

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11106

研究課題名（和文）少数センサによりユーザ負担の軽いウェアラブル歩行姿勢および運動解析システムの開発

研究課題名（英文）Development of a Wearable Gait Analysis System on Posture and Motion Using a Few Sensors to Lighten Some Burden on User

研究代表者

芝田 京子（SHIBATA, Kyoko）

高知工科大学・システム工学群・准教授

研究者番号：00307117

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）：効果的な歩行運動を促し健康維持向上に貢献するため、身体各部位ごとの働きや体にかかる負担など歩行能力の詳しい情報を日常的かつ連続的にセルフチェックできる個人用携帯型システムの開発を目的とした。歩行の特徴を用いて動力学やバイオメカニクスの理論、統計処理、深層学習を駆使した信号処理アルゴリズムを確立し、データの高精度化、測定時のユーザ負担の軽減を実現した。現在は、条件付きではあるが、小型軽量なウェアラブルセンサ1つで歩行時床反力を測定可能である。また少数のウェアラブルセンサにより腰部負荷と脊柱形状をリアルタイムで観察可能なアプリを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で推定している床反力や下肢関節モーメント、腰部負荷は、医療現場でも重要視される歩行運動の質を評価する有用情報である。これらを高精度に測定するには従来は多数センサや高価な専門機器が必要であり、ユーザへの高負担や歩容の乱れが問題となっていた。本課題では一般ユーザの個人使用を目指し、少ない測定データから有用情報を高精度推定する高度な信号処理技術を開発した。これにより、低価格でいつでもどこでも手軽に自身の歩行運動をチェックでき、意欲向上、健康維持につながるため、予防医学や医療費削減の貢献も考えられる。

研究成果の概要（英文）：To promote effective walking exercise and contribute to health maintenance and improvement, this project develops a personal mobile system that enables daily and continuous self-checking of detailed information on walking ability, such as the function of each body part and the load placed on the body. Utilizing the characteristics of gait, we established a signal processing algorithm that makes use of dynamics, biomechanics, statistics, and deep learning to achieve high data accuracy and reduce the burden on the user during measurement. Currently, it is possible to measure floor reaction forces during walking with a single small and lightweight wearable sensor, although conditional. In addition, an application was developed that enables real-time observation of lumbar load and spinal column shape by a small number of wearable sensors.

研究分野：セルフヘルスケア工学、ヒューマンダイナミクス

キーワード：ヘルスプロモーション ウェアラブルセンシング バイオメカニクス AI

1. 研究開始当初の背景

健康志向が高まり、運動機能の維持、強化を目的にウォーキング人口が増加している。歩行は最も身近な運動であり、高齢者もロコモ予防のために医療機関から歩行運動が推奨されている。ヘルスケアを目的としたウォーキングでは、踵からの接地や頭の向きなどの観点から理想的なフォームが提唱されている。一方高齢者を対象として医療機関等では歩行解析が行われ、歩行能力の定量的な指標として関節モーメントや床反力などを測定している。歩行期間中全般に亘って理想フォームで、かつ最大限の能力を使って歩き続けることができれば、歩行運動は健康維持向上に有用な運動として効果が大きい。歩行姿勢の維持は難しく姿勢が悪いとバランスの悪い体型になり腰痛など悪影響が現れることもある。また医療機関での従来の歩行測定では、高価で大掛かりな設置式の装置を用いており歩数に制限があるなど簡便でない。

研究代表者らはこれまでに歩行情報のウェアラブル測定を実現した(H23-26 科研基盤 A)が、高精度確保のために多数センサが必要となり、例えば床反力の測定には足裏を覆う剛性の高い床反力計を装着するため、歩容の乱れやユーザへの高負担、高価格が課題として残った。また腰への負担を体表面の映像情報から推定する手法を完成させた(H27-29 科研基盤 C)が、歩行への適用改変には至っていない。

2. 研究の目的

ユーザ負担を軽減したセンシング方法で、歩行運動の特徴点における姿勢解析および運動解析、また腰への負荷が低価格で推定可能となれば、装置を備えた専門施設に出向くことなく、いつでもどこでも誰もが手軽に歩行の詳細情報が得られ、日常的かつ連続的に自身の運動をセルフチェックでき、効果的な歩行運動を促しユーザの意欲向上、健康増進につながると考えられる。

そこで、少数ウェアラブルセンサによる測定データから歩行の詳細情報を高精度に推定する信号処理アルゴリズムを確立し、推定結果をクラウド上に集約してユーザにフィードバックする個人向けのモバイル歩行解析システムを開発する。

3. 研究の方法

本研究では歩行の詳細情報として、医療系歩行解析で重要なパラメータとされる 2 方向床反力、下肢 3 関節 (股、膝、足) モーメント、腰痛に直結する腰への負荷を対象とする。

測定時のユーザ負担を軽減し歩きやすさを確保するためにセンサ数を減らすとその分データ量が極端に減少するが、従来の多数センサシステムでの高精度は保持したい。そこで、測定データを基に、歩行の特徴を加味し動力学やバイオメカニクス理論、統計処理、深層学習を駆使した高度な信号処理アルゴリズムにより歩行の詳細情報を導出する。

4. 研究成果

(1) これまでに提案し有用性を得ている静止姿勢における腰椎負荷を体表面の映像情報から推定する方法について、歩行時のねじれ動作や側屈の影響は小さく、歩行中にも適用できることを実験的に確認した。この過程で、計測データを基にした脊柱の構造解析により、体表面腰椎形状に影響を及ぼす上半身の自重は姿勢を崩し、骨盤の回転は彎曲を保つ役割を果たすことを定量的に示した (図 1)。また、静止姿勢での検証に留まるが、筋骨格モデルシミュレーションと実測データによる推定から、骨盤の傾斜角度が腰部負荷に及ぼす影響を明らかにした。

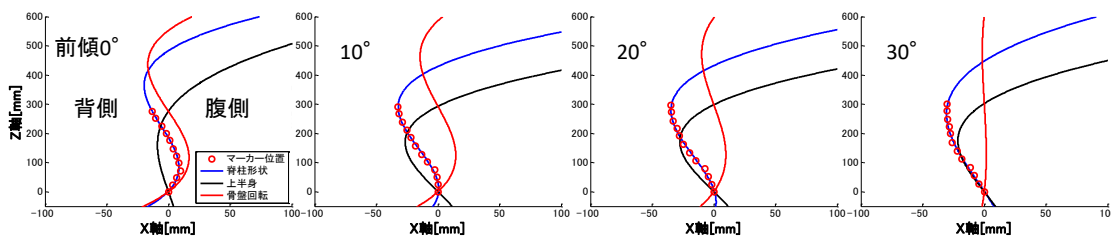


図 1 前傾角度毎に体表面脊柱形状を上半身と骨盤回転の影響に分離

(2) 腰部負荷を体表面に装着した慣性センサを用いてウェアラブル推定する方法について、これまでは校正に設置式測定が必要であったが、測定姿勢を減らし身体パラメータを用いて校正を省くことで簡易化した。従来法からわずかの精度低下で推定が可能であることを実験的に示し、完全ウェアラブル化を実現した。

(3) ウェアラブルセンサの情報を基に導出した脊柱形状と腰椎椎間板負荷値をリアルタイムでユーザにフィードバック可能なスマートフォンアプリを開発した (図 2)。閾値を定めて姿勢がわるくなったときに警告メッセージを表示する機能も追加している。

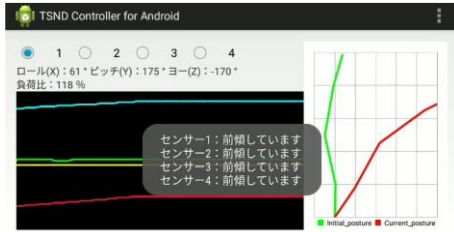


図2 脊柱形状と腰部負荷を表示するスマホアプリのスクリーンショット

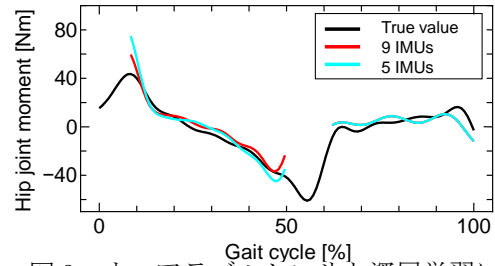


図3 ウェアラブルセンサと深層学習による全歩行周期の股関節モーメント

(4) 静止姿勢での検証に留まるが、上半身の自重と骨盤傾斜角、筋活動のデータから不明瞭な身体パラメータを算入せずに重回帰分析を用いて腰椎椎間板にかかる圧縮力を低侵襲で推定する方法を提案した。歩行中の体幹加速度を追加することで歩行時の推定手法へ展開可能な見通しが得られたと考える。

(5) 全身5箇所に取り付けたウェアラブルセンサを用いてモーメントのつりあいから片脚支持期における下肢3関節モーメントを推定する提案手法の妥当性を実験検証した(図3)。推定に用いるセンサ数が少ない部位ではある程度の精度で推定できたが、センサ数が増えるほど測定誤差が蓄積され精度が低下した。またウェアラブル測定データの動力学関係のみでは導出できない両脚支持期での推定を模索するため、深層学習を導入した。学習データに非ウェアラブルな測定データを用いるものの極少の学習データであっても推定可能な見通しが得られた。よって、精度やリアルタイム性に課題は残るが、歩行全周期におけるウェアラブル推定実現の見通しが得られ、屋外の長距離測定へも展開できる。

(6) 歩行中の上半身の動きについて、鉛直と進行2方向加速度の周波数解析から、頭部、上胴、下胴の特徴を抽出できた。このことから、あらかじめ全身15箇所を測定した校正式を準備することで、身体1箇所の加速度測定データから周波数解析を用いて残りの全身部位の加速度を推定可能な方法論を確立した。さらに、推定した加速度を基に力のつりあいを用いて鉛直および進行2方向の合成床反力を導出する手法を開発し、健常歩行であれば、被験者や歩調を限定することなく身体1箇所のみでの加速度測定から床反力を高精度で推定できた(図4)。

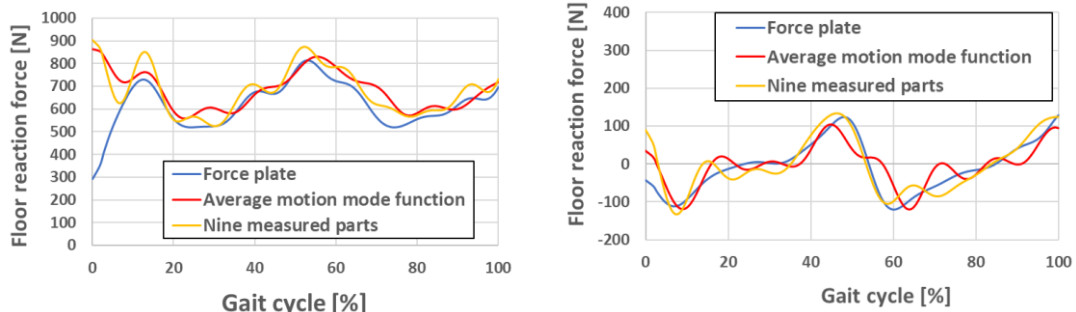


図4 周波数解析を用いた2方向合成床反力の推定(左:鉛直方向、右:進行方向)

(7) 力のつりあいを用いた床反力導出では左右脚の合成床反力しか求められないが、深層学習を用いることで左右毎の床反力の分離に成功した(図5)。臨床的知見を得やすくなることや、下肢3関節モーメントの導出に発展可能である。

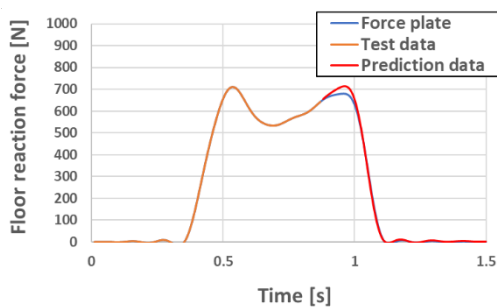


図5 深層学習を用いた右足鉛直床反力の予測結果

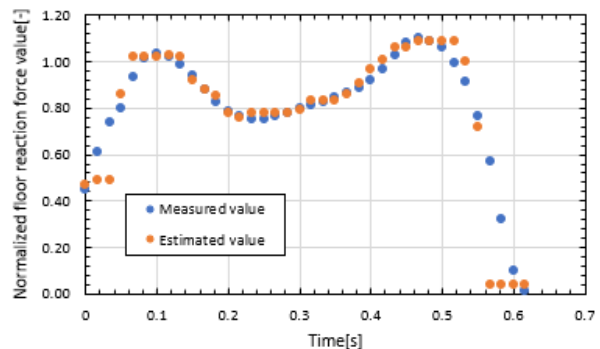


図6 Web画像から深層学習を用いて推定した左足鉛直床反力

(8) ここまでの成果はウェアラブルセンシングが必須でありその測定誤差が推定精度に影響を及ぼす。そこで非接触センシングの可能性を探った。2次元のWeb画像から深層学習により鉛直床反力を推定するアルゴリズムを開発し、特定個人に限られるが健常歩行であれば精度良く推定できる(図6)。時間成分を排除した推定であるため、ある任意の時刻の鉛直床反力も推定可能であり汎用性に富む。Web画像はスマホで手軽に撮影可能であることからユーザが自ら測定、評価しヘルスケアへの意欲向上につながると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 S Hontama, K Shibata, Y Inoue, H Satoh	4. 巻 14
2. 論文標題 Estimation of Floor Reaction Force During Walking Using Frequency Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal On Advances in Systems and Measurements	6. 最初と最後の頁 92-102
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計46件（うち招待講演 0件/うち国際学会 11件）

1. 発表者名 望月偉史, 芝田京子
2. 発表標題 深度情報のない歩行動画を用いた畳み込みニューラルネットワークによる鉛直床反力推定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 姫田晃希, 芝田京子
2. 発表標題 重回帰分析による筋張力を考慮した腰部負荷の推定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本玉将平, 芝田京子, 井上喜雄
2. 発表標題 動作モード関数による歩行中の合成床反力推定（異なる歩調への適用）
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西本陸矩, 芝田京子
2. 発表標題 筋骨格モデルシミュレーションを用いたWebカメラ画像からの腰部負荷推定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦颯太, 芝田京子
2. 発表標題 深層学習を用いた光トポグラフィによる歩行時の快不快情動判別
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芝田 京子, 本玉 将平, 井上 喜雄
2. 発表標題 周波数解析を用いた歩行時床反力の推定 - 対象被験者数の異なる動作モード関数での精度比較 -
3. 学会等名 第53回日本人間工学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本玉将平, 芝田京子, 井上喜雄
2. 発表標題 動作モード関数による歩行中の合成床反力推定
3. 学会等名 第42回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shohei Hontama, Kyoko Shibata, Yoshio Inoue, Hironobu Satoh
2. 発表標題 Estimation of Body Part Acceleration While Walking Using Frequency Analysis
3. 学会等名 CENTRIC 2020, The Thirteenth International Conference on Advances in Human-oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Himeda, H., Shibata, K., Satoh, H
2. 発表標題 Estimation of Load on Lumbar Spine While Walking by Using Multiple Regression Analysis
3. 学会等名 AHFE Virtual Conference on Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices, and the International Conference on Human Factors in Aging and Special Needs (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takemasa R
2. 発表標題 Minimally Invasive Spondylolysis Repair by Percutaneous Compression Screwing with Cortical Bone Trajectory for Early Return to Sports and Bony Healing in Adolescent Athletes
3. 学会等名 JOSKAS-JOSSM 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村武, 芝田京子
2. 発表標題 ディープラーニングを用いた歩行時下肢関節モーメントの推定
3. 学会等名 日本機械学会 IIP2021 情報・知能・精密機器部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲田亮太, 芝田京子
2. 発表標題 骨盤傾斜角度が腰椎椎間板負荷に与える影響
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第59期総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武政龍一
2. 発表標題 日常よくみる腰椎疾患の画像診断と疼痛マネジメント
3. 学会等名 Orthopedics Live Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本玉 将平, 井上 喜雄, 芝田 京子
2. 発表標題 周波数領域における歩行運動の特徴
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仲田 亮太, 芝田 京子
2. 発表標題 骨盤の傾斜角度による腰椎椎間板負荷推定の精度向上の試み
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 葛西雄介、武政龍一、青山直樹、喜安克仁、池内昌彦
2. 発表標題 腰椎除圧手術における腰痛の変化
3. 学会等名 第108回高知整形外科集談会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芝田 京子, 井上 喜雄, 園部 元康, 一色 淳
2. 発表標題 慣性力を用いた床反力の推定
3. 学会等名 日本人間工学会第60回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyoko Shibata, Yu Suzuki, Hironobu Satoh and Yoshio Inoue
2. 発表標題 Structural Analysis of Spinal Column to Estimate Intervertebral Disk Load for a Mobile Posture Improvement Support System
3. 学会等名 IHSED2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironobu Satoh and Kyoko Shibata
2. 発表標題 Improvement of a Monitoring System for Preventing Elderly Fall Down from a Bed
3. 学会等名 IHSED2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芝田 京子, 仲田 亮太, 西田 隼人, 井上 喜雄
2. 発表標題 脊柱体表面形状による腰椎椎間板負荷の推定
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲田亮太, 芝田京子, 西田隼人, 姫田晃希
2. 発表標題 歩行姿勢改善のためのウェアラブルな腰椎椎間板負荷推定
3. 学会等名 LIFE2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷広生, 芝田京子, 井上喜雄
2. 発表標題 片脚支持期におけるIMUを用いた股関節モーメント推定
3. 学会等名 LIFE2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 葛西雄介, 武政龍一, 青山直樹, 喜安克仁, 池内昌彦
2. 発表標題 腰椎除圧手術における腰痛の変化
3. 学会等名 第133回中部日本整形外科災害外科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喜安克仁、葛西雄介、青山直樹、南場寛文、武政龍一、池内昌彦
2. 発表標題 骨粗鬆症性椎体骨折後の脊柱矢状面アライメント代償機構
3. 学会等名 第21回日本骨粗鬆症学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武政龍一
2. 発表標題 高齢者の腰曲がりについて ~ 健やかに老いるためにはどうすれば良いか ~
3. 学会等名 第13回医療と音楽の集い&第6回福祉フェア
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田隼人、芝田京子、仲田亮太、姫田晃希
2. 発表標題 歩行時腰椎椎間板負荷推定における腰部ねじれ動作の影響
3. 学会等名 令和元年度計測自動制御学会四国支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本玉将平、芝田京子、井上喜雄
2. 発表標題 周波数解析による歩行運動の特徴抽出(上半身の伝達関数)
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 姫田晃希, 芝田京子, 西田隼人, 仲田 亮太
2. 発表標題 腰椎部負荷の非侵襲推定法の改善
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西田隼人, 芝田京子
2. 発表標題 腰痛予防のためのバイオフィードバックによる姿勢改善支援システム
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第58期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小谷広生, 芝田京子, 井上喜雄
2. 発表標題 少数の IMU を用いた下肢関節モーメント推定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第58期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Yagura and Kyoko Shibata
2. 発表標題 Improvement of emotions identification rate while walking using preprocessing for deep learning
3. 学会等名 2020 IEEE 2nd Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyoko Shibata, Yasuhito Tsuyoshi, Yoshio Inoue, Hironobu Satoh and Motomichi Sonobe
2. 発表標題 Noninvasive estimation of lumbar intervertebral disk load using multiple regression analysis to consider the pelvic tilt
3. 学会等名 1st International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Kotani, Kyoko Shibata, Motomichi Sonobe, Yoshio Inoue and Hironobu Satoh
2. 発表標題 Estimation of Hip Joint Moment by an Inertial Measurement Unit
3. 学会等名 1st International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gen Miyamoto, Kyoko Shibata, Motomichi Sonobe and Yoshio Inoue
2. 発表標題 Development of Stride Estimation System for Improvement of Walking Efficiency
3. 学会等名 1st International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hironobu Satoh and Kyoko Shibata
2. 発表標題 A Study for Adapting the Monitoring System in Order to Prevent Fall Down from a Bed
3. 学会等名 1st International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武政 龍一
2. 発表標題 高齢者脊椎疾患における診断と治療
3. 学会等名 幡多神経カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武政 龍一
2. 発表標題 口コモの原因「腰曲がり」～その予防と治療について～
3. 学会等名 第51回中国・四国整形外科学会 市民講座
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一色 淳, 井上 喜雄, 芝田 京子, 園部 元康
2. 発表標題 ウェアラブルセンサによる身体慣性力を用いた歩行時床反力の推定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第57期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 佑, 芝田 京子, 井上 喜雄, 園部 元康
2. 発表標題 椎間板負荷推定のための脊柱の構造解析
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第57期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本 弦, 園部 元康, 芝田 京子, 廣瀬 圭
2. 発表標題 慣性センサを用いた歩行計測システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第57期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲田亮太, 芝田京子, 井上喜雄, 園部元康
2. 発表標題 歩行時における腰椎椎間板負荷の非侵襲的な推定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木佑, 芝田京子, 井上喜雄, 園部元康
2. 発表標題 静止姿勢との比較による腰椎椎間板負荷推定法の瞬間的な動作への適用
3. 学会等名 人間工学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田隼人, 芝田京子, 井上喜雄, 園部元康
2. 発表標題 腰痛予防のための歩行時腰椎椎間板負荷推定
3. 学会等名 平成30年度計測自動制御学会四国支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一色淳, 芝田京子, 園部元康, 井上喜雄
2. 発表標題 慣性センサのみを用いた歩行中の床反力推定
3. 学会等名 LIFE2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 芝田 京子, 津吉 康仁, 園部 元康, 井上 喜雄
2. 発表標題 骨盤傾斜を考慮した腰椎椎間板負荷の推定
3. 学会等名 日本人間工学会第59回大会
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	佐藤 公信 (Hironobu SATOH) (90461384)	国立研究開発法人情報通信研究機構・ナショナルサイバートレーニングセンターサイバートレーニング研究室・主任研究員 (82636)	
研究 分担者	武政 龍一 (Ryuichi TAKEMASA) (20294837)	高知大学・教育研究部医療学系臨床医学部門・准教授 (16401)	

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