

光で微小物体を動かす

— 光マニピュレーション —

Laser Trapping of a Microscopic Object

1 はじめに

光が物体界面で反射、屈折する際、その界面では力が発生する。この力を光放射圧という。古くから知られるこの現象は、夏目漱石著「三四郎」の中でも紹介されている。しかし光の圧力は微小であり、人が肌で感じられないためあまり知られていないのが現状である。1970年、アメリカのAshkin博士らは強力な人工光であるレーザを使って、水中の高分子球（ $\phi \mu\text{m}$ サイズ）を二次元的に捕捉する実験に成功した。このレーザを用いた捕捉技術を「レーザトラッピング」という。これは非接触操作であるためさまざまな利点を有しており、現在では細胞やDNA操作を行うバイオテクノロジー分野で「光ピンセット」として利用されている。また昨今、レーザトラッピングは気中でも可能となりナノテクノロジー分野への応用が検討され始めている。

本稿では、その基礎となる微小物体の操作に関する研究について、その一端を紹介する。

2 原理および装置

透明微粒子がレーザ光の波長よりも大きい径をもつ場合、トラッピング原理は幾何光学で説明できる。透過光によって生じる放射圧の概略を図1に示す。いま光 a が微粒子に入射する時、その界面と垂直方向に F_{at} という光放射圧が生じる。さらに微粒子を通り抜ける際、界面で F_{ao} という光放射圧が生じるため合力は F_a で表される。光 b においても同様に光放射圧 F_b が生じ

る。したがって、微粒子全体がレーザ光から受ける力は合力 F であり、微粒子中心と焦点が引き合うようにして微粒子は捕捉されるのである。この原理に基づき製作したレーザトラッピング装置の概略を図2に示す。

顕微鏡で集光されたレーザは、2枚のガルバノミラーを配するビーム走査制御部によって $X-Y$ 平面上を高精度でしかも高速に走査可能である。

3 気中における微粒子の三次元操作

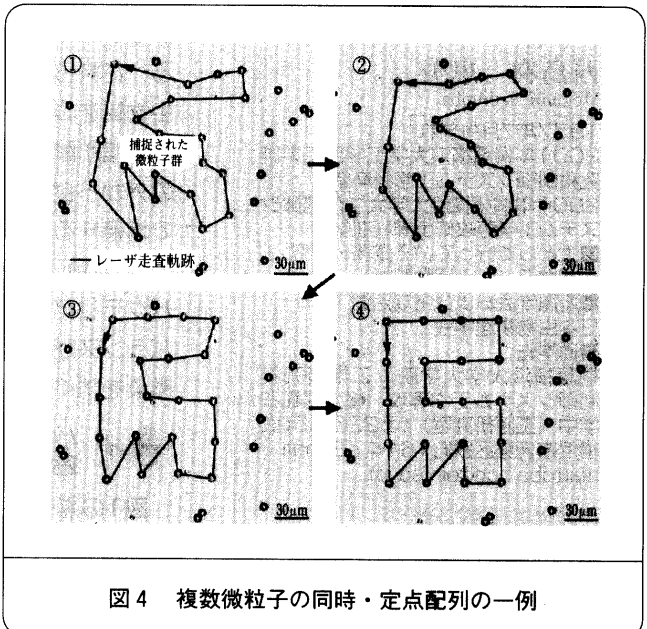
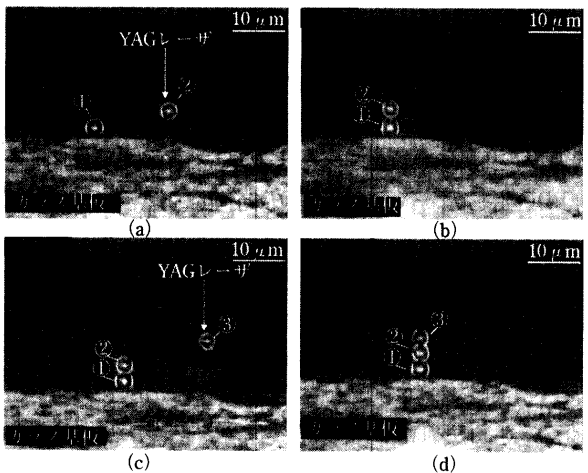
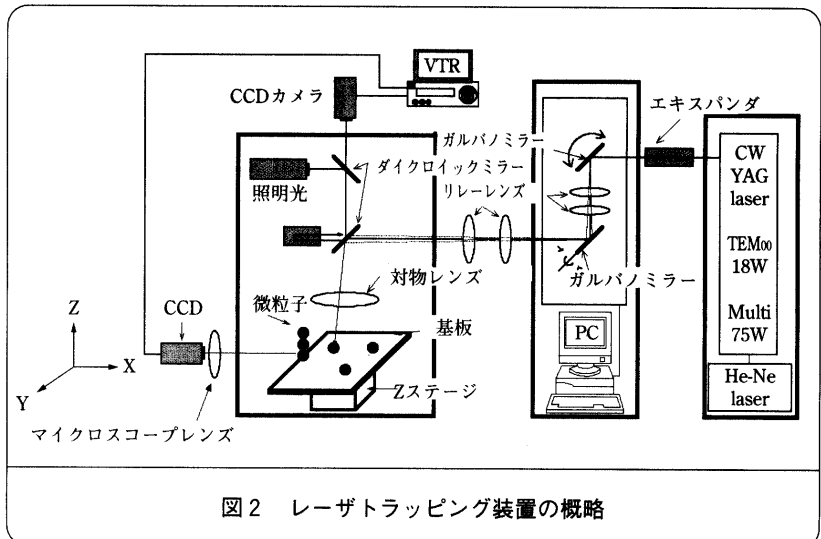
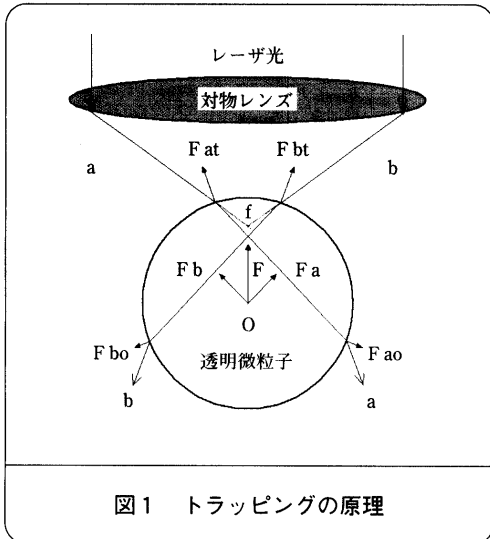
従来、レーザトラッピング実験は液中の高分子球や細胞に対して行われており、気中での微粒子捕捉は困難とされていた。その原因は、 μm サイズの微粒子とそれが置かれた基板間での表面張力や、使用するレーザ出力が小さいためである。そこで Q - sw を使用してピーク出力を高くした結果、表面張力から微粒子を容易に開放でき、気中での三次元操作が可能となった⁽¹⁾。そこで、この技術を使った新たな三次元微小構造物の組立が期待される。その組立法は以下の要領で行う。

まず、 Q - sw パルス照射で基板と微粒子をはく離させる。次に Z ステージを降下させて、組み立てる高さまで微粒子を相対的に浮上させる。さらに組み立てる位置まで微粒子をガルバノミラーにて水平移動させ、最後に Z ステージを上昇させて組立を完了させる。この手順に基づいた実験結果の一例を連続写真で図3(a)~(d)に示す。今後、各種微粒子の配列を考慮すれば、構造物の各所に機能性材料を創成しつつ所望の形状を作り上げていくという新しい微細加工法が期待される。



池野 順一
Ikeno Junichi

1961年4月生まれ
1984年埼玉大学工学部機械工学科卒業
1986年埼玉大学大学院工学研究科修士
■主として行っている業務・研究
・レーザ加工
・レーザトラッピング
・砥粒加工
■所属学会および主な活動
日本機械学会、精密工学会、砥粒加工学会
■勤務先
埼玉大学大学院 理工学研究科 助教授
(〒338-8570 さいたま市下大久保255/E-mail: ikeno@mech.saitama-u.ac.jp)



4 微粒子の自動配列法

複雑な三次元微小構造物を製作する場合、多数の微粒子を1個1個操作していたのでは組上げに長時間かかってしまう。そこで、1本のレーザーを一筆書きの要領で走査させる「複数微粒子の同時・定点配列法」を考案した。これは各微粒子上でレーザーを1ms停止させエネルギー密度を局部的に高めるといものである。これにより、個々の微粒子はその局部で捕捉され続け、その捕捉点を徐々に目標位置に近づけ

るようレーザー走査軌跡を変化させれば、複数の微粒子を同時に定点でも高速に配列させることが可能となる。図4①～④は5行4列に微粒子を配列させた結果を連続写真で示したものである⁽²⁾。

5 おわりに

気中でレーザートラッピング実験をしていると、さまざまな未解明な物理現象に遭遇する。例えば、微粒子が数万rpmで回転する現象や雰囲気を変えると理論から逸脱した位置で微粒子が捕

捉される現象等々である。今後、これらの現象から、画期的な新技術が創出されるかも知れない。大きな可能性を秘めた大変楽しい研究分野である。

文献

- (1) 池野順一・澤木大輔・森 幸博・堀内 幸, レーザ光線を利用した3次元微小構造物の組立技術に関する研究 (第1報), 日本機械学会論文集, 64-627, C (1998), 4434-4439.
- (2) 池野順一・澤木大輔・森 幸博・堀内 幸, レーザ光線を用いた微粒子の配列法に関する研究 (第1報) (水中における複数微粒子の配列と運動制御), 日本機械学会論文集, 65-636, C (1999), 3452-3457.