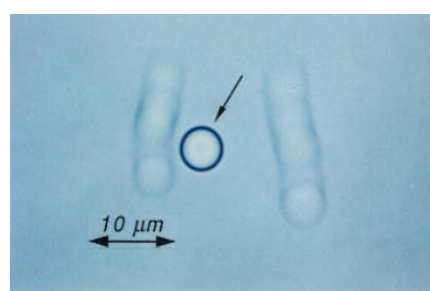


ディビジョン番号	10
ディビジョン名	分析化学

大項目	1. 分析化学
中項目	1-10. マイクロ・ナノ分析
小項目	1-10-6. レーザー捕捉

概要（200字以内）

基礎科学および産業分野では様々な微粒子が利用されている。このような微粒子を非破壊・非接触的に操る方法として、光の「放射圧」を利用したレーザー捕捉法が知られている。溶液中の様々な微粒子をレーザー光によって3次元空間において任意にマニピュレーション可能であるとともに、これをin situで計測することも可能である。今後、単一ナノ微粒子や単一分子のレーザーマニピュレーション法と計測法が開発されることにより、関連分野の研究は飛躍的に発展するものと予想される。



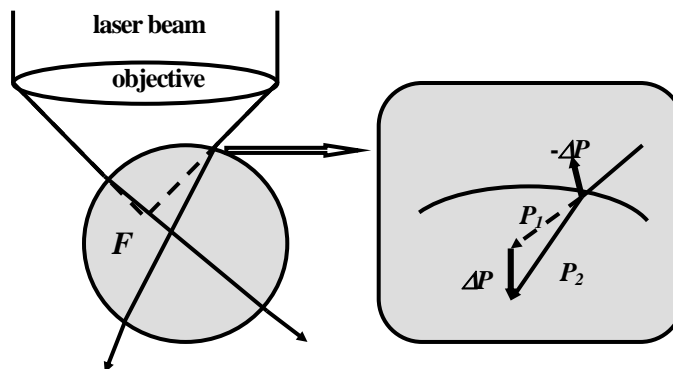
単一微粒子のレーザー捕捉

現状と最前線

コピー機に用いる炭素微粒子、顔料・塗料に利用される無機微粒子、乳化剤を構成するエマルションなど、社会生活において種々の微粒子は欠くことのできない材料である。これらの物性・特性を精密に測定するためには、単一微粒子レベルの分析・計測法が必要となるが、これには単一微粒子を自在に操作し、その熱運動を抑止する必要がある。この基本となる技術が単一微粒子のレーザー捕捉法である。

溶液中におけるマイクロメートルサイズの単一微粒子をレーザーにより捕捉する基本原理を図1に示す。レーザー光のような単色光の光を顕微鏡の対物レンズを通して溶液中の単一微粒子に照射することを考える。光は溶液/微粒子界面において屈折し、光の進行方向は曲げられる。この時、光の運動量は $\Delta P (= P_2 - P_1)$ 分だけ変化するが、保存則により $-\Delta P$ 分の運動量が微粒子に受け渡される。この現象は光が照射されている微粒子の全ての溶液/微粒子界面において起こる。微粒子の屈折率 (n_p) が周囲の溶液の屈折率 (n_m) よりも大きい場合、 $-\Delta P$ の総和 (F) は光の焦点方向へ向う。この力 (F) は光の「放射圧」と呼ばれ、この力によりレーザー光により微粒子を捕捉することができる。マイクロメートルサイズの微粒子に加わる放射圧はピコニュートンのオーダーであり、微粒子が受ける重力よりも大きい。従って、レーザー光の焦点を移動させても、微粒子はレーザー光の焦点に追従して動く。すなわち、単一微粒子を3次元的に非接触・非破壊的に操る（レーザーマニピュレーション）ことが可能である。一

図1 単一微粒子のレーザー捕捉の原理



例として、水中 ($n_m=1.33$) におけるポリメタクリル酸メチル微粒子 ($n_p=1.49$) のレーザー捕捉の様子を概要の図に示す。 $n_p > n_m$ の屈折率条件が成立する水中におけるポリマー微粒子、油滴、半導体材料、ガラスビーズ、生細胞など、様々な単一微粒子をレーザー光により操ることができる。また、ここでは詳細を省略するが、単一微粒子のみならず、複数の微粒子を空間配列したり、レーザー光を反射・吸収するような微粒子もレーザー捕捉可能であることが知られている。したがって、あらゆる材質の微粒子をレーザー光により自在に操ることができる。

溶液中におけるマイクロメートル微粒子をレーザー光により自在に操ることが可能であるとともに、単一微粒子を同時に分析・計測することもできる。さらに、数十ナノメートルサイズの微粒子のレーザー捕捉も報告されている。しかしながら、マイクロメートル以下のサイズの微粒子は光学顕微鏡で像を観測することができないため、ナノメートル微粒子のレーザー捕捉は光散乱やプローブ顕微鏡の併用などの間接的な方法で確認せざるを得ない。ナノメートル微粒子、さらには単一分子のレーザー捕捉・観察・計測が可能になれば、様々な科学の発展に多大な貢献を果たすはずである。そのためには、微小開口プローブや表面プラズモンによる局所電場などを用いた新規なレーザーマニピュレーション法と同時観察法の開発が望まれる。

参考文献：

マイクロ化学—微小空間の反応を操る、増原極微変換プロジェクト編、化学同人（1993）

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
単一微粒子の汎用型レーザー捕捉装置の開発
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
ナノ微粒子および単一分子のレーザー捕捉・観察・計測法の開発

キーワード

レーザー捕捉、レーザーマニピュレーション、単一微粒子、放射圧

(執筆者： 喜多村 昇)