

## 研究 成 果 報 告 書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |                                                                              |        |         |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|--------------|
| 研究テーマ<br>(和文) AB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             | ナノ粒子の3次元位置計測とそのナノ形状計測への適用                                                    |        |         |              |
| 研究テーマ<br>(欧文) AZ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             | Three-dimensional position measurement of nanoparticles and its applications |        |         |              |
| 研究氏<br>代<br>表<br>名<br>者                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | カナ文字 CC     | 姓) ハヤサキ                                                                      | 名) ヨシオ | 研究期間 B  | 2002 ~ 2003年 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 漢字 CB       | 早崎                                                                           | 芳夫     | 報告年度 YR | 2004年        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ローマ字 CZ     | HAYASAKI                                                                     | YOSHIO | 研究機関名   | 宇都宮大学        |
| 研究代表者 CD<br>所属機関・職名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             | 宇都宮大学オプティクス教育研究センター・教授                                                       |        |         |              |
| <p>概要 EA (600字～800字程度にまとめてください。)</p> <p>ナノ粒子は、マイクロ粒子では現れなかった量子効果や表面効果を利用した、様々な応用に適用されており、粒子製造過程の効率化や最適化、利用条件の最適化、環境や人への影響の観測において、その形状やサイズ、物性、動きを測定することを求められる。具体的には、マイクロ流路や生体内の流体計測、ドラッグデリバリー、浄化・殺菌・洗浄に用いられるマイクロ・ナノバブル、物質へのレーザー照射時のナノ粒子の発生過程の観測の多様な技術分野において、光によるナノ粒子の位置計測は有用である。</p> <p>しかし、ナノ粒子の発する光が弱いことや、熱的なランダムな運動（ブラウン運動）が大きいことにより、その3次元位置計測の難易度は高く、その研究例は極めて少ない。</p> <p>本研究では、LEDを光源とする低コヒーレンスインラインディジタルホログラフィと、パターンマッチングや3次元サブピクセル推定[Appl. Opt. 52, A216-A222 (2013)]の画像処理との融合により、光ピンセットによりブラウン運動を制御した直径60nmの金ナノ粒子の3次元位置計測に成功した[Opt. Commun. Vol. 322, 22-26 (2014)]。本装置は、横方向では回折限界の80分の1にあたる3nm（ノイズレベルの標準偏差）の測定精度を、縦方向では薄明視野顕微鏡法[Opt. Lett. 37, 4119-4121 (2012)]の導入により2nmの測定精度を実現した。</p> <p>2014年9月の時点の状況において、スーパーコンティニューム光源と薄明視野顕微鏡光学系の最適化により、プラズモン効果の顕著に起こるサブ50nmの金ナノ粒子の3次元計測に成功した。スーパーコンティニューム光源の使用は、LEDに比べて1桁以上の大きな光強度と広帯域性を用いて、縦分解能を決定する光源の干渉性を選択できる。また、高感度・低ノイズカメラを有する自己干渉型のディジタルホログラフィを用いて、当初の研究目的にあった、蛍光ナノ粒子を3次元計測により成功した。現在は、500nmの蛍光粒子であるが、今後、励起光学系や画像処理の最適化により、サブ100nmの粒子計測にチャレンジする。</p> |             |                                                                              |        |         |              |
| キーワード FA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ディジタルホログラフィ | 光ピンセット                                                                       | 金ナノ粒子  | 3次元計測   |              |

(以下は記入しないでください。)

|            |  |  |  |  |           |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 助成財団コード TA |  |  |  |  | 研究課題番号 AA |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 研究機関番号 AC  |  |  |  |  | シート番号     |  |  |  |  |  |  |  |  |

| 発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。） |                    |                                                                                                                                        |                   |                       |   |   |   |                    |                |  |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|---|---|---|--------------------|----------------|--|
| 雑誌                                | 論文標題 <sup>GB</sup> | Three-dimensional sub-pixel estimation in holographic position measurement of an optically-trapped nanoparticle                        |                   |                       |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | 著者名 <sup>GA</sup>  | A. Sato, Q. D. Pham, S. Hasegawa, Y. Hayasaki                                                                                          | 雑誌名 <sup>GC</sup> | Applied Optics        |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | ページ <sup>GF</sup>  | A216～A222                                                                                                                              | 発行年 <sup>GE</sup> | 2                     | 0 | 1 | 3 | 巻号 <sup>GD</sup>   | Vol. 52, No. 1 |  |
| 雑誌                                | 論文標題 <sup>GB</sup> | Super-resolution complex amplitude reconstruction of nanostructured binary data using an interference microscope with pattern matching |                   |                       |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | 著者名 <sup>GA</sup>  | S. Ishikawa, Y. Hayasaki                                                                                                               | 雑誌名 <sup>GC</sup> | Optics Express        |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | ページ <sup>GF</sup>  | 12987～12995                                                                                                                            | 発行年 <sup>GE</sup> | 2                     | 0 | 1 | 3 | 巻号 <sup>GD</sup>   | Vol. 21        |  |
| 雑誌                                | 論文標題 <sup>GB</sup> | Holographic three-dimensional motion detection of an optically trapped sub-100 nm gold nanoparticle                                    |                   |                       |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | 著者名 <sup>GA</sup>  | Y. Hayasaki, A. Sato                                                                                                                   | 雑誌名 <sup>GC</sup> | Optics Communications |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | ページ <sup>GF</sup>  | 22～26                                                                                                                                  | 発行年 <sup>GE</sup> | 2                     | 0 | 1 | 4 | 巻号 <sup>GD</sup>   | Vol. 322       |  |
| 図書                                | 著者名 <sup>HA</sup>  | Yoshio Hayasaki, “Chapter 8: Holographic Three-Dimensional Measurement of an Optically Trapped Nanoparticle” pp. 175-196               |                   |                       |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | 書名 <sup>HC</sup>   | Multi-dimensional Imaging (Edited by Bahram Javidi)                                                                                    |                   |                       |   |   |   |                    |                |  |
|                                   | 出版者 <sup>HB</sup>  | Wiley-IEEE Press                                                                                                                       | 発行年 <sup>HD</sup> | 2                     | 0 | 1 | 4 | 総ページ <sup>HE</sup> | 458            |  |

#### 欧文概要<sup>EZ</sup>

A gold nanoparticle gives localized surface plasmon resonance. Spectrum of the gold nanoparticle's scattering light changes in response to the change of index surrounding the particle. Therefore, the gold nanoparticle is applied to molecular sensing in biomedical and environmental applications.

Optical tweezers is a well-known technique used to trap and manipulate micro objects in a liquid. The optical tweezers was applied to manipulate a gold nanoparticle when a motion, state, and function of a biological system were measured.

Holographic method that performed 3D position measurement of trapped particles. We demonstrated a position measurement of a 200 nm polystyrene particle held in optical tweezers using digital holography [Appl. Opt. Vol. **50**, H183 (2011)] and the 3D sub-pixel estimation for improving the position detection and reducing a computational cost [Appl. Opt. Vol. **52**, A216 (2013)]. It was also applied to a gold nanoparticle with a diameter of 60nm [Optics Commun. Vol. **322**, 22 (2014)]. A twilight-field optical microscope that is effective for holographic detection of weak scattering light from a nanoparticle was developed [Opt. Lett. Vol. **37**, 4119 (2012)].

When the laser intensity was 5.6 MW/cm<sup>2</sup>, the gold nanoparticle moved considerably as a result of Brownian motion, especially in the axial direction, because the axial force was lower than the lateral force. As the laser intensity was increased, the motion became smaller. When the laser intensity was 46.6 MW/cm<sup>2</sup>, the gold nanoparticle was almost fixed, and the lateral and axial variations were 6.1 nm and 7.1 nm, respectively.