

最近の技術から

レーザー走査マイクロマニピュレーション

三澤 弘明・笹木 敏司

新技術事業団増原極微変換プロジェクト 〒606 京都市左京区下鴨森本町 15
(財)生産開発科学研究所内

1. はじめに

レーザートラッピングは非接触でかつ制御性に優れた微粒子操作法であり、最近ではこの現象を利用したさまざまな応用研究が行われている。われわれのプロジェクトにおいても、単一微粒子内で起こる化学反応の高速分光や微粒子の表面修飾等をレーザートラッピング法を用いて行ってきた¹⁻⁵⁾。しかしながら、レーザーにより捕獲できる微粒子は照射レーザーの波長において透明でかつ屈折率が周囲の媒質よりも高いものに限られ、より広汎な領域でレーザートラッピングを応用するためには、このような制約を取り除くことが必要不可欠であった。本稿においては、われわれの開発したあらゆる微粒子に適用できる全く新しいレーザートラッピング「レーザー走査マイクロマニピュレーション法」について解説し、それを用いた複数個の微粒子の捕捉・パターン形成等についても紹介する。

2. レーザー走査マニピュレーションシステム

図1に本研究に用いたシステムの構成を示す。トラッピング用のCW Nd:YAG レーザー(1,064 nm)は、偏光ビームスプリッターで二つに分けられ、それぞれに、2枚のガルバノミラーで2軸方向に偏向する。これらのビームは、再び偏光ビームスプリッターで同軸にし、顕微鏡対物レンズ(100×, NA=1.30)で試料に集光す

る。ガルバノミラーをコンピュータ制御し、集光スポットを試料の任意の位置に移動させたり、2次元的に走査させて任意の文字や图形を繰り返し描画することもできる。また、分光計測および化学反応誘起用のレーザーとして、Qスイッチ YAG レーザーの第3高調波(355 nm, パルス幅 ~30 ps)を用いトラッピング用レーザーと同軸で集光した。レーザートラッピングの様子は CCD カメラと TV モニターを用いて観測した。

3. 金属・低屈折率微粒子のトラッピング

従来のレーザートラッピング法では周囲の媒質よりも屈折率の低い微粒子や光を反射・吸収する金属微粒子等は、放射圧が斥力として働くため捕獲することができなかった。そこでわれわれは、これらの微粒子を取り扱うようにレーザービームを走査し、「光のかご」を作ってその中に捕獲する方法を開発した。これを用いて鉄粉を水中で捕獲したところ、鉄粉はすべての方向から斥力を受け、それらが釣り合う位置で3次元的に捕獲された⁶⁾。また、水滴(n (屈折率)=1.33)を流動パラフィン

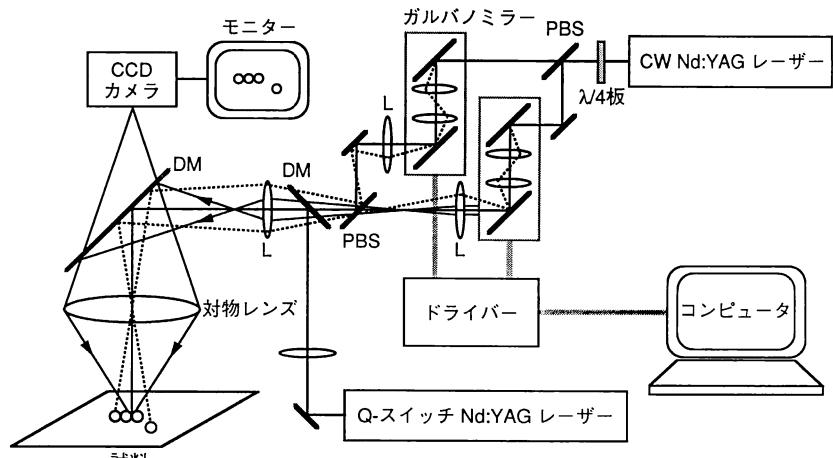


図1 レーザー走査マニピュレーションシステム
PBS: 偏光ビームスプリッター, DM: ダイクロイックミラー

($n=1.46\sim1.47$) 中で捕捉することも可能であった⁶⁾。この方法では、捕捉されていない微粒子は「光のかご」で押し退けられ中にはいられないで、従来のトラッピングのように微粒子が凝集することがない。

4. 微粒子のパターン形成および輸送

1本のトラッピング用レーザーで複数の高分子微粒子(粒径 2 μm , アルコール中)を同時に捕捉し、「光」という文字パターン上に配列させた様子を図2に示す⁷⁾。レーザー照射開始時には、視野内に微粒子は存在しないが、数十秒後には図のようなパターンが形成される。われわれは既に、干渉パターンを利用した複数微粒子の捕捉に成功しているが⁸⁾、このレーザー走査法により任意のパターンを形成させ、それを3次元的に操作することが可能になった。さらに、レーザービームの走査速度とレーザー光強度を調整すると、パターンに沿って任意の速度で微粒子を輸送することができる⁹⁾。この現象は、力学的な理論により説明することができ、それにより、微粒子と基盤の摩擦係数や放射力などのパラメーターが

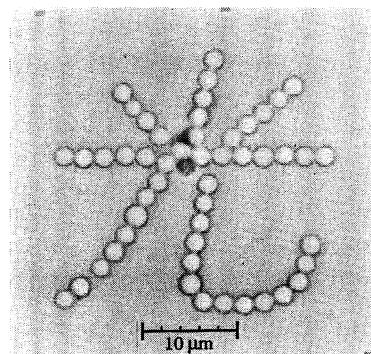


図2 高分子微粒子(粒径 2 μm)によるパターン形成

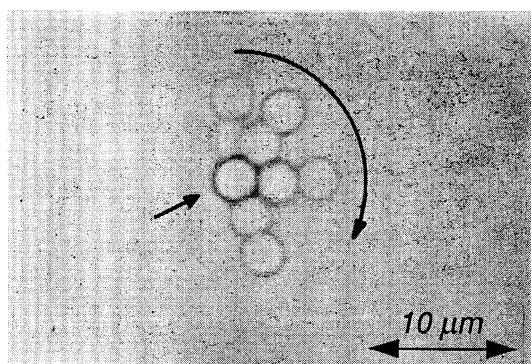


図3 高分子微粒子構造物の組立て・駆動

推定できる。

5. 微粒子の組立て・加工

図1の装置を用いて、モノマー、架橋剤、光重合開始剤を含む溶液に分散させた高分子微粒子2個を別々のレーザーにより捕捉し接触させた後、紫外パルスレーザーを照射すると微粒子の接着を行うことができる。同様の操作を繰り返すことにより、微粒子からなる構造物を組み立てられる。また、図3に示すように組み立てた構造物の2点を2本のレーザーで捕捉し、一方を回すことでの回転運動や振り子運動等を行うことも可能であった¹⁰⁾。

6. おわりに

以上、レーザー走査マイクロマニピュレーションのいくつかの応用を紹介した。この方法は、あらゆる微粒子に適用することができる画期的なものであり、マイクロマシンの組立てやハンドリングなどへの応用も期待されている。また、レーザートラッピング現象そのものが光散乱の研究と密接に関連していることから、光学・分光学的展開にも興味が持たれる。われわれも既に、レーザー捕捉下における分光測定^{3,4)}や微粒子のレーザー発振¹¹⁾等の理論・実験的研究を行っているが、 μm 領域に特有な興味深い結果が得られており、今後、さまざまな分野への発展が期待される。

文 献

- H. Masuhara : *Photochemical Processes in Organized Molecular Systems* (Elsevier, Amsterdam, 1991).
- 三澤弘明, 増原 宏: レーザー研究, **19** (1991) 433-439.
- H. Misawa, M. Koshioka, K. Sasaki, N. Kitamura and H. Masuhara : Chem. Lett. (1990) 1479-1482.
- H. Misawa, M. Koshioka, K. Sasaki, N. Kitamura and H. Masuhara : J. Appl. Phys., **70** (1991) 3829-3836.
- H. Misawa, N. Kitamura and H. Masuhara : J. Am. Chem. Soc., **113** (1991) 7859-7863.
- K. Sasaki, H. Misawa, M. Koshioka, N. Kitamura and H. Masuhara : Appl. Phys. Lett., Jan. 20th Issue (1992) in press.
- K. Sasaki, M. Koshioka, H. Misawa, N. Kitamura and H. Masuhara : Jpn. J. Appl. Phys., **30** (1991) L 907-L 909.
- H. Misawa, M. Koshioka, K. Sasaki, N. Kitamura and H. Masuhara : Chem. Lett. (1991) 469-472.
- K. Sasaki, M. Koshioka, H. Misawa, N. Kitamura and H. Masuhara : Opt. Lett., **16** (1991) 1463-1465.
- H. Misawa, K. Sasaki, M. Koshioka, N. Kitamura and H. Masuhara : Appl. Phys. Lett., Jan. 27th Issue (1992) in press.
- K. Sasaki, H. Misawa, N. Kitamura, R. Fujisawa and H. Masuhara : Phys. Rev. Lett., submitted.

(1991年10月7日受理)