

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 1 / 15 / 2015

専攻名 (専門分野) Department	機械科学	氏名 Name	前園 拓紀	指導 教員 Advisor	川本 広行 印 Seal
研究指導名 Research guidance	精密工学研究	学籍番号 Student ID number	5113C092-7		
研究題目 Title	静電力を利用した小惑星における粒子採取機構の開発				

1. 研究背景

小惑星探査機はやぶさはイトカワの一部をサンプルとして回収して地球に帰還した。はやぶさのサンプル回収機構は高度な技術を有しているが、サンプル回収機構が作動しないといったアクシデントが発生するなど解決すべき課題は残されている。本研究ではより信頼性の高いサンプリング方法として、静電力を利用したサンプリング機構を考案した。これはサンプリングホーン下部に設置された上下 2 層の電極に高電圧方形波を印加し、発生した静電力によって粒子を飛翔させ回収する機構である。この機構の実使用環境における有用性を示すには数値計算を用いたシミュレーションが必要である。

そこで本研究では粒子挙動計算プログラムを作成し、地球上での実験の結果と比較することで妥当性を検証した。その後、粒子挙動計算プログラムを用いて静電サンプラーの実使用環境における性能評価を行った。

2. 研究手法

2.1 シミュレーション方法

粒子挙動計算には剛体球モデル個別要素法を利用した。粒子に作用する力としてクーロン力、誘電泳動力、付着力、空気抵抗、重力を考慮し、運動方程式は 4 次のルンゲクッタ法で解いた。また、粒子の衝突は衝撃方程式を利用して計算している。

2.2 シミュレーションの妥当性

計算の妥当性を検証するために、地球上で粒子回収実験とシミュレーションの比較を行った。しかし、地球上では重力によって粒子が落下してしまうため、通常の静電サンプラーでは粒子を回収部まで運ぶことができない。そこで図 1 のように傾面に静電サンプラーを設置することで粒子の回収を行った。

3. 研究成果

3.1 free-fall 法による粒子の帯電量測定

ファラデーケージのような簡易な帯電量測定方法では粒子それぞれが持つ帯電量を測定できない。そこで free-fall 法によって測定し、粒径に対する比帯電量分布をシミュレーションに導入した。

3.2 交流電界中における誘電泳動力の簡易計算

静電サンプラーには交流電圧を印加しているため誘電泳動力を理論式で求めることができない。そこで、非定常電界解析により、誘電泳動力の時間応答性を求め、粒子の時定数と静電界中の誘電泳動力の理論式を利用して簡易計算モデルを構築した。このモデルでは電圧の切り替わりから時定数秒間の誘電泳動力は十分に小さいとして 0 とし、その後、静電界の誘電泳動力の理論値を作用させた。

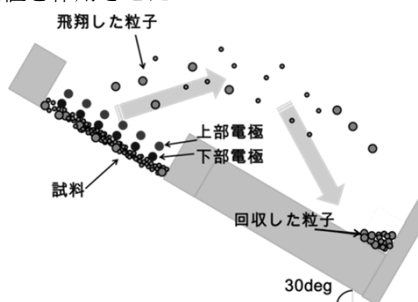


図 1 地球上における回収の様子

3.3 シミュレーションの妥当性と実使用環境での性能評価

粒子の帯電量分布や簡易誘電泳動力モデルを導入した粒子挙動シミュレーションと実験の結果を比較し、定量的な一致を確認できた。この結果を図 2 に示す。

これより本研究で用いた粒子挙動シミュレーションは妥当なものであるとし、実使用環境での性能評価を行った。印加電圧を大きくするほど回収量は大きくなるが、増加量は緩やかになっていることが確認できる。これより、印加電圧を極端に大きくする必要がないことが分かる。また、10 Hz 程度の低周波数領域で回収量が大きいことがわかる。電圧と周波数を適当にとった場合の回収量は十分な量であるため、静電サンプラーは実使用環境において有用であると考えられる。

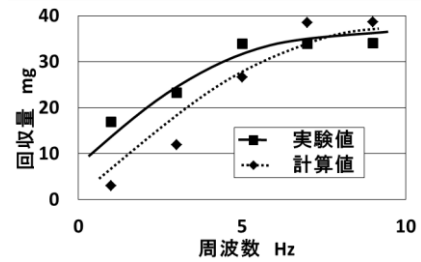


図 2 地上回収実験の結果と計算の比較

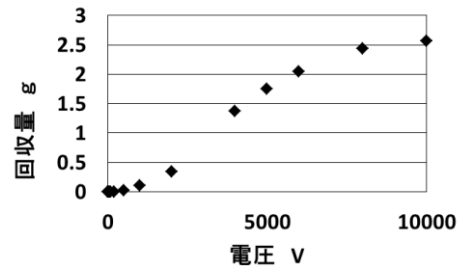


図 3 サンプラーの電圧特性 (周波数: 1 Hz)

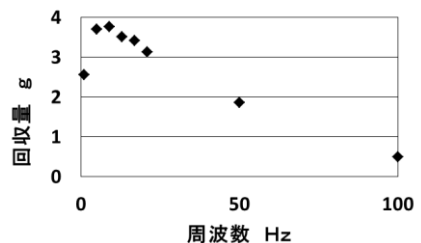


図 4 サンプラーの周波数特性 (電圧: 10 kV_{p-p})

4. 発表論文

- Maezono, "Sampling of Small Regolith Particles from Asteroids Utilizing Alternative Electrostatic Force", APRSAF-20, (2013)
- 前園, 橋, 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, (2013)
- Adachi, Maezono, Kawamoto, "Sampling of regolith on Asteroids Utilizing Electrostatic Force", Earth and Space 2014, (2014)
- 安達, 前園, 川本, "静電力を利用した粉体のハンドリング技術", D&D 2014, (2014)
- 前園, 安達, 川本, "交流電界中の誘電泳動力を考慮した小惑星における静電粒子採取機構のシミュレーション", SEC'14, (2014)