

月惑星探査のための基盤技術の研究

研究代表者 天野 嘉春
(基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科 教授)

1. 研究課題

多くの国々が、人類の活動領域を広く宇宙に広げようとしている。国際宇宙ステーション ISS を起点にして太陽系へと拡大し、最終的には有人の火星探査は着々と計画が進められている。有人宇宙探査は、国際宇宙探査協働グループ ISECG が定めた国際協働による ISS の次の長期目標である。有人宇宙探査には、多くの克服すべ技術的課題、膨大な費用が掛かるなどの問題があるために、多くの国々が国際協働の形で、持続的に共通目標を掲げて取り組む必要がある。この有人宇宙探査は、世界的に大きな流れが形成され始めている。日本はこれまで、多く地球観測衛星、科学衛星、ISS、月探査かぐや、小惑星探査はやぶさなどの成功を収めてきた宇宙探査先進国である。今後、日本が主導的な立場で無人・有人宇宙探査を、他の多くの国々と進めていくためにも基盤となる科学・技術の継続的な研究が必要である。本研究プロジェクトの第 2 期では、月惑星探査に関わる基盤となる技術開発を継続している。

本年度も、レゴリスのハンドリング技術を利用した月惑星上でのサンプル収集、ハンドリング技術について、引き続いて開発を進めた。

2. 主な研究成果

- Swinburne University in Melbourne, Australia の学生の博士論文 (Technologies for Lunar Dust Mitigation) の審査員に就任した。(川本)
- 米国静電気学会の 50 周年特集号に依頼されて Electrodynamic Dust Shield (EDS) に関する review ”Electrodynamic dust removal technologies for solar panels: A comprehensive review” を執筆した。(川本)

3. 共同研究者

川本 広行 (名誉教授・名誉研究員)
長谷部 信行 (名誉教授・名誉研究員)
安達 眞聡 (招聘研究員・京都大学 助教)
石川 貴一郎 (招聘研究員・日本工業大学 准教授)
町田 宏隆 (嘱託研究員・三菱電機)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] H. Kawamoto, "Electrodynamic dust removal technologies for solar panels: A comprehensive review," *J. Electrostatics*, Vol. **134** (2025) 104045. (part of a special issue entitled: Journal 50th Anniversary published in Journal of Electrostatics)
- [2] H. Kawamoto, R. Egawa, T. Ayukawa and R. Iwatsubo, "Feasibility Study on Handling of Lunar Regolith Using Magnetic Force," *J. Aerospace Engineering*, Vol. **38**, Issue 3 (2025) 04025018.
- [3] H. Kawamoto, "Electrodynamic, Electromagnetic, and Vibratory Capture and Delivery Technologies for Lunar Regolith and Water-Ice Particles on Moon: Review," *J. Aerospace Engineering*, Vol. **38**, Issue 4 (2025) 04025024.
- [4] R. Nitano, S. Mitsunaga, S. Yamato, K. Tanaka, H. Kanamori, M. Adachi, "Cleaning Performance of an Electrodynamic Dust Shield under Low-Frequency Vibrations," *Powder Technology*, Vol. **457** (2025) 120845.
- [5] M. Adachi, R. Nitano, "Removal Efficiency for Size-Sorted Particles of Lunar Regolith Simulant Using an Electrodynamic Dust Shield," *Acta Astronautica*, Vol. **228** (2025), pp. 346-356.
- [6] S. Mitsunaga, T. Morishita, M. Adachi, "Charging of Particles with Ion Irradiation in an Electrodynamic Dust Shield," *Powder Technology*, Vol. **452** (2025), 120504.
- [7] M. Adachi, R. Goda, N. Hatano, "Effects of Particle Size on the Magnetic Cleaning System for Manned Lunar Explorations," *Acta Astronautica*, Vol. **226**, Issue 2 (2025), pp.23-30.
- [8] Y.-C. Wang, F. Cipriani, F. L. Johansson, M. Sperl, M. Adachi, "Electrodynamic Dust Shield Efficiency Characterization under UV in Vacuum for Lunar Application," *Advances in Space Research*, Vol. **74**, Issue 11 (2024), pp.6194-6204.
- [9] M. Adachi, K. Shirode, N. Hatano, K. Tanaka, H. Kanamori, "Climbing Characteristics of Millimeter Particles in Granular Vibration Pumping System," *Powder Technology*, Vol. **447**, 1 (2024), 120200.

4.2 招待講演

- [1] M. Adachi, "Electrostatic Granular Handling Technology for Space Applications," The 5th International Workshop on Static-Tribo-Electricity of Powder, Newcastle, Australia (2024.12)
- [2] M. Adachi, "Electrostatic and Vibration-Based Granular Handling Technologies for Space Exploration Missions," Swissmem YPP2024, Kyoto (2024.10)
- [3] M. Adachi, "Electrostatic and Vibration-Based Granular Handling Technologies for Space Exploration Missions," Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Germany (2024.10)

4.3 学会および社会的活動

- [1] M. Adachi, K. Kohara, S. Mitsunaga, T. Morishita, "Charging of Regolith Particles Under UV and Ion Irradiation and Its Effects on Electrostatic Mitigation Technique for Lunar Explorations," Charged Matter 2025, Vienna, Austria (2025.3)
- [2] K. Nakai, M. Adachi, "Effects of a dispersing liquid's property on an electrically induced fluid flow and particle traps in a self-healing wire system," The 9th Asian Particle Technology Symposium, Sydney, Australia (2024.12) PS4-002

- [3] S. Mitsunaga, M. Adachi, "Effects of Particle Charge Variation on the Cleaning Performance of an Electrodynamical Dust Shield under Ion Irradiation," The 9th Asian Particle Technology Symposium, Sydney, Australia (2024.12) PS5-001
- [4] M. Adachi, R. Goda, "Magnetic Cleaning of Particulate Materials on Solar Panels," The 9th Asian Particle Technology Symposium, Sydney, Australia (2024.12) T11
- [5] 仁田野、安達、"ガラス面上に形成した表面微細構造による月レゴリス微粒子の付着力低"、第2回ナノ機能工学若手研究者交流会、京都 (2024.12) P22.
- [6] 中井、安達、"長期宇宙探査を実現するための粒子電界トラップを利用した自己修復型配"、第2回ナノ機能工学若手研究者交流会、京都 (2024.12) P13.
- [7] 川本、江川、鮎川、岩坪、"月レゴリスの磁性と磁気力を利用したハンドリング"、第68回宇宙科学技術連合講演会、姫路 (2024.11) 2D04.
- [8] 仁田野、安達、大和、峰雪、安田、"ガラス面上に形成した表面微細構造による微小粒子の付着力低減"、第68回宇宙科学技術連合講演会、姫路 (2024.11) P178.
- [9] 安達、"静電気力や磁気力を利用したレゴリス粒子の除去技術"、第68回宇宙科学技術連合講演会、姫路 (2024.11) 2D02.
- [10] M. Adachi, R. Goda, "Magnetic Cleaning and Beneficiation of Lunar Regolith," The 75th IAC International Astronautical Congress, Milan, Italy (2024.10) IAC-24, A3, IP, 143, x91455
- [11] M. Adachi, K. Shirode, K. Tanaka, H. Kanamori, "Granular Vibration Pumping System for Lifting Lunar Regolith," The 75th IAC International Astronautical Congress, Milan, Italy (2024.10) IAC-24, A3, IP, 124, x91453
- [12] M. Adachi, R. Goda, R. Nitano, K. Tanaka, Hiroshi Kanamori, "Electrostatic and Magnetic Dust Cleaning Devices for Long-Term Lunar Explorations," COSPER 2024 45th Scientific Assembly, Busan, South Korea (2024.7) B3.1-0046-24
- [13] M. Adachi, "Electrostatic Handling Technologies of the Lunar Regolith for Long-Term Space Explorations," The 1st Asian Symposium for Building Future of Plasma, Iwate, Japan (2024.7) O-17
- [14] 合田、安達、"月面上に存在するレゴリス粒子の磁気クリーニングシステム"、SEAD36、大阪 (2024/6) OS2-4-1.
- [15] 安達、光永、"粒子帯電機構を導入した月レゴリス粒子の静電除塵システム"、SEAD36、大阪 (2024.6) OS3-6-6.
- [16] 仁田野、安達、田中、金森、"振動と組み合わせた静電除塵システムのクリーニング性能"、SEAD36、大阪 (2024.6) OS3-6-4.
- [17] 中井、安達、"自己修復型配線の粒子電界トラップにおける分散液流れ場の影響"、2024年度粉体工学会春期研究発表会、姫路 (2024.5) 26.

5. 研究活動の課題と展望

2024 年度もいくつかの学会に参加し、貴重な技術交流が実現した。また、多くの論文を執筆した。次年度は、これまでの研究で不足したデータを取得するとともに、研究の集大成と関連先への技術移管を進める予定である。