

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：34310

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18000

研究課題名(和文) 環境との相互作用を計測可能なウェアラブル全身運動計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of wearable whole-body motion measurement system that can measure the interaction between a human and its surrounding environment

研究代表者

伊藤 彰人 (Ito, Akihito)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号：60516946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：現在、実際の環境下で、長時間、日常生活などの人の動的な運動データを計測するために十分なシステムは存在しない。特に、作業を行う手の部分の環境との相互作用の計測は、既存のモーションキャプチャシステムでは死角となり計測できないことが多い。

本研究では、慣性センサ(3軸加速度センサ, 3軸ジャイロセンサ)と3軸地磁気センサを1体で構成したMEMSセンサを用いて計測するセンサシステムを構築した。まず、手の運動計測システム, 上半身の運動計測システムを開発し、これまでに開発済みであった歩行計測システムを組み合わせることにより、ウェアラブル全身運動計測システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：There is not enough available system to measure whole-body motions for a long time under actual daily life. In particular, measurement using existing motion capture system is not suitable for motion with many blind spots, such as finger motion. Therefore, we conducted a wearable motion measurement system using MEMS sensors including a tri-axial acceleration sensor, a tri-axial gyro sensor and a tri-axial geomagnetic sensor. Firstly, we developed a wearable finger motion measurement system and a wearable upper body motion measurement system. And, we developed a wearable whole-body motion measurement system by combining the wearable walking measurement system and our developed system.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：運動計測 慣性センサ

## 1. 研究開始当初の背景

近年、身体計測技術、解析技術の向上により、デジタルヒューマンシミュレーションを用いて、人の運動特性に基づいた生活支援機器の開発や、日常生活での高齢者に対する身体負荷の少ない製品、住宅設備の開発などが行われている。しかし、人の複雑さゆえ、人体の構造や動きを分析し、単純化したモデルでの評価にとどまっている。デジタルヒューマン(筋骨格モデル)で詳細にコンピュータ上に人体をモデル化し、関節稼動域、最大筋力、筋力の衰え、身体障害者の麻痺具合など、個人の様々な特性を反映することができれば、これまで行うことのできなかつた負荷評価や苦痛の原因究明に繋がるのが期待できる。例えば、加齢とともに衰える筋力や麻痺などの障害度を再現可能な筋骨格モデルを構築できれば、加齢、障害度により変わる身体負担の評価が可能となり、高齢者や身体障害者にも快適な日常生活空間の設計などが可能になる。

しかしながら、デジタルヒューマン(筋骨格モデル)をモデル化する以前に、日常生活の動作自体が、身近な現象であるにもかかわらず、未解明な部分が多いのが現状である。これは、現在得られているデータが医学・リハビリテーションを主としたデータが多いため、日常生活動作に即した動的データが少ないこと、そして、作業を行う手先部の運動および環境との相互作用を計測することが非常に困難であることが原因である。運動計測においては、各関節の変位、環境との相互作用(体に作用する外力)を定量的に評価する必要がある。歩行などの運動の計測の一例としては、据え置き型である複数台のカメラによるモーションキャプチャ、設置型床反力計の出力から関節モーメントを算出する3次元動作解析装置を使用する。しかし、これらのシステムは、計測空間の制約、高コストなどの問題がある。また、日常生活は実験室の環境とは異なりマーカーをモーションキャプチャシステムで十分に撮影できない問題もあり、日常生活の計測には不向きである。特に手の部分に関する環境との相互作用の定量的な評価が非常に難しい。上記の問題から、日常生活の動的データを長時間、実際の日常生活環境下で計測するシステムは、見あたらぬ。

## 2. 研究の目的

日常生活の動作を計測するためには計測空間の制約を受けることなく、環境との相互作用を計測可能な「ウェアラブル全身運動計測システム」の開発が必要である。したがって、本研究では、特に重要となる「ウェアラブルな手の運動計測システム」を開発し、実際の日常生活の動作が計測可能なウェアラブル全身運動計測システムへと発展させることを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) ウェアラブルな手の運動計測システム  
3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサ、3軸地磁気センサが1体に集積された9軸センサ(BMX055, Bosch Sensortec 製)を指の各セグメントに装着可能なシステムを開発することにより、指の動作計測を実現する。また、指の動作を阻害することがないように各センサ間の配線をフレキシブルにする必要がある。

開発した手の運動計測システムを用い、光学式モーションキャプチャシステムとの比較により、精度検証を行う。

### (2) ウェアラブル全身運動計測システム

これまでにデータログ、慣性センサと「ウェアラブル床反力計」からなる「ウェアラブルな歩行計測システム」の開発に携わり、この装置を用いた歩行解析を行ってきた。上半身の運動計測方法を確認し、ウェアラブルな全身運動計測システムへ拡張する。そして、制約のないセンサ群での日常生活における周囲環境との相互作用情報を計測する。

## 4. 研究成果

### (1) ウェアラブルな手の運動計測システム

開発したウェアラブルな手の運動計測システムを図1に示す。図2に運動計測結果の一例を示す。図2の左図が実際の運動姿勢であり、右図が動作計測結果より描いたスティックピクチャである。実験により、光学式モーションキャプチャでは死角となり計測が困難となる姿勢においても、指の運動を計測可能であることを確認した。

慣性センサによる運動計測、動作解析では、あらかじめリンク機構を想定し、事前に測定した対象部位の長さを用いることが多い。しかし、手の場合、各リンクが短いため、目視で関節の回転中心を決めることが難しく、リンク長さを正確に測ることはできない。そこで、慣性センサの出力値に回転軸からの距離情報が含まれることに着目し、関節の回転中心や回転軸、リンク長さといった慣性センサと対象部位情報の相対関係を推定する手法を構築した。

構築した手法を用いて、光学式モーションキャプチャとの比較を行った結果、姿勢センサを用いた姿勢計測と関節中心推定を利用し、計測した手指動作は十分な精度で動作を計測可能であることが明らかとなった。ただし、初期姿勢の算出に課題を残しており、今後の研究課題でもある。

得られた成果は、同志社大学理工学研究科修士論文に纏めるとともに、EMBC2016、LIFE2016にて発表した。また、計測システム、動作計測方法に関して特許の出願を行った。

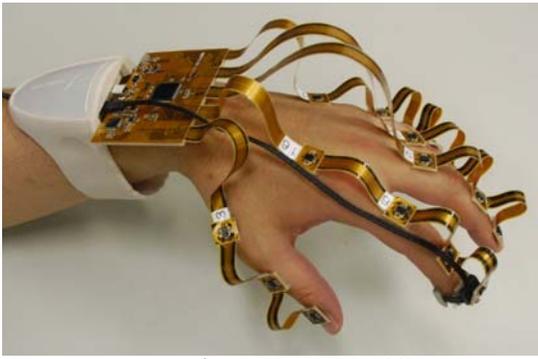


図1 ウェアラブルな手の運動計測システム

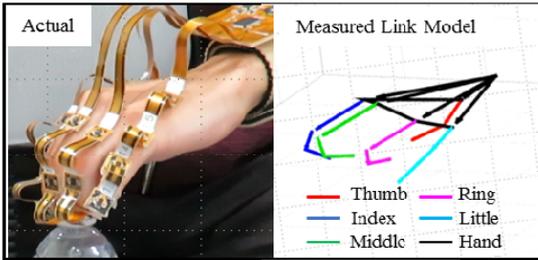


図2 運動計測結果

(2) ウェアラブル全身運動計測システム

まず、上半身の運動計測方法を確立するため、図3に示す慣性センサの取り付け位置での運動計測を行った。図4に計測結果より算出した指先の軌跡を示す。手法Aが肩甲骨の動きを計測する姿勢センサを用いなかった場合の計測結果、手法Bが肩甲骨の動きを計測する姿勢センサを用いた場合の計測結果、手法Cが光学式モーションキャプチャによる計測結果である。姿勢センサの計測結果と光学式モーションキャプチャの計測結果との比較を行った結果、初期姿勢算出時の誤差と姿勢センサの取り付け時のズレが手先位置の算出精度に大きく影響していることを明らかになった。そこで、初期姿勢の補正に関しては光学式モーションキャプチャの結果を基に補正し、姿勢センサの取り付け誤差に関しては手の運動計測時に開発した姿勢センサと対象部位情報の相対関係を推定する手法を適用させ、計測結果を補正した。補正した結果を図5に示す。姿勢センサと対象部位情報の相対関係を推定する手法は、姿勢センサの取り付け時のズレを補正することができ、誤差を低減できることを示した。ただし、初期姿勢の算出に課題を残しており、今後の研究課題でもある。

ウェアラブルな歩行計測システムと本研究課題での成果を組み合わせ、図6に示す全身運動計測システムを構築した。

得られた成果は、同志社大学理工学研究科修士論文に纏めるとともに、日本機械学会関西支部第92期定時総会にて発表した。

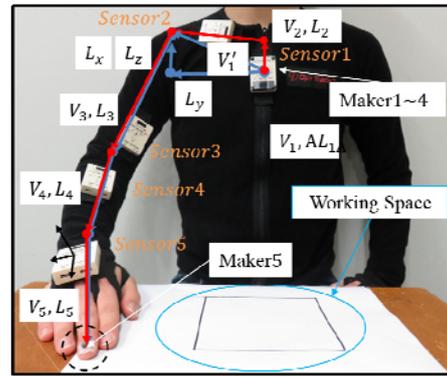


図3 上半身の運動計測

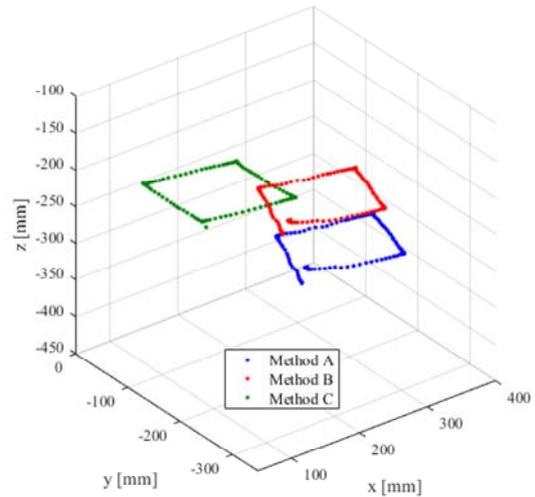


図4 補正前の姿勢センサによる運動計測結果

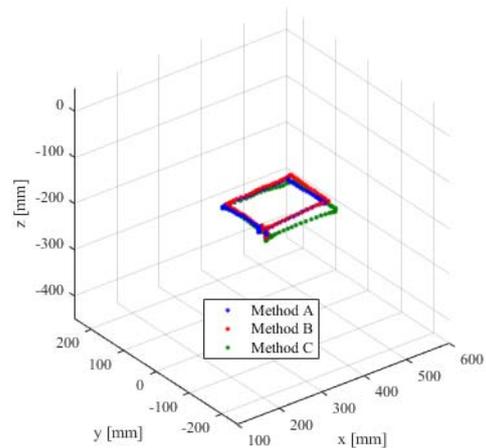


図5 補正後の姿勢センサによる運動計測結果



図 6 ウエアラブルな全身運動計測システム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① Keisuke Kitano, Akihito Ito, Nobutaka Tsujiuchi, Shigeru Wakida, Estimation of Joint Center and Measurement of Finger Motion by Inertial Sensors, Proceedings of the 38th Annual International Conference on the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 5668-5671, 2016, 査読有.

〔学会発表〕 (計 2 件)

- ① 北野敬祐, 伊藤彰人, 辻内伸好, 和木田茂, 指動作計測システムを用いた関節に関する幾何学的情報の推定, LIFE2016, (2016), 東北大学 (宮城, 仙台).
- ② 宮川裕基, 伊藤彰人, 辻内伸好, 堀尾健児, モーションセンサを用いた産業用ロボット教示システムのための位置・姿勢推定, 日本機械学会関西支部第 92 期定時総会, (2017), 大阪大学 (大阪・吹田).

〔図書〕 (計 0 件)

なし.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 姿勢動作検出装置

発明者: 伊藤彰人 他 4 名

権利者: 学校法人同志社, 株式会社テック技販

種類: 特許

番号: 特許願 2015-257303

出願年月日: 2015 年 12 月 28 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

なし.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 彰人 (ITO, Akihito)

同志社大学 理工学部・准教授

研究者番号: 60516946

(2) 研究分担者

なし.

(3) 連携研究者

なし.

(4) 研究協力者

なし.