

機械・構造システム工学専攻	学籍番号	943221
申請者氏名	澤木大輔	

指導教官氏名	堀内 幸 池野 順一
--------	---------------

論文要旨 (博士)

論文題目	レーザー光線を用いた微小物体の操作とその応用に関する研究
------	------------------------------

(要旨 1,200字程度)

レーザー光は単色性や指向性、干渉性などに優れた特性を持っており、現在、工学や理学、医学などの広い分野で利用されている。一方、光が運動量を持つことから、物体に照射されて進行方向が変化する場合、運動量保存の法則にもとづいた力が発生する。これは光放射圧と呼ばれ、1970年、Ashkinはレーザー光を用いて、 μm オーダの微粒子を捕捉するレーザートラッピング現象を見出した。さらに、顕微鏡用対物レンズでレーザー光を集束すると、液体中の微粒子が焦点位置で3次的に捕捉されることを報告した。これは光ピンセット法と呼ばれ、現在、液体中の微小物体の非接触操作法として、生物学や化学等の分野で応用が始められている。一方、精密工学の分野では、大気中での微小物体の操作や微小構造物の組み立て技術の出現が待たれている。

そこで本研究は、レーザー光線の光放射圧による大気中での微小物体の操作技術を確立するとともに、精密工学分野への応用を検討することを目的とした。まず、これまでに報告のなかった、大気中における光ピンセット法の実現可能性を検討した。その結果、レーザー光の照射出力を数 W まで高めることで、粒径約 $10\mu\text{m}$ のシリカ粒子を捕捉できることが明らかになった。さらに、Q-SW 発振レーザー光を用いることで、より容易に捕捉できることを見出した。また、気体中における微粒子の捕捉特性が、対物レンズの開口数、基板材質、基板との相対位置、気圧、そして気体の種類等に依存することが分かった。次に、複数微粒子の組み立てによる新しい微細加工法の検討を行い、大気中の光ピンセット法により、微粒子の組み立てが可能であることを確認するとともに、接着剤を被覆した微粒子を用いて構造物の強度を向上させた。さらに、作業能率を向上させるために、レーザー光の走査方法を改良し、複数微粒子の同時配列法を考案した。一方、アルミニウム鏡面の基板上で微粒子を捕捉し、基板を上昇または降下させると微粒子が微小振動する現象を見出した。その振動は基板が約 550nm 変位する毎に繰り返され、この変位量がレーザー光の半波長に近いことから、定在波の影響が推察された。また、光軸に垂直な方向からアルミニウム箔の端面を接近させたところ、微粒子が回転する現象を見出した。微粒子の回転数が端面との距離に依存し、接近に伴い増加することが明らかになった。これら2つの現象の新しい計測技術への応用が考えられる。また、レーザー光を照射すると、直径数十 μm の微細ガラス棒が連続的に振動する現象を見出し、これが光放射圧を外力とする強制振動であると推察された。さらに、レーザーの光エネルギーが熱エネルギーへ変換されることで、粒径約 10nm のコロイド状シリカ粒子が、照射局部で凝集する現象を見出した。また、界面自然対流によるガラス片の回転運動が観察された。これらは、微小物体の新しい操作技術としての応用が考えられる。

このように本研究では、大気中における光ピンセット法を実現し、微粒子の3次的な配列・組み立てを可能にした。また、微小物体の捕捉操作において、いくつかの新しい現象を見出すとともに、それにもとづいた計測技術やアクチュエータなど、精密工学分野への応用の可能性を示唆した。