

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03165

研究課題名（和文）散乱光強度の角度分布情報を活用した生体計測技術の研究

研究課題名（英文）Study on biological measurement technique utilizing angular distribution information of intensity of scattered light

研究代表者

兵頭 政春（Hyodo, Masaharu）

金沢大学・機械工学系・教授

研究者番号：30359088

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000 円

研究成果の概要（和文）：生体内部における光子の散乱吸収シミュレーションにより、角度分解計測法を用いることによって1つのプローブで生体深部における吸収係数変化の識別が可能であることを実証した。また、仮想的ダイポール型空間感度分布を仮定することにより、角度分解プローブの空間感度分布の特徴をほぼ完全に説明できることを明らかにした。さらに、角度分解プローブの空間感度分布を光拡散方程式の解析解を用いて合成できることを示し、時間分解計測に適用した結果、シミュレーション時間の大幅な短縮につながる見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで先行研究例がほとんどなかった散乱光強度の角度分布に着目し、生体内での散乱・吸収特性の変化と散乱光強度の角度分布の関係を明らかにした点において学術的な意義がある。また、現在実用化されている光学的脳活動計測装置（NIRS）は計測装置としての性能限界に達しており、本研究の成果によって被験者への負担が少ない最小限のプローブ数で高精度に脳活動を計測可能な新しい計測装置の開発につながるのと同時に、我が国の技術を発展させて国際的なリーダーシップの獲得につながる意義がある。

研究成果の概要（英文）：It was demonstrated by Monte-Carlo simulation of photon migration in biological tissues, that it is possible to identify the change in absorption coefficient in the deep inside of the biological tissues using the angle-resolved measurement that we proposed for the first time. The characteristics of the angle-resolved probe (ARP) were also completely explained by assuming a virtual dipole probe for its spatial sensitivity distribution (SSD). Furthermore, it was shown that the SSD of the ARP can be synthesized by using the analytical solution of the light diffusion equation, and as a result of applying it to the time-resolved measurement, we obtained the prospect that the simulation time would be significantly reduced.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：生体情報・計測 医用光学 生体活動計測 角度分解計測

1. 研究開始当初の背景

散乱光を用いた生体計測技術の一種である NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) はヒトの脳活動を非侵襲的に計測可能で装置に可搬性があるため、精神疾患などの臨床診断などの分野で実用化が急速に進められており、我が国が世界的にトップレベルの技術力を有する重要な技術でもある。NIRS は、頭皮に送光ファイバと受光ファイバを数センチメートルの間隔を隔てて装着し、送光ファイバから送り出される近赤外光の強度変化を受光ファイバの末端に取り付けられた光計測器で計測する。脳が活動するとその部位の血流量が増加し、その部位を通過する近赤外光が血中ヘモグロビンに吸収されて光強度が減少する。この強度変化を計測することにより、ファイバ間の部位の脳活動をおおまかに推定することができる。しかしながら従来技術での空間分解能は数センチメートル程度に留まり、頭皮血流の分離・除去も困難であった。

近年、この分解能の限界を打ち破るために、高密度拡散光トモグラフィー (High-Density Diffuse Optical Tomography, HD-DOT) が海外の研究グループによって開発され、NIRS によって 1cm 以下の空間分解能で脳活動の計測が可能になった。HD-DOT は計測点数を増やすだけで NIRS の空間分解能が飛躍的に向上することを示した点で評価されているが、この装置は 100 個に近い数のプローブを被験者の頭部に装着する必要があるため、従来の装置に比べて被験者への負担と拘束性が極めて大きく、装置の可搬性も大きく損なわれている。このように現在開発されている NIRS は計測装置としての性能限界に達しており、我が国の技術を発展させて国際的なリーダーシップを得るためには抜本的なブレークスルーが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、これまでほとんど利用されていなかった散乱光強度の角度分布情報を活用することにより、NIRS の空間分解能を向上させつつ脳血流と皮膚血流の分離計測を可能とし、被験者への負担が少ない最小限のプローブ数で高精度に脳活動を計測可能な新しい計測法を提案することを目的とした。従来のプローブが頭皮にほぼ垂直な方向の散乱光だけを計測していたのに対し、本研究の計測法では、頭皮に垂直な方向だけでなく、斜め方向をも見通すことにより、プローブの中間部にあたる部位の情報も得ることが可能となり、少ない数のプローブでも高精度な計測が実現可能になると見込まれる。

3. 研究の方法

筆者らが行ったシミュレーションは、半無限大等方媒質からなる 2 層構造散乱体中のモンテカルロ法による光子移動シミュレーションであり、受光部位に到達する光子の出射角ごとの統計を得るためオープンソースの MCML プログラムを改良してシミュレーションに用いた。上部層と深部層はそれぞれ頭皮および脳組織を含む深部層の光学特性を模したものである。吸収係数 μ_a 以外の光学特性は 2 層に共通とし、 μ_a のみを層ごとに独立に変化させた。プログラムは 10° ごとに区切った出射角 ϕ , θ ごとに受光点に到達した光子の光子ウェイトの総和を記録し、単位立体角当たりの量となるよう規格化してラジアンズ I に換算した。 I に方向単位ベクトルを乗じて立体角 2π 内で積算することにより放射流束ベクトル J を得た。さらに、光子ごとに各層を通過した距離の総和を記録し、光子ウェイトを重みとした平均を層ごとの部分光路長とした。また、散乱体中のセルごとに通過した光子の光子ウェイトを積算し、受光された全光子ウェイトが 1 になるように規格化して空間感度分布を算出した。

4. 研究成果

4.1 不均一吸収識別感度 (IADS)

はじめに角度分解計測によって各層の吸収係数を識別可能であることを検証するため、各層の μ_a を独立に変化させて放射流束ベクトル J の変化をシミュレーションした。この検証では $\mu_a = 0.01 \text{ mm}^{-1}$ を初期状態として μ_a を 0.006 mm^{-1} から 0.014 mm^{-1} まで独立に変化させた。光の照射点と受光点の間の距離 (SD 距離) ρ は 5.8 mm , 上部層の厚さ d は 5 mm とした。得られた J の軌跡を図 1 に示す。 J_z は界面に垂直な成分であり、 J_x は界面に水平な成分である。各プロットはそれぞれ 4.3 億個の光子の追跡結果が使用されており、統計上の不確かさはプロットのサイズよりも十分に小さい。図に示されるように上部層と深部層の μ_a に対応する J の軌跡は傾きが異なる直線を描くことがわかり、 J_z に加

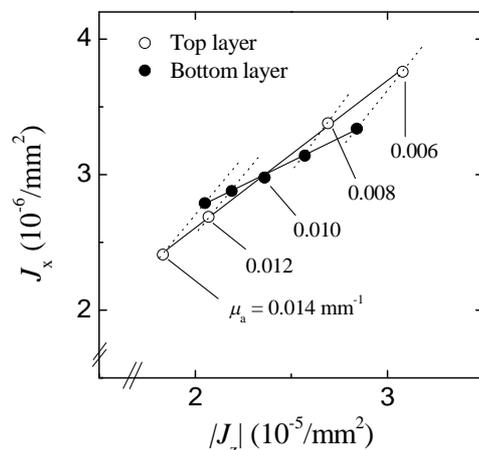


図 1. Typical loci of J_s plotted as functions of independent changes in μ_a .

えて J_x も計測することによって、2 層それぞれの吸収係数の変化を同時に分離して計測可能であることが示された。

次に、不均一な吸収係数変化に対する J の感度を評価するため、不均一吸収識別感度 (IADS) ζ_I を以下の式で定義した：

$$\zeta_I \equiv \left. \frac{\partial(\Delta \mathbf{J})_{J_x}}{\partial(\Delta \mu_{a1} - \Delta \mu_{a2})} \right|_{\Delta \mu_{th}} = 2 \varepsilon_{h1} \varepsilon_{h2} (\hat{\mathbf{i}})_{J_x} = \varepsilon_{h1} \varepsilon_{h2} \frac{\sin \delta}{\cos \theta_1 \cos \theta_2} (\hat{\mathbf{H}})_{J_z} . \quad (1)$$

δ は図 1 の 2 つの線分が交わる角度であり、 θ_i は線分と J_z 軸がなす角度である。 ζ_I の物理的な意味は、2 層の吸収係数の相対的变化に対する J_x の感度であり、 ζ_I が大きいほど 2 層の吸収係数変化を識別しやすいことを意味する。 $\cos \theta_i$ はほぼ 1 であり、 $\varepsilon_{h1} + \varepsilon_{h2} = 1$ であることから、 δ の変化が十分に小さい場合は、 $\varepsilon_{h1} = \varepsilon_{h2} = 1/2$ のときに ζ_I は極大値を取ることが予想される。

実際の測定では真の信号とともに各種のアーティファクトが $|J|$ に比例して出現するため、 $|J|$ 自体は識別感度の有効な指標にならず、相対変化量で比較する必要がある。そこで、 ζ_I を $(J_0)_{J_x}$ に対する相対値として再定義し、

$$\frac{(\Delta \mathbf{J})_{J_x}}{(J_0)_{J_x}} = \zeta (\Delta \mu_{a1} - \Delta \mu_{a2}), \quad \text{with } \Delta \mu_{th} = 0. \quad (2)$$

によって IADS ζ を定義し直した。SD 距離が 15.8mm の場合と 26.3mm の場合において、上部層の厚さ d に対する ζ をシミュレートした結果、いずれの場合も $d = 4\text{--}5$ mm 付近で ζ は極大を示した。この d の値はヒトの頭皮の厚さに匹敵することから、筆者らの方法はヒトの頭皮血流の識別に適していると言える。

4.2 空間感度分布 (SSD)

角度分解計測によって各層の吸収係数識別が可能であることを実証するため、SSD の違いを検証した。図 2(a) と (b) は同一の検出点 ($\rho = 15.8$ mm) に向きが異なるように置かれた 2 つの角度分解プローブに到達した光子の SSD をシミュレートした結果である。前節と同じように相対値で比較する必要があるため、2 つの図は受光点に達した光子の光子ウェイトの総和が等しくなるように規格化してある。図の空間分解能は 0.5 mm である。検出器の直下に出現しているローブ状の高感度領域は、図 2(a) では光源の方向に明瞭に伸びているが、図 2(b) では光源方向への伸展はほとんど認められない。この違いは、検出器に直接入射するバリスティックな光子分布の違いを反映していると考えられる。

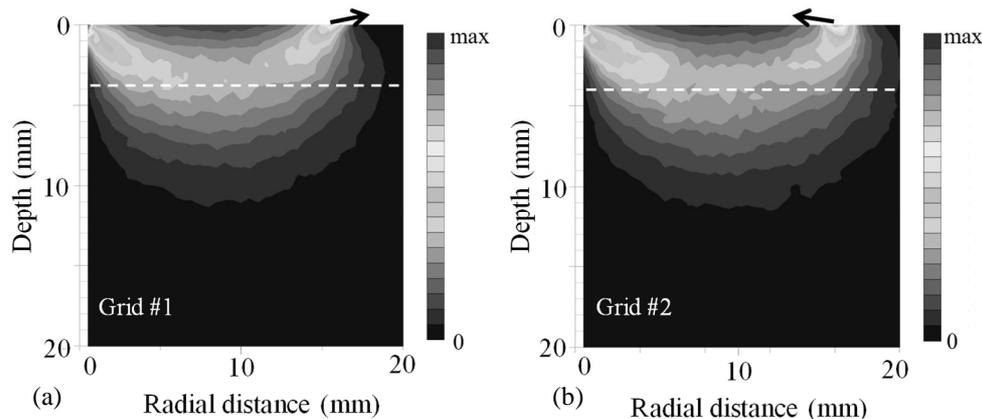


図 2. SSD maps for the two detection grids (a) Grid #1 and (b) Grid #2, obtained for $\rho = 15.8$ mm. The maps are normalized so that the values of the upper-left cells are equal. The broken lines represent the positions of the characteristic thickness of the top layer. The solid arrows roughly indicate the directions of the detection grids. The spatial resolution is 0.5 mm.

2 層それぞれの SSD の総和が互いに等しくなるような上部層の厚さを特性厚と呼ぶことにすれば、図 2(a) と (b) の特性厚はそれぞれ 3.78 ± 0.09 mm, 3.96 ± 0.10 mm である。上部層の下端を図中に白い点線で示した。この特性厚の有意な違いと SSD の広がりや明瞭な違いは、2 層の吸収係数変化に対する感度が検出器の向きによって異なることを示している。つまり、Grid #1 (左図) は Grid #2 (右図) よりも浅い領域の感度がより大きい。さらに、特性厚は ζ が極大となる上部層の厚さとも概ね一致する。同様の結果は $\rho = 26.3$ mm の場合にも認められた。

一般論として、媒質内を拡散する光子の空間密度はおよそ μ_s^{-1} 程度の距離を伝播すれば等方的になり、細かい構造は消失するはずで、角度分解計測によって識別できる領域もこの範囲に

限られると考えられる。しかしながら、図 2 の SSD に見られる形状の違いは明らかに μs^{-1} を大きく上回って広がっている。これは 2 つの検出器の実効的 SD 距離の違いとして説明されることが多いが、実効的 SD 距離の違いだけでは説明できないことを本研究で明らかにした。以下にその詳細を述べる。

4.3 ダイポールによる解釈

角度分解計測の効果をより定量的に評価するため、前節で用いた 2 つの検出器の実効的 SD 距離を一致させた状態で SSD を再評価した。図 3(a)(b)は実効的 SD 距離を一致させた 2 つの検出器の受光点近傍の SSD の拡大図であり、SSD の値が最大値の 90%以上となる領域の重心位置を白い破線で示した。

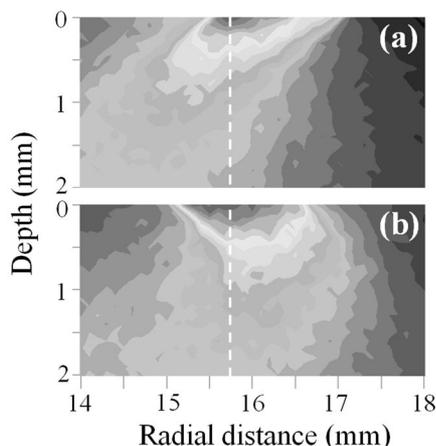


図 3. Enlarged views near detection areas, (a) Grid #1, and (b) Grid #2. The broken line indicates the position of the matched effective S-D distance of 15.7 mm. The spatial resolution is 0.1 mm.

この条件下でシミュレーションをやり直し 2 つの検出器の SSD を比較した結果が図 4(a)(b)である。点線は Grid #1 の SSD であり、実線は Grid #2 の SSD である。図 4(b)の輪郭線はすべて(a)のものよりも右下方向に有意に広がっていることがわかる。両図の実効的 SD 距離は一致させているので、SSD の輪郭線の広がりを実効的 SD 距離の違いだけで説明することはできない。

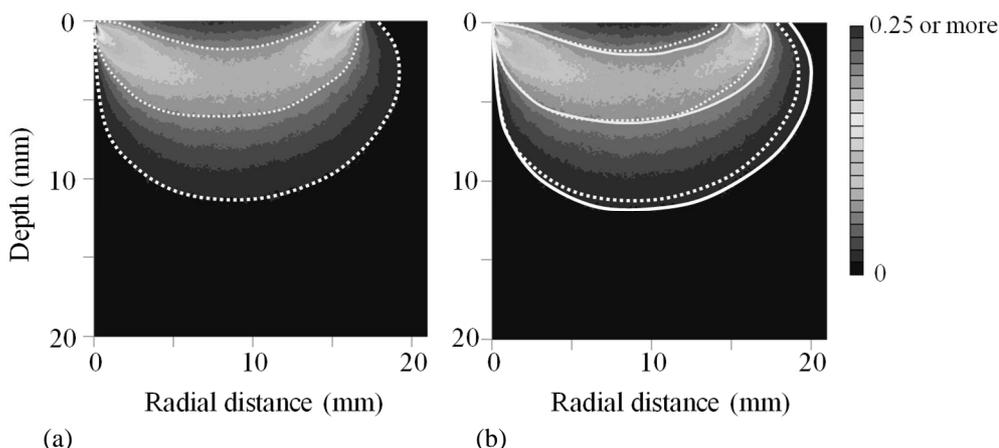


図 4. Normalized SSDs obtained for the two detection grids, (a) Grid #1 and (b) Grid #2, with an identical effective S-D distance of 15.7 mm. The white dotted and solid lines represent the outermost contours, while the yellow dotted and solid lines represent the fifth inner contours of (a) Grid #1 and (b) Grid #2, respectively. They are drawn overlapped in Fig. (b) for the sake of convenient comparison. Photon packets were injected vertically at the origin. The spatial resolution and the color scale are identical to those of Fig. 6.

そこで、図 4(a)(b)の差分をプロットした結果が図 5 である。黒色の破線は、差分値が 0 となる座標を滑らかに結んだ近似境界線である。この境界線より下の領域では差分が正值になっており、輪郭線が広がる領域と整合している。注目すべきことは、検出器の直下にダイポール状の構造が出現していることである。実効的 SD 距離を一致させているので、この構造は SSD の

値が最大値の 90%よりも小さい中間的な感度領域の形状を反映していると考えられる．図 4(a)(b)の SSD の形状の違いは，このダイポール構造を用いて以下のように説明することが可能である：正負のモノポール検出器はそれぞれ固有の SSD を有するが，Grid #2 では最大感度領域の光源側に負のモノポールが生じ，この負のモノポールによって正のモノポールの SSD が右下方向に広がるように変調される．この結果，最大感度領域を一致させても，散乱体深部の SSD の形状に差異が生じる．

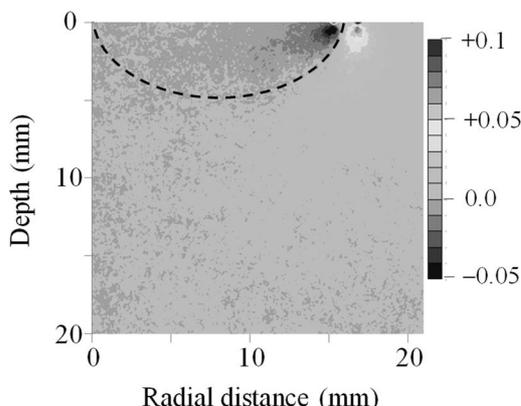


図 5. Differential sensitivity distribution of the two detection grids. In the region of positive values, Grid #2 surpasses Grid #1. The broken line roughly indicates the zero boundary. The effective S-D distance is 15.7 mm for both the grids. The spatial resolution is 0.1 mm.

負のモノポールは仮想的な概念であるが，実際の SSD においては局在して周囲よりも SSD の値が小さい領域として出現する．そこで，負のモノポールの効果を検証するため，図 6(a)のように正のモノポールの光源側に負のモノポールを配置した場合と，負のモノポールを配置しない場合(b)の SSD を比較した．すると，SD 距離は完全に一致しているにもかかわらず，図(a)の SSD の輪郭線の方が有意に右下方向に広がった．この結果から，単に負のモノポールプローブを正のモノポールプローブのすぐ近くに配置するだけで正のモノポールプローブの SSD は右下方向に広がるように変調されることが確認された．

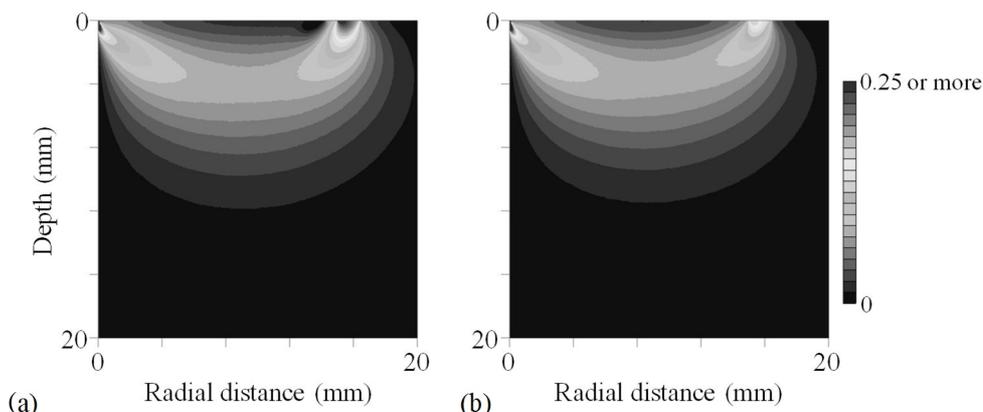


図 6. (a) Synthesized SSD map obtained by superposing SSDs of a positive normal probe located at S-D distance of 15.8 mm and of a negative normal probe located at S-D distance of 13.7 mm with weights of + 1.5 and - 0.5, respectively. (b) SSD map obtained by a positive normal probe alone located at S-D distance of 15.8 mm. The spatial resolution is 0.1 mm.

まとめ

著者らは 2 層からなる生体組織の吸収係数の変化を識別するため，拡散反射光の角度分解計測法を提案した．角度分解計測法の有効性は，IADS と SSD を用いたシミュレーションによって検証した．その結果，上部層の特性厚が検出器の向きによって有意に異なることが確認され，また，検出器の向きによって空間感度分布にも有意な差異が生じることが示された．さらにこの空間感度分布の違いは検出器の実効的 SD 距離の違いだけでは説明できず，中間的な感度領域の形状を反映したダイポール構造を考慮してはじめて説明できることを明らかにした．

筆者らが提案した角度分解計測法を使用すれば，生体組織中の吸収係数変化を識別することが可能であり，将来的により少ない数のプローブで皮膚血流を正確に識別して脳活動を計測する上で有効な手段となる可能性がある．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Iyon Titok Sugiarto, Masayoshi Watanabe, Satoshi Sunada, and Masaharu Hyodo	4. 巻 27
2. 論文標題 Frequency stabilization of dual-mode microchip laser by means of beat frequency stabilization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 98-107
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する
1. 著者名 宮内哲	4. 巻 48
2. 論文標題 脳波黎明期における Loomisの知られざる功績（その3）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 臨床神経生理学	6. 最初と最後の頁 15-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.11422/jscn.48.15	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 宮内哲	4. 巻 48
2. 論文標題 脳波黎明期における Loomisの知られざる功績（その4）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 臨床神経生理学	6. 最初と最後の頁 74-80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.11422/jscn.48.74	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 Osamu Matoba, Satoru Miyauchi, and Shingo Saito	4. 巻 10815
2. 論文標題 Characterization of Angle-Resolved Measurement of Diffuse Reflected Light	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1081501
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2500600	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 Masayoshi Watanabe, Akira Kawakami, Shingo Saito, and Masaaki Adachi	4. 巻 55
2. 論文標題 Characterization of coherence-or-power selectable operation of an external-cavity semiconductor diode laser	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 10204-10210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.55.010204	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 Toshihiko Yamaoki, Hiroaki Hamada, Osamu Matoba	4. 巻 55
2. 論文標題 Experimental Verification of Reconstructed Absorbers Embedded in Scattering Media by Optical Power Ratio Distribution	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 6874-6879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/AO.55.006874	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21件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Iyon Titok Sugiarto, Takahiro Masaki, and Masaharu Hyodo
2. 発表標題 Technique of Digital Control of Laser Oscillation Frequencies by means of Difference Frequency Stabilization of a Microchip Laser
3. 学会等名 the 8th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮内哲
2. 発表標題 ベルガーの夢 - 脳波が脳波になるまで -
3. 学会等名 茨城てんかん懇話会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮内哲
2. 発表標題 fMRIと脳波の同時計測による睡眠と意識の研究
3. 学会等名 日本精神医学史学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮内哲
2. 発表標題 ベルガーの夢 - 脳波が脳波になるまで -
3. 学会等名 日本てんかん学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮内哲
2. 発表標題 ベルガーの夢 - 脳波が脳波になるまで -
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲泊聡, 古田歩, 高橋あおい, 早乙女慶輔, 久保寛之, 堀口浩史, 小出直史, 高橋政代, 中野匡, 宮内哲
2. 発表標題 視覚探索中の眼球運動による視野特性の計測
3. 学会等名 第61回日本産業・労働・交通眼科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaharu Hyodo, Osamu Matoba, Satoru Miyauchi, and Shingo Saito
2. 発表標題 Characterization of Angle-Resolved Measurement of Diffuse Reflected Light
3. 学会等名 SPIE/COS Photonics Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Harukaze, N. Nakatani, X. Quan, K. Nitta, O. Matoba
2. 発表標題 Digital phase conjugation for improving the focused spot in weakly scattering medium for OCT
3. 学会等名 OSA 3D Image Acquisition and Display Technology, Perception and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内哲
2. 発表標題 非侵襲脳活動計測と心理学
3. 学会等名 第66回 岡山心理学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内哲
2. 発表標題 ヒューマン・マルチセンシングと脳科学の応用 - 脳波とfMRIの同時計測 -
3. 学会等名 応用脳科学コンソーシアム ヒューマンマルチセンシングワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兵頭政春, 宮平堅介, 的場修, 齋藤伸吾, 川上彰, 宮内哲
2. 発表標題 拡散反射光の角度分解計測による2層構造強散乱体の吸収係数識別
3. 学会等名 第20回日本光脳機能イメージング学会学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaharu Hyodo, Kensuke Miyahira, Osamu Matoba, Satoru Miyauchi, Shingo Saito, and Akira Kawakami
2. 発表標題 Discrimination of absorption variations in two layered structure by using angular distribution of diffuse reflected light
3. 学会等名 The 12th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR 2017 (国際学会))
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田健吾, 的場修, 齋藤伸吾, 川上彰, 宮内哲, 兵頭政春
2. 発表標題 散乱光強度の角度分布計測による散乱光の空間感度分布の比較
3. 学会等名 応用物理学会北陸・信越支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内哲, 星詳子
2. 発表標題 「光トポグラフィーによる精神疾患鑑別診断 - 有効性の検討 - 」の検討
3. 学会等名 第20回日本光脳機能イメージング学会学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内哲 (シンポジスト)
2. 発表標題 光トポグラフィーの光と影
3. 学会等名 第20回日本光脳機能イメージング学会学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内哲 (指定討論者)
2. 発表標題 脳科学の知見を「個人」や「社会」に活かす～3つの研究例からの検討～
3. 学会等名 日本心理学会第81会大会シンポジウム064 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内哲 (シンポジウム企画者・司会者)
2. 発表標題 心理学でのfNIRSの使い方
3. 学会等名 日本心理学会第81会大会シンポジウム039
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Harukaze, N. Nakatani, K. Nitta, O. Matoba
2. 発表標題 Improvement of OCT Signal using Digital Phase Conjugation in Weakly Phase Distorted Medium
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 Masaharu Hyodo, Akira Kawakami, Shingo Saito, Masayoshi Watanabe, Takahiro Kubo, and Masaaki Adachi
2. 発表標題 Optimization of Power Spectral Density and Polarization Compensation for Coherence-Selectable ECDL
3. 学会等名 The 25th International Semiconductor Laser Conference (ISLC2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宮平堅介, 的場修, 齋藤伸吾, 川上彰, 宮内哲, 兵頭政春
2. 発表標題 強散乱体強散乱体での2層構造各層の吸収係数変化の識別における新手法と従来法の比較
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 (OPJ2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N. Nakatani, O. Matoba, M. Hyodo
2. 発表標題 Evaluation of Reduced Scattering Coefficient of Artificial Scattering Medium with Shifted and Layered Random Void Distributions
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2016 (OPJ2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 宮内哲	4. 発行年 2020年
2. 出版社 岩波書店	5. 総ページ数 138
3. 書名 脳波の発見 - ハンス・ベルガーの夢 -	

1. 著者名 宮内哲, 寒重之(分担執筆)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 359
3. 書名 「脳神経化学 脳はいま化学の言葉でどこまで語れるか」(森泰生, 尾藤晴彦 編)の「第28章 磁気共鳴画像」	

[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
研究分担者	的場 修 (Matoba Osamu) (20282593)	神戸大学・システム情報学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	宮内 哲 (Miyachi Satoru) (80190734)	国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター企画室・嘱託 (82636)	
研究分担者	齋藤 伸吾 (Saito Shingo) (80272532)	国立研究開発法人情報通信研究機構・未来ICT研究所フロンティア創造総合研究室・主任研究員 (82636)	