

専門分野	機械科学	氏名	辻 昂介	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	静電力を利用した粒子のマニピュレータ				

1. まえがき

近年、工業分野において、粒子の個別操作が可能な静電マニピュレータが注目されている。また、月面探査活動において問題視されているルナダストの個別操作技術が必要とされている。そこで、昨年度までに図1に示す双極子や同軸型プローブの研究を行ってきた。双極子プローブとは2本の針電極を並行に並べ、同軸型プローブは絶縁コーティングを施した針電極に金を蒸着したものである。両者共に先端部に発生する静電力を利用して粒子を捕捉し、イオン風や振動子を利用して分離することができた。しかし、この機構には、直径50 μm以下の粒子個別操作が困難である、という問題点があった。そこで、本研究ではこれらの問題点を解決するために、プローブの小型化が容易な単極子プローブを作製し付着力や静電力を利用した捕捉・分離を行い、静電力の実験値と計算値を定量的に一致させた。

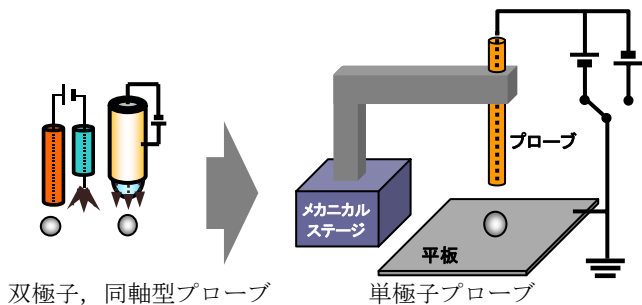


図1 実験装置図

2. ガラス粒子の操作実験

装置の性能を把握するため特性が均一なガラス粒子を利用した。単極子プローブと平板電極の間に低電圧を印加し粒子を分極させることによって捕捉する(図2)。このとき、粒子には主に静電力と付着力が働いている。

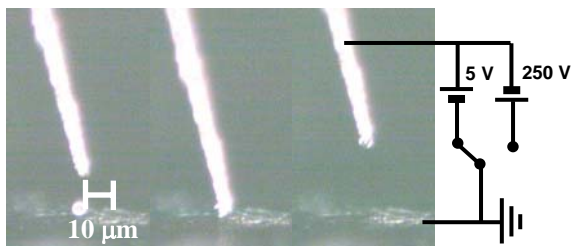


図2 静電力を利用した捕捉(ガラス粒子5 μm)

補足した粒子を分離するため、粒子-プローブ間の付着力を上回る静電力を与える。電圧を瞬時に捕捉電圧と逆の電圧に切り替えることで分離する方向に静電力が働く(図3)。作製した直径約5 μmのプローブを利用して、直径1 μm~50 μmの粒子操作が可能であることを実証した。

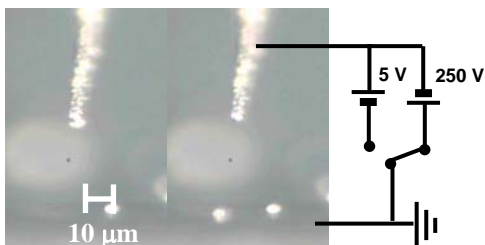


図3 静電力を利用した分離(ガラス粒子5 μm)

3. 計算

ポアソン方程式(1)と電荷保存則(2)を用いて、図4に示すモデルの3次元電界解析を行った。図5に示すように針電極先端部の電界強度が大きくなっている。これは実験の際に、粒子がプローブ先端部だけでなく、側面にも捕捉されたことと一致する。

次に、分離時に粒子に加わる力の計算を行った。まず、遠心分離機を利用し粒子に加わる付着力を測定した(図6)。図7はプローブ電圧1Vから瞬時に逆電圧を印加したときのプローブ先端に付着した粒子に加わる静電力の計算結果を示したものである。遠心分離実験では、遠心力50 nN以下でほとんどの粒子が分離していることがわかる。計算では50 nNの分離する力を与えるのは-250Vであり、これは、ほぼ毎回-250Vで分離するといった粒子の分離実験と一致する。

$$\nabla \cdot (-\epsilon \nabla \phi) = \rho \quad (1) \quad \nabla \cdot (-\sigma \nabla \phi) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

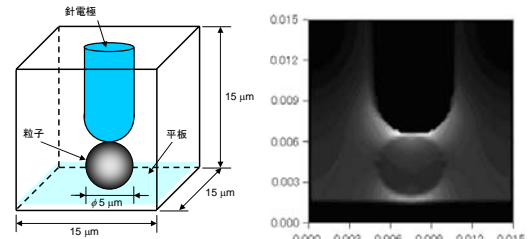


図4 計算領域

図5 電界強度分布

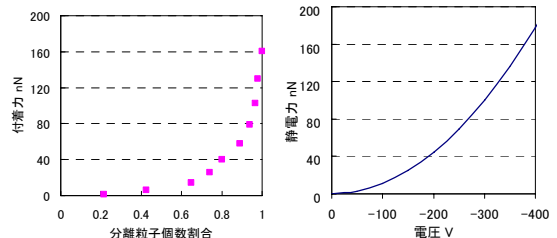


図6 付着力測定結果 図7 分離時の静電力の計算結果

4. 月模擬砂の操作実験

ガラス粒子の捕捉分離をルナダストの操作に応用したい。そこで、現物を入手するのが困難であるため月模擬砂を用いて実験を行った。図8は捕捉・分離の画像である。ガラス粒子を操作したときと同じ条件で操作することができた。また、成功率も高くルナダスト操作に応用できるといえる。

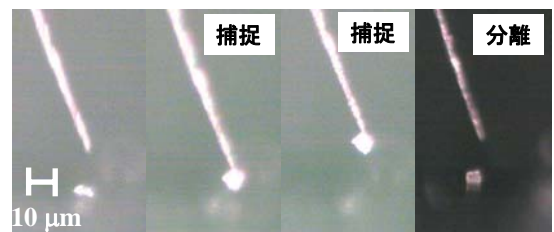


図8 静電力を用いた月模擬砂の捕捉・分離

発表論文

1. 笹岡、辻、川本、進行波電界を用いたトナー搬送とそのシミュレーション、日本画像学会、ICJ 2006 Fall Meeting (2006) pp.57-60.
2. 笹岡、辻、川本、進行波電界によるトナー搬送とそのシミュレーション、ICJ 2007 (2007) pp.203-206.