

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 1/ 9/ 2020

専攻名 (専門分野) Department	機械科学	氏名 Name	秦 一弘	指導員 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	CD 5118C076-9		
研究題目 Title	静電力を用いた月極域における氷の垂直サンプリング機構				

## 1. 緒言

月面における水の存在可能性を背景に、水(氷)を含む月レゴリスのサンプリングが注目されている。しかし、月レゴリスの採取用サンプラーは、過酷な環境である月面上で運用するため、信頼性が高く長寿命であることが必要とされており、その機構の開発は容易ではない。将来安定的に月面上の水資源を利用することができれば、生命維持活動や電気分解によって燃料及び推進剤とするなど利用方法は多岐にわたり、長期滞在任務における技術的リスクを緩和し、地球から輸送する物資を減らすことに貢献すると考えられ、月面での使用に適したサンプリング機構の開発が急がれている。月及び火星探査のための既存のサンプリング機構は、ドリルやクラムシェル等の駆動部を有する機械的方法を用いていた。例えば、ルナ16号や20号、24号では月レゴリスのサンプリングにドリル方式が用いられ、バイキング1号と2号はクラムシェル方式が用いられた。キュリオシティでは火星土壌のサンプリングにドリルやシャベル、振動が用いられたが、探査中にドリルが故障する問題があった。そこでわれわれは、進行波電界と呼ばれる静電力を用いたサンプリング機構を開発している。本機構は、静電力や誘電泳動力により帯電粒子をハンドリングする技術を応用しており、駆動部を持たないだけでなく、構造が単純で小型化が可能、大きな熱や力が被制御物体に加わらない等の利点から、特に月探査への利用が期待できる。本研究では、地上実験によって、月模擬砂や氷を静電サンプリング可能であることを実証した。さらに、高真空かつ低重力の月面環境における本機構のサンプリング性能を、数値シミュレーションを通して予測した。

## 2. サンプリング原理

進行波電界を利用した垂直サンプリング装置の概略図を図1に示す。本機構は、搬送チューブ内に埋め込まれた円環電極に位相を $\pi/2$ ずつずらした4相の方形波電圧を順に印加することでチューブ内に進行波電界を形成し、帯電粒子をクーロン力や誘電泳動力によって上方に垂直サンプリングする。月面探査車に搭載されている土壌分析機器などは地表面から1m程度上部に位置しているため、ドリルなどで粉碎された月レゴリスを垂直搬送する必要がある、その搬送装置として本サンプリング機構が適用できると想定している。

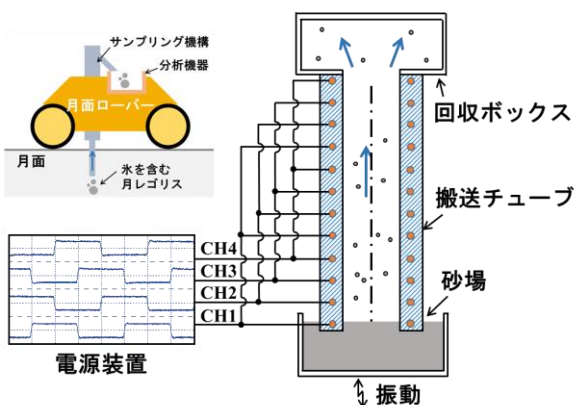


図1 静電サンプリング機構

## 3. 数値シミュレーション

月面の特異な環境として、真空であることや重力が1/6Gであることが挙げられる。そこで実際の月面での搬送性能を予測することを目的に数値シミュレーションを行った。計算は、個別要素法を用い、外力にクーロン力、誘電泳動力、鏡像力、空気抵抗、付着力、及び重力を考慮した。粒子は修正剛体球モデルとし、粒子数は $2 \times 10^4$ 個、粒径や帯電率は月模擬砂に準拠する形でランダムに決定した。まず、本計算の妥当性を確認するため、印加電圧特性と印加周波数特性における実験値と計算値を比較した。実験は、電圧を1分間印加後、回収ボックスに回収された試料の質量を搬送量として評価した。結果を図2、3に示す。その結果、搬送量の最大となる周波数は異なったが、印加電圧4kV<sub>pp</sub>、20Hzにおける計算値と実験値の誤差は11.9%であり、シミュレーションの結果は実験をよく再現した。そこで、重力と空気密度をパラメータとした数値計算を行い、月面環境における本機構の性能を予測した。さらに粒子の比重と比誘電率を変えることで氷粒子を模擬し、月面における氷の搬送量を予測した。結果を図4に示す。重力の低下とともにサンプリング性能が向上することが確認でき、重力が1/6Gの月面環境ではより効果的に静電サンプリングできることを示唆している。また、氷粒子も地上実験において結露による固着などの問題はああるものの静電搬送に成功し、月面においても月レゴリスと同程度の搬送が期待できる。以上のことから、高電圧で適切な周波数を印加することで、サンプルが粒子状かつそれらが固着しなければ、月レゴリスに即した粒子と氷粒子を垂直サンプリング可能であり、低重力である月探査の用途ではより効果的なサンプリングが期待できる。

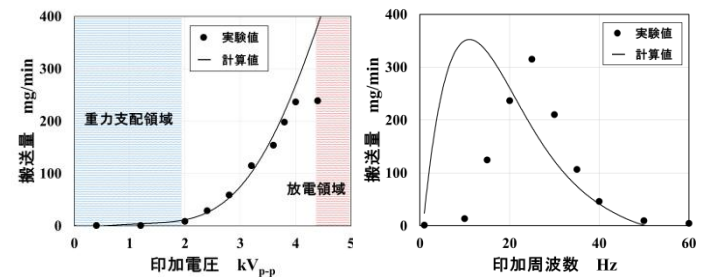
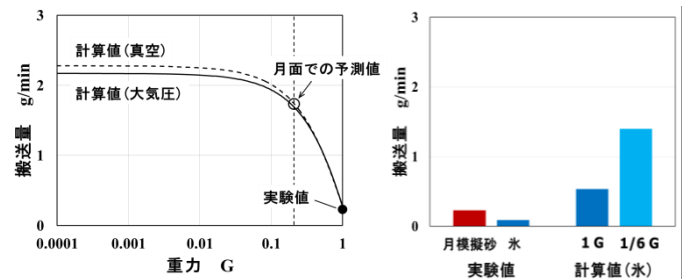


図2 印加電圧特性

図3 印加周波数特性



(a) 空気抵抗と重力の影響

(b) 氷粒子における予測

図4 数値シミュレーション

発表論文

秦, 柴田, 川本, 進行波電界を用いた月面における氷の垂直サンプリング機構, 第63回宇宙科学技術連合講演会講演集, (2019), JSASS-2019-4573.