

バイオスペックルを利用した血液層の深さと血流の同時計測に関する検討 Study on Simultaneous Measurements of Depth of Blood Layer and Blood Flow Using Bio-Speckles

旭川高専¹, 室蘭工大² °横井 直倫¹, 相津 佳永²

Asahikawa Nat. Col. Tech.¹, Muroran Inst. Tech.², °Naomichi Yokoi¹, Yoshihisa Aizu²

E-mail: yokoi@asahikawa-nct.ac.jp

1. はじめに

レーザー光照射下の生体において観測されるバイオスペックルを利用した血流可視化法が広く活用されている。¹⁾ 様々な方式の中で、著者らはスペックルパターンの空間統計解析に基づき、血流を撮影機器のフレームレートで可視化する手法を提案し、その有効性を確認してきた。²⁾ しかし、本方法では血液層の深さを決定できない問題があった。そこで今回は、血液層の上側に存在する皮膚や爪といった静止層の厚さによりスペックル相関値が変化することを利用して血液層の皮膚表層からの深さと血流を同時に計測する手法を提案し、すりガラスとシリコンを用いたモデル実験によりその原理を確認したので報告する。

2. 測定原理

測定に用いた光学系を Fig.1 に示す。波長 635, 780 および 830nm の半導体レーザー(LD)からの光を直径約 40mm の円形状にして測定対象に照射し、その反射散乱光によるスペックルを結像面に置いた CCD カメラ(640×480 画素, 画素径 5.6μm)で連続撮像した。なお、結像倍率は 0.09 倍とした。静止層の厚さは、スペックルの非相関係数を Lambert-Beer 則を考慮して導出した DCF_{λ} (Decorrelation Factor λ)値,

$$DCF_{\lambda} = \left\{ (1 - c_{\lambda}) \cdot e^{-4\mu_a^{\lambda}d} \sqrt{2(1 - b_{\lambda}) \cdot e^{-4\mu_a^{\lambda}d} - 2(1 - b_{\lambda}) \cdot e^{-2\mu_a^{\lambda}d} + 1} \right\} \quad (1)$$

に従い求めた。なお、(1)式において λ は波長、 μ_a^{λ} は静止層の吸収係数、 b_{λ} と c_{λ} はスペックル特性に依存した任意の定数、 d は静止層の厚さを表し、 DCF_{λ} は血液層により生じる動的スペックルの割合が増加すると上昇する。実際には、あらかじめ厚さ d が既知であるモデルに対して取得した DCF_{λ} データに(1)式をフィッティングすることにより μ_a^{λ} , b_{λ} , c_{λ} を求めておき、これらに基づき静止層の厚さ d を決定した。

3. 測定結果と考察

まず、Fig.1 中の Model A に示す相対運動する 2 枚のすりガラスの前方にシリコン製の楔形の静止層を配したモデルを対象として、(1)式中のパラメータ μ_a^{λ} , b_{λ} , c_{λ} を求めてみた。Fig.2 は、Model A に対して取得した 3 波長の時系列スペックル画像から DCF_{λ} を求め、 d に対してプロットした結果である。なお、同図には各プロットに(1)式をフィッティングした結果も示した。Fig.2 より、 DCF_{λ} は d の増加につれて減少することがわかる。なお、 μ_a^{λ} , b_{λ} , c_{λ} は Fig.2 中の表の通りに決定された。次に、以上の μ_a^{λ} , b_{λ} , c_{λ} に基づき、Model A に同じくシリコンを利用して別途作成した Fig.1 中の Model B を対象として d の測定を試みた。Fig.3 は、 d の測定値を真値に対してプロットした結果である。Fig.3 の結果より、いずれの波長についても DCF_{λ} に基づき d を比較的良好に測定できることがわかった。なお、ヒトの指を対象とした実験についても報告する予定である。

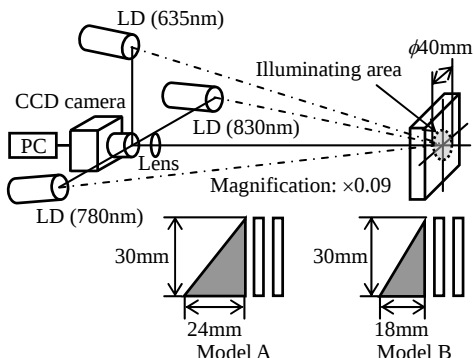


Fig.1 Schematic diagram of the experimental setup and samples used in experiments.

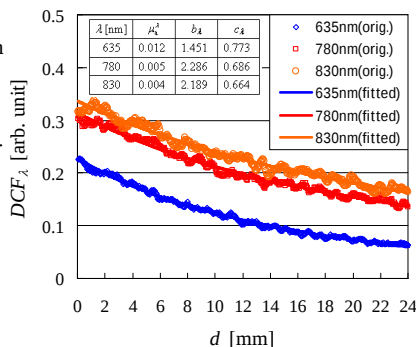


Fig.2 DCF_{λ} - d relations obtained for three wavelengths.

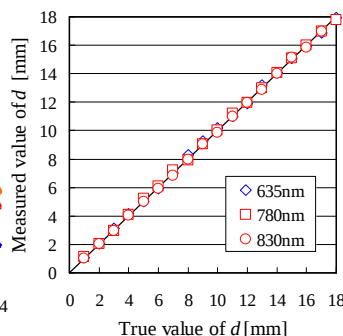


Fig.3 Measured values of d for three wavelengths.

参考文献: 1) H. Fujii, K. Nohira, Y. Yamamoto, H. Ikawa and T. Ohura, Appl. Opt. Vol.26, No.24, pp.5321-5325 (1987).
2) N. Yokoi, T. Maeda, Y. Shimatani, H. Funamizu and Y. Aizu, Opt. Lasers Eng., Vol.52, pp.156-166 (2014).