

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：34428  
研究種目：基盤研究(B)（一般）  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20H03971  
研究課題名（和文）被介助者の生体リズムに同調する熟練看護の暗黙知の具現化とロボット化に関する研究

研究課題名（英文）Study on Embodiment and Robotization of Tacit Knowledge of Skilled Nurses Synchronizing Biological Rhythm of Care Recipient

研究代表者  
川野 常夫（Kawano, Tsuneo）  
摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：90152983  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,400,000円

研究成果の概要（和文）：被介助者の生体リズムに同調する熟練看護の暗黙知を具現化し、介助作業の初学者が学習・訓練するための方法論の開発を目的として、まず、仮想の高齢者を対象として仮想空間と仮想力覚を応用した初学者のための介護訓練システムを試作した。次いで実際の介助作業中の身体負荷を可視化し学習のできるAIカメラの開発を行った。AIカメラには複数人の体動の同調度評価機能と熟練度の評価機能を付加した。このAIカメラは介助作業の現場で使用でき、初学者の作業動作や身体負荷の改善に有用である。また、熟練者のノウハウを蓄積し、再現することで初学者の学習の手本となる介助ロボットの制御方法を確立した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国の要介護認定者は2030年には90万人に達すると予想されており、不適切な介護の仕方によっては、介護される側の廃用症候群や介護する側の腰痛や頸肩腕症候群などを誘発する。また、高齢化率の上昇によって介護する側の人手不足が問題であり、介護者の傷病による離職者の増加はさらに人手不足を助長する。本研究では、仮想空間と仮想力覚を応用した初学者のための介護訓練システムや身体負荷の可視化、熟練度評価などができるAIカメラ、初学者の学習の手本となる介助ロボットなどを開発した。本研究の成果は、要介護高齢者のQOLの向上および看護または介護する側の負担の軽減、初学者の早期熟達などに貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop some methods for novices to learn and practice caregiving efficiently through formalizing tacit knowledge of skilled nursing and care synchronizing with physiological rhythm of care recipient. Firstly, the prototype of training system to care virtual recipients has been developed for novices by applying virtual reality and force feedback. Secondly, an AI camera available for visualizing work load during actual on-site care motions has been developed. Two functions of evaluation have also been added to the AI camera. One is for the synchronized motions of several people. Another is for the similarity between expert and novice. The AI camera is capable of using in the site of care work, and useful for improving care motions and body load of novice. Last, the control technique for a care motion robot has been established. The robot accumulates expert's know-how on care motions and plays as a model for novices.

研究分野：人間工学

キーワード：介助動作 熟練看護 暗黙知 生体計測 ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

わが国の高齢化率(65歳以上の人口比率)は令和元年(2019年)9月時点で28.4%に達した。高齢化の分類は7の倍数によって定義されており、21%を超えた2007年が「超高齢社会」と呼ばれたのに対し、現在はさらにその上の「超々高齢社会」となった。それに伴い、要支援を含めた要介護認定者は平成31年(2019年)4月末時点で、約659万人となり、2030年には900万人に達すると予想されている。わが国は今後、人生100年の百寿時代を迎えようとしている。

このような状況において、病院や介護施設、在宅での介助作業は増加し、一方で介助する側の腰痛や心身負担の理由により介助職の離職率が高いことが社会問題となっている。これまで介助作業に関する研究は数多く、例えばベッドから車いすへの移乗介助、入浴介助、おむつ交換などを対象とした研究がある。しかしこれまでの研究は、作業者の腰部負担の計測と評価をするもの、熟練者と非熟練者の作業の比較を行うものがほとんどで、熟練者の暗黙知を定量的に抽出し、ロボットに模倣させる研究は見あたらない。

本研究の申請者はこれまでに、介助者と被介助者の生体リズムを同時に測定し、熟練の介助者の場合は両者のリズムに同調が見られ、熟練者の筋負担も小さくなる可能性を見出した。厚生労働省の「寝たきりゼロへの10か条」によると過度の安静は逆効果であると記されている。同様に、高齢者がベッドから起き上がろうとしたとき、あるいは廊下を歩行しようとしたときに介助者が過度に援助すると、かえって筋力の低下や歩行不能を早めてしまうことになる。このような過度の介助による高齢者の機能低下、すなわち「廃用症候群」を起こさせないのが介助の基本である。また、被介助者は感情をもった人間であり、身体的にも精神的にも日々変化する存在であり、時々刻々に適切に対応しなければならない介助は、高度な経験知識と技能が必要であるといえる。介護熟練者のもつそのような経験と技能を、看護や介護の初学者に容易に伝達する方法論を開発することは意義深いと考えられる。

## 2. 研究の目的

介助者の過度の介助は被介助者の廃用症候群を招き、介助者自身にも過負荷となり腰痛や傷害を発症する原因となる。そこで、被介助者のADL(Activities of Daily Living)や残存機能などの時々刻々の状態を介助者が把握し、被介助者の残存能力を維持し、QOLを高めるために、どの援助を、どの程度、どのように援助するかといった最適な介助を決定して実施するのが理想である。さらにその介助作業が介助者にとっても過負荷とならないことが必要である。このような最適な介助が行われるためには、介助者と被介助者の「同調」あるいは「協調」が必要であると考え、被介助者の生体リズムに同調する熟練看護の暗黙知を具現化し、介助作業の初学者が学習・訓練するための方法論の開発を行う。具体的には仮想空間(VR)と仮想力覚を応用した初学者のための介護訓練システムや介助作業中の身体負担を可視化する機能や複数人の体動の同調度評価機能、熟練度の評価機能などを有するAIカメラの開発を行う。また、初学者にとって学習の手本となる介助ロボットの試作を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 介助作業実験

介助者と被介助者、あるいは介助者間の生体リズムを測定するために、ベッド起き上り介助や介助者2人による移乗介助、さらに車いす移動介助などを取り上げ、介助者と被介助者、あるいは介助者間の体動と筋負担、脳血流などを2人同時に測定した。介助者には熟練看護師(看護師歴あり)と看護初学者(看護師歴なし)に、被介助者には20代の健常な男性にお願いした。ここで、被介助者の身体能力として、自力である程度動ける状態(「要支援1、要一部支援」の状態)と自力でほとんど動けない状態(「要介護5、要全介助」の状態)を取り上げ、被介助者役の実験参加者にはそれぞれの状態を演じるようにお願いした。

### (2) 仮想空間(VR)と仮想力覚による介助訓練システム

介助訓練には介護人形が用いられることが多いが、人形を用いずとも理想的な介助の力覚を表現できる装置の開発を目的とし、肘まわりに「ものを持ち上げているかのような本質的な力覚」を発生させるウェアラブルな装置を試作し、VRによる没入型の視覚情報を組み合わせたシステムを構築した。これを用いて起き上り介助の訓練を仮想空間内でできるようにするため、VR(バーチャルリアリティ)のHMD(ヘッドマウントディスプレイ)を通して、あたかも目の前にベッド上に横たわった高齢者がいるように見える没入型の仮想空間を構築した。

### (3) AIカメラの開発

本研究では、通常のビデオ映像を撮影するカメラ機能を持ち、AI(人工知能)によりその映像だけから人間の関節点座標を読み取り、人間の映像に重ねて骨格線をリアルタイムに表示するAIカメラを開発した。また、同時に力学解析によって求めた身体各関節部の負担が、関節まわりの円の色と大きさで可視化して表示できるようにした。AIカメラには、CPUとしてRaspberry PI 4

Model B(1.5GHz ARM Cortes-A72 4 コア RAM:4GB)を搭載しており、骨格認識ソフトには Google Coral Edge TPU USB Accelerator を搭載、Coral Accelerator で動作するように改造された PoseNet を用いている。このカメラで作業者を撮影すると、AI が被写体の関節点を認識し、座標を取得する。取得した座標を用いて、ニュートン・オイラー法により動作中の身体負荷として各関節点にかかるトルクを計算する。最後に計算したトルクを可視化するために、その大きさに応じた色と半径からなる円をそれぞれの関節点を中心に描く。色についてはトルクが大きくなるほど危機感が増すように予めカラースケールを作成しておく。

#### (4) AI カメラによる複数人の同調度評価

介助作業は介助者と被介助者の 2 人によって行われるものと考えられる。また、介助作業によっては 2 人以上の介助者によって行われるものもある。このような介助作業において複数人の体動が同調しているかどうかを評価する機能を AI カメラに付加した。ここでは身体のセグメント間の角度（例えば、腰の角度）に着目し、複数人の 2 秒間の角度データの相関係数を同調度とし、時々刻々の同調度を時間関数として求めた。

#### (5) AI カメラによる熟練度評価

熟練者と初学者のように 2 人の介助動作における体動がどれだけ類似しているかを評価できる機能を AI カメラに付加した。熟練者と初学者のそれぞれについて AI カメラで取得した座標のうち 1 箇所（2 次元座標）に着目し、 $\cos$  類似度を求めて熟練度とした。同時刻における 2 人の軌跡の方向ベクトルのなす角度が 0（ゼロ）、すなわち両ベクトルが平行であれば、その時点において両者の動きは一致（類似）していると言える。ベクトルのなす角度が 90 度から 180 度へと変化すれば、両者の動きは一致（類似）していないことになる。ここでベクトルのなす角度の  $\cos$  を求めると両者の軌跡の一致（類似）の程度を 1 と -1 の値で表すことができる。この機能は初学者の介助動作が熟練者とどれだけ合っているかを定量的に示すだけでなく、初学者が訓練を重ねて習熟する過程において、訓練前と訓練後の動作の比較を身体部位ごと、および動作機序ごとに習熟の度合いを定量的に示すようにした。

#### (6) 介助モデルロボットの開発

初学者にとって介助作業の手本となるロボットの開発を目的として、本研究では人型ロボット Sciurus17（アルティ社製）を用いた。高齢者人形を対象として起き上がり介助を行うなど、基本的なプログラムを開発した。さらに、熟練者が全力で支援するのではなく、例えば 30% 程度の力で支援するといった熟練者のノウハウを模倣する制御方法を確立した。

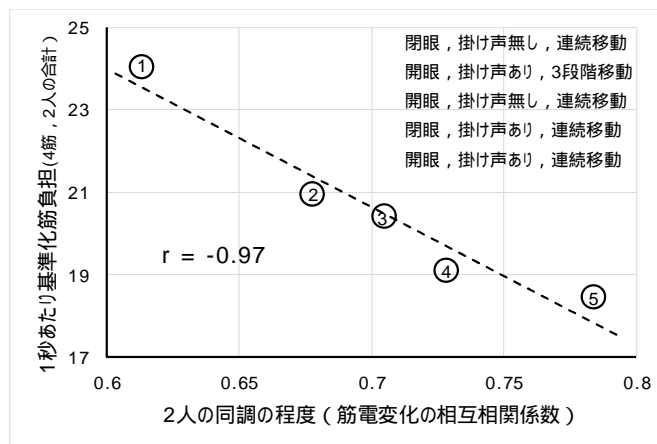


図 1 2 人介助における同調と筋負担の関係

表 1 起き上がり介助の動作機序（形式知化）

軌跡番号	介護者の動作機序
①～①	腰を軽く曲げ、左右の手を伸ばして、被介護者の遠いほうの手首をつかむ
①～②	つかんだ手首を腹部に載せ、被介護者の遠いほうの膝を立てる
②～③	腰を戻しながら、左右の手で被介護者の遠いほうの肩と膝を手前に引いて、身体を横に向け、自分の身体に近づける
③～④	手で被介護者の上方の手を手ずりに移動し、手ずりをつかませる
④～⑤	腰を曲げ、被介護者に体を近づけ、首の下に手を入れる
⑤～⑥	腰を戻しながら、被介護者を起き上らせる

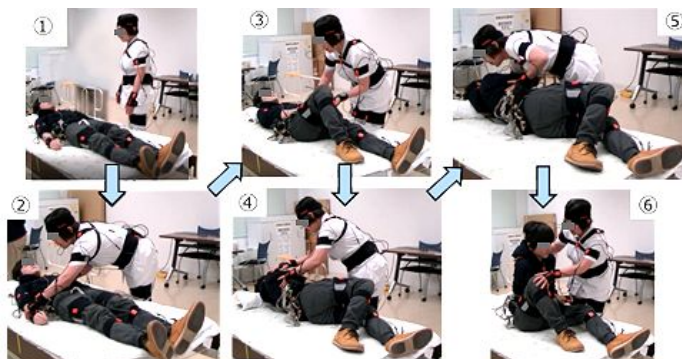


図 2 起き上がり介助の動作分割（要支援 1 の場合）

## 4. 研究成果

### (1) 介助作業実験結果

介助作業実験の結果の例として、図 1 に介助対象者を 2 人で介助した場合の 2 人の同調と筋負担の関係を示す。縦軸の筋負担は上肢、下肢、腰の 4 筋の筋電図を測定し、それらの 1 秒あたりの積分値の 2 人分の合計とし、横軸は 2 人の筋電図変化の相互相関係数（最大値）とした。作業条件は開眼、閉眼、掛け声あり無しなど 5 条件とし、それぞれ 8 回試行の平均値をプロットしている。この図から 2 人の動き（生体リズム）が同調するほど筋負担が小さくなるのがわかる。

表 1 と図 2 に起き上がり介助の実験結果の例を示す。ここで介助者は看護歴 20 年以上の熟練者で、被介助者はある程度自ら受ける条件の場合を示している。実験ではモーションキャプチャーと筋電計を用いて

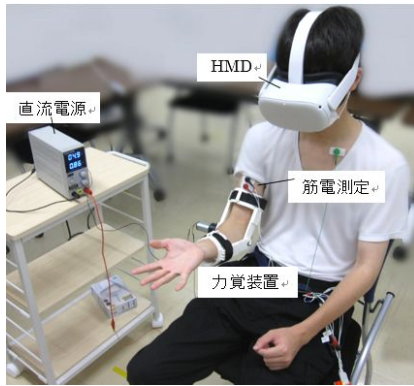


図3 VRと仮想力覚装置による介助訓練システム

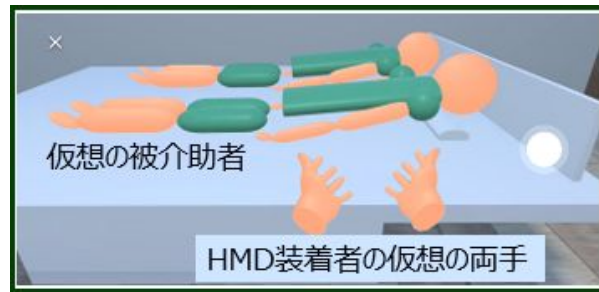


図4 仮想空間内における自身の仮想の両手とベッドに横たわる仮想の被介助者

介助者と被介助者の体動と筋電図を測定している。熟練者と初学者では熟練者のほうが被介助者の生体リズムと同調することを確認した上で、熟練者の介助動作（暗黙知）を分割し形式知化するようにした。

### (2) 仮想空間（VR）と仮想力覚による介助訓練システム

図3に介助訓練システムに用いる仮想空間のためのHMDと仮想力覚装置を身に付けている写真を示す。仮想力覚装置は肘関節の回転軸とモーターの回転軸が一致するようにDCモーターを固定する外骨格構造とした。力覚は、肘関節を広げようとする方向に回転するモーターに対抗して肘関節を曲げようとする際に生じる。

図4にHMDを通して見える仮想空間の例を示す。仮想空間では、図のように自身の現実の手と連動して動く両手とベッドに横たわる仮想の2人の被介助者が見えるので、介助の練習をすることができる。被介助者が2人いるのは、それぞれ体格が異なるように設定している。このシステムのメリットは実際の高齢者で訓練をする必要がなく、また種々の体格および残存能力の高齢者で訓練ができる点である。

### (3) AIカメラの開発

図5に本研究で開発した「AIカメラ」を示す。大きさはA4サイズ程度で重量は930gと軽量であるため、両手で把持して使用できる。図6に介助作業中に身体の骨格線を表示した例と同時に身体各関節部に作用するトルク（身体負荷）を可視化した例を示す。このようにすることで作業者が直感的に身体負荷を把握することが可能となっている。ビデオ映像の解像度は640×480で、処理速度は、可視化しながらの場合で15FPS、座標を取得するだけの場合で80FPSとなっている。このAIカメラのメリットは小型で簡便なカメラであるため、病室のような狭い空間でも実際の介助動作を評価できる点である。

### (4) AIカメラによる複数人の同調度評価

図7に例えば2人が高齢者を介助する2人介助における同調度評価の例を示す。図から介助者2人の条件が開眼で掛け声ありのほうがより同調していることがわかる。このように共同作業やダンスなど複数人の同調が求められる場合に、AIカメラによって現場での同調度の評価が可能となった。

### (5) AIカメラによる熟練度評価

図8に初学者の学習前後における熟練者との類似度を求めた結果を示す。数時間程度の学習・訓練によって熟練者に近づいているものの、類似度の最大値である1とは差があり、さらなる



図5 AIカメラ(255×170×45mm)

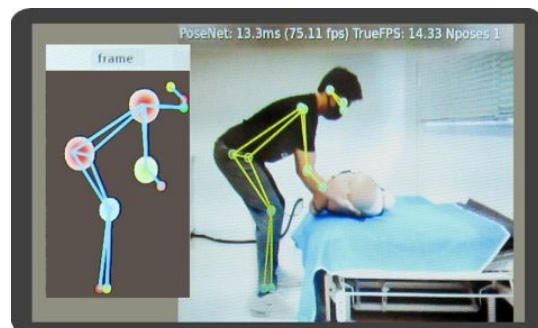


図6 AIカメラによる骨格線と身体負荷の可視化

学習・訓練が必要であることがわかる。この評価機能は、初学者が身体のどこのどの時点の動作を重点的に改善すればよいかといった学習の指針が得られ、初学者の早期習熟に有用であると考えられる。

#### (6) 介助モデルロボットの開発

図9に介助モデルロボットによる起上り介助の例を示す。本研究におけるロボットは、熟練者のノウハウを蓄積し、再現することで初学者の手本となるものを目指した。作業中の各部の負担をモニタリングすることで、負担がより小さくなる作業方法をやって見せるロボットの制御方法を確立した。また、被介助者の残存能力を最大限に活かすために、例えば30%程度の力で支援するといった熟練者のノウハウを模倣する制御方法を確立した。

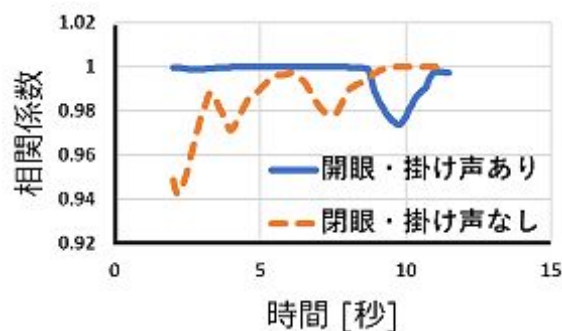


図7 2人介助における同調度

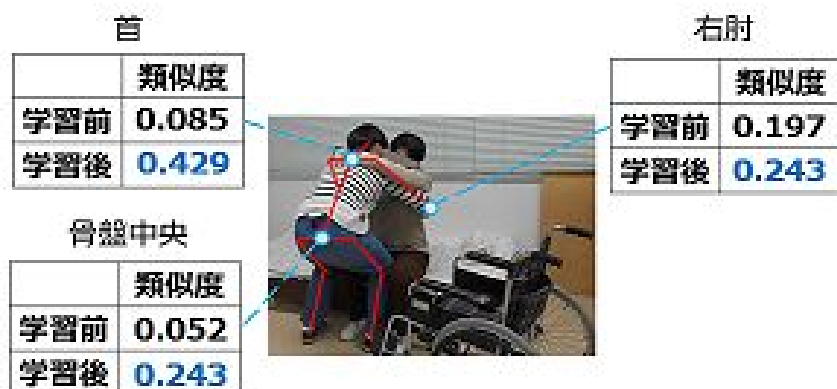


図8 初学者の学習前後における熟練者との類似度

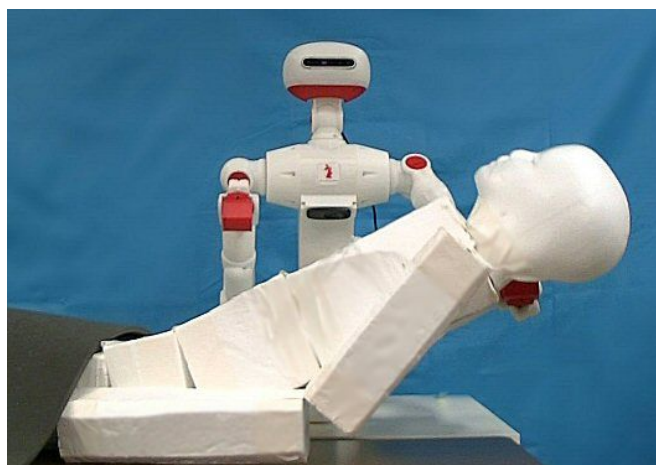


図9 介助モデルロボットによる起上り介助の例

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9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 6件）

1. 著者名 田河琴音, 川野常夫, 松尾英治	4. 巻 58
2. 論文標題 身体負荷可視化用AIカメラの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人間工学	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田河琴音, 川野常夫, 松尾英治	4. 巻 2022
2. 論文標題 骨格線認識用AIカメラによる複数人の同調動作の評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022年度 日本人間工学会関西支部大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 25-26
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田河琴音, 川野常夫, 松尾英治	4. 巻 2023
2. 論文標題 AIカメラを用いた動作同調評価による介護現場の熟練者と初学者の比較	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 スマートライフ学会2023年大会発表論文集	6. 最初と最後の頁 57-61
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 田河琴音, 川野常夫	4. 巻 57
2. 論文標題 介護訓練のための肘まわり力覚呈示装置の基礎研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人間工学	6. 最初と最後の頁 140-141
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田河琴音, 川野常夫, 松尾英治	4. 巻 2021
2. 論文標題 介護訓練のための仮想空間と仮想力覚に関する基礎研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021年度 日本人間工学会関西支部大会論文集	6. 最初と最後の頁 65-68
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 オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田河琴音, 川野常夫, 松尾英治	4. 巻 2022
2. 論文標題 AIカメラを用いたオンサイト使用のための身体負荷可視化システム	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 スマートライフ学会2022年大会研究論文集	6. 最初と最後の頁 17-20
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 崎山 琴音, 真嶋 由貴恵, 榎田 聖子	4. 巻 Vol.36, No.1
2. 論文標題 車いすによる段差乗り越え介助に関する技術指標と教育システムの考案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSiSE Research Report	6. 最初と最後の頁 35-42
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 -

〔学会発表〕 計19件(うち招待講演 1件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 田河琴音, 川野常夫
2. 発表標題 介護訓練のためのAIとVRの応用に関する研究
3. 学会等名 摂南大学 第7回融合科学研究所講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中田悠斗,石亀篤司,森光隼平,片桐真子
2. 発表標題 生体リズムの同期現象と快適な生活環境構築に関する研究
3. 学会等名 電気関係学会 関西連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植地勇太,石亀篤司,森光隼平,中田悠斗,片桐真子
2. 発表標題 脳波による照明とコミュニケーションの関係
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森光隼平,石亀篤司,中田悠斗,植地勇太,片桐真子
2. 発表標題 ストレス・不安を和らげる照明環境についての検討
3. 学会等名 電気関係学会 関西連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kotone Sakiyama, Yukie Majima, Seiko Masuda
2. 発表標題 Development of Learning System to Support for Passing Steps of Wheelchair
3. 学会等名 16th International Conference on Health Informatics (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 陳 璞, 真嶋由貴恵, 榎田聖子
2. 発表標題 看護教育における ” 技 ” の伝達を促進するための熟練看護師の視線分析
3. 学会等名 教育システム情報学会第 1 回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川野常夫
2. 発表標題 介護者・被介護者の腰部負担の同時計測と解析
3. 学会等名 精密工学会第408回講習会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenji Adachi, Naoki Taira, Yukie Majima and Seiko Masuda
2. 発表標題 Development of experimental learning promotion system in blood collection techniques education
3. 学会等名 9th International Congress on Advanced Applied Informatics ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田河琴音, 大石和真, 川野常夫
2. 発表標題 移乗作業における 2 人の介助者間の同調に関する研究
3. 学会等名 2020年度日本人間工学会関西支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重松佑奈, 石亀篤司
2. 発表標題 脳波を用いたダイポールイメージングによる快適性評価についての検討
3. 学会等名 2020年度日本人間工学会関西支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山琴音, 真嶋由貴恵, 榎田聖子
2. 発表標題 車いす段差乗り上げ時の介助操作に関する教育システムの提案
3. 学会等名 第40回医療情報学連合大会 第21回日本医療情報学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山琴音, 真嶋由貴恵, 榎田聖子, 川野常夫
2. 発表標題 車いす乗り越え時の介助者技術と快適性に関する一考察 -脳波からの視点-
3. 学会等名 第15回医療系eラーニング全国交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuna Shigematsu, Yuta Ueji, Atsushi Ishigame
2. 発表標題 Comfort Evaluation from EEG Dipole Imaging
3. 学会等名 14th International Conference on Health Informatics (HEALTHINF 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021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	真嶋 由貴恵  (Majima Yukie)  (70285360)	大阪公立大学・大学院情報学研究所 ・教授   (24405)	
研究 分担者	石亀 篤司  (Ishigame Atsushi)  (60212867)	大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授   (24405)	

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