

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月21日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011 ~ 2012

課題番号：23760360

研究課題名（和文） 焦点合わせの不要な新しい血流イメージング

研究課題名（英文） Novel method for blood flow imaging without focusing

研究代表者

船水 英希 (FUNAMIZU HIDEKI)

室蘭工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：90516486

研究成果の概要（和文）：本研究では、非接触・無侵襲な血流計測法であるレーザースペックル法にデジタルホログラフィ技術を適用し、レンズレスで焦点合わせの不要な新しい方式の血流イメージング法を確立することで、従来から大きな問題であった結像レンズ収差や生体運動由来の被検部焦点ずれによる誤差を原理的に除去する高安定な血流イメージングを実現すると共に、異なる2波長の光源を用いた方式に展開することで血液濃度、酸素飽和度、表面形状の同時イメージングを実現した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a novel method of a blood flow imaging by applying digital holography to laser speckle method. Since this method is not necessary to use lenses for focusing, the aberration and misalignment can be eliminated in the imaging system. By means of the optical sources in two wavelength, we realized the two dimensional imaging of blood flow, variation of blood concentration, oxygen saturation and surface shape of human body.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：光計測，光生体計測

科研費の分科・細目：電気・電子工学 ・ 計測工学

キーワード：光生体計測，光計測，計測工学，情報光学

## 1. 研究開始当初の背景

最近の地球規模でのオゾン層破壊による紫外線の増加や高齢化社会に伴い、世界的に皮膚がん患者が著しく増加している。皮膚がんでも最も発症率の高い基底細胞がんはホクロとの視覚的区別が難しく、非接触・無侵襲かつ定量的に識別する方法の需要が高まっている。こうした背景下で、悪性腫瘍の増殖・進展に伴う血管新生による血流増加に着目し、血流分布の解析から良性・悪性腫瘍を識別する方法が注目されている。

光生体計測において血流イメージング法として利用されているレーザースペックル法は、CCDカメラに取付けられたレンズにより被検部を結像してスペックル画像を取得することで血流情報を得るが、レンズ収差から生じる収差による焦点ずれが大きな計測誤差の原因となる。

本研究では、レーザースペックル法に3次元情報再生法であるデジタルホログラフィを適用することで、レンズレスで焦点合わせの不要なレーザースペックル血流イメージング法を新規に提案し、さらに2波長の方式に展開することで被検部の血流、血液濃度、酸素飽和度、表面形状の4情報を同時に可視化する計測装置を構成することを目的とする。

## 2. 研究の目的

(1) レーザースペックル血流計測法にデジタルホログラフィ技術を適用し、焦点合わせの不要な計測法の確立。

(2) コンピュータでの画像再生による、被検部の傾き・焦点ずれ補正及び倍率調整プログラムの開発。

(3) 2波長法による血流, 血液濃度, 酸素飽和度及び表面形状の同時イメージング法の確立.

(4) 半導体レーザー, 光ファイバー, CCDカメラ, PCによる小型・簡便・安価な装置の実現.

### 3. 研究の方法

(1) 血流イメージング用デジタルホログラフィの光学系を構成し, 生体デジタルホログラムの記録および再生の実験を行なった. また, 血流イメージングにおける基礎実験として, スリガラスを被検物体として用い, 物体の移動速度の増加に伴うスペックル画像のコントラスト低下が再生像の品質に及ぼす影響を調べた.

(2) ヒト皮膚のスペックル動画を取得する際に, 生体からの反射光が大きく低下するため, 反射光の検出と高速計測が両立する最適露光時間を検出した. 計算機処理では, 現有科学技術計算ソフトMATLABによりオフライン血流解析プログラムを開発した.

(3) スペックル画像から被検部の再生像を取得し, 被検部の位相分布における傾きと焦点ずれを解析・補正するプログラムを作成した. また, 詳細に観測したい部位を所望の倍率で表示するプログラムを作成した.

(4) 2波長の近赤外半導体レーザーを用いて血液濃度と酸素飽和度の2次元分布計測を行なった. 2波長スペックルをCCDに2重露光し, デジタルホログラフィ技術を利用して2つの再生像を空間的に分離した後, 分光演算法により血液濃度と酸素飽和度を計測した.

(5) 被検部の位相情報を用いて2つの再生像の位相差から表面形状を得るプログラムを開発した.

(6) LD光源, 2分岐光ファイバー, CCDカメラ及びPCにより小型・簡便・低コストな装置を構成し, 将来的な家庭用ヘルスマニタリングシステムを目指した計測装置を開発する.

### 4. 研究成果

(1) デジタルホログラフィを用いた血流イメージング法の確立.

スペックルを用いた血流イメージングにデジタルホログラフィ技術を適用した研究は, 国内外において例を見ず新規である(雑誌論文1). また, スリガラスを用いた基礎実験とヒト皮膚を用いた生体実験では, 後者において反射光が大きく減衰するためにデジタルホログラフィで再生する際に4~5倍の照射光量を必要とすることが確認された. この光量の問題は, 近赤外光に感度の高いCCDカメラを使用することにより緩和されると考えられる.

(2) デジタルホログラフィ再生像における位相分布の補正法の新規提案.

被検部の位相分布における傾きと焦点ずれを解析・補正のプログラムを作成した. この方法で半導体レーザーを用いる際の波長変動推定と位相補正法を新規提案した(雑誌論文2, 3).

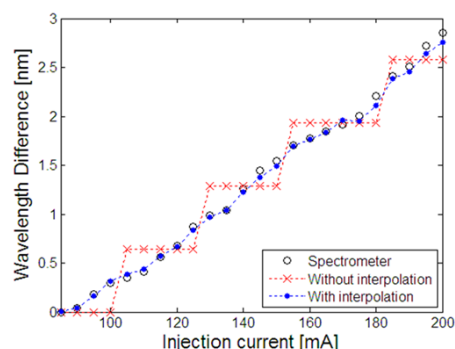
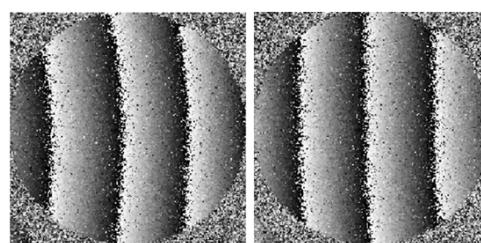


図1 波長差推定法の結果



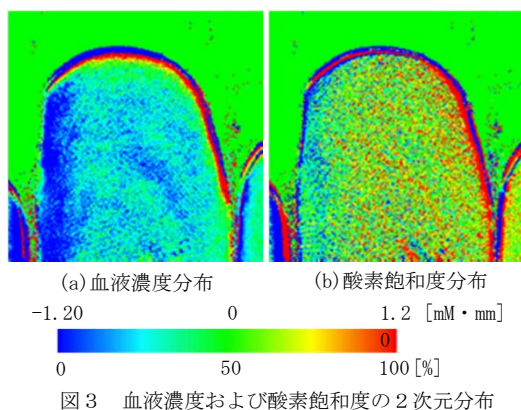
(a) 補正前 (b) 補正後

図2 位相補正の結果

図1は波長差を推定した結果を示している. 推定法においてデータ補完を適用することによって5%以下の推定誤差を達成した. また, 図2は位相補正の結果を示している, (a)は補正前, (b)は補正後の位相分布画像であり, 平面物体を0.5mm傾けている. 補正前の位相分布は焦点ずれにより湾曲しているのに対して補正後は線がほぼ直線になっており, 焦点ずれによる位相誤差が補正されていることがわかる.

(3) 2波長の近赤外半導体レーザーを用いた血液濃度と酸素飽和度の2次元分布計測の確立.

2波長スペックルをCCDに2重露光し, デジタルホログラフィ技術を利用して2つの再生像を空間的に分離した後, 分光演算法により血液濃度と酸素飽和度を計測する方法を新規に提案した(図3). この方法は国内外において例を見ず新規である. 現在, 海外ジャーナルに論文を投稿するための準備を行なっている.



(4) 2波長のLD光源, 2分岐光ファイバー, CCDカメラ及びPCにより小型・簡便・低コストを重視した装置を構成した(図4)。近年, デジタルホログラフィ技術を活用した顕微鏡の小型・簡便化の研究が精力的に行われており, 本研究は国内外に先駆けてデジタルホログラフィ技術を血流計測に応用しており, その意義は大きい。しかしながら, 今回構成した装置はまだ実験室レベルであり, 実用レベルに達するには小型化および低コスト化において更なる改良が必要である。また, 皮膚がんの鑑別能力などの臨床実験が必要となる。

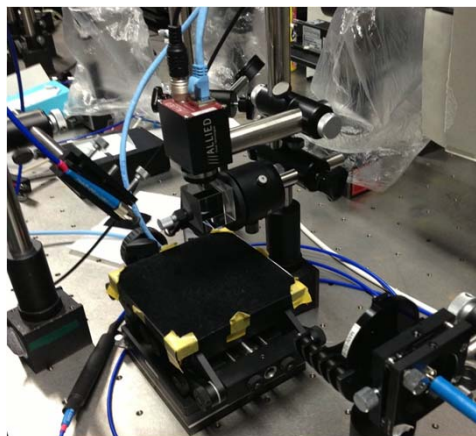


図4 血流イメージング装置。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計3件)

(1) H. Funamizu, J. Uozumi and Y. Aizu, Digital holographic fractal speckle, Journal of Optics, 査読有, vol. 51, 2013, Article number 035704  
DOI:10.1088/2040-8978/15/3/035704

(2) H. Funamizu, T. Kato, Y. Aizu and Y. Ishii, Correction of quadratic phase error in two-wavelength digital holographic interferometry using laser diodes, Optics Communications, 査読有, vol. 285, 2012, pp. 4987—4992  
DOI:10.1016/j.optcom.2012.07.124

(3) H. Funamizu and Y. Aizu, Estimation of wavelength difference using scale adjustment in two-wavelength digital holographic interferometry, Applied Optics, 査読有, vol. 50, 2011, pp. 6011—6018  
DOI:10.1364/AO.50.006011

〔学会発表〕 (計22件)

① H. Funamizu, S. Shimoma and Y. Aizu: Image quality improvement using speckle method in digital holography by means of multi-mode fiber, SPIE Optical Metrology 2013 (13—16 May, 2013) Munich, Germany.

② N. Yokoi, Y. Shimatani, M. Kyoso, H. Funamizu and Y. Aizu, Improvement of temporal resolution in blood concentration imaging using NIR speckle patterns, European Conferences on Biomedical Optics (12—16 May, 2013) Munich, Germany.

③ 下間 翔平, 船水 英希, 相津 佳永, マルチモードファイバによるスペックル照明を用いたデジタルホログラフィの画質改善, 春季第60回応用物理学関係連合講演会, (2013年3月27—30日), 神奈川。

④ 佐藤 潤季, 松宮 路恵, 島谷 祐一, 京相 雅樹, 船水 英希, 相津 佳永, 特定条件下におけるスペックル血流変化計測, 春季第60回応用物理学関係連合講演会, (2013年3月27—30日), 神奈川。

⑤ 佐藤 潤季, 松宮 路恵, 船水 英希, 京相 雅樹, 島谷 祐一, 相津 佳永, レーザースペックルイメージングによる経皮動脈計測, 第48回応用物理学学会北海道支部/第9回日本光学会北海道地区合同学術講演会, (2013年1月11—12日), 釧路。

⑥ 下間 翔平, 加藤 剛志, 船水 英希, 相津 佳永, マルチモードファイバの照明スペックルを用いたデジタルホログラフィ, 第48回応用物理学学会北海道支部/第9回日本光学会北海道地区合同学術講演会, (2013年1月11—12日), 釧路。

⑦ 横井 直倫, 松宮 路恵, 佐藤 潤季, 島谷 祐一, 京相 雅樹, 船水 英希, 相津 佳永, 近赤外バイオスペックル血液濃度イメージングにおける時間分解能の改善, 第50回光波センシング技術研究会, (2012年12月4—5日), 東京。

⑧加藤 剛志, 下間 翔平, 船水 英希, 相津 佳永, デジタルホログラフィによる血液凝固プロセスの観測, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2012, (2012年10月23—25日), 船堀.

⑨松宮 路恵, 横井 直倫, 佐藤 潤季, 島谷 祐一, 京相 雅樹, 船水 英希, 相津 佳永, レーザースペックル血液濃度イメージングのためのスペックル低減効果の検討, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2012, (2012年10月23—25日), 船堀.

⑩下間 翔平, 加藤 剛志, 船水 英希, 相津 佳永, マルチモードファイバによるスペックル照明を用いたデジタルホログラフィ, 日本機械学会北海道支部 第51回講演会, (2012年10月20日), 北見.

⑪佐藤 潤季, 松宮 路恵, 船水 英希, 相津 佳永, 京相 雅樹, 島谷 祐一, ラットおよびヒト橈骨動脈のレーザースペックル血流イメージング, 日本機械学会北海道支部 第51回講演会, (2012年10月20日), 北見.

⑫船水 英希, 加藤 剛志, 相津 佳永, 石井 行弘, 2波長デジタルホログラフィ干渉法における位相誤差の補正, 第49回光波センシング技術研究会, (2012年6月5—6日), 東京.

⑬加藤 剛志, 船水 英希, 相津 佳永, 石井 行弘, 2波長デジタルホログラフィ干渉法における位相誤差の低減, 春季第59回応用物理学関係連合講演会, (2012年3月15—18日), 東京.

⑭松宮 路恵, 米岡 篤志, 横井 直倫, 島谷 祐一, 京相 雅樹, 船水 英希, 相津 佳永, スペックル血液濃度解析における時間分解能の検討, 春季第59回応用物理学関係連合講演会, (2012年3月15—18日), 東京.

⑮N. Matsumiya, A. Yoneoka, H. Funamizu and Y. Aizu, Frame-rate measurements of blood flow in anesthetized rat using laser speckle imaging, Joint Symposium on Mechanical-Industrial Engineering, and Robotics 2012 (MIER2012), (11—12 January, 2012), Muroran, Japan.

⑯松宮 路恵, 米岡 篤志, 横井 直倫, 島谷 祐一, 船水 英希, 相津 佳永, フレームレート2波長スペックルイメージングによる経皮動脈計測の試み, 第47回応用物理学北海道支部/第8回日本光学会北海道地区合同学術講演会, (2012年1月6—7日), 札幌.

⑰加藤 剛志, 船水 英希, 相津 佳永, 二波長デジタルホログラフィ干渉法における二次位相誤差の低減, 第47回応用物理学北海道支部/第8回日本光学会北海道地区合同学術講演会, (2012年1月6—7日), 札幌.

⑱米岡 篤志, 島谷 祐一, 横井 直倫, 船水 英希, 相津 佳永, レーザースペックルイメージングによる橈骨動脈エリアの経皮的血流計測, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2011, (2011年11月28—30日), 吹田.

⑲加藤 剛志, 船水 英希, 相津 佳永, 2波長デジタルホログラフィ干渉法における波長差推定法の改善, 日本機械学会北海道支部 第50回講演会, (2011年10月1日), 旭川.

⑳H. Funamizu, Y. Aizu and Y. Ishii, Estimation of wavelength difference by controlling image size in two-wavelength digital holographic interferometry, Ninth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering (OIE'11), (8—10 September, 2011), Turku, Finland.

㉑米岡 篤志, 横井 直倫, 島谷 祐一, 船水 英希, 相津 佳永, 2波長単眼スペックルイメージング光学系による血流・血液濃度変化計測, 秋季第72回応用物理学関係連合講演会, (2011年8月29—9月2日), 山形.

㉒船水 英希, 渡井 慧介, 相津 佳永, 倍率調整による波長差推定法を用いた2波長デジタルホログラフィ干渉法, 第47回光波センシング技術研究会, (2011年6月14—15日), 東京.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

船水 英希 (FUNAMIZU HIDEKI )  
室蘭工業大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 9 0 5 1 6 4 8 6

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: