

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82645

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05746

研究課題名（和文）革新的超小型衛星による機動的で高頻度な深宇宙探査領域の開拓

研究課題名（英文）Frequent and Flexible Deep Space Exploration by Innovative Nano/Micro-satellites

研究代表者

船瀬 龍（Funase, Ryu）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：70509819

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,700,000円

研究成果の概要（和文）：機動的で高頻度な深宇宙探査の実現を目指す本研究領域において、キックモーターを有する革新的な超小型探査機システムの構築とその後の宇宙実証を見据えて、3つの計画研究（推進班、バス班、軌道班）が協調して超小型探査機システム全体の設計を最適化する必要がある。総括班として、各種オンラインコミュニケーションツールを活用した研究会合等を通じて各班の検討の整合性をとりながら領域全体の研究を推進した。また、超小型探査機に関する技術シーズとミッションのニーズに関する発表を集めた企画セッションを学会で開催する等、超小型衛星による深宇宙探査を目指す関連コミュニティへ成果発信するとともにコミュニティの拡大にも貢献した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究領域の成果は高頻度な太陽系探査の実現に貢献するものであり、これまでは「粗な点情報からの推測」に留まっていた太陽系科学を質的に異なる次元に引き上げられるとともに、関連した多くの学術分野（生命科学等）と太陽系科学が真に有機的に連携した新しい学術研究の展開が期待できる。また、ベンチャー企業等の民間企業が主たるプレイヤーとなって発展してきた地球低軌道周辺の超小型衛星の世界が深宇宙へと広がることにより、人類の活動領域を真に深宇宙へ拡大することにも貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to achieve an ultra-small spacecraft system with a kick motor and to realize a demonstration mission in space, it is necessary to optimize the overall design of the ultra-small spacecraft system while satisfying various boundary conditions among the three planned research groups (propulsion, bus, and astrodynamics group). This administrative group promoted the research of the entire research area while maintaining consistency among the studies of each research group through research meetings using various online communication tools. In addition, the administrative group has contributed to the expansion of the community by organizing sessions at academic conferences to present the technological seeds of ultra-small spacecraft and mission needs, as well as publicizing the results of this research area to the related communities aiming for deep space exploration by ultra-small spacecraft.

研究分野：宇宙機システム工学

キーワード：超小型衛星 深宇宙探査 太陽系探査 超小型探査機

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

各国の宇宙機関で実行される太陽系探査(深宇宙探査)は規模の拡大を続けており、欧米では1プロジェクトあたり数千億円が典型的な領域となっている。小惑星探査機「はやぶさ」など、比較的小規模な日本の探査ミッションでもその資金規模は数百億円のレベルであり、探査の頻度を高めることは現状、容易ではない。一方で近年、地球周回軌道の人工衛星の開発においては、宇宙機関がリードする大型で高コストなプロジェクトだけではなく、小型・超小型の低コストな衛星(超小型衛星)の開発が、大学やベンチャー企業で活発に進められ、科学から民生利用まで爆発的な展開を見せており、その深宇宙探査への活用の可能性が検討されつつある。

2. 研究の目的

(1) 本研究領域の目的は、超小型衛星による機動的で高頻度な深宇宙探査を実現することである。超小型衛星の推進系・バス系技術(衛星の基本機能)と深宇宙探査ミッションの軌道設計技術を革新し、地球近傍で培われた超小型衛星技術を深宇宙探査へ発展させ、深宇宙領域へのアクセスを容易にすることを目指す。

(2) 本研究領域の総括班は、3つの計画研究(通称、推進班、バス班、軌道班)の代表者から構成され、互いの研究進捗状況等に関する連絡調整を密に行うことにより、各班の研究成果の整合性を取り、要すればタイムリーに各班の進む方向性にフィードバックすることで、領域全体としてのアウトプットを最適化する。

3. 研究の方法

(1) 本研究領域における3つの計画研究(推進班、バス班、軌道班)は、単独でも学術的な意義・価値や新規性が高く大きな成果が期待されるが、同時に本研究領域の特色は、これらの研究成果を統合し、静止トランスファー軌道(GTO)等への相乗り打ち上げ機会を利用した超小型衛星による実証ミッションの実現を見据えて活動を実施する点にあり、システム全体として物理的、機械的、時間的な境界条件を満たしながら各計画研究が協調的に全体としての超小型探査機システムの設計を最適化する。

(2) 総括班として研究領域を円滑に推進するために、密な連絡調整が必要不可欠である。これを効率的に実施するため、頻度の異なる以下の3つのコミュニケーション手段を活用する。

コミュニケーション方法1: 研究領域への参画研究者全員が、Slack等のリアルタイムコミュニケーション手段を用いて、日常的に発生する小さな疑問・相談事項を速やかに解消する。

コミュニケーション方法2: 各計画研究の代表と分担者による定例会議。東京・神奈川を拠点としているバス班と軌道班のほとんどの研究者はface-to-faceでの会議を基本としつつ、北海道大学を拠点とする推進班とはZoom等の遠隔会議システムで対応する。

コミュニケーション方法3: 超小型探査機全体のシステム成立性に最も感度が高いのが、推進班の実施するハイブリッドキックモーターの開発である。したがって、他班が直接、北海道大学の開発拠点を訪問し、開発中のハードウェアを見て議論する機会を設ける。

(3) また、国内外への情報発信を以下のように総括班を中心に実施する。

研究領域全体の研究内容・成果を紹介するホームページを作成するなど、インターネットを利用した広報活動により、幅広いコミュニティに向けた情報発信を行う。

幅広い分野の研究発表が集まる比較的大きな学会において企画セッション等を計画し、領域全体の研究内容・成果について研究コミュニティへ情報発信する。

4. 研究成果

(1) 総括班として、2020年度から2022年度にわたって、コロナ禍においても各種オンラインコミュニケーションツールを活用して頻度高く研究会合を開催し、各班の検討の整合性をとりながらタイムリーに各班の進む方向性にフィードバックをかけて、領域全体の研究を進めることができた。また、以下に示すような各種研究集会の開催および研究会での招待講演等を通じて、本研究領域の目指す世界の認知向上とコミュニティの拡大に向けて大きな成果をあげることができた。

(2) 2021年2月には、「超小型探査機を用いた月以遠深宇宙探査に関する研究会」をオンライン開催し、超小型衛星による深宇宙探査を目指す関連コミュニティへの成果発信を実施した。研究会を行うにあたって、ウェブサイトにより研究会参加の募集と講演希望者を募った。研究会への参加は計165名に上り、JAXA等の宇宙機関や大学・高専研究者はもとより、大学院生・学部生や一般企業からの参加を得ることが出来た。発表は、超小型探査機による深宇宙探査に必要な技術シーズや技術実証計画に関する発表、超小型探査機で実施したい科学ミッションのニーズに

関する発表とともに、JAXA からは今後提供が検討されている超小型衛星の月周辺への打ち上げ機会に関する発表があり、今後の超小型衛星の深宇宙進出に向けた総合討論においても活発な意見交換が行われ、本研究領域の目指す世界の認知向上とコミュニティの拡大に向けて大きな成果をあげることができた。

(3) 2021年11月には、国内最大の宇宙工学に関する学会である宇宙科学技術連合講演会にて、オーガナイズドセッション「超小型探査機を用いた月以遠深宇宙探査」を開催し、超小型衛星による深宇宙探査を目指す関連コミュニティへ本研究領域の成果発信を実施するとともに、超小型探査機による深宇宙探査に必要な技術シーズや技術実証計画に関する発表、超小型探査機で実施したい科学ミッションのニーズに関する発表も実施され、ニーズ側とシーズ側との間で活発な意見交換が行われた。

(4) 2022年2月には、本研究領域の成果を活用した具体的な深宇宙ミッションを計画しているGEO-X研究グループの研究会に招待され本研究領域の活動内容等を発表し、利用側のユーザーコミュニティとのコミュニケーションも実施した。

(5) 2021年に引き続き2022年11月には、国内最大の宇宙工学関連学会である宇宙科学技術連合講演会にてオーガナイズドセッション「超小型探査機を用いた月以遠深宇宙探査」を開催し、超小型衛星による深宇宙探査を目指す関連コミュニティへ本研究領域の成果発信を実施するとともに、超小型探査機による深宇宙探査に必要な技術シーズに関する発表、超小型探査機で実施したい科学ミッションのニーズに関する発表も実施され、ニーズ側とシーズ側との間で活発な意見交換が行われた。

(6) 2023年3月には、本研究領域メンバーが推進班の拠点である北海道大学に集まり、開発中のハイブリッドキックモーターの燃焼試験に立ち会うとともに、本研究領域全体の成果の総括として領域全体会合を現地開催し、これまでの各計画研究の成果を共有・確認した。また、本領域の研究成果を引き継ぐ形で新たな研究費を獲得しており、具体的な宇宙実証ミッションの実現に向けた今後の発展的な取り組みの方向性についても活発な議論を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中島晋太郎, 川端洋輔, 布施綾太, 石川晃寛, 藤本和真, 船瀬龍
2. 発表標題 高推力推進系を有する超小型衛星の検討状況
3. 学会等名 宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江副祐一郎, 船瀬龍, 川端洋輔, 中島晋太郎, 永田晴紀, Kamps Landon, 中嶋大, 三石郁之, 石川久美, 沼澤正樹, 三好由純, 上野宗孝
2. 発表標題 GEO-X 計画の現状と将来展望
3. 学会等名 宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江副祐一郎, 船瀬龍, 永田晴紀, 三好由純, 中嶋大, 三石郁之, 他
2. 発表標題 地球磁気圏X線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager)
3. 学会等名 超小型衛星利用シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuichiro Ezo, Ryu Funase, Harunori Nagata, Yoshizumi Miyoshi, Hiroshi Nakajima, Ikuyuki Mitsuishi, et al.
2. 発表標題 GEO-X (GEOspace x-ray imager)
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 船瀬龍
2. 発表標題 超小型衛星による深宇宙探査のこれまでと今後の展望
3. 学会等名 東京大学宇宙理工学連携研究機構発足シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryu Funase
2. 発表標題 Deep Space Exploration with Nano/Micro Satellites
3. 学会等名 The 15th Virtual UNISEC-Global Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船瀬龍，川端洋輔，中島晋太郎，山本智貴，石川晃寛，藤本和真，尾崎直哉，平井翔大，Landon Kamps，永田晴紀
2. 発表標題 高推力推進系による高頻度な超小型深宇宙探査ミッションの実現
3. 学会等名 超小型衛星利用シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 船瀬龍，川端洋輔，中島晋太郎，山本智貴，石川晃寛，藤本和真，尾崎直哉，平井翔大，Landon Kamps，永田晴紀
2. 発表標題 高推力・高 V推進系を有する超小型深宇宙探査ミッションに向けた取り組み
3. 学会等名 GEO-X研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 船瀬龍
2. 発表標題 超小型衛星による太陽系探査
3. 学会等名 2021年度ISAS宇宙生命探査シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 船瀬龍
2. 発表標題 超小型衛星による機動的で高頻度な深宇宙探査の実現にむけた取り組み
3. 学会等名 超小型探査機を用いた月以遠深宇宙探査に関する研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

「革新的超小型衛星による機動的で高頻度な深宇宙探査領域の開拓」研究領域ホームページ https://www.isas.jaxa.jp/home/smallsat/tra-b/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	永田 晴紀 (Nagata Harunori) (40281787)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	尾崎 直哉 (Ozaki Naoya) (90836222)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・特任助教 (82645)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中島 晋太郎 (Nakajima Shintaro) (80873380)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・特任助教 (82645)	
研究協力者	川端 洋輔 (Kawabata Yosuke) (80803006)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教 (12601)	
研究協力者	布施 綾太 (Fuse Ryota)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・学術専門職員 (12601)	
研究協力者	ケンプス ランドン (Kamps Landon) (70869502)	北海道大学・工学研究院・特任助教 (10101)	
研究協力者	ボーデン ラルフ (Boden Ralf)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙航空プロジェクト研究員 (82645)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関