

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 19 / 2012

専攻名 (専門分野) Department	機械科学	氏名 Name	林崎 希望	指導員 Advisor	川本 広行 印 Seal
研究指導名 Research guidance	精密工学	学籍番号 Student ID number	5110C075-7		
研究題目 Title	静電力を利用した月レゴリスの搬送システム				

## 1. 研究目的

近年、月面開発計画が世界各地で進められており、その中でも ISRU (In-Situ Resource Utilization) と呼ばれる現地資源を利用した月面開発が検討されている。特に、月レゴリスの組成には酸化物が多く含まれているため、酸素や水などの生成が可能である。そのため、月レゴリスを効率的かつ大量に搬送する技術の開発が必要とされている。そこでわれわれは、進行波電界と呼ばれる静電力を利用した粒子搬送技術による月レゴリス搬送システムの開発を行った。

本研究では、粒子搬送向上の妨げとなる凝集粒子を崩し、効率的に搬送できるシステムの開発を行った。その中でも昨年度より搬送効果が確認されている、搬送基板に加振器を組み合わせた搬送システムを採用し、性能を評価した。さらに、数値計算による挙動解析によって、地上での粒子挙動の再現と月面上での挙動の予測、また実際に実験することが困難である条件での搬送シミュレーションを行い、更なる搬送量向上の可能性を示した。

## 2. 静電搬送システム

図1に粒子搬送 (静電搬送) システムの構造を示す。電極を長手方向に縞状に並べた構造で、粒子-電極間の絶縁および電極間の放電防止のために、電極上は絶縁フィルムで被覆されている。進行波電界は、4台の発振器から位相を順に $\pi/2$ ずつずらした4相の交流信号を出力し、高圧アンプによって増幅し、縞状電極に印加した。これより粒子は静電力によって進行波方向に力を受け搬送される。

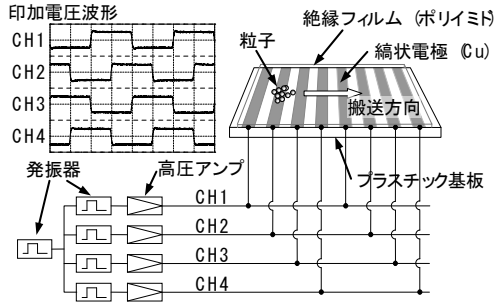


図1 静電搬送システムの概略図

## 3. 数値計算による粒子搬送

加振による粒子搬送を定性的に評価し、その様子を可視化するため、数値計算を行った。数値計算は電界計算と粒子挙動追跡計算から成り、電界分布は2次四角形要素による有限要素法でラプラス方程式を解いた。粒子挙動追跡計算は剛体球モデルによる個別要素法を用いて、式(1)、(2)に示す運動方程式を4次ルンゲクッタ法により解いた。なお、 $F_q$ :クーロン力、 $F_{dipole}$ :分極力、 $F_{image}$ :鏡像力、 $F_{adhesion}$ :付着力、 $F_{air}$ :空気抵抗力、 $F_g$ :重力、 $i$ :粒子番号、 $m_i$ :粒子の質量、 $\mathbf{u}_i = (x, y, z)$ :粒子の並進ベクトル、 $\boldsymbol{\theta}_i = (\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ :回転ベクトル、 $I$ :粒子の回転慣性モーメント、 $r$ :粒子半径、 $\mathbf{n}$ :法線方向単位ベクトル、 $\mathbf{J}$ :粒子 $i$ に働く衝撃力である。衝突後の状態については\*を添えている。

$$m_i \ddot{\mathbf{u}}_i = \mathbf{F}_q + \mathbf{F}_{dipole} + \mathbf{F}_{image} + \mathbf{F}_{adhesion} + \mathbf{F}_{air} + \mathbf{F}_g, I_i \ddot{\boldsymbol{\theta}}_i = \mathbf{0} \quad (1)$$

$$\dot{\mathbf{u}}_i^* = \dot{\mathbf{u}}_i + \mathbf{J} / m_i, \boldsymbol{\theta}_i^* = \boldsymbol{\theta}_i + r \mathbf{n} \times \mathbf{J} / I \quad (2)$$

加振加速度をパラメータに、搬送量を測定した。なお加振周波数は100 Hzとした。この値は実験・計算にて把握した最適値である。図2に示すように、概ね加振加速度が1 Gを超えた付近で搬送量が増加した。

上記より、加振加速度の増大に伴い搬送量は増加した。従って最大10 Gの加振加速度を一定とし、進行波電界の周波数をパラメータに搬送量を調査した。図3より、進行波電界のみ(以下、振動なし)の場合では周波数10 Hzで、1分間当たり最大2 gの粒子が搬送された。一方、進行波電界に振動を加えた(以下、振動あり)場合では、比較的どの周波数域においても高い搬送量を示した。特に周波数20 Hzで、1分間当たり最大8 gの粒子が搬送された。

加振による粒子搬送の定性的な評価結果を踏まえ、振動あり・なし各々の最適条件による粒子挙動の可視化を行った。図4にシミュレーション結果を示す。図4(a)より、振動なしの場合は、粒子が進行波に追従し、時間経過と共に基板上に残留してしまうことがわかった。一方、振動ありの場合は図4(b)より、粒子が基板からの力を常に受け続けるため、基板上に残留せず搬送された。

以上から、月レゴリスの搬送システムに加振器を併用した新たな搬送システムの有効性を示した。

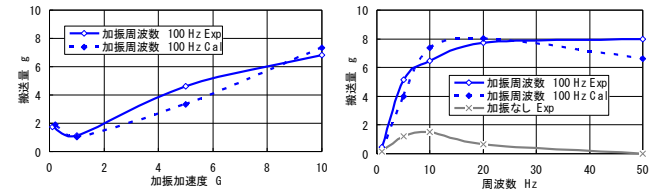


図2 加振加速度と搬送量の関係 図3 周波数と搬送量の関係

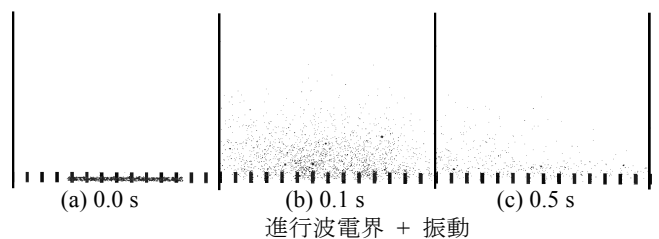
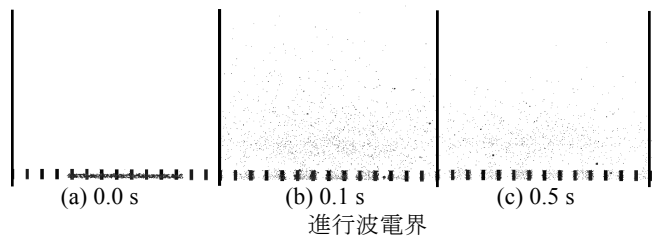


図4 粒子搬送のシミュレーション結果