

研究ノート

# レーザーで微粒子を操る

笹木 敬司\*

## Manipulation of Microparticles by Laser

**Key Words** : Laser trapping, Micromanipulation, Microparticles

### 1. はじめに

マイクロメートルオーダーの微粒子を気体や液体中に分散するとブラウン運動をはじめ、このランダムに動き回る微粒子一個を捕まえて任意の位置に固定し加工や反応の計測・制御を行ったり、複数の微粒子をパターン上に配列させ、さらに輸送したりといった操作を、レーザー光で非接触・非破壊的に行なおうというのがここで紹介する研究の目的である。このように微粒子を捕捉し操るためには微小空間で精密にコントロールできるメカニカルな力が必要となるが、ではレーザー光が力を持っているかというと、実は光を物体に照射すると圧力が発生するという“放射圧”とよばれる現象がある。この放射圧、計算するとピコニュートン ( $10^{-12}$  N) オーダーの力であり、日常生活で実感することはないが、顕微鏡下でレーザー光を波長サイズまで絞り込んで微粒子に照射すると、放射圧によって微粒子が動きだすのを観ることができる。本稿では、この放射圧を利用して微粒子を自在に操作するレーザーマイクロマニピュレーション法と、その化学への応用について紹介する。

### 2. 単一微粒子のトラッピング

微粒子に集光したレーザー光は、微粒子がレンズの働きをして進行方向を曲げられる。このとき、光の運動量が変化するため、運動量保存則に従って微粒子に力が作用する。これが放射圧である。この放射圧は、微粒子が透明で屈折率が周囲の媒質よりも高い場合、光強度の高い方向に働くので、集光ビームの近くにいる微粒子は焦点付近に引き寄せられ、ブラウン運動を抑えて3次元的に捕捉される。図1は、水中で

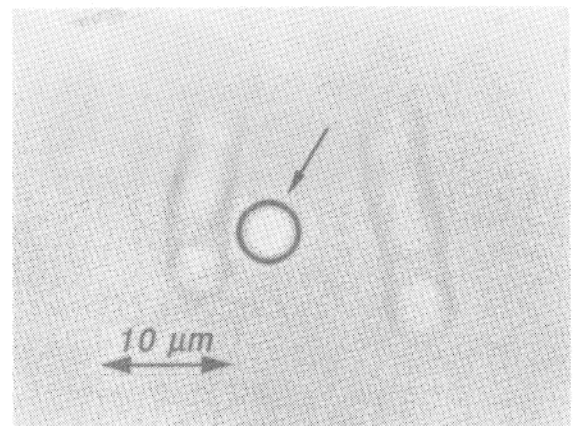


図1 ポリマー微粒子 (粒径  $5 \mu\text{m}$ , 水中) のレーザートラッピング

ポリマー微粒子 (粒径  $5 \mu\text{m}$ ) をレーザー捕捉した様子である。CW Nd:YAG レーザー (波長  $1064\text{nm}$ , パワー  $54\text{mW}$ ) が紙面に垂直な方向から矢印で示した微粒子に集光されている。この微粒子は試料ステージを動かしても静止しているが、他の微粒子は移動するため像がブレて

\*Keiji SASAKI

1958年9月23日生

昭和61年大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士後期課程修了

現在、大阪大学工学部応用物理学科、助手、工学博士、光学・光化学

TEL 06-877-5111(内線 4656)



いる。ポリマー微粒子の他にも、マイクロカプセル、酸化チタン、ガラスビーズ、微小液滴、サルモネラ菌、DNAなどが種々の液体中で捕捉できることを確認している。

### 3. 金属・低屈折率微粒子のトラッピング

周囲の媒質より屈折率が低い微粒子や光を反射・吸収する金属微粒子等については、放射圧がレーザー光から遠ざかる方向、すなわち斥力として働くため、前述のトラッピング法では捕捉できない。そこで我々は、コンピュータ制御の電動ミラーを使って集光スポットを高速に走査するレーザー走査マニピュレーションシステムを開発した。このシステムにより、微粒子を取り囲むように集光ビームを円形に走査すると、すべての方向から微粒子に斥力が働き、いわば「光のかご」の中に閉じ込めて捕捉することができる。図2は、鉄粉(粒径 $3\mu\text{m}$ 、水中)を

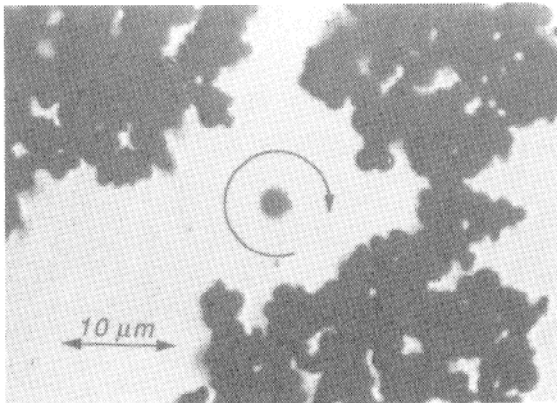


図2 鉄粉(粒径 $3\mu\text{m}$ 、水中)のトラッピング

捕捉している様子である。「光のかご」を移動させると捕捉した微粒子はそれに伴って動くが、周囲の微粒子は順に跳ね退けられるのが観測される。この他にも、アルミ粉末やカーボン微粒子、低屈折率の液滴等の捕捉・操作も可能であった。

### 4. 微粒子のパターン形成および輸送

レーザー走査マニピュレーションシステムを用いると、1本のビームで複数の微粒子を同時に捕捉し、任意のパターン上に配列させることもできる。これは、レーザー走査の速度を微粒

子の運動よりも十分速くすると、放射圧は時間平均した光強度分布によって与えられるので、微粒子はレーザースポットの軌跡上に配列するというものである。図3は、ポリマー微粒子

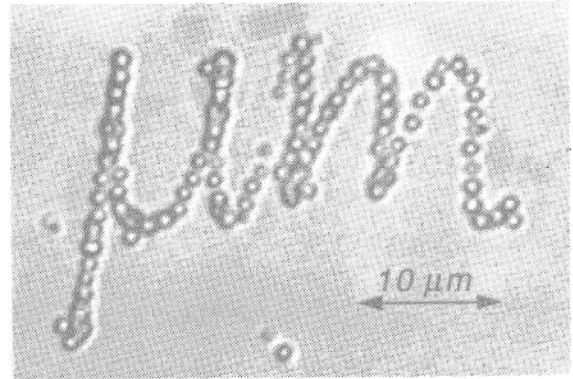


図3 ポリマー微粒子(粒径 $1\mu\text{m}$ 、アルコール中)によるパターン形成

(粒径 $1\mu\text{m}$ 、アルコール中)を“ $\mu\text{m}$ ”の文字パターンに並べた様子である。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、放射圧により微粒子が引き寄せられ数十秒後には図のようなパターンが形成される。レーザーを切るとブラウン運動により数秒でパターンは崩れる。このシステムでは、コンピュータ制御によりパターンを動かしたり時間的に変化させていくことも可能である。また、レーザービームの走査速度を適当に選べば、パターンに沿って流れるように微粒子を輸送することもでき、その流速はレーザーパワーと走査速度で制御することができる。この現象は、力学的な理論により説明することができ、それを用いて微粒子と基板の摩擦係数や放射圧などのパラメーターを推定することができる。

### 5. 微粒子の加工・組み立て・駆動

トラッピングビームを2本使い、それぞれにレーザー走査を行なうと、あたかも人の両手のように微粒子を操ることができ、さらに、紫外パルスレーザーにより光化学反応を誘起すれば、微粒子の組み立て・加工等が可能となる。図4は、光重合反応を用いてポリマー微粒子(粒径 $3\mu\text{m}$ 、水中)を積み木細工のように両手で順に接着して3個の微粒子からなる微小構造物を

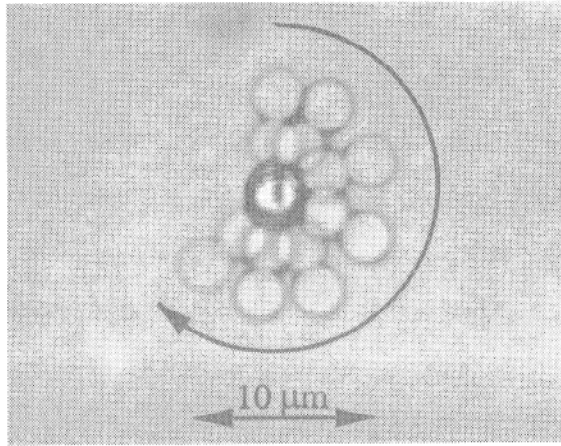


図4 ポリマー微粒子による微小構造物の組み立てと駆動

作り，その両端を2本のビームで捕捉して一方を回すことで回転・振り子運動等を行なっているところである。

この他にも，レーザーアブレーションとよばれるポリマーの分解・飛散現象を利用して捕捉

した微粒子に微細な穴を貫通させたり，ゲルの相転移を利用してレーザー光により微粒子そのものを形成し，不用になれば光を切って消滅させるといったことも可能になっている。

## 6. おわりに

レーザーマイクロマニピュレーションについていくつかの技術を紹介した。我々は，これらの技術を用いて集積化学システムあるいはマイクロ化学工場といったものを作ろうと試みているが，その他にもマイクロマシン，マイクロエレクトロニクス，マイクロオプテックスなどの様々なマイクロテクノロジーに応用できるとともに，微小領域の物理・化学現象の研究にも役立つものと期待している。

## 参考文献

- 1) 増原極微変換プロジェクト編，“マイクロ化学”（化学同人，1993）

