

令和 2 年 9 月 3 日現在

機関番号：50104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06476

研究課題名(和文) 輸血用血液の浄化・成分分析オンラインシステムの開発

研究課題名(英文) Development of the on-line system for cleaning and component analysis of blood for transfusion

研究代表者

横井 直倫 (YOKOI, NAOMICHI)

旭川工業高等専門学校・機械システム工学科・准教授

研究者番号：60353223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、レーザーの有する光学力により血液中のナノサイズの粒子状不純物を非侵襲に除去でき、同時にマイクロサイズの血球成分(赤血球、白血球、血小板)の計数と色彩計測により血液成分を定量分析できる輸血用血液の浄化・成分分析システムを構築した。さらに、分析結果をデータベース化してネットワーク対応ハードディスク上に蓄積保存し、情報を共有できるオンラインシステムを確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、研究代表者のこれまでの研究成果に基づくものであり、輸血用血液から非侵襲に粒子状不純物のみを除去でき、なおかつ使用機器や検査者に依存せずに成分を高精度に分析できる点で独創的である。さらに、本研究で開発するシステムは、ユニット化により30万円程度と既存の装置に比較して安価に構成できる見込みがある。従って、本研究の成果は全国各地の医療機関への成分が保証された輸血用血液の安定供給に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In the present study, I have developed the system for cleaning and analyzing component of blood for transfusion. The present system enables us to remove nano-size particulate impurities non-invasively from the blood and to analyze blood component quantitatively by counting blood cells as red blood cell, white blood cell and platelet and by color measurements of them. Moreover, I have established the on-line system that permits us to accumulate and save analyzed results on network hard disk as database and to share it.

研究分野：光計測

キーワード：ナノ粒子 光学力 粒子制御 血液成分分析

1. 研究開始当初の背景

輸血用血液中に存在する大気中の PM2.5 などに由来する粒子状不純物を選択除去できれば、それらによる生体内の細胞や器官の損傷を防止することができる。さらに、血液成分を同時に分析できれば、輸血を受ける患者に成分が保証された血液を供給することが可能となる。従来から、血液の浄化には濾過、成分分析には遠心分離法が用いられてきたが、いずれも血液に対して侵襲的であり、また検査値が使用機器や検査者に依存する問題があった。

本研究代表者は、従来の研究成果を踏まえ、レーザーの有する光学力により血液中のナノサイズの粒子状不純物を非侵襲に除去でき、同時にマイクロサイズの血球成分(赤血球、白血球、血小板)の計数と色彩計測により血液成分を定量分析できる輸血用血液の浄化・成分分析システムを構築できるとの着想に到った。さらに、分析結果の共有を目的とした本システムのオンライン化を実現できれば、輸血を受ける患者に対し安全でかつ成分が保証された血液を供給できると考えたことが、本研究の着手に到った動機である。

2. 研究の目的

本研究においては、「輸血用血液の浄化」を如何に効率的に実施し、なおかつ「輸血用血液の成分分析」を如何に高精度に実施できるかが成功の鍵を握る。従って、本研究は上記の2点を柱として実施された。

輸血用血液の浄化については、レーザーで光拡散物体を照明したときに発生する斑点状の光強度パターンである「スペックル」の有する強度勾配に由来する光学力によりナノサイズの粒子のみを引き寄せ非接触に捕捉し、さらにスペックルを並進運動させることにより捕捉粒子を操作できる方法を提案し、その有効性を確認してきた。本方法では、血液中の血球成分に損傷を与えることなく、血液中に $10^3 \sim 10^4$ 個/cm³ 程度の個数濃度で存在する不純物粒子のみを選択的に除去することができるため、本研究ではこれを輸血用血液の浄化に利用した。

次に、輸血用血液の成分分析については、血液中において運動する血球成分を生物顕微鏡と高速度カラーCCDカメラを併用して撮像することにより、マイクロレベルの空間分解能でなおかつブレ(鮮鋭度の低下)を生じず高画質に撮影でき、各々の個数を高精度に計数できる方法を検討してきた。さらに、本研究代表者は赤血球からの反射散乱光に分光計測法を適用しヘモグロビン濃度を計測する方法も提案してきた。以上の方法はいずれも対象となる血液に対して非侵襲的であり、分析結果の使用機器や検査者の熟練度に対する依存性が極めて低く、なおかつ血液の成分や酸素運搬能力を高精度に定量分析できるため、本研究ではこれを輸血用血液の成分分析に利用した。

3. 研究の方法

本研究では、輸血用血液の浄化・成分分析オンラインシステムを開発するにあたり、研究過程を以下に示す8つの項目に分け、段階的に研究を遂行した。

- [1] レーザー照明下における液中微粒子挙動解析用ソフトウェアの開発。
- [2] [1]で開発したソフトウェアに基づく微粒子捕捉のための最適光学条件の数値評価。
- [3] ナノサイズの粒子状不純物を捕捉し除去できる微粒子操作光学系の構成と性能確認。
- [4] 血球成分を生物顕微鏡と高速度カラーCCDカメラの併用により撮像し、各々の個数を高精度に計数し、同時にヘモグロビン濃度も計測できる血液成分検査用画像計測系の構成。
- [5] ウマ保存血液を対象として、[4]で構成した血液成分検査用画像計測系の性能試験を実施し、本計測系の血液成分分析への有効性を確認。
- [6] [3]と[4]の各々で構成した微粒子操作光学系と血液成分検査用画像計測系を組合せ、ワークステーションにより装置全体の制御と画像処理過程を統合管理操作できる輸血用血液の浄化・成分分析システムを構築。
- [7] [6]で構築した輸血用血液の浄化・成分分析システムについて、血液成分の分析結果をワークステーションに転送してデータベース化し、それを共有できるオンライン化を実施。
- [8] ウマ保存血液を対象とした性能試験を実施し、本システムの実用性を実証。

4. 研究成果

ここでは、先に研究の方法で示した8項目に関する成果を併せて整理し、以下の4項目に研究成果として報告する。

(1) はじめに

従来からの国内外の研究動向として、輸血用血液の浄化には、血液をカラム(フィルター)に通して濾過し粒子状不純物を除去する方法が多く用いられてきた。しかし、本方法は血液とカラムの接触を伴うため、例えば赤血球膜の破壊に伴う細胞質の流出など血球成分に対して損傷を与える危険性が高く、血液に対して侵襲的であった。さらに、成分分析には遠心分離器を利用する方法が多く用いられてきたが、本方法も血液に対して同様に侵襲的であり、しかも使用機器による検査値への影響が無視できず、さらに検査者の熟練度を要する問題があった。一方、本申請者は、レーザーの有する光学力によりナノサイズの粒子を非侵襲に捕捉し操作できる独自

の方法を提案してきた. さらに, 血液中のマイクロサイズの血球成分の各々の個数を画像計測に基づき計数し, 同時に赤血球の色彩から分光計測法に基づきヘモグロビン濃度を計測することで, 使用機器や検査者に依存せず高精度に血液成分の定量分析を行える方法を検討してきた.

本研究では, 輸血用血液中の不純物粒子を非侵襲に除去でき, しかも使用機器や検査者に依存せず高精度に血液の成分分析を行える再現性の高い自動測定システムの開発を試みたので, 以下にその結果を整理して示す.

(2) 原理

スペckル粒子を微粒子懸濁液に投影する場合, 個々の微粒子は光学力の影響を受けたブラウン運動を示し, それらの挙動は以下に示す Langevin 方程式,

$$m\ddot{\mathbf{r}} + \gamma\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}(\mathbf{r}) + \mu\mathbf{mg} + \sqrt{2k_B T \gamma} \cdot \mathbf{W}, \quad (1)$$

に従う. ここで, m は粒子の質量, \mathbf{r} は粒子の位置ベクトル, μ は粒子と微粒子懸濁液を入れたガラス容器底面との摩擦係数, \mathbf{g} は重力加速度($=9.8[\text{m/s}^2]$), k_B はボルツマン定数, T は絶対温度, \mathbf{W} は白色雑音ベクトルを表す. また, γ は粒子と周囲媒質の間の摩擦係数であり,

$$\gamma = 3\pi\eta d_p, \quad (2)$$

と与えられる. ここで, η は周囲媒質の粘度, d_p は粒子直径を表す. さらに, $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ は粒子に作用する光学力ベクトルであり,

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \frac{\pi n_m^2 \varepsilon_0 d_p^3}{8} \cdot \frac{n_p^2 - n_m^2}{n_p^2 + n_m^2} \cdot \nabla I(\mathbf{r}), \quad (3)$$

と与えられる. ここで, n_m と n_p はそれぞれ周囲媒質と粒子の屈折率, ε_0 は真空中の誘電率, また $\nabla I(\mathbf{r})$ はスペckル粒子の位置 \mathbf{r} における強度勾配を表す. 従って, (2)式と(3)式を(1)式に代入し, 慣性効果による項($m\ddot{\mathbf{r}}$)を無視することにより, 速度ベクトル $\dot{\mathbf{r}}$ が,

$$\dot{\mathbf{r}} = \frac{n_m^2 \varepsilon_0^2 d_p^2}{24\eta} \cdot \frac{n_p^2 - n_m^2}{n_p^2 + n_m^2} \cdot \nabla I(\mathbf{r}) + u_f \mathbf{e}_x + \frac{\mu\mathbf{mg}}{3\pi\eta d_p} + \sqrt{\frac{2k_B T}{3\pi\eta d_p}} \cdot \mathbf{W}, \quad (4)$$

と求められる. ここで, u_f は流速を表す.

一方, 粒子の運動の大きさを表す統計処理指標として, 平均二乗変位量(Mean Square Displacement: MSD)が一般的に広く用いられている. 出発点を基準とした時刻 t での MSD は,

$$MSD = \langle \{x_{pos}(t)\}^2 + \{y_{pos}(t)\}^2 \rangle, \quad (5)$$

と与えられる. ここで, $x_{pos}(t)$ と $y_{pos}(t)$ はそれぞれ時刻 t における水平, 垂直方向の粒子位置座標, また $\langle \rangle$ は複数の移動経路に渡る集合平均を表す. 光学力が小さい場合すなわち自由拡散の状態では, MSD は以下に示す Stokes-Einstein 自由拡散則,

$$MSD(t) = \frac{4k_B T}{\gamma} \cdot t. \quad (6)$$

に従い, t に比例して上昇する. 一方, 光学力が大きい場合, MSD は(6)式に従わず, 光学力による制約により一定値に収束する. 従って, MSD は粒子がスペckルに捕捉されているか否かを示すことから, 粒子の捕捉に到る時間を定量評価できるパラメータであると考えられる.

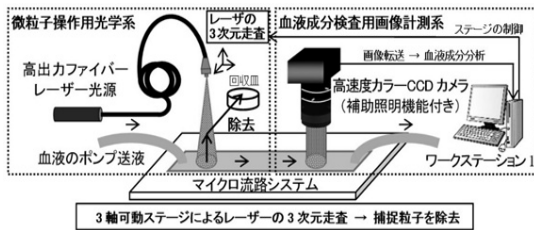


図1 微粒子操作作用光学系と血液成分検査用画像計測系の概略図

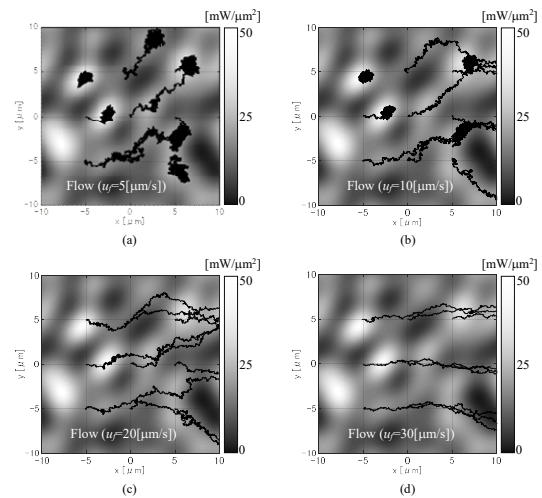


図2 流れ場におけるナノサイズの粒子の移動軌跡

図 1 に、本研究における微粒子操作用光学系と血液成分検査用画像計測系の概略図を示す。光源には出力が 1W クラスの高出力ファイバーレーザーを使用し、鉛直方向から血液に照射する。不純物除去後の血液からの反射散乱光を結像面においた高速度カラー CCD カメラ(640×480 画素, フレームレート 320fps)で画像検出する。さらに、検出された画像をワークステーションに転送し、画像解析に基づき血液成分分析を実施する。

(3) 解析成果と考察

本研究ではまず、静止するスペックルパターンでの照明下にある流れ場におけるナノサイズの粒子の移動軌跡を可視化した。

図 2(a)~(d)は、20[μm] \times 20[μm]の正方領域に擬似ランダムパターンでモデリングした平均スペックル径が 3.6[μm]であるスペックルパターンにより、流速が各々 5, 10, 20, および 30[$\mu\text{m}/\text{s}$]であるポリスチレン粒子懸濁液の右方向への流れ場を照明した場合について、粒子の 10 秒間の移動軌跡をマッピングした結果である。なお、粒子の初期位置は正方領域の中心すなわち原点とその周囲の格子状配置 8 点の計 9 ケ所とし、 $n_m=1.334$, $n_p=1.59$, $\epsilon_0=8.85\times 10^{-12}[\text{F}/\text{m}]$, $d_p=400[\text{nm}]$, $\eta=0.001[\text{Pa}\cdot\text{s}]$, $T=300[\text{K}]$ の条件下で計算を行った。また、白色雑音ベクトル \mathbf{W} については、擬似正規乱数により近似した。さらに、スペックル粒子は CW レーザーによる生成を仮定した。図 2 の結果から、(a)では全ての粒子が出発直後からランダムウォークを繰り返しながら正方領域内のいずれかのスペックル粒子の中心に向かって移動した後、流されることなくその近辺に捕捉され続けることがわかる。一方、(b)においては一部の粒子のみしか捕捉されておらず、(c)と(d)においては全ての粒子がスペックルに捕捉されずに流されていることがわかる。

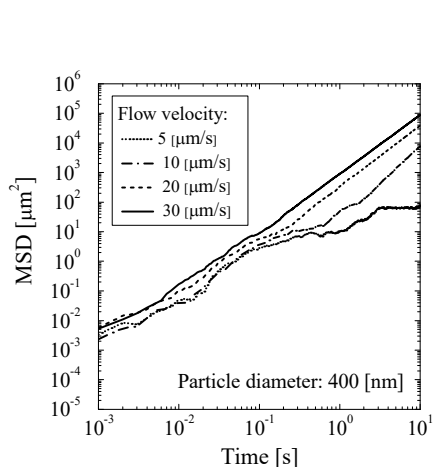


図 3 流れ場におけるナノサイズの粒子の移動軌跡の MSD

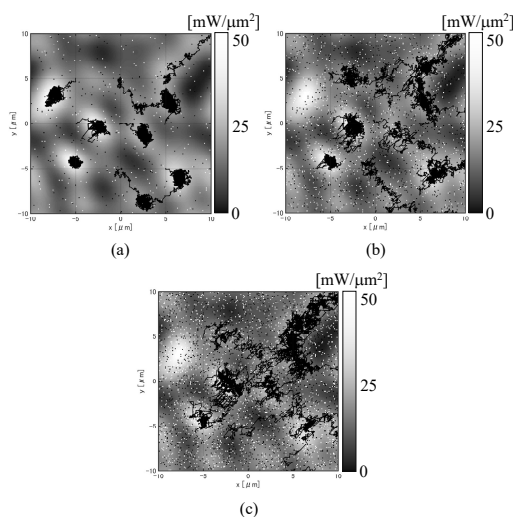


図 4 Salt-and-pepper ノイズが重畳された流れ場におけるナノサイズの粒子の移動軌跡

図 3 は、流速が 5, 10, 20, および 30[$\mu\text{m}/\text{s}$] の場合について、図 2(a)~(d)の原点を出発した粒子の移動軌跡から各々求めた MSD を移動時間に対してプロットした結果である。図 3 より、流速が 5 [$\mu\text{m}/\text{s}$] の場合については、MSD は原点を出発した直後から変動を繰り返しながら上昇を続け、約 3[s]後に一定値に収束し捕捉状態に到っていることがわかる。さらに図 3 から、流速が 10, 20, および 30 [$\mu\text{m}/\text{s}$] の場合については、MSD は時間にほぼ比例して上昇することもわかる。これは、粒子がスペックルには捕捉されず、流れ場の移動に伴いほぼ一定の速度で流されていることを示している。以上より、今回の計算条件では、粒子を捕捉できる流速の上限は約 5[$\mu\text{m}/\text{s}$]と見積ることができる。ここで、捕捉可能な流速の上限は主にスペックルサイズや放射照度に依存して変化するため、粒子を捕捉するためには、上記の条件を流速や捕捉対象となる粒子の直径に応じて最適化することが重要であると考えられる。

次に、運動するスペックルパターンの照明下にある流れ場におけるナノ粒子を対象として、半導体レーザーの有する量子雑音や光学系各部からの迷光に起因する干渉縞といった外乱に対する粒子制御のロバスト性を評価した。

図 4(a)~(c)は、図 2 に示したものと同様に発生させたスペックルパターンに平均密度が 1, 5, および 9[μm^2]である Salt-and-pepper ノイズをランダムに重畳させ、流速が 5[$\mu\text{m}/\text{s}$]であるポリスチレン粒子懸濁液の右方向への流れ場を照明した場合について、粒子の 10 秒間の移動軌跡をマッピングした結果である。図 4 より、平均密度が 1[μm^2]の場合は大部分の粒子がスペックルに捕捉されているものの、一部の粒子は移動軌跡がノイズの影響を受けることにより捕捉されずに右方向へと流されていることがわかる。また、平均密度が 5[μm^2]の場合は移動軌跡に対するノイズの影響がより顕著になるために一部の粒子のみしかスペックルに捕捉されず、また捕捉

に到るまでのランダムウォークの距離が長くなる傾向にあることがわかる. さらに, 平均密度が $9[\mu\text{m}^2]$ の場合には全ての粒子が捕捉されずに流されてしまっていることもわかる. 図 5 は, Salt-and-pepper ノイズの平均密度が 1, 5, および $9[\mu\text{m}^2]$ の場合について, 図 4(a)~(c)の原点を出発した粒子の移動軌跡から各々求めた MSD を移動時間に対してプロットした結果である. 図 5 より, 平均密度が $1[\mu\text{m}^2]$ の場合は MSD が原点を出発した直後から変動を繰り返しながら上昇を続け, 約 1[s]後以降は細かな変動を伴いながらもほぼ一定のレベルに収束し, 捕捉状態に到っていることがわかる. また図 5 から, 平均密度が 5 および $9[\mu\text{m}^2]$ の場合は MSD がいずれも原点を出発した直後から比較的大きな変動を繰り返しながら上昇を続け, その後約 4[s]後以降は時間にほぼ比例して上昇することがわかる. これは, 粒子が最初の約 4[s]間はノイズの影響を受けながらランダムウォークを繰り返しつつ初期位置から速さかり, その後は流れ場に沿って一定速度で運動することを示唆している. 以上より, 粒子の移動軌跡は Salt-and-pepper ノイズの影響により変化し, ノイズの平均密度が上昇するほどスペックルによる粒子の捕捉効率が低下することが確認できた.

さらに, 運動するスペックルパターンの照明下にある流れ場におけるナノ粒子の移動軌跡を可視化した. 図 6(a)~(d)は, 図 2 に示したものと同様に発生させたスペックルパターンを流速 $5[\mu\text{m}/\text{s}]$ の右方向への流れ場において流れの向きとは逆である左方向に $1[\mu\text{m}/\text{s}]$ の一定速度で移動させた場合について, 粒子が初期位置である原点に存在する場合(0[s]), および原点を出発したのち 2.5, 5.0, および 7.5[s]後に対応する粒子の移動軌跡をマッピングした結果である. 図 6(a)~(d)より, 原点を出発した粒子はランダムウォークを経て 2.5[s]後までに初期位置に隣接するスペックルに捕捉され, その後, 流されること無くスペックルの運動に伴い左方向に移動することがわかる. なお, 粒子がスペックルに捕捉される以前の移動方向は主に粒子に作用する光学力と流体力から決定され, 初期位置において強度勾配のより大きな方向に移動する傾向が強いことが著者らのこれまでの計算により確認されている.

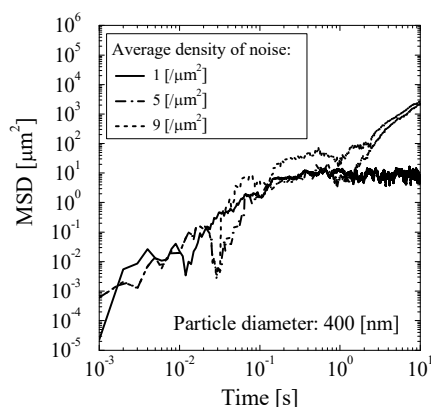


図 5 Salt-and-pepper ノイズが重畳された流れ場におけるナノサイズの粒子の移動軌跡の MSD

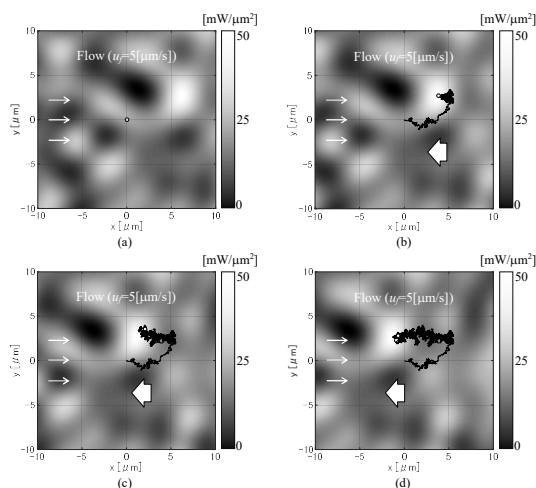


図 6 運動するスペックルパターン照明下の流れ場におけるナノサイズの粒子の移動軌跡

(4) おわりに

本報告では, 本研究で開発した輸血用血液の浄化・成分分析システムの有効性を示すべく, レーザー光散乱場の照明下にある流れ場におけるナノ粒子の移動軌跡を可視化し, その挙動制御の可能性を検討した. まず, 擬似ランダムパターンにより発生させた静止するスペックルパターンの照明下にある流れ場におけるナノ粒子の移動軌跡を可視化し, スペックルサイズや放射照度を適切に設定することで, 流れ場の内部で粒子を捕捉できることを確認した. 次に, Salt-and-pepper ノイズが重畳したスペックルパターンの照明下におけるナノ粒子の移動軌跡を可視化し, 粒子の捕捉効率が Salt-and-pepper ノイズの平均密度の上昇に伴い低下することを確認した. 以上により, 本研究で開発したシステムにより, 外乱に対してロバスト性の高い粒子捕捉を行える可能性があることが確認できた. さらに, 擬似ランダムパターンにより発生させた流れの向きと逆方向に運動するスペックルパターンの照明下におけるナノ粒子の移動軌跡を可視化し, スペックルにより粒子を捕捉しながらその位置を制御することも確認した. これにより, 捕捉した粒子を自在に制御し液中から取り出せる可能性を確認できたと言える. 今後は, 本システムによる検証実験をさらに詳細に実施し, 実用化へ向けてさらなる改良を行っていきたいと考えている.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 N. Yokoi and Y. Aizu	4. 巻 25
2. 論文標題 Numerical study on trapping and guiding of nanoparticles in a flow using scattering field of laser light	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 410-421
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10043-017-0403-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N. Yokoi, Y. Aizu, and J. Uozumi	4. 巻 24(3)
2. 論文標題 Analysis of blood coagulation process based on fractality and dynamic characteristic of laser speckle pattern	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Optics	6. 最初と最後の頁 031018 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JBO.24.3.031018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 N. Yokoi, T. Shinohara, H. Funamizu, M. Kyoso, Y. Shimatani, T. Yuasa, and Y. Aizu	4. 巻 24
2. 論文標題 Measurements of blood flow and blood concentration change using laser speckle in fiber illumination and its application to estimation of stress condition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 226-236
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10043-016-0287-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N. Yokoi and Y. Aizu	4. 巻 90
2. 論文標題 Numerical considerations on control of motion of nanoparticles using scattering field of laser light	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optics & Laser Technology	6. 最初と最後の頁 226-236
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.optlastec.2016.11.016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Yokoi and Y. Aizu	4. 巻 25
2. 論文標題 Improvement of the sensitivity in velocity sensing using dynamic speckles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 56-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10043-017-0393-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 横井直倫, 湯浅友典, 船水英希, 相津佳永
2. 発表標題 ヒト指先のバイオスペckル血流・血液濃度変化計測: 上腕部カフ低圧迫時の応答解析
3. 学会等名 第63回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 落合貴士, 湯浅友典, 横井直倫, 船水英希, 相津佳永
2. 発表標題 レーザー光散乱を用いたバイオフィルム成長過程の画像計測
3. 学会等名 2019年度日本光学会年次学術講演会(Optics & Photonics Japan 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井直倫, 相津佳永
2. 発表標題 バイオスペckル血流イメージングにおけるスペckルサイズと速度検出特性の評価
3. 学会等名 第64回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井直倫, 落合貴士, 湯浅友典, 船水英希, 相津佳永
2. 発表標題 レーザーSpeckルイメージングによるバイオフィルム成長過程の画像解析
3. 学会等名 第55回応用物理学会北海道支部 / 第16回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Yokoi, Y. Aizu, and J. Uozumi
2. 発表標題 Fractality of biospeckle pattern observed in blood coagulation process
3. 学会等名 The Biomedical Imaging and Sensing Conference 2018 (BISC'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井直倫, 岡本卓, 相津佳永
2. 発表標題 ランダムレーザー媒質作製のための微粒子制御: 数値シミュレーションによる特性評価
3. 学会等名 応用物理学会第61回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yuasa, N. Yokoi, H. Funamizu, and Y. Aizu
2. 発表標題 Investigation of temporal response in finger blood flow and concentration change in occlusion test on human arm using bio-speckle patterns
3. 学会等名 The 7th International Conference on Speckle Metrology (Speckle 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井直倫, 岡本卓, 相津佳永
2. 発表標題 ランダムレーザー媒質作製に向けた光学的な微粒子制御に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 穴戸悠亮, 湯浅友典, 横井直倫, 船水英希, 相津佳永
2. 発表標題 ヒト上腕部カフ圧迫時の指先におけるレーザースペckル血流・血液濃度変化計測
3. 学会等名 2018年度日本光学会年次学術講演会(Optics & Photonics Japan 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井直倫, 相津佳永, 魚住純
2. 発表標題 バイオスペckルのフラクタル次元を利用した血流解析に関する基礎的検討
3. 学会等名 応用物理学会第62回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井直倫, 相津佳永
2. 発表標題 バイオスペckル血流可視化法における血流評価値の特性評価
3. 学会等名 第54回応用物理学会北海道支部 / 第15回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 落合貴士, 湯浅友典, 横井直倫, 船水英希, 相津佳永
2. 発表標題 バイオフィルムの画像計測における形成手法の検討
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山颯太, 湯浅友典, 船水英希, 横井直倫, 相津佳永
2. 発表標題 ロボットアーム型皮膚血流計測のための画像解析高速化の試み
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Yokoi and Y. Aizu
2. 発表標題 Numerical consideration on trapping and guiding of nanoparticles in a flow using scattering field of laser light
3. 学会等名 The Biomedical Imaging and Sensing Conference 2017 (BISC '17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横井直倫, 岡崎隼也, 篠原智美, 京相昌樹, 島谷祐一, 船水英希, 湯浅友典, 相津佳永
2. 発表標題 バイオスペックルによる皮膚血流・血液濃度変化イメージング: 上腕血流抑制に対する応答の解析
3. 学会等名 応用物理学会第59回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Yokoi, T. Shinohara, S. Okazaki, H. Funamizu, M. Kyoso, Y. Shimatani, T. Yuasa, and Y. Aizu
2. 発表標題 Estimation of individual response in finger blood concentration change under occlusion on human arm using speckle patterns
3. 学会等名 The 2017 European Conferences on Biomedical Optics (ECBO) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横井直倫, 岡崎隼也, 京相昌樹, 島谷祐一, 船水英希, 湯浅友典, 相津佳永
2. 発表標題 スペckル血流・血液濃度変化イメージング: 皮膚血流抑制条件に対する応答解析
3. 学会等名 レーザー学会第507回研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Yokoi, Y. Aizu, and J. Uozumi
2. 発表標題 Fundamental study on blood flow imaging based on fractal dimension of biospeckles
3. 学会等名 The 24th Congress of the International Commission for Optics (ICO-24) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横井直倫, 相津佳永
2. 発表標題 レーザー光散乱場におけるナノ粒子挙動の可視化と制御特性の評価
3. 学会等名 可視化情報学会全国講演会(室蘭2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横井直倫, 相津佳永
2. 発表標題 レーザー光散乱場によるナノ粒子のトラッピング: 流れ場における特性評価
3. 学会等名 応用物理学会第60回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横井直倫, 岡本卓, 相津佳永
2. 発表標題 ランダムレーザー媒質作製への応用を目指した三次元微粒子制御: 数値計算による特性考察
3. 学会等名 第53回応用物理学会北海道支部 / 第14回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 穴戸悠亮, 田中祥平, 岡崎隼也, 横井直倫, 船水英希, 湯浅友典, 相津佳永
2. 発表標題 ロボットアームを用いた血流計測の撮影条件に関する検討
3. 学会等名 第53回応用物理学会北海道支部 / 第14回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井直倫, 岡本卓, 相津佳永
2. 発表標題 ランダムレーザー媒質作製のための微粒子制御に関する基礎的検討
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 横井直倫, 湯浅友典, 相津佳永, 他58名	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 598
3. 書名 ストレス・疲労のセンシングとその評価技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----