

## 【背景】

光ピンセットとは、レーザー光を対物レンズで集光させ、レーザー光を物体に照射したときに生じる光の放射圧によって、 $1\ \mu\text{m}$  以下から数十 $\mu\text{m}$  の大きさの細胞や粒子を捕え、自由に動かすことのできるものである。1980年代にアシュキンによって初めて実験が行われてから、医学や生物学などの分野で応用されている。我々の研究室でも、光ピンセット技術を用いて数 $\mu\text{m}$  のポリスチレン球をトラップする際のレーザーパワーの測定や、ラゲールガウスモードのビームを用いてDNAの力学的特徴を解析する実験を行ってきた。

## 【目的】

ラゲールガウスモードのビームにより大きさ数 $\mu\text{m}$  の対象物をトラップする際の有効性を検証するため、本実験ではラゲールガウスモードビームを用いて直径 $2\ \mu\text{m}$  の粒子をトラップし、トラップ可能なレーザーパワーとトラップ位置の測定を行う。

## 【原理】

レーザー光を溶液中の微粒子に照射すると、図1のように屈折により光の進行方向が変化し、光の持つ運動量が変化する。その際運動量保存則により光の運動量の変化分は微粒子に受け渡され、それがレーザー光の焦点位置の方向に向かう力(放射圧)に変換される。粒子がビームウェストより上側にあるとき、レーザー光の運動量変化によって生じる力がレーザー光の焦点位置に向かう方向に働き、それが光の進行方向に働く力と釣り合って粒子を捕捉することができる。逆に粒子がビームウェストより下側にある場合、運動量変化によって生じる力がレーザーの進行方向に向かう力と同じ向きになり、全体に粒子を押し上げる力が強く働くためトラップすることは出来なくなる。

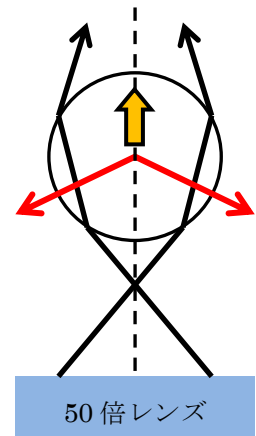


図1 粒子に働く力

## 【実験方法】

### 1、試料セルの製作

本実験では観測する対象物として直径が $2\ \mu\text{m}$ 、屈折率が1.59の無色透明なポリスチレンラテックス球を用いた。このポリスチレン球を蒸留水中に分散させた溶液を封入した試料セルを作製した。

図2のようにカバーガラスを切り取ったものを四方に置いてスペーサーとして用い、配置したスペーサーの内側に円状に接着剤をつけてその中に粒子の溶液を滴下し、その上にカバーガラスをかぶせることで、溶液中の微粒子がブラウン運動をすることができる空間を作り、かつ接着剤で密封させることで、より長時間使うことができるセルを作製した。

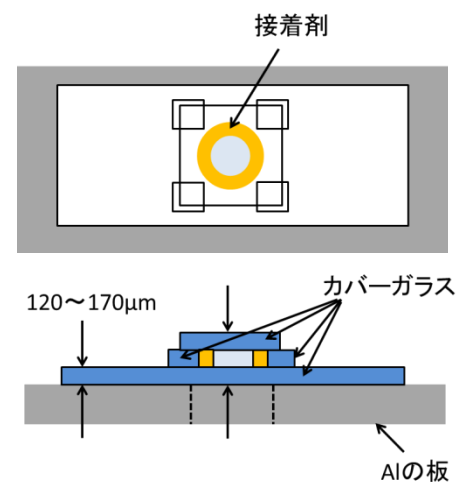


図2 試料セルの模式図

## 2、トラップ可能な位置および範囲の測定

1、で作製した試料セルを顕微鏡のステージにセットした。そして溶液中に浮遊するポリスチレン球がビームウェストよりも上側に位置するようステージの高さを調節し、ポリスチレン球をトラップした。この時レーザー光が透過するステージの下の対物レンズを  $x$ - $y$ - $z$  方向に動かすことで、ステージ上におけるレーザー光の  $x$ - $y$  方向の位置およびビームウェストの位置を操作した。これについて、トラップが可能なレーザーパワーおよび高さ ( $z$  方向) の範囲を測定した。ここで、ステージの面を  $xy$  平面とし、レーザー光の進行方向を  $z$  方向とした。レーザーパワーの調節は、数種類の ND フィルターを光路中に挿入する事で行い、レーザーパワーの値は図 3 に示す位置で測定した。本実験で用いた光学系を図 4 に示す。

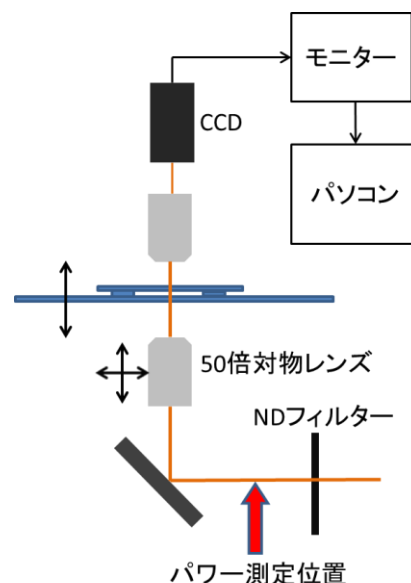


図 3 顕微鏡付近の実験系

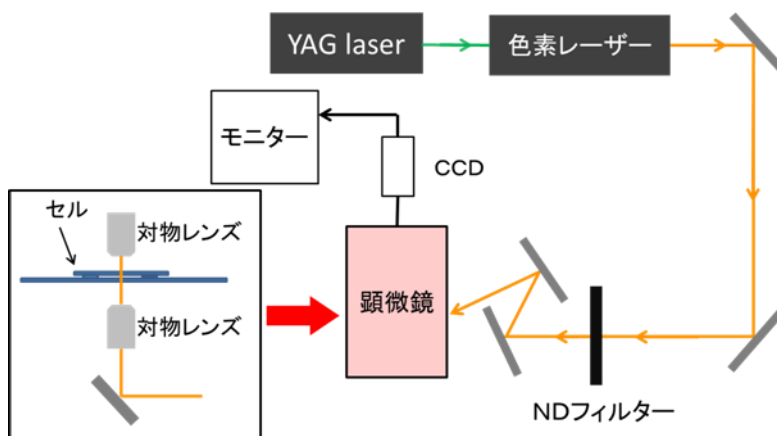


図 4、光学系

ここで、ステージの上に開口数 0.80、WD0.54mm の 50 倍対物レンズを設置し、ステージの下に開口数 0.55、WD8.7mm の 50 倍対物レンズを設置した。

## 3、ラゲールガウスモードビームの生成

ビーム中心からある距離離れたところで強度が最大となるドーナツ型のビーム形状をもつラゲールガウスモードビームを生成した。そのビームで微粒子をトラップすることで、微粒子が軌道角運動量を受け取り回転する様子を観測した。ラゲールガウスモードを生成するために用いた光学系を次頁の図 5 に示す。ここで用いた光学系について、共振器に組み込まれたピエゾ素子に電圧を加えて共振器の長さを調節することで、エルミートガウスビームのモードの次数を変え、そのエルミートガウスビームをモードコンバーターに通してラゲールガウスモードに変換し、様々な次数のラゲールガウスモードビームを生成することを可能にした。

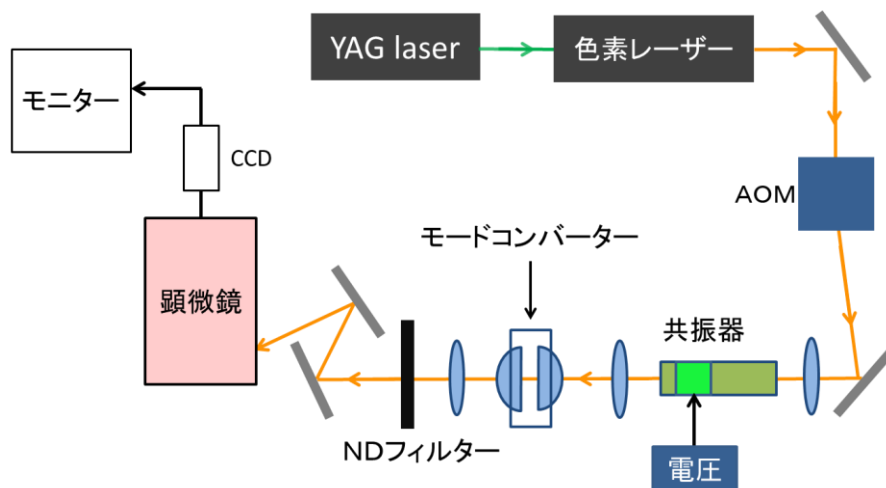


図5 ラゲールガウスビーム生成のための光学系

**【結果】**

2、トラップ可能な位置および範囲の測定の結果

トラップできるレーザーパワーを測定した結果を表1に示す。表1より、最低0.59mWのパワーでトラップが可能であることがわかった。ここで実際には図3に示した位置でレーザーパワーを測定したが、トラップ対象物により近い位置でのレーザーパワーを求めるため、ステージ下の対物レンズの前後におけるレーザー光のパワーの透過率と実際のパワーの測定値との積、即ちセルに入射直前でのパワーも示した。本実験ではレーザーパワーが0.73mW以上の値でトラップできたが、パワーが小さいほど粒子を補足する力が弱く、パワーが大きい時ほど確実にトラップすることができた。

表1 トラップ可能なレーザーパワー

測定位置でのパワー[mW]	セル入射直前のパワー[mW]	トラップの可否
40	26	○
26	17	○
12	7.9	○
5.0	3.3	○
1.8	1.2	○
1.1	0.73	○
0.9	0.59	×

レーザー光の進行方向においてトラップ可能な範囲を測定した結果、表2のような結果が得られた。表2より、トラップするレーザーのパワーが小さくなるほどトラップ可能な範囲が狭くなることがわかった。

表2 トラップ可能な範囲(z方向)とレーザーパワーの関係

パワー[mW]	トラップ可能範囲[μW]
5.9	14
3.8	14
1.6	11
1.2	9
1.1	8
0.73	5

#### 4、ラゲールガウスモードビームによるトラップの結果

4次や6次のラゲールガウスモードのビームを生成し、そのラゲールガウスモードビームを用いて直径 $2\mu$ のポリスチレンラテックス球を同時に複数個トラップした結果、ポリスチレンラテックス球が実際に回転運動を行う様子が観測された。このとき、レーザーパワーは3.0mWであった。

#### **【考察および今後の課題】**

トラップの際、レーザーパワーを弱くするとレーザー光を速く動かした時に微粒子がトラップから外れたので、パワーの値とレーザー光を動かす速度の関係についてより定性的に調べる必要があると考えた。

ラゲールガウスモードビームによるトラップについては、トラップ時の微粒子の回転運動を利用した応用実験を行う。この応用実験として、1本のひも状に展開したDNAの両端に微粒子を取り付け、一方の微粒子を固定した状態でもう一方の微粒子をラゲールガウスビームによりトラップして回転させることで、DNAの螺旋構造を解いてDNAの解析測定に用いるといった実験を検討している。

#### **【謝辞】**

至らない私に対して卒業研究の指導をして下さった清水和子先生や渋川さん、そして清水和子研究室に所属する学部生および院生の皆様には大変お世話になりました。ありがとうございました。