

サブ mm 級・不規則形状物体の位置・姿勢操作 に向けたリアルタイム適応的光ピンセット技術

東京大学 大学院工学系研究科精密工学専攻
大峰遼平, 高橋 哲

1. はじめに

Ashkin 博士らによって 1986 年に発明された光ピンセット¹⁾は、光の持つ運動量を用いてマイクロスケールの物体を非接触に捕捉・操作する技術である。光ピンセットは細胞や微生物、マイクロマシン部品、マイクロプラスチック等、様々な微小物体に対して適用可能であり、物理学や生物学、その他のマイクロ・ナノ領域において有力な技術である。

しかしながら、現状の光ピンセットには、対象とする物体のサイズ・形状・材質において大きな制約が存在する。具体的には、まずサイズに関して、小さいものでは原子スケールまでの物体を捕捉できるのに対し、その逆の大きな物体に関しては、基本的に $10\ \mu\text{m}$ を超えると操作が困難となる²⁾。また形状に関して、球体・楕円体・円柱といった単純形状（かつ単一材質）の物体は静止させての捕捉が可能なのに対し、より複雑な不規則形状（または不規則な材質分布）の物体に対しては、照射時に不規則な自転を起し³⁾、位置・姿勢の自由操作は困難である。

これが難しい理由は次のように理解できる。まず、光ピンセットにおいては、光と物体の相互作用によって光の持つ運動量が物体に伝達されて物体運動が生じる。具体的には、物体の光学応答、すなわち“光が物体に入るとどのように出ていくか”に依存して付与される力・トルクが決定され、これと粘性抵抗力（主に形状に依存）等の動力的特性によって付与される位置・姿勢変化が決定される。球・円柱等の対称性の高い単純形状とみなせる物体については、この光学応答・動力的特性が単純かつ事前予測可能となるため、捕捉については光ピンセットの基本形である単一集光ビームで可能であり、回転などの複雑な操作を望む場合でも、所望の動きが得られるように事前に当てる光の場を設計することで比較的容易に可能である。それに対し、不規則形状の物体では、光学応答・動力的特性が複雑・未知であるため事前設計は不可能となるため、操作ははるかに困難となる。特性が未知の材質や・複数材質が不規則な分布で物体を構成している場合も同様である。さらに、光学応答への形状の影響は物体サイズが大きいほど顕著になるため⁴⁾、同様の理由でサイズの大きい粒子についても操作が困難となる。これらの理由から、光ピンセットの従来の研究の大多数においては、サイズ・形状・材質においてはじめから“素性の良い”物体を選定し、その対象ごとに限って使用可能な手法が様々な提案・実証されてきた。しかしながら、自然界に存在する微小物体がサイズ・形状・材質にお

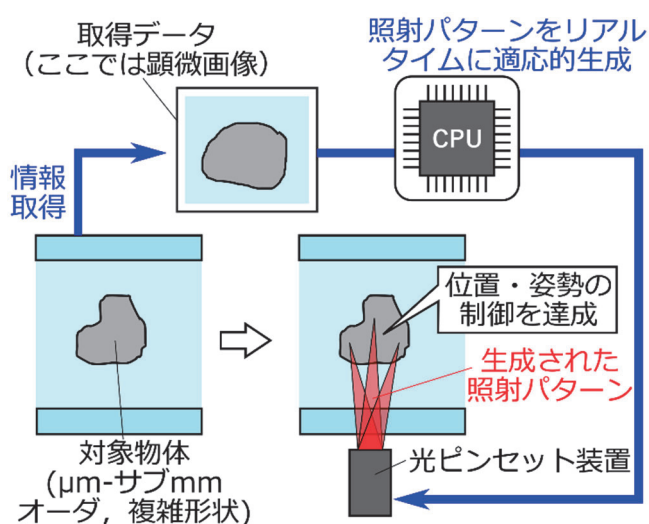


図1 リアルタイム適応的光ピンセットの概念図