

# 修士論文概要書

2011年1月提出

|               |                    |      |            |    |         |
|---------------|--------------------|------|------------|----|---------|
| 専攻名<br>(専門分野) | 機械科学               | 氏名   | 岡本直大       | 指導 | 川本 広行 印 |
| 研究指導名         | 精密工学               | 学籍番号 | 5109C019-0 | 教員 |         |
| 研究<br>題目      | 進行波電界を利用した月土壤の搬送機構 |      |            |    |         |

## 1. まえがき

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) と呼ばれる月土壤などの現地資源から酸素や水を生成する技術が注目されている。そこでわれわれは、月土壤を大量かつ効率的に搬送できるシステムを開発するため、進行波電界と呼ばれる静電力を利用した粒子搬送に関する研究を行っている。本研究では、月土壤の成分・形状・粒度分布を再現した模擬砂を用いて、月面上での使用を考慮した氷を含む月模擬砂の搬送、真空下での搬送実験を行い、また新たな搬送機構として上下二相基板を提案し、搬送量向上を図り、最適な搬送条件の把握を行った。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. 静電搬送機構

図 1 に粒子静電搬送機構を示す。電極を長手方向に縞状に並べた構造で、粒子一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。

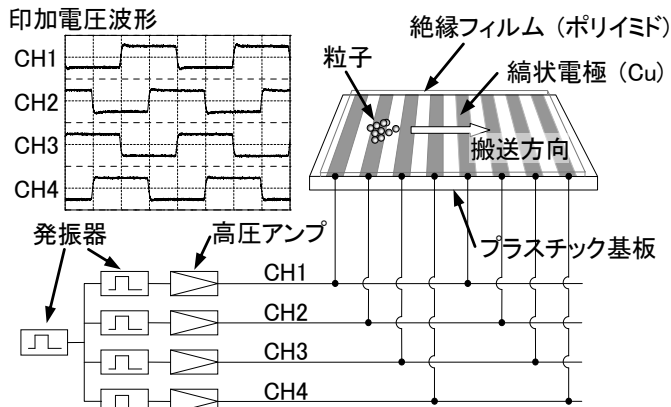


図 1 粒子搬送機構の概略図

## 3. 月面上での使用に向けて

### (1) 氷を含む月模擬砂の搬送

月面上には水が存在することが明らかとなった。水がどのような状態で存在するかは不明であるが、氷となって月土壤と混在した状態で存在する可能性が挙げられる。そこで、本機構によって氷の搬送が可能であるか、また氷の混合率が搬送量に及ぼす影響を調査した。結果を図 2 に示す。図 2 より、氷のみでは搬送不可能であったが、月模擬砂と混合することにより搬送可能となることがわかった。特に混合率 4 wt% においては月模擬砂のみより搬送量が増加した。これより、月面上での氷を含む月土壤の搬送においても本機構は有効であると考えられる。

### (2) 高真空下での搬送効率

月面上は真空であるため、真空下において本機構が機能するところを確かめる必要がある。そこで真空槽内で気圧をパラメータとした搬送効率を調査した。結果を図 3 に示す。10~1000 Pa の気圧域では搬送効率が著しく減少していることがわかる。こ

の気圧域は放電が発生しやすい気圧域とほぼ一致しているため、放電による電圧降下の影響であると考えられる。更に高真空である 0.001 Pa では放電は発生せず、大気圧とほぼ同じ搬送効率が得られたため、月面上 ( $10^{-7}$ ~ $10^{-10}$  Pa) での使用には問題ないと考えられる。

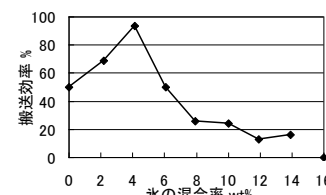


図 2 氷の混合率と搬送効率

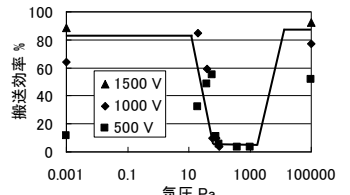


図 3 気圧と搬送効率

## 4. 上下二相基板による搬送

搬送量の増加を図るべく、新たな搬送機構として図 4 に示すような上下二相基板を提案した。これは上下に配置した二相の平行電極を有する基板に進行波を印加することによって月模擬砂を搬送する機構であり、従来の機構と比較して上下から月模擬砂に静電力を与えるため、粒子同士の凝集を抑制し、搬送量向上が期待できる。上下二相基板について実験及び数値計算により最適な設計を考察した。なお、数値計算は、電界計算と粒子挙動追跡計算の二つから成る。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。粒子挙動追跡計算には剛体球モデルによる個別要素法を用いた。

従来の四相基板と上下二相基板の搬送効率の比較を図 5 に示す。実験結果では四相基板の約 4 倍の搬送量を得ることができたが、計算結果は実験結果とは一致しなかったため、計算方法の見直しが必要である。また、実際の搬送の様子と数値計算による挙動観察を図 6 に示す。両者ともに上下の基板表面に発生した電界に沿って粒子が搬送される様子が再現できた。

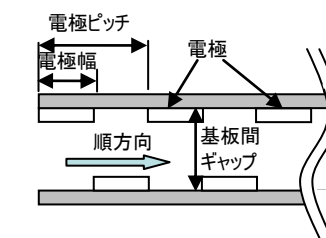


図 4 上下二相基板の概略図

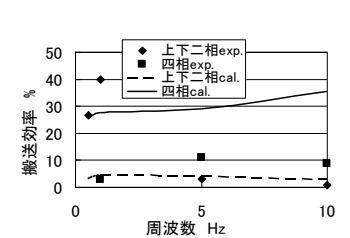
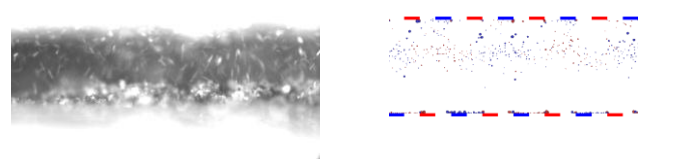


図 5 四相基板と上下二相基板の搬送量



(a) 実験 (b) 数値計算

図 6 上下二相基板による月模擬砂の挙動

## 発表論文

- 岡本, 井ノ上, 川本, 磁性マニピュレータによる月模擬砂の個別操作, 機械学会関東学生会 (2009) pp.489-490
- H. Kawamoto and N. Okamoto, Electrostatic Transport of Lunar Soil for in-situ Resource Utilization, SUM2010 (2010)