

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	番場 栄介	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	CD 5110C076-1		
研究題目 Title	静電力を利用した月レゴリスの分級機構				

1. まえがき

近年の月面探査において、ISRU (In-Situ Resource Utilization) と呼ばれる現地の資源を利用した月面開発が検討されている。月レゴリスと呼ばれる月面を覆う表土は粉塵であるため、利用に当たって粉体技術が必要となることが想定されている。中でも粒子を粒径の大小でグループ分けするいわゆる分級は、重要な単位操作である。しかし、従来地上で用いられる分級方法の多くは、真空である月面上では適用することが困難である。従って、月面環境において効率的にレゴリスを分級する技術が必要とされている。

そこで、本研究では、真空条件下でも有効な手段として静電力を利用した分級に着目し、レゴリスへの適用を目指した。2種類の分級機構を試作し、実験によりその特性と性能を把握して最適な分級方法を模索した。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分級シミュレーションを行い、月面での有効性を示した。

2. 分級原理

2.1 平行平板分級機構

図1に平行平板型分級機構の概略を示す。2段構造であり、上方の粒子を帯電させる部分と下方の電界によって粒子をより分ける部分からなる。帯電部は針状平板電極系に高電圧を印加することでコロナ放電を発生させる。下方は平行平板電極で構成されており電極間に形成される電界により、粒子に静電力を作用させる。粒径により重力に対する静電力の大きさが異なり、径の小さい粒子ほど落下中心から離れた位置に回収される。

2.2 縞状電極分級機構

ある特殊な形状の不等電界はその上方に微粒子や繊維を電気的に浮上させて保持することが可能である、「電界カーテン」と呼ばれるアイデアが報告されている。図2に示すように、これを傾斜させることで、保持された粒子を重力により斜面に沿って下方へ搬送することが可能である。粒径が大きい粒子ほど重力が支配的となり落下するため、保持・搬送される粒子は粒径が小さいものとなる。

本研究では絶縁導線を縞状に配置することで電界カーテンを構成した。図2に示すように交互に逆位相の方形交流電圧を印加することで電界を形成し、分級を試みた。形成される電界は定在波不等交流電界となる。

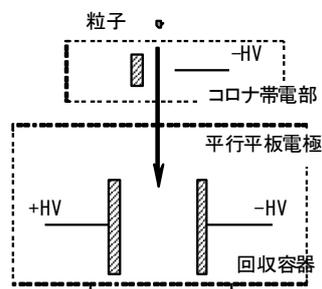


図1 平行平板分級機構

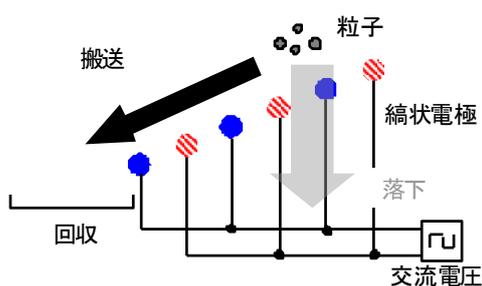
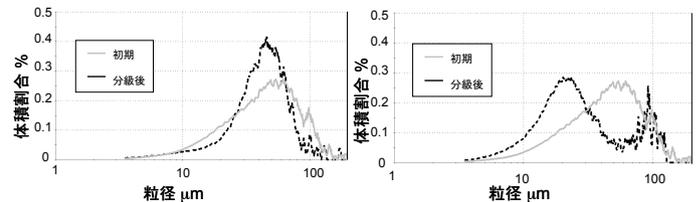


図2 縞状電極分級機構

3. 研究成果

それぞれの分級性能を評価するため、乾式粒子画像分析装置 (Malvern, Morphologi G3/G3S) を用いて初期粒子と分級後の粒子の粒度分布を測定し、比較した。結果を図3に示す。平行平板電極による分級では体積割合がピークとなるのは粒径 50 μm 程度であり、投入時のものと比較して大きな変化は確認できなかった。一方、縞状電極による分級ではピークの粒径が小さくなっており、グラフ全体も左方へ寄っていることが確認できる。縞状電極を利用した分級の有効性を見出した。



(a) 平行平板分級機構 (b) 縞状電極分級機構

図3 分級後の粒度分布比較

4. 粒子の挙動解析

月面上での挙動を再現・予測するため、粒子の搬送形態を観察した。数値解析は電界計算と粒子挙動追跡計算から成り、電界分布は2次元有限差分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、 \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, 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。傾斜に対しては $\mathbf{g} = (-\cos\phi, \sin\phi) \mathbf{g}$ とした。

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

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

図4に電界分布を示す。また、図5にシミュレーションにより再現した搬送粒子の様子を示す。電極上方へ一定距離離れた位置に粒子群が浮遊している様子が確認できる。

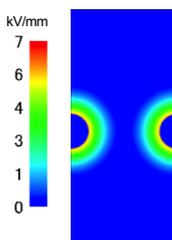


図4 導線間の電界分布

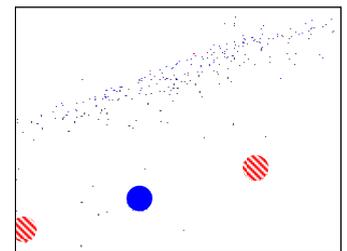


図5 クラウドの様子

発表論文

- 番場, 石橋, 白井, 川本, 進行波電界を利用した月土壌搬送機構, SEAD (2010) pp.490-495