

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：34441

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K01597

研究課題名（和文）非接触計測型IoTセンサモジュールを用いた日常場面でのストレス評価システムの開発

研究課題名（英文）Development of a stress assessment system in daily situations using non-contact IoT sensor module

研究代表者

五十嵐 朗（Ikarashi, Akira）

藍野大学・医療保健学部・教授

研究者番号：10570632

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：目まぐるしく変化する社会構造の中、多くの人々が高ストレスに曝されることとなり、循環器系疾患や精神疾患の発症増加が大きな社会問題となっている。本研究では、ストレス評価票のような主観的な側面だけでなく、自律神経調節機能などの生理学的な側面を組み合わせた評価手法を用いて日常生活下でのストレス評価を行うシステムの開発を行った。その結果、RGBカラー画像を利用した非接触血流計測法でストレス評価が可能で、小型6軸センサモジュールを用いることで容易に呼吸計測が可能で、長期間の時系列データに対して、深層学習を利用した予測を行うには、外気温などの外部環境の影響を考慮する必要があることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により被検者に与える負荷を最小限に抑えたRGBカラー画像を用いた非接触計測法で体表面の血流情報を継続的に収集することが可能であることが示された。また、体表面に装着したが小型6軸センサモジュールの出力から簡便に呼吸波形の計測が可能であることを確認した。さらにこれらの研究成果を用いることで心電計や脳波計などの医療機器が整った医療機関ではなく、日常生活下において自律神経機能の評価を行うことが可能になると期待できる。

研究成果の概要（英文）：High stress has become a serious problem in our society, adversely affecting cardiovascular and mental health. To address this, we have developed a stress assessment system that combines subjective and physiological stress assessment. Our research has demonstrated the effectiveness of a non-contact blood flow measurement method and developed a stress-free respiration measurement technique using a 6-axis sensor module. We also highlighted the importance of considering external factors such as ambient temperature when applying deep learning to long-term time series prediction. These advances make significant contributions to the field of stress assessment and provide useful insights for stress management in everyday life.

研究分野：生体医工学

キーワード：非接触計測 脈波 呼吸波形 自律神経調節機能 ストレッチチェック IoTセンサ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1 . 研究開始当初の背景

平成 27 年 12 月より職場における高ストレス者の早期発見・早期対応のためにストレスチェック制度が施行されている[1]。ストレスチェックの方法は、一般的には厚生労働省が示している職業性簡易ストレス調査票を用いて行われている[2]。また、過度のストレスを長期間に渡って受け続けると、自律神経系や副腎皮質ホルモンなどの内分泌系に変調をきたすことが明らかになっている。したがって、ストレス評価は調査票のような主観的な側面だけでなく、自律神経調節機能などの生理的側面を加えて総合的に判断することで評価精度が向上する。しかし、オフィス内のような日常生活下で自律神経調節機能を評価する手法は確立されていない。

生体信号の中で脈波は非侵襲かつ長時間測定でき、脈拍数変動解析から自律神経機能の評価を行える重要な生体情報の一つである[3]。しかし、脈波は温湿度などの環境条件や測定時の身体的・精神的な状態などの測定条件に大きく影響を受ける。したがって、脈波を用いて自律神経の状態を正確に把握するためには、周囲の環境条件の把握とともに可能な限り被検者に負担を与えない簡便な計測手法が望まれる。一方、広帯域ネットワークと大容量クラウドの普及、ビッグデータの高速処理技術の進展により、多様なモノ(Things)をインターネットに直接接続する技術(Internet of Things: IoT)が急速に発展してきた。センサを IoT 化することで、離れた場所の環境や状況などをリアルタイムでサーバ上に蓄積できるようになった。多種多様な情報から機械学習によりデータの特性を推測することで、これまで見過ごされていた情報を抽出することが可能になってきている。そこで、IoT 化されたセンサで簡便かつ被検者に負担をかけずに非接触で脈拍数、呼吸数などの生体情報と温湿度や照度などの環境条件を同時測定できれば、オフィス内での自律神経調節機能の評価が可能となり、ストレスチェックの診断精度の向上につながると思われる。

2 . 研究の目的

上記のような社会背景を受けて、本研究では RGB カラー画像を用いた非接触計測で得られる生体情報(脈拍数および呼吸数)と温湿度や照度などの環境条件を複合センシング可能な「非接触計測型 IoT センサモジュール」の開発を目指している。また、非接触計測型 IoT センサモジュールをクラウドサーバに接続し、生体情報と環境条件をクラウドサーバに保存することで、異種の計測情報を統合した多面的な解析処理を行う「ストレス評価システムの開発」を目的とした。

3 . 研究の方法

上記の目的を実現するために、RGB カラー画像を用いた非接触生体計測技術の開発、6 軸センサモジュールを用いた呼吸計測技術の開発、長期間時系列データに深層学習を用いた時系列データ予測を試みた。なお、全ての実験は藍野大学研究倫理委員会の承認を経て行った。また、被験者には実験に先立ち本研究の目的を十分説明し、実験終了後には本実験で得られた結果を希望に応じて通知する旨を伝え、実験参加の承諾を書面にて得た。

(1) RGB カラー画像を用いた非接触生体計測技術の開発

実験に用いたシステムは RGB カメラを内蔵した Kinect™ for Windows v2(Kinect センサ)、光電容積脈波計、レコーダ、凡用のパーソナルコンピュータにより構成される。被験者は健康成人 4 名(年齢：21 ~ 23 歳、身長：165 ~ 170cm、体重：50 ~ 60kg)で、Kinect センサを被験者の顔全体が撮影できる位置に設置し、Kinect センサの画像から抽出した波形と比較検討するために光センサを左手第 2 指指尖部に装着し、脈波の測定を行った。また、ストレス負荷時の変化を確認するために安静状態(座位)で 5 分間測定、ストレスを与えた状態(座位)で 5 分間測定、再び安静状態(座位)で 5 分間の測定を行った。なお、ストレス負荷としては冷水に片手を浸す寒冷昇圧課題を課した。Kinect センサによる画像は被験者ごとに RGB カラー画像(各色は 256 階調)を 30fps の AVI 形式で凡用のパーソナルコンピュータに取り込んだ。また、光電容積脈波については量子化 16bit、サンプリング周波数 100Hz の条件でレコーダに介してパーソナルコンピュータに取り込んだ。取り込んだ AVI 形式の動画から 1 フレーム毎の RGB カラー画像を静止画として保存し、脈波抽出処理を行った。なお、Kinect センサの画像取得・脈波抽出には、信号処理ソフト(MATLAB R2021b)を用いた計測プログラムにて行った。

当初は、固定された ROI (Region of Interest : ROI) 領域に対して脈波成分の抽出を行っていたが、輝度差分の変化部のみに着目することで、以下の手順で脈波成分の抽出を行った。

1. 取得した顔全体のカラー画像から、各画素に格納されている RGB の輝度データを抽出する。
2. 抽出した各 RGB 輝度データの、R 成分と G 成分とで差分をとる。
3. 輝度差分データに対してしきい値を設け 2 値化処理を行い、しきい値(Threshold)を超える輝度差分を 1 (白)、それ以外を 0 (黒) とする。
4. 2 値化処理によって出力された画像から、白い部分の面積すなわち輝度差分が大きい部分の総面積(ROI area)を算出する。なお、面積が小さい孤立している部分はノイズ成分として削除する処理を行った。

5.1 フレーム毎に上記処理を繰り返し、時系列データを作成する。

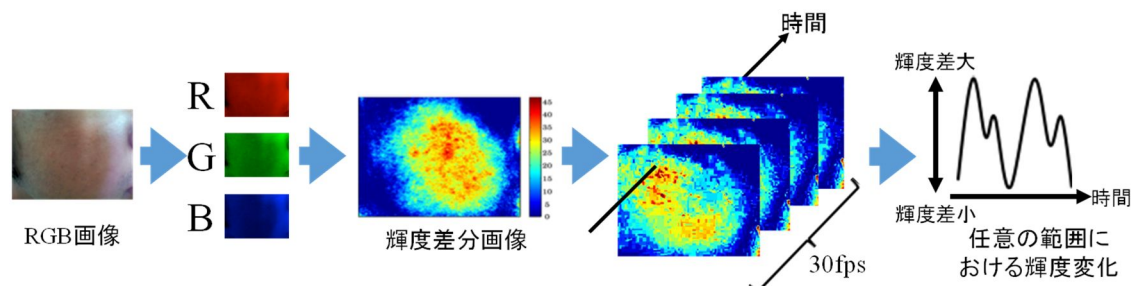


図1 時系列データの作成方法 f

2 値化処理を用いることで輝度差分の変化が大きい領域のみを選択的に抽出可能であると期待できる。また、抽出範囲の自動認識を見据えた場合においても 2 値化処理が有利であると考えられる。ただし、設定するしきい値によって ROI area が大きく変動することになるため、脈波成分を感度良く抽出するための至適なしきい値についての検討も行った。

(2) 6 軸センサモジュールを用いた呼吸計測技術の開発

苗村らの先行研究より、呼吸に伴う胸郭運動がジャイロセンサで計測可能なことが報告されている[4]。また、ジャイロセンサをマトリックス状に配置して体表面の変位の分布を計測した結果、胸式呼吸時は鎖骨下近傍の角度変化が大きく、腹式呼吸時は腹部での角度変化が大きくなる傾向にあることが確認できた。そこで鎖骨下近傍に 6 軸 (3 軸加速度, 3 軸ジャイロセンサ) センサモジュールを装着することで、呼吸運動に伴う体表面の変位を計測することを試みた。ノイズ成分によるドリフトを補正するために、ジャイロセンサで検出した角速度と加速度センサの出力にカルマンフィルタを適用し、その出力結果を体表面変位とした。また、センサは前額部が X 軸、矢状面が Y 軸になるように装着し、軸の向きは図 3 に示したように矢状面および前額面ともに矢印の方向の回転を正とした。なお、Z 軸方向のデータは今回の研究では使用していない。被験者は健康成人男性 2 名 (年齢: 21~23 歳, 身長: 165~170cm, 体重: 55~65kg) で、体表面でのジャイロセンサ及び加速度センサによる計測部と衣服にジャイロセンサ及び加速度センサを取り付けた計測部で構成される。ジャイロセンサ及び加速度センサによる計測部は、6 軸センサモジュール (GY521), Arduino UnoR3, 汎用のパーソナルコンピュータにより構成される。また、6 軸センサモジュールからのデジタルデータの読み出しは、サンプリング周波数 125Hz, 量子化 8bit で行った。なお、衣服は身体に密着する肌着を用いた。実験は室内で安静状態の座位、鼻呼吸の状態で行った。また、6 軸センサモジュールの装着位置は、胸式呼吸鎖骨下近傍での変化が大きいこと、呼吸停止時に心拍による体表面の実変位を観察可能な位置として心臓付近である図 3 に示した位置に装着した。

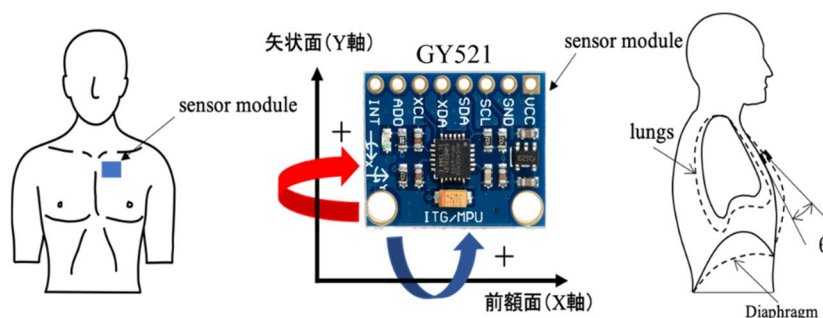


図2 6 軸センサモジュールの装着位置およびセンサ軸方向

(3) 長期間時系列データに深層学習を用いた時系列データ予測

市販の行動記録計 (POLAR UNITE) を用いて、日常生活下で行動範囲や行動内容は制限せず、装着困難時以外は行動記録計を装着して、瞬時脈拍数の長期間連続計測を行った。なお、入浴時に行動記録計の充電及び記録データの同期を行い、クラウドサーバ上にデータ蓄積を行った。被験者は健康成人女性 1 名 (年齢: 21 歳) で、記録中の活動をメモに記録し、当日の行動が把握できるようにした。記録期間は 2021 年 5 月下旬から 2021 年 10 月下旬までの 145 日間である。瞬時心拍間隔 (RRI) の時系列データを利用する時間領域解析には、meanNN (RRI の平均値), SDNN (RRI の標準偏差), RMSSD (隣接する RRI の差の 2 乗平方根) などがある。一方で瞬時脈拍間隔 (PPI) は、不整脈が生じなければ、RRI と同じ値となることから、本研究ではこれらの前述の手法を PPI の時系列データに対して適用した。また、時系列データの将来予測を再帰型ニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network: RNN) の一種である LSTM (Long short-Term Memory: 長短期記憶) ネットワークを用いて試みた。

4. 研究成果

(1) RGB カラー画像を用いた非接触生体計測技術の開発

2 値化処理を行うための至適なしきい値の検討を行うために、しきい値を細かく変化させながら ROI area を計算した結果を図 3 に示す。しきい値を上げると共に ROI area 小さくなるが、0.330~0.345 の間では ROI area の変化量は小さくなり、0.345 以降は ROI area が大きく減衰することが分かった。図 4 にしきい値と脈波成分の振幅の関係を示す。脈波成分の振幅は、しきい値が 0.36 程度まではほぼ一定値であるが、それ以降は大きく減衰することが確認された。したがって、しきい値を 0.330~0.345 の間に設定することで個人差による影響を減らすことができると考えられる。また、呼吸性的変動に思われる低周波成分の抽出を考慮すると 0.345 にしきい値を設定することが最も良いと考えられる。

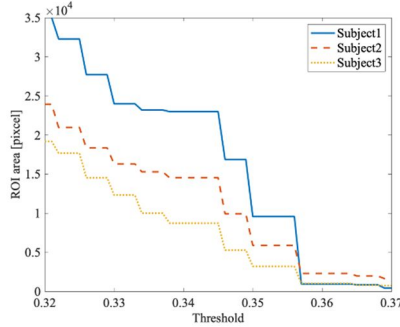


図 3 しきい値と ROI area の関係

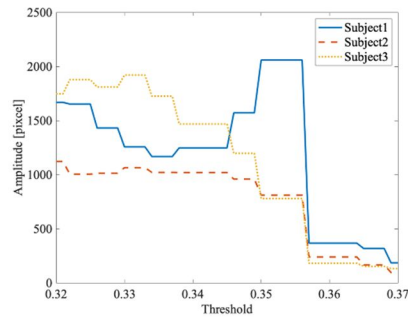


図 4 しきい値と振幅の関係

ストレス負荷による抽出脈波成分の変化については、非侵襲的に計測可能なストレス指標の一つである基準化脈波容積 (normalized pulse volume : NPV) [5] との比較を行った。Kinect センサより得られた画像から抽出した脈波成分の平均値と左手第 2 指指尖部から得られた NPV の値を比較した。図 5 に被験者 A の変化を示す。輝度差分面積の平均値、NPV ともストレス負荷を行うと低下し、安静時に元のレベルに回復した。群間の比較を行ったところ、Kinect センサより得られた画像から抽出した脈波成分と左手第 2 指指尖部から得られた NPV は安静時とストレス負荷時においてどちらも有意な差が確認できた。また、図 6 に被験者 B の変化を示す。ストレス負荷を行うと NPV は低下したが、輝度差分面積は上昇した。原因としては、頬部の輝度差分の抽出が上手くできなかったため、被験者 A と比較し輝度差分面積の値も低く、血流の変化が反映できず、鼻側部の顔面動脈の影響が有意であると考えられる。したがって、輝度差分面積の変化パターンには個人差があると考えられるので症例数を増やし、頬部の変化が有意でない場合の評価指標を検討する必要があると考えられる。

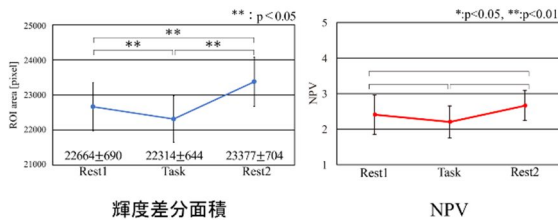


図 5 被験者 A

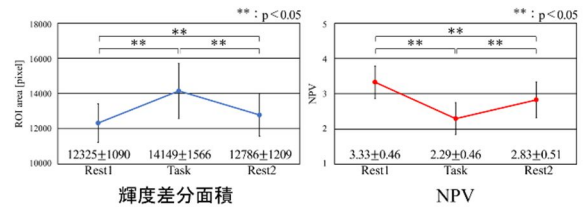


図 6 被験者 B

(2) 6 軸センサモジュールを用いた呼吸計測技術の開発

図 7 に安静時の座位での安定している 20 秒間の出力の測定結果の一例を示す。上段がセンサ出力の X 軸、下段がセンサ出力の Y 軸である。なお、吸気時に X 軸は正の値をとり、Y 軸は負の値になるようにグラフを作成した。安静時の測定結果から Y 軸よりも X 軸の方が振幅の変化が大きく、X 軸と Y 軸には位相のずれが生じていた。これらは呼吸を行った際の胸郭の動きが

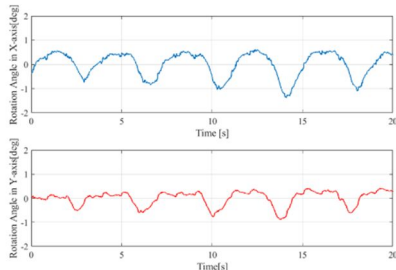


図 7 安静座位でのセンサ出力

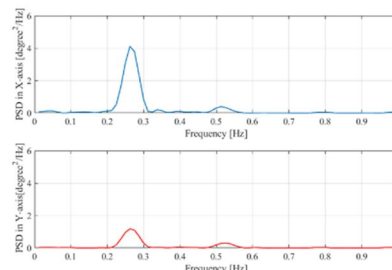


図 8 周波数解析結果

矢上面よりも前額面の方が先に動き、動きそのものも大きいことにより生じたと考えられる。図 8 に図 7 の安静座位のデータを周波数解析した結果を示す。上段がセンサ出力の X 軸、下段がセンサ出力の Y 軸である。0.25Hz 付近にピークが見られ、X 軸の方が Y 軸よりもパワースペク

トル密度 (Power Spectral Density: PSD) の値が大きくなった。0.25Hz 付近のピークは、安静時では被験者の呼吸数 (16 回/分) と一致した。また、PSD 値の比較から胸郭の動きが矢状面よりも前額面の方が大きいことが確認できた。以上の結果より、6 軸センサモジュールを用いて、呼吸数を簡便に測定することが可能なことが示唆された。

(3) 長期間時系列データに深層学習を用いた時系列データ予測

クラウド上に保存されたデータをもとに計測期間全体の PPI の SDNN をグラフ化したが、変動は小さく、その変動パターンには規則性は見られなかった。そこで脈拍間隔が安定している睡眠時のデータを除いた PPI の平均値と最頻値の時系列データを求めた。図 9 に示すように平均値と最頻値の差は少なくなり、1 週間単位の変動パターンがみられ、分布は正規分布に近いものになった。また、生活リズムが通常と異なる期間 (臨床実習期間) では、平均値と最頻値の毎日の変動がそれ以外の期間に比べ小さかった。一方、通常的生活リズムでは週末に平均値と最頻値の PPI が下がる傾向が確認できた。したがって、PPI の時系列変化により日常生活下での生活リズムを確認できると思われる。

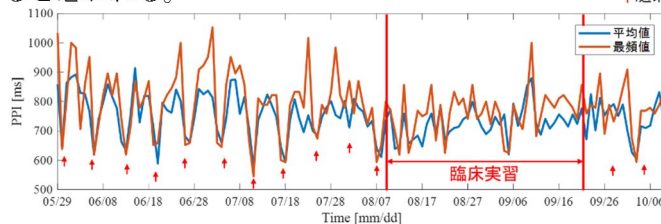


図 9 PPI(脈拍間隔)の平均値と最頻値の時系列変化の比較 (睡眠時を除く)

次に測定した全期間の PPI の平均値データから、LSTM ネットワークを用いて、全期間の最初の 90% で学習を行い、残りの 10% の期間の平均値データの予測を行った。図 10 に PPI と予測値、図 11 に予測した期間の実測値と予測値を示す。その結果、おおむね同様な変化を示したが最後の 3 日間は実測値と予測値に大きな差が見られた。行動パターンは直前のデータと大きな差は見られなかったことから、他の外的要因について調査したところ、外気温に直前のデータとの違いが見られた。実験終了時の 4 日前から 1 日の平均気温が急激に低下しており、特に終了前の 3 日間は屋外での活動が多く含まれており、外気温の影響により予測値との間に差が生じたものと考えられる。このように、長期間データを用いることで、未来予測が可能になれば、体調変化の予測ができ、循環器疾患の予防に向けた健康管理に利用できるものと考えられる。

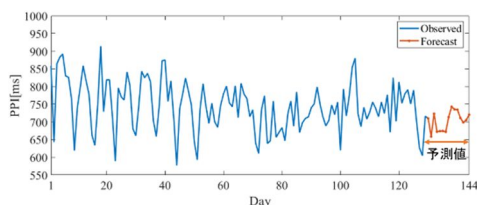


図 10 全期間での PPI の平均データ

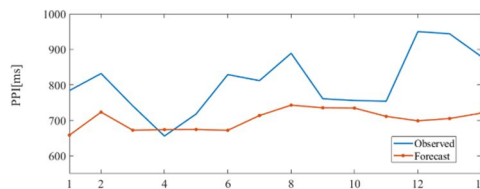


図 11 PPI の実測値と予測値

< 引用文献 >

- [1] 厚生労働省：改正労働安全衛生法に基づくストレスチェック制度について。
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei12/pdf/150422-1.pdf>
- [2] 下光輝一他：厚生労働省科学研究費補助金労働衛生総合研究 職業性ストレス簡易調査票を用いたストレスの現状把握のためのマニュアル。
<http://www.tmu-ph.ac.jp/topics/pdf/manual2.pdf>
- [3] 後閑大、加藤実：脈波を用いた自律神経機能検査機器。ペインクリニック, 30, pp.36-42, 2009.
- [4] 苗村潔、古田拓也、尾崎徹、保坂寛、板生清：装着者のヘルスケアに有用なウェアラブル生体情報通信システムの研究。日本機械学会[No. 99-9] ロボティクス・メカトロニクス講演会 '99 講義論文集 2P2-38-038 (2)。1999.
- [5] 澤田幸展、加藤有一：指尖光電容積脈波の血行力学-規準化脈波容積を中心とした検討-。生理心理学と精神生理。vol. 32, no. 3, pp. 157-172, 2014

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 五十嵐朗	4. 巻 36
2. 論文標題 体表面RGBカラー画像を用いた脈波計測によるストレス評価に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BIOClinica	6. 最初と最後の頁 687-690
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 五十嵐朗、林拓世	4. 巻 57
2. 論文標題 体表面RGBカラー画像を用いたストレス評価に関する基礎的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 163
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11239/jsmbe.Annual57.S163_2	査読の有無 無
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 五十嵐朗	4. 巻 33
2. 論文標題 日常生活下におけるストレス評価に向けたウェアラブル脈波計の開発研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 大阪作業療法ジャーナル	6. 最初と最後の頁 11-16
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 五十嵐朗、林拓世	4. 巻 56Annual
2. 論文標題 ウェアラブルデバイスによる呼吸計測に関する基礎的検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 S352
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11239/jsmbe.Annual56.S352	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 五十嵐 朗, 米田 華乃, 林 拓世
2. 発表標題 生体組織の光学的特性に基づいた非接触血流計測によるストレス評価に関する検討
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐朗, 山本裕大, 種池緋菜, 松下航大, 林拓世
2. 発表標題 生体組織の光学的特性に基づいた非接触血流計測おける脈波抽出手法に関する検討
3. 学会等名 第62回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五十嵐朗, 田中航希, 竹藤輝人, 林拓世
2. 発表標題 ジャイロセンサ及び加速度センサによるウェアラブル呼吸計測に関する研究
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 朗, 竹藤 輝人, 林 拓世
2. 発表標題 ジャイロセンサ及び加速度センサによる呼吸計測に関する基礎的検討
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林拓世, 宮原惇, 高良樹生
2. 発表標題 疲労状態における健常者のストレス課題に伴う脳機能活動の評価
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林拓世
2. 発表標題 スピーチ課題に伴う疲労状態の違いによる脳機能活動の評価
3. 学会等名 第8回看護理工学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐朗, 林拓世
2. 発表標題 体表面RGBカラー画像を用いたストレス評価に関する基礎的検討
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐朗, 林拓世
2. 発表標題 ウェアラブルデバイスによる呼吸計測に関する基礎的検討
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Ikarashi and Takuto Hayashi
2. 発表標題 Feasibility Study on Assessment of Worker's Stress from Non-Contact Image Photo-plethysmography
3. 学会等名 41th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Ikarashi and Takuto Hayashi
2. 発表標題 A Feasibility Study on the Evaluation of Stress Level by Non-Contact Measurement using Video Images
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018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
研究分担者	林 拓世 (Hayashi Takuto) (40582862)	藍野大学・医療保健学部・講師 (34441)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------