

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13095

研究課題名（和文）リフォーカシングに基づく3次元血管イメージングシステム

研究課題名（英文）Vessel position estimation system based on pixel-wise refocusing using light field imaging

研究代表者

吉本 佳世 (Yoshimoto, Kayo)

大阪市立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00735409

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：血管の3次元構造可視化を実現するために、近赤外光とレンズアレイを用いた血管の3次元イメージングシステムの開発を目的とし、その基本要素技術を確立した。近赤外光による血管透視と画像処理により焦点位置を変えた画像を生成する技術（リフォーカシング）を組み合わせ、さらに生体組織の強い散乱特性に起因するぼけを抑制するためにレンズアレイにより角度フィルタリングを加えた3次元計測システムを提案し、実験により原理確認および有効性の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在実用化されている静脈可視化装置は2次元情報の提示にとどまっており、平面および深さ方向の同時取得が行える装置は実現されていない。静脈の立体構造把握は、採血や点滴時の血管の探索に有用である。本研究をさらに発展させ、血管の探索がスムーズに行えるようになれば、採血や点滴に要する時間が短縮できやり直しも少なくて済む。高齢化に伴う患者増加や人手不足が深刻な医療現場においては患者1人あたりに使える時間が非常に限られており、静脈穿刺に関する所要時間の短縮は医療の質の向上に役立つと考える。

研究成果の概要（英文）：In order to realize the visualization of the three-dimensional structure of blood vessels, we aimed to develop a three-dimensional imaging system for blood vessels using near-infrared light and a lens array, and established its basic elemental technology. We proposed a three-dimensional measurement method that reduces the influence of scattering by refocusing using the light field and angle filtering using the lens array. We confirmed the basic principle and examined the effectiveness by the prototype.

研究分野：人間医工学

キーワード：近赤外イメージング 血管イメージング 深さ推定

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

医療現場では、採血や注射、点滴などで静脈に針を刺す行為(静脈穿刺)が日常的に行われている。医療者は手指の感覚で穿刺に適した個所を探るが、患者ごとの個体差が大きいため熟練を要する難しい技術であり、神経損傷や血管損傷などの医療事故も数多く報告されている。これらの事故の要因として、皮下脂肪などにより静脈が隠されてしまうため目視が困難であること、針を刺すことにより血管が動いてしまうことが挙げられ、血管位置をリアルタイムで可視化する装置が望まれている。生体組織は、波長により異なる反射・散乱特性を持つことが知られており、特に、近赤外光は皮下組織で透過しやすく、血液中に含まれるヘモグロビンに吸収される。このため、生体に近赤外光を照射しカメラで撮影すると静脈が通っている部分は吸収により暗く、周囲は散乱により明るく見え、ヒトの眼には可視困難な静脈をとらえることができる。この技術を用いた血管の可視化に関する研究は国内外で盛んにおこなわれており、海外では静脈穿刺のサポートツールとして商品化されているものも存在する[AccuVein(AccuVein Inc.など)]。しかし、このシステムは体表上に血管の位置を投影するものとなっており、血管の深さを知ることができない。つまり、針を差し込む位置はわかっていても、針の先端が血管内に到達しているか否か、または血管を突き破って血管外に出ているか否かを知ることができない。血管の深さ及び針の位置を知るために、超音波画像診断装置が用いられることがある。しかし、超音波撮像装置で得られる画像は断面像であり、プローブの当て方によってはうまく血管像を描画することができない。また、CT や MRI を用いて全身の血管走行を3次元で計測する技術はあるが、リアルタイムで可視化することは困難である。

### 2. 研究の目的

静脈穿刺を支援するために、血管の走行状態を非接触かつ3次元的に可視化する装置(図1)の開発を目指す。これまでに、近赤外光を用いてリアルタイムで非接触的に静脈を可視化するシステムが開発されているが、静脈の走行状態を2次元的に投影するのみで深さ方向の情報は得られない。そこで、本研究では近赤外光とレンズアレイシステムによるリフォーカシングを用いた血管の非接触3次元構造イメージングシステムの開発を目的とし、その基本要素技術の確立を目指す。

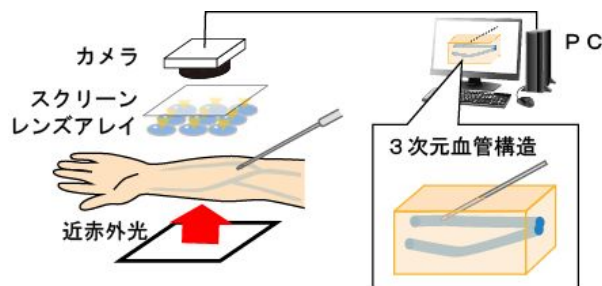


図1 提案システムの概念図。レンズアレイを用いて複眼像を取得し3次元血管構造を再構成する。

### 3. 研究の方法

はじめに、近赤外光を用いた生体透視画像において、血管像のぼけを取り除くために散乱光抑制アルゴリズムの構築を行った。生体組織は強い散乱性を持つため、赤外光を用いて得た血管透視像は血管の吸収の影響を受けてまっすぐ通ってきた光の上に別の経路から散乱してきた光が重畳されてぼけてしまう。本研究では、リフォーカシングをベースとしたシステムを考えているが、元画像がぼけているとぴったりフォーカスのあった画像を作成することができない。このぼけを抑制するために散乱光を取り除くシステムを構築する。本研究では、レンズアレイを用いた角度フィルタリング手法[J.Kim, D.Lanman, Y.Mukaigawa, R.Raskar, "Descattering Transmission via Angular Filtering", ECCV2010, Sep. 2010.]を採用した。この手法はレンズアレイを用いるため、リフォーカシング技術との親和性が高い。光源から出射されて直接レンズに届いた光(以下、直接光)は、レンズに垂直に入射する一方で、散乱媒質の影響を受けて光線角度が変わった散乱光(以下、散乱光)はあらゆる角度で入射する。このため、直接光はスクリーン面のレンズ中央付近の像を取れば取り出すことができる。ただし、レンズに対してまっすぐに到達する散乱光も存在するため、取り出した中央部分は散乱光も混在している。そこで散乱光のみの領域の情報を用いて、放射輸送方程式に基づき中央部分の散乱光の強さを推定して減算することで影響を低減する。散乱光抑制後、リフォーカシング技術に基づき、血管位置推定を行う。レンズアレイに入射した光は、レンズごとに異なる位置からみた情報を保持している。各レンズの画像情報のずれを用いることで、画像処理により焦点位置を変えた画像の生成(リフォーカシング)が可能である。血管が焦点位置にぴったり合う位置に存在していれば、リフォーカス画像上では鮮明な画像が得られ、焦点位置からずれた位置に存在していれば、リフォーカス画像上で像がぼける。再構成した各距離のリフォーカシング画像において血管エッジのコントラスト比を取得し、コントラスト比最大、つまり、ぼけのない境界が得られている距離が血管の深さであると推定できる。以上の手法について、生体を模擬したファントムとヒトの手の甲を用いた検証を行った。

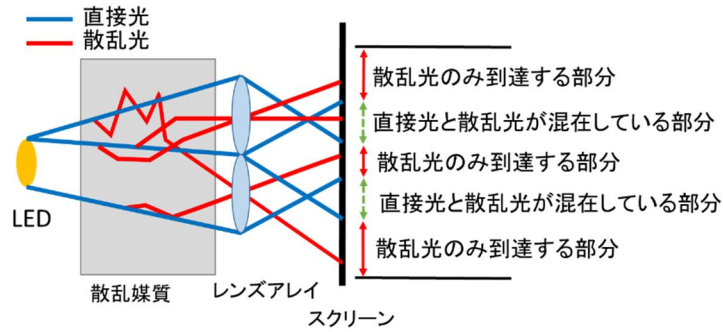


図2 レンズアレイを通してスクリーンに投影される直接光と散乱光

#### 4. 研究成果

生体を模擬するために、散乱媒質（5%豆乳）と血管を模擬した遮蔽物（金属板）をスクリーンから35, 38, 65mmの深さに配置した実験結果を示す。レンズアレイは、レンズ数57×57、焦点距離3.3mm、レンズピッチ1mmのものを使用した。また、撮影範囲を拡大するために、カメラおよびレンズアレイを水平・垂直方向に5mmずつ移動させ、5×5枚の撮影を行った。図3に、散乱抑制手法の適応前後の画像を示す。図3に示すように、散乱抑制を適応していない場合、遮蔽物の境界付近がぼやけていることが分かる。配置した金属板の境界付近でのコントラスト比が、散乱抑制無しの場合0.33であったのに対し、散乱抑制後は0.97とコントラスト比が向上し、散乱抑制手法を適応することで、画像を鮮明化できることが確認できた。図4に、スクリーンから38mmの位置に配置した遮蔽物境界のリフォーカス距離に対するコントラスト比について、散乱媒質がない場合と、散乱媒質があり散乱抑制処理を行った場合の結果を示す。なお、散乱抑制処理を行わない場合、物体の境界位置がずれてしまい、奥行き推定を行うことができなかった。コントラスト比が一番高い距離が、物体が存在すると推定される奥行きとなる。表1に、奥行き推定結果をまとめる。散乱抑制を行うことにより、散乱媒質中であっても、散乱媒質がない場合と同じ推定結果が得られることが確認できた。なお、設置位置65mmにおいて誤差が大きい原因は、リフォーカスに基づく奥行き推定の分解能に起因するものである。リフォーカシングによる深さ推定の分解能については以前の検討で検証しており、目的とする深さや分解能に応じて光学系を適切に設計することで、誤差を小さくすることが可能であることが分かっている。

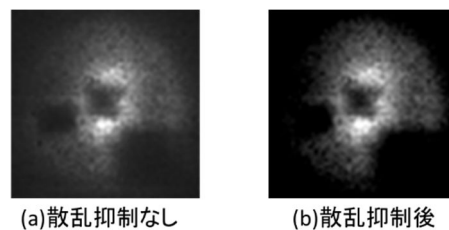


図3 赤外透視像の比較

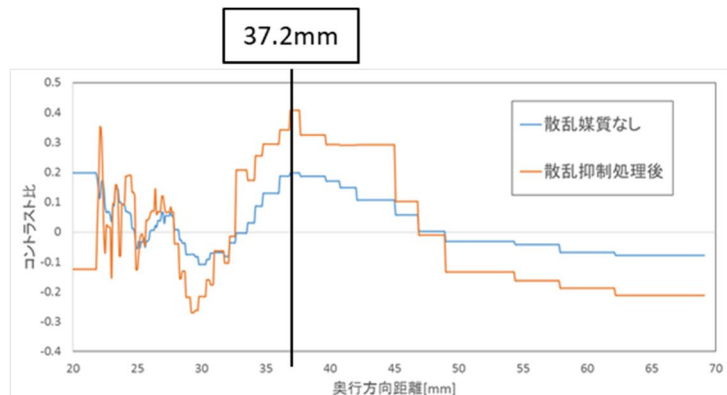


図4 スクリーンから38mmの位置に配置した遮蔽物境界のコントラスト比

表1 ファントムにおける奥行き推定結果

設置位置 [mm]	散乱媒質なしでの推定奥行き位置 [mm]	散乱抑制処理後の推定奥行き位置 [mm]
35.0	36.7	36.7
38.0	37.2	37.2
65.0	53.6	53.6

最後に、ヒトの手の甲を用いて生体組織への適応性を検討した。計測部位を図5に、リフォーカス画像を図6に、手の甲表面からの深さとコントラスト比の関係を図7に示す。超音波診断装置を用いて得た対象部位血管の深さは2mm程度であるのに対し、試作システムにより推定した深さは3.5mmであった。この結果は、ファントムの実験と同程度の誤差であり、妥当な結果であると考えている。また、上腕などについても計測を行ったが、推定を行えるほどの十分なコントラストが得られなかった。これは、照明の特性に起因するものと考えられ、今後、最適化が必要である。

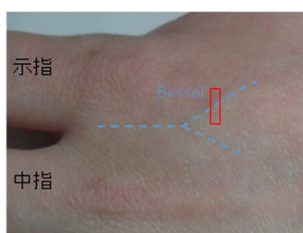
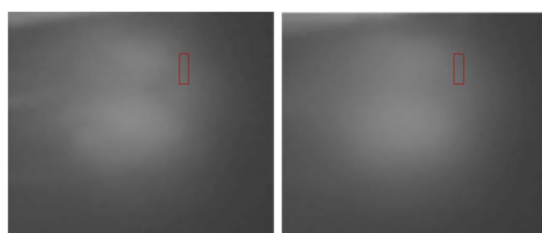


図5 計測部位



(a)深さ3.5mm

(b)深さ5.0mm

図6 リフォーカス画像

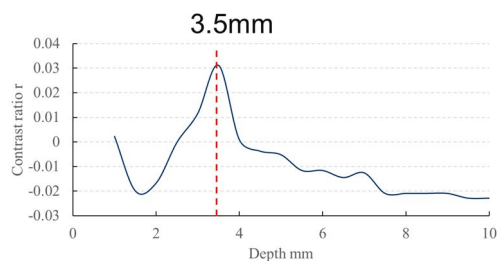


図7 手の甲における深さとコントラスト比の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshimoto Kayo, Takahashi Hideya, Yamamoto Kohei, Yamada Kenji	4. 巻 11229
2. 論文標題 Development of vessel position estimation system based on pixel-wise refocusing using light field imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 112291N-1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1117/12.2536519">https://doi.org/10.1117/12.2536519</a>	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 Yoshimoto Kayo, Takahashi Hideya, Yamada Kenji	4. 巻 10868
2. 論文標題 Vessel position estimation system based on pixel-wise refocusing using light field imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 108681M-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1117/12.2511192">https://doi.org/10.1117/12.2511192</a>	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshimoto Kayo, Takahashi Hideya, Yamamoto Kohei, Yamada Kenji
2. 発表標題 Development of vessel position estimation system based on pixel-wise refocusing using light field imaging
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimoto Kayo, Takahashi Hideya, Yamada Kenji
2. 発表標題 Vessel position estimation system based on pixel-wise refocusing using light field imaging
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----