

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 16/1/2014

専攻名 (専門分野) Department	機械工学	氏名 Name	吉田 圭佑	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	5112C104-1		
研究題目 Title	進行波電界と振動を利用した月土壌の搬送システム				

1. 研究目的

人類の月面進出の際に生活基盤となる住居を、月面の砂を用いて製造する計画 (ISRU) が進められている。月の砂には多くの SiO_2 や CaO が含まれ、コンクリートを生成することが可能である。また、燃料や酸素などの合成も計画されており、地球からの物資に依存しない手法として注目を集めている。

ISRU では材料として多量の砂を必要とする。そこで本研究では、砂の効率的な搬送方法として、進行波電界と呼ばれる静電力を利用したシステムの開発を行っている。この進行波電界搬送システムの課題として、搬送途中の粒子が凝集し搬送性能が低下する現象があるため、搬送能力向上のために振動搬送の併用を試みた。

2. 実験装置

図 1 に粒子搬送システムの構成を示す。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。また、振動搬送機構として、 piezoアクチュエータを採用した。piezoアクチュエータは図 1 の搬送基板を垂直に振動させ、砂の凝集を改善する。粒子は 1 g/min で連続的に供給して 1 分間に搬送される粒子の量を測定した。

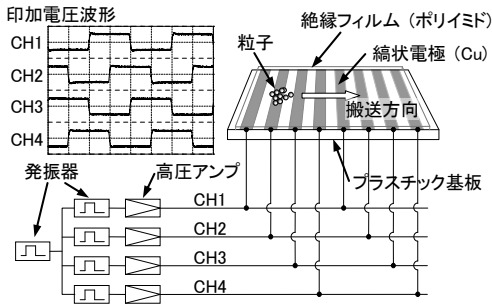


図 1 静電搬送システムの概略図

3. 月模擬砂の搬送特性

図 2 に進行波電界のみ、図 3 に進行波電界と垂直振動を同時に加えた場合の実験結果を示す。この結果から、振動を加えることで搬送量が約 10 倍に向上することがわかる。しかし、粒子を進行方向に伝える機構が進行波電界のみでは、搬送量は g/min が限界であり、大量搬送のためには、進行方向に振動を加える必要がある。

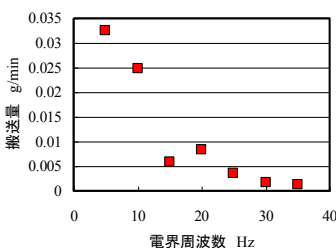


図 2 電界による搬送性能

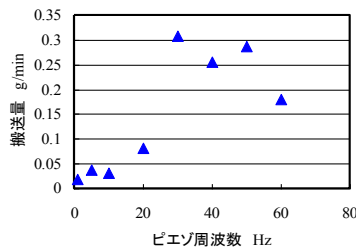


図 3 電界と振動による搬送性能

4. シミュレーション手法

数値計算は電界計算と挙動計算の 2 ステップから構成される。電界計算は 2 次元の差分法を、挙動計算は 3 次元個別要素法 (DEM) を用いて解析した。個々の粒子に加わる力を算出し、式 (1) (2) の運動方程式をルンゲクッタ法によって解いている。今導入した振動搬送は粒子に加わる撃力として組み込んだ。

$$m_i a_i = \mathbf{F}_q + \mathbf{F}_{dipole} + \mathbf{F}_{image} + \mathbf{F}_{adhesion} + \mathbf{F}_{air} + \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_{impulse} \quad (1)$$

$$I_i \dot{\theta}_i = 0 \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{F}_q : クーロン力、 \mathbf{F}_{dipole} : 分極力、 \mathbf{F}_{image} : 鏡像力、 $\mathbf{F}_{adhesion}$: 付着力、 \mathbf{F}_{air} : 空気抵抗力、 \mathbf{F}_g : 重力、 $\mathbf{F}_{impulse}$: 撃力である。

5. 研究成果

月土壌は形状が不均一で、粒度分布は $1 \mu\text{m}$ から数 mm と、幅広い。そこで、粒径によって搬送量にどのように影響するか計算した。図 4 に結果を示す。なお、振動角度は進行方法に対して水平から 20° である。この結果から進行波電界のみでは大径粒子の搬送は困難であることがわかる。そこで、進行方法に対して水平から 20° に piezo を振動させ、進行波電界の周期と同期させた場合、搬送性能がどこまで向上するか計算した結果を図 5 に示す。この結果から相乗効果により、大幅に向上する可能性がある。

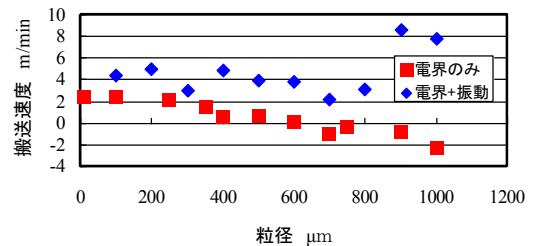


図 4 粒径による搬送速度の変化

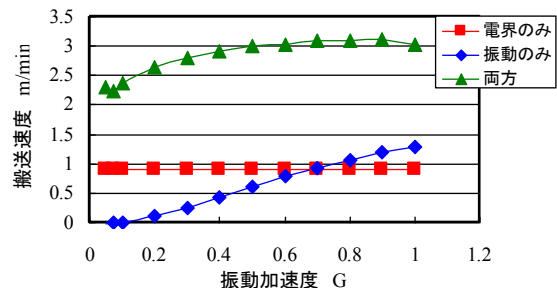
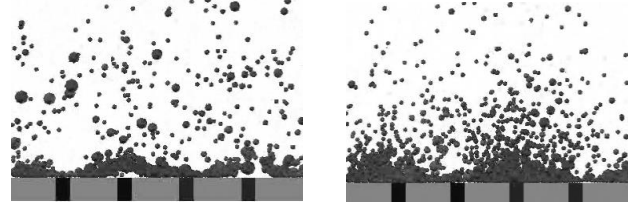


図 5 周期の同期による搬送量の向上



(a) 電界のみ

(b) 電界+振動

図 6 搬送方法別の粒子挙動