

次元変換光コムを用いたスキャンレス・フルフィールド 共焦点顕微鏡の開発 (1) ~共焦点ラインイメージの取得~ Scanless, Full-field, Confocal Microscopy Based on Dimension Conversion in Optical Frequency Comb (1) ~Confocal Line Imaging~

○ 長谷 栄治^{1,2}、宮本 周治¹、南川 丈夫³、謝 宜達^{1,2}、山本 裕紹^{2,4}、安井 武史^{1,2}

(1. 徳島大学、2. JST-ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクト、
3. 京都府立医科大学、4. 宇都宮大学)

○ Eiji Hase^{1,2}, Shuji Miyamoto¹, Takeo Minamikawa³, Y.-D. Hsieh^{1,2}, Hirotsugu Yamamoto^{2,4}, Takeshi Yasui^{1,2}

(1. Tokushima Univ., 2. JST-ERATO Minoshima Intelligent Optical Synthesizer Project,
3. Kyoto Pref. Univ. Med., 4. Utsunomiya Univ.)

E-mail: hase@femto.me.tokushima-u.ac.jp <http://femto.me.tokushima-u.ac.jp/>

3次元分解能や低侵襲性といった特徴を有するレーザー共焦点顕微鏡[1]は、蛍光プローブ技術の進展と相まり、バイオ分野で広く用いられているが、細胞内の動きを詳細に観測するためには、イメージ取得の更なる高速化が望まれる。しかし、共焦点効果は点計測に基づいているため、画像取得にはレーザースポットの機械的走査が必須となり、これが測定時間短縮のボトルネックとなっていた。もし、機械的走査が不要な共焦点顕微鏡が実現できれば、画像取得が大幅に短縮できる。

光コム[2]は、多数の狭線幅光周波数モード列が等間隔で櫛の歯状に立ち並んだ超離散マルチスペクトル構造を有している。ここで、光コムが有する膨大な数の光周波数モードに着目し、2次元波長分散素子による波長/2次元平面変換機能を融合すると、光周波数モードと画素を1対1対応させることが可能になり、モード分解スペクトルから、スキャンレスに2次元共焦点イメージを取得することが可能になる。本講演では、回折格子を用いたスキャンレス共焦点ラインイメージングを報告する。

図1に実験装置を示す。Erファイバー光コム ($\nu_c = 193$ THz, $\Delta\nu = 1.5$ THz, $f_{rep} = 250$ MHz) から出力されたレーザー光は、ビームスプリッター (BS) を通過し、回折格子 (1200 本/mm) によって各波長成分が1次元空間に展開される。2枚のリレーレンズと対物レンズ (NA=0.25, $f = 16.3$ mm) により、各波長毎に異なる位置に集光された1次元焦点群をサンプル上に形成する。その結果、サンプルのラインイメージ情報 (ここでは反射率) が光コムのスペクトルに重畳される。サンプルからの反射光は、回折格子への逆入射により、各波長成分が再び空間的に重ね合わされ、共焦点ピンホール (直径 $10\ \mu\text{m}$) を通過する。反射光のモード分解スペクトルを取得するため、デュアル光コム分光法 (DCS) [3]を用いた。各モードのピーク値を抽出してラインイメージ (水平軸) を生成し、それと直交する方向 (垂直軸) にサンプルをスキャンすることで2次元イメージを取得した。

図2にテストチャートの反射イメージ ($150\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$, $150\ \text{pixel} \times 1645\ \text{pixel}$) を示す。(a)の対物レンズ焦点面 ($z = 0$

μm) の位置におけるイメージではチャートおよび数字が鮮明に見えているのに対して、サンプルを焦点面からずらした面 ($z = +120\ \mu\text{m}$) のイメージでは、共焦点特性により完全に構造が消えていることが確認出来る。

光コムの光周波数モード数は、2次元イメージの総画素数程度はカバーできるので、回折格子の代わりに2次元波長分散素子 (例えば、VIPA と回折格子の組み合わせ) [4]を用いると、スキャンレス・フルフィールド共焦点イメージングが可能になる。

本研究の一部はJSPS 科研費 15H02025 による。

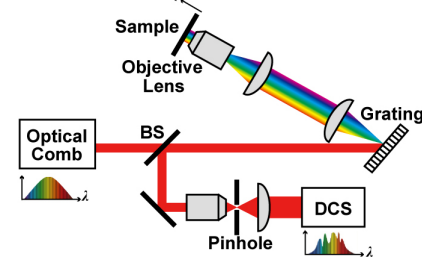


Fig. 1. Experimental setup

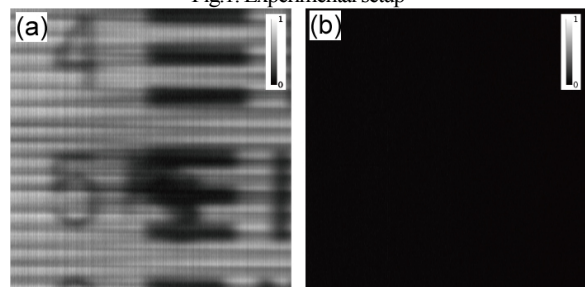


Fig. 2. 2D image of test chart, (a) confocal image at the focal spot ($z = 0\ \mu\text{m}$), and (b) that out of focus ($z = +120\ \mu\text{m}$).

[1] P. Davidovits *et al.*, *Nature* **223**, 5208 (1969).

[2] J. Ye *et al.*, "Femtosecond Optical Frequency Comb: Principle, Operation, and Applications", Springer (2005).

[3] B. Bernhardt, *et al.*, *Appl. phys. B* **100**, 3 (2010).

[4] S. A. Diddams *et al.*, *Nature* **445**, 627 (2007).