

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02346

研究課題名（和文）超熱速度領域における分子散乱ダイナミクスと超低高度・低抵抗衛星設計へのインパクト

研究課題名（英文）Molecular scattering dynamics at hyperthermal velocities and its impact on low drag satellite

研究代表者

田川 雅人（Tagawa, Masahito）

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10216806

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本プロジェクトでは超低高度（VLEO）衛星の大気抵抗を低減するために、衛星表面材上での分子散乱角度分散を計測した。その結果、ポリイミド表面からの分子線散乱は鏡面反射成分が優勢であるが、原子状酸素を照射すると拡散反射成分が増加することが明らかになった。同様の変化は国際宇宙ステーションで実際に宇宙環境に曝露したポリイミドでも観察された。本実験で得られた散乱分布をDSMC計算における散乱モデルとして実装し衛星抵抗を計算したところ、原子状酸素曝露により衛星大気抵抗が増大すること、鏡面反射成分が優勢な二次元物質を表面材料とすることで、衛星大気抵抗を減少させることが可能なことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超低軌道（VLEO）領域では大気密度が大きいいため、衛星の低抵抗化が重要な設計ポイントとなる。VLEOでの大気分子流れは分子流領域であることから、超低軌道衛星の低抵抗化には航空機とは全く異なる超熱速度希薄流体力学の適用が必要となるが、実験設備がなかったことから世界的にも未踏の学術領域である。本研究では独自のシステムにより超熱分子速度領域の分子散乱を実験的に計測し、低抵抗衛星設計技術の確立を行った。

研究成果の概要（英文）：In this project, angular distribution of scattering atoms on satellite materials was measured in order to reduce atmospheric drag of VLEO satellites. The results showed that the molecular beam scattering from the polyimide surface was dominated by the specular reflection component, while the diffuse reflection component increased for the material irradiated by atomic oxygen. Similar changes were observed for the polyimide exposed to LEO environment on the ISS. The scattering distribution obtained in this experiment was implemented as a scattering model in DSMC calculations to calculate satellite drag. It was shown that the atmospheric drag increased by the exposure to atomic oxygen, and that the drag could be reduced by using a two-dimensional material with a predominant specular reflection component as the surface material.

研究分野：宇宙環境工学

キーワード：地球高層大気 大気密度 衛星大気抵抗 超低高度衛星 分子散乱

### 1. 研究開始当初の背景

1990年代に入り低地球軌道領域での大気組成の主成分である原子状酸素による材料劣化現象が無視できないことが明らかになり、低地球軌道で必要とされる 8 km/s の並進速度を有する原子状酸素ビームの形成が重要視されてきた。しかしながら、装置の特殊性もあり、同様の技術を有する自在に駆使できる研究グループは世界的に見ても極めて限られている。近年、低地球軌道よりもさらに高度の低い超低軌道での衛星開発の機運が高まり、低地球軌道宇宙環境の専門家として本申請者は世界初の超低高度衛星「つばめ」のミッション開発プロジェクトに招聘された。分子散乱ダイナミクスは衛星大気抵抗に直結することから、超低軌道衛星の開発に極めて重要な技術であるにも関わらず、分子の加速方法がなかったことから実験的に未開拓の学術研究分野である。本申請者は、レーザーデトネーション法で形成される超熱原子ビーム技術を有しており、このスキルを宇宙工学のみならず表面科学分野にも応用した多くの研究を行ってきた。大型放射光施設を用いた表面分析や応用物理学会・ビーム応用大分類代表等を通しての活動により、原子状酸素劣化現象の理論的バックグラウンドとなる表面工学的な立場からの研究も行っている。この表面科学実験技術に関する知見と宇宙工学分野の双方の知識が本研究課題の実施にきわめて重要であることから、本研究を企画したものである。

### 2. 研究の目的

本研究では超低軌道領域を開拓するためのキーテクノロジーとなる超熱速度領域の気体分子の表面散乱ダイナミクスについて、その散乱分布関数の実表面での衝突速度依存性等を明らかにすることで基本的な理解を深めるとともに、超低高度衛星設計に与える工学的インパクトを明確化しようとするものである。分子の固体表面での散乱現象は、多くの場合 100% 拡散反射とされている。これは分子入射速度が熱的平衡状態である場合には正しいことが実験的に証明されているが、宇宙機表面のような超熱速度領域での分子散乱は拡散反射ではなく、鏡面的な非弾性散乱に近く、その分布は表面材料や表面状態によって大きく異なる可能性がある。本研究では、この超熱速度領域の分子線を発生させるレーザーデトネーション装置を国内で唯一学術研究に利用できる本研究グループが、本装置に分子線散乱計測システムを追加することにより、以下の点を明らかにすることを目的とする。(1) 原子状酸素など気体分子衝突による衛星表面材料劣化反応において、衝突分子の運動量効果がどのような効果を与えているかを明確化する。さらに表面化学反応に運動量効果を加味した Collision-induced reaction scheme を開拓する (表面科学への貢献)。(2) 衝突分子が衛星表面で鏡面的な非弾性散乱分布をもつことを利用し衛星の機体形状を最適化することによって低抵抗衛星を設計できるかを検証する (宇宙工学への貢献)。(3) 今後の衛星設計や惑星探査に不可欠となる直接モンテカルロ法 (DSMC) などの計算科学分野で、これまで実験的な裏打ちなしに適用されてきた超熱速度領域での散乱分布関数を修正する (計算科学への貢献)。

### 3. 研究の方法

本研究では国内で申請者のみが保有する 3 式のレーザーデトネーション装置の 1 台に固体表面で散乱された原子状酸素の検出装置を新規に追加し、その角度分散を計測する簡易的なシステムを構築した (図 1)。具体的には超高真空を実現できるリアクションチャンバー内に回転可能な試料台を新設した。試料に入射する原子ビームを直径 3mm のスキマーによって絞り、試料表面で散乱した原子は試料表面を中心に回転可能な電離真空計で検出した。システムの評価を終了したのち、各種実表面での散乱分布測定を行い、その結果を DSMC へ適用することにより宇宙機の大气抵抗を評価した。

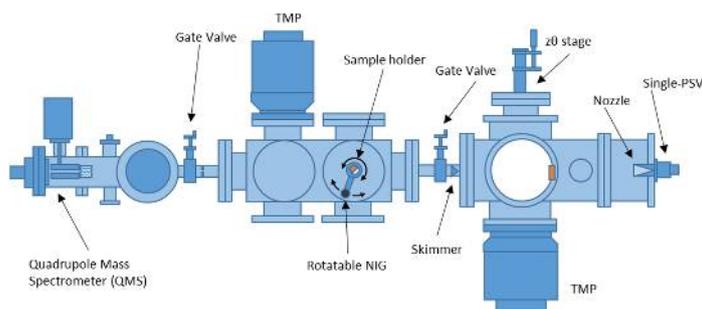


図 1 レーザーデトネーション原子状酸素発生装置

### 4. 研究成果

(1) 図 2 に本研究で試作したシステムを用いて計測した Kapton で散乱された散乱ビームの飛行時間(TOF)スペクトルを示す。本計測は熱速度の Ar ビームを 3E-7Pa の压力下で計測したものであり、入射角 60°、検出角 60°である。図 2 の時刻 0 は PSV のオープントリガー信号の入力時刻である。約 3 ms に明確なピークが観測できており、バックグラウンドを差し引いた後のピーク面積から散乱強度を算出した。図 3 に Au 平面ミラー表面からの Ar ビーム散乱角度分布を示す。

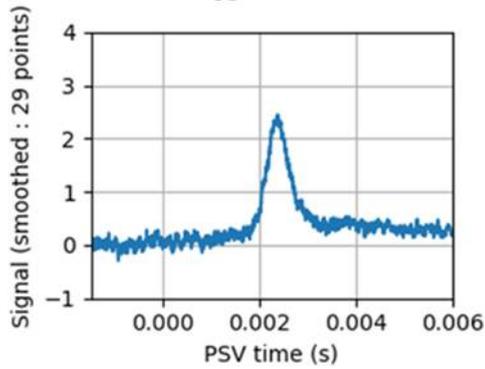


図2 Arの飛行時間スペクトル

入射角は $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ で計測を行い、図中の矢印は原子線入射方向を示している。極座標表示では原点からの距離が面積強度を表す。入射角 $30^\circ$ と $60^\circ$ では鏡面反射方向に葉状分布を示していることがわかる。一方で入射角 $0^\circ$ においては葉状散乱と拡散散乱が重畳した分布となっている。このような葉状散乱は他の多くの研究においても確認されていることから[1]、本実験の計測システムは十分な精度で角度分布を計測できるものと評価された。

(2)SiとKapton表面からの散乱角度分布を図4に示す。入射角が $0^\circ$ の場合Kapton(左)では拡散反射を表す法線方向を対称軸とする円弧の一部が確認される。入射角が $30^\circ$ 、 $45^\circ$ の場合は拡散反射を表す検出角 $0^\circ$ 付近のcosine分布の強度が小さいことから、Kaptonでは鏡面反射が優勢であると考えられる。一般に、入射時の接線方向の運動量が大きい場合には接線方向の運動量は保存され、分布の広がりが小さくなる[2]。これは入射時の角度が鋭くなることで、気体分子と表面の分子との相互作用が小さくなるためである。Kaptonでは入射角が大きい場合に特にこの傾向が顕著にあらわれている。Si(右)と比較するとKaptonは入射角が小さい場合に拡散反射が主として優勢となる点異なることが確認された。

(3)ExHAMにより実際に宇宙環境に曝露されたKapton表面での散乱角度分布計測を行った。ExHAM実験ではKaptonをAO曝露量が最も多いISSのram方向に搭載し、AO曝露量は $3E+20$  atoms/cm<sup>2</sup>と推定されている[3]。ExHAM実験に搭載されたKapton(ExHAM-Kapton)を試料とする散乱角度分布を図5(右)に示す。宇宙環境に曝露されることでKaptonの散乱角度分布は大きく変化することが明らかになった。入射角 $0^\circ$ では図4のSiと同様に粒子の入射方向に強い鏡面反射成分が確認された。それに対して入射角 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ では鏡面成分は確認されず、拡散散乱成分が優勢である。このような散乱分布になった原因としてマイクロスケールでの材料表面形状の変化が考えられる。

今回の実験結果から宇宙環境に曝露される前のVirgin-Kaptonは入射角 $0^\circ$ では拡散反射、入

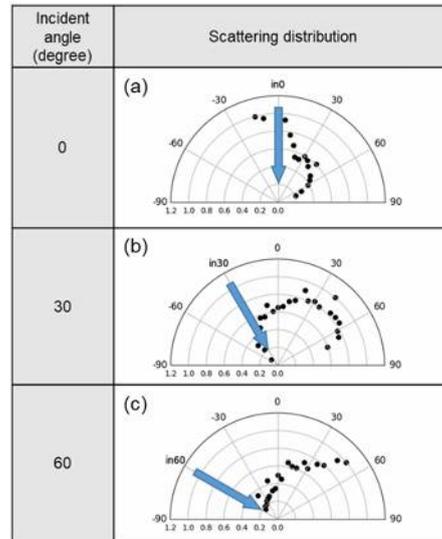


図3 Au平面ミラー表面での散乱角度分布

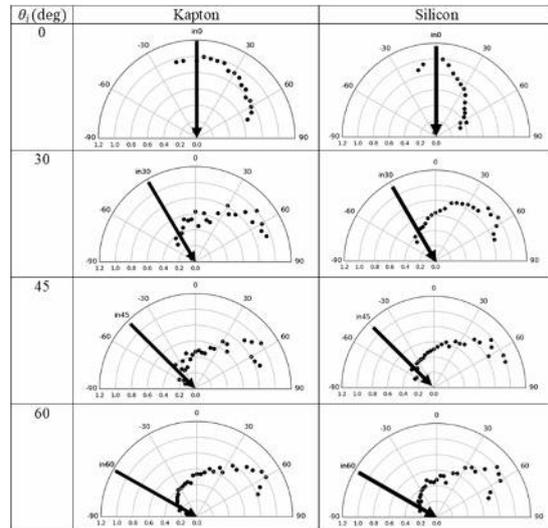


図4 KaptonとSilicon表面での散乱角度分布

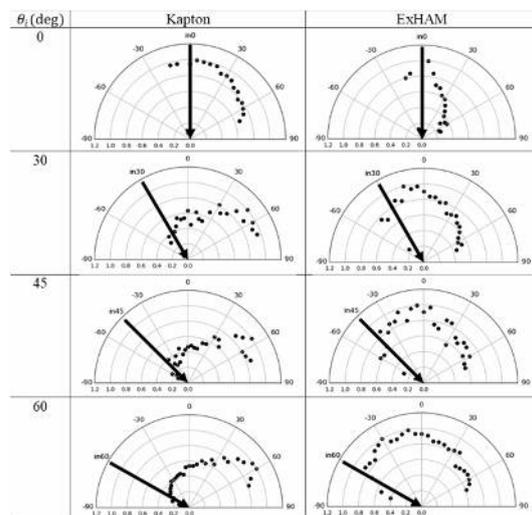


図5 宇宙環境曝露前後におけるKapton表面での散乱角度分布の変化。Virgin-Kapton(左)、EXHAM-Kapton(右)

射角が大きい場合は鏡面反射が優勢であるが、宇宙環境に曝露されることにより、入射角  $0^\circ$  では鏡面反射、入射角が大きい場合には拡散反射が優勢となるという宇宙環境曝露前とは完全に逆の特性が観測された。

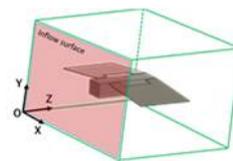


図 6 DSMC による大気抵抗計算モデル

(4) 前項で測定した Kapton、Si をはじめとする各材料の散乱角度分布を反映させた DSMC 計算を行い衛星の大気抵抗への効果を検証した。衛星モデルとしては SLATS 形状を模擬したモデルを用いた(図 6)。大気抵抗計算結果を表 1 に示す。抵抗係数 ( $C_{DA}$ ) が小さい順に、Mica、HOPG、Si、Virgin-Kapton、ExHAM-Kapton となった。Mica の抵抗係数が最も低い原因として、入射角  $0^\circ$  付近では拡散散乱成分が多く、入射角  $60^\circ$  では鏡面反射成分が大きいためであると考えられる。この結果から衛星正面では拡散反射を生じる材料を、側面では鏡面反射が主となる材料を選択的に配置することで分子散乱特性を制御し、衛星大気抵抗を低減できる可能性が示された。

表 1 DSMC による大気抵抗値

Surface Material	$C_{DA}$
Virgin-Kapton	2.226
Silicon	2.131
Mica	2.080
HOPG	2.104
ExHAM-Kapton	2.437

<引用文献>

[1] Carlo Cercignani, “Rarefied Gas Dynamics: From Basic Concepts to Actual Calculations”, Cambridge University Press, 2000

[2] 小林敏雄ほか, 数値流体力学シリーズ 5 燃焼・希薄流・混相流・電磁流体の解析, 東京大学出版会, 第 1 版, 1995

[3] Nozomu Kogiso, Hiroaki Tanaka, Tadashige Ikeda, Kosei Ishimura, Masato Tagawa, Minoru Iwata, Motoharu Fujigaki, “Result of Exposure Experiment of Piezoelectric Actuators Using ExHAM”, Proceedings of the 33rd International Symposium on Space Technology and Science, Beppu, Oita, February 26 – March 4, 2022

## 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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kumiko Yokota, Masahito Tagawa, Yusuke Fujimoto, Wataru Ide, Yugo Kimoto, Yuta Tsuchiya, Aki Goto, Kazuki Yukumatsu, Eiji Miyazaki, Shunsuke Imamura	4. 巻 13
2. 論文標題 Effect of simultaneous N2 collisions on atomic oxygen-induced polyimide erosion in sub-low Earth orbit: comparison of laboratory and SLATS data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 EAS Space Journal	6. 最初と最後の頁 389-397
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -
1. 著者名 Takashi Ozawa, Shunsuke Imamura, Masahito Tagawa, Kazuhisa Fujita	4. 巻 19
2. 論文標題 Study of rarefied aerodynamics for super low altitude satellite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Aerospace Technology Japan	6. 最初と最後の頁 407-414
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Masahito Tagawa, Ryota Okura, Wataru Ide, Sasuga Horimoto, Keisuke Ezaki, Atsushi Fujita, Kosuke Shoda, Kumiko Yokota,	4. 巻 14
2. 論文標題 Laser-detonation hyperthermal beam source applicable to VLEO environmental simulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CEAS Space Journal (2022) accepted	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Kosuke Shoda, Naoki Kano, Yuki Jotaki, Keisuke Ezaki, Kazuki Itatani, Takashi Ozawa, Yusuke Yamashita, Kazutaka Nishiyama, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa	4. 巻 14
2. 論文標題 Anisotropic molecular scattering at microstructured surface for rarefied gas compression inside air breathing ion engine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 EAS Space Journal	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Yuichi Haruyama, Daiki Morimoto, Akira Heya, Koji Sumitomo, Seigo Ito, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa,	4. 巻 61
2. 論文標題 Effect of atomic hydrogen exposure on hydrogenated amorphous carbon thin films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 三宅洋平, 白井英之, 桐山武士, 白川遼, 田川雅人	4. 巻 33
2. 論文標題 宇宙機近傍プラズマ現象の数値シミュレーション	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 混相流	6. 最初と最後の頁 258-266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 Masahito Tagawa, Yusaku Ashida Koki Sugimoto, Kosuke Shoda, Keisuke Ezaki, Kumiko Yokota, Takashi Ozawa, Yusuke Yamashita, Kazutaka Nishiyama
2. 発表標題 Passive compression device in molecular flow by surface scattering: A key device for spacecraft intake system
3. 学会等名 The 5th International Workshop on Scattering of Atoms and Molecules from Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahito Tagawa, Kumiko Yokota, Atsushi Fujita, Wataru Ide, Yasunobu Miyoshi, Yuta Tsuchiya, Aki Goto, Kazuki Yukumatsu, Eiji Miyazaki, Yugo Kimoto
2. 発表標題 Atomic oxygen density variation measured by SLATS/AOFS: Comparison of flight data and atmospheric model predictions
3. 学会等名 15th International Symposium on Materials in a Space Environment / 13th International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Masahito Tagawa, Kumiko Yokota, Wataru Ide, Atsushi Fujita, Shohei Urakawa, Yuta Tsuchiya, Aki Goto, Kazuki Yukumatsu, Eiji Miyazaki, Yugo Kimoto
2 . 発表標題 Shielding effect of atomic oxygen by satellite structure observed on SLATS and its compensation for material exposure experiment
3 . 学会等名 15th International Symposium on Materials in a Space Environment / 13th International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kumiko Yokota, Masahito Tagawa, Wataru Ide, Atsushi Fujita, Sasuga Horimoto, Santa Nishioka, Keisuke Ezaki, Yuta Tsuchiya, Aki Goto, Kazuki Yukumatsu, Eiji Miyazaki, Yugo Kimoto
2 . 発表標題 N2-acceleration effect on atomic oxygen-induced polyimide erosion in sub-LEO observed by SLATS/AOFS
3 . 学会等名 15th International Symposium on Materials in a Space Environment / 13th International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yugo Kimoto, Yuta Tsuchiya, Eiji Miyazaki, Aki Goto, Kazuki Yukumatsu, Shunsuke Imamura, Haruo Kawasaki, Masanori Sasaki, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa, Wataru Ide, Atsushi Fujita, Shohei Urakawa, Sasuga Horimoto, Santa Nishioka
2 . 発表標題 Impact of neutral atmosphere environment on SLATS
3 . 学会等名 15th International Symposium on Materials in a Space Environment / 13th International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Zilina Iskanderova, Jacob Kleiman, Masahito Tagawa, Santa Nishioka, Sasuga Horimoto
2 . 発表標題 Space polymers erosion in simulated LEO and VLEO environments
3 . 学会等名 15th International Symposium on Materials in a Space Environment / 13th International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahito Tagawa, Kumiko Yokota
2. 発表標題 Perspective on Atomic Oxygen Reaction with Thermal Control Materials in Space
3. 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Ezaki, Kazuki Itatani, Yuki Fukami, Yusaku Ashida, Yasushi Ohkawa, Satomi Kawamoto, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Performance change of field emission cathode by atomic oxygen irradiation
3. 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference, (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sasuga Horimoto, Santa Nishioka, Wataru Ide, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 A research on material degradation of spacecraft in sub-low Earth orbit environment -An estimate of the contribution of inert molecule's energy to the acceleration effect of the erosion of polyimide -
3. 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference, (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kumiko Yokota, Sasuga Horimoto, Wataru Ide, Santa Nishioka, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Surface erosion of carbon-based materials in VLEO space environment: Collision-induced desorption by atmospheric N2 associated with oxidation by O
3. 学会等名 The 14th International Symposium on Atomic Level Characterization of New Materials and Devices (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sasuga Horimoto, Atsushi Fujita, Wataru Ide, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Accelerated A0-induced polyimide erosion in VLEO by simultaneous collisions of hyperthermal N2 molecules
3. 学会等名 1st International Symposium on VLEO Missions and Technologies, Manchester, UK, June 28-29, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishi Kato, Shoma Taira, Momoka Shimoi, Kumiko Yokota, Yoshinori Nakayama, Takashi Ozawa, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Atmospheric density probe for VLEO applications
3. 学会等名 1st International Symposium on VLEO Missions and Technologies, Manchester, UK, June 28-29, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahito Tagawa, Wataru Ide, Naoki Kano, Momoka Shimoi, Yuki Fukami, Kosuke Shoda, Taishi Kato, Kazuki Itatani, Atsushi Fujita, Sasuga Horimoto, Keisuke Ezaki, Shoma Taira, Yuki Jotaki, Kumiko Yokota
2. 発表標題 VLEO-related research activities at Kobe University
3. 学会等名 1st International Symposium on VLEO Missions and Technologies, Manchester, UK, June 28-29, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Shoda, Naoki Kano, Yuki Jotaki, Keisuke Ezaki, Kazuki Itatani, Takashi Ozawa, Yusuke Yamashita, Kazutaka Nishiyama, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Molecular scattering at microstructured surface for rarefied gas compression inside air breathing ion engine
3. 学会等名 1st International Symposium on VLEO Missions and Technologies, Manchester, UK, June 28-29, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsushi Fujita, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa, Wataru Ide, Sasuga Horimoto, Yugo Kimoto, Yuta Tsuchiya, Aki Goto, Kazuki Yukumatsu, Eiji Miyazaki, Yasunobu Miyoshi
2. 発表標題 AO density variations during geomagnetic anomaly observed by SLATS
3. 学会等名 2nd Applied Space Environments Conference, November 1-5, 2021, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Itatani, Keisuke Ezaki, Fukami Yuki, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa, Yasushi Ohkawa, Satomi Kawamoto
2. 発表標題 Effect of direct atomic oxygen exposures on carbon nanotube field emission cathode: comparison of flight data and in-situ ground-based experiment
3. 学会等名 2nd Applied Space Environments Conference, November 1-5, 2021, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Ezaki, Kosuke Shoda, Kazuki Itatani, Yuki Jotaki, Yuki Jotaki, Yusaku Ashida, Koki Sugimoto, Takashi Ozawa, Yusuke Yamashita, Kazutaka Nishiyama, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Scattering behavior of thermal molecular beams at microstructured surface for high compression intake system of air breathing ion engine
3. 学会等名 33rd International Symposium on Space Technology and Science, February 26 - March 4, 2022, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shoma Taira, Taishi Kato, Momoka Shimoi, Taiga Adachi, Towa Ushijima, Yusuke Yamashita, Takashi Ozawa, Takumi Abe, Yoshinori Nakayama, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Development of atmospheric density probe aboard S-520-32 sounding rocket
3. 学会等名 33rd International Symposium on Space Technology and Science, February 26 - March 4, 2022, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Sasuga Horimoto, Atsushi Fujita, Shohei Urakawa, Santa Nishioka, Wataru Ide, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2 . 発表標題 Ground-based experiment for simultaneous N2 collision effect on atomic oxygen-induced polyimide erosion in sub-low Earth orbit
3 . 学会等名 33rd International Symposium on Space Technology and Science, February 26 - March 4, 2022, Online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Nozomu Kogiso, Hiroaki Tanaka, Tadashige Ikeda, Kosei Ishimura, Masato Tagawa, Minoru Iwata, Motoharu Fujigaki
2 . 発表標題 Result of Exposure Experiment of Piezoelectric Actuators Using ExHAM
3 . 学会等名 33rd International Symposium on Space Technology and Science, February 26 - March 4, 2022, Online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kumiko Yokota, Masahito Tagawa, Jacob I. Kleiman
2 . 発表標題 Atomic Oxygen Exposure Test Capabilities at Kobe University: Its Performance and Limitations
3 . 学会等名 Advanced Space Environmental Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masahito Tagawa, Ryota Okura, Kumiko Yokota
2 . 発表標題 Reduced Dissociation of Molecules in Laser-Detonation-Driven Hyperthermal Beams
3 . 学会等名 Advanced Space Environmental Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Shirakawa, Hideyuki Usui, Yohei Miyake, Masahito Tagawa, Kazutaka Nishiyama
2. 発表標題 Particle simulations of ECR plasma generation in air breathing ion engine
3. 学会等名 Joint Symposium of 32nd International Symposium on Space Technology and Science and 9th Nano-Satellites Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Ozawa, Shunsuke Imamura, Masahito Tagawa, Kazuhisa Fujita
2. 発表標題 Study of rarefied aerodynamics for super low altitude satellites
3. 学会等名 Joint Symposium of 32nd International Symposium on Space Technology and Science and 9th Nano-Satellites Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tagawa, K. Yokota, R. Shirakawa, N. Kano, M. Shimoi, F. Ezuka, K. Matsuoka, S. Imamura, K. Nishiyama, T. Ozawa
2. 発表標題 Importance of atom-surface scattering on the design criteria of future air breathing ion engine
3. 学会等名 23rd International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田川雅人、横田久美子
2. 発表標題 超低軌道衛星への挑戦 宇宙の渚へアクセスする技術開発
3. 学会等名 うめきたSpace Laboratory, Vol.1 and Vol.2
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸大学大学院工学研究科における宇宙環境研究のページ  
<http://www.space-environmental-effect.jp/index.html>

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	横田 久美子  (Yokota Kumiko)  (20252794)	神戸大学・工学研究科・助手    (14501)	
研究分担者	岩田 稔  (Iwata Minoru)  (80396762)	九州工業大学・大学院工学研究院・准教授    (17104)	

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
---------	---------