

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 8 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01461

研究課題名(和文) 場所を選ばず身体への負荷が少ない起立動作姿勢推定システムの開発

研究課題名(英文) Development of standing-up posture estimation with light burden to the body

研究代表者

和田 親宗 (Wada, Chikamune)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：50281837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：臨床現場や日常生活での利用を考慮した簡便な起立動作の姿勢推定システムの開発を目的とする研究である。胸部につけた慣性センサと、圧力センサや超音波センサを内蔵した靴型計測装置、信号処理コンピュータの3つから構成されるシステムを開発した。研究の結果、各センサのデータと作成した人体リンクモデルから起立動作時の姿勢を推定でき、姿勢から筋出力の推定も可能であった。ただし、使用したソフトウェアの制限により、筋出力のリアルタイム推定は実現できなかった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop a posture estimation system during standing-up motion, with consideration for daily use and clinical use. The system which included an inertial sensor on a chest, pressure sensors and ultrasonic sensors on a shoe and signal processing software, was developed. As the results, our system could estimate posture during standing-up from combining all sensor data and a human body linkage model, moreover muscle output could be estimated from the posture. However, muscle output could not be estimated in real-time operation.

研究分野：福祉工学

キーワード：起立 支援 姿勢

## 1. 研究開始当初の背景

椅子からの起立動作は日常生活で頻繁に行う動作であり、自立的に起立ができないと、車いすやベッドでの生活が主となり、当事者の生活に対する意欲の低下や介護者の負担の増加はもとより、関節拘縮や筋力など運動機能の低下、心臓血管系などの自律機能の低下など様々な問題が生じることとなる。

起立動作を支援するものとして、日常生活で使用可能な椅子型のパワーアシスト装置や起立支援リフトは、下肢完全麻痺者にとっては QOL を向上させる有効な装置である。しかし、既存の装置は起立動作を全面的に支援するものであり、頑張れば起立動作ができる人にとっては残存能力の維持（あるいは改善）の点で課題があると言える。この課題解決には、起立動作時の姿勢や力の不足に応じて支援装置を制御する必要がある。

ところで、ヒトの身体にセンサを装着することで自律的に日常生活下の動作計測を行うものとして、上腕・体幹・大腿などの身体各部に慣性センサ（IMU）を装着し、人体リンクモデルにより動作推定を行う製品が国内外から販売されているものの、身体の複数箇所センサを装着する必要があり臨床現場や日常生活下での使用は難しい。これに対し、少数のセンサで自律的に動作計測を行おうとする試みもあるものの、使用場所が制限される、センサを計測部位に装着しなければならないという課題が存在している。

## 2. 研究の目的

本研究では、臨床現場や日常生活での利用を考慮した簡便な起立動作の姿勢推定システムの開発を目的とする。この際、行動の邪魔をせず、どこでも起立動作の計測が可能となるよう胸部につけた IMU と、圧力センサや超音波センサを内蔵した靴型計測装置、信号処理コンピュータの 3 つでシステムを構成する。具体的な目標は次の通りである。

### (1) 起立動作時の姿勢推定手法の開発

過去の研究成果を改良、発展させ、起立動作過程全般における姿勢推定手法を開発する。

### (2) 起立動作姿勢推定システムの構築と有効性評価

(1) で開発した推定手法を、各種センサ、コンピュータ等を用いて実現する。そして、臨床現場における起立動作訓練で評価を行う。

### (3) 起立動作支援装置の制御方法の確立

残存能力をもとにした起立動作支援装置の制御方法を確立する。

## 3. 研究の方法

過去の知見をもとに、胸部に取り付けた IMU と足底の圧力センサのみで、身体負荷の少ないシステム構築を目指す。研究開発内容は、(1) 起立動作時の姿勢推定手法の開発、(2) 起立動作姿勢推定システムの構築と有効性評

価、(3) 起立動作支援装置の制御方法の確立、である。(1) では、IMU と圧力センサからの情報の使用を前提に、起立動作の姿勢を推定できるアルゴリズムを開発する。(2) では市販の IMU と圧力センサを使い、姿勢推定システムを構築し、臨床現場における有効性評価を行い、システムの利用範囲を特定する。(3) では筋骨格系モデルと組み合わせることで、姿勢に応じた起立動作支援装置の制御方法を開発する。

### (1) 起立動作時の姿勢推定手法の開発

まず、IMU データから体幹角度を推定、人体リンクモデルから重心位置を力学的に推定する。この際、人体リンクモデルの入力として、体幹の移動速度とともに、起立開始時の姿勢の影響を避けるため起立開始時を基準にした体幹角度変化を考慮する。

次に、足底に圧力センサを並べ、圧力変化を時間で積分することで身体重心の高さを、水平面での圧力分布から身体重心の水平位置を推定する。

そして、上記二つを組み合わせ、臀部離床後の身体動作の推定を試みる。推定される重心位置と、IMU データから得られる体幹姿勢とを、人体リンクモデルに入力し、身体姿勢に関係する関節角度を推定する。

### (2) 起立動作姿勢推定システムの構築と有効性評価

まず、どのような場所でも姿勢の推定を実現するため、重心位置推定に必要な両足相対位置および足底圧力を、センサを内蔵した靴型計測装置で計測する。

次に、靴型計測装置、IMU および(1)の結果を基に、姿勢推定システムを構築し、推定精度を評価する。

### (3) 起立動作支援装置の制御方法の確立

椅子座面昇降機構を開発し、姿勢推定システムで得られた起立動作時の姿勢によって便座昇降機構の制御を試みる。具体的には、筋骨格系モデルから姿勢に応じた起立動作に必要な力を算出、実際に便座に加わる力の計測結果と比較し、両者のずれをもとに便座の高さや角度を変化させる。

## 4. 研究成果

### (1) に関する成果

胸部に装着した IMU から、腰部、膝部、足部の各関節角度を推定するアルゴリズムを考案した。そして、7名の被験者に椅子から立ち上がってもらい、関節角度の推定精度および身体重心位置 (COG) の推定精度を評価した。この際、モーションキャプチャシステムと床反力計によって得られた関節角度および COG を真値とした。被験者を、通常より早い速さ / 通常より遅い速さの 3 つの立ち上がり速度の条件で、両腕を胸の前で組んだ状態で、各 10 回ずつ立ち上がらせ

た．精度評価の結果，関節角度の推定誤差は最大で 4.83 度，最小で 2.32 度であった．この数値は，別途計測した不感帯以下の値であったため，提案した推定手法は有効であると判断した．ちなみに，不感帯とは，今回の評価のために定義した数値で，起立動作を繰り返して行った場合の，角度のずれを意味する．被験者が全く同じ動作をしているつもりでも不感帯は生じており，この不感帯はヒトが知覚できないと考えた．また，COG の推定誤差は最大で 4.48cm であり，過去の所属研究室の手法より悪い結果となった．原因は，角度推定の際に用いた人体リンクモデルに起因するものと考えた．[研究成果の詳細は，雑誌論文 1 に記している．]

## (2)に関する成果

まず，両足相対位置および足底圧力を計測する，センサを内蔵した靴型計測装置を開発した．靴の姿勢推定を行うためクォータニオン等を用いた靴の姿勢推定に関する運動方程式を作り，拡張カルマンフィルタ (EKF) を用いた外乱加速度の影響を補償するモデルを提案した．そして，「一方向に靴を動かす条件」，「多方向に靴を動かす条件」，「実際の歩行」の 3 つの条件下で計測実験を行い，光学式 3 次元モーションキャプチャシステムによる結果を真値として，誤差等の比較を行った．その結果，セットするパラメータが少なく済むこと，パラメータ化する空間回転軸が少なく済むこと，計算時間の短さから開発モデルは有効であると判断した．

次に，足底圧力の計測に用いる圧力センサの校正方法を開発し，個々のセンサの校正を行った．次に，圧力中心 (COP) 位置変化を考慮したセンサ配置を考案し，靴型装置に内蔵した．[研究成果の詳細は，雑誌論文 2 に記している．]

最後に，IMU と靴型計測装置からの足底圧力データを組み合わせることで起立動作開始時の初期関節角度を推定するアルゴリズムを提案し，実測によりその推定精度を評価した．加えて，推定された初期関節角度を用いて，立ち上がり時の腰部，膝部，足部の関節角度の推定を行い，精度を評価した．6 名の被験者を対象に，(1)と同じ実験システム，実験条件で初期関節角度および起立動作中の関節角度を推定し，モーションキャプチャシステムによって得られた真値と比較した．その結果，初期関節角度の推定誤差は最大で 5.83 度，最小で 2.78 度であった．また，起立動作中の関節角度の推定誤差は 2.78 度～5.98 度であり，初期関節角度データを使わない場合の推定誤差に比べて小さくなった．このことから，初期関節角度推定を用いることで，誤差の少ない起立動作の姿勢推定を行えることがわかった．

## (3)に関する成果

まず，姿勢推定システムのリアルタイム化を

実現した．様々な計測環境で，様々なソフトウェアを使って姿勢推定を行っていたものを，統合し，1 つのコンピュータで，リアルタイムに処理できるようにした．

次に，筋骨格シミュレータを用いて，椅子からの起立動作を再現する人体リンクモデルを開発した．そのリンクモデルに，姿勢推定システムから得られた身体姿勢情報を入力することで，筋出力を推定できた．しかし，使用したシミュレータの制限のため，筋出力推定手法を開発システムに組み込むことができず，リアルタイムでの筋出力推定は実現できなかった．

そして，椅子座面昇降機構の位置制御方法を開発した．開発中の昇降機構は，空気圧を用いて，椅子座面の高さや角度を変化させる．ただ，空気圧を用いるために，正確な位置の制御を行うことが難しい．解決方法としてロック機構を検討したものの，大がかりとなった．そこで，事前に，ある重さが加わった時の，空気圧変化に対する高さ，角度変化を関数として求めておき，使用者の体重を入力することで，所定の高さや角度変化を生じさせるよう空気圧調整法を開発した．[一部の結果を，雑誌論文 3 に記している．]

最後に，上記を組み合わせ，起立動作支援システムを開発，制御法も開発した．ただし，前述したようにリアルタイムで筋出力を推定できなかったため，姿勢によって起立動作支援システムを制御した．被験者の下肢表面筋電位(前頸骨筋，大腿直筋，ハムストリングス筋，大臀筋，脊柱起立筋)を計測することで，支援システムの有効性を評価した．被験者は 7 名で，起立動作を 10 回ずつおこなってもらい，各筋の%MVC を求めた．実験の結果，全ての被験者において筋活動の有意な減少は確認できた．このことから，姿勢による起立動作支援システムの制御は実現できたと考える．一方，姿勢から筋出力を推定できることから，起立動作支援システムの筋出力による制御も可能と考える．

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

(1) Fang Jin, Takayuki Nagasaki, and, Chikamune Wada, "An estimation of knee and ankle joint angles during extension phase of standing up motion performed using an inertial sensor", 査読有, J. Phys. Ther. Sci. 29: 1171-1175, 2017. (doi: 10.1589/jpts.29.1171. Epub 2017 Jul 15)

(2) Romy Budhi Widodo and Chikamune Wada, "Artificial Neural Network Based Step-Length Prediction Using Ultrasonic

Sensors from Simulation to Implementation in Shoe-Type Measurement Device,” 査読有, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.21, No.2, pp. 321-329, 2017. (doi: 10.20965/jaciii.2017.p0321)

(3) Chikamune Wada and Shuichi Ino, "Study of the Relationship Between Sit-to-Stand Activity and Seat Orientation", 査読有, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.21, No.2, pp. 337-341, 2017. (doi: 10.20965/jaciii.2017.p0337)

〔学会発表〕(計7件)

(1) Chikamune Wada, Fang Jin and Takayuki Nagasaki, “An estimation method of knee and ankle joint angles during standing up motion using an inertial sensor”, Fifth International Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES2017), (1page), 2017.

(2) Fang Jin and Chikamune Wada, “Estimation of lower limb angle from inertial sensor to estimate extension phase during standing-up movement”, Fourth International Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES2016), p.91, 2016.

(3) Romy Budhi Widodo and Chikamune Wada, “Simulation of Ultrasonic Sensors in a Shoe-Type Measurement Device”, SICE Annual Conference 2016, Paper ID: Fr2E.1 (4 pages), 2016.

(4) Chikamune Wada, “Estimating the Initial Trunk Angle for a Standing-Up Motion Guidance System Using an Inertial Sensor”, International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia 2016, Paper ID: SS6-1(4 pages), 2016.

(5) Chikamune Wada, Takahito Oda, Yoshiyuki Tomiyama and Shuichi Ino, “A study of the relationship between sit-to-stand activity and seat orientation”, 19th Triennial Congress of the IEA, Paper ID:828(5 pages), 2015. , 2015/08/13

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~wada/index.html>

6. 研究組織  
(1)研究代表者  
和田親宗(WADA, Chikamune)  
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授  
研究者番号: 50281837

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし

(4)研究協力者  
和田太(WADA, Futoshi)  
峯浦達夫(MINEURA, Tatsuo)