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（6）～ポスト光増幅によるイメージ SN 比の向上～

Scanless, Full-field, Confocal Microscopy Based on Dimension Conversion in Optical Frequency Comb (6) ~ Improved image SNR by post optical amplification ~

徳島大 [1], JST ERATO 美濃島知的シンセサイザー[2], Spring-8[3], 宇都宮大 [4]

○津田　卓哉 [1,2], 水野　孝彦 [1,2], 長谷　栄治 [1-3], 南川　丈夫 [1,2], 山本 裕紹 [2,4], 安井　武史 [1,2]

Tokushima Univ. [1], JST ERATO Minoshima ISO[2], JASRI/SPring-8[3], Utsunomiya Univ.[4]

°T. Tsuda[1,2], T. Mizuno[1,2], E. Hase[1-3], T. Minamikawa[1,2], H. Yamamoto[2,4], and T. Yasui[1,2]

E-mail: tsuda@femto.me.tokushima-u.ac.jp　https://femto.me.tokushima-u.ac.jp/

共焦点顕微鏡(CLM; confocal laser scanning microscope)[1]は、高コントラストな 3 次元イメージが取得可能なため、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使われている。しかし、CLM は点計測に基づいているため、画像取得には共焦点ピンホールと共役な光学配置を維持しながら焦点位置を機械的に走査する必要がある。このような機械走査は、振動などの環境外乱に弱いため、アクティブ振動台のような安定な測定環境が必要になる。また、生体細胞等の生きた試料の観察においては、走査時刻の違いに由来するモーションブラーが無視できず、固定試料の観察に限定されていた。したがって、機械走査を必要としない共焦点顕微鏡が求められていた。

我々はデュアル光コム分光[2]と 2 次元スペクトルエンコーディング（2D-SE）[3]を融合したデュアル光コム顕微鏡[4]を提案している。光コムが有する膨大な数のコム・モード群を、独立した多数の情報キャリアとして用いるものである。2D-SE によって各モードを 2D 展開し、1 モードと試料上の 1 点を 1 対 1 対応させることで、光コムの各モードに 2D イメージ情報を重畳する。重畳された 2D イメージは、デュアル光コム分光に基づいて各モードをスペクトル分解することで画像再構成でき、振幅画像と位相差画像として取得できる[4]。このとき、2D-SE によってイメージ情報がスペクトル波形に重畳されるため、共焦点ピンホールを組み込むことですべての画素に一括して共焦点性を付与することができる。フレームレートはデュアル光コム分光の干渉波形取得速度に制限されており、1000 frame/s 以上の高速イメージングが可能である。前回は、この高速性に着目し高速位相差イメージングによる動体サンプルのイメージングについて報告した[5]。しかし、この手法では、光コムを 2 次元焦点群として空間展開してサンプル照射するため、個々の焦点の光強度が弱くなり、kHz オーダーの高速イメージングでは十分なイメージ SN 比を得ることが困難であった。

今回は、イメージが重畳されたシグナル光コムと、ローカル光コムを干渉させた後に、エルビウム添加ファイバー光増幅器（EDFA）で光増幅を行うことにより、高速イメージングによる SN 比向上を試みた。その結果、Fig.1 に示すように、高速な共焦点振幅イメージングと共焦点位相イメージングにおいて、クリアーな画像を取得することに成功した。

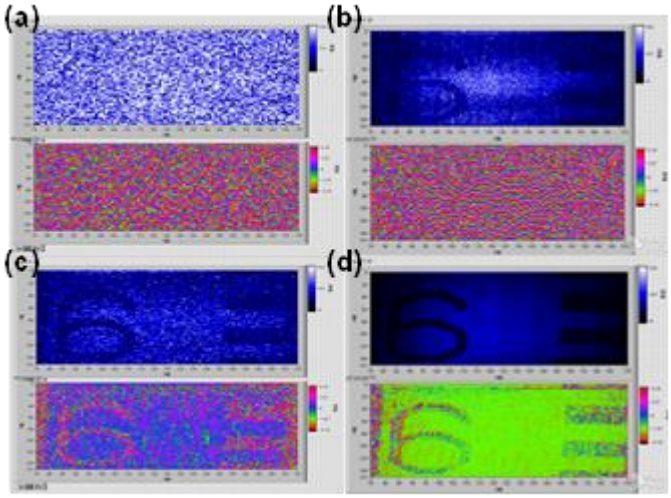

Fig.1　Confocal images of amplitude (upper column) and phase (lower column) of test chart.
(a) No post-EDFA image and (b) post -EDFA image (single shot).
(c) No post-EDFA image and (b) post -EDFA image (number of image integration = 10).

謝辞　本研究は、JST-ERATO 美濃島知的光シンセサイザ（JPMJER1304）の助成を受けて行われた.

参考文献　[1] C. J. Sheppard, et. al., “*Confocal laser scanning microscopy*” (*BIOS Scientific Publishers*, Oxford, 1997).
[2] *Optica* **3**, 414-426 (2016).　[3] *Nature* **458**,1145-1149(2009)　[4] *Optica* **5**,634-643 (2018). [5]津田他、2018 年秋季応物学会, 19a-438-12.