

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）	
研究期間：2007～2008	
課題番号：19700469	
研究課題名（和文）	寝たきり防止及び健康支援のためのウェアラブル活動・姿勢計測システムの開発
研究課題名（英文）	Development of a new wearable system for monitoring posture changes and activities for prevention of bedridden and health care
研究代表者	
本井 幸介（MOTOI KOSUKE）	
金沢大学・機械工学系・研究員	
研究者番号：80422640	

研究成果の概要：本研究では、リハビリテーション、フィットネス等において姿勢変化に関する定量的データを提供可能なシステムの開発とその評価を実施した。具体的には、本システムは角度センサ・無線モジュール・メモリ・バッテリー等を内蔵したユニットを体幹・大腿・下腿にそれぞれ装着し計測を行うものであり、片麻痺患者や高齢者を対象とした計測結果より、病院等施設における歩行訓練中、さらには日常生活において、詳細に姿勢変化や歩行速度の特徴を解析可能であり、活動性や訓練効果の定量評価に非常に有用であることが確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	480,000	3,780,000

研究分野：生体医工学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学，福祉工学

キーワード：リハビリテーション，寝たきり防止，ウェアラブル，姿勢変化，歩行速度，活動

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション（以下、リハ）分野においては、患者の活動性を的確に判断し訓練プログラムを決定し、その効果を判定するために、いかに患者の姿勢変化といったものを定量的に記録・解析するかということが大きな課題となっている。また、実際の計測の際には、リハセンターや併設のデイケアセンターにおける動作解析、さらには在宅下の生活を記録することで日常生活下でも本当に治療・訓練が患者の QOL 向上に貢献できてい

るか等も把握することも必要であり、そのためには計測環境を選ばず使用可能なウェアラブル装置が望ましい。現在市販されているような CCD カメラ等を用いた大掛かりな動作解析装置は、計測環境が限定されると共に、解析作業の煩雑さやシステムが高額であるといった問題からも現実的ではないと考えられる。

一方、ウェアラブル活動計測装置はリハ分野においてのみならず、今後は健康・福祉への応用が期待される。例えば高齢者の寝たきり予防のために、いかに活動性を維持するか

ということが大きな課題と考えられ、近年高齢者フィットネス等が注目されている。この際に、もし自身の動作の特徴を定量的データとして認識・追跡できるようなシステムがあれば、フィットネスの効果を確認するだけでなく、高齢者自身のモチベーションにも繋がると考えられ、持続的なフィットネスを続けることができると考えられる。一方、若年～中年層における健康管理のためのジョギングにおいても、現在ジョギングの距離・速度等を表示する携帯装置が市販されているが、その演算アルゴリズムは歩幅や被計測者の姿勢変化等は何も考慮されておらず、極めて精度の低いものであり、新たな評価方法が望まれる。

そこで本研究では、いつでもどこでも活動を計測可能なシステムを開発し、リハ患者や高齢者等を対象とした長期的なフィールドトライアルも実施することにより本システムの有用性を実証すると共に、これら知見を基に新たなセンサの開発研究を行い、活動計測を用いた寝たきり防止及び健康支援プログラムの構築に寄与していくことを目的とした。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでに、体幹・大腿・下腿の角度変化を計測することによって、細かな活動状況の判別や、起立・歩行・起き上がりといった運動中には角度情報による姿勢変化を解析可能なセンサシステムの開発に成功した。本システムは角度計測用センサとデータロガーを内蔵した体幹ユニットと、同様な角度センサを内蔵した膝サポータ型の下腿センサから構成され、これら2つのユニットを有線で接続し計測を行うものである。また高齢者やリハ患者を対象とした計測・評価も実施しており、動作の特徴を詳細に記録可能であることが確認された。

今回さらに実用化に向けて、リハセンターでは無線によるリアルタイム計測、日常生活下ではメモリによるオフライン計測が可能であり、また簡便にデータを収集し、姿勢変化や歩行速度等を自動で解析・表示することが可能なシステムを開発した。また本システムを用いて、高齢者やリハ患者を対象とし、病院リハセンター（通所を含む）、自宅における活動計測を実施し、システムの実用性や、訓練によって本システムから得られるデータにどのような変化が表れるか、訓練の効果を評価可能であるか、寝たきり防止・健康支援への有用性実証を行った。一方、本システムの応用として、ジョギング中の姿勢までを解析可能であるか、検討を行った。

3. 研究の方法

まず、システム開発については、より簡便かつ便利な計測・解析を目指すべく、加速度・ジャイロセンサ、CPU、AD変換器、無線送受信モジュール、メモリ、バッテリー等を全て内蔵した小型計測ユニットを開発し、これを体幹・大腿・下腿にそれぞれ装着することにより計測可能なシステムを開発した。また、本システムによりジョギング中の姿勢変化も計測可能であるか検討を行った。

なお、当初計画では、体幹ユニットに大腿・下腿のセンサ出力を送信・蓄積後、解析装置に送信するというシステムを想定していたが、体幹・大腿・下腿それぞれのユニットにリアルタイム計測用の無線モジュール並びにオフライン計測用のメモリを内蔵することにより、より簡潔なシステムとした。またセンサの固体認証についても、RFIDタグの適応も検討したが、各計測ユニットに固体のIDを持たせると共に、初回使用時に予め使用者、ユニットの組み合わせ等を簡便に記録可能とすることで、実用可能とした。

次に、システムを用いて病院リハセンターにおける片麻痺患者、通所リハセンター（デイケアセンター）並びに自宅における高齢者の日常活動計測実験を行った。病院リハセンターにおける計測については、リハプログラムにおける歩行訓練中の動作を対象とし、退院まで定期的に計測・評価を実施した。また、通所リハセンター並びに自宅における計測については、通常の日常生活中に2時間の活動計測を実施し、セラピストの訓練・指導について日常の活動性維持・向上への効果を定量的に評価した。なお、下肢センサについては、麻痺側に装着し計測を行った。実際の計測については、八日会藤元早鈴病院セラピスト室の協力の下、当該施設の倫理審査委員会並びに患者自身からのインフォームドコンセントを得た後、実施した。

4. 研究成果

図1は今回開発した計測システム概要である。まず、計測ユニットについては、無線送受信機、メモリ（SDカード）、バッテリー、CPU、AD変換器、加速度・ジャイロセンサが内蔵されており、これを体幹・大腿・下腿にそれぞれ装着し計測を行う。無線によるリアルタイム計測は遮蔽物のない環境で約10mの通信が可能であり、連続8時間の計測が可能である。一方、メモリによるオフライン計測は連続15時間の計測が可能である。なお、無線による計測の際にも、バックアップとしてSDカードにデータが記録され、通信

不良等の際にはこのデータを用いて解析を行うこともできる。計測終了後は、PCを用いて、全自動で各部角度変化、1歩行周期毎の瞬時歩行速度、活動シナリオ、姿勢変化の静止画・動画等が演算・表示される。また、歩行速度や関節可動域等については、数ヶ月オーダーの解析も可能となっている。

本改良によって、リハセンターやデイケアセンター等の施設では被計測者にセンサを装着するだけで、解析PCにデータが送信され自動で解析・表示され、計測終了後に非常にスムーズに解析結果を確認可能となり、また在宅下における計測についても同じシステムで対応可能であり、実用的なシステムとなった。

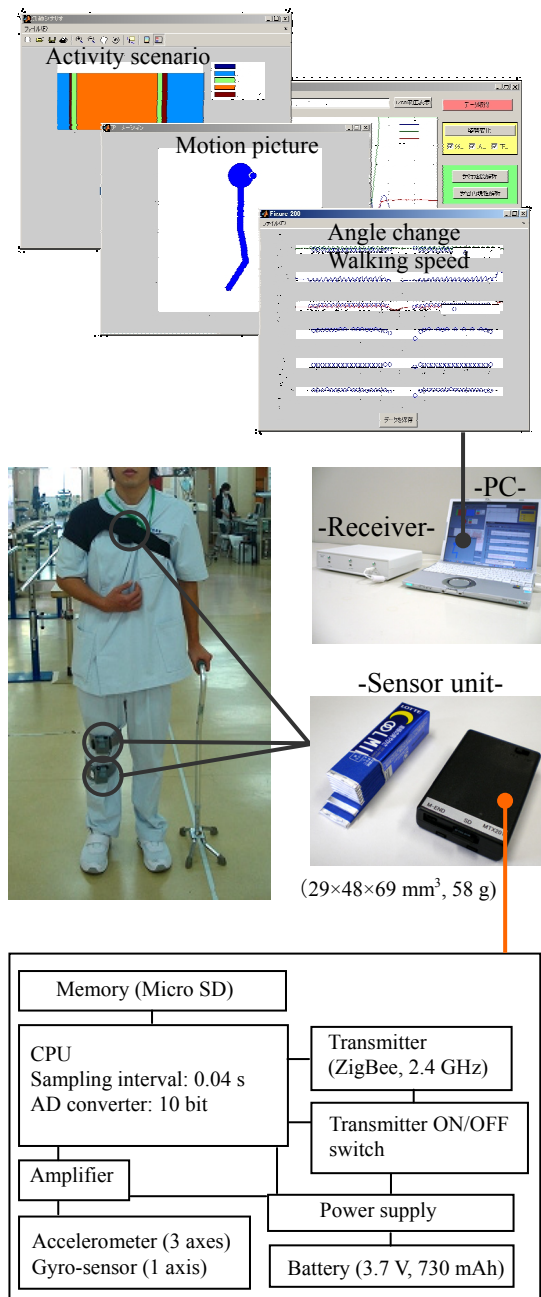


図1 計測システム概要

図2は62歳男性片麻痺患者（リハ期間：21日目）を対象とし、リハセンターにおいて、歩行訓練（10m往復歩行）を行った際の、各部角度変化の計測結果例であり、リハプログラム（ストレッチやマッサージ等）前後における歩行訓練の際の比較を行ったものである。これら結果より、リハ前と比較しリハ後においては、体幹及び下腿をより細かく動かし、大腿部の動きを若干抑えて、結果的に膝関節の伸展を使った歩行をコントロールできていることが判り、訓練・指導の成果が表れていることが確認された。このような分析は、セラピストの目視や本人の自覚だけで確認することは難しく、本システムから得られる定量的データから把握できることは非常に有用であると考えられる。

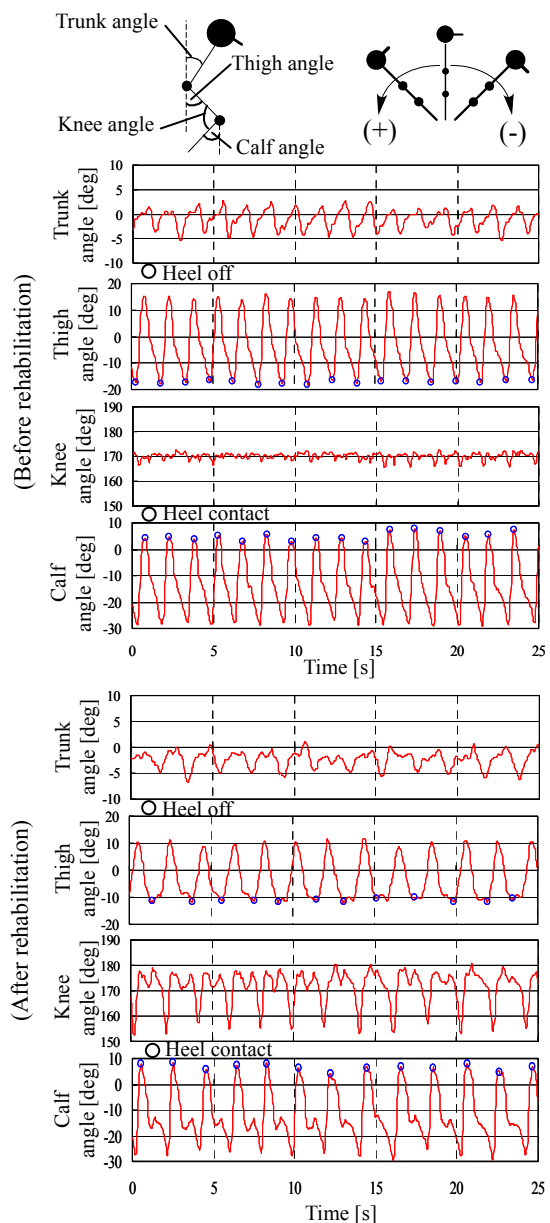


図2 片麻痺患者の歩行動作計測結果例

図3は、56歳男性片麻痺患者を対象とし、長期的に訓練の効果を追跡した結果であり、歩行速度、踵接地及び離地時における大腿部角度、1歩行周期毎の踵接地時大腿部角度を20周期分集計しその標準偏差SDを算出したもの、以上について解析したものである。これら結果より、訓練を継続するにつれて、歩行速度及び大腿部角度変化が向上していることが確認された。また踵接地時における大腿部角度SDの大きさから、歩行速度が上昇している期間において再現性が低下しているものの、歩行速度維持期間において、向上していることが確認された。このように、本システムから訓練効果を定量的に追跡可能であり、訓練方針の決定の際に非常に有用であるとともに、患者自身のモチベーション向上にも繋がると考えられる。

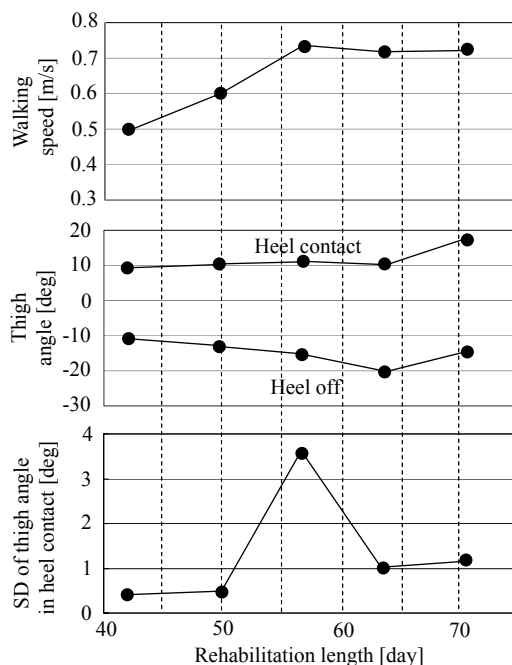
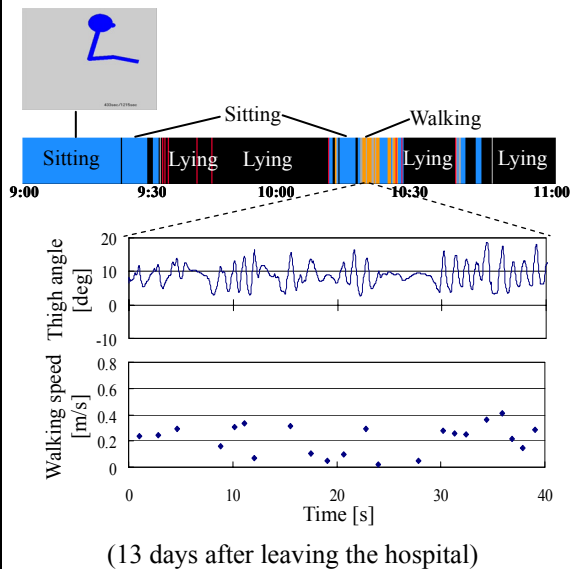


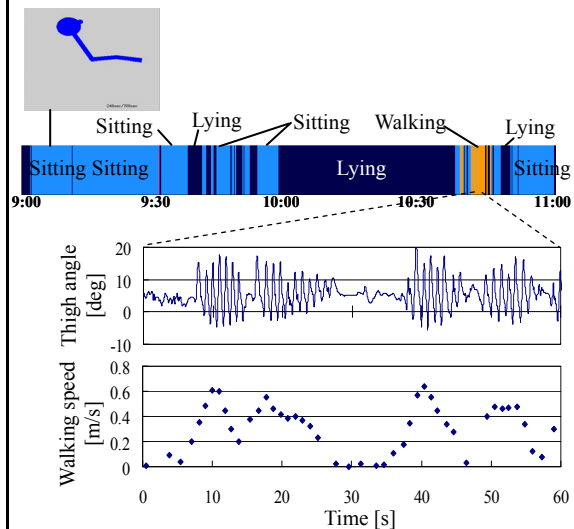
図3 訓練効果追跡結果例

図4は84歳女性片麻痺患者を対象とし、退院後13日及び34日における日常生活の活動計測結果であり、セラピストが自宅を訪問し訓練・指導を行った後、2時間計測を行ったものである。図中上部は活動シナリオ、下部は歩行中の大腿部角度変化及び1歩行周期毎の歩行速度の変化、左上部は座位中の姿勢を静止面で示したものである。これら結果より、まず両日共に座位及び臥位の時間が非常に多いことが確認された。また、13日目の座位については前傾姿勢であり、何か作業を行っている等、比較的活動性が高いことが判り、また34日目においては、後傾座位であり、休息していると考えられる。一方、歩行については13日目においては、大腿部角

度変化及び歩行速度が不安定であるが、34日目においては、大腿部角度変化及び歩行速度において、安定した加速・減速が確認され、セラピストの訪問による訓練・指導の効果が定量的に確認された。これら解析は、高齢者のQOL向上はもちろんのこと、転倒の危険性を把握したり、さらには今後の要介護認定等の更新の際の介護サービスの効果判定等に対しても有用であると考えられる。



(13 days after leaving the hospital)



(34 days after leaving the hospital)

図4 日常生活下における活動計測結果例

一方、図5は上記システムを用いてジョギング中の各部角度の計測を行った結果である。健常成人や高齢者、リハ患者を対象とした計測では、一定のフィルターによりセンサ信号を処理可能であったが、本結果については加速度センサの運動成分(0.5 Hz以上)の周波数解析を実施し、もっとも成分が大きい周波数をジョギングの周期とし、その周期前

後の成分が残るようフィルタリングすることにより、大腿・下腿の角度を正確に計算し、またピーク検出についても周期性に合わせて検知（細かなピークを検知せず、大腿・下腿の周期運動による動きの幅のみを正確に検知）することが可能であることが確認された。一方、速度については従来の歩行モデル（センサ装着側下肢の角度変化と下肢長より、前方への移動距離を推定する手法）においても、実速度との相関が得られるものの、両足が浮いている期間における移動距離を補正するといった工夫をさらに行うことにより、より高精度でジョギング速度が測定可能になると考えられ、今後解析プログラムの改良を行っていく予定である。

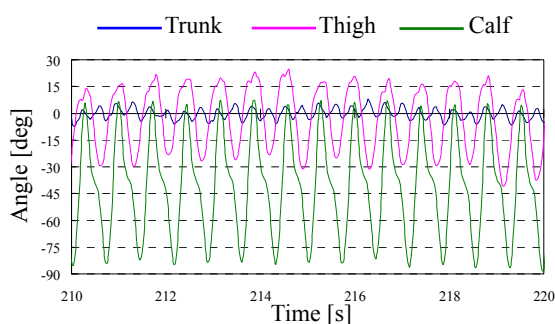


図5 ジョギング中の角度変化計測結果例

以上の結果より、今回開発したシステムは計測環境を限定せず、簡便に姿勢変化や歩行速度等の詳細な特徴を記録・解析可能であることが確認された。また、本システムによるリハ患者及び高齢者の訓練期間中の活動計測結果より、訓練の効果によって本システムから得られるデータ（歩行速度や角度）が変化していくことが確認され、リハ分野はもちろんのこと、在宅下における活動性を維持・向上し、寝たきり防止、健康支援を行う際の定量データ提供ツールとして非常に有用であることが確認された。

本システムのような非常に必要最低限のセンサ数であり、かつ明確・詳細に姿勢変化の特徴を抽出可能な装置はこれまでにないものである。また、このような装置を用いてリハ患者等の病院施設、さらには日常生活下における活動の計測・評価を試みた例は国内外においてほとんどなく、これらは画期的な試験であり、工学系学会だけではなく、理学療法関連学会でも評価が得られた。

今後はシステムの小型化を進めると共に、より多くのリハ患者や高齢者を対象とした長期的な計測を行っていく。一方、ジョギング等の動作解析をはじめとし、一般健康管理向けのシステムへの応用についても、解析アルゴリズムの改良等を進めていき、広く実用化を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計1件）

- ① K. Motoi, Y. Kuwae, M. Wakugawa, Y. Toyonaga, T. Yuji, Y. Higashi, T. Fujimoto, S. Tanaka and K. Yamakoshi, Improved wearable monitoring system for posture changes and walking speed and its application to supporting physical therapist in rehabilitation, International Federation for Medical and Biological Engineering proceedings, 22, pp. 1632–1635, 2008, 査読有

〔学会発表〕（計2件）

- ① 小堀康行, 本井幸介, 桑江豊, 湯池忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 田中志信, 山越憲一, ウェアラブル姿勢・活動計測システムによるリハビリテーション効果定量評価の試み, 第47回日本生体医工学会大会, 2008.5.9, 兵庫
- ② 小堀康行, 本井幸介, 藤田賢太郎, 老川大輔, 湯池忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, ウェアラブル姿勢・活動計測システムの開発ー姿勢・動作解析アルゴリズムの検討ー, 第46回日本生体医工学会大会, 2007.4.27, 宮城

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本井 幸介 (MOTOI KOSUKE)
金沢大学・機械工学系・研究員
研究者番号：80422640