

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03242

研究課題名(和文)複数波長量子カスケードレーザを用いた無侵襲血糖測定システムの開発

研究課題名(英文) Development of non-invasive blood glucose measurement system using quantum cascade lasers with multiple wavelengths

研究代表者

松浦 祐司 (Matsuura, Yuji)

東北大学・医工学研究科・教授

研究者番号：10241530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：赤外吸収分光法に基づく非侵襲血糖値測定法において、複数の単一波長量子カスケードレーザ(以下QCL)を用いたシステムの開発を行った。まずグルコース分子の吸収波長のひとつである1152cm⁻¹と、吸収が現れない波長1186cm⁻¹の2つの波長を選択した。その後、これらの波長の2つのQCLを用いたシステムを構築して口唇の吸収スペクトルを測定したが、測定値のばらつきを低減するために、プリズム面上における光電力分布の不均一性を解消するように、入射光の広がり角を拡大し、さらに入射角を減少させた。その結果、繰り返し測定時のばらつきが大きく減少し、ヒト血糖値と光学吸収値との間に相関が見られるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、大型の分光装置によって得られる従来の連続的なスペクトルではなく、離散的な複数の波長での吸収値のみから血糖値を導き出す手法を見出した。本研究で光源として使用した量子カスケードレーザは、小型化にはきわめて有利であり、その製造コストは、将来、飛躍的に低減されることが期待できる。そのため、本研究の成果により、今後は小型かつ安価な実用的な無侵襲血糖値測定システムの実現が期待される。非侵襲測定法が確立されれば、簡易なスクリーニングが可能となり、重症化以前にはほぼ症状が現れない早期の糖尿病を検出し、爆発的に増加しつつある患者数の増大を抑制することに貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We developed a system using multiple single wavelength quantum cascade lasers (QCL) for non-invasive blood glucose measurement based on infrared absorption spectroscopy. First, we selected two wavelengths: 1152 cm⁻¹ which is one of the absorption wavelengths of glucose molecule, and 1186 cm⁻¹ which does not show absorption. After that, we constructed a system using two QCLs of these wavelengths and measured the absorption spectrum of the lips. In order to reduce the dispersion of the measured values, we solved the non-uniformity of the optical power distribution on the prism surface. Thus, the divergence angle of the incident light was expanded and the incident angle was further reduced. As a result, the variability during repeated measurements was greatly reduced, and a correlation was observed between human blood glucose level and optical absorption level.

研究分野：医用光工学

キーワード：血糖値測定 赤外分光 量子カスケードレーザ 中空光ファイバ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

血糖値測定法としては、採血によるものが一般的であるが、これは痛みを伴う上、衛生上も慎重な取り扱いが必要である。一方、最近では近赤外分光法を利用した様々な非侵襲血糖値測定器の開発が行われている。しかし、この手法ではグルコースの分子振動に起因する吸収ピークの高調波を扱うため、波長 10 μm 付近の中赤外領域に存在する基本波に比べてピーク強度が非常に微弱である上、複数成分の高調波が複雑に混じり合い、成分の特定が難しいという致命的な欠点を有しており、その測定精度は実用領域には到達していない。

中赤外領域に現れるグルコース吸収の基本波を検出すれば非常に高い精度が期待されるが、中赤外光の人体組織への侵達深さは数ミクロン程度であり、非常に高い感度が必要とされ、これまでは実用化に十分な特性をもつシステムは開発されていない。そこで申請者は、フーリエ変換赤外分光器 (FTIR)、赤外光伝送が可能な中空光ファイバ、そして減衰全反射 (ATR) プリズムを組み合わせたリモート分光システムを開発してきた。このシステムはファイバの導入により角質がほとんど存在しない口腔粘膜を測定することが可能で、図 1 に示すような明瞭なブドウ糖の指紋スペクトルを初めて獲得することに成功した。そしてこのスペクトルから図 2 に示すような較正直線が得られ、精度 $\pm 20\%$ 以内と臨床適用に十分な精度が得られた。

しかし現状のシステムは大型の FTIR 装置を用いたものであり、実用システムの実現には小型化、低コスト化が必須である。また光源として微弱なランプ光を用いているためシステムの S/N 比は低く制限され、液体窒素冷却の高感度検出器を用いても測定時間が 60 秒程度必要であり、S/N 比向上による測定時間短縮および測定精度向上が必要とされていた。

2. 研究の目的

本申請においては、小型かつ低コストな非侵襲血糖値測定システムの実現を目指し、量子カスケードレーザ (以下 QCL) を光源として用いたシステムの開発を行うことを目的とする。これまでは中赤外の広い波長域において測定した吸収スペクトル上に現れるブドウ糖特有の吸収スペクトル形状に基づいて血糖値の特定を行ってきたが、本申請の研究においては、光源を複数の単一波長 QCL に置き換えたシステムの開発を行う。QCL を光源として用いることにより、光源のパワーは 10⁶ 倍に増加し、SN 比が大きく向上し、熱電対や焦電素子といった非冷却の小型かつ低コストな検出器を用いても数秒で測定が可能になることが期待され、システムの実用化への大きなメリットになる。本申請の研究では、次の 3 項目について検討を行った。

(1) 最適波長の選択

想定するシステムは波長の異なる複数の QCL を用いたものであり、まずはヒトを対象に測定した吸収スペクトルから、血糖値に高い相関が得られる波長の組み合わせを選択する。波長数を増加させることにより精度は向上するが、低コスト化のためには波長数を最低限に抑える必要があるため、波長数は 2 から 4 とし、血糖値との相関係数が 0.75 以上を目標とした。

(2) QCL に特化した測定システムの開発

従来のランプ光より高いパワー密度が得られる QCL を用いれば、ファイバの細径化が可能である。そこで細径ファイバに適合した小型 ATR プリズムの導入により反射回数を増大させ高感度化することを試みた。また、QCL 活性層のリッジ導波路をテーパ状に加工することにより、出射ビーム形状を整形し、細径中空光ファイバへの結合効率を向上させることについて検討した。

(3) 複数の QCL を用いたシステム試作とインビボ測定による実証実験

1 において選択した波長を発生する複数の QCL を試作し、それらの光源と 2 で開発したシステムとを組み合わせ、ヒト口唇を対象とした測定によりその有効性を実証するための実験を行った。また粘膜の光学特性に現れる個人差の影響について調査し、それが測定結果に及ぼす影響を調べプリズム形状やアタッチメントの構造へフィードバックした。

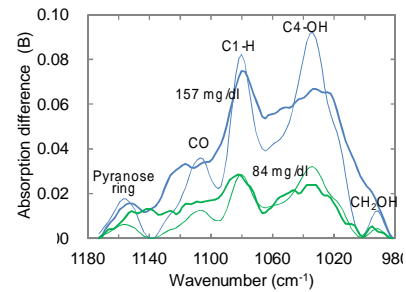


図 1 ヒト口唇で測定したブドウ糖の指

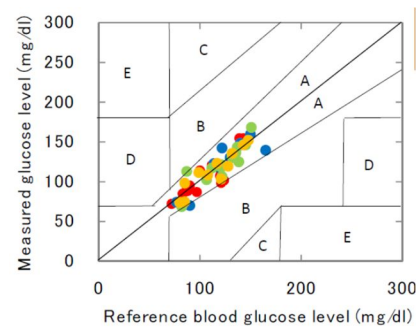


図 2 得られた較正直線

3. 研究の方法

図3に示す単波長 QCL を用いた測定系を構築し、中赤外 ATR 測定を行った。QCL からは、出力 10 mW 程度の連続波が出射され、これを内径 2 mm、長さ 26 cm の中空光ファイバにより、プリズムへと伝送する。中空光ファイバは、母材として柔軟なポリカーボネイトを使用し、キャピラリ内部に銀膜層と、9-10 μm 帯の中赤外光を伝送するのに最適な膜厚の誘電体層を内装している。ATR プリズムは、厚さ 1.6 mm、長さ 24 mm の台形型 ZnS プリズムを用いており、プリズム上面において入射光が 8 回反射する構造となっている。QCL は出力光強度が FT-IR と比較して十分高いため、検出器として、室温動作の InAsSb 半導体検出器を用いた。

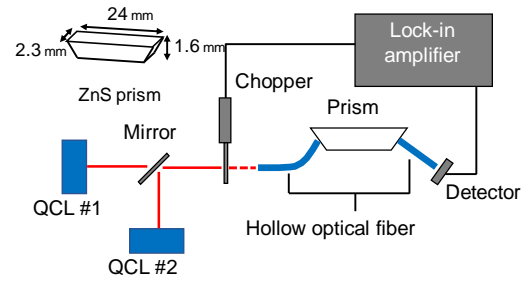


図3 測定系の概要

本システムでは、離散波長の QCL を用いるため、血糖の主成分であるグルコースの吸収を強く反映する波長を選択する必要がある。図4は FT-IR を用いた ATR 分光法により測定した、グルコース吸収域におけるヒト口唇粘膜の吸収スペクトルであり、いくつかグルコース由来の吸収スペクトルが確認される。これらのうち 1155 cm^{-1} 付近のピークはグルコースを構成するピラノース環と呼ばれる六員環の構造に由来するものであり、血糖値との相関が高いことがわかっているため、この付近の波長を QCL の波長として選択することとした。ところで、図4は、ほぼ同時刻においてスペクトルを連続して3回測定した結果を示している。これらのスペクトルは、ほぼ同様の形状であるものの、ベースラインが大きく変動している。この原因は、各測定においてプリズムを口唇で挟む際の、口唇の乾燥状態や体温変化等の影響が考えられる。そこで、グルコースの吸収が存在しない波長の QCL を利用することで、これらの影響を取り除くことを考えた。

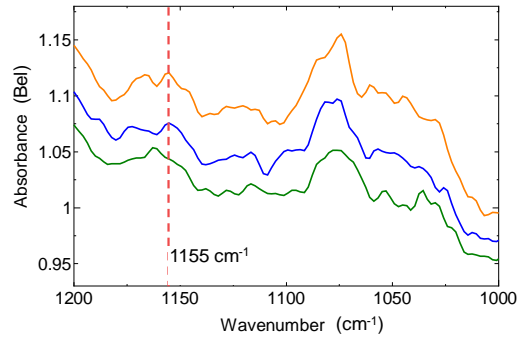


図4 ヒト口唇の吸収スペクトル

図5は FT-IR を用いて、グルコース水溶液（濃度 10 %）の吸収スペクトルを測定した結果である。図より、グルコースの主な吸収域である 1200 cm^{-1} から 1000 cm^{-1} において強い吸収ピークが確認でき、また、1500 cm^{-1} から 1200 cm^{-1} の領域にも緩やかなピークが存在することが分かる。一方、1180 cm^{-1} 付近はこれらのピーク間の谷となっており、この付近にはグルコースの吸収が存在しないことが分かる。すなわち、1180 cm^{-1} 付近の波長を用いることで、生体の測定で生じるベースラインの変化の影響を取り除くことができると考えられる。

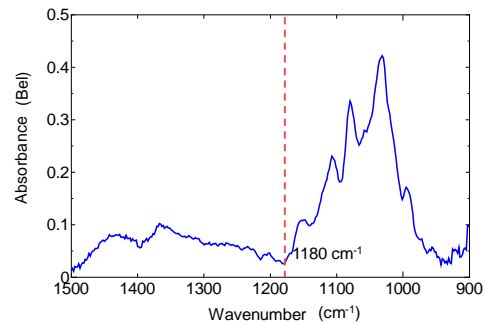


図5 グルコース水溶液の吸収スペクトル

4. 研究成果

上記の 2 波長に近い 1152 cm^{-1} および 1186 cm^{-1} を発生する QCL を用いた測定系により、ヒト口唇の吸収係数を測定し、その差分値の食後の時間変動を測定した。図6は、同一の被験者に対して異なる 2 日間について測定した結果であり、採血により測定した血糖値を相関図としてまとめたものである。光学的な推測値と採血による血糖値との相関係数は $R^2=0.44$ 程度であり、やや誤差は見られるものの 2 波長 QCL による血糖値測定の可能性が示された。

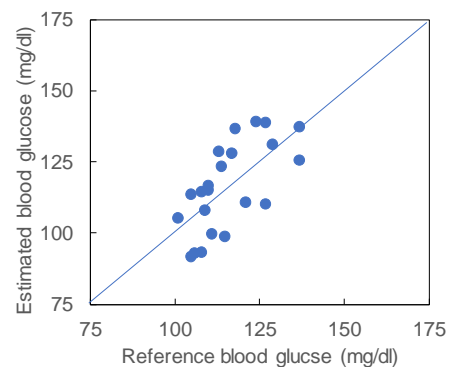


図6 光学測定による血糖推定値と採血による血糖値との相関

上記のシステムではグルコースの吸収ピークの一つに着目して測定波長を選択したが、中赤外領域における吸収スペクトル全体から、線形重回帰解析 (MLR) を用いて非侵襲血糖値測定に適した少数の波数を見つけ、スペクトル情報から安定して血糖値を予測できる優れた血糖値予測モデルを得るための検討を行った。

波数選択に用いる予測モデルの精度を検証する方法として、シリーズクロスバリデーションを用いて波数の選択を行い、予測モデルとしては、データへの過剰適合を避けるため、シンプルな線形重回帰(MLR)モデルを用いた。なお、水による吸収がきわめて大きい中赤外域において、ATR 測定におけるエバネセント場のサンプル内部へのしみ込み深さは、 $10\ \mu\text{m}$ 以下となるため、光は血管までは到達せず、血漿から組織内にしみ出した間質液中の成分を検出している。そのため、血中のグルコース濃度変化に対して、間質液中の濃度変化は10分~30分程度の時間遅れが生じることがわかっている。そこでこの予測モデル検討においても、血中濃度からの時間遅延を一つのパラメータとしてモデル構築に用いている。

図7は波数の数を1~3としてMLRモデルを用いて求めた相関係数を、想定した時間遅延に対してマッピングしたものである。用いたデータは1名の被験者に対して13日間の測定によって得られた131のデータである。2及び3波数に対して、20~30分の時間遅延のときに比較的大きな相関係数が得られ、最大値は3波数、時間遅延26分の時に得られ、相関係数は0.49となった。なお、時間遅延ゼロ付近で相関係数が小さい値をとることから、上記のとおり、血中と間質液中のグルコース濃度には時間遅延が生じることが確認できる。

図8は波数が3つのMLRモデルにおける、各波数が選択された回数のヒストグラムを示す。相関の大きい遅延時間20~30分付近で、 $1050\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1070\ \text{cm}^{-1}$ 、および $1100\ \text{cm}^{-1}$ が適切な波数として選択された。この3つの波数はいずれもグルコースの吸収ピークには一致しない。このことはグルコースそのものを直接検出しているのではなく、代謝によって生成された別の成分が検出されていることを示唆している。また異なる遅延時間において、それぞれ異なる最適波数が選択されているが、これも体内における代謝物質の変化によるものと思われる。

この3波数を用いて構築したMLRモデルを使用して、モデル構築に用いたものとは違うデータセット(被験者5名、のべ18日間、データ数414)に対して出力した予測値と、採血による血糖値の相関図を、血糖値測定器の評価に一般的に用いられるクラークエラーグリッド上に示したのが図9である。相関係数は0.36となり、有意な正の相関が得られた。すべての点が「臨床的測定精度を有する」領域Aおよび、「Aには劣るが測定精度は臨床的に問題ない」領域Bに存在することが確認された。予測の対象となったデータセットは異なる被験者、異なる食事、および異なる測定装置によって得られたものであり、これらのデータに対してキャリブレーションなしに採血による血糖値との間に相関が得られている。このことは、測定条件に依存しない予測モデルを作成出来たことを示している。

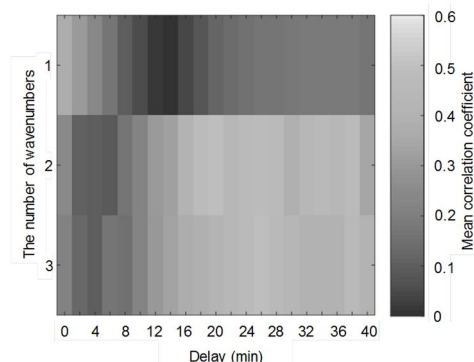


図7 MLRモデルを用いた求めた相関係数マッピング

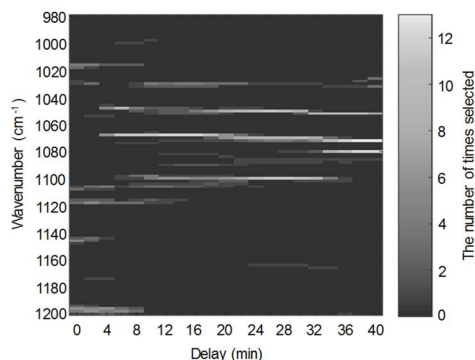


図8 異なる遅延時間において選択された波数ヒストグラム

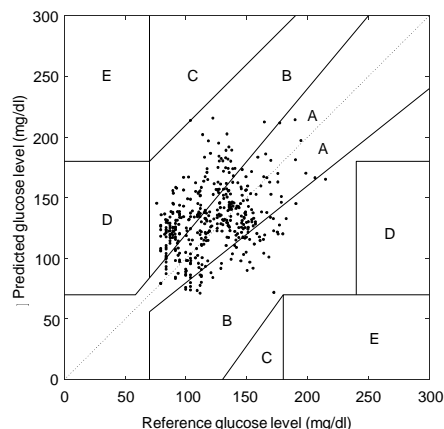


図9 MLRモデルを用いて得られたクラークエラーグリッド

このことは、測定条件に依存しない予測モデルを作成出来たことを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Katagiri Takashi, Shibayama Kyosuke, Iida Takeru, Matsuura Yuji	4. 巻 18
2. 論文標題 Infrared Hollow Optical Fiber Probe for Localized Carbon Dioxide Measurement in Respiratory Tracts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 995～995
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s18040995	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 Koyama Takuya, Kakino Satoko, Matsuura Yuji	4. 巻 8
2. 論文標題 A Feasibility Study of Photoacoustic Detection of Hidden Dental Caries Using a Fiber-Based Imaging System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 621～621
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app8040621	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 Iwai Katsumasa, Takaku Hiroyuki, Miyagi Mitsunobu, Shi Yi-Wei, Matsuura Yuji	4. 巻 6
2. 論文標題 Fabrication of Shatter-Proof Metal Hollow-Core Optical Fibers for Endoscopic Mid-Infrared Laser Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fibers	6. 最初と最後の頁 24～24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/fib6020024	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 Katagiri Takashi, Suzuki Takahiro, Matsuura Yuji	4. 巻 57
2. 論文標題 Time-domain terahertz gas spectroscopy using hollow-optical-fiber gas cell	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.OE.57.5.054104	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 Yoshioka Kiriko, Koyama Takuya, Kino Saiko, Matsuura Yuji	4. 巻 39
2. 論文標題 Non-Invasive Blood Glucose Measurement Using Quantum Cascade Lasers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nippon Laser Igakkaishi	6. 最初と最後の頁 105 ~ 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2530/jslsm.jslsm-39_0018	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 Kasahara Ryosuke, Kino Saiko, Soyama Shunsuke, Matsuura Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Unsupervised calibration for noninvasive glucose-monitoring devices using mid-infrared spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Innovative Optical Health Sciences	6. 最初と最後の頁 1850038 ~ 1850038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1793545818500384	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 松浦祐司, 小山卓耶	4. 巻 29
2. 論文標題 中赤外光を用いた診断・ヘルスケアモニタリング	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 36-40
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 無
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 木野彩子, 小川貴大, 曾山俊輔, 松浦祐司	4. 巻 47
2. 論文標題 中赤外分光法による全血中のグルコース濃度計測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 169-172
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 -

1. 著者名 A. Seki, K. Iwai, T. Katagiri, Y. Matsuura	4. 巻 10
2. 論文標題 Sensitivity improvement of optical fiber acoustic probe for all-optical photoacoustic imaging system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 072503-072503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.072503	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 T. Katagiri, K. Yaegashi, Y. Matsuura	4. 巻 56
2. 論文標題 Sensitivity improvement of midinfrared gas sensing system using single-wavelength quantum cascade laser and hollow-waveguide gas cell	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Opt. Eng.	6. 最初と最後の頁 080503-080503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.OE.56.8.080503	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 R. Kasahara, S. Kino, S. Soyama, Y. Matsuura	4. 巻 9
2. 論文標題 Noninvasive glucose monitoring using mid-infrared absorption spectroscopy based on a few wavenumbers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Biomed. Opt. Express	6. 最初と最後の頁 289-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/BOE.9.000289	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 松浦祐司	4. 巻 39
2. 論文標題 中赤外光を用いたヘルスケア機器開発 - 非侵襲血糖測定システムの現状とこれから -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 OplusE	6. 最初と最後の頁 1060-1064
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 -

1. 著者名 松浦祐司	4. 巻 87
2. 論文標題 中空光ファイバを用いた中赤外分光システムによる非侵襲血糖値測定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 171-174
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 -

1. 著者名 T. Katagiri, K. Shibayama, T. Iida, Y. Matsuura	4. 巻 18
2. 論文標題 Infrared hollow optical fiber probe for localized carbon dioxide measurement in respiratory tracts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 995-1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s18040995	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 Koyama Takuya, Kino Saiko, Matsuura Yuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Accuracy Improvement of Blood Glucose Measurement System Using Quantum Cascade Lasers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics and Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 155 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/opj.2019.910014	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 松浦 祐司	4. 巻 32
2. 論文標題 赤外光を用いた診断・ヘルスケアモニタリング：非侵襲血糖値測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本口腔インプラント学会誌	6. 最初と最後の頁 205 ~ 209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11237/jsoi.32.205	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 松浦祐司	4. 巻 39
2. 論文標題 中空光ファイバを用いた赤外分光測定 無侵襲血糖値測定システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 機能材料	6. 最初と最後の頁 39-45
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 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 T. Koyama, S. Kino, Y. Matsuura
2. 発表標題 Non-invasive measurement of blood glucose by attenuated total reflection spectroscopy with fixed-wavelength quantum cascade lasers
3. 学会等名 Biomedical Imaging and Optical Sensing Conference (BISC) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Shibata, S. Kino, N. Akikusa, A. Sugiyama, Y. Matsuura
2. 発表標題 Non-invasive blood glucose measurement by using fast swept-wavelength quantum cascade laser
3. 学会等名 Biomedical Imaging and Optical Sensing Conference (BISC) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sugawara, Y. Matsuura
2. 発表標題 Measurement of oral mucosa moisture without touching it using near-infrared
3. 学会等名 Biomedical Imaging and Optical Sensing Conference (BISC) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kubota, T. Katagiri, Y. Matsuura
2 . 発表標題 All-fiber imaging system for ultra-thin flexible endoscope based on compressed image reconstruction
3 . 学会等名 Micro Optics Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Okubo, T. Katagiri, Y. Matsuura
2 . 発表標題 Compact fluorescence endoscope with speckle-generating fiber probe
3 . 学会等名 Micro Optics Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Matsuura
2 . 発表標題 Hollow optical fibers for laser applications
3 . 学会等名 2019 International Conference on Laser Interaction with Material and Applied Laser Technology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. Shi, X. Zhu, Y. Matsuura
2 . 発表標題 Transmission properties of dielectric-coated hollow optical fibers based on Ni-Ti tube
3 . 学会等名 SPIE Conference on Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics XX (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 松浦 祐司, 吉岡 希利子, 木野 彩子
2. 発表標題 中赤外光を用いた非侵襲血糖値センシング ヘルスケア機器の開発に向けて
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原 崇弘, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 中赤外バイオセンシングに向けた導波路デバイスの検討
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田 諒介, 片桐 崇史, 松浦 祐司
2. 発表標題 時間領域分光法を用いた誘電体内装テラヘルツ中空光ファイバの損失および伝搬モード特性評価
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦 祐司
2. 発表標題 赤外分光法による診断・ヘルスケアモニタリング 非侵襲血糖値測定などー
3. 学会等名 第48回日本口腔インプラント学会学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山 卓耶, 吉岡 希利子, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 固定波長量子カスケードレーザを用いた無侵襲血糖値測定
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田 尚登, 木野 彩子, 杉山 厚志, 秋草 直大, 松浦 祐司
2. 発表標題 波長掃引型パルス量子カスケードレーザを用いた非侵襲血糖値測定
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川 貴大, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 中赤外ATR分光法による血中中性脂肪の代謝モニタリングの試み
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原 崇弘, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 中赤外バイオセンシング用光導波路型デバイスの高感度化
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田 尚登, 木野 彩子, 杉山 厚志, 秋草 直大, 松浦 祐司
2. 発表標題 波長掃引量子カスケードレーザを用いた血糖測定システムの測定精度向上の検討
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾山 俊輔, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 耳たぶを対象とした中赤外分光法による血糖値測定
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小山 卓耶, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 量子カスケードレーザを用いた非侵襲血糖値測定システム プリズムへの光入射法改善による測定精度の向上
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 T. Koyama, S. Kino, Y. Matsuura
2. 発表標題 Non-invasive blood glucose measurement using fixed-wavelength quantum cascade lasers
3. 学会等名 SPIE Conference on Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XIX (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Iwai, Y. Sasaki, H. Takaku, M. Miyagi, Y. Shi, X.Zhu, Y. Matsuura
2 . 発表標題 Fabrication of 75-um-bore hollow optical fibers for infrared transmission
3 . 学会等名 SPIE Conference on Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XIX (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Matsuura, T. Koyama
2 . 発表標題 Non-invasive blood glucose measurement using quantum cascade lasers
3 . 学会等名 SPIE Conference on Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics XVI (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Suzuki, T. Katagiri, Y. Matsuura
2 . 発表標題 Fabrication of terahertz hollow-optical fiber with inner dielectric layer
3 . 学会等名 Advanced Lasers and Photon Sources, ALPS ' 17 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K.Yoshioka, S. Kino, Y. Matsuura
2 . 発表標題 Noninvasive measurement of blood glucose level using mid-infrared quantum cascade lasers
3 . 学会等名 Biomedical Imaging and Optical Sensing Conference (BISC) 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Matsuura
2. 発表標題 Non-invasive measurement of blood glucose by using mid-infrared light
3. 学会等名 2017 International Advanced Laser Application Summit Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Suzuki, T. Katagiri, Y. Matsuura
2. 発表標題 Terahertz gas sensing based on time-domain-spectroscopy using a hollow optical fiber gas cell
3. 学会等名 SPIE Conference on Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XVIII (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Yoshioka, S. Kino, Y. Matsuura
2. 発表標題 Blood glucose measurement with multiple quantum cascade lasers using hollow optical fiber-based ATR spectroscopy
3. 学会等名 SPIE Conference on Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XVIII (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川 貴大, 木野 彩子, 松浦 祐司, 松浦 祐司
2. 発表標題 中赤外ATR分光法による全血の血糖値測定を試み
3. 学会等名 平成29年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 曾山 俊輔, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 耳たぶを対象とした赤外ATR法による非侵襲血糖値測定
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松浦 祐司
2. 発表標題 中赤外ATR分光法による非侵襲血糖値測定
3. 学会等名 日本分析化学会第66年会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉岡 希利子, 木野 彩子, 松浦 祐司
2. 発表標題 量子カスケードレーザを用いた無侵襲血糖値測定システムの開発
3. 学会等名 第38回日本レーザー医学会総会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松浦祐司	4. 発行年 2017年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 12
3. 書名 生体情報センシングとヘルスケアへの最新応用	

〔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	片桐 崇史 (Katagiri Takashi) (90415125)	富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授 (13201)	
研究分担者	木野 彩子 (Kino Saiko) (30536082)	東北大学・医工学研究科・学術研究員 (11301)	