

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24655066

研究課題名(和文) ラゲール・ガウシアンビームを用いる微粒子並びに細胞の高精度評価技術の開発

研究課題名(英文) Development of a method for evaluation of small particles and cells with a high accuracy based on use of a Laguerre-Gaussian beam

研究代表者

今坂 藤太郎 (Imasaka, Totaro)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・その他

研究者番号：30127980

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はレーザー光の輻射圧により微粒子を捕捉・分離し、粒径を精密測定する新しい計測法研究である。微粒子捕捉のため空間光変調器を用い、ラゲールガウシアンビーム等微粒子捕捉ビームを生成する研究を行った。角運動量を持つラゲールガウシアンビームにより捕捉した微粒子を円運動させ捕捉精度を高めることができることを明らかにした。そして2つのビームを組み合わせた粒径分離の実証研究を行った。円環状のビームによって微粒子を捕捉し、次にガウシアンビームを円環の中心へ照射し、2 μmと6 μmの粒径の異なる微粒子を分離する研究を行い、実証した。本法はその発展により精密粒径測定を可能とする有力な手法となると期待される。

研究成果の概要(英文)：This research project aimed at investigating a novel method of trapping, separating, and measuring the sizes of small particles by use of the radiation pressure induced by a laser beam. By use of a spatial-light modulator, laser beams with a variety of beam properties such as a Laguerre-Gaussian beam were generated for trapping particles. A Laguerre-Gaussian beam has an angular momentum which rotates trapped particles and results in precise particle trapping. We have combined two laser beams for demonstrating the separation of small particles. Here, a laser beam with a circular-ring shape was used to trap small particles, and other beam with a Gaussian shape was focused at the center of the ring-shaped beam. Particles with diameters of 2 μm and 6 μm were separated from each other by the irradiation of the Gaussian beam. This method is expected to provide a useful mean for the precise measurement of the diameters of small particles.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：分析・計測 微粒子 粒径分離 ラゲール・ガウシアンビーム 光ピンセット 細胞分析

### 1. 研究開始当初の背景

微粒子の評価技術は、科学・技術分野において極めて重要である。たとえば、量子ドット、細胞、細菌など、その例には枚挙に暇がない。申請者は、微粒子を分離、計測する“オプティカルクロマトグラフィー”を創案した [Anal. Chem., 67, 1763 (1995)]。しかし、科学技術振興機構の計測技術俯瞰ワークショップでは、新しい挑戦的課題として“100 nm 以下くらいの粒子で 1 nm の大きさの違い”を利用して“細胞、細菌、ウイルス分離を可能にする”超高精密分離法の開発が挙げられている。したがって、今後、より微小な細胞、細菌等を顕微鏡下で精密測定できる新しい方法が強く望まれている。

### 2. 研究の目的

レーザー光の輻射圧を利用して微粒子、細胞等を捕捉し、その粒子径を精密測定する新しい計測法を開発する。すなわち、レーザー光の等位相面がらせん状に変化するラゲール・ガウシアン (Laguerre-Gaussian) ビームを顕微鏡に導入し、視野下に強度分布がドーナツ型となる“光渦”を発生させる。その光により捕捉された細胞等はドーナツ型の輻射場中で円運動する。そこに、通常のガウシアンビームを入射し、ビーム中心部に引き寄せる勾配力を発生させる。両者の力を拮抗させ、円運動の直径を顕微鏡で測定することにより、ミクロン～サブミクロンの細胞等の粒子径を精密測定する方法を研究する。

### 3. 研究の方法

ヤグレーザーの第二高調波 (532 nm) を、パソコンを付属した空間位相変調器に通過させる。エクセルで表計算したデータに基づき、レーザー光の位相面を制御する。ガウシアンビームを通過させたとき位相差が  $2\pi$  の整数倍だけ変化するように調整し、ラゲール・ガウシアンビームを得る。このレーザー光を顕微鏡に入射し、視野中の微粒子を円運動させる。そこに、もう一つのガウシアンビームを重ねて入射させ、その勾配力により微粒子をビーム中心部に引き寄せる。微粒子に加わる力は粒子径に依存するので、微粒子の円運動の直径を顕微鏡で測定して、粒子径を求める。さらに、微粒子の代わりに細胞等を導入し、細胞の成長の様子を計測すると共に、動きを伴う細胞の力を評価する。

### 4. 研究成果

目的であるレーザーの輻射圧を用いた微粒子の粒径測定法の開発のために、実験系の作製と基礎となる光の位相制御や微粒子の捕捉に関する研究を行った。実験装置は、空間位相変調器 (SLM) と落射蛍光顕微鏡装置を用いて、光の位相を変調しながら、微粒子にレーザー照射することのできる光ピンセット装置を作製し、これを用いた (図 1)。SLM は液晶で構成される光の位相を変調する装

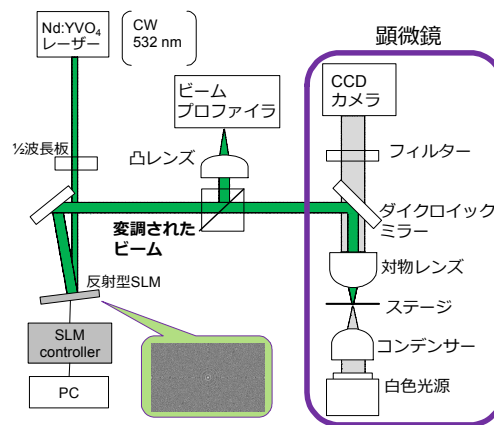


図 1. 構築した実験装置図

置であり、ガウシアンビームの位相を変調することでラゲール・ガウシアンビームを生成した。SLM 上に表示するパターンは適切な位相変調量を与えるために表計算ソフトで計算して作成した。得られるラゲール・ガウシアンビームを落射蛍光顕微鏡に導入し、対物レンズで集光することで顕微鏡において観察中の微粒子に照射した。

微粒子はレーザー光の輻射圧によって捕捉され、かつ、微粒子はラゲール・ガウシアンビームから角運動量を受け取り、捕捉されながら顕微鏡視野下で円運動を行った (図 2)。

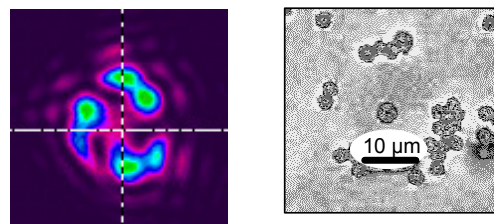


図 2. 発生させたラゲール・ガウシアンビーム (左図) と微粒子捕捉の様子 (右図)

この時の円運動の半径は異なる粒径の微粒子でも同じ半径であった。より効率よく微粒子を回転させるため、SLM に表示するホログラムを回転させることで、微粒子を回転させる研究も行った。図 3 に示した通り、ホログラムの回転に伴い、それに追従して捕捉された微粒子も円運動する様子が観測された。

次に、ラゲール・ガウシアンビームと同軸にガウスビームを顕微鏡へ導入し、2つの微粒子へ照射した。2つのビームを照射しているとき、微粒子はガウシアンビームによって円の中心に、ラゲール・ガウシアンビームによって円の円周上に捕捉された。

この状態からラゲール・ガウシアンビームによる照射のみを行うと、円の中心に捕捉されていた微粒子は円周上へ移動した。このことから、レーザーが微粒子を捕捉する力は粒径の 2 条に比例するため、微粒子を 1 つのビームによって捕捉し、もう一つのレーザーを

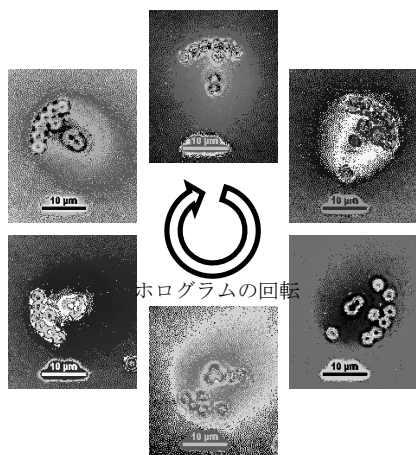


図 3. SLM 上ホログラムの回転とそれに追従する微粒子の円運動

出力を調整しながら照射すれば、小さな微粒子を捕捉したまま大きな微粒子の位置を変化させることができる。この原理に基づいて、微粒子を粒径によって分離することが可能である。

また、本研究ではラゲール・ガウシアンビーム以外の様々な形状の捕捉ビームに関しても研究した。SLMを用いることで、円環状、格子状、様々な形状の捕捉ビームを作り出すことができ、任意の空間分布で微粒子を捕捉することができることを見出した(図4)。

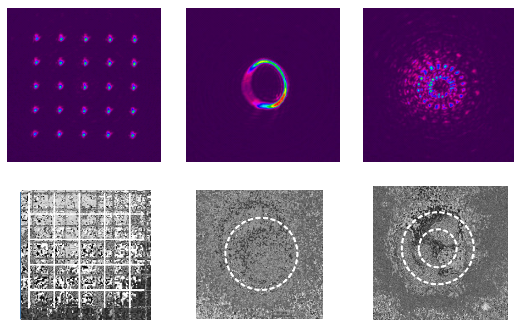


図 4. 様々な形状の捕捉ビーム(上図)とそれによる微粒子捕捉の様子(下図)

空間光変調器によって微粒子を円環状に捕捉するビームを作製し、そのビームによって微粒子を捕捉した。更に、ガウシアンビームを同時に同軸に入射することにより微粒子を円の中心方向へ駆動した。ガウシアンビームの出力を大きくしていくと、円環状に捕捉されていた微粒子は円の中心へ引っ張られ、微粒子の位置が変化した。そこで、2 μm と 6 μm の微粒子を混合した試料について実験を行った。最初に円環状のビームのみによって捕捉を行うと2種類の微粒子は同じ円周上に捕捉された。次に、その状態からガウ

シアンビームを同時に同軸上に入射し、ガウシアンビームの出力を大きくしていくと、粒径の大きな 6 μm の微粒子は円環状に捕捉されたまま、粒径の小さな 2 μm の微粒子のみがガウシアンビームによって円の中心へ移動した(図5)。これによって微粒子の粒径による分離を行うことができた。本研究を発展させることで、分離を行う時のレーザー光の出力と粒径の関係から、精密粒径評価が可能になると考えられる。

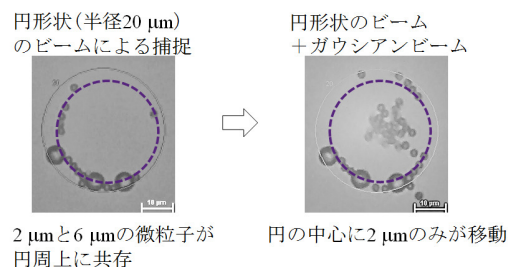


図 5. 円形のビームとガウシアンビームの同時照射による微粒子の粒径分離

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)  
該当なし

[学会発表] (計 3 件)

- ① 門司壮史、今坂藤太郎、レーザーの輻射圧を用いた微粒子の粒径の精密測定、第30回九州分析若手の会夏季セミナー、2012年7月27日、指宿休暇村
- ② 門司壮史、今坂藤太郎、ラゲールガウシアンビームとガウシアンビームの輻射圧を利用した微粒子の駆動と粒径による分離への応用、第73回分析化学討論会、2013年5月18日、北海道大学函館キャンパス
- ③ Takeshi Monji, Totaro Imasaka, Size Separation of Particles Using Optical Radiation Pressure Induced by a Pair of Laguerre-Gaussian and Gaussian Beams, The Twelfth Asian Conference on Analytical Sciences, 2013年8月24日, Maidashi campus of Kyushu University

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
該当なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今坂 藤太郎 (IMASAKA, Totaro)  
九州大学・大学院工学研究院・主幹教授  
研究者番号：30127980

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：