

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22017

研究課題名（和文）宇宙材料耐環境地上試験における健全性過大評価の可能性と地上試験国際標準

研究課題名（英文）Under-estimation of space environmental effects on materials in ground-based studies and new testing standards

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） 4,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題ではポリイミドを基準材料としている現状の国際基準の不完全性を明確化し、科学的に根拠のある新基準の確立・提案を目指すことを目標としたものである。本研究の結果、地上実験ではビーム中の高エネルギー分子の存在比率に対してポリイミド劣化速度が線形的に増加し、現状のポリイミド基準による材料劣化量検証の問題点と不整合の主原因が特定された。また、同様の現象が世界初の超低高度衛星 SLATS のフライトデータからも確認されたことから、今後、開発が本格化する超低地球軌道（VLEO）では窒素分子との同時衝突を考慮する重要性が示され、超低地球軌道での材料劣化現象とその試験方法に対して重要な知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、宇宙材料劣化地上試験と軌道上試験で生じる材料劣化試験の不整合問題の主たる原因がビーム中の高エネルギー分子衝突であることが特定され、地上試験における原子状酸素照射量の過大評価や今後の高精度化に向けた方向性が明確化された。さらに超低地球軌道（VLEO）衛星など材料劣化がクリティカルなミッションでの評価基準に関わる知見が得られ、国際基準への反映の必要性が認識された。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research project is to clarify origins of incompleteness of the current international standards that use polyimide as a reference material, and to propose a new standard with scientific background. From a result of the simultaneous irradiation experiments conducted in this study, the polyimide degradation rate increased linearly with the ratio of high-energy molecules in the beam. This result clarifies the major origin of error in material degradation in very low Earth orbit (VLEO) using polyimide as a standard. The same phenomenon was also confirmed by the flight data of the world's first VLEO satellite, SLATS. This finding is an important insight into the material degradation phenomenon and its test method applicable to VLEO.

研究分野：宇宙環境工学

キーワード：宇宙環境 原子状酸素 超低地球軌道 材料劣化 国際標準

1. 研究開始当初の背景

宇宙用材料・システムは複雑な宇宙環境からの影響により特性が変化することは広く知られている。ミッションが終了するまでの全期間にわたり宇宙機の健全性を保つためには宇宙環境からの影響を十分考慮する必要がある。これらの特性変化に関わる研究手段としては、実際にサンプルを一定期間宇宙環境に曝露する宇宙環境曝露試験が行われてきた。しかしながら、2011年のスペースシャトルの引退でISSからの大型の試料回収が困難になり、宇宙環境曝露試験の実施自体が極めて難しくなるという事態が生じている。軌道上曝露実験では細かな実験条件の設定が不可能であることから定量的データ解析の基礎となる劣化メカニズムについては、地上実験による事前の把握が不可欠となる。しかしながら、宇宙環境地上試験では宇宙環境を完全には再現できないという根本的な問題が未だに解決されておらず、地上試験を行ったとしても宇宙ミッションは常にリスクを負っている。このリスクを低減するためには、地上試験ではエンジニアリングデータの取得のみではなく、宇宙環境における表面反応メカニズムの解明と定量的解析を行い、地上実験とは環境の異なる実宇宙環境であることを前提にした材料劣化現象を定量予測する必要がある。

2. 研究の目的

宇宙用材料の耐原子状酸素性を評価するためには、実際にサンプルを一定期間宇宙環境に曝露する宇宙環境曝露試験に並行してレーザーデトネーション法を用いた原子状酸素地上試験が行われてきた。しかしながら、両者の試験結果はしばしば不整合を生じることが報告されており、地上試験で軌道上試験結果を定性的に再現できないことが大きな問題となっている[1]。レーザーデトネーション法による原子状酸素試験はASTM E2089-00においても「軌道上での原子の衝突エネルギー(5eV)を模擬できる最も高精度なシミュレーション法」として実験方法・評価方法が規定されており、世界各国の宇宙機関や衛星メーカー等で試験が実施されてきた。このASTM E2089-00ではポリイミドの劣化量から原子状酸素照射量を検定することが定められている[2]。ところが、地上試験における原子状酸素照射量計測用基準材料と規定されているポリイミドは、高エネルギー不活性分子が同時衝突する地上試験環境では加速劣化している可能性が示された[3]。この結果は、これまで行われてきたレーザーデトネーション法を用いた原子状酸素地上試験においては、実際に宇宙用材料に照射されていた原子状酸素量が規定の数分の1でしかなかった可能性を示唆している。このような地上試験における原子状酸素照射量の過大評価は、宇宙用材料の耐原子状酸素性を安全側に過大評価していたことを意味しており、超低軌道衛星など材料劣化がクリティカルなミッションではミッション成立性にも関わる重大な問題となる。そこで、本研究では本申請者が国内で唯一保有するビーム診断機能の有したレーザーデトネーション装置を用いて、(1)原子状酸素照射試験における不整合問題を解決するための照射量計測基準の確立、(2)過去の試験データを有効活用するための補正方法の提案、(3)実験データを裏打ちとした試験方法に関する国内・国際基準の検討、の3点行うことを目的としている。

3. 研究の方法

本研究における地上実験は神戸大学に設置されたレーザーデトネーション型原子状酸素ビーム発生装置(図1)を用いて行った。原子状酸素ビームのキャラクタリゼーションには四重極質量分析管装備した飛行時間(TOF)計測装置を用い、ビーム中の組成、平均エネルギー等を計測した。ポリイミドの質量減少の計測は、ポリイミドをQCM上に塗布し、その質量変化をリアルタイムで計測することで行った。

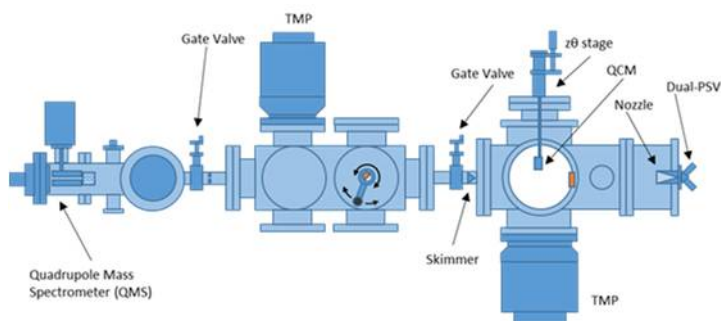


図1 レーザーデトネーション原子状酸素発生装置

また軌道上のリファレンスデータとしては国際宇宙ステーション(ISS)よりも環境変化の大きな超低軌道衛星技術試験機(SLATS)に搭載されたポリイミドQCMのデータをリアルタイム解析することで、軌道上データとしては極めて貴重なフライトデータとなる外部環境が異なる状態での材料レスポンスの計測を世界で初めて実施した。

4. 研究成果

(1) レーザーデトネーション型原子状酸素ビーム発生装置にDual-PSVを装着し、平均エネルギー2.1-3.1eVの原子状酸素ビームと平均エネルギー4.2eV, 5.8eV, 7.3eVのArビームを同時に照射し、その際にArの相対フラックスを変化させた。この状態でのポリイミドの質量変化をQCM

の周波数シフトから計算しプロットしたのが図 2 である。図 2 よりビーム中に含まれる高エネルギーアルゴン分子の存在比率に対してポリイミド劣化速度が線形的に増加することが確認された[4]。本実験における Ar は超低軌道における N2 同時衝突を模擬したものであり、本実験結果より超低軌道領域では N2 の同時衝突によりポリイミドの増速劣化が生じることが予測された。

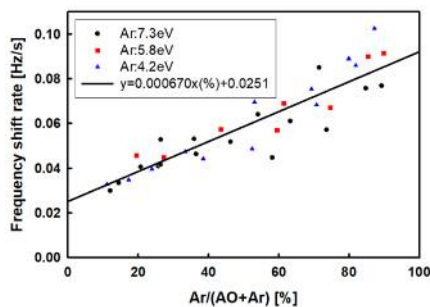


図 2 地上実験による Ar 添加増速劣化

(2) SLATS に搭載されたポリイミドコート QCM (AOFS ミッション) で観測された軌道上でのポリイミドの質量減少を図 3 に示す。AOFS は SLATS の ram 方向に 2 個が搭載されており、AOFS-H5 が衛星下面、AOFS-H7 が衛星正面に取り付けられている (図 4)。これら 2 個の QCM におけるポリイミド質量減少量は異なる挙動を示しており、詳細な衛星姿勢解析を行った結果、AOFS-H5 は SLATS 構体による遮蔽効果を強く受けていることが示された。すなわち、図 3 の A の領域では衛星が負のピッチ角により機首下げ状態のため、AOFS-H5 センサーが胴体の陰に入っていることが明らかになった。本研究では AOFS-H5 のデータを使用する必要があったため、原子状酸素の熱運動を考慮した遮蔽モデルを構築し補正を行った[5]。本遮蔽モデルを適用し、AOFS-H5 のデータを解析した結果、高層大気中の N2 割合に対してポリイミドの質量減少量は線形に変化し、前述の地上試験結果と整合性のある結果が得られた[6]。

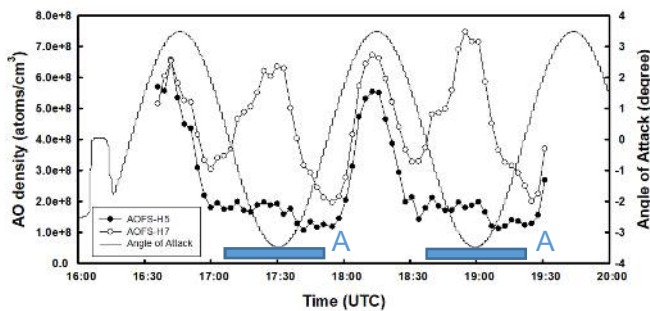


図 3 SLATS/AOFS-H5,-H7 で観測された原子状酸素密度

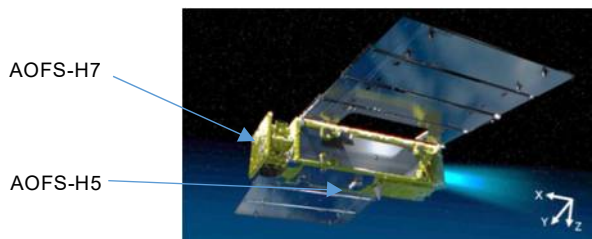


図 4 SLATS/AOFS-H5,-H7 センサー搭載位置

(3) 前述のように、地上実験におけるポリイミド質量減少はビーム中における高質量分子の同時衝突により反応速度が増大すること、同様の現象は SLATS フライトデータでも確認することができた。これにより宇宙環境における材料劣化原因としては原子状酸素量のみではなく、N2 密度にも依存することが示され、ASTM に規定された既存の地上実験基準の問題点が明確化された。ASTM における規定されているポリイミドの反応率(3E-24 cm³/atom)は 1983 年に STS-8 (図 5) により計測されたものであるが[2]、STS-8 の高度は 222 km と低く、約 33% の N2 を含む状態で計測されていたことが再解析の結果明らかになった。この事実は ASTM の基準には N2 の同時曝露効果が含まれており、純粋な原子状酸素環境に比べて約 1.5 倍の質量減少量になっているものと推定された。



図 5 STS-8 in 1983 (Photo by NASA)

(4) SLATS/AOFS から計算された原子状酸素密度と NRLMSISE-00 で予測された原子状酸素密度を比較したのが図 6 である。黒線が NRLMSISE-00 の予測値、赤線と青線は AOFS によって 10 秒間隔および 3 分間隔で計測した原子状酸素密度である。図 6 より NRLMSISE-00 によって予測された原子状酸素密度は SLATS/AOFS 実測値の約 2-3 倍となっていることがわかる。同様の結果は SLATS の軌道高度低下量から求めた大気密度でも独立に確認されているのをはじめ、過

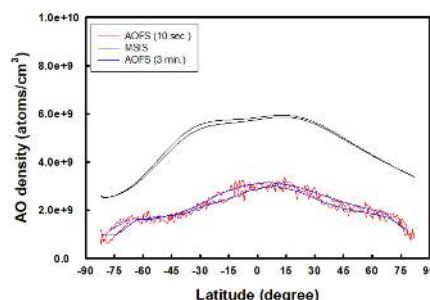


図 6 AOFS による原子状酸素密度分布と NRLMSISE-00 予測値

去の GOCE や GRACE の観測でも確認されている[7]。これらの点を考慮すると、STS-8 での原子状酸素密度も 30-50%程度過大評価されている可能性が高く、ポリイミドの反応率は ASTM で規定されている $3\text{E-}24 \text{ cm}^3/\text{atom}$ ではなく、 $2\text{E-}24 \text{ cm}^3/\text{atom}$ 程度が正しいものと考えられる。現状の ASTM や ISO 規格ではこのような特性は全く考慮されておらず、規格の改定時には本研究で新たに得られた知見を考慮する必要性が認識された。

<引用文献>

- [1] Weihs B., van Eesbeek M., Secondary VUV erosion effect on polymers in the ATOX atomic oxygen exposure facility, Proceedings of 6th International Symposium on Materials in a Space Environment, ESA SP-368, 1994, pp.277.
- [2] Standard practice s for Ground Laboratory Atomic Oxygen Interaction Evaluation of Materials for Space Applications, ASTM E2089-00 (2006).
- [3] Minton, T. K., Zhang, J., Garton, D. J., Seal, J. W., Collision-assisted erosion of hydrocarbon polymers in atomic-oxygen environment, High Performance Polymers, 12 (2000) pp. 27
- [4] 堀本流石、西岡燦太、牛嶋飛羽、井出航、横田久美子、田川雅人、"超低地球軌道環境における高エネルギー中性ガス衝突誘起材料劣化効果の地上検証"、第 66 回宇宙科学技術連合講演会、2022 年 11 月 1-4 日、熊本
- [5] 牛嶋飛羽、藤田敦史、井出航、堀本流石、浦川翔平、西岡燦太、横田久美子、田川雅人、土屋佑太、後藤亜希、行松和輝、宮崎英治、木本雄吾、"SLATS/AOFS ミッションにおける構体遮蔽効果解析"、第 66 回宇宙科学技術連合講演会、2022 年 11 月 1-4 日、熊本
- [6] Tagawa M., Yokota K., Fujita A., Ide W., Ushijima T., Yao K., Horimoto S., Nishioka S., Nakayama K., Tsuchiya Y., Goto A., Yukumatsu K., Miyazaki E., Kimoto Y., "Real-time Observation of Polyimide Erosion in Very Low Earth Orbit (VLEO) and Its Impact on Space Environmental Effect on Materials", 2023 MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, April 10-14, 2023
- [7] Imamura S., Ph. D thesis, University of Tokyo, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 後藤亜希、山下真一、田川雅人	4. 巻 111
2. 論文標題 原子状酸素照射による高分子材料表面の微細構造形成：メカニズム解明に向けたフルエンス補正	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 放射線化学	6. 最初と最後の頁 59-61
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 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 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	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 -

1. 著者名 Ryo Shirakawa, Yusuke Yamashita, Daiki Koda, Ryudo Tsukizaki, Yusuke Shimizu, Masahito Tagawa, Kazutaka Nishiyama	4. 巻 174
2. 論文標題 Investigation and Experimental Simulation of Performance Deterioration of Microwave Discharge Ion Thruster μ 10 during Space Operation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Astronautica,	6. 最初と最後の頁 367-376
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46件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 22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 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (国際学会)
4. 発表年 2022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 (国際学会)
4. 発表年 2022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 (国際学会)
4. 発表年 2022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 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Minoru Iwata, Masahito Tagawa, Sumitaka Tachikawa
2. 発表標題	Fluence estimation of ionizing radiation in space environments for material degradation
3. 学会等名	33rd International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	梶本武志、畑俊充、田川雅人、小嶋浩嗣、押田京一
2. 発表標題	A0照射におけるウルシDLC膜のEELS分析
3. 学会等名	第18回木質炭化学会研究発表会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	畑 俊充、飛松裕基、本間千晶、梶本武志、押田京一、田川雅人、小嶋浩嗣
2. 発表標題	低地球軌道宇宙環境下で活用するためのリグニン炭の空隙構造解析
3. 学会等名	第18回木質炭化学会研究発表会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 下位百香、加納直起、加藤大志、平 翔馬、山下裕介、小澤宇志、今村俊介、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低地球軌道における高層大気密度計測装置II
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 井出 航、藤田敦史、堀本流石、土屋佑太、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 SLATS/AOFSデータを用いたポリイミドの超低地球軌道における材料劣化メカニズム解析
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 深見侑希、板谷一輝、江崎啓介、大川恭志、河本聡美、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 AO照射によるカーボンナノチューブ電子放出源への影響 in-situ評価に向けて
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 板谷一輝、深見侑希、江崎啓介、大川恭志、河本聡美、矢野史章、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 導電性テザーの軌道上残存リスク低減に向けて ~ AO照射によるCNT燃系の低強度化の初期検討 ~
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 井出 航、藤田敦史、堀本流石、土屋佑太、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(III)
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深見侑希、板谷一輝、江崎啓介、岩田 稔、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 神戸大学レーザー脱ネーション型原子状酸素照射装置の特性
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下田百香、加納直起、加藤大志、平 翔馬、山下裕介、小澤宇志、今村俊介、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 超低軌道環境における分子密度計測を目的とした衛星搭載用圧力計測デバイス(II)
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加納直起、庄田光佑、上瀧優希、小澤宇志、山下裕介、西山和孝、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 大気吸入イオンエンジン内の大気圧縮特性と材料表面の適応係数に関する考察
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田敦史、井出 航、堀本流石、土屋佑太、後藤亜希、行松和輝、宮崎英治、木本雄吾、三好勉信、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 SLATS/AOFSデータを用いた磁気嵐発生時の超低地球軌道上原子状酸素密度解析
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小澤宇志、田川雅人、横田久美子、今村俊介
2. 発表標題 大気吸入インテーク性能評価に向けた地上試験に関する考察
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井出 航、藤田敦史、堀本流石、土屋佑太、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 超低地球軌道環境における宇宙機熱制御材の材料劣化メカニズム解析
3. 学会等名 第41回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下位百香、加納直起、加藤大志、平 翔馬、山下裕介、小澤宇志、今村俊介、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 低地球軌道における大気数密度の測定方法の検討
3. 学会等名 第41回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深見侑希、板谷一輝、江崎啓介、岩田 稔、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 熱制御材の原子状酸素による材料劣化メカニズムと神戸大学宇宙環境模擬試験装置の特性
3. 学会等名 第41回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄田光佑、加納直起、上瀧優希、小澤宇志、山下裕介、西山和孝、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 大気吸入イオンエンジンにおける高速分子線圧縮シミュレーション
3. 学会等名 第41回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤亜希、丹司尊、山下真一、田川雅人
2. 発表標題 原子状酸素照射によって高分子材料表面に生じる微細形状：照射に伴う突起密度と化学構造の変化
3. 学会等名 第63回放射線化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤亜希、山下真一、田川雅人
2. 発表標題 原子状酸素照射におけるフルエンス空間分布の補正
3. 学会等名 第63回放射線化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	斉藤昭則、阿部琢美、石坂圭吾、田川雅人、熊本篤志、斉藤義文、松岡彩子、斉藤亨、西岡未知、細川敬祐、横山竜宏、Huixin Liu
2. 発表標題	昼間スプラディックE層形成過程の中性大気とプラズマ大気の同時観測による解明
3. 学会等名	第3回観測ロケットシンポジウム
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	阿部琢美、田川雅人、渡部重十、横田久美子、加藤大志、田中勇人、三宅互
2. 発表標題	阿部琢美、田川雅人、渡部重十、横田久美子、加藤大志、田中勇人、三宅互
3. 学会等名	第3回観測ロケットシンポジウム
4. 発表年	2020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 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, Kazutaka Nishiyama, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
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 Takashi Ozawa, Kumiko Yokota, Masahito Tagawa
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 Effect of collision energy on oxidation of Si atoms embedded in polyimide by simulated low Earth orbit space environment
2 . 発表標題 K. Yokota, R. Shirakawa, M. Shimoi, W. Ide, N. Kano, M. Tagawa
3 . 学会等名 18th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Tagawa, R. Shirakawa, M. Shimoi, W. Ide, N. Kano, K. Yokota
2 . 発表標題 Collision-induced erosion on polyimide in simulated low Earth orbit space environment
3 . 学会等名 18th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis (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 (IISC-23) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Yokota, R. Shirakawa, W. Ide, Y. Fukami, M. Tagawa
2. 発表標題 Hyperthermal collision-induced erosion of spacecraft polymeric materials in low Earth orbit
3. 学会等名 23rd International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (IISC-23) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中宏明, 小木首望, 田川雅人, 岩田稔, 藤垣元治, 後藤 優太, 池田忠繁, 石村康生
2. 発表標題 ExHAMを用いた宇宙環境曝露実験に向けたピエゾ素子評価
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 小木首望, 田中宏明, 池田忠繁, 石村康生, 田川雅人, 岩田稔, 藤垣元治, 後藤 優太
2. 発表標題 ExHAMを用いたピエゾ素子曝露実験装置の開発
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 井出航, 藤田敦史, 土屋佑太, 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(II)
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 深見侑希、岩田稔、横田久美子、田川雅人
2. 発表標題 神戸大学レーザーデトネーション型原子状酸素発生装置と宇宙用炭素系材料の劣化挙動
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

〔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)	

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