

専攻名 (専門分野)	機械科学	氏名	渡部 修平	指 導 員 川本 広行 印
研究指導名	精密工学	学籍番号	CD 5111C124-3	
研究題目	進行波電界と振動を併用した月土壤搬送システムの開発			

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、月面の砂を元に製造する計画 (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、燃料や酸素などの製造も計画されており、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。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見られるため、断続的な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に進行波電界による粒子搬送機構の構造を示す。本機構は縞状に並んだ電極によって構成され、それぞれの電極に位相が $2/\pi$ ずれた方形波を印可することで、粒子を一意の方向に動かす不平等電界を形成する。また、振動搬送機構として電磁フィーダを採用した。電磁フィーダは図1の搬送基板を水平から20度の方向に上下振動させ、凝集をほぐす働きをする。

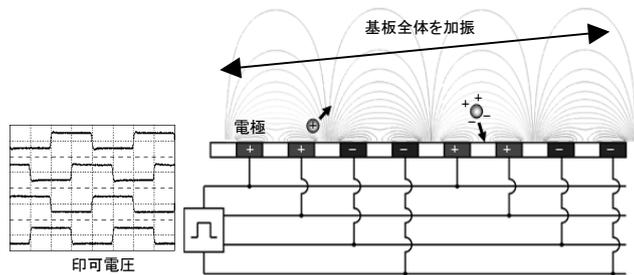


図1 粒子搬送機構の概略図

3. 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)の運動方程式を4次ルンゲクッタ法によって解いている。今回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。

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

$$I_i \ddot{\theta}_i = 0$$

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。

4. 搬送形態の差異

進行波電界と振動では搬送の形態が異なる。図3に示すように、進行波電界による搬送では粒子が基板上をクラウド状に運ばれてゆくのに対し、振動搬送ではほぼ地面に接触ながら運ばれる。両者は相反するモードであるため周期の組み合わせ次第では性能の低下を引き起こす。

また、図4,5に粒子に加わる力の時間変化を示す。進行波電界による搬送では電界が切り替わる瞬間に大きな力が加わり、以降は電極に強く引き付けられる。電界による力は振動によって加わる力以上に強いため、全体としては電界による搬送が支配的になる。こ

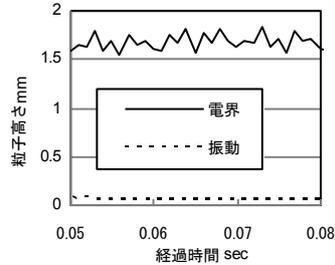


図3 粒子高さの時間変化

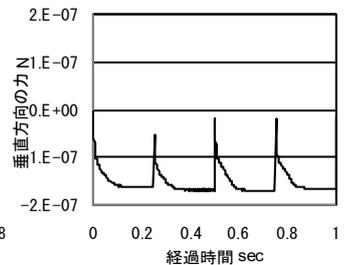


図4 電界が粒子に与える力

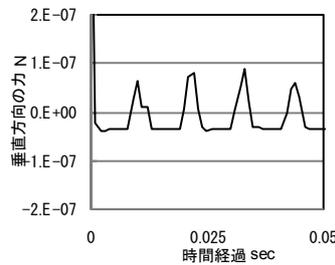


図5 振動が粒子に与える力

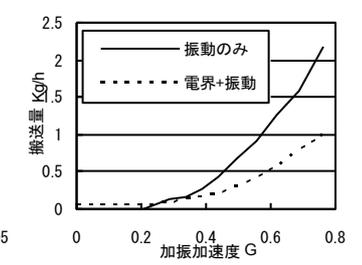


図6 電界による搬送性能の低下

これらの要因によって、電界と振動による搬送性能は線形性を持たない。この結論は図6に示す実験結果と一致している。

5. 研究成果

進行波電界の周期と振動搬送による周期を最適化し搬送性能の向上が見込めることを確認した。図7に方法別の搬送量比較を示す。進行波電界のみ、振動搬送のみではそれぞれ粒子を運ぶことのできない条件であっても、同時に印可すると相互作用によって搬送量が向上している。計算で用いた振動条件は増幅機構を持ったピエゾ素子で再現可能な範囲であり、実際の機構としては低コストで実現できると考えられる。

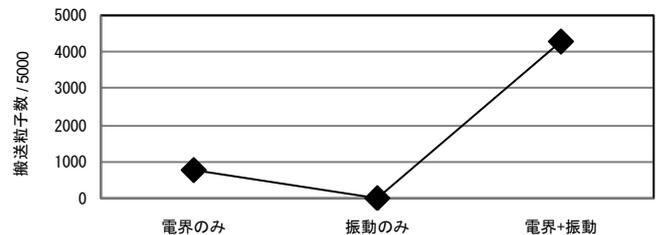
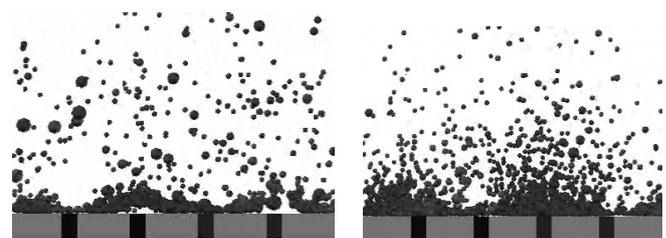


図7 周期の同期による搬送量の向上



(a) 電界のみ

(b) 電界 + 振動

図8 搬送方法別の粒子挙動