

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310117

研究課題名(和文)非接触人体検出技術を用いた独居高齢者の元気度モニタリングシステムの開発

研究課題名(英文)Physical activity monitoring system for elderly person living alone based on noncontact human body detection technique

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) 12,400,000円、(間接経費) 3,720,000円

研究成果の概要(和文)：独居者の安否確認のみならず元気度を知る手段として歩行運動に着目した。そこで、歩行により生じる人体電位の変化を、静電誘導電流を検出することにより非接触で検出する技術を開発した。また、被験者の歩行運動を非接触・無装着で検出可能であることを明らかにした。さらに、誘導電流が発生する理論モデルを構築し、歩行動作との対応関係を明らかにした。一方、独居者の歩行運動検出を想定し、一般家庭の家屋に歩行信号検出用のスタンドアロン型電極やワイヤレスセンサを設置することにより、被験者の歩行運動を非接触で検出することを試みた。その結果、本手法は足の引き摺り等の歩行運動の僅かな差異の検出が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We here present a method for measuring human physical activity, which is based on detecting the electrostatic induction current generated by the walking motion under non-contact and non-attached conditions. A theoretical model for the electrostatic induction current generated because of a change in the electric potential of the human body is also proposed. By comparing the obtained electrostatic induction current with the theoretical model, it becomes obvious that this model effectively explains the behavior of the waveform of the electrostatic induction current. The normal walking motions of daily living are recorded using a portable sensor measurement located in an ordinary house. The obtained results show that detailed information regarding physical activity such as a walking cycle can be estimated using our proposed technique. This suggests that the proposed technique can be successfully applied to the estimation of human physical activity.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：歩行運動 非接触計測 静電誘導電流 独居高齢者 安否確認

## 1. 研究開始当初の背景

国立社会保障・人口問題研究所によれば、独り暮らし世帯は平成17年時点で1446万世帯あり、2030年には1824万世帯になると推計されている。この推定値は総世帯数の約4割を占めるまでになる。また、わが国の高齢化に伴う死亡者数も20年前の78万人から、昨年は114万人、さらに2030年には159万人にまで増加すると推定されている。このため、今後さらに独居高齢者の孤独死の増加が懸念され、ICTを活用したソリューションを早急に提供すべきである。

国内では、カメラを用いた安否確認手法が提案されたが、プライバシーの問題があり、あまり普及していない。数年前から、電気ポットの使用状況を携帯電話回線やインターネット経由で配信する安否確認家電等も普及されつつある。また、ガスの使用量を定期的に知らせるサービスも提供されている。いずれも、電気ポットやガスの使用は生活していく上で必要であり、安否の確認に適した情報である。この他にも、独居高齢者が自らスイッチを押して安否を知らせるシステムも提案されている。さらに、独居高齢者の存在を赤外線センサで検出する技術や、独居高齢者の生活音を検出し安否確認に活用する技術も提案されているが研究段階である。国外においても、独居高齢者の問題は存在するが我が国ほど深刻ではない。米国では、センサとネットワークを用いた独居高齢者の安否確認システムが提案されている。また、フランスでは、宅配サービス等の手段により独居高齢者の安否確認がなされている。

我々は、独居者の安否を確認するだけでなく、“元気度”を知ることができれば、よりきめ細かな対応が可能ではないかと考えた。そのように考えに至った背景には、従来法で用いられているデータが、ポットを使用する時間や回数、ガスの使用量等の独居者が生存している痕跡を検出しているにすぎない点にある。このため、独居者からの信号が途絶えた場合には既に重篤な状態に陥っている場合が多い。そこで、従来の生存している痕跡を検出する安否確認ではなく、独居者の元気度を遠隔検出する技術が必要であると考えた。そこで、我々は独居者の元気度を知るひとつの手段として、生活する上で最も基本となる歩行運動に着目した。

従来から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。人間の体は、歩行等の動作に伴い電位の変動を生じている。筆者らは、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、筆者らは歩行者の人体近傍に電極を設置す

ることにより、人体電位の変化により電極に誘起される誘導電流を検出することにより、非接触で歩行運動の検出が可能であることを明らかにした。この技術を応用し、独居高齢者の安否確認のみならず、“元気度”の評価を行ない独居高齢者の孤独死等の社会問題に対するひとつのソリューションを提案したいと考えた。

## 2. 研究の目的

従来、独居高齢者の安否確認方法として、電気ポット等の安否確認家電や、ガスの使用量を知らせるサービス等が提供されている。しかし、従来法では独居高齢者の安否をポット使用回数やガス使用量として検知しているため、この信号が途絶えた場合には既に重篤な状態に陥っている場合が多い。そこで、独居高齢者の歩行運動を非接触で検出することにより、安否確認のみならず、従来法では困難だった“元気度”の評価を行なう。本研究では、被験者の歩行運動による人体電位変動を、被験者から数メートル離れた位置に設置した電極に誘起される静電誘導電流を検出することにより非接触で検出する技術を用い、①歩行信号からの元気度の推定法確立、②歩行データ転送手法の最適化、③実証実験による課題抽出と対策の具体化を実施する。

## 3. 研究の方法

歩行信号検出装置に歩行信号自動解析システムを加えた小型システムを試作する。歩行信号検出装置は8cm×10cmサイズのプリント基板3枚で構成されていたが、この回路を6cm×8cmサイズにワンボード化した。PICマイコンを搭載したFFTシステムを構築し、前実施項目で得られたロジックに基づき元気度を評価するシステムを構築した。また、静電誘導電流検出法を用いた非接触歩行信号検出技術で得られた歩行信号から、元気度評価方法のロジックを明らかにし、装置を試作した。さらに、携帯電話サービスエリアと非サービスエリアに対して、それぞれ最適な元気度データ転送手法を明らかにし、歩行信号検出装置と元気度評価システムを一体化した。加えて、本手法の課題抽出と対策の具体化するため、独居者が暮らす一般家庭の家屋に本システムを設置し、安否確認と元気度を評価する実証実験を行ない、本システムの有効性の確認と運用上の課題を抽出した。

## 4. 研究成果

被験者の歩行や足踏み動作に伴う人体の電位変動は、被験者近傍に設置された電極に静電誘導現象を誘起する。電位の時間的変化に伴い、電極にはpA程度の微弱な誘導電流が流れる。この誘導電流をI-Vコンバータで電圧に変換した。I-V変換の変換比率は約3V/pAである。但し、この信号には主に商用電力(60Hz)に起因するノイズが多く含まれ

ている。そこで、カットオフ周波数 20Hz のローパスフィルターを用い、商用周波数に起因するノイズをカットした。本研究で使用した電極のサイズは25cm角である。また、A/D変換のサンプリング周波数は100Hzである。

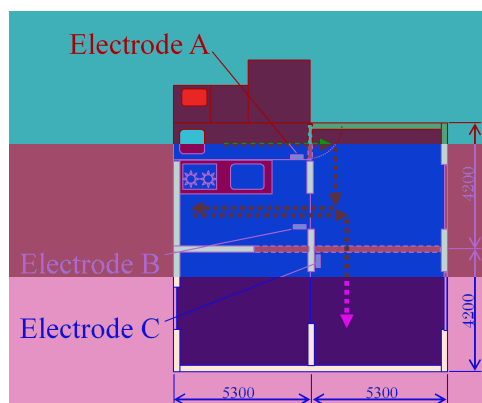


図1 電極配置場所と室内歩行経路

図1は歩行信号検出用のスタンドアロン型の電極を一般家庭の家屋に配置した際の一例である。被験者にはスリッパを着用してもらい、フローリングの床材の上を歩行してもらった。家庭内での人物移動の動線を考慮し、図1に示すように3枚の電極A,B,Cを配置した。図1中の破線は、人物歩行の軌跡の一例である。3枚の電極それぞれにより検出された静電誘導電流は、それぞれI-Vコンバータとローパスフィルターを経てリモートI/Oに付属しているA/D変換器でデジタル化し、インターネット経由で研究室に配置してあるデータ収集用PCにより歩行データを収集した。

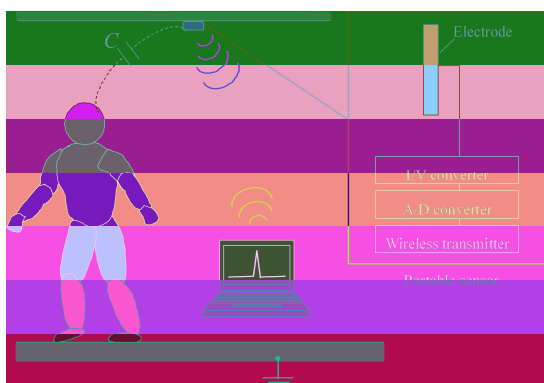


図2 ワイヤレスセンサによる歩行計測

上述したスタンドアロン型の電極を使用した歩行動作検出の場合は、電極を被験者周辺に配置する必要がある。そこで、ワイヤレス歩行信号検出装置を試作し、被験者の歩行動作の検出を試みた。図2はワイヤレス型歩行動作検出センサの概念図と構造を示している。一方、静電誘導電流の検出性能を向上させることにより電極サイズの小型化が可能となった。このワイヤレスセンサの電極サイズは2cm角の正方形である。図3はワイ

ヤレス型歩行信号検出装置の外観と、一般家屋の天井に装着した様子を示している。

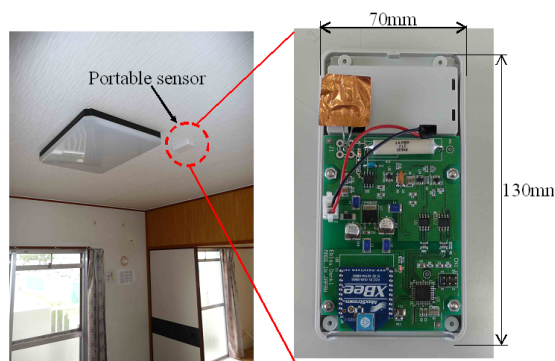


図3 ワイヤレスセンサの外観

図1に示した複数のスタンドアロン型電極を用いた歩行信号検出結果を図4に示す。得られた歩行信号波形は、図1で示した3本のスタンドアロン型電極(A,B,C)で検出されたものである。この歩行信号は被験者が図1の中で示している破線に沿って移動した際に検出されたものである。図4にはそれぞれの電極A,B,Cで得られた歩行信号波形を縦に並べて示している。いずれの電極で得られた波形にも、歩行運動による足の接地、離地のタイミングで発生するピークが観測されている。また、被験者が電極に近づき遠ざかっていく様子がピーク強度の変化として検出されている。

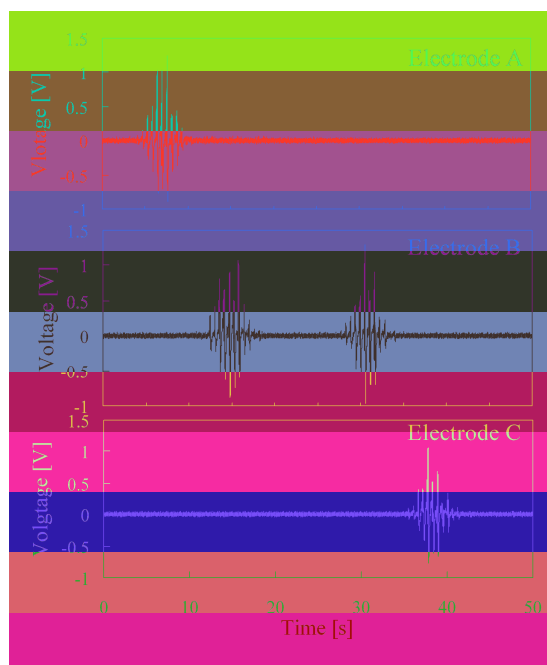


図4 歩行信号波形

この実験では、電極から2.2m程度の距離以内の歩行運動が検出されている。この結果から、一般家庭に設置した電極により検出される静電誘導電流波形から被験者の歩行信号を検出し、インターネットを経由してデー

タを取得可能であることが分かった。さらに、この歩行信号から歩行周期を算出することが可能となる。電極 A, B, C で得られた歩行信号の平均 1 歩行周期は、それぞれ 0.57[s]、0.55[s]、0.56[s]であった。このように、静電誘導電流波形には歩行運動に伴う歩行周期の情報が含まれている。

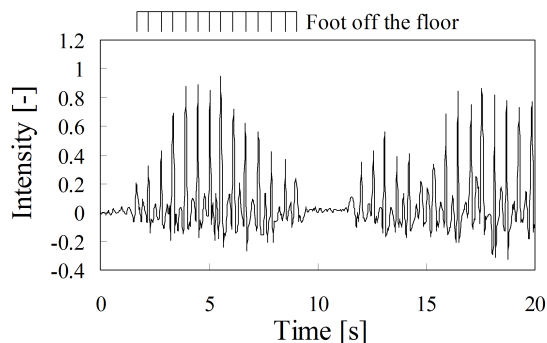


図 5 歩行信号波形 (ワイヤレスセンサ)

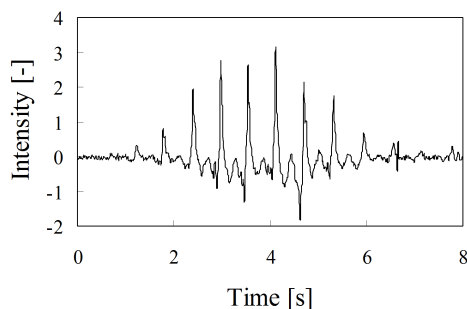


図 6 歩行信号波形 (Case1: 通常歩行)

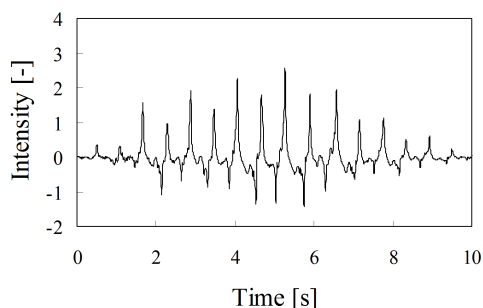


図 7 歩行信号波形 (Case2: 左足膝固縛歩行)

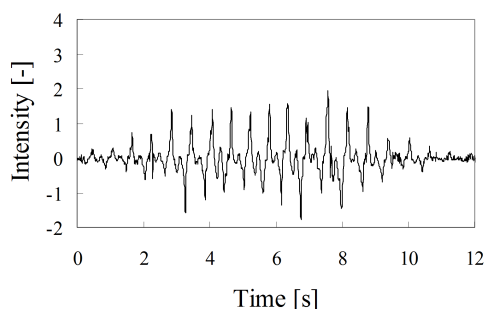


図 8 歩行信号波形 (Case3: 両足膝固縛歩行)

図 5 に示した結果はワイヤレスセンサにより得られた歩行信号波形である。被験者にはスタンドアロン型電極の実験と同様にスリッパで一般家屋内を歩行してもらった。図 3 に示すように一般家屋の天井に装着された 1 個のワイヤレスセンサにより歩行信号が検出されていることが分かる。また、検出された波形はスタンドアロン型の電極で得られた波形と同様に被験者の足の接地、離地のタイミングでピークが観測されていることが分かる。さらに、被験者が電極に近づき遠ざかっていく様子がピーク強度の変化として観測されている。

今回の試験ではワイヤレスセンサから 5m 以内の距離の歩行運動を検出することができた。この結果から、このワイヤレスセンサを一般家屋に設置することにより、被験者に一切センサを装着することなく歩行運動の検出が可能であることが分かった。さらに、得られた歩行信号から歩行運動の頻度や歩行周期等の被験者の身体活動データの取得が可能であることが分かった。

本研究ではさらに、不自由な歩行を模擬するため、片足あるいは両足の膝を固縛した状態の歩行運動による静電誘導電流波形を検出した。図 6 から図 8 は、それぞれ、通常の歩行で得られた波形 (Case1)、左足の膝のみ固縛した場合の歩行運動で得られた波形 (Case2)、両足の膝を固縛した場合の歩行運動で得られた波形 (Case3) である。これらの波形を FFT 解析して得られたスペクトル波形が図 9 である。通常歩行で得られた波形には歩行周期による高次のピークが  $P_1$  に示すように検出されている。しかし、足の膝の固縛の程度が強くなるにつれて高次のピークは消失していることが分かる。このように、歩行運動により誘起される静電誘導電流波形には、足の引き摺り等の歩行運動の詳細が検出されていることが分かった。

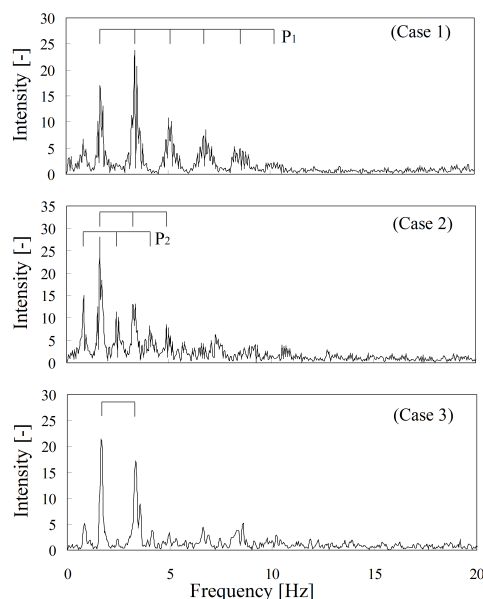


図 9 歩行信号波形のスペクトル

歩行に伴う人体近傍に電極を設置し、人体電位の変化により電極に誘起される誘導電流を検出することにより、非接触で歩行運動の検出を試みた。さらに、誘導電流が発生する理論モデルを構築し、歩行動作との対応関係を明らかにした。また、一般家庭の家屋に歩行信号検出用センサを設置することにより、被験者の歩行運動を非接触で検出することを試みた。検出した歩行信号はインターネットを経由して研究室に配置してあるデータ収集用 PC により歩行データが収集するシステムを構築した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

[1]Koichi Kurita, “Noncontact Hand Motion Classification Technique for Application to Human Machine Interfaces”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.50, Issue 3, 1-6 (2014) 査読有

[2]Koichi Kurita, “Human Identification from Walking Signal based on Measurement of Current Generated by Electrostatic Induction”, Kansei Engineering International Journal, 11, 183-189, (2012). 査読有

[3]Koichi Kurita, “Non-contact physical activity estimation method based on electrostatic induction technique”, Artificial Life and Robotics, 17, 97-101, (2012). 査読有

[4] 栗田耕一, 今井一雅, 池 龍美, 野中徹, “静電誘導現象を利用した室内人物移動検出の試み”, 計測自動制御学会論文集, 74, 430-434, (2011). 査読有

[5]Koichi Kurita, “Novel non-contact and non-attached technique for detecting sports motion”, Measurement, 144, 1361-1366, (2011). 査読有

[6]Koichi Kurita, Yusaku Fujii, Kazuhito Shimada, “A new technique for touch sensing based on measurement of current generated by electrostatic induction”, Sensor and Actuator A:Physical, 170, 66-71, (2011). 査読有

[7]Koichi Kurita, “New Detection Technique for Timing of Contact and Noncontact of Athlete’s Foot with the Ground in Sports”, International Journal of Automation Technology, 5, 223-235, (2011). 査読有

[8]Koichi Kurita, “Human heartbeat measurement on the basis of current generated by electrostatic induction”, Review of Scientific Instruments, 82, 026105~026107, (2011). 査読有

〔学会発表〕(計 26 件)

[1] 栗田耕一, “高感度静電誘導型センサを用いた歩行信号検出技術”, 2014 年電子情報

通信学会総合大会 D-7-8, pp. 73 (平成 26 年 3 月 21 日), 新潟大学(新潟県新潟市)

[2] 栗田耕一, “静電誘導センサと加速度センサを併用した歩行リハビリ支援技術”, 第 26 回バイオエンジニアリング講演会論文集 pp. 187-188, (平成 26 年 1 月 11 日), 東北大学(宮城県仙台市)

[3] 宮川翔太郎, 栗田耕一, “非接触無装着歩行信号検出技術とその応用”, 平成 25 年第 22 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集 pp. 114-115, (平成 25 年 11 月 27 日), 山口大学(山口県宇部市)

[4] 日原大輔, 栗田耕一, “日常の所作により誘起される静電誘導電流の解析と応用”, 平成 25 年第 22 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 110-111, (平成 25 年 11 月 27 日), 山口大学(山口県宇部市)

[5] Koichi Kurita, “Remote monitoring Technique for Physical Activity Estimation by means of the Internet”, The 18th ISfTeH International Conference in Japan, pp. 113 (2013), (平成 25 年 10 月 19 日), サンポートホール高松(香川県高松市)

[6] Koichi Kurita, Daisuke Hihara, “Measurement of Foot Contact Area in Walking Motion”, International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration 2013, pp. 1679-1682 (2013), (平成 25 年 9 月 16 日), 名古屋大学(愛知県名古屋市)

[7] Koichi Kurita, Tomohiro Fukuda, “Human Identification Technique from Walking Motion based on Electrostatic Induction”, International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration 2013, pp. 1673-1678 (2013), (平成 25 年 9 月 16 日), 名古屋大学(愛知県名古屋市)

[8] Koichi Kurita, “Estimation Technique of Friction Caused by Robot Walking Motion”, IIAI International Conference on Advanced Applied Informatics 2013, pp. 1673-1678 (2013), (平成 25 年 9 月 16 日), 名古屋大学(愛知県名古屋市)

[9] Koichi Kurita, “Human Physical Activity Measurement Method Based on Electrostatic Induction”, 11th International Symposium on Measurement and Quality Control 2013, pp. ID127 (2013), (平成 25 年 9 月 12 日), ホテル オイロペルスキー イン クラクフ(ポーランド)

[10] Koichi Kurita, “Differences between Individuals with Temporal Change in Plantar Surface Contact Area in Walking Motion”, 2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, pp. 87-90 (2013), (平成 25 年 7 月 7 日), 首都東京大学秋葉原サテライトキャンパス(東京都)

[11] 栗田耕一, “静電誘導センサを用いた歩行信号検出技術とその応用”, 平成 25 年電気学会 全国大会講演論文集, 3-171, 239 (平成 25 年 3 月 20 日), 名古屋大学 (愛知県名古屋市)

[12] 宮川翔太郎, 栗田耕一, “静電誘導型ワイヤレスセンサを用いた人体活動量検出技術とその応用”, 第 21 回計測自動制御学会中国支部 学術講演会論文集, pp. 128-129 (平成 24 年 11 月 24 日), 広島工業大学 (広島県広島市)

[13] 栗田耕一, “静電誘導型ポータブルワイヤレスセンサを用いた人体活動量検出技術”, 日本機学会 第 23 回バイオフィロントピア講演会, pp. 29-30, (平成 24 年 10 月 6 日), 弘前文化センター (青森県弘前市)

[14] 栗田耕一, “非接触人体活動量計測技術の開発とその応用”, 平成 24 年電気学会 電子情報システム部門大会講演論文集, GS4-3, 1402-1406, (平成 24 年 9 月 6 日), 弘前大学 (青森県弘前市)

[15] Koichi Kurita, “Physical activity estimation method by using wireless portable sensor”, IEEE Sensors 2012, pp. 691-694, (2012), (平成 24 年 10 月 29 日), 台北インターナショナルコンベンションセンター (台湾)

[16] Koichi Kurita, “Non-Contact Hand Motion Classification Technique for Application to Human Machine Interfaces”, ICEMS 2012, DS3G3-9, (2012), (平成 24 年 10 月 22 日), 北海道立道民活動センター (北海道札幌市)

[17] Koichi Kurita, “New Approach to Estimate Friction Caused by Biped Robot Walking Based on Electrostatic Induction”, Proceedings of the 2012 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Tokyo, Japan, September 18-21, pp. 680-683 (2012), (平成 24 年 9 月 19 日), 東京農工大学 (東京都)

[18] Koichi Kurita, “New Measurement Technique for Electrocardiography under Perfect Noncontact Conditions”, ICEE 2012, pp. 1484-1489 (2012), (平成 24 年 7 月 10 日), 石川音楽堂 (石川県金沢市)

[19] Koichi Kurita, “Non-contact physical activity estimation method based on electrostatic induction technique”, AROB17th, 1151-1154 (2011), (平成 24 年 1 月 20 日), B-Con プラザ (大分県別府市)

[20] Koichi Kurita, “Detection for Human Respiration and Human Heartbeat under Non-contact Conditions”, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 1831-1836 (2011), (平成 23 年 12 月 9 日), モーヴェンピックホテル (タイ国・プーケット)

[21] 栗田耕一, “静電誘導電流検出による歩行検出技術とその応用”, 第 32 回バイオメ

カニズム学術講演会, 1A-8 (平成 23 年 11 月 26 日), 大阪科学技術センター (大阪府)

[22] Koichi Kurita, “Keynote Address: Novel Measurement Method for Physical Activity Based on Electrostatic Induction Technique”, ICICI-BME 2011, KA-06 (2011), (平成 23 年 11 月 9 日), バンドン工科大学 (インドネシア・バンドン) 招待講演

[23] Koichi Kurita, “Non-Contact Detection of Electric Potential of Human Body Based on Measurement of Current Generated by Electrostatic Induction on Daily Living”, The Fourth International Conference on Human-Environment System, 439-443 (2011), (平成 23 年 10 月 4 日), 北海道大学 (北海道札幌市)

[24] Koichi Kurita, “Human Identification from Walking Signal based on Measurement of Current Generated by Electrostatic Induction”, International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, 232-237 (2011), (平成 23 年 9 月 21 日), サンポート高松 (香川県高松市)

[25] Koichi Kurita, “Wireless Portable Sensor for Real-Time Data Collection in Human Walking Motion”, SICE Annual Conference 2011, 1844-1848 (2011), (平成 23 年 9 月 16 日), 早稲田大学理工学部 (東京都)

[26] Koichi Kurita, “Visualization of Electric Potential of Human Body Caused by Walking Motion under Non-Contact Conditions”, The 11th Asian Symposium on Visualization, CD ROM ASV-14 (2011), (平成 23 年 6 月 6 日), 朱鷺メッセ (新潟県新潟市)

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし