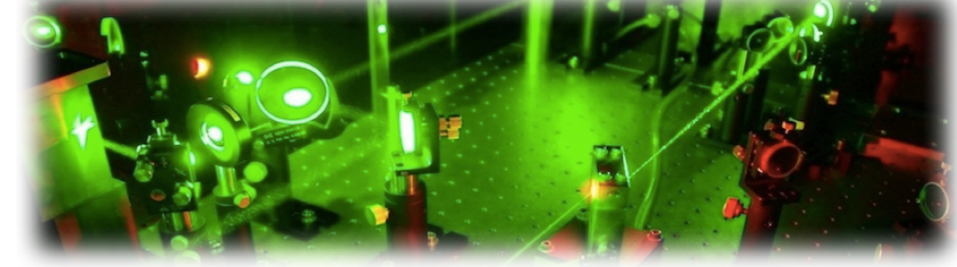


線形周波数チャープパルスを用いた全光学式 シングルショット超高速連写イメージング法の開発と応用

Ultrafast single-shot burst imaging with a frequency chirped laser pulse



慶應義塾大学 理工学部 電子工学科 神成研究室
Department of Electronics and Electrical Engineering, Kannari Lab.



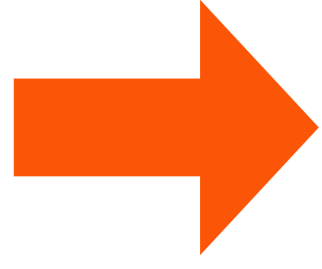
超高速2次元イメージング

従来のCCDやCMOSなどの電氣的なイメージセンサを用いた超高速カメラを使用することで撮影が可能な時間域は最短でナノ秒(10^{-9} s)領域である。

ナノ秒以下の高速現象の撮影には、超短光パルスレーザーを用いたポンプ・プローブ法による時間分解計測が広く利用されているが繰り返し計測が必要であるため再現性に乏しい現象を撮影することはできない。

したがって、衝撃波、プラズマ物理、光化学などにおける超高速現象の解明のために、超高速連続撮影技術の向上が求められている。

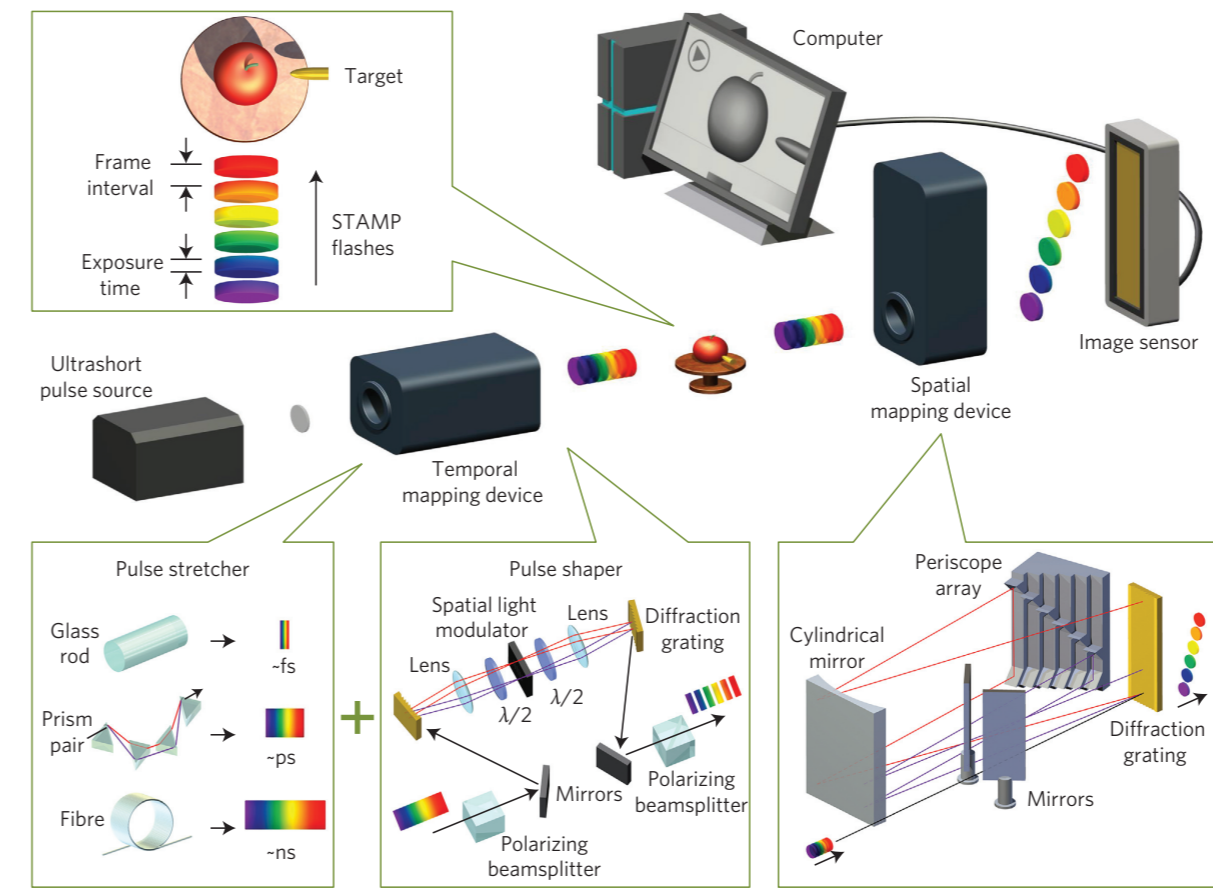
超短パルスレーザーの特性と
光学的フーリエ変換を応用し、
1つの線形周波数チャープレーザーパルスの
時間幅を計測時間窓とする全光学式
超高速シングルショット連写撮影法を開発



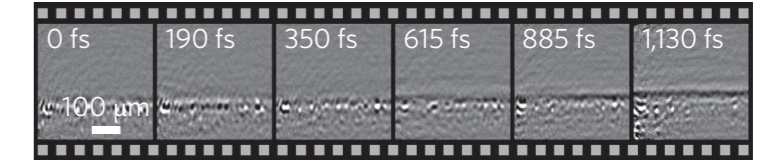
STAMP

K. Nakagawa, et al. Nature Photonics 8, 695 (2014)

Sequentially Timed All-optical Mapping Photography

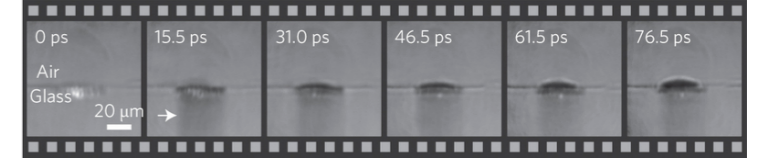


格子振動の波



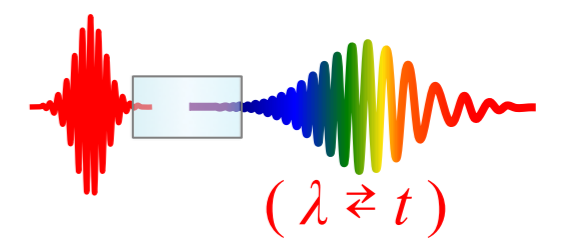
(フレーム間隔: 190 fs)

アブレーション過程



(フレーム間隔: 15.5 ps)

6枚の超高速連写撮影を実現



- 照明光として線形周波数チャープパルスを利用
 - 波長分散(瞬間周波数)に遅延時間を対応させ、各波長成分を時空間分解
- サブピコ秒(10^{-13} s)の時間分解能でシングルショット2次元連写撮影を実現

露光時間: 各フラッシュ光のパルス幅
フレーム間隔: フラッシュ光パルス列の間隔

与える分散量により時間分解能可変

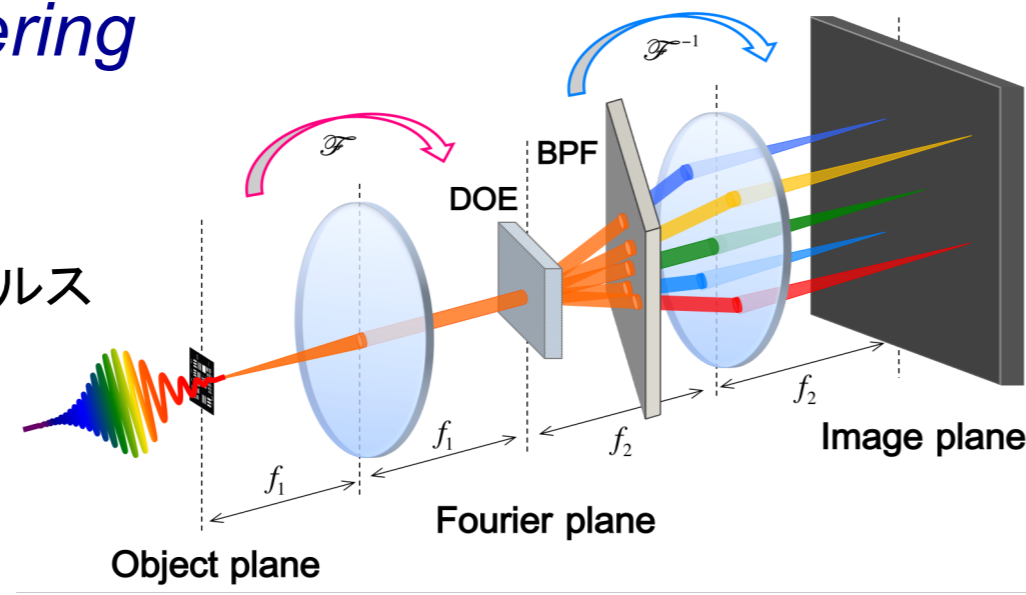
スペクトルフィルタリングを用いたSTAMP (SF-STAMP)

T. Suzuki, et al. Opt. Express 23, 30512 (2015)

STAMP utilizing Spectral Filtering

STAMPの原理

- フラッシュ光に線形周波数チャープパルス
- 波長成分を時空間分解



STRIPED FISHのアイデア

- DOE (回折光学素子) と
- 波長選択バンドパスフィルタ (BPF) で波長成分を空間分解

P. Gabolde and R. Trebino, J. Opt. Soc. Am. B 25, A25 (2008)

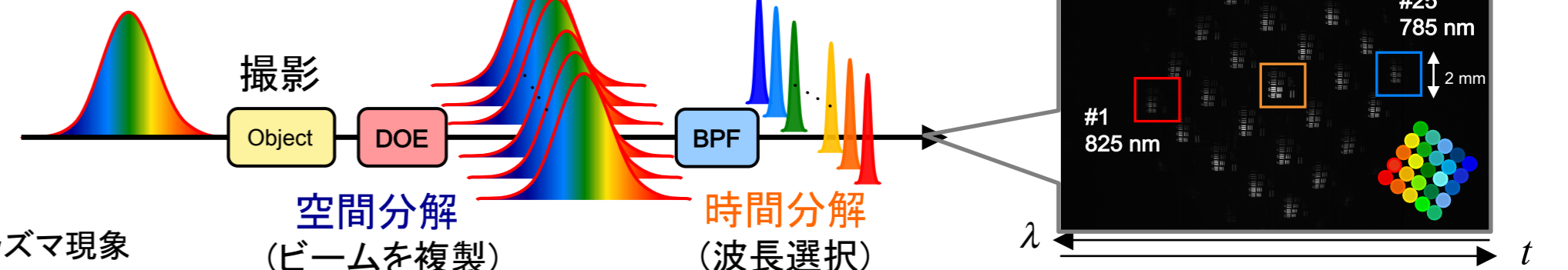
→ シンプルな光学系で25枚連写STAMPを実現

STAMP × STRIPED FISH ⇒ SF-STAMP

SF-STAMPシステムは、DOE、BPFから構成される4f結像光学系

- 線形周波数チャープパルスを用いることで
マルチスペクトラルイメージは、時間差の付いたスナップショットとして計測

周波数チャープパルス

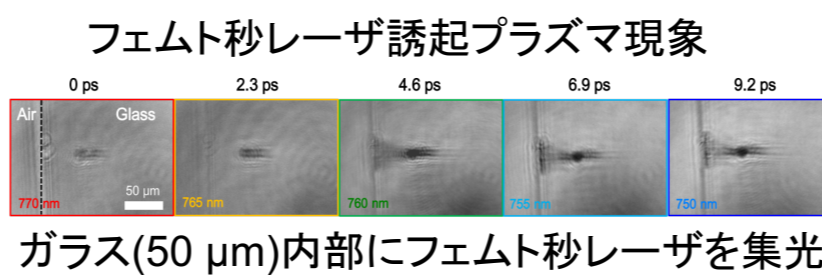


マルチスペクトラルイメージ

空間分解 (ビームを複製)

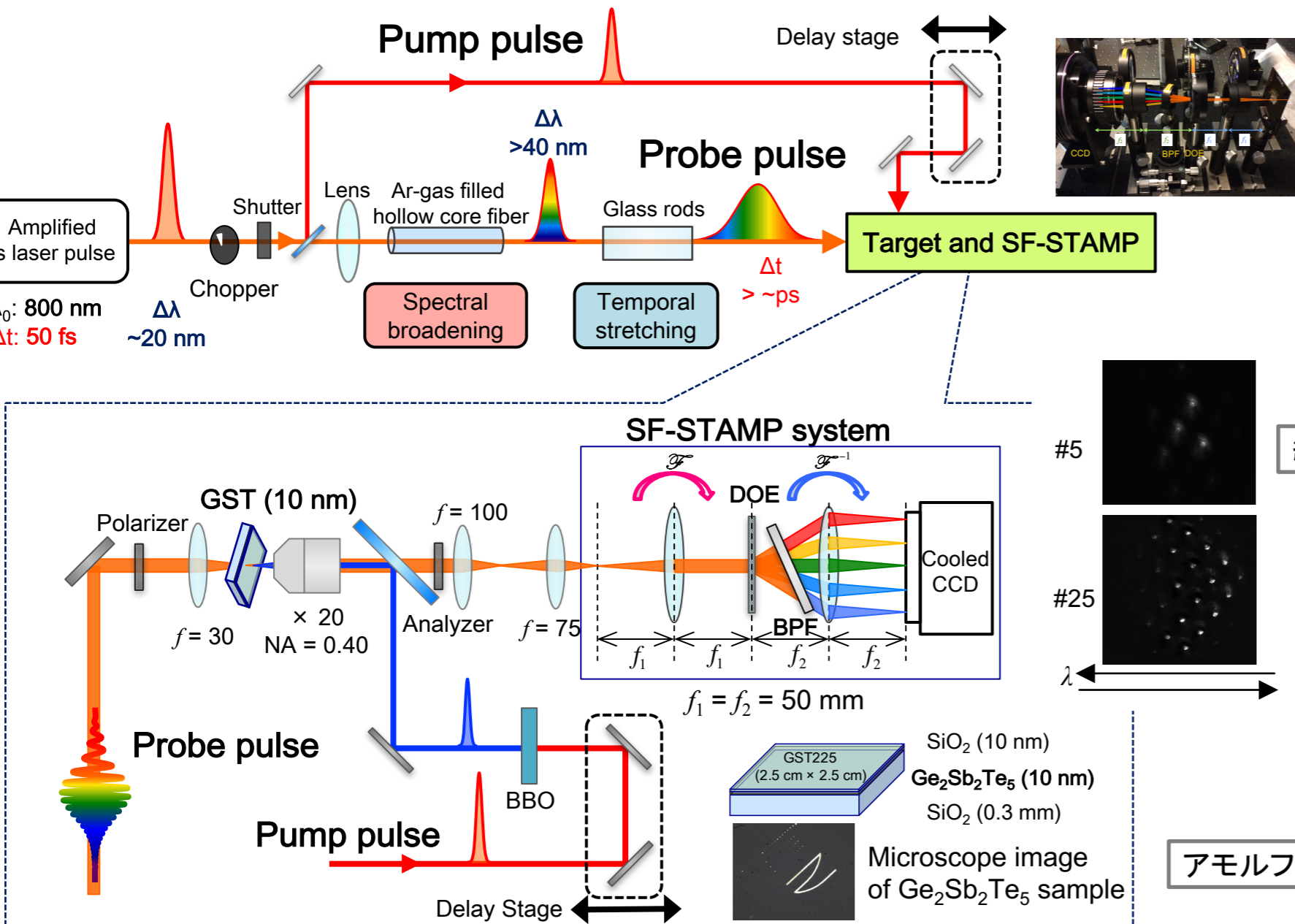
時間分解 (波長選択)

SF-STAMPにおける撮影枚数は
DOEで複製されるビームの数によって決定される



SF-STAMPによる超高速イメージングおよびマルチスペクトラルイメージング

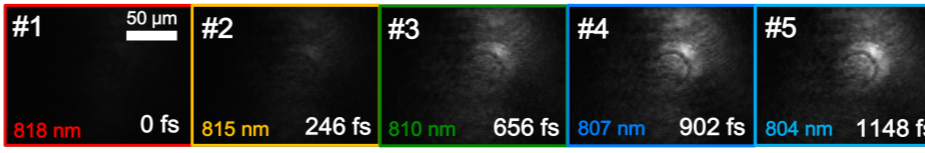
✓ シングルショットポンプ・プローブ実験系



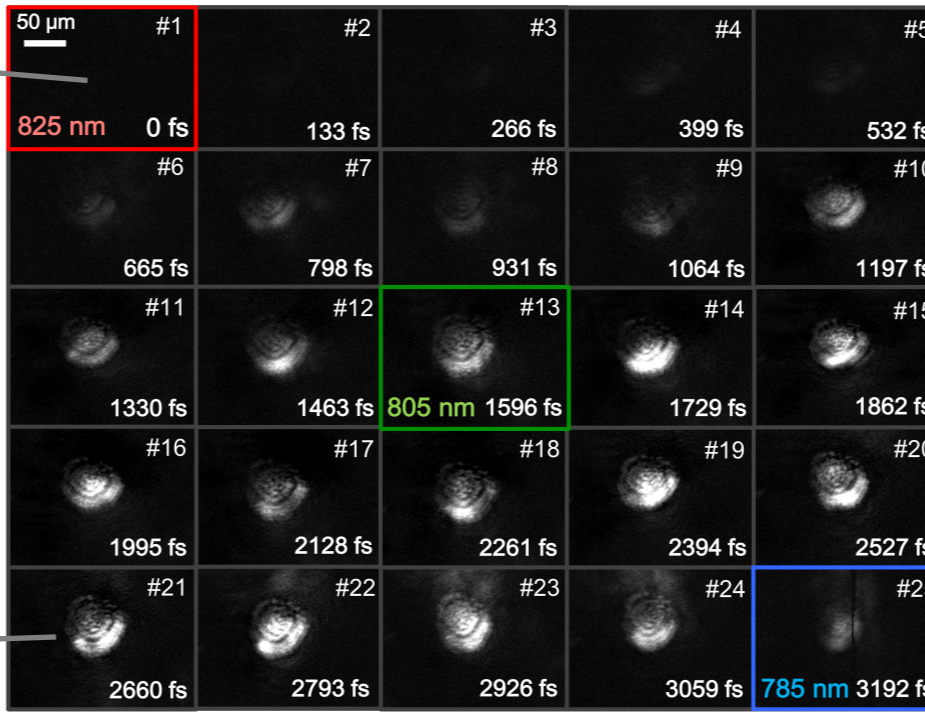
✓ フェムト秒レーザー励起GST超高速相変化

- ・時間窓: 3.3 ps (825 ~ 785 nm)
 - ・フレーム間隔: 133 fs
 - ・露光時間: 465 fs
- $D_z = 0.082 \text{ ps/nm}$

5枚連写 SF-STAMP



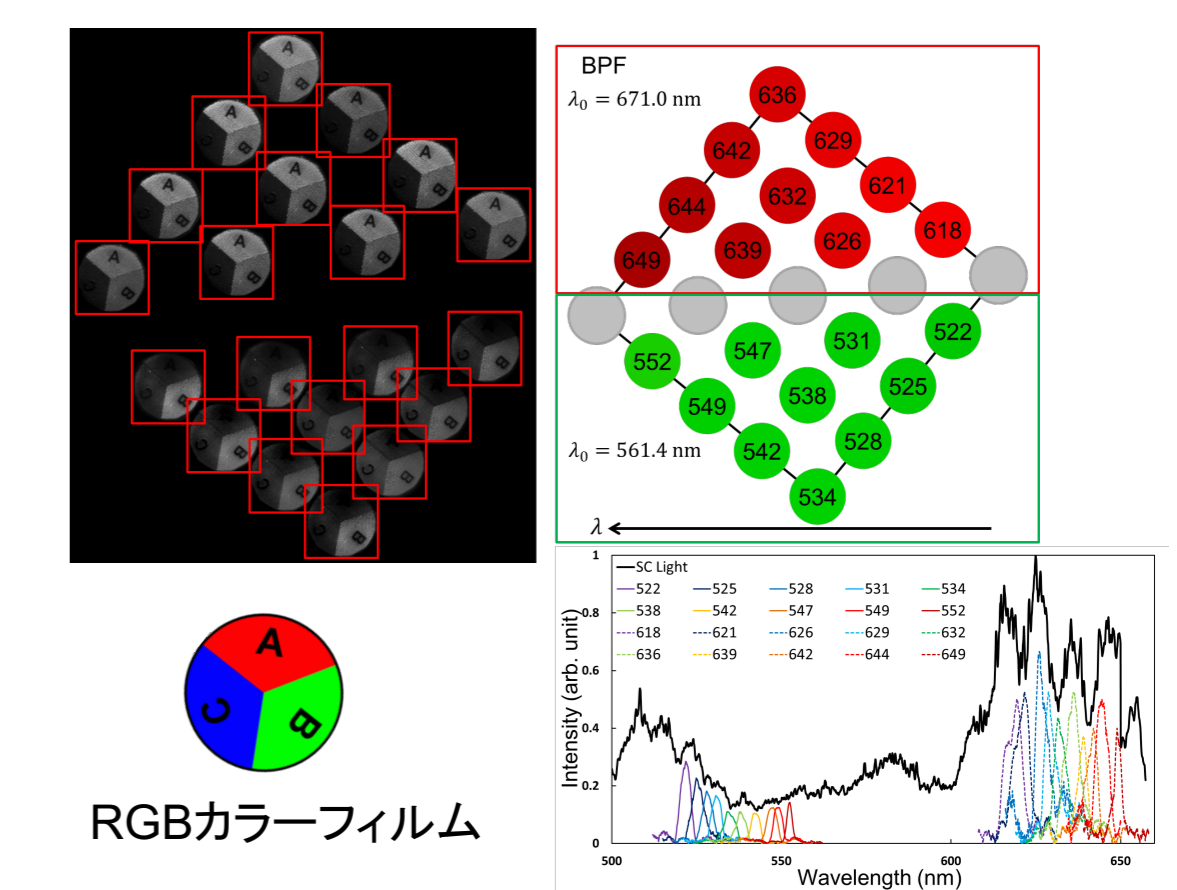
25枚連写 SF-STAMP



T. Suzuki, et al., Appl. Phys. Express 10, 092502 (2017)

✓ 超広帯域光と可視域BPFsを利用したマルチスペクトラルイメージング

- BPFを縦に2枚並べて配置
- 可視域における20波長を選択 (520 ~ 650 nm)
- SC光は、中空ファイバにおける $\omega + 2\omega$ の誘起位相変調で発生



R. Hida, et al., in CLEO 2016, paper SM21.4

まとめ

- 回折光学素子 (DOE) とバンドパスフィルタ (BPF) による空間的な波長選択を利用した SF-STAMP 光学系により、簡素化かつ小型化した STAMP を実現 (連写枚数: 25 枚)
- 使用する BPF の帯域および傾きを調整することで容易に選択波長帯域が可変
- 従来の手法では計測できないナノ秒以下の領域の現象をシングルショット2次元連写撮影可能
→ 遅延光学系を利用してサブナノ領域までの時間領域のカバーを目指す

