

帯電浮遊レゴリスの撮影と解析法の考案

指導教員:豊田和弘 教授

提出者:211A3062 庄嶋一茂

共著者:福島侑也

1. 研究背景と目的

近年、日本企業による月面着陸の試みや SLIM の軟着陸成功などを通じ、月探査技術への期待が高まっている。しかし、月面活動には依然として多くの課題が存在し、そのなかでも月面を覆うレゴリスの帯電浮遊は深刻な問題のひとつといえる。

月レゴリスは帯電しやすく、静電相互作用によって微粒子が浮遊・拡散する。こうした粒子が宇宙機器に付着すると、性能低下や交渉リスクが高まる。持続的な月面利用を実現するには、帯電浮遊レゴリスへの対策が欠かせない。

本研究は帯電浮遊した粒子の観測・解析・評価を通じて、その移動特性や帯電量を把握することを目指す。

2. 実験方法

- ① レーザー光を使用して粒子影を撮影する手法に関して、カメラとサンプルの位置関係や波長による影の見え方を確認した。

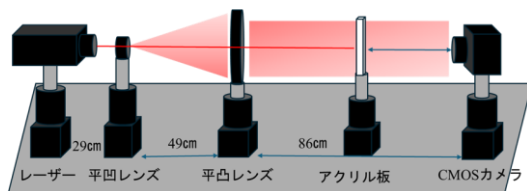


図1. レーザー使用実験概略図

- ② 模擬レゴリスの帯電浮遊実験では、FEC を使用してサンプルに電子を照射した後、銅製メッシュへの電圧印加とサンプルへの振動を加え、帯電浮遊現象を撮影した。ハイスピードカメラを用いて浮遊の様子を記録し、得られた動画を画像処理することで、帯電浮遊中の移動特性を調べた。

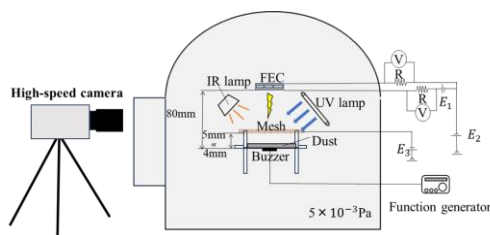


図2. 帯電浮遊実験概略図

3. 結果・考察

影の径は波長の影響を受けており、カメラとの距離に応じて粒子径の見え方が小さく見える箇所が存在することが確認された。これは波長の影響であることが考えられる。

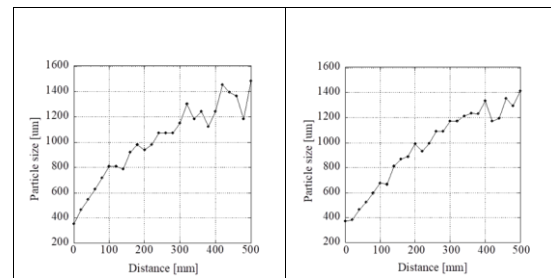


図3. レーザー光比較実験(右:緑 左:赤)

帯電浮遊粒子の撮影と画像処理による軌跡の取得を行った。軌跡より粒子は電場の影響を受けていることが確認でき、浮遊中の帯電量の変化の可能性を確認した。

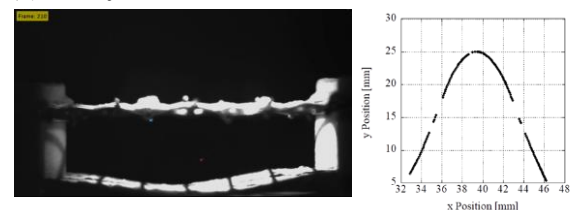


図4. 実際の撮影画像(左)と取得した粒子の軌跡(右)

4. 結論・今後の課題

本研究では、レーザー光を使用した粒子の影の撮影を行い、様々な条件での見え方の違いを確認した。

また、画像処理を用いた帯電浮遊粒子の解析を実施し、従来の手作業による解析を効率化するとともに、粒子の移動特性や速度変化、帯電量変化の可能性を確認した。一方、正確な粒径の把握や帯電量の計算までは達成できず、さらなる検討が必要である。また、今後は太陽光セルへの粒子付着量の評価にも取り組む予定である。

全文をご希望の方は

cho.mengu801@mail.kyutech.jp まで

ご連絡ください

Development of an Imaging and Analysis Method for Charged Suspended Regolith

Kyushu Institute of Technology 211A3062 Kazushige Shojima

1. Background and Purpose of the Study

Recent attempts by Japanese companies to land on the Moon, along with the successful soft landing of SLIM, have increased expectations for lunar exploration technology. However, challenges remain, particularly the electrostatic levitation of lunar regolith.

Lunar regolith easily becomes charged, causing fine particles to levitate and disperse through electrostatic interactions. These particles can adhere to spacecraft, risking performance degradation and malfunctions.

Addressing the issue of levitated regolith is essential for sustainable lunar surface operations.

This study aims to observe and analyze these particles to understand their movement and electrostatic charge.

2. Experimental Methods

- ① The method of capturing particle shadows using laser light was examined by analyzing the camera position relative to the sample and the appearance of shadows at different wavelengths.

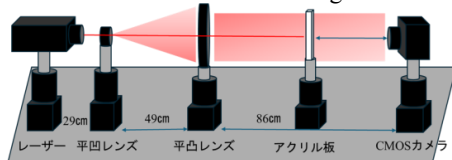


Figure 1. Schematic diagram of the laser experiment.

- ② In the electrostatic levitation experiment with simulated regolith, electrons were irradiated onto the sample using FEC. Then, voltage was applied to a copper mesh, and vibrations were introduced to the sample to capture the levitation phenomenon. High-speed cameras recorded the levitation behavior, and image processing of the resulting videos was used to analyze the movement characteristics during electrostatic levitation.

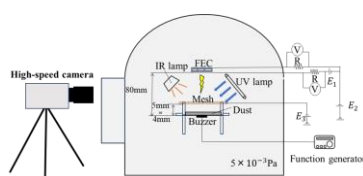


Figure 2. Schematic diagram of the electrostatic levitation experiment.

3. Results and Discussion

The shadow diameter is affected by the wavelength, and regions where the apparent particle size is reduced were observed depending on the camera distance. This is attributed to the wavelength effect.

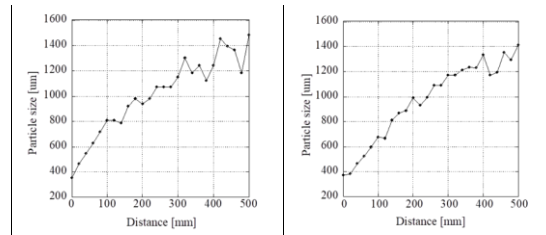
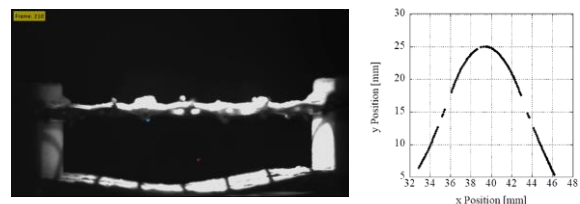


Figure 3. Laser light comparison experiment (right: green; left: red).

Charged suspended particles were imaged and their trajectories obtained via image processing. The trajectories confirmed that the particles were influenced by the electric field, indicating possible charge variations during suspension.

Figure 4. Actual captured image (left) and acquired particle trajectory (right).



4. Conclusion and Future Work

In this study, we captured the shadows of particles using laser light and confirmed differences in their appearance under various conditions. Additionally, by analyzing charged suspended particles through image processing, we enhanced the efficiency of conventional manual analysis and verified the potential variations in particle movement, velocity, and charge. However, accurate determination of particle size and precise charge calculations were not achieved, necessitating further investigation. Future work will focus on evaluating the adhesion of particles on solar cells.

For the full text, please contact.

cho.mengu801@mail.kyutech.jp

目次

第 1 章	序論	2.5.1.1	前提条件
1.1	研究背景	2.5.1.2	帯電量計算
1.2	月面環境	2.5.1.3	電場の計算
1.2.1	重力	2.5.1.4	初速の推定
1.2.2	極高真空	2.5.2	計算コード
1.2.3	熱環境	2.6	太陽光セル付着コード
1.2.4	宇宙放射線・宇宙風化・隕石	2.7	実験装置
1.3	レゴリスとレゴリス問題	2.7.1	真空チャンバー
1.3.1	月レゴリス	2.7.2	FEC
1.3.2	レゴリス問題・被害	2.7.3	Function Generator
1.3.3	月面帯電原理	2.7.4	実験サンプル
1.4	レゴリス帯電浮遊原理	2.7.4.1	シリカダスト (SIDISTAR T120U)
1.5	類似研究・類似手法紹介	2.7.4.2	FJS-1 (Fuji Japan Simulant-1)
1.6	レーザー光シャドウグラフ法	2.7.4.3	LHS-1 (Lunar Highlands Simulant-1)
1.7	粒径バラメータ	2.7.4.4	ふるい・振とう機
1.8	研究目的・研究目標	2.7.5	PDMS 台とメッシュ
第 2 章	研究手法	2.7.6	ハイスピードカメラ
2.1	解析ソフト Image J	2.7.6.1	FASTCAM SA3
2.2	解析手法構成・バージョン	2.7.6.2	INFINICAM
2.3	MATLAB	2.7.6.3	USB カメラ (BU238 MCF)
2.4	フローチャートと各処理の概要	2.7.6.4	Sony Cinema Line FX3
2.4.1	校正	2.7.7	レンズ
2.4.2	前処理	2.7.7.1	RICOH FL-CC6Z1218-VG
2.4.2.1	背景フレームの生成	2.7.7.2	長距離顕微鏡レンズ QM1
2.4.2.2	背景差分	2.7.8	ソーラーシュミレータ HAL-320
2.4.3	捕捉・追跡	2.7.9	He Ne レーザー
2.4.3.1	領域解析	2.7.9.1	He Ne レーザー (HNL150R-JP)
2.4.3.2	追跡	2.7.9.2	DPSS ボイnteィング用レーザー 532nm x 10mW
2.4.3.3	トラックの更新・評価	2.7.10	平凹レンズ、平凸レンズ
2.4.4	記録・出力	2.8	実験方法
2.4.4.1	データの記録	2.8.1	予備実験
2.4.4.2	データの可視化	2.8.1.1	レーザー波長比較実験
2.5	帯電量計算手法	2.8.1.2	ビーム形状比較実験
2.5.1	計算手法	2.8.1.3	粒径バラメータ変更実験
		2.8.2	レゴリス帯電浮遊実験
		2.8.3	浮遊粒子の解析作業
		2.8.4	帯電量の計算
		2.9	太陽光セル付着実験

第 3 章	実験結果と解析	4.3.3	粒子径による質量の差
3.1	予備実験	4.3.4	計算・算出手法
3.1.1	レーザー波長比較実験	4.4	太陽光セル付着実験
3.1.2	ビーム形状比較実験	第 5 章	総括
3.1.2.1	平行光	5.1	まとめ
3.1.2.2	拡大光	5.2	今後の課題
3.1.2.3	縮小光	5.2.1	レーザーを使用する実験
3.1.3	粒径パラメータ変更実験	5.2.2	追跡・捕捉解析
3.2	帯電浮遊実験	5.2.3	太陽光セル付着試験
3.2.1	捕捉・追跡結果	5.2.4	撮影環境
3.2.1.1	粒子 ID1163	5.2.5	処理の高速化・リアルタイム計測
3.2.1.2	粒子 ID676	第 6 章	引用文献
3.3	粒子高度	第 7 章	付録
3.4	帯電量計算	7.1	月レゴリス 組成表
3.4.1	粒子 ID1163	7.2	使用機器
3.4.2	粒子 ID676	7.2.1	FASTCAM SA3
3.4.3	帯電浮遊実験 メッシュ間距離変更実験	7.2.2	INFINICAM
3.4.3.1	粒子 ID70	7.2.3	USB カメラ (BU238 MCF)
3.4.4	太陽光セル付着実験	7.2.4	長距離顕微鏡レンズ
第 4 章	考察	7.2.5	ソーラーシュミレーター HAL-320
4.1	レーザー使用実験	7.2.6	He Ne レーザー(HNL150R-JP)
4.1.1	波長比較実験	7.3	解析コード関係
4.1.2	ビーム形状比較実験	7.3.1	粒子捕捉(基準線からの高さ算出含む)
4.1.3	粒径パラメータ変更実験	7.3.2	帯電量計算
4.1.4	粒子径	7.3.3	粒子捕捉改善版(BMP 処理)
4.1.5	干渉縞		
4.1.6	設置・撮影条件		
4.2	粒子捕捉		
4.2.1	粒子密度		
4.2.2	被写界深度		
4.2.3	光量不足		
4.2.4	3 次元的な位置情報の欠如		
4.3	帯電量計算		
4.3.1	電場の環境		
4.3.2	粒子の帯電メカニズム		