

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282123

研究課題名(和文)新原理集約による体内3次元構造の光透視イメージングの実用化

研究課題名(英文)Realization of optical transillumination imaging of 3D internal body structure by integrating new principles

研究代表者

清水 孝一 (Shimizu, Koichi)

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：30125322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：生体内部のマクロな構造を光により3次元的に透視イメージングすることをめざし、新原理を集約した手法を創出した。シミュレーション解析による最適化の後、計測システムを開発した。開発システムの特徴を解析し、必要な改良を図った。動物実験により、放射線被曝のない安全な近赤外光を用い、実験用小動物の内部構造をイメージングできる可能性を実証した。また、臓器形状だけではなく、組織酸素化状態などの機能情報もイメージングできる可能性が確かめられた。

研究成果の概要(英文)：To realize 3D transillumination imaging of macroscopic internal body structure, we integrated our principles to develop a new technique. Through optimization using Monte Carlo simulation, a measurement system was constructed. We analyzed the characteristics of the developed system, and necessary improvements were made. In the animal experiments, the feasibility of imaging the internal body structure with the safe near-infrared light without radio-active exposure was verified. The feasibility of functional imaging such as tissue oxygenation state was also verified.

研究分野：総合領域

キーワード：三次元光透視 生体透視 近赤外光 光散乱 点拡がり関数 近軸散乱光 光拡散 時間分解解析

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 国内外の動向：光による生体透視や光CTは、その有用性が指摘されながらも、強い拡散性散乱の問題が障害となり、実用化が阻まれてきた。主に米欧日を中心に研究が行われ、米国では乳房のCT、英国では新生児頭部のCT等の研究が進んでいる。しかし、どれも空間分解能がcmオーダーと、実用には不十分なものとどまっているのが現状である。我が国では断層化を途中で断念し、脳表マッピング(光トポグラフィ)として実用化を優先した。しかし、それでは深さ方向の情報はなく、マッピング分解能もcmオーダーにとどまっている。OCTという高分解能CT技術が普及しているが、この技術では組織表面から2-3mm程度と、イメージング深さに大きな制約がある。
- (2) 申請者の背景：上記動向に対し申請者らは、「生体の光透視など不可能」と考えられていた時期から、その可能性と有用性を実証してきた。またそれを進め、体内機能情報イメージングおよび光CTの可能性を実証してきた。さらに一貫してその可能性を追求し、生体光透視のための種々の技術基盤を確立してきた。これらの背景により、生体内部構造三次元光透視の可能性を追求するに至った。これまでの研究で、原理的可能性は示されてきたが、具体的な実験装置の開発はほとんどできてこなかった。

## 2. 研究の目的

本研究は、生体内部の構造情報および機能情報を光により三次元的に透視イメージングすることをめざし、新原理を集約した新たな手法を確立するとともに、それを具現化するシステムを開発しようとするものである。具体的には、次の目標の達成をめざした。

- (1) これまで個々独立に研究してきた透視法を、三次元光透視に集約できるようそれぞれ改良を図る。
- (2) 三次元光透視に最適な撮像法および画像再構成法を新たに開発する。
- (3) これら方法を具現化する試作システムを設計製作する。
- (4) 内部構造既知のモデルファントム、実験動物およびヒト四肢等のイメージングを行い、工学的および医学的両側面から試作システムの性能評価を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 2013年度

次の各透視法に対し、三次元光透視イメージングに向けての問題点を明らかにし、その解決を図った。

- ① 透過型光透視による透視イメージング
- ② 反射型(後方散乱)計測による透視イメージング
- ③ CT法による断層像再構成イメージング
- ④ 体内発光源による蛍光透視イメージング

### (2) 2014年度

光による三次元透視イメージングのシミュレーションを通し、システムの最適化を図った。その結果に基づき、以下のようにシステムの開発を行った。

- ① 光源部、照射光伝送部、アプリケーション部、生体部位支持部、受光部、信号伝送部、画像処理・提示部等のハードウェアを設計製作した。
- ② 装置各部の動作試験を繰り返し、所期の性能を達成するまで改良を図った。
- ③ 開発したソフトウェアにより、全体のシステム化を図った。

### (3) 2015年度

新たに開発したシステムを用いて、次のように三次元透視イメージングの実験を繰り返し行った。

- ① 前年度までに開発した実験システムのイメージング特性を計測および解析し、必要な改良を加えた。
- ② モデルファントム、実験動物、ヒト四肢など計測対象ごとのアプリケーションを作成した。
- ③ 生体組織の光学定数を持つモデルファントムを用い、内部吸光構造既知の対象の三次元透視を試みた。
- ④ マウスやラットなど実験用小動物の三次元透視を試みた。

各年度を通し、研究成果を国際会議で発表するとともに、必要に応じ特許出願を行った。研究成果は、国際的に権威ある学術雑誌に投稿し、採録掲載された。

## 4. 研究成果

### (1) 逆問題解法の諸問題の解決

- ① 透視イメージングすなわち散乱光強度から散乱体内部の吸光係数空間分布を推定する逆問題において、非線形性の問題があった。つまり、散乱体内部を任意の層状に分割した場合、各層において多数の光子が同一光路長を辿るならば、各層の吸光係数は、一次線形連立方程式の解として正確に求めることができる。しかし実際は、光子ごとに光路長が異なるため、非線形問題とならざるを得ず、解の収束性や一意性は保証されない。これに対し、繰り返し演算による解法を考案し、その解決を図った。
- ② これまでの吸収係数空間分布の推定では、散乱媒質の均質性が前提であった。これに対し、生体応用を考慮し、不均質散乱体にも適用できるよう逆問題解法を改良した。これにより、吸収係数および散乱係数の空間分布を、一つの解法アルゴリズムの中で推定できるようになった。
- ③ これまでの解法は、ピコ秒オーダーの超短光パルスに対する時間分解波形の計測を前提とするものであり、高価で大がかりな装置を必要とした。これに対し、逆問題解法を拡張し、後方散乱光の空間分解計測により、吸収係数空間分布を推定できる方法

を新たに開発した。これにより従来より簡易な装置による計測が可能となり、実用性の高いシステムが期待できるようになった。

(2) 散乱による光透視像劣化の問題の解決

① 体内に光源がある場合、体表における点拡がり関数(PSF)の逆畳み込みにより、体内蛍光分布再現像の劣化を抑制することができる。しかし、体内に光源のない光透視においては、この手法は適用できなかった。これに対し本研究では、体内蛍光源の方法を応用し、体内吸光構造の光透視像における劣化抑制を実現する手法を新たに考案した。Fig.1 に、考案手法により劣化を改善した例を示す。これは、成人男性前腕部血管の透視像である。深さの異なる PSF により、該当深さ(2.1, 4.0 mm)の血管像がコントラストよくとらえられるのがわかる。

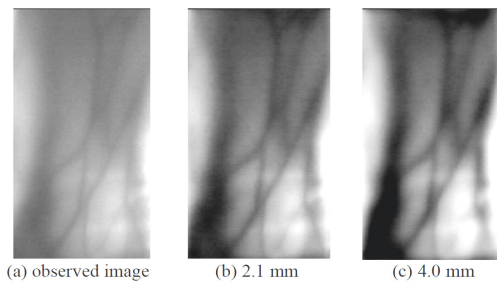


Fig.1 光源 PSF を利用可能にすることにより吸光像の散乱劣化改善を実現

② 上記手法を利用するには、散乱体内部吸光構造の深さ情報が必要であった。これに対し、散乱媒質の光散乱特性が異なる二波長を適切に選択することにより、散乱体内部吸光構造の深さを推定する手法を新たに考案した。これにより、光透視像の散乱劣化を効果的に抑制することが可能となった。

また、これまで 3D 化のためには X 線 CT の断層像再構成原理(filtered back-projection)を用いていたが、本手法により、一方向からの光透視でも、散乱体内部吸光構造の三次元イメージングが可能となった。結果の一例を Fig.2 に示す。左図のような一方向から撮影した透視像から、右図のような三次元構造を再構成することができるようになった。

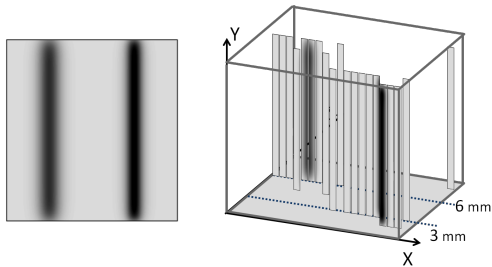


Fig.2 二波長光源による深さ推定に基づく一方向透視像からの三次元像再構成

③ 従来の散乱抑制法は、平板スラブ状散乱体に対する平面波入射を前提とする理論で

あった。これを拡張し、曲表面の散乱体における散乱光強度分布を新たに定式化した。これにより、生体により近い円柱状表面で観察された透視像に対しても、散乱を抑制し、内部構造を可視化することが可能となった。Fig.3 に、開発手法の効果を示す。これは、鶏ササミ肉中に立方体状の蛍光物質を埋設して得られた断層像である。透視像から直接再構成された断層像に比べ、開発手法により効果的に散乱効果が抑制されることがわかる。

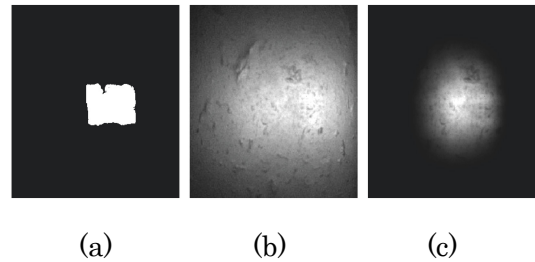


Fig.3 円柱表面における透視蛍光像からの断層像再構成：(a)透明水中、(b)鶏肉に対し従来手法、(c)鶏肉に対し開発手法

④ 散乱体内部蛍光体からの蛍光の検出に、径の異なる円環状同軸二検出器を用いることにより、体内蛍光源の深さを求める方法を新たに考案した。得られた深さをを用い、点拡がり関数(PSF)の逆畳み込みにより、体内蛍光分布像の劣化を、正確に効率よく抑制することが可能となった。Fig.4 に実験結果を示す。これは、散乱媒質中の異なる深さに配置された蛍光源に対して開発手法を適用し、得られた正しい深さの PSF により散乱抑制して再構成した実測三次元像である。体表で観測された蛍光像から体内蛍光分布の三次元構造をイメージングできることがわかる。

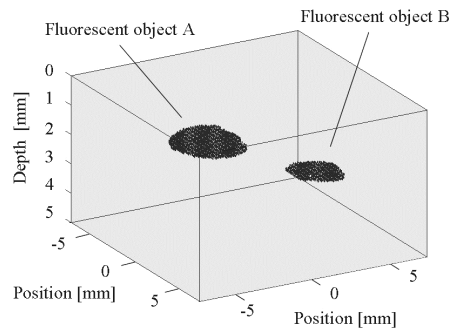


Fig.4 円環状同軸二検出器により求めた深さ情報からの三次元像の実測例

(3) 開発手法の実用化に向けて

① 散乱体内部吸光構造の 3D イメージングにおいて、照明光は光強度の様な平面波入射が前提であった。しかしレーザー光源を用いて効率的な光入射を行うには、ビー

ム光入射が実用的である。これに対し、拡散方程式を解くことにより、散乱体内部のビーム光伝搬の解析解を導出した。これにより、ビーム光入射における透視像の不均一性が解消され、実用的な光透視が可能となった。結果の一例を Fig. 5 に示す。これは、成人手掌部に対しビーム光を照射して得られた透視像である。開発手法により、広域にわたり良質の透視像が得られることがわかる。

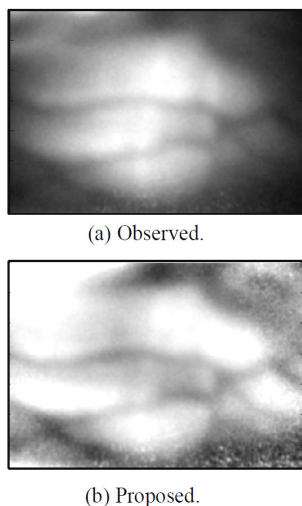


Fig. 5 ビーム光入射による手掌部透視像の改善

② 生体組織における光散乱による透視像の劣化は、適切な点拡がり関数が得られれば、ほぼ完全に解消される。ステントや人工血管などの体内埋め込み機器の場合には、形状既知の蛍光マーカーを予め添付して埋め込み、それを基準として正確な点拡がり関数を実測する手法を考案した。これにより、光学特性が未知の生体の場合にも、本研究で開発した散乱抑制法が適用可能になった。結果の一例を Fig. 6 に示す。これは、鶏ササミ肉中の血液円柱の透視像である。このように透視困難な場合でも、提案手法により透視が可能となる。

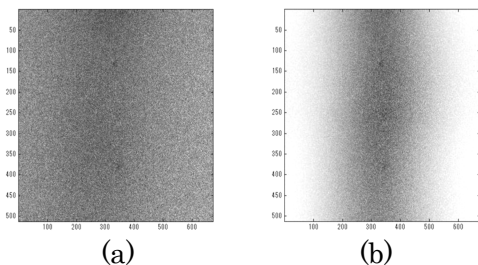


Fig. 6 鶏ササミ肉中の血液像の透視：  
(a)観測像, (b)実測 PSF による改善像

③ X線CTにおいては、360度全方向からの透視像撮影が前提条件である。これに対し、光透視においては、対象物体の中心部分以外では、撮影角度範囲を制限した方が良好な三次元像が得られることを、初めて明ら

かにした。これにより、生体表層部透視イメージングの性能を大きく向上させることができた。

#### (4) 体内三次元構造の光透視イメージング

① 生体組織における光散乱による透視像の劣化は、点拡がり関数を用いた逆畳み込み演算により改善できる。しかしこの点拡がり関数は、吸収構造の深さに依存して変化するため、内部構造が未知の生体への適用には限界があった。これに対し、深さ情報が未知の場合にも、点拡がり関数による散乱抑制を可能とする手法を新たに考案した。結果を Fig. 7 に示す。与えた構造(a)に対し、観測透視像から再構成した断層像(b)では、内部構造が不鮮明である。内部構造の深さを考慮しない点拡がり関数を用いた場合(c)では、改善は限定的である。これに対し考案手法によれば、(d)のように点拡がり関数による散乱抑制が効果的に働く。

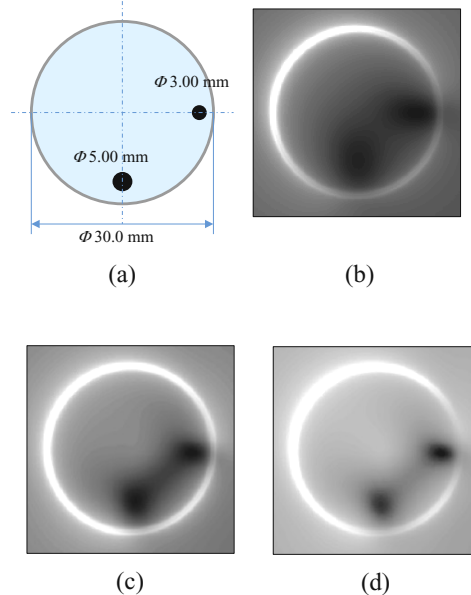


Fig. 7 不適切深さ PSF 処理抑制の効果: (a) 散乱体内部吸収構造, (b)観測透視像からの再構成断層像, (c)全深さ PSF の散乱抑制による断層像, (d)不適切深さ PSF 抑制による断層像

② 前記手法は、三次元像の再構成アルゴリズムの中で、繰り返し演算として適用される。したがって、実用範囲の繰り返し数で実現可能か、また演算結果が発散せず正しい透視像に収束するかどうかは不明であった。これに対し、シミュレーションと実験を通し、その実用性を実証した。

③ これらの成果を集約し、三次元透視の実験システムを設計試作した。開発システムを用いて、実験用小動物の胴体部分の三次元透視を行った。結果を Fig. 8 に示す。近赤外光に対しては、血液の豊富な肝臓や腎臓などが高い吸収を示す。三次元再構成像には、両腎臓と肝臓の一部の三次元構造が

明瞭にイメージングできていることがわかる。MR I 画像との比較により、これら透視像の正確さを確認した。

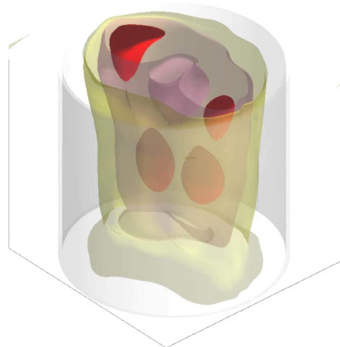


Fig.8 マウス胴体の実測三次元透視像

- ④ 開発手法を、透析患者の前腕部に造設される内シヤントの透視イメージングに応用した。これにより、栓塞や狭窄状態の日常的管理を、X線透視を行うことなく無侵襲的に頻回に行う可能性が新たに得られた。また、組織酸素化状態など機能情報イメージングの可能性も確かめられた。

#### 5. 主な発表論文等 (代表者、分担者に下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① S. Trirongjitmoah, K. Iinaga, T. Sakurai, H. Chiba, M. Sriyudthsak and K. Shimizu, Practical technique to quantify small, dense low-density lipoprotein cholesterol using dynamic light scattering, *Optical Review*, 23(2), 265-272, 2016.  
DOI: 10.1007/s10043-016-0187-9 (査読あり)
- ② K. Nishida, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, Analysis for nonlinear inversion technique developed to estimate depthdistribution of absorption by spatially resolved backscattering measurement, *Proc. of SPIE*, 9319, X1-X7, 2015.  
DOI: 10.1117/12.2078168 (査読あり)
- ③ T. T. Nghia, K. Yamamoto, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, 3D reconstruction of internal structure of animal body using near-infrared light, *Proc. of SPIE*, 8952, A1-A6, 2014.  
DOI: 10.1117/12.2038474 (査読あり)
- ④ T. T. Nghia, K. Yamamoto, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, Three-dimensional transillumination image reconstruction for small animal with new scattering suppression technique, *Biomedical Optics Express*, 5(5), 1321-1335, 2014.  
DOI: 10.1364/BOE.5.001321 (査読あり)

[学会発表] (計 26 件)

- ① 宮島文佳, 加藤祐次, 清水孝一, 光透視による生体三次元像再構成手法の精度向上に関する基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2016年3月22~23日, 玉川大学, 東京.
- ② 任田崇吾, 加藤祐次, 清水孝一, デジタル位相共役光による生体透視イメージングの基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2016年3月22~23日, 玉川大学, 東京.
- ③ 王磊, 飯永一也, 加藤祐次, 清水孝一, 後方散乱光による散乱係数計測の基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2016年3月22~23日, 玉川大学, 東京.
- ④ 岡崎恵祐, 加藤祐次, 清水孝一, 二波長光源を用いた吸光体深さ推定による透視像改善の実験的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2016年3月22~23日, 玉川大学, 東京.
- ⑤ 尾河雄太, 北間正崇, 清水久恵, 山下政司, 奥山豪, 菊池明泰, 熊澤誠志, 清水孝一, 光透視による内シヤントイメージングの基礎的検討—多層散乱モデルへの点拡がり関数の適用—, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年12月19日, 名古屋工業大学, 名古屋.
- ⑥ 加藤尚嵩, 北間正崇, 清水久恵, 山下政司, 奥山豪, 菊池明泰, 熊澤誠志, 清水孝一, 光透視イメージングによる内シヤント血管性状変化描出のための基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年12月19日, 名古屋工業大学, 名古屋.
- ⑦ Y. Yamakoshi, K. Matsumura, T. Yamakoshi, J. Lee, K. Motoi, P. Rolfe, K. Shimizu and K. Yamakoshi, An Integrating Sphere-type Finger-photoplethysmography with Higher Accuracy and Sensitivity towards Practical Non-invasive Measurement of Blood Constituents, 37th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2015 August 25-29, Milano, Italy.
- ⑧ K. Shimizu, K. Iinaga and Y. Kato, Estimation of scattering coefficient using backscattered light from turbid medium, Optics & Photonics International Congress, 2015 April 22-24, Yokohama, Japan.
- ⑨ 開田翔一, 松村健太, 加藤祐次, 清水孝一, 手首血管の光透視による個人認証のための基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年3月16~17日, 玉川大学, 東京.
- ⑩ 田中宏幸, 浪田 健, 加藤祐次, 清水孝一, 生体透視におけるビーム光の散乱体内部伝搬式を用いた散乱抑制手法の基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年3月16~17日, 玉川大学, 東京.
- ⑪ 佐々木洋天, 浪田 健, 加藤祐次, 清水孝一, 直交関数系を用いた体内蛍光断層像再構成の基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年3月16~17日, 玉川大学, 東京.
- ⑫ 関 大輔, 浪田 健, 加藤祐次, 清水孝一, 光を用いた人体通信実用化に向けた基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年3月16~17日, 玉川大学, 東京.
- ⑬ 榎本敬宏, 北間正崇, 清水久恵, 山下政司, 有澤準二, 田中義範, 清水孝一, 点拡がり関数を用いた内シヤント光イメージング実現のための基礎的検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2015年1月22~23日, 熊本大学, 熊本.
- ⑭ K. Nishida, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, Analysis for nonlinear inversion technique developed to estimate depthdistribution of absorption by spatially resolved backscattering measurement, SPIE Biomedical Optics Conference, 2015 February 7-12, San Francisco, USA.
- ⑮ 清水孝一, 生体組織における光伝搬の解析 (特別講演), 美容皮膚科学シンポジウム, 2014年12月4日, 関東学院大学, 横浜.
- ⑯ 清水孝一, 近赤外光による生体透視イメージング (特別講演), 日本光脳機能イメージング学会, 2014年7月26日, 星陵会館, 東京.
- ⑰ 大場一寛, 横山直弥, 浪田健, 加藤祐次, 清水孝一, 後方散乱光時間分解計測による吸収係数分布の高精度推定の試み, 電子情報通信学会

- ME とバイオサイバネティクス研究会, 2014 年 3 月 17~18 日, 玉川大学, 東京.
- ⑱ 山本航平, チャン チュン ギア, 浪田健, 加藤祐次, 清水孝一, 光による生体透視イメージングのための拡散媒質内部吸光像の画像改善, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2014 年 3 月 17~18 日, 玉川大学, 東京.
- ⑲ 小川大貴, 浪田健, 加藤祐次, 清水孝一, 円柱状光拡散体における内部蛍光体イメージング手法の開発—生体内部蛍光体の経皮透視をめざして—, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2014 年 3 月 17~18 日, 玉川大学, 東京.
- ⑳ 夏目裕也, 浪田健, 加藤祐次, 北間正崇, 清水孝一, 実測点拡がり関数を用いた前腕血管の光透視—人工透析における内シャント管理への応用—, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 2014 年 3 月 17~18 日, 玉川大学, 東京.
- ㉑ T. T. Nghia, K. Yamamoto, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, 3D reconstruction of internal structure of animal body using near-infrared light, SPIE Biomedical Optics Conference, 2014 February 1-6, San Francisco, USA.
- ㉒ T. T. Nghia, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, Development of new optical CT for 3D animal imaging—Practical technique using transillumination images—, HU/SNU joint symposium, 2013 December 12-13, Seoul, Korea.
- ㉓ K. Iinaga, T. Namita, T. Sakurai, H. Chiba and K. Shimizu, Attempt for noninvasive evaluation of in vivo triglyceride in blood, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2013 July 3-7, Osaka, Japan.
- ㉔ T. T. Nghia, K. Yamamoto, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, Application of Fluorescent PSF for 3D Reconstruction of Absorbing Structure using Slab Transillumination Images, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2013 July 3-7, Osaka, Japan.
- ㉕ T. Matsuura, T. Namita, Y. Kato, and K. Shimizu, New Reconstruction Technique for 3 Dimensional Structure in Shallow Layer of Turbid Medium using Optical Transillumination Images —Attempt for Reconstruction with Limited View Angle—, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2013 July 3-7, Osaka, Japan.
- ㉖ K. Iinaga, T. Namita, T. Sakurai, H. Chiba and K. Shimizu, Estimation of scattering coefficient in CW reflectance measurement for noninvasive triglyceride evaluation, CLEO-PR, 2013 June 30 – July 4, Kyoto, Japan.

[図書] (計 3 件)

- ① K. Shimizu, Chap.10 Optical Biotelemetry, *Handbook of Biotelemetry*, Wiley-IEEE, 301-329, 2014.
- ② 清水孝一, 光透視による血管イメージング技術「個人認証技術」, エヌ・ティー・エス, 49-63, 2014.
- ③ 清水孝一, 光を用いた医用イメージング技術, 「電気学会 125 年史」, 電気学会, 483-484, 2013.

[産業財産権]

○出願状況 (計 5 件)

- ①名称: 非侵襲型生体脂質計測器及び非侵襲型生体脂質計測方法  
発明者: 清水孝一, 飯永一也, 加藤祐次, 磯村哲  
権利者: 北海道大学  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2016/050560  
出願年月日: 2016 年 1 月 8 日  
国内外の別: 国内, 国外

- ②名称: Non-Invasive Biolipid Concentration Meter, Non-Invasive Biolipid Metabolism Measuring Device, Non-Invasive Method for Measuring Biolipid Concentration, and Non-Invasive Method for Examining Biolipid Metabolism  
発明者: K. Shimizu and K. Iinaga  
権利者: 北海道大学  
種類: 特許  
番号: US 14/649,676  
出願年月日: 2015 年 11 月 5 日  
国内外の別: 国外
- ③名称: Non-Invasive Biolipid Concentration Meter, Non-Invasive Biolipid Metabolism Measuring Device, Non-Invasive Method for Measuring Biolipid Concentration, and Non-Invasive Method for Examining Biolipid Metabolism  
発明者: K. Shimizu and K. Iinaga  
権利者: 北海道大学  
種類: 特許  
番号: EPC 13861085.2  
出願年月日: 2015 年 10 月 14 日  
国内外の別: 国外
- ④名称: 濃度定量装置及び濃度定量方法並びにプログラム  
発明者: 天野和彦, 清水孝一  
権利者: 北海道大学, セイコーエプソン  
種類: 特許  
番号: 特願 2014-50881  
出願年月日: 2014 年 3 月 13 日  
国内外の別: 国内
- ⑤名称: 非侵襲型生体脂質濃度計測器、非侵襲型生体脂質代謝機能計測器、非侵襲による生体脂質濃度計測方法および非侵襲による生体脂質代謝機能検査方法  
発明者: 清水孝一, 飯永一也  
権利者: 北海道大学  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2013/080826  
出願年月日: 2013 年 11 月 14 日  
国内外の別: 国内, 国外

○取得状況 (計 1 件)

- ①名称: 濃度定量装置及び濃度定量方法並びにプログラム  
発明者: 天野和彦, 清水孝一  
権利者: 北海道大学, セイコーエプソン  
種類: 特許  
番号: 特許第 5818038 号  
取得年月日: 2015 年 10 月 9 日  
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等:

<http://www.waseda.jp/fsci/gips/other/2016/03/28/4868/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
清水 孝一 (SHIMIZU, Koichi)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号: 30125322
- (2) 研究分担者  
① 工藤 信樹 (KUDO Nobuki)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 30271638  
② 加藤 祐次 (KATO Yuji)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・助教  
研究者番号: 50261582  
③ 北間 正崇 (KITAMA Masataka)  
北海道科学大学・保健医療学部・教授  
研究者番号: 50285516