

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K12146

研究課題名(和文)「NICUの看護ケア」×「ロボティクス」による機能的クベースの開発

研究課題名(英文)The development of a functional Incubator

研究代表者

岡田 志麻 (Okada, Shima)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40551560

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)：本研究では、ロボティクス技術を用いて、NICUにおける早期出産児への看護、ケア技術を補助する新しい機能的クベースの開発を行った。まず、看護師の目をビジュアルセンシングとしてシステムに適用し、動画から対象児の体動を数値化する手法を確立した。次に、その情報を使って、看護師の判断の代替えとして、コンピュータアルゴリズムや機械学習を用いて睡眠深度や睡眠サイクルを推定する技術を開発した。最後に、看護師の手の機能としてソフトロボティクス技術を応用し、対象児の体型に調整可能なエアバック式のマットの開発を行った。これらの開発を通じて、NICUにおける看護ケア技術の一部を自動化するシステムの可能性を示せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究では、新生児の睡眠・覚醒モニタリングのための技術開発を行った。これまで、人の状態をモニタリングするには、センサを体に取り付ける必要があり、対象者に負担がかかっていた。しかし、本研究では、新しく提案した動画計測、解析により、新生児の睡眠・覚醒の状態を完全に非接触に計測することを可能にした。これにより、対象児の睡眠を阻害しない適切なケアのタイミングを知らせることもできる。また、対象児の体格にあわせて、体位を固定するインフレタブルなエアバック式のマットの開発により、クベース内での対象児に負担をかけずに、心地よく過ごせる環境を可能にした。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new functional qubase was developed using robotics technology to assist in nursing and care techniques for early-term infants in the NICU. First, the nurse's eyes were applied to the system as visual sensing, and a method was established to quantify the body movements of the target child from the video. Next, the information was used to develop a technique to estimate sleep depth and sleep cycles using computer algorithms and machine learning as an alternative to the nurse's judgement. Finally, soft robotics technology was applied as a function of the nurse's hands to develop an airbag-type mat that can be adjusted to the subject child's body shape. Through these developments, we were able to demonstrate a system that automates some of the nursing care techniques in the NICU.

研究分野：生体工学

キーワード：ビジュアルセンシング NICU モニタリング 睡眠

1. 研究開始当初の背景

少子高齢社会を迎えるわが国では、出生率の低下が問題になっている。この20年で、出生数は横ばい、減少となっているが、低出生体重児の割合は増加している。加えて、早期出産や低出生体重児の出生率は近年増加傾向にあることも指摘されている(母子保健の主たる統計(平成20年度刊行))。これらの出生児は臓器機能や筋骨格系の発達が未熟であるため、きめ細やかなケアが必要となり、NICU (Neonatal Intensive Care Unit: 新生児特定集中治療室) のクベース内で体調管理される。我が国は諸外国と比較しても早期出産児の生存率は高く(早すぎる出産 早産児に関する国際的活動報告書, Born Too Soon: The Global Action Report on Preterm Birth) 日本でのNICUにおける医療、ケア技術の高さがうかがえる。ここで、注目すべきは、日本の医療技術が高いこともさることながら、臨床現場にいる看護師をはじめとした医療スタッフによる新生児ケア技術の質の高さである。NICUでは看護師によってバイタルのモニタリング、栄養状態の確認、保育をはじめとしたケアが24時間体制でなされている。しかし、我が国において少子高齢化が加速している中で、NICUの臨床現場においては、ケアにあたるスタッフの人員不足が懸念されている。高齢者人口が絶対的に増加するため、各専門科での人員が不足し、人員の増強が必要となる。その際、少子のために病床数の絶対数が減少しているNICUをはじめとした新生児、小児へ人員が他の科に配分されることが大きな懸念の1つである。これを制度的な面から改善する必要はあるが、併せて、NICUにおける看護技術やケア技術を補間したり、補助したりするシステムが必要となる。以上の背景を受け、NICUにおける看護ケアの一部についてロボティクス技術の特にセンシングやアクチュエーションに着目し、看護師や医療スタッフの作業を自動で補間、補助することはできないかという問いに至った。

2. 研究の目的

上記背景により、本研究では、ロボティクス技術を用いて、NICUにおける早期出産児への看護、ケア技術を補間、補助する新しい機能的クベースの開発を行う。ここで、NICUにおける重要な看護技術をロボティクスと関連付け、クベースに搭載する機能について下記の通り3項目に分けて研究目的を設定した。

(1) 看護師の目 (モニタリング) × ビジュアルセンシング

バイタルデータとして、心電図や呼吸、酸素飽和度などは常時機器によってモニタリングされ、緊急時はアラームが鳴り、看護師または医師が対応する。これは現在の設備で十分な性能を持っているが、看護師が経験的、主観的に判断しているバイタルサインがある。それは「睡眠の様子」である。新生児の睡眠は小児や成人の睡眠と異なり不明な点は多いが、数時間、数十分おきに睡眠-覚醒サイクルを形成していることが確認されている。早期出産児にとって成長のために睡眠サイクルは重要なファクターであるため、NICUの看護師は常時、対象児の様子を観察し、対象児の体動やバイタルセンサに重畳する体動ノイズから経験的に推測している。この判断に基づき、対象児の睡眠を阻害しないように、覚醒しているときに集中して保育や体位変換を行うようにしている。この部分に対し、ロボティクス技術のビジュアルセンシングを適応する。クベースにカメラを設置し対象児を完全に非接触無拘束に計測、画像解析することで体動情報を抽出し睡眠-覚醒状態を自動で判定するための基礎データとする。

(2) 看護師の判断、予測 × コンピュータアルゴリズム, 機械学習

上記のビジュアルセンシングにより得られた児の体動により、睡眠 覚醒サイクルを推定するアルゴリズムを確立する。睡眠中の大脳皮質の活動低下は外界からの刺激に対する反応も低下させるため、睡眠深度が深くなるほど体動頻度が低下するという生理機能を利用したものである。新生児の睡眠機能は確立されていないため、成人や小児のアルゴリズムとは異なるアプローチを考える必要がある。NICUの看護師へのヒアリングによると、新生児の体動には振戦や連続運動、頭部運動など体動には特徴があり、それぞれが反射や反応など中枢神経の活動を反映している。画像処理により算出した体動から、それらを表現する頻度や時間間隔といったパラメータを算出して機械学習を行うことで、新生児の睡眠 覚醒における睡眠の深さを推定する。

(3) 看護師の手 × ソフトロボティクス技術

37 週末満で早期出産された対象児は、骨格筋や内臓の機能が未熟なため、呼吸機能を確保する体位を取らせる必要がある。うつぶせにしたり、体が小さく丸まるような体位をとったりと看護師が状況に合わせてタオルやクッションを組み合わせて対象児を固定する。対象児の体型にあわせて簡便かつ柔らかく対象児を固定する手法が必要となる。これについて、インフレーターロボットの適用を考え、空気圧制御による体格や体動によって形状が可変のエアバック式のマットを開発する。空気圧により自由に変形が可能なため、新生児の体位変換や体位固定に応用可能である。

3. 研究の方法

本研究では、NICUにおける看護師や医療スタッフの目(センシング)や手(アクチュエータ)となる機能を搭載した機能的クベースを開発することを目的としている。これらの具体的な開発要素として、センシング手法、判断アルゴリズム、アクチュエータ技術についてその方法を項目ごとに記述する。

(1) 看護師の目(モニタリング) × ビジュアルセンシング

カメラ素子により、就寝中の対象児を連続的に動画撮影し、体動情報を画像処理により抽出する。画像処理には差分処理を適用し、体動の頻度や出現率について定量化を行った。差分処理は動画の処理として一般的に用いられる手法であり、連続する2枚の画像のそれぞれの対応する画素の輝度に対してその差を計算する処理である。計算式を(1)に示す。

$$I_d(x, y) = |I_n(x, y) - I_{n-1}(x, y)| \quad (1)$$

ただし、 I_d は差分画像であり I_n は n 番目のフレームとし x, y は縦と横の画素座標である。差分処理は動く物体の検出に用いられ、差分処理によって画素の輝度の値が変化しない背景部分は黒くなり、物体が移動した後は白くなる(図1)。本研究では差分処理後に、二値化処理を行い、二値化画像に変換後にモルフォロジー変換等を用いたノイズ低減処理、二値化画像の白い部分のピクセル数を数えることで体動量とし手計算し、この情報をもとに体動に関連する特徴量計算を行った。

体動算出の検証については、新生児、小児を対象に家庭での動画計測およびNICUにおける新生児の動画を対象とした。

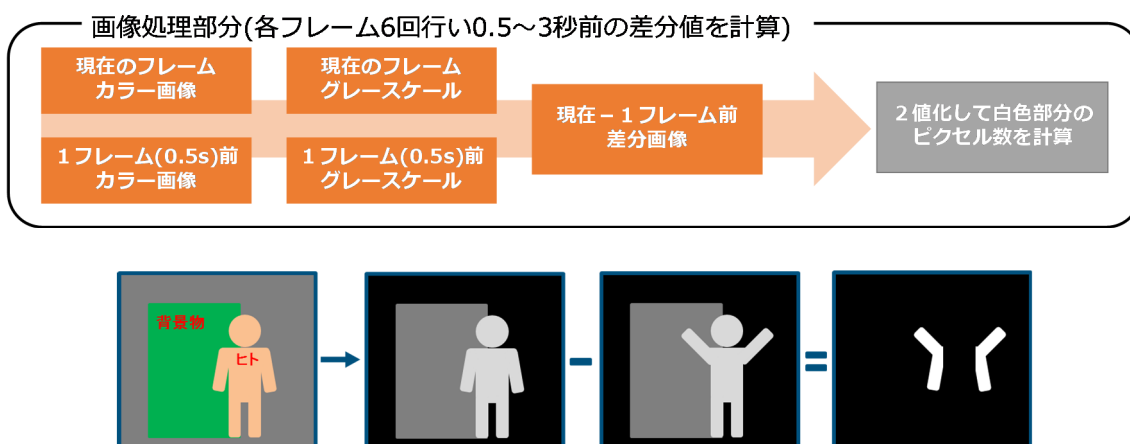


図1. 差分処理の概念図(上)と新生児の体動解析処理例(下)

(2) 看護師の判断、予測 × コンピュータアルゴリズム, 機械学習

動作情報について、体動の周期や頻度、大きさをパラメータとして機械学習を行い、睡眠 覚醒サイクルを定量化した。機械学習における睡眠 覚醒サイクルの正解データとしては、簡易睡眠ポリグラフによる、Wake、Light、Deep、REMの各ステージとした。ただし、NICUにおいては簡易睡眠ポリグラフ検査の実施が困難なため、家庭で動画と同時計測した新生児の睡眠ポリグラフデータを正解データとして使用した。

睡眠深度推定の機械学習については、AutoMLの1つであるPycaretを用いた。Pycaretでは複数の学習器を比較する機能があり、これを用いて最適な機械学習の手法を選択した。学習器の評価についてはテストデータを用いたk分割交差検証を行った。推定精度については精度、感度、特異度及びカッパー係数を用いて評価した。

(3) 看護師の手 × ソフトロボティクス技術

エアバック式マットは空気圧によって膨らむ袋の動きを計測するセンサ、および枕の動きを拘束する布で構成される。エアバック式マットに空気を入れるとその剛性、粘性が変化する。圧力変化による不快感を低減するために、マット上部にタオルを敷いた。エアバックはプラスチック製で、最大直径が90mmとなるよう熱で溶着して製作した。同様に、布も直径90mmとなるように製作した。横幅は枕のセミシングルサイズの横幅に合わせ、500mmとした。マットの空気圧による動作を計測するセンサとして、c-stretch伸縮性ひずみセンサ(バンドー化学株式会社, 日本)を使用した。

4. 研究成果

本研究の成果について下記に示す。

(1) 看護師の目（モニタリング）× ビジュアルセンシング

新生児、小児の動画からの体動情報抽出

終夜の小児の就寝ビデオを提案手法で画像解析することにより、体動を抽出することに成功した。図2に示すように、体動を含む連続する2枚のフレームに対して差分処理を行ったところ差分フレームのように動作に伴い輝度に変化のあったピクセルを示すことができる。ノイズ処理、2値化により動作のあった画素を明確に識別することができる。図2右のグラフは画像から算出した体動量と睡眠深度の推移を示す。睡眠の深度が深い場合（Deepの段階）においては体動が抑制されていることが確認でき、就寝中の児童の体動を連続的に検出できていることがわかる。

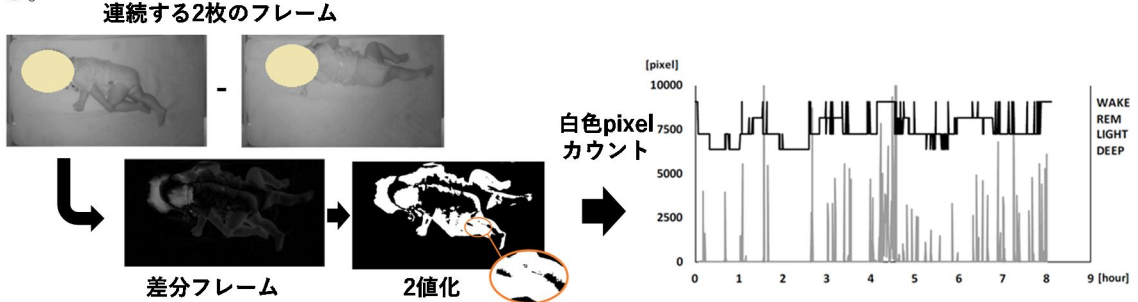


図2. 小児の睡眠中動画から算出した終夜の体動と睡眠深度

NICUにおける新生児の動画からの体動情報抽出

NICUにおける新生児の24時間動画計測のデータより、画像解析で算出した体動の24時間変化の1例を図3に示す。明け方から午前中にかけては大きな体動は比較的少ない。一方、夕方から夜間にかけて体動量が増加していることがわかった。24時間の中でも体動の大きさや頻度の変動が顕著にみられており、看護師が経験的に判断してきた新生児の睡眠 覚醒状態を表現しうる情報となった。

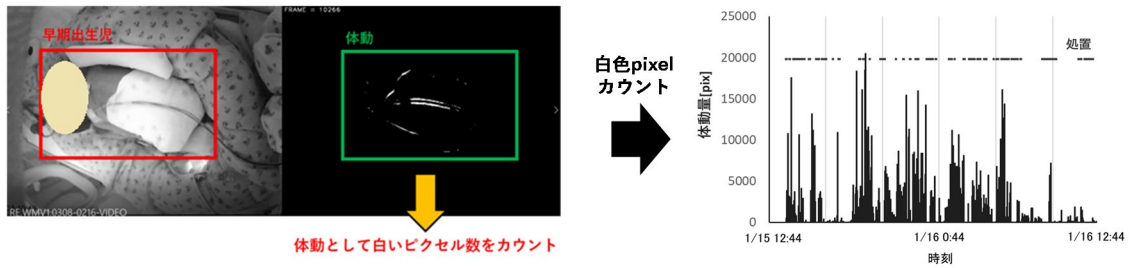


図3. NICU対象児の画像による24時間の体動算出結果

(2) 看護師の判断、予測 × コンピュータアルゴリズム, 機械学習

終夜の睡眠中の新生児の動画から体動を算出、正解データ（睡眠ポリグラフにより推定された睡眠深度）と機械学習することで睡眠推定モデルを構築した。なお、正解データとして睡眠ポリグラフ計測の必要があるため、対象は家庭において計測可能な新生児/小児とした。学習器については、Pycaretで複数種類の学習器の精度比較を行った。勾配ブースティング法であるLight Gradient Boosting Machine及びサポートベクタマシン、K近傍法、ランダムフォレスト及びその派生形のExtra Trees Classifierについて比較したところ、Extra Treesが最も良い性能を示した。このことから、学習器としてはExtra Trees Classifierを用いて、就寝中の動画から睡眠深度推定を実施した。その結果、睡眠深度のWake、REM、Deep、Lightの4段階分類では精度58%、カッパー係数は0.42の結果を得た。推定結果の一例を図4に示す。Wakeの検出率は65%程度となっており、睡眠 覚醒サイクル推定に十分な精度を得ることができた。

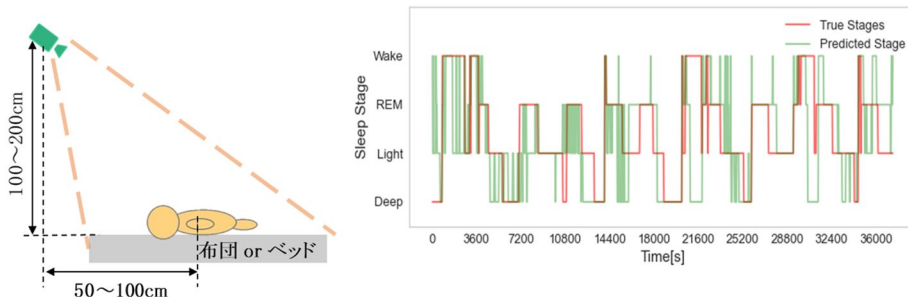
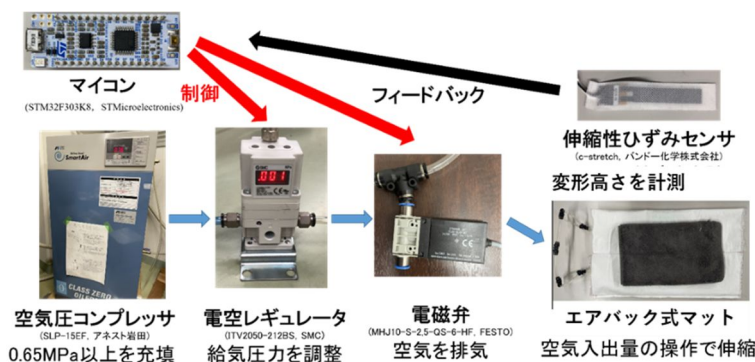


図4. 家庭計測における対象児の画像による睡眠深度推定結果

(3) 看護師の手 × ソフトロボティクス技術

クベースに設置することを考慮した、対象児の体型に調整可能な柔らかい体位固定のためのエアバック式のマットを開発した。システム構成および変形の制御結果について図 5 に示す。空気圧コンプレッサ(SLP-15EF, アネスト岩田, 日本)を用いて 0.65 MPa 以上の空気を充填し、電空レギュレータ(ITV2050-212BS, SMC, 日本)を用いて空気圧を制御した。電空レギュレータは入力電圧 0~5 V に対して、空気圧を 0~0.9 MPa に制御することができる。マットの膨らむ速さや高さは空気圧を制御することで、流入する空気量を調整し制御した。また、微調整のためにマットが縮む場合は電磁弁(MHJ10-S-2.5-QS-6-HF, FESTO, Germany)で空気を排気し、電空レギュレータで空気を供給することで制御した。目標値に対して実測値が追従していることが確認できる。今回の実験では、赤ちゃんへの揺らし機能負荷を目指し、0.25Hz でマットを揺動させた。波形より、設定した周期でマットの変形を制御できていることが確認できる。なお、耐荷重は 10kg を想定した。今回の開発では Box セルを 2 つで製作したが、細かく分割して制御することでより対象児の体型に沿った変形が可能となる。

a) システム構成



b) 変形量の目標値と実測値

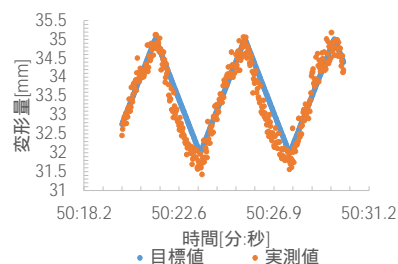


図 5. システム構成図および空気圧による変形の結果

以上のように、看護師の目 (モニタリング) の機能としてビジュアルセンシング (画像計測および画像処理) を適用し、動画から対象児の体動を数値化する手法を確立し、次に、その情報を使って、看護師の判断の代替えとして、コンピュータアルゴリズムや機械学習を用いて睡眠深度や睡眠サイクルを推定する技術を開発した。最後に、看護師の手の機能としてソフトロボティクス技術を応用し、対象児の体型に調整可能なエアバック式のマットの開発を行った。その成果のまとめは下記の通りである。

1. 看護師の目 (モニタリング) については、動画計測および画像処理を用いたビジュアルセンシングによる対象児の状態把握、バイタル計測の可能性を探索した。この結果、対象児の体動の大きさや頻度、体の向き、頭部の動作、といった小児の特徴的な動作を動画のみから抽出することができた。
2. 看護師の判断については、上記計測した動画、画像処理により抽出した生体信号パラメータに機械学習を適用することで、睡眠 覚醒だけではなく、覚醒 (65%)、REM 睡眠 (64%)、深睡眠 (74%) を (4 段階分類精度は 58%) 推定することができた。
3. 看護師の手については、ソフトロボティクス技術のインフレーターロボットを応用し、空気圧を用いて自在に高さを変形できるコット内に設置可能なマットを製作した。空気圧を用いて設定した周期で揺動することも可能である。なお、対象児の体型に合わせた変形をさせるために、伸縮性ひずみセンサを用いて高さを計測し、電空レギュレータと電磁弁を制御することによって調整する機構とした。空気圧制御により高さを 2mm の精度で周期的に変化させることも可能となった。

以上のように、当初予定していた、3 つの目的について達成することができた。これらの開発を通じて、世界へ誇る日本の NICU の看護師医療スタッフの看護、ケア技術の一部を自動化する可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshihi M, Okada S, Wang T, Kitajima T, Makikawa M.	4. 巻 21(3)
2. 論文標題 Estimating Sleep Stages using a Head Acceleration Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 952
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21030952	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 Mengying Xie, Kyohei Hisano, Mingzhu Zhu, Takuya Toyoshi, Min Pan, Shima Okada, Osamu Tsutsumi, Sadao Kawamura, and Chris Bowen	4. 巻 4
2. 論文標題 Flexible Multifunctional Sensors for Wearable and Robotic Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced materials technologys	6. 最初と最後の頁 1-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/admt.201800626	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 該当する
1. 著者名 岡田志麻, 家門優光, 後野光覚	4. 巻 90
2. 論文標題 動画による非接触睡眠計測技術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 医療機器学	6. 最初と最後の頁 50-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4286/jjmi.90.50	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 岡田志麻, 後野光覚	4. 巻 39
2. 論文標題 睡眠中の体動は何を語る？	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Medicine	6. 最初と最後の頁 40-45
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 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 Teruaki NOCHINO, Yuko OHNO, Takafumi KATO, Masako TANIIKE, Shima OKADA	4. 巻 9
2. 論文標題 Sleep Stage Estimation Method Using a Camera for Home Use	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Springer, Biomedical Engineering Letters	6. 最初と最後の頁 257-265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13534-019-00108-w	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7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Wang, T.; Okada, S.; Makikawa, M.
2. 発表標題 Classification of robot service during sit-to-stand through segments coordination
3. 学会等名 LifeTech 2021 - 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Techn (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuji, R.; Okada, S.; Wang, T.
2. 発表標題 Noncontact measurement for the autonomic nervous system through RGB camera
3. 学会等名 LifeTech 2021 - 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 涼平 辻; 志麻 岡田; 天一 王
2. 発表標題 RGBカメラを用いた自律神経系の非接触計測
3. 学会等名 生体医工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水彩, 岡田志麻, 後野光覚, 石井豊恵
2. 発表標題 早産児の成長発達を見守るモニタリングの実現可能性
3. 学会等名 第63回 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水彩, 石井豊恵, 岡田志麻
2. 発表標題 新生児集中治療室における早産児の成長発達を見守る24時間モニタリングの試み
3. 学会等名 生体医工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 彩, 後野 光覚, 石井 豊恵, 岡田 志麻
2. 発表標題 早産児の成長発達を見守るモニタリングの実現可能性
3. 学会等名 システム制御情報学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 落合優, 岡田志麻
2. 発表標題 健康管理を行うための非接触で生体情報の計測可能なシステムの開発
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岡田志麻	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本臨牀社	5. 総ページ数 765
3. 書名 最新臨床睡眠学（第2版） 睡眠・覚醒の評価 非接触睡眠モニター	

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

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
---------	---------