

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 1/12/2018

専攻名 (専門分野) Department	機械科学	氏名 Name	小畑 亮	指導員 Advisor	川本 広行 印 Seal
研究指導名 Research guidance	精密工学研究	学籍番号 Student ID number	5116C024-4		
研究題目 Title	磁気力を利用した月・火星レゴリスの採取・搬送システムの開発				

1. 研究背景

地球外天体に存在する未知の生命体や資源の発見を目的として、現在、世界各国で月や火星の探査計画がある。この目標の達成には、月や火星上の試料を地球に持ち帰って分析を行う必要があり、そのためには現地の試料を回収する機構が必要となる。

天体土壌の採取システムに関する計画や研究では、ドリルやスcoop等の掘削方式を扱うことが多い。しかし、掘削するためには、機械の正確な制御が必要となる。その上、多くの駆動部が存在するため、故障のリスクが高い。そのため、これらの問題を含まないような、制御の仕組みや構造が単純で、信頼性が高い土壌採取システムの開発意義は大きい。

そこで、本研究では磁気力を利用した月・火星レゴリスの採取システムを検討した。また、今後の月面での人間の長期滞在を想定し、水や酸素といった物質を月のレゴリスから精製するISRU (In Situ Resource Utilization) という構想に対しても、粒子搬送装置として本機構を応用できると考える。作成した装置に関し、パラメータや実験環境を変化させて実験を行い、その有用性を検討した。また、動作を再現するシミュレーションモデルを用いて、実際環境での性能予測を行った。

2. 磁気捕捉・搬送機構の原理

図1を用いて、空心コイルを用いた磁気力による捕捉原理について説明する。コイルを、砂面に対し斜め方向から接近させる。この状態でコイルに電流を流すと、コイル周囲に磁界が発生し、砂面に存在する磁性粒子はコイル中心部へと引き付けられ飛翔する。電流を印加後、磁性粒子が中心付近を通過する瞬間に電流を止めることで、磁気力の作用はなくなり、粒子は慣性を保って飛翔を続け、パイプ奥側へと到達する。また、本機構は電流を供給するためのLCR回路とマイコンを組み合わせた駆動回路を有する。

上記の原理の下、コイル段数を増やした多段式粒子搬送機構を試作し、下端コイルで捕捉した磁性粒子を後段のコイルで段階的に搬送した。

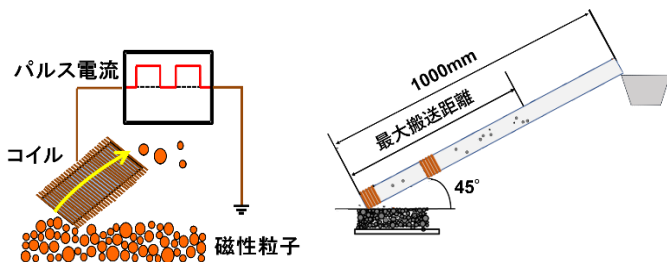


図1 磁気捕捉原理

図2 実験装置

3. 研究方法

3.1 実験装置

磁気捕捉・搬送機構の性能を調査するため、図2に示す装置を作成した。磁気力によってコイル(350回巻き)を通過した磁性体試料は、アクリルパイプ内を移動し、回収容器にて回収される。これにより、コイルの段数と粒子搬送距離を変化させた時の粒子回収量から捕捉・搬送性能を評価することができる。

3.2 数値解析

実験装置の理論的な性能を調査するため、式(1)で表される運動方程式について、個別要素法を用いて数値解析を行った。考慮した力はそれぞれ、 F_{mag} : 磁気力、 $F_{adhesion}$: 付着力、 F_{air} : 空気抵抗、 F_g : 重力である。また、この解析に用いたシミュレーションモデルを、実験装置と比較した様子が図3である。どちらの場合も、磁性体粒子が集団を形成してパイプ内部へと取り込まれる様子が確認できる。

$$m_i \mathbf{a}_i = \mathbf{F}_{mag} + \mathbf{F}_{adhesion} + \mathbf{F}_{air} + \mathbf{F}_g \quad (1)$$

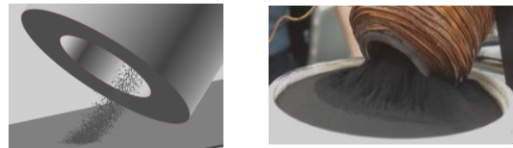


図3 数値解析結果(左)と実験結果(右)

4. 研究成果

図2の多段式搬送機構を用い、コイル段数を増加させた場合の磁性粒子の最大搬送距離を測定した。結果を図4に示す。図4より、コイル段数の増加に伴い、粒子搬送性能が向上していることが確認できる。また、多段式粒子搬送機構(5段)を用いた際の、月面上での月レゴリスの搬送性能と、火星上での火星レゴリスの搬送性能を数値計算により求めた。図5の結果より、月面上、火星上においても、それぞれ月レゴリスと火星レゴリスを1m以上搬送することが可能であるという計算結果が得られ、本機構の宇宙環境での有用性を示すことができた。また、高真空かつ低重力の月面環境において、粒子搬送能力の大きな性能向上を確認できた。

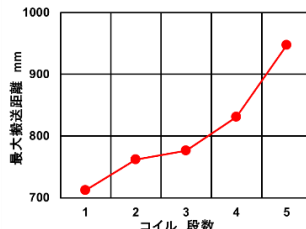


図4 コイルの段数と最大搬送距離

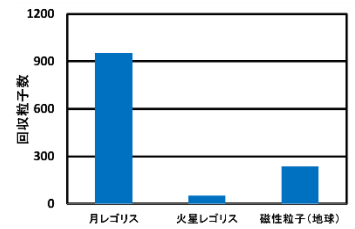


図5 月・火星における性能予測

発表論文

- 小畑, 芳賀, 小太刀, 繁田, 安達, 川本, 星野, 若林, 磁気力を用いた月・火星試料の採取機構, *SEC'15* (2015).
- M. Adachi, R. Obata, A. Shigeta and H. Kawamoto, Sampling of Regolith from Asteroids Utilizing Magnetic Force, *AIAA SciTech2015* (2016).
- 館野, 小畑, 川本, 磁気力を利用した月・火星試料のサンプリングシステム, *MAGDA2017* (2017).
- M. Adachi, R. Obata, H. Kawamoto, S. Wakabayashi and T. Hoshino, Magnetic Sampler for Regolith Particles on Asteroids, *J. Aerosp. Eng. 31* (2018) pp.04017095-1-12.