

5. 光ピンセットの実験解析

浮田 宏生

5.1 光ピンセットの実験解析

実験では、光トラップ用のレーザーを顕微鏡に導入し、ステージ上で水中に分散したサンプルを焦点位置に光ピンセットする。具体的には、顕微鏡筒にダイクロイックミラーを配置し、Nd:YAG レーザー（波長 $1.06 \mu\text{m}$ 、生体に対し吸収がない）を側方から導入する。また、高倍率（NA=1.25 程度）の対物レンズで、焦点位置に急峻なエネルギー分布を作る。この勾配力で微小物体はエネルギー密度の高い方向へ引っ張られる。微粒子上での光パワーは $1\text{mW} \sim 100\text{mW}$ 程度で、サンプルを選べば半導体レーザーでも光ピンセットが可能である。

光学系は、レーザーを $\lambda/4$ 波長板で円偏光にして反射・屈折における偏光依存性をなくし、ビームエキスパンダーでビーム径を拡大する（直径 8mm ）。拡大する理由は、対物レンズの周辺部の光強度を相対的に増加し、光トラップ力を増強するためである。また、ハーフミラーで光ビームを2分割し、それぞれ特性が等しい上および下の対物レンズに導入し、上からのトラップ、下からのトラップ特性を比較する。筒内のダイクロイックミラーは、波長 $1.064 \mu\text{m}$ の YAG レーザーのみを反射し、観察用の照明光を透過する。これにより、

光ピンセットのようすが顕微鏡上部の CCD カメラのモニターで観察できる。

5.2 実験結果と理論値の比較

まず上下対物レンズに光ビームを導入し、それぞれ液層中で微粒子を光トラップする。次に ND フィルターを回転し光パワーを少しずつ減少する。そして、(a) 光軸方向トラップでは重力によって微粒子が下に落ちる瞬間を、(b) 光軸と垂直方向トラップではステージを一定速度で水平方向に移動し、粘性抵抗によって微粒子が離脱する瞬間をモニターで観察し、その瞬間の光パワー（最小光トラップパワー）を測定する（図 5.1）。

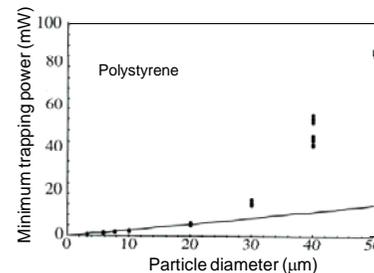


図 5.1 光軸と垂直方向光トラップ力の粒径依存性

5.3 幾何光学理論値との比較

(a) 光軸方向トラップ

- ・ 下入射は上入射より少ない光パワーでトラップ可能
- ・ 実験値は粒径が大きくなると理論値とのずれが小さくなるが、1.5 倍程度大きい。

(b) 光軸と垂直方向トラップ

- ・ 粒径が小さいときは理論値と一致
- ・ 粒径が大きくなると実験値が急速に増加

5.4 実験値と理論値の不一致解消法⁽¹⁾

(a) 軸方向トラップカ→ビームウエスト考慮

対物レンズによるレーザーの集光特性を、従来の直線近似ではなく、ビームウエストを考慮した放物線近似により光トラップ力を再計算する。

(b) 光軸に垂直方向

- ・ ビームウエストの影響小
- ・ 重力の影響大→軸外トラップの解析

(c) 光トラップ位置の軌跡

(1) H. Ukita, T. Saitoh and N. Sakahara: Opt. Rev. 13, pp.436-442, 2006