

2010年1月提出

学籍番号 5108C076-9

専門分野	機械工学	氏名	松井 雄大	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	宇宙服に付着したルナダストの磁気力を利用した除去システム				

1. まえがき

現在世界各国で計画されている有人月面探査を行うにあたり、ルナダストと呼ばれる粒径数 μm ～数百 μm の月面上の粉塵が宇宙服に付着し、宇宙服の品質や人体に悪影響を及ぼすことが問題となっている。そこでわれわれは、ルナダストが磁性体であることに着目し、特殊な磁極配置のマグネットロールによりルナダストを除去する機構の開発を行った。本機構は電源・動力源が不要で小型・軽量であるため、長期間の月面活動での使用に適している。本研究では、マグネットロールの磁場特性、および月模擬砂に作用する磁気力を実験と数値計算から明らかにすることで、月模擬砂の除去原理を解明した。さらに、作製した機構を用いた捕捉・分離実験により、月模擬砂の除去特性を把握するとともに、除去過程における粒子径別のルナダストの挙動をシミュレーションにより再現した。

2. 実験装置

ルナダスト除去機構概略を図1に示す。除去機構は、マグネットロールとその周りを回転するスリーブ、及びルナダストを回収する容器から構成される。マグネットロールは特殊な磁極配置により、2つのS極が隣接する区間(反発極)において磁性粒子に対し磁気反発が作用するように設計されている。宇宙服に本機構を接触させ、スリーブを回転させることで、スリーブ上でルナダストを捕捉・搬送・分離する。この一連の動作を繰り返すことでルナダストを除去することができる。

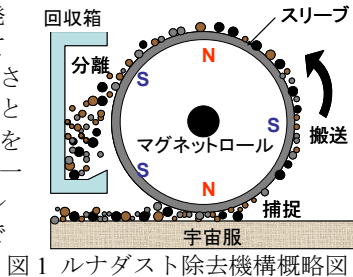


図1 ルナダスト除去機構概略図

3. 月模擬砂除去実験

ルナダスト除去機構を用いて月模擬砂除去実験をおこなった。図2にスリーブ回転数を変化させたときの除去効率、図3に複数回除去をおこなった場合の除去効率を示す。図2より、捕捉効率は70%、分離効率は80%となり、50%以上の除去効率を実現した。また、図3より10回程度の除去で、除去効率が飽和することがわかった。

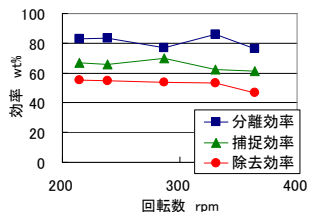


図2 回転数別除去実験

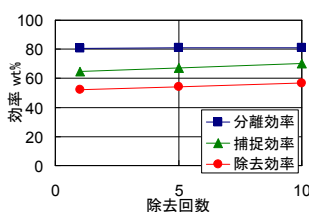


図3 複数回除去実験

4. 数値計算

マグネットロール内部に複数個の二次元磁気双極子モーメントが配置されていると仮定して、二次元境界の近似計算を行った。線密度 P_{li} の二次元磁気双極子モーメント i が二次元断面内の相対位置 r_i に形成する磁束密度 B_i は以下のようになる。

$$B_i = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{2(P_{li} \cdot r_i)r_i}{|r_i|^4} - \frac{P_{li}}{|r_i|^2} \right) \quad (1)$$

ここで、 μ_0 は真空の透磁率である。配置したすべての二次元磁気双極子モーメントについて式 (1) を立て、それらの総和をとることによって図4に示すような磁束密度分布を求めた。さらに、外部磁場から図5に示すような磁気力分布を求めた。また、粒子の運動解析には剛体球モデルによる三次元個別要素法を用いた。二次ルンゲクッタ法を用い、式(1)に示す運動方程式を解いた。また、粒子間衝突には式(2)に示す衝突方程式を解いた。ここで、 $x=(x, y, z)$, $\theta=(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$, m : 粒子質量, F_m : 磁気力, F_v : ファンデルワールス力, F_f : 鏡像力, F_j : 液架橋力, F_g : 重力, F_a : 空気抵抗力, I : 粒子の慣性モーメント, M_m : 磁気モーメント, r : 粒子半径, n : 法線方向単位ベクトル, J : 粒子 i に作用する衝撃力である。衝突後の状態については*を添えている。

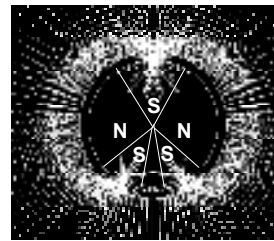


図4 磁場分布計算結果

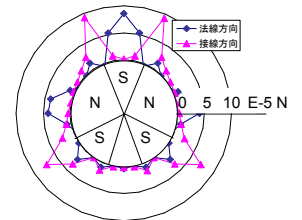


図5 磁気力分布計算結果

$$m \frac{dx}{dt} = F_m + F_v + F_f + F_j + F_g + F_a, \quad I \frac{d\theta}{dt} = M_m \quad (2)$$

$$\dot{x}^* = \dot{x} + J/m, \quad \dot{\theta}^* = \dot{\theta} + rn \times J/I \quad (3)$$

本研究では、粒子径を (A) 25 μm 以下, (B) 25-53 μm , (C) 53-106 μm , (D) 106-300 μm と分けて計算をおこなった。粒子径別のシミュレーション結果を図6に示す。図6より、25 μm ～300 μm の粒子径においてルナダストが捕捉極で捕捉され、反発極まで搬送された後にスリーブから分離される様子が再現できた。また、25 μm 以下の粒子においては、一部の粒子がマグネットロールから分離されず残留する様子が確認できた。これは、25 μm 以下の粒子の分離効率が、他の粒子径の場合に比べて60%以下と低くなったことと一致する。

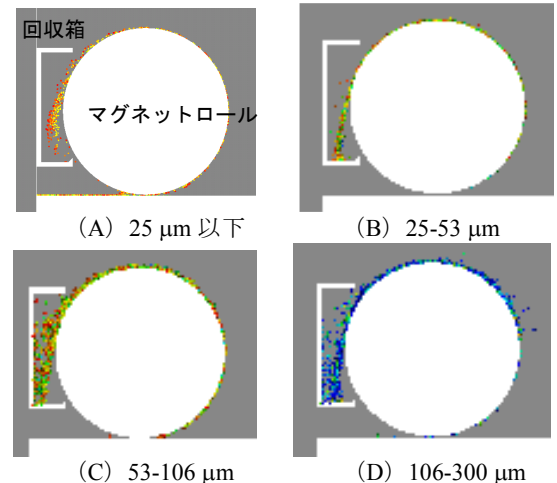


図6 ルナダスト挙動計算結果

発表論文

1. 松井, 矢代, 川本, "粒子分離機構を備えた静電マニピュレータ", 第20回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 別府 (2008-5) pp.685-688.