スペックル照明内視鏡用ファイバ光学プローブの検討

Fiber-optic probe for speckle-illumination endoscopy

東北大工 [1]，東北大医工 [2]　○(M1)大久保 享一 [1]，片桐　崇史 [1]，松浦 祐司 [2]

Tohoku Univ., Graduate School of Engineering[1], Graduate School of Biomedical Engineering[2]

°Takaichi Okubo[1], Takashi Katagiri[1], Yuji Matsuura[2]

E-mail:takaichi.okubo.q6@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

現在，蛍光ナビゲーションが次世代の内視鏡診断技術として注目を集めている．蛍光内視鏡の開発では，先端部に蛍光像観察用の光学部品が密集することから太径化が問題となる．先行研究では，ランダムなスペックル構造を有する励起レーザ光を蛍光観察用の照明として利用することにより，細径かつ高感度の蛍光分光内視鏡が実現可能であることを示した[1].

本報告では，提案する内視鏡システムの照射・検出用としてマルチモードファイバ（Multi-mode fiber: MMF）に内視鏡用レンズを付加した光ファイバプローブを検討し，従来のファイバスコープへ実装した際の課題について考察する．

2. 実験系と原理

図 1 に実験系の概略と光ファイバプローブの構成を示す．波長 532 nm の励起レーザ光はノッチフィルタで反射され MMF（コア径 105μm，NA0.1）を基礎とするプローブに入射される．内視鏡の画角に対応するため，プローブ先端には内視鏡用レンズ（住田光学ガラス: 外径 0.7 mmϕ，画角 110 deg.）を配置した．プローブはファイバスコープの鉗子口から挿入され，スコープ先端から 7 mm に配置したサンプル面に励起光を照射する．ここで，照射パターンは MMF 内のレーザ光伝搬によりランダムなスペックル構造を示す．照射パターンはファイバスコープを介して CCD カメラにより観測される．サンプル面に蛍光体がある場合，照射パターンに応じて発生した蛍光の一部がプローブを介して外部の分光器で検出される．アクチュエータにより MMF の曲げ状態を制御し，照射パターンを変化させながら上記の測定を複数回実施することにより下記の線形一次方程式を得る．

$$\boldsymbol{Ax} = \boldsymbol{b} \qquad (1)$$

ここで，行列 $\boldsymbol{A}$ は照射パターン，ベクトル $\boldsymbol{b}$ は蛍光強度，ベクトル $\boldsymbol{x}$ は求める試料面内の蛍光分布である．測定回数が画素数より少ない場合，(1)式は劣決定系となるが，下記の Total Variation 最小化問題を解くことにより蛍光分布 $\boldsymbol{x}$ を再構成することができる．

$$\hat{\boldsymbol{x}} = \min_{\boldsymbol{x}} \|\boldsymbol{x}\|_{TV} \text{ subject to } \|\boldsymbol{Ax} - \boldsymbol{b}\|_2 \le \varepsilon \qquad (2)$$

3. ローダミン B を用いた蛍光像再構成

背面に 0.005 % のローダミン B 水溶液を滴下した摺りガラスを試料とし，製作したプローブを用いて測定を行った．測定は MMF 由来の背景光による妨害を受ける．図 2 に背景光のスペクトルを示す．590 nm 以下のピークは石英由来のラマン散乱光，650 nm 付近の緩やかなバンドは被覆のアクリル樹脂由来の蛍光である．更にこれらの背景光強度はプローブの曲げの影響を強く受けることが判明した．背景光の影響を最小限にするため，再構成には 590-620 nm の波長域を使用した．図 3 に 32 回の測定から再構成した蛍光像を示す．比較のため励起光を均一照射して得た蛍光像と出射パターンの一例も示す．視野の全域に励起スペックルが照射され，再構成像は蛍光体の位置をおおよそ推定できている．一方，蛍光検出感度が著しく低いため，十分な画像コントラストを得ることは困難であった．今後は蛍光検出感度向上を目的としてプローブの再設計を行う．

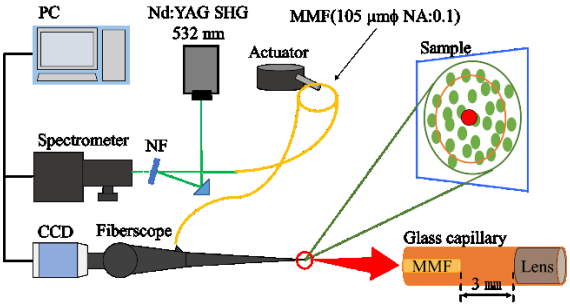

Figure1. schematic of experimental setup.

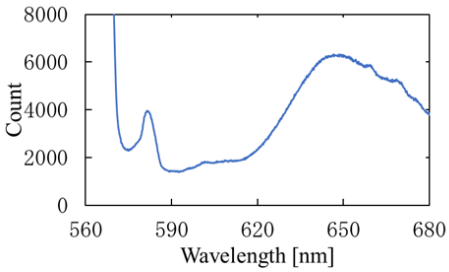

Figure2. Measured background spectrum.

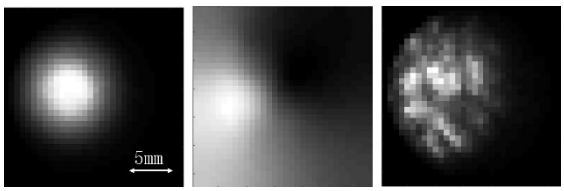

Figure3. Ideal image(left), reconstructed image(center), and illumination pattern(right).

参考文献

[1] 中野 修平 他，“光ファイバの出射ビームパターンを用いた多色蛍光イメージングの実証，” レーザー学会学術講演会第 37 年次大会，I107aVII04 (2017).