

専門分野	機械工学	氏名	矢代 健二	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。そこで、昨年度までに図1に示す双極子プローブとイオン風分離機構の研究を行ってきた。双極子プローブとは、2本の針電極先端部に発生する静電力を利用して粒子を操作するものであり、昨年度の研究において吸引力の実験値と計算値を定量的に一致させた。本研究では、この結果の妥当性を検証するために吸引力の再計算を行った。また、双極子プローブではプローブと粒子間に働く付着力の影響で微小粒子の分離が困難である。そこで、昨年度の研究では、イオン風によって粒子を分離できる機構を作成した。しかし、この機構には、イオン風が空気中でしか発生しない、直径100 μm以下の粒子個別操作が困難である、捕捉時に粒子を傷つける恐れがある、という問題点があった。本研究ではこれらの問題点を解決するために、振動分離機構、同軸型プローブ、及び浮遊操作機構を作製し、性能を評価した。

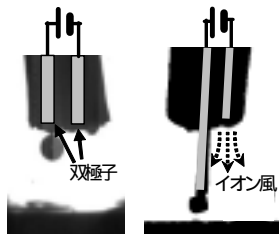


図1 双極子プローブとイオン風分離機構

2. 双極子プローブの吸引力

図2に示すように、捕捉後に粒子を飛翔させる実験の様子をPTVによって解析し、求めた飛翔加速度 a を式(1)に代入することで粒子帯電量 q を測定した。ここで F_a は空気抵抗力である。さらに測定した帯電量 q を用いて、プローブが粒子に及ぼすクーロン力 $F_e (=qE)$ を算出した。図3に示すように今回の計算結果と昨年度の計算結果は定量的に一致しており、昨年度の計算結果が妥当であることを実証できた。

$$ma = qE + mg - F_a \quad (1)$$

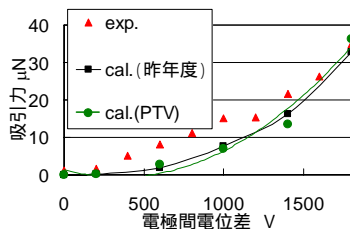
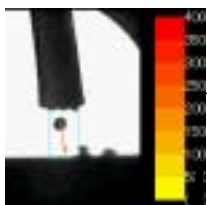


図2 粒子飛翔実験の挙動解析 図3 双極子プローブの吸引力

3. 振動分離機構

振動分離機構とは、図4に示すように双極子プローブに振動子を取り付けたものであり、粒子捕捉後に振動子によりプローブを振動させることで粒子を分離できる。図5に示すようにして、空気中以外の環境下においても直径100~1,000 μmの粒子操作が可能であることを実証した。

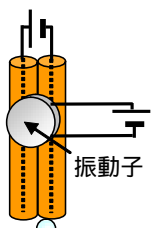
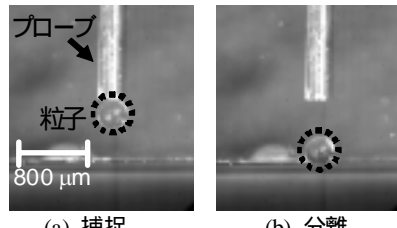


図4 振動分離機構



(a) 捕捉 (b) 分離
図5 油中における粒子操作

4. 同軸型プローブ

図6に示すように、絶縁コーティングを施した針電極に金を蒸着したものを同軸型プローブとした。このプローブは針電極と金電極の間に低電圧を印加して粒子を捕捉する。さらに高電圧を印加して、金電極からイオン風を発生させて粒子を分離する。図7のようにして、直径20 μm~400 μmの粒子操作が可能であることを実証した。また、ポアソン方程式(2)と電荷保存則(3)を用いて、図8に示すモデルの3次元電界解析を行った。図9に示すように金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。

$$\nabla \cdot (-\epsilon \nabla \phi) = \rho \quad (2) \quad \nabla \cdot (-\sigma \nabla \phi) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

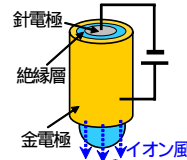
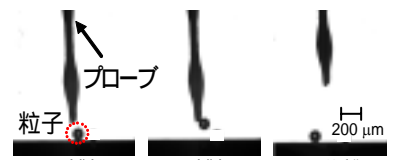


図6 同軸型プローブ



(a) 捕捉 (b) 捕捉 (c) 分離
図7 同軸型プローブによる粒子操作

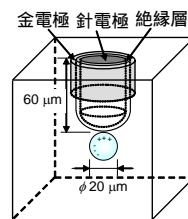


図8 計算領域

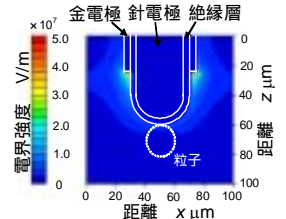


図9 電界強度分布

5. 浮遊操作機構

図10に示すような直列共振回路を利用した浮遊操作機構を作成した。この機構では、粒子がプローブに近づく、吸引力が小さくなり、プローブから遠ざかる。すると吸引力が大きくなり、粒子はプローブに近づく。これらのことを繰り返して粒子は浮遊する。しかし、実験では粒子がプローブに接触することがあり、長時間の浮遊を実現することはできなかった。浮遊実験の様子を図11に示す。

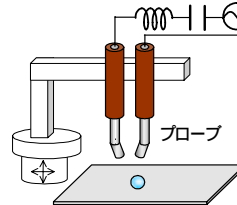
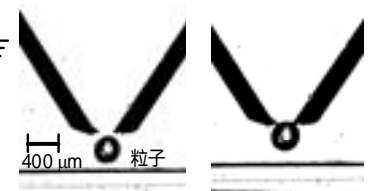


図10 浮遊操作機構



(a) 浮遊 (b) 接触
図11 浮遊操作

発表論文

- 梅津, 安藤, 矢代, 川本, 静電マニピュレータによる粒子の捕捉と分離, SEAD18 (2006) pp.153-156.
- 矢代, 平本, 梅津, 川本, 静電力を利用した粒子のマニピュレータ, SEAD19 (2007) pp.165-167.
- 川本, 矢代, 安藤, 静電力を利用した粒子のマニピュレータ, 機論 C, 73 (2007) pp.3031-3038.
- 松井, 矢代, 川本, 分離機構を備えた静電マニピュレータ, SEAD20 (2008) 発表予定