

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01624

研究課題名（和文）超低高度に適用可能な高強度混合原子線照射技術と「つばめ」搭載超低軌道材料劣化解析

研究課題名（英文）Atomic beam technology applicable to VLEO application and erosion analysis on materials aboard SLATS

研究代表者

横田 久美子（Yokota, Kumiko）

神戸大学・工学研究科・助手

研究者番号：20252794

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,900,000円

研究成果の概要（和文）：世界的に注目されている超低地球軌道（VLEO）領域の開拓には濃密な原子状酸素密度に加えて、高度に応じた窒素分子割合を再現できる地上試験技術の開発が要求されている。本研究では本申請者の有する超低軌道宇宙環境模擬技術をベースに超低軌道上環境曝露試験方法の開発、「つばめ（SLATS）」によって得られた世界初の超低軌道上環境曝露試験の結果と比較・解析を実施したものである。本研究の結果、VLEO地上対照実験に用いることのできるワンノズル・ツービーム技術の実現、世界初のVLEOフライトデータであるSLATS/AOFSデータ解析を実施し、両者の結果を統一的に解釈することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Starlinkなど世界的に注目されている超低地球軌道（VLEO）領域では濃密な原子状酸素密度と窒素分子の同時衝突による急速な材料劣化が生じることが世界初の超低軌道衛星「つばめ（SLATS）」で示されている。本研究ではこの極限環境を再現できる地上試験技術（ワンノズル・ツービーム法）の開発と、SLATSで得られた軌道上データと比較することによる材料劣化メカニズムの解析に成功し、VLEO用材料試験技術を確立することに成功した。

研究成果の概要（英文）：The development of the very low earth orbit (VLEO) region, which is attracting worldwide attention, requires the development of ground test technologies that can reproduce the mixture ratio of nitrogen molecules and atomic oxygen, in addition to the number density of atmosphere. In this study, we developed a VLEO exposure test method and compared the results with those obtained by the world's first VLEO exposure test using the "Tsubame" (SLATS). As a result of this study, we realized a one-nozzle two-beam technology, we developed, could reproduce the results of the VLEO material test aboard SLATS.

研究分野：宇宙環境工学

キーワード：超低地球軌道 原子状酸素 窒素分子 材料劣化 SLATS VLEO

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙環境は宇宙機の信頼性に直結する問題であることから全ての宇宙ミッションに関わるが、これを専門とする研究者は国内には非常に少ない。欧米では NASA や ESA/ESTEC をはじめとする宇宙機関や大学等が精力的に研究開発を行っているが、国内での研究体制は極めて薄い。この現状は文部科学省でも認識されており、2015 年から国内関連研究者による「宇宙材料劣化研究拠点」のプロジェクトが 3 年計画で行われ、本申請グループは日本で唯一、高度な超低軌道原子状酸素環境模擬技術を保有するグループとして、その一翼を担ってきた。しかしながら、軌道上の原子状酸素環境を地上で完全に再現することは原理的に困難であり、材料劣化に対する影響が軽微と思われる部分については地上実験装置内での再現をあきらめざるを得ないのが現状である。この取捨選択を誤ると地上試験の定量性が損なわれる。今回、超低軌道環境でクローズアップされているのは窒素分子の同時衝突効果である。超低地球軌道での地上材料試験条件を確立する上では実際の軌道上での曝露試験との比較が絶対必要である。そのため、「つばめ」を利用した世界初の超低軌道環境における軌道上材料試験(SLATS/AOFS および SLATS/MDM)のデータと高度な地上試験結果を比較することは極めて重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では申請者が科研費の支援により世界で初めて開発した超低軌道宇宙環境模擬技術（非熱平衡系多成分高速原子分子ビーム形成技術）を用いた地上試験と、実際の超低軌道上環境曝露試験の結果とを直接比較する。本研究の目的は、(1) 超低軌道シミュレーションで必須となる原子状酸素と窒素分子の同時照射技術を開発すること、(2) 世界初の「つばめ」搭載超低軌道上曝露実験である SLATS/AOFS、SLATS/MDM ミッションに搭載した本研究グループの試料劣化状態と、本装置による地上実験結果を直接比較することである。これにより ISS 軌道以外の宇宙環境を含む高精度な宇宙環境地上実験を実施する上でのチューニング技術など宇宙環境模擬に関する基盤的技術を獲得することができる。これらはいずれも世界初の試みであり、超低軌道地上試験技術開発を実際の軌道上実験とリンクさせることにより初めて可能となるものである。

### 3. 研究の方法

地上試験は申請者らが科研費の支援により世界で初めて開発した超低軌道宇宙環境模擬技術（非熱平衡系多成分高速原子分子ビーム形成技術）を適用したレーザーデトネーション原子状酸素ビーム発生装置（図 1）により行われた。本装置に用いられたワンノズル・ツービーム方式用 dual-PSV を図 2 に示す[1]。本システムは 2 種類のガスを時間差でノズル内に導入

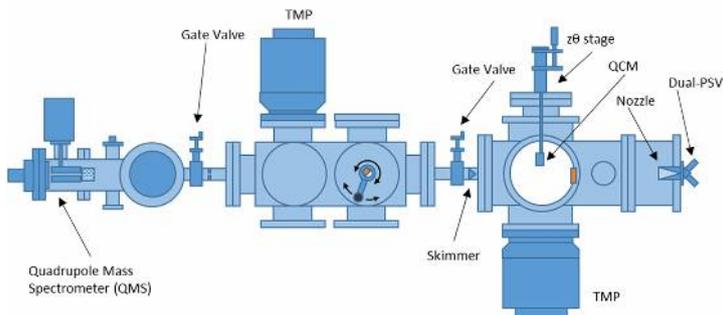


図 1 レーザーデトネーション原子状酸素発生装置

することで、分子解離を抑制するために開発されたシステムであるが、これを完全に独立に動作させるモードを新たに開発した。図 3 に実験に用いた原子状酸素ビームと Ar ビームの飛行時間 (TOF) スペクトルを示す。本システムを用いることにより超低地球軌道環境を模擬した原子状酸素と Ar の超熱ビームの照射条件を独立に制御できるという特徴がある。一方、SLATS（図 4）は 2017 年 12 月に打ち上げられ、2019 年 10 月 1 日に成功裏に全ミッションを終了した。材料劣化に関わる AOFS ならびに MDM ミッションはいずれもエクストラサクセスを達成し、本研究のリファレンスデータとなり得る世界初の超低軌道における材料劣化現象の観測に成功した[2]。



図 2 dual-PSV システム

### 4. 研究成果

(1) 図 5 にレーザーデトネーション型原子状酸素ビーム装置を用いて、平均エネルギー 4.2eV から 14eV の Ar と 2.8eV の原子状酸素を同時照射した場合のポリイミドの相対エッチングレートの変化を示す。ポリイミドは QCM 上に成膜

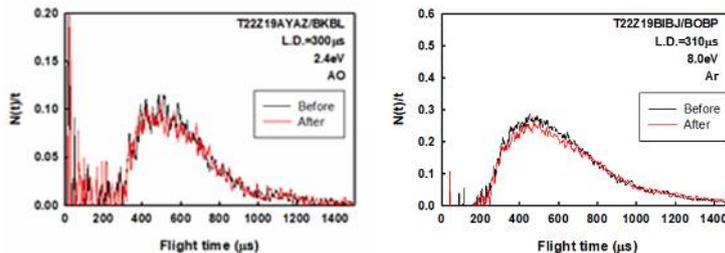


図 3 実験に用いた原子状酸素と Ar の飛行時間スペクトル

されたフィルムで質量減少をリアルタイムでモニターした。いずれのエネルギーでも Ar の割合が増えると線形的にエッチング速度の増大が観察されるが、Ar の平均エネルギーが 12eV 以下では Ar 衝突エネルギーによる大きな変化は生じない。一方、平均衝突エネルギーが 14eV では低エネルギーの場合に比べて明らかにエッチング速度の増大が見られた [3]。SLATS/AOFS による超低軌道での実測値と比較したのが図 6 である。SLATS のデータは地上実験データとよく一致している。このことは、軌道上での劣化増速効果は N<sub>2</sub> 衝突による物理的な効果に起因するものであり地上実験では Ar で代替できること、地上実験する場合の Ar エネルギーは 4~8eV 程度のエネルギーに設定することで軌道上の N<sub>2</sub> 衝突効果を定量的に再現できることが明らかになった。

(2) 代表的な 9 種類の高分子材料 (PEEK, PVDF, FEP, PTFE, Acetal, PVF, Mylar, Kapton) に LEO を模擬した原子状酸素ビームおよび VLEO を模擬した AO+Ar ビームを照射し、Ar 同時照射効果を検証した。2つの条件で測定した AO 反応効率 (E<sub>y</sub>: 原子状酸素 1 個あたりで失われる材料体積) の比を示した結果を図 7 に示す。縦軸は ASTM の基準にしたがって Kapton の E<sub>y</sub> で規格化したものである。図 7 より多くの炭化水素では 0.9 から 1.1 程度の値になり、Kapton と同じ割合で Ar 同時照射効果が発現していることがわかる。一方、FEP や PTFE などのフッ素系ポリマーでは 1.4 程度の値となり、より強く Ar 同時照射の影響を受けることが確認された [4]。

(3) SLATS の周回軌道における大気密度を NRLMSISE-00 大気モデルにより計算した結果を図 8 に示す。2019 年 7 月 23 日における高度 216km での周回軌道のデータでは原子状酸素密度は赤道に対してほぼ対称な分布であるが、N<sub>2</sub> 密度は北極域で高く南極域で低い非対称な分布となっている。その結果、地球高層大気中の N<sub>2</sub> 割合は地球 1 周回で 15% から 60% まで大きく変動することが解析の結果明らかになった (図 9)。グラフより N<sub>2</sub> 密度の平均は約 27% であることから、この高度の地上対象試験では Ar 割合を約 30% 程度に設定することで平均的な軌道環境を模擬できるものと思われる。ただし、この値は太陽活動によって大きく変化することが予想されるため、太陽活動には注意を払う必要がある。

(4) 本申請者らは SLATS/MDM に 1 mil 厚の FEP フィルムを搭載し、その破断時期から FEP の E<sub>y</sub> を計測す

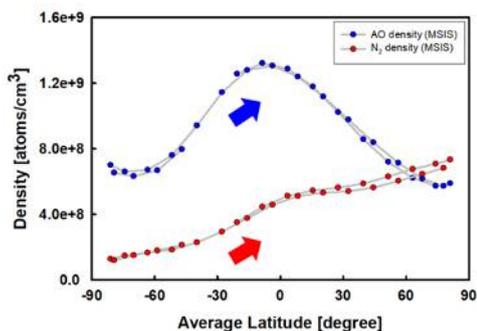


図 8 SLATS 軌道上での原子状酸素と N<sub>2</sub> 分布

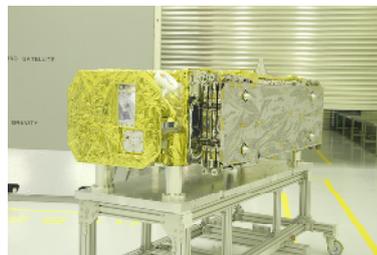


図 4 超低高度衛星技術試験機

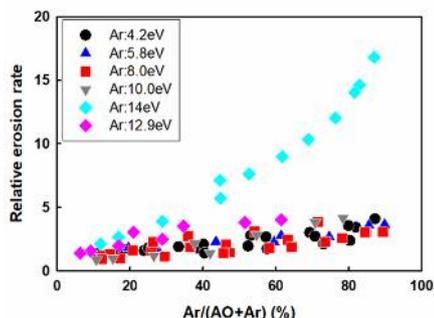


図 5 ポリイミドエッチングにおける Ar 同時照射効果

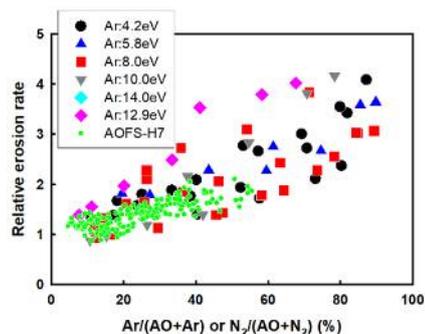


図 6 地上対照実験結果と SLATS 軌道上データの比較

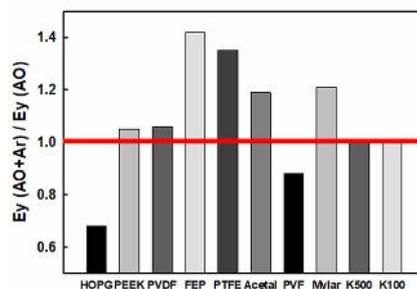


図 7 Ar 同時照射による反応率の変化

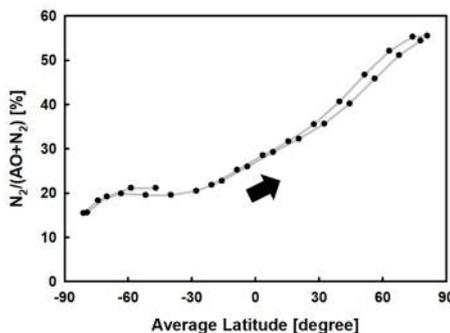


図 9 SLATS 軌道上での N<sub>2</sub> 割合

ることを意図していた。しかしながら、SLATS ミッションの最後に至ってもフィルムの破断は観察できなかった。その原因としてはMDMの搭載位置がSLATS胴体直下であったことから、SLATS構体による強い遮蔽効果を受けたためと解析された。そのため原子状酸素の熱運動を考慮した遮蔽効果モデルを構築し、MDMに搭載されたFEPサンプルへのAO曝露量の推定を行った。その結果、47%程度のAOがSLATS構体により遮蔽されていることが明らかになった。この事実は材料曝露試験の補正項として遮蔽効果が極めて重要であること、今後の軌道上材料曝露試験ではサンプル搭載位置に十分配慮する必要があることが示された。現在、MDMサンプルへの遮蔽効果を考慮した解析を行っており、結果がまとまり次第公表する予定である。

<引用文献>

- [1] Masahito Tagawa, Ryota Okura, Wataru Ide, Sasuga Horimoto, Keisuke Ezaki, Atsushi Fujita, Kosuke Shoda, Kumiko Yokota, "Laser-detonation hyperthermal beam source applicable to VLEO environmental simulations", CEAS Space Journal (2022) accepted
- [2] 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, "Impact of neutral atmosphere environment on SLATS", Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Symposium on Materials in a Space Environment / 13<sup>th</sup> International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment, Leiden, Netherlands, September 18-23, 2022.
- [3] 堀本流石、井出航、藤田敦史、浦川翔平、西岡燦太、土屋佑太、後藤亜希、行松和輝、宮崎英治、木本雄吾、田川雅人、横田久美子, "原子状酸素誘起材料劣化の窒素増速効果に関する地上検証", 第65回宇宙科学技術連合講演会、2021年11月9-12日、オンライン
- [4] Zilina Iskanderova, Jacob Kleiman, Masahito Tagawa, Santa Nishioka, Sasuga Horimoto, "Space polymers erosion in simulated LEO and VLEO environments", Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Symposium on Materials in a Space Environment / 13<sup>th</sup> International Conference on Protection of Materials and Systems from Space Environment, Leiden, Netherlands, September 18-23, 2022.

## 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 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 CEAS 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 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	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） 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 CEAS Space Journal	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） 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39件（うち招待講演 0件／うち国際学会 18件）

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 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 A0 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 Wataru Ide, Yusuke Fujimoto, Kim K. de Groh, Bruce A. Banks, Yuta Tsuchiya, Kazuki Yukumatsu, Aki Goto, Eiji Miyazaki Yugo Kimoto, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Kapton erosion yields in various flight environments
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 Naoki Kano, Ryo Shirakawa, Momoka Shimoi, Takashi Ozawa,
2. 発表標題 Direct simulation Monte Carlo evaluation of hyperthermal molecular flow 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 Momoka Shimoi, Ryota Okura, Ryo Shirakawa, Naoki kano, Shunsuke Imamura
2. 発表標題 Development of ionization gauge for in-orbit measurement of molecular density
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 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 横田久美子、白川遼、井出航、岩田稔、木本雄吾、田川雅人
2. 発表標題 国際宇宙ステーション材料曝露試験における原子状酸素フルーエンス過小評価の可能性
3. 学会等名 第40回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下位百香、松岡弘洋、小澤宇志、西山和孝、今村俊介、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 衛星搭載用超低地球軌道分子数密度測定装置の開発
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納直起、江塚風也、白川 遼、下位百香、小澤宇志、今村俊介、西山和孝、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道宇宙環境場におけるDSMCシミュレーションと適応係数に関する課題
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江塚風也、加納直起、白川 遼、下位百香、小澤宇志、今村俊介、西山和孝、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 ハニカム構造のコリメータを用いた大気吸入イオンエンジンの圧縮性能評価
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白川 遼、山下 裕介、神田大樹、細田聡史、月崎 竜堂、田川雅人、西山和孝
2. 発表標題 マイクロ波放電型イオンエンジン $\mu 10$ の放電室汚染による性能劣化の評価
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井出 航、藤田敦史、土屋祐太、後藤亜希、行松和輝、宮崎英治、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道環境下におけるポリイミド反応効率：地上試験結果と軌道上計測結果について
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田敦史、井出 航、土屋祐太、後藤亜希、行松和輝、宮崎英治、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道環境下におけるポリイミド反応効率：SLATS/AOFSデータ解析結果
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深見侑希、岩田 稔、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 原子状酸素照射の均一性改良と照射省力化に向けた検討
3. 学会等名 第56回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Fujimoto, Ryota Okura, Kazuki Kita, Minoru Iwata, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 A consideration of degradation of polymeric materials in sub-low Earth orbits space environment
3. 学会等名 15th Spacecraft Charging Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota Okura, Yusuke Fujimoto, Kazuki Kita, Minoru Iwata, Chee Sze Keat, Yugo Kimoto, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
2. 発表標題 Development of a pulsed supersonic valve aimed for Martian atmospheric simulation
3. 学会等名 15th Spacecraft Charging Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Shirakawa, Hideyuki Usui, Yohei Miyake, Masahito Tagawa, Kazutaka Nishiyama
2. 発表標題 Plasma particle simulation of ECR plasma generation in Air Breathing Ion Engine (ABIE)
3. 学会等名 15th Spacecraft Charging Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kumiko Yokota, Kazuki Kita, Ryota Okura, Teppei Shimizu, Sze Keat Chee, Minoru Iwata, Masahito Tagawa
2. 発表標題 One-nozzle two-beam laser-detonation system
3. 学会等名 14th International Symposium on Materials in the Space Environment/12th International Conference on protection of Materials and Structures in a Space Environment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahito Tagawa, Kazuki Kita, Ryota Okura, Yusuke Fujimoto, Ryo Shirakawa, Teppei Shimizu, Minoru Iwata, Kumiko Yokota
2. 発表標題 Over-estimation of atomic oxygen fluences due to undecomposed oxygen molecules included in hyperthermal beams
3. 学会等名 14th International Symposium on Materials in the Space Environment/12th International Conference on protection of Materials and Structures in a Space Environment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Z. Iskanderova, J. Kleiman, F. Bussieres, M. Tagawa, R. Ng, R. Sodhi
2. 発表標題 Enhancement of atomic oxygen resistance of charge dissipative ion beam treated polymers
3. 学会等名 14th International Symposium on Materials in the Space Environment/12th International Conference on protection of Materials and Structures in a Space Environment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Iwata, Masahito Tagawa, Sumitaka Tachikawa, Issei Kato, Takayuki Hirose
2. 発表標題 Cultivation of research and project-support network for degradation of space-use materials -Concept of cluster type in-situ test facilities system
3. 学会等名 14th International Symposium on Materials in the Space Environment/12th International Conference on protection of Materials and Structures in a Space Environment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Alexandre Simon, Minoru Iwata, Masahito Tagawa, Sumitaka Tachikawa
2. 発表標題 Evaluation of vacuum transfer vessel performance to construct cluster type in-situ test facilities network
3. 学会等名 14th International Symposium on Materials in the Space Environment/12th International Conference on protection of Materials and Structures in a Space Environment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道環境における中性ガス衝突誘起材料劣化現象メカニズムの解析
3. 学会等名 第4回超低高度衛星の利用に向けたワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田久美子、北 一貴、藤本友介、大倉僚太、田川雅人
2. 発表標題 原子状酸素ビーム照射試験における残留未解離酸素分子の影響
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小柴康子、横田久美子、西本卓馬、堀家匠平、福島達也、田川雅人、石田謙司
2. 発表標題 宇宙用材料を指向した液晶ポリマーへの原子状酸素照射
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤本友介、井出航、大倉僚太、岩田稔、土屋佑太、後藤亜季、行松和輝、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道宇宙環境における高分子材料の劣化特性とSLATSデータとの比較検討
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 惑星高層大気環境模擬のための複合分子線システムの構築とロングノズルの効果
2. 発表標題 大倉僚太、藤本友介、清水鉄平、岩田稔、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田川雅人、藤本友介、大倉僚太、白川遼、井出航、横田久美子、Kim K. de Groh, Bruce A. Banks
2. 発表標題 ISS材料劣化実験における原子状酸素フルーエンス計測法に関する一考察
3. 学会等名 第15回宇宙環境シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田久美子、大倉僚太、藤本友介、岩田稔、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道宇宙環境模擬のためのワンノズルツープームレーザーデトネーション原子状酸素ビーム装置
3. 学会等名 第39回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田川雅人、横田久美子
2. 発表標題 超熱原子ビームによる固体表面の濡れ性制御
3. 学会等名 第39回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大倉僚太、藤本友介、清水鉄平、岩田稔、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 惑星高層大気シミュレーションのための複合分子線システムの構築とロングノズルの効果
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤本友介、井出航、大倉僚太、岩田稔、土屋佑太、後藤亜希、行松和輝、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道宇宙環境での高分子材料の耐性評価とSLATSデータとの比較検討について
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤本友介、井出航、大倉僚太、岩田稔、土屋佑太、後藤亜希、行松和輝、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道宇宙環境における高分子材料の劣化原因に対する考察とSLATSデータとの比較検討
3. 学会等名 第55日本航空宇宙学会中部・関西支部合同秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大倉僚太、藤本友介、清水鉄平、岩田稔、木本雄吾、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 惑星高層大気環境模擬のための複合分子線システムの構築とロングノズルの効果について
3. 学会等名 第55日本航空宇宙学会中部・関西支部合同秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田久美子、大倉僚太、藤本友介、田川雅人
2. 発表標題 レーザーデトネーション超熱分子線の解離抑制
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田川雅人、横田久美子 他、分担執筆	4. 発行年 2019年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス、東京	5. 総ページ数 1084
3. 書名 最新実用真空技術総覧	

〔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 <a href="http://www.space-environmental-effect.jp/index.html">http://www.space-environmental-effect.jp/index.html</a>
---

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	田川 雅人  (Tagawa Masahito)  (10216806)	神戸大学・工学研究科・准教授    (14501)	

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