

令和 3 年 5 月 13 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01595

研究課題名（和文）高齢者の歩行能力低下を「見える化」するアンビエントな非接触センシングシステムの開発

研究課題名（英文）Development of an ambient non-contact sensing system that visualizes the decline in walking ability of the elderly

研究代表者

栗田 耕一（Kurita, Koichi）

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：90455171

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は高齢者の歩行能力や運動機能低下を「見える化」する手法として、超高感度静電誘導電流検出技術を用い、被験者に一切装置を装着することなくアンビエントに人体動作を検出し高齢者の生活支援を実現するシステムを確立することを目的として実施した。本研究では、歩行信号波形をウェーブレット変換によりスカログラムに変換し、畳み込みニューラルネットワークを用いた深層学習により歩行能力の識別を試みた。その結果、約90%の精度で歩行の不自由の程度を識別可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、超高感度静電誘導電流を検出することにより非接触で被験者の歩行能力を推定するという学術的意義がある。また、本研究で着目した歩行信号検出技術を用いることにより、被験者の歩行能力を定量評価することが可能となり、自立歩行能力の維持・改善に役立つと考えている。研究を実施した結果、深層学習による歩行機能識別データを高齢者自身に可視化することが可能である。また、高齢者のQOLの維持・向上に繋がるため高齢化社会へのソリューションのひとつとして社会的意義がある。さらに、本技術はリハビリ支援やセキュリティ等の分野への波及効果も期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on ultra-sensitive electrostatic induction current detection technique as a method for visualizing the deterioration of walking ability and walking function of the elderly. By using this method, we have established a technique for non-contact detection of walking movements and daily movements in ambient without wearing any device on the subject. Furthermore, by using scalograms obtained by wavelet transforming the walking signals as learning data, we attempted to identify the walking ability by deep learning using a convolutional neural network. Consequently, it was clarified that the degree of walking inconvenience can be identified with an accuracy of about 90%.

研究分野：計測工学

キーワード：歩行運動 非接触計測 静電誘導電流 高齢者

1. 研究開始当初の背景

我が国の総人口は平成 24 年 10 月 1 日現在で 1 億 2,752 万人であるが、65 歳以上の高齢者人口は過去最高の 3,079 万人となり、高齢化率と呼ばれる総人口に占める 65 歳以上人口の割合は 24.1% である。総務省の予想によると、65 歳以上の高齢者人口は、平成 27 年には 3,395 万人となり、その後も増加し、平成 54 年に 3,878 万人でピークを迎え、平成 72 年には高齢化率は 39.9% に達し、2.5 人に 1 人が 65 歳以上となる。さらに、平成 72 年には、高齢者 1 人に対して現役世代 (15~64 歳) 1.3 人が支えると予想されている。従って、高齢化社会においては高齢者自身が年齢相応に元気な生活を営めるような工夫が必要となる。高齢者の元気な暮らしを実現するためには、視聴覚や知力も大切ではあるが、特に重要な要素は自力歩行能力であり、健康の程度を推し量る要素と位置づけられている。つまり、高齢者が自立した歩行能力を維持することは生活の質 (Quality of Life: QOL) の維持・向上に不可欠な要素である。そのため、高齢者の生活をモニタリングし歩行能力や運動能力を「見える化」することが重要である。さらに、得られたデータを基に高齢者の生活支援に活かす技術開発が必要となる。

歩行運動に関しては、国内外共に、臨床歩行分析に関してはその用途別に以下の手法が使用されている。運動力学的データに関しては床反力計やフットスキャン、キャパシタ方式の圧力マット等が使用されている。また、運動学的データに関しては、関節角の推移を計測するシェイプセンサやジャイロセンサ式回転角度計を用いた計測がされている。動作中の筋活動を計測には表面筋電図が利用されている。海外においては、例えば EU (欧州連合) ではヘルスケアと高齢者の自立支援を目指し、6 つのプロジェクトを推進中である。この中では、住宅に設置されたセンサによる高齢者の日常生活のセンシングとモニタリングに関する研究が活発化している。また、スウェーデンでは、アンビエントテクノロジーを用いた高齢者や障害者の在宅生活をサポートする取り組みが活発化している。さらにアイルランドにおいては、センサが埋め込まれたスマートハウスに居住する高齢者の日常動作中の運動機能異常などを検知する取り組みがなされている。

我々は、被験者の歩行能力や運動能力を「見える化」し、これに基づき被験者の生活支援を実現する手法として「アンビエントテクノロジー」に着目した。この手法は、「人に気づかれないように日常生活の中にコンピュータ技術を埋め込む」というコンセプトである。そこで、高齢者を含む被験者の歩行動作や日常動作を超高感度静電誘導電流検出技術でアンビエントに非接触センシングすることにより、生活支援を実現するひとつのソリューションを提供すべきと考えている。

2. 研究の目的

我々は、高齢者を含む被験者の歩行能力や運動能力を「見える化」し、被験者の生活支援を実現する手法としてアンビエントテクノロジーに着目した。この手法は、「人に気づかれないように日常生活の中にコンピュータ技術を埋め込む」というコンセプトである。そこで、被験者の歩行動作や日常動作を、被験者に装置を一切装着することなく検出することを目的とした。そして、超高感度静電誘導電流検出技術でアンビエントに非接触センシングすることにより、被験者の日常動作をモニタリングするひとつのソリューションを提供することを考えている。

歩行データを取得する方法は、様々な方法が提案されている。しかし、従来法では歩行者に計器を装着することなく、完全非接触で自然な歩行データを取得することは困難であった。そこで、我々は歩行運動により歩行動作に伴い人体電位の変動が生じる現象に着目した。この現象は以前から、人体の電位上昇に伴い発生する静電気放電 (ESD: Electrostatic Discharge) の問題として研究されている。ところが、過去の研究では、人体電位の計測を行う場合は、被験者が接触型電極を握りながら、歩行動作に伴う電位変化を計測していた。我々は、人体電位の変化を非接触で検出することができれば、歩行者に計器を一切装着することなく、被験者の自然な歩行運動を検出することができるのではないかと考えた。そこで、歩行に伴う人体近傍に電極を設置し、人体と電極間に静電容量を形成させた。これにより、人体電位の変化により電極に誘起される静電誘導電流を検出することで、非接触で歩行運動や人体動作の検出が可能であることを明らかにした。この技術はカメラ等を使用しないためプライバシーの問題も無く、一般家屋に電極と信号検出システムを設置するだけで、居住者の歩行信号をアンビエントに検出可能となる。そこで、この技術を用い高齢者を含む居住者の歩行能力低下を「見える化」する生活支援技術を提案したいと考えた。

3. 研究の方法

本研究は、超高感度静電誘導電流を検出することにより非接触で居住者の歩行能力を推定することである。これにより、在宅中の被験者の歩行や日常動作をアンビエントにモニタリングする。本研究では以下に示す方法により非接触歩行計測に関する実験を実施した。実験では 4 名の健常男性 (22~24 歳) に運動靴 (靴底がウレタン製) を履いてもらい、静電誘導センサを中心に半径 3m の円の上を 180 秒間歩行運動してもらった。また、静電誘導センサは三脚で固定し床から 1m の位置に配置した。被験者には不自由な歩行動作を模擬するため、通常歩行 (タスク 1)、左足の足首をサポートと添え木で固定した歩行動作 (タスク 2)、左足の膝をサポートと添え

木で固定した歩行動作(タスク 3)、左足の足首と膝をサポートと添え木で固定した歩行動作(タスク 4)、両足の膝をサポートと添え木で固定した歩行動作(タスク 5)の歩行動作を行なってもらった。図 1 の上図は通常歩行動作により得られた静電誘導電流波形であり、下図はこの波形のウェーブレット変換により得られたスカログラムを示している。スカログラムは横軸が時間、縦軸が周波数であり信号の強さをカラーグラディエーションで表示している。スカログラムの縦軸は対数表示している。また、スカログラムの作成に使用したマザーウェーブレットは Complex Morlet 関数である。このスカログラムを用いて歩行動作の程度をディープラーニングにより識別することを試みた。

ひとつのタスクで得た学習用のスカログラム画像データ数は 250 個であり、一人当たり合計 1250 個の画像データを学習データとした。また、本研究で使用したディープラーニングのバッチサイズは 50 である。本研究では 4 つの層の畳み込みニューラルネットを定義した。スカログラムから 100×100 画素の画像を切り出し、学習画像データとした。各層の畳み込み層におけるフィルタの数は、それぞれ 1 層から 4 層まで 16、32、64、128 である。また、各畳み込み層のフィルタサイズは 5 である。活性化関数は ReLU 関数を使用し、最大値プーリングは 2×2 である。

4. 研究成果

図 1 の上図には被験者 A で得られた通常歩行(タスク 1)で検出された歩行波形である。周期的なピークが検出されており、予め定式化しておいた理論式で予想されたように、足の接地や離地のタイミングで静電誘導電流波形に周期的なピークが検出されていることが分かる。図 1 の下図はこの波形のスカログラムであり、この波形にも歩行周期による周期的なパターンが検出されていることが確認できる。

図 2 と図 3 はそれぞれ被験者 A と B の各タスクで得られた歩行信号のスカログラムを示している。波形の再現性を調べるため、各タスクで 4 回計測した結果を示している。これらの図に示されている全てのスカログラムの縦軸の周波数の最小値は 0.195Hz であり最大値は 24.9Hz であり、対数で表示されている。また、スカログラムの横軸の時間幅は 5 秒である。これらの結果を見ると、波形にはある程度の再現性があり、各タスクに応じてスカログラムのパターンが変化していることが確認できる。そこで、このようにして得られた歩行波形のスカログラムを用いて、図 4 に示す構造の畳み込みニューラルネットワークにより歩行タスクの識別を試みた。

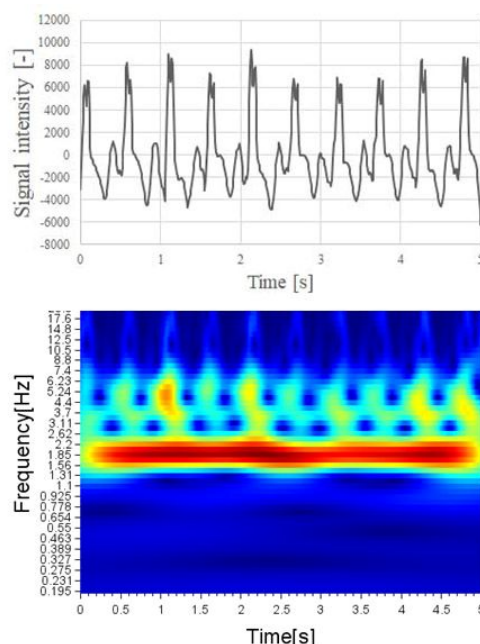


図 1 タスク 1 による典型的な静電誘導電流波形

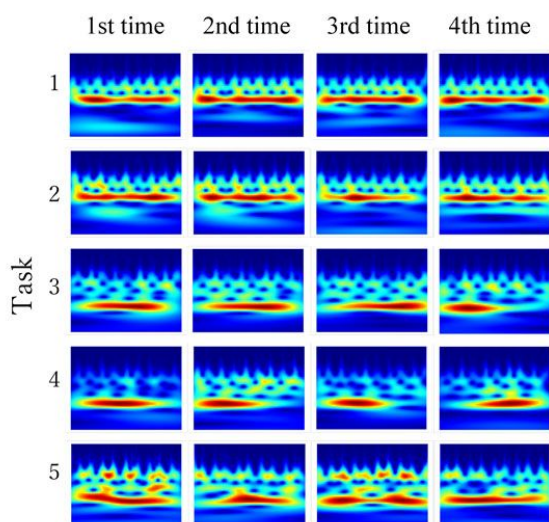


図 2 各タスクで得られたスカログラムの比較(被験者 A)

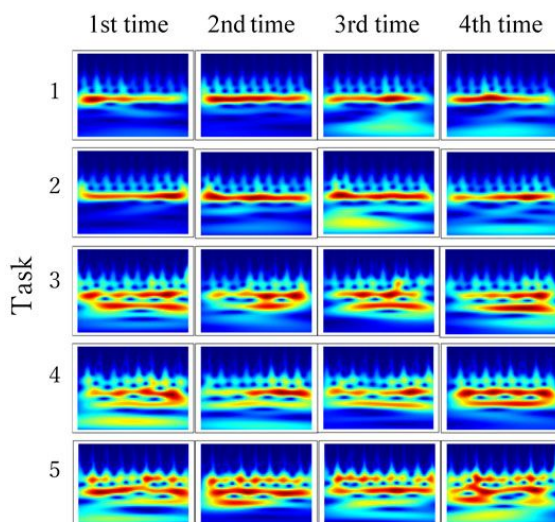


図 3 各タスクで得られたスカログラムの比較(被験者 B)

本研究では、被験者 A の各タスクの学習データを用いて学習して得られた学習モデルを使用して歩行動作の不自由の程度の識別を試みた。被験者 A の学習に使用していないデータを別途計測して識別を行なった結果、97%の精度で識別が可能であることが分かった。この結果から、ディープラーニングによりスカログラムの識別が可能であることが確認できた。さらに、被験者 A と B と C の各タスクの学習データを用いて学習して得られた学習モデルを使用し、歩行動作の不自由の程度の識別を試みた。この時の学習の際に得られたエポック数に対する学習精度と学習の検証の推移を図 5 に示している。この図に示すように、学習の精度(accuracy)はエポック数 40 で 98%に達した。一方、学習の精度の検証(validation)はエポック数 40 で 90%となり、ある程度の学習がなされたことが確認できた。そこで、この学習モデルを用いて被験者 A の学習に使用していないデータを用いて識別を行なった結果、96%の精度で識別が可能であることが分かった。これは、学習データにより被験者 A の歩行の特徴が良く学習されたことを示しており、本手法の有効性を示している。さらに、この学習結果を用いて学習データに含まれていない被験者 D の識別を試みた。その結果、最も歩行が困難なタスク 5 の識別は 100%であることが分かった。被験者 D のデータを学習していないにも関わらず、高い識別結果が得られた。この理由は、極端に不自由な歩行動作で得られた静電誘導電流波形には被験者依存性が少ないことを示している。一方、次に高い識別はタスク 3 の 50%であった。さらに、通常歩行において検出された静電誘導電流波形には個人固有の特徴が含まれているため、被験者 D の歩行信号は被験者 A と B と C の歩行信号を用いた学習モデルでは識別できないという妥当な結果が得られた。

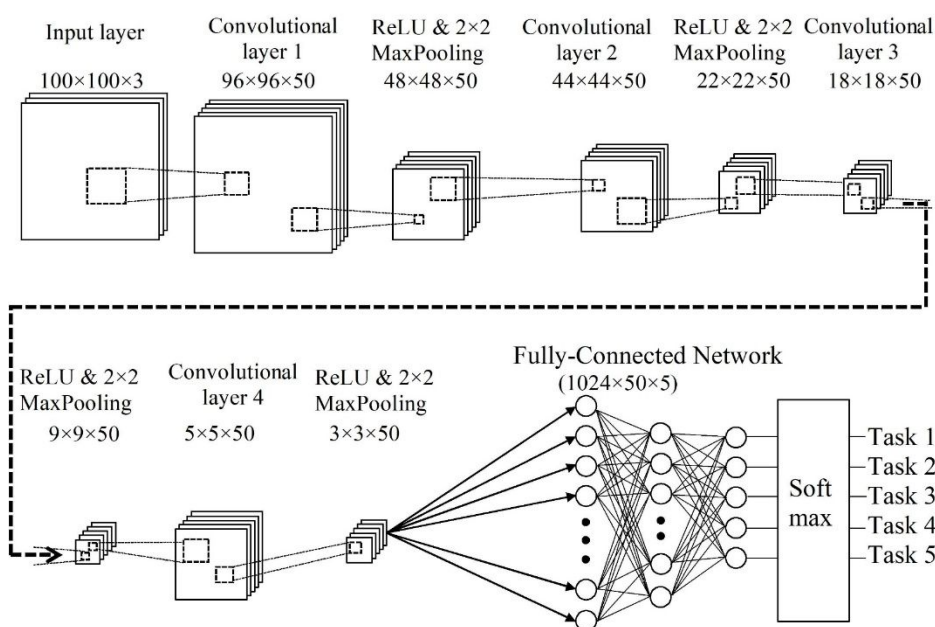


図 4 本研究で使用した畳み込みニューラルネットワークの構造

本研究では歩行の不自由の程度が異なる 5 つのタスクの歩行運動により誘起される静電誘導電流波形を非接触で計測しウェーブレット変換した。得られたスカログラムをディープラーニング(畳み込みニューラルネットワーク)することにより、歩行の不自由度の識別を試みた。その結果、被験者のスカログラムを学習した結果を用いて、同一の被験者の識別を行なうと 96%以上の精度で識別が可能であることが分かった。そこで、学習データに使用していない被験者の識別を行なうと、不自由の程度が大きい歩行では、個人固有の特徴が消失するという興味深い結果が得られた。本研究で提案した手法を用いることで、被験者に装置を装着することなくアンビエントな状態で、歩行の不自由の程度を 90%以上の精度で識別可能であることを明らかにした。

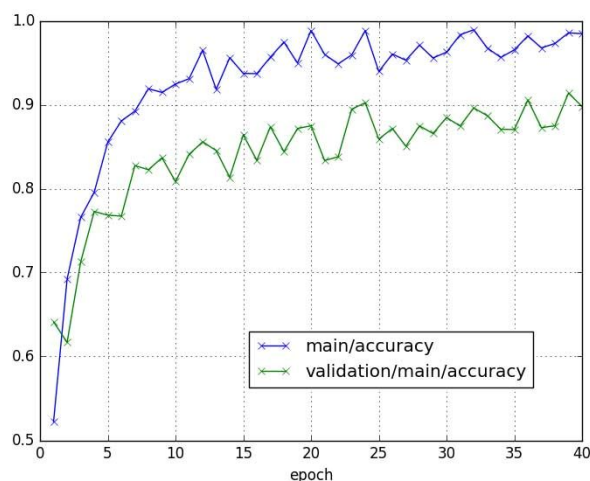


図 5 ディープラーニングの学習精度と検証結果の推移

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Koichi Kurita, Syota Morinaga	4. 巻 7
2. 論文標題 Detection Technique of Individual Characteristic Appearing in Walking Motion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 139226 ~ 139235
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2943495	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 Koichi Kurita, Syota Morinaga	4. 巻 19(19)
2. 論文標題 Noncontact Detection of Movements of Standing up from and Sitting Down on a Chair Using Electrostatic Induction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 8934 ~ 8939
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2019.2921379	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 Koichi Kurita	4. 巻 4(1)
2. 論文標題 Visualization of Individual Feature Amount Appearing in Daily Performance based on Electrostatic Induction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Information and Communication Engineering	6. 最初と最後の頁 211 ~ 216
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 栗田耕一	4. 巻 7
2. 論文標題 人体動作非接触検出技術を用いた個人固有の特徴の検出	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 モバイル学会誌	6. 最初と最後の頁 37 ~ 41
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28件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 松本 洸太, 栗田耕一
2. 発表標題 静電誘導センサと深層学習による入室動作識別技術
3. 学会等名 2020年度（第71回）電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 Novel Walking Ability Classification Technique Using Ultra-Sensitive Electrostatic Induction Sensor
3. 学会等名 ICNSE International Congress on Natural Sciences and Engineering 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本洸太, 栗田耕一
2. 発表標題 深層学習を用いた部屋の入室動作信号による個人識別技術
3. 学会等名 第28回計測自動制御学会中国支部 学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗田耕一
2. 発表標題 非接触歩行動作計測技術を用いた歩行動作の不自由度の識別技術
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大下耕平, 久保田宇大, 栗田耕一
2. 発表標題 歩行動作中の人体電位の非接触計測技術の開発
3. 学会等名 2019年度(第70回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗田耕一
2. 発表標題 不自由歩行動作で誘起された静電誘導電流を用いた深層学習による識別技術
3. 学会等名 2019年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 Non-Contact Measurement Technique of Individual Motions Appearing in Daily activity
3. 学会等名 Global Engineering and Applied Science Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Syota Morinaga, Koichi Kurita
2. 発表標題 Person Identification by Deep Learning using Walking Signals Detected by Ultra-sensitive Electrostatic Induction technique
3. 学会等名 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems in conjunction with Intelligent Systems Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 Identification Technique of Walking Motion in Daily Performance based on Ultra High-Sensitive Electrostatic Induction
3. 学会等名 2019 Asian Conference on Engineering and Natural Science (2019ACENS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 Activity Evaluation Technique of Human Body Motion Such as Walking Motion based on Ultra High-Sensitive Electrostatic Induction
3. 学会等名 The 6th Annual Conference on Engineering and Information Technology (ACEAIT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 静電誘導を用いた日常動作に現れる個人固有の特徴の非接触検出技術
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム計測部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間慶裕、森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 人体動作により検出された静電誘導電流波形を用いた個人識別技術
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム計測部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大下耕平、森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 静電誘導を用いた日常動作中の人体電位の非接触計測技術
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム計測部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 超高感度静電誘導を用いた手の動作の非接触検出技術
3. 学会等名 平成30年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田耕一、森永将太
2. 発表標題 超高感度静電誘導を用いたアンビエントな不審者検出技術
3. 学会等名 平成30年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 椅子の乗り移り時に誘起される静電誘導電流波形の検出と解析
3. 学会等名 平成30年度(第69回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大下耕平、森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 超高感度静電誘導を用いた非接触人体電位計測技術
3. 学会等名 平成30年度(第69回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田耕一、森永将太
2. 発表標題 層学習を用いた歩行動作の個人識別技術
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田耕一、森永将太
2. 発表標題 歩行動作で誘起される静電誘導波形を用いた機械学習による歩行動作評価技術
3. 学会等名 第27回計測自動制御学会中国支部 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 日常動作により誘起される静電誘導電流に現れる個人固有の特徴
3. 学会等名 平成29年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 部屋の入退室動作により誘起される静電誘導電流波形の解析
3. 学会等名 平成29年度（第68回）電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 栗田耕一
2. 発表標題 人体動作で誘起される微弱静電誘導電流の計測技術とその応用
3. 学会等名 電気学会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 Motion Identification Technique in Daily Performance based on Ultra High-Sensitive Electrostatic Induction
3. 学会等名 2017 The Annual Conference on Engineering and Applied Science (2017 ACEAT) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 Visualization of Individual Feature Amount Appearing in Daily Performance based on Electrostatic Induction
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Informatics and Bio Medical Sciences (ICIIBMS 2017) 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 バイク乗車・降車動作により誘起される静電誘導電流の解析
3. 学会等名 第19回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森永将太、栗田耕一
2. 発表標題 超高感度静電誘導電流検出技術を用いた人体動作の検出技術とその応用
3. 学会等名 平成30年電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田耕一
2. 発表標題 超高感度静電誘導型センサで検出した歩行信号のリカレンス解析
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Kurita
2. 発表標題 New Estimation Method for Daily Performance based on Ambient Sensing Technology
3. 学会等名 The 5th Annual Conference on Engineering and Information Technology (ACEAIT 2018) (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
--	---------------------------	-----------------------	----

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