

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 1/ 9/ 2020

専攻名 (専門分野) Department	機械科学	氏名 Name	江川 理恵子	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	5118C020-4 CD		
研究題目 Title	磁気サンプリング機構を用いた月・火星土壌の長距離搬送				

1. 研究背景

近年、資源探査や科学的知見の創出、人類の活動領域の拡大等を目的に、世界各国で月・火星探査計画が進行している。米国は2024年までに有人月面着陸、2030年代に有人火星着陸を目指す「Artemis計画」を主導しており、日本もこの計画に参加することが決定した。二つの天体環境を解明するうえで、土壌試料の調査は必要不可欠である。また、今後の月・火星上での中長期的な有人滞在計画において、現地材料を用いることで拠点の構築や燃料の製造をするISRU(In-Situ Resource Utilization)という手法も非常に重要となり、土壌を採取・搬送するサンプリング技術は欠かせない。従来、月面探査のApollo(米国)や玉兔(中国)、火星探査のCuriosity(米国)といった探査ローバは、ロボットアームに搭載されたドリルを用いて土壌試料のサンプリングを行う掘削方式を用いてきた。しかしこの掘削方式は正確な制御が求められ、複雑な機械的駆動部を多く持つために、細かいレゴリスが舞っている宇宙環境においては故障しやすいという問題点がある。そこで本研究では、機械的駆動部を持たず、制御がシンプルで信頼性の高いサンプリング機構の開発を目指し、コイルに電流を流すことで発生する磁力のみを利用した磁気サンプリング機構の試作を行った。この機構は、月・火星レゴリスには磁性があるという性質に基づいて作成している。前年度までは装置の基礎研究を行ってきたが、今年度は、実用化という観点に基づき、土壌試料の長距離搬送(1 m)性能の評価、月・火星上での装置の汎用性について、実験およびシミュレーションによる解析による調査を行ったので以下に示す。

2. 磁気サンプリング機構の原理

本機構の原理を図1に示すコイルの断面図を用いて説明する。粒子の搬送部であるアクリルパイプにエナメル線を巻き付けコイルを作成し、コイルに電流を流すことで磁界を発生させる。発生した磁界により月・火星レゴリスのような磁性をもつ粒子は飛翔し、コイルの中心部に引き寄せられる。中心部を過ぎる瞬間を狙いタイミングよく電流を切断することで、粒子がコイルの中心部へ引き戻されることなく、慣性力によって上方に搬送される。また、本機構は長距離搬送をするためにコイルを複数用いており、大電流を流すためにコンデンサを用いたLCR回路を使用している。

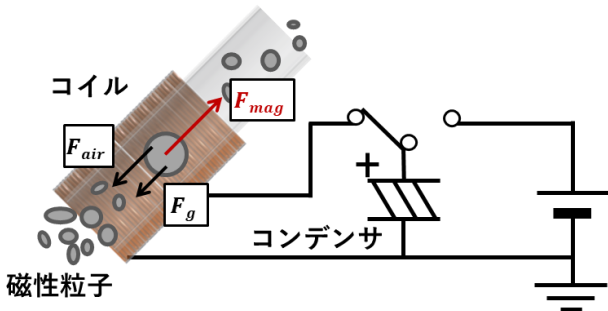


図1 磁気サンプリング機構の原理

3. 実験・シミュレーション結果

粒子の1 m搬送性能を調査するために、図2の直線型機構と図3の階段型機構の2種類を作成した。また、実際の月・火星環境での性能も調べるために、多粒子系のシミュレーションも行った。粒子の運動方程式は式(1)で示され、 F_{mag} : 磁力、 $F_{adhesion}$: 付着力、 F_{air} : 空気抵抗力、 F_g : 重力を表す。

$$m_i a_i = F_{mag,i} + F_{adhesion,i} + F_{air,i} + F_{g,i} \quad (1)$$

図2の直線型機構を用いた際の、粒子の最大搬送距離の解析結果を図4に、図3の階段型機構を用いた際の、粒子搬送率を図5に示す。結果より、地球上では直線型を用いて粒子の1 m搬送が達成できなかつたが、月面上では搬送できると予測できる。また、階段型でも、地球上より月面上のほうが搬送性能が向上することが考えられる。これは地球に対し月の重力は1/6と非常に小さい上に、空気抵抗力が無視できることが理由であると考えられる。一方火星は、直線型、階段型の両機構でも粒子の1 m搬送が出来なかつた。これは火星も地球より重力が小さいものの、粒子の透磁率が非常に小さいために(比透磁率: キャリア 4.0, 火星模擬砂 1.08)、磁力が強く作用しなかつたことが原因であると推測される。しかし、現在報告されている火星レゴリスのデータは少なく、実際の火星レゴリスの比透磁率はもう少し大きい値であるという可能性がある。そこで、比透磁率をパラメータとしてシミュレーションを行ってみたところ、比透磁率が約1.3以上であれば直線型で1 mの粒子搬送が可能であると見込まれた。

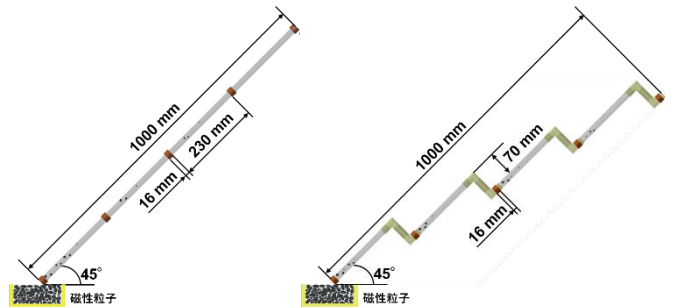


図2 直線型機構

図3 階段型機構

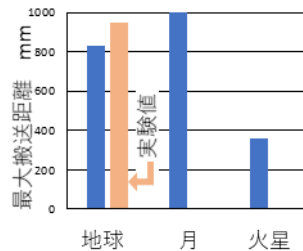


図4 最大搬送距離(直線型)

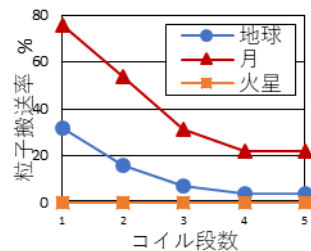


図5 粒子搬送率(階段型)

4. 発表論文

- 江川ら, “磁気力を用いた月・火星土壌のサンプリングシステム”, D&D 2018, 小金井(2018), pp.733
- 江川ら, “磁力を利用した月・火星土壌のサンプリングシステム”, 宇科連 63, 徳島(2019), 3D09