブロードバンド衛星通信網を6Uサイズあるいはそれ以下の超々小型衛星により低価格かつ迅速に実現するための要素技術の軌道実証を行うものであり、6Uサイズの衛星2機を高度500km、軌道傾斜角40度の円軌道に投入し、地上との通信および衛星間通信を行う。実現を目指す衛星ブロードバンドネットワークは、軌道傾斜角約40度、軌道高度500 kmの4軌道面に、1機当たり100端末程度の地上局ブロードバンドサービスを行う6Uキューブサットを各軌道面あたり100機配置し、衛星間通信を光通信で行うことにより、緯度40度以下の地域において低遅延での常時通信サービスを行うものである。500 km以下の軌道とすることで、1年程度で大気圏突入することとなるので、スペースデブリの発生を抑制することができる。4軌道面に繰り返し衛星を軌道投入することになるが、1回の打ち上げで1軌道面に100機の衛星を投入できるように衛星サイズ、重量を設計することで、低価格で衛星網を維持することが可能である。

本ミッションでは、衛星-地上間の通信にはKu帯を使用し、ブロードバンドサービスにはWi-Fiルーターを機能拡張した技術を利用する。キューブサットの場合、精密な姿勢制御のための機器の搭載が困難であることから、衛星間光通信には、拡散ビーム型レーザー光（またはLED光）によるデータ送信装置と動画カメラによるデータ受信装置を用いる。LEDを用いた室内および室外実験により、9000ルーメンの光束、ビーム角1.5度で構成する光送信器および口径100mのレンズで構成するカメラで構成する光受信機により、衛星間距離400 kmで40 Mbpsの通信速度を達成できることを確認している。また、衛星の姿勢変化に追従してデータ再生を行うことができる光受信機のデータ再生アルゴリズムの動作実証も行っている。軌道実証では、市場で入手できるカメラの性能により、衛星間光通信の速度は100 kbpsとする。軌道実証後にカメラセンサーとの共同研究を進め、Gbpsクラスの通信速度を目指す。

⑱ 参考文献など (optional)

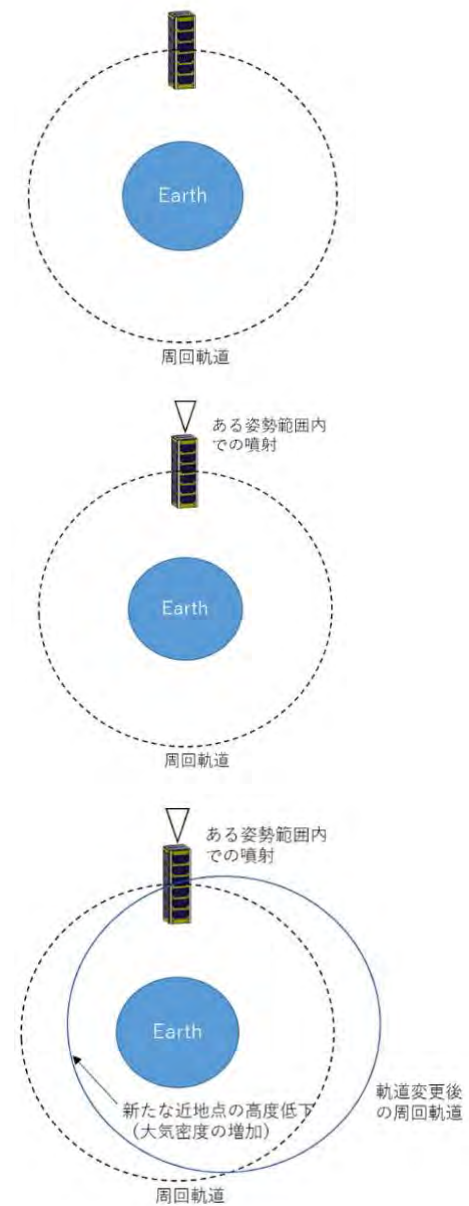
- 1) 廣野敦士, 西尾正則, 田中俊行, 山下達也, 林衆治: LEDと動画カメラによる衛星間光通信の検討, 第66回宇宙科学技術連合講演会, P045 (2022.11.2).
- 2) 西尾正則, 加藤雅也, 林衆治: 1U キューブサットによる衛星間光通信システムの開発, 第64回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2L16, オンライン (2020.10).
- 3) Masanori NISHIO, Masatoshi ONISHI, Yasuhiko NAWA: Development of Cubesat for LED Light Communication, Proc. Joint Symposium of 32nd ISTS & 9th NSAT, 2019-f-17, Fukui (2019.6).

①発表番号	②セッション	③セッション名	
8-3	セッション8	超小型衛星利用に関連する新しい構想	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
超小型衛星との相性の良い多用途の推進系による厳密な姿勢制御を必要としない軌道離脱の提案			東京都立大学 安平 浩義
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
安平 浩義	東京都立大学		開発移行可能
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
<p>大気密度の小さな高度800km付近でのミッション後廃棄（Post-Mission Disposal、PMD）を想定し、衛星姿勢が無制御下であっても自身が有する簡単なセンサによって一定の姿勢範囲内にあることを検知し、推進系作動の位置・タイミングを決定することによって軌道離心率を変更して徐々に近地点高度を下げるためのアルゴリズムを考案した。また、低毒性推進剤を主推進剤とする小型推進系にPMDアルゴリズムを組み込むことで、適切に制御されたタイミングでの間欠的推進により姿勢制御を行わずともPMDが可能であることが示され、これにより将来の超小型衛星の軌道離脱成功率を向上させる。</p>		<p>超小型衛星との相性の良い推進系（Microsatellite-Friendly Multi-Purpose PROPulsion System 以下「MFMP-PROP」という。）を用いて、を用いて、厳密な姿勢推定及び姿勢制御を必要としないPMDシステムを提供する</p>	<p>①低毒性推進剤 ②デュアルモードスラスタによって幅広いミッションに対応できる ③高精度な姿勢決定と姿勢制御が必要としないPMDアルゴリズムの搭載</p>
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
<p>①サイズ：1～3U ②重量：1～3.9kg</p>		<p>PMDアルゴリズムは概念設計段階であることからTRL3と判断する。一方、推進系は一液式モードでの宇宙実証を2回実施していることからTRL8、二液式モードはブレッドボードモデルでの実験室環境での検証を行っていることからTRL4を達成しているが、一液式モードと二液式モードの両方で作動するMFMP-PROPについては両モードの最小値を採ってTRL4と判断する。</p>	

⑮衛星のイメージ図



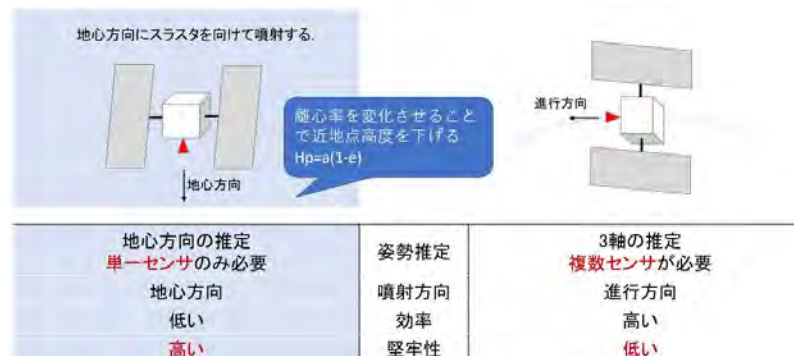
⑯ミッションのイメージ図（※あれば）



⑰ ミッションや技術詳細

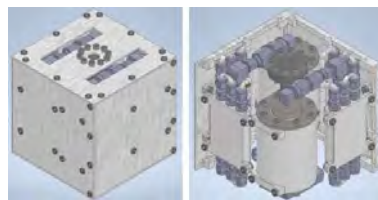
① PMD アルゴリズム

衛星姿勢が無制御下でもPMDが実施できることは、寿命末期でのPMD実施のためのシステム要求を大幅に低減することができるので、今後益々増加するであろう超小型衛星が自身でPMDを実施することの敷居を下げ、軌道環境保全に貢献する。



② MFMP-PROP

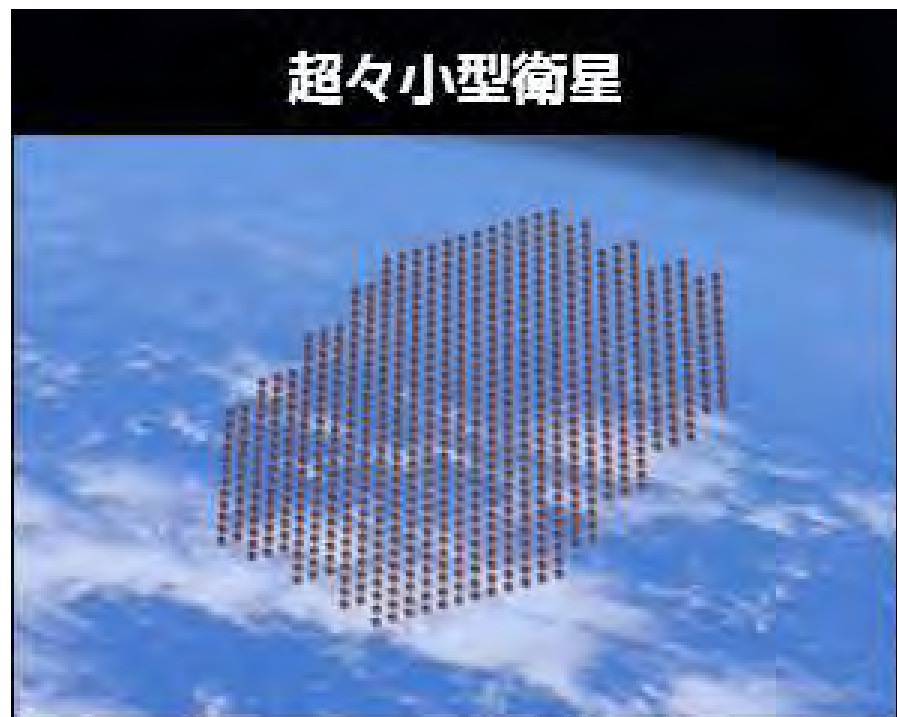
低毒性であり、使用や貯蔵、輸送において国内・国外の法令やライセンスの制約が負担とならない中濃度過酸化水素水を基本推進剤としたMFMP-PROPは、一液式モードでの小インパルスビットと二液式モードでの大推力を1基で得られるデュアルモードであって、その作動モードを自由に選択できることから幅広い宇宙利用で使用できるものである。地上試験において比推力は一液式モードで80～90秒、二液式モードで200～250秒を達成している。また、モジュールとして提供することのできるMFMP-PROPによって、超小型衛星に軌道変更能力を付与することの敷居を大きく下げることができる。



⑱ 参考文献など (optional)

①発表番号	②セッション	③セッション名	
8-4	セッション8	超小型衛星利用に関連する新しい構想	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
超々小型衛星フォーメーションフライトによる通信ビジネス			Our Stars(株) 野田 篤司
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
野田篤司	Our Stars 株式会社		概念検討中
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
数センチ程度の超々小型衛星を多数フォーメーションフライトし、全体で巨大なフェーズドアンテナを構成することで、スマホのような携帯機器と衛星群が直接ブロードバンド通信するという構想		スマホのような携帯機器と衛星群が直接ブロードバンド通信するという	①超々小型衛星のフォーメーションフライト制御技術 ②超々小型衛星をアンテナエレメントとして使ったフェーズドアレイアンテナ技術
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
超々小型衛星1つあたりの質量が100グラム～500グラム程度 最初の軌道上実証の場合、超々小型衛星が少なくとも4機～10機程度必要なので、1U～6U程度になる予定 通信事業を行う場合には、一つのフォーメーションフライト群に1000機以上必要で、それが、コンフィグレーションとして、数千～数万の群が必要となる		現在は、フォーメーションフライト技術とフェーズドアレイアンテナの地上での実証実験用のBBMのフェーズ 2～3年後に少数の超々小型衛星を用いてフォーメーションフライト技術とフェーズドアレイアンテナの軌道上実証を行う予定	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)



⑰ ミッションや技術詳細

数センチ程度の超々小型衛星を多数フォーメーションフライトし、全体で巨大なフェーズドアンテナを構成することで、スマホのような携帯機器と衛星群が直接ブロードバンド通信するという構想

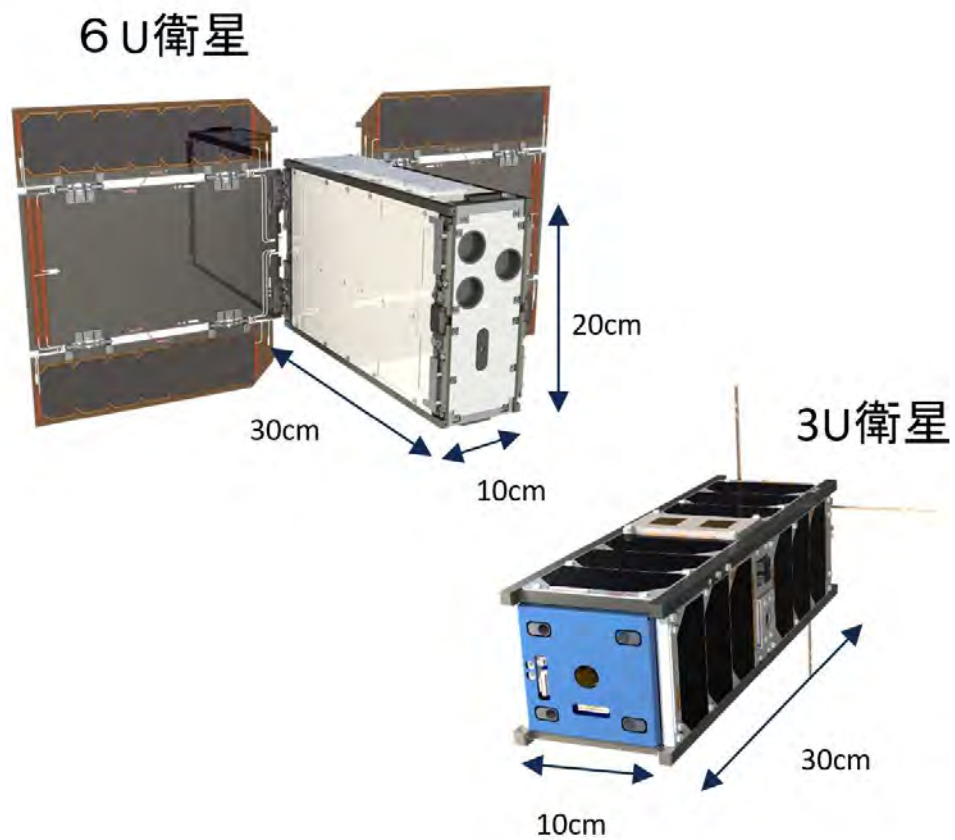
このようなコンフィグレーションが実現すると、衛星は小さければ小さいほど有利になり、ゲームチェンジが起きる

⑱ 参考文献など (optional)

第66回宇宙科学技術連絡会 1E04 超々小型衛星のフォーメーションフライトの通信ミッションへの応用 野田篤司 今村謙之 片野将太郎

①発表番号	②セッション	③セッション名	
8-5	セッション8	超小型衛星利用に関連する新しい構想	
④発表タイトル			⑤発表者所属・氏名
人類のEdgeに挑戦するアークエッジ・スペースの将来戦略			(株)アークエッジ・スペース 福代 孝良
⑥著者	⑦所属	⑧代表者メールアドレス	⑨現在の状況：
	株式会社アークエッジ・スペース		
⑩概要（200字程度）		⑪本ミッションの狙い	⑫実現のキーとなる要素技術
アークエッジ・スペースは、超小型衛星のコンステレーションを中心とした宇宙利用の新たな形を作り、誰もが衛星によるビジネスが可能な時代のインフラを提供することを目指している。本発表では、アークエッジ・スペースが現在取り組んでいる開発の状況及び将来のサービス展開戦略・事業戦略の展望について紹介する。		現在検討している量産衛星の設計開発体制を確立することで、定期的に衛星を開発・打上することができ、事業者・衛星利用者にとって柔軟なミッション選択と納期短期化等によるリスク軽減が可能となる。	様々なミッションに対応可能となる衛星バス設計開発技術 柔軟かつ迅速な量産を可能とする生産技術 上記を包括的に支えるソフトウェア技術
⑬衛星のスペック		⑭開発状況・計画	
衛星サイズ：3U~6Uを主とした、CubeSatクラス		経済産業省超小型衛星コンステレーション技術開発実証事業において、様々なミッションに対応可能となる衛星バスシステムの開発を実施しており、そのシステムを利用した最初のシリーズ衛星を2023年度に軌道上実証することを目指す。また、並行してCubesatの設計開発手法をベースとしながら、さらに大きなサイズの衛星の概念検討も進めている。	

⑮衛星のイメージ図



⑯ミッションのイメージ図 (※あれば)

⑰ ミッションや技術詳細

⑱ 参考文献など (optional)