

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01164

研究課題名(和文)地球惑星超高層大気の中性粒子分布・力学機構の実証解明を実現する直接観測の基盤構築

研究課題名(英文) Establishment of a foundation for direct observation to realize empirical elucidation of the neutral particle distribution and dynamics of the upper atmosphere of the Earth and planets

研究代表者

齋藤 義文 (SAITO, Yoshifumi)

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：30260011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は将来の地球の電離圏・磁気圏観測や他天体の周回観測及び他天体への着陸探査を含めた惑星探査に向けた、4種類の人工飛翔体搭載用中性粒子質量分析器を開発することである。4種類の質量分析器に共通の開発項目である中性粒子の電離機構部の開発と、マルチターン型質量分析器と多反射リフレクトロン型質量分析器に共通の開発項目である宇宙機搭載用パルス高圧電源の開発については本研究で予定していた開発は完了できた。「四重極型質量分析器」については、より高性能が期待できる「オービトラップ型質量分析器」の開発に変更したが、4種類の質量分析器については、ほぼ予定していた開発を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで我が国では開発が遅れていた飛翔体搭載用中性粒子質量分析器を、共通的な事項をまとめて開発することで短期間で開発を進めることができた。飛翔体搭載用中性粒子質量分析器の開発を行うことで、地球、及び他天体の周辺及び上層大気を対象とするほとんどの領域で計測を行うことができる質量分析器が揃うことになり、わが国の将来の惑星探査において世界的な成果を生み出す原動力となる。今回開発した質量分析器は、天体表面固体物質の同位体質量分析器としても使用することができるため、将来わが国が実施するであろう着陸探査で必須となる強力な観測装置が開発できたことになる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop four types of neutral particle mass spectrometers for future planetary exploration, including observation of the Earth's ionosphere and magnetosphere, orbiter, and landing exploration of the planets. The development of the ion source, which is common to all the four mass spectrometers, was completed. The development of the pulsed high-voltage power supply, which is common to the multi-turn mass spectrometer and the multi-reflection reflectron mass spectrometer, was also completed. The development of the "quadrupole mass spectrometer" was changed to the development of the "orbitrap mass spectrometer," which is expected to have higher performance, and the planned development of four types of mass spectrometers was almost completed.

研究分野：磁気圏プラズマ物理学

キーワード：質量分析器 中性粒子 マルチターンTOF型質量分析器 リフレクトロン型質量分析器 四重極型質量分析器 オービトラップ型質量分析器 ベネット型中性質量分析器

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

国内外の観測ロケットや人工衛星を用いて、地球の上層大気や、地球磁気圏、惑星間空間におけるイオンの質量分析が盛んになされてきた。わが国でもこれまでに、電子やイオンなどのエネルギースペクトルを計測する観測装置や、イオンの質量分析器については、開発が進められていくつもの観測成果が得られていたが、人工飛行体搭載用の中性物質の質量分析器の開発はそれまで非常に手薄であったと言わざるを得ない。今後わが国も他天体における周回観測や他天体への着陸探査を含めた惑星探査を進めていくにあたり、人工飛行体搭載用の中性物質の質量分析器の開発が急務となっていた。そこで、本研究では、宇宙に存在する様々な中性物質の質量分析を行うための質量分析器の開発を行うことにした。

## 2. 研究の目的

本研究は、研究期間中に1) マルチターンTOF型質量分析器 2) 多反射リフレクトロン型質量分析器 3) 四重極型質量分析器 4) 2次元速度計測用ベネット型中性粒子分析器 の4種類の先鋭的かつ中核的な質量分析器の開発を同時並行して行うことを目的として開始した。本研究の研究期間は4年間であり、4年間の研究期間中に1) から4) の4種類の質量分析器の開発を並行して進めるとともに、4つの質量分析器に共通の、中性粒子の電離機構部の開発を行う他、1) と2) に共通の、宇宙機搭載用パルス高圧電源の開発、3) と4) に共通の、宇宙機搭載用高周波(MHz帯)高圧電源の開発を行うことを目的としていた。研究の進捗に伴い、元々予定していた「四重極型質量分析器」については必要とされる開発技術が近く、より高い性能が期待できる「オービトラップ型質量分析器」の開発を進めることに方針を転換することにし、それに伴い、3) と4) に共通の、宇宙機搭載用高周波(MHz帯)高圧電源の開発は本研究では実施しないことになった。

## 3. 研究の方法

4つの質量分析器に共通の、中性粒子の電離機構部の開発については、3次元計算機シミュレーションを用いて、中性粒子イオン化用の電子銃を設計し、設計した電子銃を製作した上で、真空中で性能を確認した。電子銃で電離したイオンを試験用検出器に導く電位配置を作り、引出電極電圧やフィラメント電流、導入ガス(中性粒子)の密度を変化させながら検出器カウントの変化を見ることで電子銃の特性を十分に把握し、それぞれの質量分析器の種類に応じた最適なイオン出射形状を実現する電極構造を設計した。

マルチターンTOF型質量分析器については、宇宙機搭載可能な質量分析器の実現を目指し、宇宙機搭載用パルス高圧電源の開発を行った。本(パルス)高圧電源は、多反射リフレクトロンにも必要であり両質量分析器に共通の開発項目である。宇宙機搭載可能な高圧FETの選定を行い、高圧電源部も宇宙機搭載可能なものを用いて、パルス高圧を試作した。その後、宇宙機搭載可能な分析器制御部の開発を行った。

多反射リフレクトロン型質量分析器については、研究開始時には1回反射リフレクトロンの実験室モデルの設計・試作までが出来ていたが、本研究では、計算機を用いた多反射リフレクトロンの設計を行った。その後、試験モデルの試作を行い、真空槽に試験モデルを入れて、真空槽の中の残留ガスをイオン化して質量分解能の試験を実施した。これと並行して、レーザーによる固体物質の気化を行う部分の設計・試作を行うことにしていたが、多反射リフレクトロンの改良と試作を優先する必要が生じたため、固体物質のイオン化は4つの質量分析器に共通に開発するイオン源を用いることとした。

四重極型質量分析器については、最初に質量分析器の試作・試験に用いる真空槽を新たに導入して試験の準備を整えたほか、4つの質量分析器共通に開発を進め、中性粒子の電離機構部の試験を実施した。その後、計算機を用いて、搭載用四重極質量分析器の設計を実施する予定であったが、より高い性能が期待できる「オービトラップ型質量分析器」の開発を進めることに方針を転換し、オービトラップ型質量分析器の設計と試作を行った。これに伴い、2次元速度計測用ベネット型中性粒子分析器と共通に開発する予定であった高周波高圧電源については本研究では行わないこととした。

2次元速度計測用ベネット型中性粒子分析器については、研究開始の時点で、既に分析器の第一号試作器が製作されており、基礎的な試験の途上にあつたため、重イオンを現有のイオンビームにより照射して2次元速度計測用中性粒子分析器試作品における速度・質量分析機能の確認を行うことから開始した。その後、4つの質量分析器共通に開発を進めた、中性粒子の電離機構部を導入して、中性粒子質量分析器の試作器として完成させた。

## 4. 研究成果

### (1) 中性粒子の電離機構部の開発

4つの質量分析器に共通の開発項目である中性粒子の電離機構部の開発については、2017年度に設計を開始し、2018年度には、酸化バリウムを多孔質タングステンに含浸させたカソード、および酸化イットリウムをイリジウムにコーティングしたカソードの性能試験・耐久試験を実施することで、搭載可能なレベルの電離機構部の設計を行うことができた。その後、2019年度には、衛星搭載に向けてフィラメント2本を備えたイオン源の設計(図1上)と製作を完了することが出来た(図1下)。このイオン源は2020年度には多反射リフレクトロン型質量分析器に接続して性能確認試験を実施することで十分な性能で動作することが確認できたため、本研究で予定していた開発は完了できたと言える。

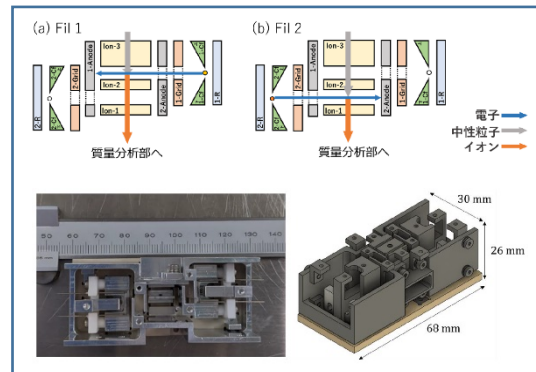


図1 (上) イオン源の概念図。(下) イオン源の試作機の構造。いずれも柳瀬, 修士論文(2021, 東京大)より。

### (2) マルチターン TOF 型質量分析器

2017年度には、まずマルチターン型質量分析器と多反射リフレクトロン型質量分析器に共通の開発項目である宇宙機搭載用パルス高圧電源の開発を開始した。その結果、2018年度には宇宙用TOF型質量分析計に必要な、昇圧レベル1kV・消費電力2W未満・立ち上がり時間50ナノ秒で昇圧後の平坦さ10%以内を実現したパルス高圧電源基板を試作することができた。2019年度には高速データ読出し(ギガサンプル)及び処理回路基板の性能評価を行い、目標とした高速(GHz)での波形サンプリングを確認することが出来た。また、2020年度には、実験室のマルチターンTOF型質量分析器を使った模擬試験結果からH, C, N, Oに対する同位体分別精度を見積もることが出来た。試作したパルス高圧電源基板について

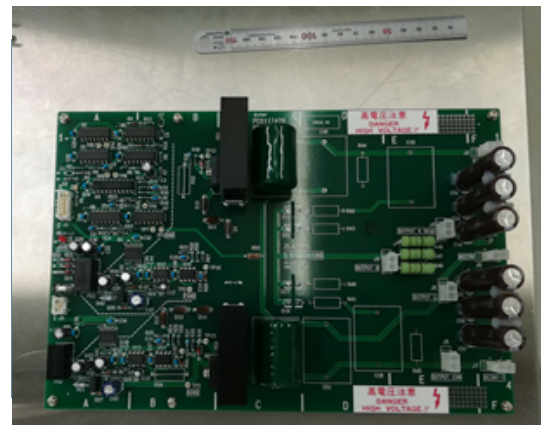


図2 試作した高圧電源基板の写真

は2021年度に多反射リフレクトロン型質量分析器に接続して性能確認試験を実施することで十分な性能で動作することが確認できたため、本研究で予定していた開発は完了できたと言える。

### (3) 多反射リフレクトロン型質量分析器

初年度の2017年度には、研究開始時に既に製作していた1回反射リフレクトロンの実験室モデルの特性計測実験を実施した。実験で得られたデータを解析した結果、予想外の質量ピークが観測されたため、一部の研究計画を6ヶ月遅らせることにして問題の解決を試みた。2年目の2018年度にかけて、予定より多種類の中性粒子を用い、かつ高速デジタルタイザを用いた質量分析特性評価を行った結果、イオンの検出信号の波形に問題のあることが判明した。信号検出用ケーブルの接続法を信号が反射しにくい方法に変える、信号の増幅に用いていたアンプを使用せずに検出器からの信号を直接計測するなどの対策を講じて、不要な質量ピークが消えることを確認することができた。2018年度には、これと並行して、多反射リフレクトロン型質量分析器の設計を進め、2018年度中に試作まで完了することができた。図3に本研究で開発した多反射リフレクトロン型質量分析器の概念図を示す。図の右側にイオン源があり、イオン源でイオン化された中性粒子が、質量分析器の加速部に導入される。加速部の電極にパルス状の高圧を印加することで、イオンが飛行を開始し、反射部で反射された後、第2反射部で反射され、再び反射部で反射されて検出器で検出される。イオンが飛行を開始してから検出されるまでの時間を計測することで、イオンの質量を求めることができる。本質量分析器は、3つの運用モードを持っている。感度は少し低めではあるが、質量分解能の最も高い3回反射モード、質量分解能は少し低めではあるが感度の高い1回反射モード、そして、新規開発のパルス高圧電源が故障した場合にでも運用を可能にするスペアモードの3つである。3回反射モードと1回反射モードの切り替えは、イオン源で生成するイオンのエネルギーを調整することでを行い、スペアモードは、加速部のパルス高圧を印加せずに、第2反射部のパルス高圧のみを印加することで行うことができる。本研究の3年目である、2019年度初めには、2018年度に製作した多反射リフレクトロン型質量分析器テストモデルの特性取得試験を行い、3回反射モードで質量分解能120以上の性能を確



認することができた。本研究で開発を実施した、多反射リフレクトロン型質量分析器は、月極域に存在する水の分布や量を明らかにし、資源利用可能性の調査を行うことを目的とした月極域探査 (LUPEX) のローバーに搭載される水資源分析計 (REIWA: Resource Investigation Water Analyzer) を構成する質量分析器、3回反射型リフレクトロン (TRITON: Triple-reflection Reflectron) として採用されることになった。

2020年度には、当初の計画通り、固体試料加熱チャンバーの試作機・衛星搭載イオン源の試作品と組み合わせた性能試験を実施した。固体試料加熱チャンバーの試作機を用いてホウ砂や酢酸マグネシウム4水和物などを100度程度まで加熱して放出された水分子を多反射リフレクトロン型質量分析器テストモデルで測定することができた。他、4つの質量分析器で共通に開発したイオン源と組み合わせた性能試験を実施すること(3回反射モードで計測した水の質量スペクトルを図4に示す)で、装置の感度を計測することができた。2020年度はCOVID-19の感染拡大による影響を受けて、2021年度に一部の研究を繰り越さざるを得なかったが、月極域探査への搭載に向けた多反射リフレクトロン型質量分析器の開発を重点的に行い、多反射リフレクトロン型質量分析器テストモデル、4つの質量分析器で共通に開発したイオン源、マルチターン型質量分析器と共通に開発したパルス高圧を接続した構成で、炭酸ガス(CO<sub>2</sub>ガス)などのガス分子を導入しそのフラグメンテーションのデータなどを正常に取得することができた。以上のように当初の研究期間の4年間と、1年の繰越しで、搭載可能な多反射リフレクトロン型質量分析器の開発を行うことが出来た。なお、当初予定していた、レーザービームをイオン化に使用する試験は、多反射リフレクトロン型質量分析器本体の開発を優先したため実施しなかった。

#### (4) 四重極型質量分析器

当初の「四重極型質量分析器」に変えて開発を進めることにした「オービトラップ型質量分析器」については、2019年度には、イオンをフーリエ変換部に投入する前段で多数(>1,000個)のイオンを時間収束させる収束機構を設計・製作し、その性能を実験室で確認することに成功した。2020年度に時間収束させた多数(>1,000個)のイオンをオービトラップ部に導入し、周波数スペクトルを取得する実験を実施したが、これまでのところ導入サンプルガスに対応する質量の信号ピークが得られておらず、信号・雑音比の改善に取り組んでいる。

#### (5) 2次元速度計測用ベネット型中性粒子分析器

2018年度には、2次元速度計測用ベネット型中性粒子分析器の試作モデルに関して2017年度に行った雑音除去の為に電極構造を設置するための内部電極構造の再確認を行ったのに加えて速度分布関数を取得出来る様に、2次元位置検出器の較正実験を行った。また、粒子ビームの2次元空間プロファイル取得システムを完成させた他、粒子ビームラインのモニターシステムを開発し、中性粒子分析器開発に必要な粒子ビームラインの特性取得を可能にした。2019年度には、開発中の中性粒子分析器による質量弁別・速度計測のためには、較正実験設備にて試作中の分析器に対して照射される粒子の質量ならびに飛翔エネルギー・角度を正確に評価する必要があるため、試作器の再設計による電極構造追加の検討に加え、粒子ビームラインの断面プロファイルを計測するための2次元位置検出器の整備を行った。2020年度には、2次元位置検出用MCP(マイクロチャンネルプレート)アセンブリの位置検出機能向上のための基礎実験を実施し、1mm以下の位置精度を確認している。また、本中性粒子分析器の較正実験では、フィラメントの改良を実施し2倍以上のカウントが取得可能となった他、イオンビームの2次元空間プロファイルを取得するビームラインモニターの整備も並行して行った。

多反射リフレクトロン型質量分析器テストモデル概念図

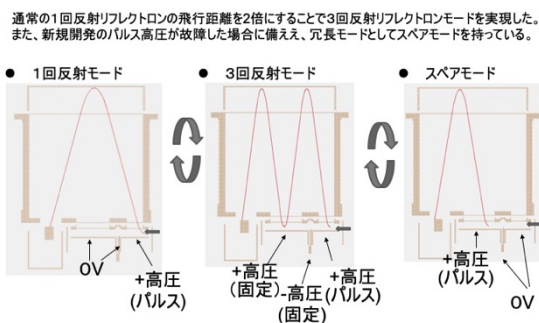


図3 多反射リフレクトロン型質量分析器の概念図

ホウ砂 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>・10H<sub>2</sub>Oを加熱して得られた水の質量スペクトル (3回反射モードで計測)

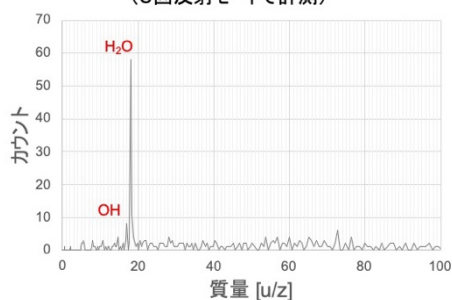


図4 3回反射モードで計測したホウ砂を100度程度まで加熱して放出された水分子の質量スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Saito Yoshifumi, Delcourt Dominique, Hirahara Masafumi, Barabash Stas, Andre Nicolas, Takashima Takeshi, Asamura Kazushi, Yokota Shoichiro et al	4. 巻 217
2. 論文標題 Pre-flight Calibration and Near-Earth Commissioning Results of the Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE) Onboard MMO (Mio)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-021-00839-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yokota Shoichiro, Terada Naoki, Matsuoka Ayako, Murata Naofumi, Saito Yoshifumi, Delcourt Dominique, Futaana Yoshifumi, Seki Kanako, Schaible Micah J., Asamura Kazushi, Kasahara Satoshi, Nakagawa Hiromu, Nishino Masaki N., Nomura Reiko, Keika Kunihiro, Harada Yuki, Imajo Shun	4. 巻 73
2. 論文標題 In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: the mass spectrum analyzer (MSA) for the Martian Moons eXploration (MMX) mission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01452-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 ITO Motoo, OKADA Tatsuaki, KEBUKAWA Yoko, AOKI Jun, KAWAI Yosuke, MATSUMOTO Jun, CHUJO Toshihiro, NAKAMURA Ryosuke, YANO Hajime, YOKOTA Sho-ichiro, TOYODA Michisato, YURIMOTO Hisayoshi, WATANABE Motoki, IKEDA Ryota, KUBO Yuki, GRAND Noel, COTTIN Herve, BUCH Arnaud, SZOPA Cyril, MORI Osamu	4. 巻 19
2. 論文標題 A Feasible Study of <i>In-Situ</i> Measurements of Light Isotopes and Organic Molecules with High Resolution Mass Spectrometer MULTUM on the OKEANOS Mission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 477 ~ 484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tastj.19.477	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 3件／うち国際学会 10件）

1. 発表者名 福山 代智、斎藤 義文、浅村 和史、横田 勝一郎
2. 発表標題 月・惑星探査用TOF質量分析器の開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福山 代智, 齋藤 義文, 横田 勝一郎, 浅村 和史
2. 発表標題 月極域探査ローバー搭載用飛行時間計測型質量分析器の開発
3. 学会等名 第146回地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS) 講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 義文, 福山 代智, 浅村 和史, 横田 勝一郎, 笠原 慧
2. 発表標題 月極域探査用多反射リフレクトロン型質量分析器の開発
3. 学会等名 第 63 回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yokota, Y. Kawai, J. Aoki, Y. Saito, M. Ohtake, T. Okada
2. 発表標題 A high-voltage pulsed power supply for on-site mass spectrometry in future solar system explorations
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島桜也, 笠原慧, 齋藤義文, 横田勝一郎, 平原聖文, 杉田精司
2. 発表標題 太陽系探査を目指したOrbitrap型質量 分析器の開発
3. 学会等名 日本惑星科学会秋季講演会 (京都)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島桜也, 笠原慧, 齋藤義文, 横田勝一郎, 平原聖文, 杉田精司
2. 発表標題 In-situ太陽系探査を目指したOrbitrap質量分析器の開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福山代智, 齋藤義文, 浅村和史, 横田勝一郎
2. 発表標題 惑星探査用飛行時間計測型中性粒子質量分析器の開発
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田勝一郎
2. 発表標題 太陽系探査における同位体質量分析
3. 学会等名 第66回質量分析総合討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖津由尚, 笠原慧, 杉田精司, 齋藤義文, 平原聖文, 横田勝一郎
2. 発表標題 火星におけるhot oxygen密度測定に向けた探査機搭載用質量分析装置のイオン化源の開発
3. 学会等名 地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖津由尚, 笠原慧, 杉田精司, 齋藤義文, 平原聖文, 横田勝一郎
2. 発表標題 火星におけるhot oxygen密度測定に向けた探査機搭載用質量分析装置のイオン化源の開発
3. 学会等名 日本惑星科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笠原慧, 沖津由尚, 平原聖文, 齋藤義文, 横田勝一郎, 三浦弥生, 杉田精司
2. 発表標題 Development of particle measurement techniques for planetary exploration by micro-spacecraft
3. 学会等名 日本航空宇宙学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笠原慧, 沖津由尚, 平原聖文, 齋藤義文, 横田勝一郎
2. 発表標題 希薄大気観測に向けた中性粒子分析器の開発
3. 学会等名 MTI研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masafumi Hirahara
2. 発表標題 The Next Japanese Space Mission for Elucidating the Magnetosphere-Ionosphere-Thermosphere Coupling Mechanisms: The FACTORS mission and international collaborations
3. 学会等名 CONNEX Science Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Masafumi Hirahara
2. 発表標題 In-situ observation plans in next Japanese space exploration mission (FACTORS)
3. 学会等名 Europlanet Workshop 2018 on Planetary Atmospheric Erosion (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masafumi Hirahara
2. 発表標題 Japanese Space-Earth Coupling Exploration Mission by Multiple Polar-orbiting Compact Satellites and its Collaborations in Instrumentations and Ground-based Observations
3. 学会等名 45th Annual Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masafumi Hirahara, Yoshifumi Saito, Hirotsugu Kojima, Naritoshi Kitamura, Kazushi Asamura, Ayako Matsuoka, Takeshi Sakanoi, Yoshizumi Miyoshi, Shin-ichiro Oyama, Masatoshi Yamauchi, Yuichi Tsuda, Nobutaka Bando
2. 発表標題 Science Objectives and Mission Plan of "FACTORS" with Multiple Compact Satellites for the Space-Earth Coupling Mechanisms
3. 学会等名 JpGU2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Ohkawa, Masafumi Hirahara
2. 発表標題 Development of the beamline monitoring system for calibration of particle analyzers in the future space explorations
3. 学会等名 JpGU2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大川 裕貴, 武井 智美, 平原 聖文
2. 発表標題 衛星搭載機器開発に向けた較正設備のための粒子ビームモニタリングシステムの開発
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第144回総会及び講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井 優介, 齋藤 義文, 齋藤 直昭, 横田 勝一郎
2. 発表標題 月・惑星探査用飛行時間型質量分析装置の開発
3. 学会等名 SGEPSS2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井 優介, 齋藤 義文, 横田 勝一郎, 笠原 慧, 齋藤 直昭, 長 勇一郎, 三浦 弥生, 亀田 真吾, 杉田 精司
2. 発表標題 月・惑星探査用飛行時間型質量分析装置の開発
3. 学会等名 JpGU2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masafumi HIRAHARA, Yoshifumi SAITO, Hirotsugu KOJIMA, Anders TJULIN, Carl-Fredrik ENELL, Tima SERGIENKO, and Masatoshi YAMAUCHI
2. 発表標題 Future Collaborations of the First Japanese Formation Flight Mission Using Polar-Orbiting Compact/Micro Satellites with EISCAT_3D and ALIS Based on In-Situ and Remote-Sensing Observations for the Space-Earth Coupling Mechanisms
3. 学会等名 EISCAT International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masafumi Hirahara, Yoshifumi Saito, Hirotsugu Kojima, Naritoshi Kitamura, and Takeshi Sakanoi
2. 発表標題 An Overview of the First Japanese Formation Flight Mission Using Compact Satellites for In-Situ Observations of the Space-Earth Coupling Mechanisms
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masafumi Hirahara, Yoshifumi Saito, Hirotsugu Kojima, Nobutaka Bando, Yuichi Tsuda
2. 発表標題 FF-MIT: A Formation Flight Mission by Innovative Compact Satellites Exploring the Magnetosphere-Ionosphere-Thermosphere Couplings
3. 学会等名 SGEPSS2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 笠原慧, 沖津由尚, 平原聖文, 齋藤義文, 横田勝一郎, 三浦弥生, 奥野衛, 吉岡和夫, 杉田精司
2. 発表標題 超小型探査機による惑星観測に向けた粒子計測器の開発
3. 学会等名 惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川島桜也, 笠原慧, 齋藤義文, 横田勝一郎, 平原聖文, 杉田精司
2. 発表標題 太陽系探査を目指したイオントラップフリーエ変換型質量分析器の開発
3. 学会等名 日本惑星科学会秋季講演会 (オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kawashima, O., Kasahara, S., Saito, Y., Yokota, S., Hirahara, M., Sugita, S.
2. 発表標題 Development of a miniature ion-trap Fourier-transform mass spectrometer for future space missions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳瀬 菜穂、笠原 慧、齋藤 義文、横田 勝一郎、平原 聖文、川島 桜也
2. 発表標題 Development of an Ion Source for Future Solar System Explorations
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳瀬 菜穂、笠原 慧、齋藤 義文、横田 勝一郎、平原 聖文、川島 桜也
2. 発表標題 月極域探査の質量分析に資するタンデム型イオン源の開発
3. 学会等名 日本惑星科学会秋季講演会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 直輝、齋藤 義文、齋藤 直昭、笠原 慧、横田 勝一郎、浅村 和史、西野 真木、藤原 幸雄、浅川 大樹
2. 発表標題 月極域探査計画LUPEXに搭載する複数回反射型質量分析器TRITONの開発
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川島 桜也, 笠原 慧, 斎藤 義文, 横田 勝一郎, 平原 聖文, 杉田 精司
2. 発表標題 太陽系探査を目指した小型イオントラップフーリエ変換型質量分析器の開発
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshifumi SAITO, Naoki YAMAMOTO, Satoshi KASAHARA, Shoichiro YOKOTA
2. 発表標題 Development of a Triple-reflection Compact Time-of-flight Mass Spectrometer for Lunar Polar Exploration
3. 学会等名 AOGS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshifumi Saito, Naoki Yamamoto, Shoichiro Yokota, and Satoshi Kasahara
2. 発表標題 Development of a Triple-Reflection Compact Time-Of-Flight Mass Spectrometer for Lunar Polar Exploration
3. 学会等名 EGU2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	笠原 慧  (Kasahara Satoshi)  (00550500)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授    (12601)	

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	横田 勝一郎  (Yokota Shoichiro)  (40435798)	大阪大学・理学研究科・准教授    (14401)	
研究分担者	平原 聖文  (Hirahara Masafumi)  (50242102)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授    (13901)	

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