

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 9 月 6 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04041

研究課題名(和文) 固体・宇宙プラズマ境界層物理の長距離波及効果の探求

研究課題名(英文) Study on long-range effects of object-plasma interactions in space

研究代表者

三宅 洋平 (Miyake, Yohei)

神戸大学・システム情報学研究科・准教授

研究者番号：50547396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：固体表面に端を発するプラズマの乱れが、如何に、もしくはどの程度遠方まで波及するか、という学術的な問いに、粒子モデルの運動論プラズマシミュレーションを用いて取り組んだ。過去に蓄積してきた物理的知見に基づき条件設定した大規模計算機実験の実施により、表面帯電の特異性によって生じる荷電粒子の異常反射・散乱、プラズマ-固体境界層で生じる電子速度分布変化が原因となる電磁・静電波動励起、中性粒子衝突に起因する固体表面からの荷電粒子放出過程、という新たな側面に光を当てた。これらの内とに関して、一般の静電シース物理で言及されるデバイ長スケールを大きく超える長距離波及効果を発現する可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の特徴的な点は、太陽風・地球磁気圏プラズマ中の人工衛星ではサイズが小さすぎるため、また実験室プラズマ壁面では粒子間衝突による散逸効果のために、固体・宇宙プラズマ相互作用の長距離波及効果に期待することは難しく、物体サイズが電子ジャイロ半径より大きい(月や小惑星等の)固体天体や、逆に強磁場により電子ジャイロ半径が小さくなる電離圏中の人工衛星近傍で当該効果が生起することを明らかにした点である。本研究成果を出発点として、特定領域の固体・宇宙プラズマ相互作用をさらに進展させることで、将来の小型天体探査、および極域電離圏の科学衛星観測にとって有益な科学的知見が得られると期待される。

研究成果の概要(英文)：Based on particle-model kinetic plasma simulations, we have addressed the open question of how and to what extent plasma perturbation originating from solid surfaces can extend to distant locations. Large-scale computer experiments conducted under conditions chosen based on the physical knowledge accumulated in the past have identified (1) anomalous reflection and scattering of charged particles caused by unconventional surface charging, (2) electromagnetic and electrostatic wave excitations caused by changes in the electron velocity distribution at the plasma-solid boundary layer, and (3) charged particle emission from the solid surface caused by neutral particle collisions. For (1) and (2), we have shown the possibility of long-range effects that may extend well beyond the Debye length scales.

研究分野：月惑星プラズマ学

キーワード：月惑星プラズマ 表面帯電 プラズマ波動 固体・プラズマ相互作用 衛星プラズマ相互作用 超高層物理学 数値シミュレーション プラズマシミュレーション

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間を満たす電離気体であるプラズマが、人工衛星や固体天体と接触する界面では、プラズマの本来持つ電荷中性条件が破れ、静電場が卓越する。この固体プラズマ境界層の物理は、人工衛星の帯電や、プローブを用いたプラズマ計測への干渉、などの観点で研究が盛んに行われてきた。一方で従来の固体・宇宙プラズマ相互作用物理研究は、表面近傍の電荷非中性領域の物理にその力点が置かれてきた。しかし固体表面でのプラズマ損失や、それに伴う速度分布関数じょう乱の効果に着目すると、その影響は荷電分離領域(プラズマデバイ長)スケールを大きく超える遠距離にまで波及しうる。本現象の特徴的な点は、太陽風・地球磁気圏プラズマ中の人工衛星ではサイズが小さすぎるため、また実験室プラズマ壁面では粒子間衝突による散逸効果のために、長距離波及効果に期待することは難しく、物体サイズが電子ジャイロ半径より大きい(月や小惑星等の)固体天体や、逆に強磁場により電子ジャイロ半径が小さくなる電離圏中の人工衛星近傍で当該効果が予想される点である。本プラズマ素過程を明らかにすることで、将来の小型天体探査や極域電離圏の科学衛星観測にとって有益な物理的知見が得られると期待される。

2. 研究の目的

本課題では、固体表面に端を発するプラズマの乱れが、如何に、もしくはどの程度遠方まで波及するか、という学術的な問いに、粒子モデルの運動論プラズマシミュレーションを用いて取り組む。これまでに蓄積してきた固体・プラズマ相互作用の物理的知見に基づき、長距離波及効果が見込まれるプラズマ・物体条件を予測する。その予測に基づき、粒子モデルのプラズマシミュレーションを実施し、プラズマ密度構造や静電場のじょう乱の特徴とその起源を特定する。さらに当該じょう乱の波及距離について計算機実験データを元にした見積もりを立て、直接シミュレーション実施の対象にし難いパラメータ領域を含めて、長距離波及効果の可能性を検討する。一連の計算機シミュレーション研究によって得られた知見に基づき、科学衛星観測データの再検討を実施し、将来の宇宙探査計画の指針とする。

3. 研究の方法

天体固体表面近傍の電磁プラズマ環境を定量的に解析できる独自の粒子モデルシミュレーションツール EMSES を駆使した、第一原理的なプラズマ現象数値解析手法を用いる。計算空間上で連続的な位置座標を持つ多数のプラズマ荷電粒子と、空間中で離散的に定義された電磁場の間で必要な情報を交換しつつ、相互に解き進めることによって、プラズマの挙動と電磁気環境の時間発展を自己無動着に解き進める。プラズマを多数の代表粒子の集合として表現する本手法は、天体表面近傍での荷電分離効果や非マクスウェル速度分布の厳密な取り扱いが可能である。

EMSES は、連続的な位置座標を持つ多数のプラズママクロ粒子の挙動と、離散的に定義された格子点上の電磁界発展を、Particle-In-Cell (PIC) 法に基づいて相互に解き進めることにより、電子デバイ長スケールのミクロプラズマ現象を再現する。各々のプラズマ粒子の速度位置更新と電磁場更新は、それぞれ Buneman-Boris 法および Finite-Difference-Time-Domain 法を用いて処理される。このとき、各粒子に作用する電磁気力を求めるために、粒子に隣接する格子点上における電磁界の値を粒子位置に内挿する。また、各粒子の持つ速度モーメントの値を、粒子位置と隣接格子点間の距離によって計算される重みに基づいて、格子点上に配分することで電流密度値が計算される。

EMSES では、計算空間内部に固体表面境界を導入することで固体天体や導電性の人工衛星の存在を模擬する。固体表面では、プラズマ粒子、静電ポテンシャル、変動電磁界のそれぞれに対して、適切な境界処理を適用する。具体的には、表面に到達したプラズマ粒子はその表面に捕捉され、粒子が有していた電荷は衛星表面に蓄積される。さらに問題の状況設定に応じて、光電子放出や二次粒子放出などの表面からの荷電粒子放出過程をプリセットされた物理モデルに従って処理する。この際には、放出された粒子が保有する電荷とは逆符号の蓄積電荷が反映される。次に静電ポテンシャルについては、導電性衛星の表面において等電位条件を課すため、衛星表面の電荷を等電位が実現されるような分布に再配置する。これは Capacitance Matrix 法によって実装されている。

4. 研究成果

4 - 1. 凹凸を有する非導電性固体表面に発達する表面帯電特異性、および荷電粒子の異常反射・散乱

月を始めとする自然の固体天体には様々な地形が存在しており、それらが作り出す表面の形態は多種多様である。より局所的に見ると、レゴリスの堆積層は平らではなく凹凸を有しており、さらに微細なスケールではレゴリス粒子間の空隙が表面に深い窪みを作り出している。帯電物理の観点からみると、このような無数の表面形状パターンは上空から飛来する荷電粒子の近接性 (accessibility) と月面帯電の非一様性につながる。レゴリス粒子の表面はプラズマ空間と比較すると絶縁性が見なせるため、不規則な月面上に形成された電位分布は容易に緩和・平滑化されず、複雑な静電場構造を生み出す。

レゴリス堆積層に一定数存在すると思われる深い窪みに着目した帯電現象数値解析を実施し、従来の表面帯電現象の常識とは大きく異なる帯電様態が太陽風プラズマに曝された月面上に生じる可能性を示唆した。当該研究では、太陽風中の電子およびイオンが有する集団運動の指向性に違いに着目した。

太陽風のバルク速度 V_{sw} と、電子とイオンの熱速度 v_{te}, v_{ti} の間には、 $v_{te} > V_{sw} \gg v_{ti}$ の関係が成り立つため、集団としてのイオン速度分布は有指向性、電子速度分布は無指向性と見なすことができる。この太陽風プラズマが月面上の深い窪みに上空から入射すると、窪みの入り口付近で電子が優先的に横壁に捕捉されて失われるが、イオンは窪みの奥深くまで侵入することが可能である。その結果、窪みの底部においては、有限温度プラズマでは通常成立することがない「流入イオンフラックス 流入電子フラックス」の条件が満たされる。

当条件においては光電子放出の助けを借りず、宇宙プラズマ流入のみで正帯電が卓越することになる。特筆すべきは、このときの最大電位はイオンのバルク運動エネルギーに匹敵する+kV オーダーに達することである。このことを示唆する数値研究結果を図 1 に示す。当結果は、窪みの深さと径のアスペクト比 $R_{D/W}$ に対応した底面電位の最大値を示しており、 $R_{D/W}$ が 2 以上で急速に電位上昇がみられ、最大+800 V の正電位が発生しうることを示している。

本研究成果の興味深い一側面は、窪みの深部で形成された強い正帯電により、上空より飛来した太陽風イオン(の大多数を占めるプロトン粒子)の一部が静電的に反射されることを示唆する点である。有限の v_{ti} により、イオンはバルク速度の周囲にわずかに速度分布の拡がり形成しているが、この中の低エネルギー成分が窪み内部の電位障壁により反射・散乱される。この反射率は 1%程度と小さく、低エネルギー成分が選択的に反射されるため、反射イオンはバルク運動エネルギーの 80%程度のエネルギーを有する。ただしこのイオンは太陽風流れの中を遡上する。原理上は月磁気異常や月面構成物で直接反射・散乱されたイオンと同様、月周回探査の軌道高度である数 10 km まで飛来する可能性があり、月面の特異帯電による荷電粒子異常反射・散乱、および宇宙空間側に対する長距離波及効果であると評価することができる。

4 - 2 . 磁化プラズマ中における固体・プラズマ相互作用長距離波及効果の成立要件

固体・プラズマ相互作用によって生起する荷電分離領域の拡がり、プラズマの最小特性長であるデバイ長程度であまりに小さいため、宇宙空間物理学の側面からは、その重要性が過小評価されてきた。しかし多次元の高精度プラズマ粒子モデル計算機実験の実施により、固体表面周辺で生成された密度勾配構造や非熱的電子成分が、特定の条件下において、表面から数 100 デバイ長以上離れた場所の環境にも影響を及ぼすことを強く示唆する結果を得た。

具体的には、固体・宇宙プラズマ相互作用が長距離波及効果を示すのは、固体表面からのプラズマじょう乱が準 1 次元的に伸展する状況であり、これを実現するプラズマ要件の一つが「物体サイズ > 電子ジャイロ半径」であることを特定した。実際にこの条件を満たすプラズマ環境パラメータで計算機実験を実施すると、磁場に沿って数百デバイ長の距離まで密度擾乱が発達することが確かめられる。これは空間多次元問題で自然に表れる固体表面からの距離に応じたじょう乱の空間的減衰が、固体表面からのプラズマじょう乱が準 1 次元的に伸展する条件において

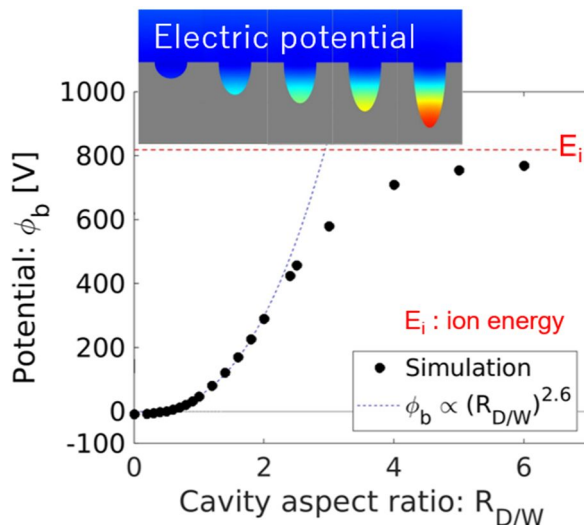


図 1 Particle-in-Cell 法に基づく帯電数値シミュレーション結果の一例。様々な深さと径のアスペクト比 $R_{D/W}$ を有する窪みの太陽風プラズマによる帯電特性の数値モデル予測結果。グラフはアスペクト比 $R_{D/W}$ に対する窪み底部の最大電位値を示す。

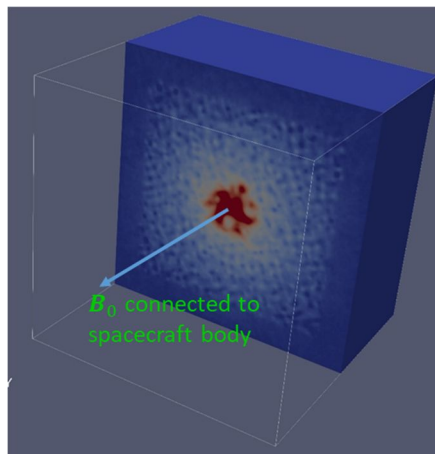


図 2 人工衛星に接続した磁力線上に沿って伸展した電子低密度柱(高電位領域)の表面に生起する低域混成ドリフト不安定性を捉えた計算機実験結果。

最小化されるためであると解される。

またこのようにして形成された密度変化は、磁場を横切る方向に強い密度勾配を生むため、静電的な波動励起を誘発することも判明した。図 2 に示すように磁力線を中心軸とした方位角方向に波数を持つ密度じょう乱が発達し、これは低域混成ドリフト不安定性によるものと考えられる。本研究成果は、極域電離圏などの特定の領域における科学衛星探査において、衛星由来の波動励起が自然現象に対する物理解釈の妨げになることを示唆しており、さらなる検討が必要な研究領域である。

4 - 3 . 中性粒子衝突に起因する固体表面荷電粒子放出による周辺プラズマ環境じょう乱

カッシーニ探査機はグランドフィナーレと呼ばれる最後のミッションにおいて土星電離圏に関する多くの知見を獲得した。高度 3000 km 以下でのラングミュアプローブ測定では光電子放出など通常の電子放出プロセスが有効に機能しない状況であるにも関わらず、探査機は正に帯電することが分かった。この結果は土星電離圏プラズマを構成する負性粒子種が電子ではなく、負の重イオンであることを想定することで説明できる [Zhang et al., 2021] が、数ある可能なシナリオの一つに過ぎない。本研究では、土星電離圏環境において粒子環境で優位な割合を占める水分子中性粒子の探査機表面への衝突による二次電子放出という新たな側面に着目し、探査機帯電シミュレーションを実施した。その結果、二次電子電流密度が概ね数 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ を超過すると探査機を正に帯電させうることが示された (図 3)。この結果は、グランドフィナーレにおけるカッシーニ探査機に対する水分子の衝突率やラングミュアプローブ測定の結果と整合的である。先述の負の重イオンの効果と合わせ、探査機や衛星の帯電そのものが未知の惑星圏プラズマ・中性粒子環境に手がかりを与えるものであることを示唆する結果である。

中性粒子衝突に伴う二次荷電粒子放出による衛星帯電様態への作用は、彗星コマ高密度プラズマ環境でも重要であることを明らかにした (図 4)。彗星プラズマ環境を対象とした帯電研究では、二次イオン放出の役割についても検討を実施した。二次イオンは熱速度が小さいため、衛星表面付近に滞留する傾向があり、高密度の正電荷領域を形成する。このようにして形成された二次イオン雲は、衛星の直近に電位バリアを形成し、二次イオン・二次電子・光電子・彗星起源背景電子の挙動に影響を及ぼすことを明らかにした。当研究成果は固体プラズマ相互作用の興味深い一様態である一方、その波及距離は概ねデバイ長以内の空間スケールとなる。

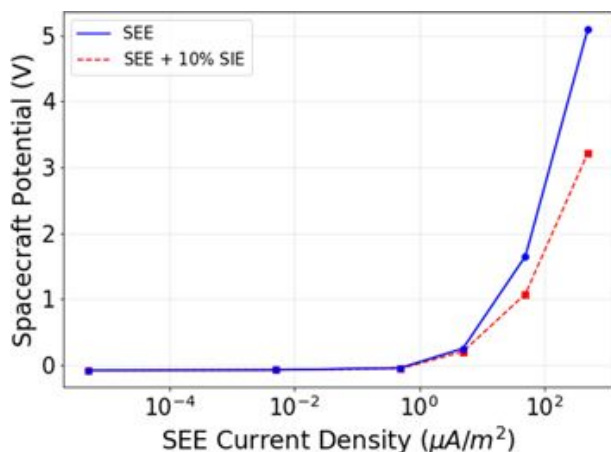


図 3. 中性粒子衝突に伴う二次電子放出量とカッシーニ探査機表面電位の関係。

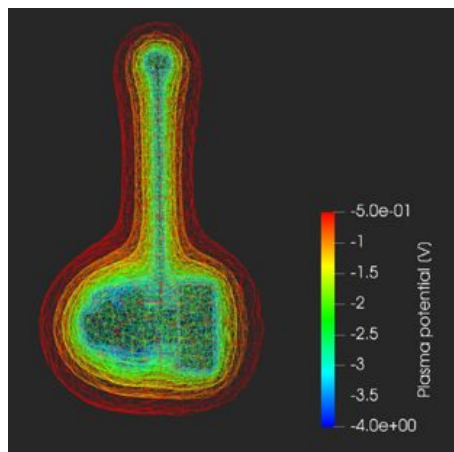


図 4. 彗星高密度プラズマにおける Comet Interceptor 衛星周辺の等電位面構造。

4 - 4 . まとめ

研究実施期間を通して、本研究の主題である固体プラズマ相互作用に関して 表面帯電の特異性によって生じる荷電粒子の異常反射・散乱、プラズマ - 固体境界層で生じる電子速度分布変化が原因となる電磁・静電波動励起、中性粒子衝突に起因する固体表面からの荷電粒子放出過程、という新たな側面に光を当てることに成功した。これらの内 と に関して、一般の静電シース物理で言及されるデバイ長スケールを大きく超える長距離波及効果を発現する可能性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakazono J., Miyake Y.	4. 巻 128
2. 論文標題 Unconventional Surface Charging Within Deep Cavities on Airless Planetary Bodies: Particle In Cell Plasma Simulations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Planets	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JE007589	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 -
1. 著者名 Zhang Z., Desai R. T., Shebanits O., Johansson F. L., Miyake Y., Usui H.	4. 巻 4
2. 論文標題 Simulating Secondary Electron and Ion Emission from the Cassini Spacecraft in Saturn's Ionosphere	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Planetary Science Journal	6. 最初と最後の頁 105-105
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/psj/acd844	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Miyake Y., Sunada Y., Tanaka Y., Nakazawa K., Nanri T., Fukazawa K., Katoh Y.	4. 巻 14074
2. 論文標題 Implementation of Coupled Numerical Analysis of Magnetospheric Dynamics and Spacecraft Charging Phenomena via Code-To-Code Adapter (CoToCoA) Framework	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computational Science; ICCS 2023. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 438-452
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-36021-3_46	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 -
1. 著者名 Zhang Z., Desai R., Shebanits O., Miyake Y., Usui H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Cassini's floating potential in Titan's ionosphere: 3-D Particle-In-Cell Simulations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 2023 XXXVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23919/ursigass57860.2023.10265366	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 Bergman S., Miyake Y., Kasahara S., Johansson F. L., Henri P.	4. 巻 959
2. 論文標題 Spacecraft Charging Simulations of Probe B1 of Comet Interceptor during the Cometary Flyby	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 138 ~ 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad0ce5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Brask S. M., Mishra R., Holen G., Miyake Y., Usui H., Miloch W. J.	4. 巻 31
2. 論文標題 Spherical Langmuir probes in magnetized plasma. A model based on particle-in-cell simulations	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	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) 10.1063/5.0177775	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22件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 三宅洋平
2. 発表標題 イオン電流が駆動する表面帯電現象の物理機構について
3. 学会等名 第17回宇宙環境シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅洋平、中園仁
2. 発表標題 月面近傍プラズマ・静電気環境研究の最近の動向と今後の展望
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅洋平
2. 発表標題 人類の活動の場としての月面環境 ~月ダストに関わる学理を中心に~
3. 学会等名 第16回生存圏フォーラム特別講演会「宇宙で持続可能性を考える」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中園仁、三宅洋平
2. 発表標題 月面の凹凸に起因する非従来型帯電現象に関するプラズマ粒子シミュレーション
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nakazono J., Miyake Y.
2. 発表標題 Numerical Simulations on Solar-Wind-Driven Surface Charging within Deep Cavities on the Moon
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中園仁、三宅洋平
2. 発表標題 月空洞表面における太陽風駆動の正帯電過程に関する粒子シミュレーション
3. 学会等名 第24回惑星圏研究会 (SPS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中園仁、三宅洋平
2. 発表標題 表面形状に依存した非一様月面帯電に関する粒子シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅洋平
2. 発表標題 A Decade of Effort in HPC toward Realistic Scale Spacecraft-Environment Interaction Simulations
3. 学会等名 8th International Workshop on Large-scale HPC Application Modernization (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅洋平、松本洋介、太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会
2. 発表標題 太陽地球惑星系科学分野におけるシミュレーション研究の将来構想
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第150回総会及び講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室賀健太、三宅洋平、臼井英之
2. 発表標題 粒子シミュレーションによる微粒子後方プラズマウェイクの構造解析
3. 学会等名 2021年度RISH電波科学計算機実験(KDK)シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅洋平
2. 発表標題 粒子モデルプラズマ運動論シミュレーションの高効率計算技法
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅洋平、Miloch W.J.、Kjus S. H.、Pecseli H. L.
2. 発表標題 弱磁化宇宙プラズマ中の固体物体周辺の静電構造に関する粒子シミュレーション
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会 総会および講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口慧士、三宅洋平、深沢圭一郎、臼井英之
2. 発表標題 宇宙環境の時間変動を考慮した人工衛星帯電数値解析手法の開発
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会 総会および講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅洋平、中園仁、臼井英之
2. 発表標題 The Surface Charging Processes of Airless Planetary Bodies
3. 学会等名 第22回惑星圏研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyake Y.
2. 発表標題 Numerical Study of Surface Charging Process on Airless Planetary Bodies
3. 学会等名 8th MMX/SSG-SST meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miyake Y., Nakazono J.
2. 発表標題 Lunar Plasma and Electrostatic Environment: Numerical Approach and its Future Prospects
3. 学会等名 EGU General Assembly 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nakazono J., Miyake Y.
2. 発表標題 Numerical Analysis of Intense Surface Charging inside Deep Cavities on the Moon
3. 学会等名 35th URSI General Assembly and Scientific Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miyake Y.
2. 発表標題 Role of Numerical Studies in the Electrostatics of the Moon
3. 学会等名 LuPIN-1: Lunar Plasma Interdisciplinary Network (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅洋平、砂田洋平、田中唯逸、深沢圭一郎、南里豪志、加藤雄人
2. 発表標題 コード間結合フレームワークに基づく宇宙環境変動 - 衛星帯電現象連成解析プラットフォームの開発
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅洋平、中園仁、早稲田卓、宮城紀花
2. 発表標題 月探査を見据えた月面帯電環境研究の現状と今後の展望
3. 学会等名 第67回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nakazono J., Miyake Y.
2. 発表標題 Solar Wind Driven Localized and Strong Electric Charging of Irregular Surfaces on the Moon
3. 学会等名 AGU Annual Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miyake Y.
2. 発表標題 Numerical Study on Long-Range Influences of Space Plasma Interactions with Airless Planetary Bodies
3. 学会等名 AGU Annual Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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
研究協力者	ミロク ヴォイチェック (Miloch Wojciech)	オスロ大学	
研究協力者	デサイ ラヴィンドラ (Desai Ravindra)	ウォーリック大学	

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			
ノルウェー	オスロ大学			
英国	インペリアルカレッジ・ロンドン	ウォーリック大学		
米国	LASP、コロラド大学ボルダー校			