

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/17/2014

専攻名 (専門分野) Department	機械科学	氏名 Name	芦葉 健太郎	指導 教員 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	5112C005-0 ^{CD}		
研究題目 Title	交流電圧を利用した小惑星からの粒子採取システム				

1. 研究目的

小惑星探査ミッションである「はやぶさ」は、小惑星からその表面物質を持ち帰った世界初の小惑星サンプルリターンミッションとして世界中から関心を集めた。このミッションでは粒径が3~180 μmの1600個程度の粒子を持ち帰ることに成功したが、そのほとんどは10 μm未満の微粒子であった。これらの粒子は太陽系の原始的な姿をとどめた小惑星の直接的なサンプルであり、太陽系進化の研究に大きく寄与することが期待されている。「はやぶさ」の成果から「はやぶさ2」をはじめとする他の小惑星や火星からのサンプルリターンなど新たなミッションが計画されている。しかし「はやぶさ」に採用された弾丸打ち込み式の採取方法では実際には弾丸が打ち込まれていなかったなど、駆動部を有するがゆえの問題点も明らかになった。以上の問題から、より確実に採取できる、信頼性の高いサンプラーの開発が望まれている。そこでわれわれは、静電力を利用した新しい粒子採取システムを考案した。この静電サンプリング機構には、構造が単純、制御が容易、駆動部がない、低消費電力などの利点があり、無人惑星探査に適していると考えられる。本研究ではこの機構を用いて粒子の帯電量によらない粒子採取、大粒子採取を目的として粒子採取実験とシミュレーションを行った。

2. 静電力を利用したサンプラーの原理

2枚の平行平板電極間に粒子を設置し電圧を印加すると、片側電極に置かれた粒子が帯電し、クーロン力によって対向電極へ飛翔し、また対向電極においても逆極性に帯電・飛翔することによって、粒子が電極間で繰り返し振動する現象が確認されている。この際に片側電極に空孔を設けておくと、飛翔した粒子が空孔を通過する。また電界が空間的に不平等な場合、粒子の分極荷電とこの不平等電界相互作用の相互作用の結果、その結果粒子には電界強度の強い場所に吸引しようとする分極力が作用する。これらの力を応用し、平行線電極を用いることで粒子の捕捉を可能にしたサンプラーの概略図が図1である。パラボリックフライトを利用した無重力下での実験には図2のような装置を使用した。電極として直径1.3 mmのナイロン皮膜ワイヤーを使用し、上下部電極に2相方形波交流電圧を印加した。また、実験では粒子として月レゴリスを模擬したFJS-1を使用した。

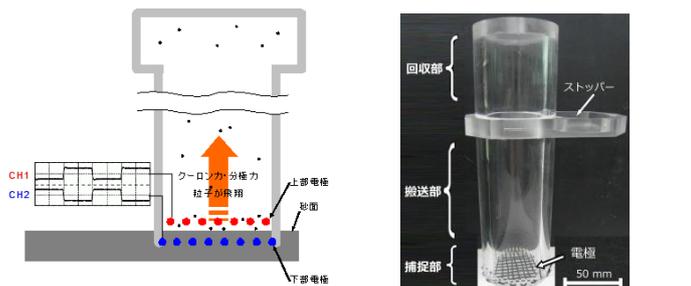


図1 静電サンプラー概略図 図2 実験に用いたサンプラー

3. 静電サンプラーの基本性能

無重力状態で1秒間の粒子採取実験を行った。図3に採取時の様子、図4に採取量の周波数特性を示す。印加周波数1 Hzで約900 mgを採取することができた。実験で用いたサンプラーは「はやぶさ」に搭載されたサンプラーの1/9の採取面積である。

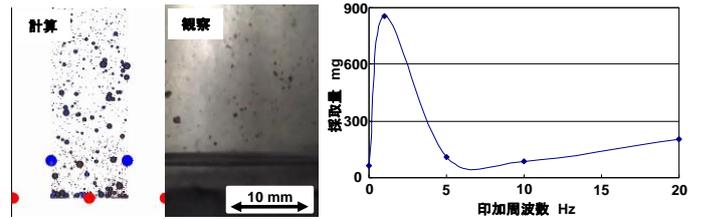


図3 粒子挙動の一例

図4 採取量の帯電量比較

4. 研究成果

採取時に粒子に働く分極力を計算し、実験値と比較した結果を図5に示す。計算は試料を剛体球とみなして、個別要素法で運動方程式をルンゲクッタ法により解いた。分極力の算出に必要な電界計算には有限要素法を用いた。実際に採取を行う小惑星粒子の帯電量は未知なため、分極力は粒子採取において信頼性の高い力である。またクーロン力の影響を調査するため設置粒子の帯電量による採取量の比較を行った。結果を図6に示す。帯電量が小さい場合、帯電量による採集性能の変化は小さく、帯電量なしの場合でも静電サンプラーは有効である。

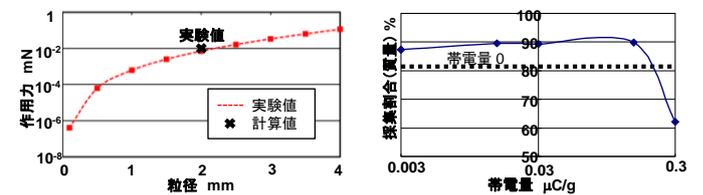


図5 分極力の粒径比較

図6 採取量の帯電量比較

地上実験、無重力実験での採取粒子の粒度分布を図7に示す。地上で困難であった直径100 μm以上の粒子が無重力下では採取できた。次に直径1000 μm以上の粒子について、採取割合を計算によって求めた結果を図8に示す。直径4000 μm程度の大粒径であっても採取できることが判明した。

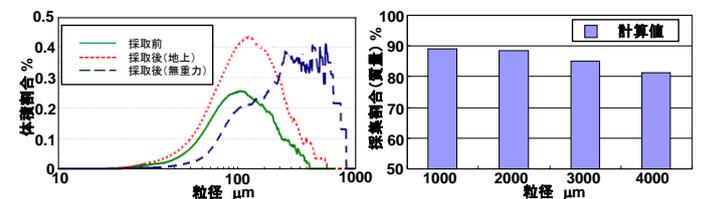


図7 採取粒子の粒度分布

図8 大径粒子の採取割合

発表論文

1. 芦葉, 渡部, 川本, 静電力を利用した小惑星からのサンプリング技術, Dynamics and Design Conference 2012 (2012) pp. 86.
2. 前園, 芦葉, 川本, 静電力を利用した小惑星からの粒子採取システムの開発, JSMAC-27 (2012) pp. 04.
3. H. Kawamoto and K. Ashiba, Autonomous Electrostatic Sampling of Regolith from Asteroids, ACM2012, Niigata (2012) 6014.
4. H. Maezono, K. Ashiba, Y. Hashi and H. Kawamoto, Sampling of Small Regolith Particles from Asteroids Utilizing Alternative Electrostatic Field, (APRSFAF-20), Hanoi (2013).

受賞

1. 芦葉, 橋, 前園(早大チーム), 最優秀賞, 第10回航空機による学生無重力実験コンテスト, JAXA (2013).