

スペクトル・エンコーディングを用いたラインフィールド 共焦点デュアル光コム顕微鏡

長谷 栄治^{1,2}, 宮本 周治^{1,2}, 市川 竜嗣¹, 南川 丈夫^{1,2}, 山本 裕紹^{2,3}, 安井 武史^{1,2}

¹徳島大学大学院 社会産業理工学研究部/先端技術科学教育部 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

²JST, ERATO美濃島知の光シンセサイザプロジェクト (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

³宇都宮大学 オプティクス教育研究センター (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

Line-Field Confocal Dual-Optical-Comb Microscopy based on Spectral Encoding

Eiji HASE,^{1,2} Shuji MIYAMOTO,^{1,2} Ryuji ICHIKAWA,¹ Takeo MINAMIKAWA,^{1,2}

Hirotsugu YAMAMOTO,^{2,3} and Takeshi YASUI^{1,2}

¹Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences/Graduate School of Advanced Technology and Science,
Tokushima University, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima, Tokushima 770-8506

²JST, ERATO, MINOSHIMA Intelligent Optical Synthesizer Project, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima, Tokushima 770-8506

³Center for Optical Research and Education, Utsunomiya University, 7-1-2 Yoto, Utsunomiya, Tochigi 321-8585

(Received February 14, 2017)

An optical frequency comb (OFC) has attracted attention in optical frequency metrology because the mode-resolved OFC spectrum can be used as a precise frequency ruler due to both broadband spectrum and narrow linewidth characteristics. However, other than optical frequency metrology, the application fields of OFC remain undeveloped. Another interesting aspect of OFC is an optical carrier with a huge number of discrete frequency channels because OFC is composed of a series of frequency spikes that are regularly separated by a repetition frequency in the broad spectral range. In this paper, we encode the line-image of a sample on the mode-resolved OFC spectrum by 1D spectral encoding. The resulting line-image-encoded OFC spectrum is acquired by a dual-comb spectrometer after passing through a confocal pinhole. Finally, the line image is decoded from the mode-resolved amplitude spectrum. The proposed method enables us to establish both confocality and line-field imaging under a scan-less condition.

Key Words: Confocal laser microscopy, Optical comb, Dual comb spectroscopy, Spectral encoding

1. はじめに

共焦点レーザー顕微鏡 (Confocal Laser Microscope: CLM)¹⁾は、共焦点効果による深さ分解能と迷光除去能力を持ち、3次元イメージングを可能にすることから、非接触表面形状測定やバイオイメージングの分野で広く用いられている。通常のCLMでは、光源ピンホール/サンプル焦点/検出ピンホールが共役であるために、点計測である。そのため、イメージ取得には、焦点スポットを2次元的に機械的走査する必要がある。しかし、これらの機械的な走査機構は、高速計測の障害になるだけでなく、振動などの環境外乱に対する脆弱性に繋がる。このような現状から、機械的走査機構を不要とすることで、高速かつ外乱にロバストなCLMが強く望まれている。

CLMにおける機械的走査を省略する有力な手法として、空間/波長変換(スペクトル・エンコーディング)が

ある。これは、空間情報を広帯域スペクトルに重畳し、スペクトル波形から空間情報を抽出する技術である。これまでに、1次元波長分散素子を用いた1次元スペクトル・エンコーディング²⁾や、2次元波長分散素子を用いた2次元スペクトル・エンコーディング³⁾が報告されている。我々は、スペクトル・エンコーディングを行う広帯域スペクトル光として、光コム⁴⁾に着目した。光コムは、多数の安定な光周波数モード列が繰り返し周波数(f_{rep})間隔で規則的に櫛(コム)の歯状で並んだ超離散マルチ・スペクトル構造を有する。さらに、 f_{rep} とキャリア・エンベロープ・オフセット周波数 f_{ceo} をレーザー制御でマイクロ波周波数標準に位相同期すれば、光コムを構成する光周波数モード列(絶対周波数 $\nu_n = f_{ceo} + n f_{rep}$)を、周波数標準にトレーサブルな「光周波数の物差し」として、光周波数標準や光周波数計測の分野で利用可能である。最近、デュアル光コム分光法⁵⁾で取得されたモード