

## 最近の技術から

# エバネッセント場による粒子の駆動法

河田 聰・杉浦 忠男

大阪大学工学部応用物理学科 〒565 吹田市山田丘 2-1

### 1. はじめに

マイクロメーターオーダーの微粒子をレーザー光の放射圧を用いて浮上・加速・捕捉するアイデアは Ashkin によって提案され<sup>1-3)</sup>、これまでに生物細胞の操作など、さまざまな応用が報告されている<sup>4,5)</sup>。ここでは、高屈折率プリズムに臨界角以上の角度でレーザービームを入射した場合に生じるエバネッセント場を用いて、粒子を駆動する原理および技術<sup>6)</sup>について紹介する。この技術を用いれば、プリズム表面上に存在する粒子のみを選択的に移動させたり、エバネッセント場が存在する領域を線状に作ってやることにより他の粒子に影響を及ぼすことなく粒子の輸送を行ったりすることが可能となる。

### 2. 粒子駆動の原理

図1にエバネッセント場による駆動の原理図を示す。レーザービームは高屈折率プリズムの下方から臨界角以上の角度で入射し、プリズム表面にエバネッセント場をつくる。エバネッセント場中に粒子が存在すると、場は粒子によって乱される。そして、粒子中にフォトンがトンネリングし伝播光に変換される成分が生じる。伝播光の一部は粒子中を多重反射する間に散乱され、空間を伝播する光として粒子のまわりに射出される。このため、プリズムでの全反射光強度は減少することになり、減少分のフォトンが持っていた運動量は粒子に与えられ、粒子は駆動力を得る。

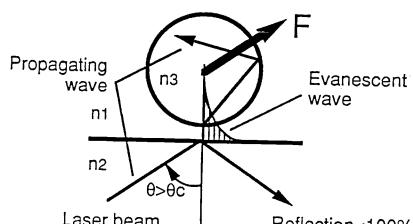


図1 エバネッセント場による粒子の駆動の原理図

光の放射圧は散乱前と散乱後の光の持つ運動量で決定されるため、粒子での散乱が等方的であった場合を仮定すると、粒子に与えられる力の大きさは、

$$F = P/c \quad (1)$$

で与えられる。ここで  $P$  は散乱されたレーザービームの強度で、 $c$  はプリズム中での光速である。発生する力の方向は、レーザービームの入射してくる方向と一致している。そのためプリズムの面に平行でない入射角の場合に発生する力はプリズム面方向の成分と垂直方向の成分とを持ち、粒子は浮上する力を受けながらプリズム面方向の駆動力を受ける。粒子の透明・不透明、誘電体・金属等の性質については、一般に光の放射圧全般で言われていることと同じである。

### 3. 実験

#### 3.1 粒子駆動の実験

図2に粒子を駆動する実験に用いた系を示す。光源は半導体励起 Nd:YAG レーザー（波長 1,064 nm、出力 150 mW）を用い、半円柱のサファイア・プリズムの表面の直径 100 μm の領域に照射する。プリズムの屈折率は  $n_p=1.75$  で、水との臨界角  $\theta_c$  は 49° である。粒子は、IR カットフィルターを通して、顕微鏡対物レンズによって観察した。

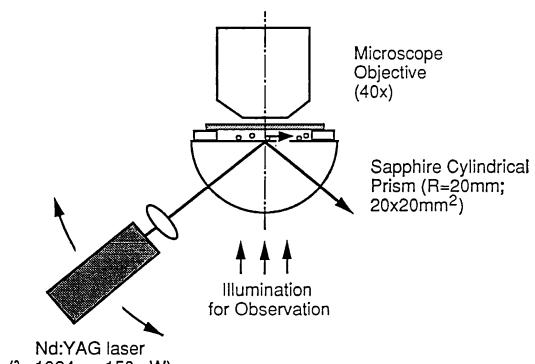


図2 駆動実験に用いた実験系

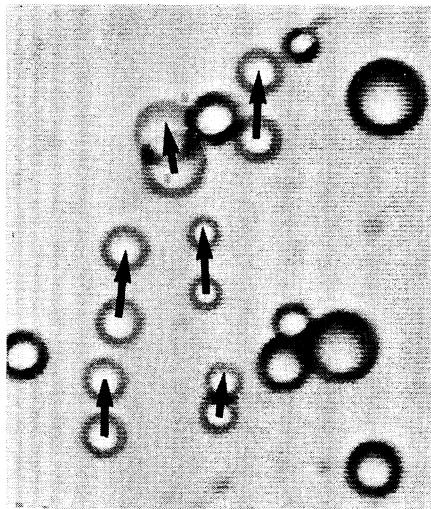


図3 エバネッセント場によって粒子を駆動する様子

図3にレーザービームを入射した場合に粒子が移動する様子を示す2重露光写真(時間間隔は1秒)を示す。レーザービームは入射角51.0°で入射しており、粒子は径6.8 μmのポリスチレンラテックスである。この写真における平均移動速度は8 μm/sであった。いくつかの粒子が移動していないが、これは粒子がファンデルワールス力等の力で基盤に付着し移動できなくなったためと考える。レーザービームをプリズムに入射した場合に粒子は移動し、それ以外では移動しなかった。このほか、1.0 μm, 6.8 μmのラテックス粒子が移動するのが確認できた。

### 3.2 レーザービームの入射角・偏光と粒子の移動速度との関係

図4にレーザービームの入射角を変化させた場合の粒子の移動速度の変化について調べたグラフに示す。移動速度は、6.8 μmのポリスチレンラテックス粒子10個の平均の移動速度を示している。入射角が増加すると移動速度が減少しているが、これは入射角の増加によってエバネッセント場の深さが減少したためである。

また、入射するレーザービームの偏光は、S偏光の場合の方がP偏光の場合よりも粒子の移動速度は大きくなる結果が得られた。これは、エバネッセント場の強度が

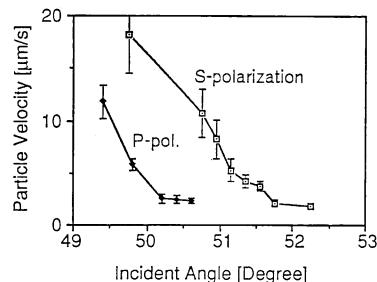


図4 レーザービームの入射角・偏光状態と粒子の平均移動速度との関係

S偏光の方が大きいため、発生する放射圧は大きくなるからと考える。

### 4. おわりに

レーザービームのエバネッセント場を用いた粒子の駆動法についてみてきた。実験では球形の粒子を使ったが、実際にはもっと別の形状の粒子の駆動も原理的に可能である。また、プリズムの代りにむき出しの光導波路・光ファイバー等でもエバネッセント場を作ることができる。この場合、粒子の移動を光導波路・光ファイバーに添った方向のみにすることができる。われわれは、このメカニズムをレーザー駆動のリニアモータとして使うことを検討している。

### 文 献

- 1) A. Ashkin : "Acceleration and trapping of particles by radiation pressure," Phys. Rev. Lett., **24** (1970) 156-159.
- 2) A. Ashkin : "Applications of laser radiation pressure," Science, **210** (1980) 1081-1088.
- 3) A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm and S. Chu : "Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles," Opt. Lett., **11** (1986) 288-290.
- 4) A. Ashkin, J. M. Dziedzic and T. Yamane : "Optical trapping and manipulation of single cells using infrared laser beams," Nature, **330** (1987) 769-771.
- 5) T. N. Buican, M. J. Smyth, H. A. Crissman, G. C. Salzman, C. C. Stewart and J. C. Martin : "Automated single-cell manipulation and sorting by light trapping," Appl. Opt., **26** (1987) 5311-5316.
- 6) 河田聰, 杉浦忠男, 南茂夫: 第38回応用物理学会関係連合講演会予稿集(1991) p. 830.

(1991年11月12日受理)