



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 微粒子に対する光圧力発生とその応用に関する研究                                                                                                                         |
| Author(s)    | 杉浦, 忠男                                                                                                                                          |
| Citation     | 大阪大学, 1994, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/38790">https://hdl.handle.net/11094/38790</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |                                                                                                                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | すぎ 杉 浦 忠 男                                                                                                                                        |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                                                                                                                         |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 1 3 6 0 号                                                                                                                                     |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 6 年 3 月 25 日                                                                                                                                   |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科応用物理学専攻                                                                                                                  |
| 学 位 論 文 名     | 微粒子に対する光圧力発生とその応用に関する研究                                                                                                                           |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 河 田 聡<br>教 授 樹 下 行 三 教 授 増 原 宏 教 授 志 水 隆 一<br>教 授 一 岡 芳 樹 教 授 中 島 信 一 教 授 興 地 斐 男<br>教 授 後 藤 誠 一 教 授 豊 田 順 一 教 授 岩 崎 裕<br>教 授 石 井 博 昭 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、光の放射圧を用いて、ミクロンオーダーの大きさの誘電体粒子の運動を制御する方法について、その理論的解析および実験研究の成果をまとめたものである。

第 1 章では、境界面に光を入射したときに、そこに発生する放射圧について述べ、その放射圧を、1) 境界面での反射・屈折による光子の運動量変化、及び 2) 境界面の電磁場の不連続性によって発生するマクスウェルの電磁応力から求めている。

第 2 章では、微粒子による光散乱によって発生する放射圧について述べている。まず、球形粒子について、散乱効率のリップル構造と粒子表面の場の分布および粒子に生じる放射圧との関係について述べ、さらに、エバネッセント場中に存在する円柱形粒子による散乱場を理論的に求め、エバネッセント場の波数と散乱効率・放射圧効率の関係についての計算結果を示している。

第 3 章では、光の放射圧によって微粒子を捕捉する方法（レーザートラッピング）について述べ、その光軸方向のトラップ力の解析、およびその増強法について述べている。まず光線追跡法を用いて各光線が粒子境界面で反射・屈折する際に生じる力から粒子全体に対するトラップ力を求めている。また解析の結果にもとづいて、1) 輪帯照明を用いること、及び 2) P 偏光照明を用いることによるトラップ力増強法を提案し、その効果を数値解析、及び実験によって確認している。

第 4 章では、円偏光レーザーを用いて微粒子をレーザートラップし、かつ回転操作する方法を提案し、その原理を述べ、実際の実験結果を示している。

第 5 章では、エバネッセント場中に置かれた薄膜に発生する放射圧の解析について述べている。発生する力の方向は、物体内部のモード状態に依存していることを示し、ある条件で光を入射すれば薄膜を浮上させた状態でトラップできることを示している。

第 6 章では、表面プラズモン共鳴によって発生したエバネッセント場中に存在する薄膜に発生する放射圧の解析について述べている。数値計算によって、表面プラズモン共鳴が生じるとエバネッセント場は増幅され、薄膜に発生する放射圧が大きくなることを示している。

第 7 章では、エバネッセント場中の粒子を駆動する実験について述べている。実験では、エバネッセント場中に粒子が存在すると、放射圧を受けて移動することを確認している。これによってエバネッセント場の放射圧で粒子の駆

動が行えることを示している。また表面プラズモン共鳴を用いてエバネッセント場を増強し、放射圧を増強する実験について述べている。レーザー光の入射角に対する粒子の移動速度の変化と、反射率の変化の測定結果より、表面プラズモン共鳴により放射圧増強がおこることを示している。

総括では、以上の結果をまとめ、本研究の知見をもとに、今後の課題とマイクロマシン駆動への応用の可能性について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

顕微鏡技術や微細加工技術の進歩により、顕微鏡下の微粒子を操作したり、微小な機械を作ってそれを駆動するといったニーズが高まっている。本論文は、これらの要求に応えるために、光の放射圧を用いて微小物体に力を働かせ、その力でもって粒子の操作あるいは駆動を行なう方法について、研究を行なった結果をまとめたものである。その主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 放射圧発生の原理について考察し、粒子に発生する放射圧を求める方法について、1) 光線を追跡して境界面での反射・屈折から放射圧を求める方法と、2) 粒子表面の電磁場から Maxwell の応力を求める方法の、二つを示している。
- (2) エバネッセント場中に存在する粒子による光の散乱について解析的に取扱い、粒子に発生する放射圧をもとめ、粒子の粒径およびエバネッセント場の波数に対する依存性について数値計算によって示している。
- (3) レーザートラッピングに関して、粒子に入射するレーザー光を多数の光線に分割して、それらを追跡することで光軸方向のトラップ力の解析を行ない、粒子とまわりの媒質の屈折率の比に対するトラップ力の依存性、入射レーザー光の集光 NA に対する依存性について調べている。トラップ力は、ある屈折率比のときに最大となり、屈折率比が大きくなると粒子を浮上させる力がはたらかなくなることを確認している。この結果をふまえて、トラップ力を増強する方法として、1) 輪帯照明を用いた方法、2) p 偏光照明を用いた方法、の二つを提案し、それらのトラップ力増強の効果を数値解析によって示している。
- (4) 円偏光のフォトンがもつ角運動量を粒子に与えることでレーザートラップ下の微粒子を回転操作する方法を提案し、原理確認の実験によって粒子を回転操作できることを示している。また、この手法は高速回転モーターや微小モーターの駆動に用いられる可能性があることを論述している。
- (5) エバネッセント場中に置かれた薄膜に発生する放射圧の理論解析を行ない、エバネッセント場中の薄膜にも放射圧が発生し、薄膜を浮かせたり沈めたりできることを示している。薄膜に発生する放射圧が薄膜内部の導波モードの状態に依存することを確認している。偏光状態に対する導波モード状態の依存性を利用することで、薄膜を浮上させた状態でトラップできることを示している。
- (6) 表面プラズモン共鳴によって発生したエバネッセント場中存在する薄膜に発生する放射圧の理論解析を行ない、表面プラズモン共鳴がおこるとエバネッセント場は増幅され、薄膜に発生する放射圧が 10 倍程度に増強されることを確認している。また表面プラズモン共鳴角とそのときの放射圧との間には、薄膜の膜厚、屈折率基板との距離にかかわらず一定の関係が見られ、この関係が金属種に依存していることを示している。
- (7) エバネッセント場中の粒子に対しても放射圧が発生することを実験によって確認している。このエバネッセント場の放射圧を用いて微粒子を駆動することを提案している。また表面プラズモン共鳴を用いてエバネッセント場を増強して、放射圧を増強できることを実験によって確認している。

以上のように、本論文は、レーザー光による微小物体の操作と駆動を目的として、微小物体に対する光圧力発生に関する研究をまとめたものであり、応用物理学、特に光工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。