

令和元年6月26日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01660

研究課題名(和文) 習慣化したわるい姿勢の意識的改善を促すモバイル腰痛予防システムの開発

研究課題名(英文) Development for a mobile system to prevent lumbago by consciously improving habitualized bad posture

研究代表者

芝田 京子 (SHIBATA, Kyoko)

高知工科大学・システム工学群・准教授

研究者番号：00307117

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)：本研究では、習慣的なわるい姿勢による腰痛を予防するため、日常生活で脊柱姿勢を測定し姿勢の良否を判断することで、正しい姿勢を自身で憶え自らの意思で維持できるサポートシステムを提供する。

姿勢良否の指標である腰椎椎間板負荷の推定法を最適化し、多様な姿勢に対応できる信号処理アルゴリズムを確立した。さらに慣性センサを用いて脊柱姿勢と椎間板負荷を同時に推定する高精度なセンシングシステムを開発しウェアラブル化に成功した。またスマートフォンを介してWebサーバへ姿勢データを送受信可能な仕組みを追加し、中長期的な姿勢データの蓄積が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題は、わるい姿勢によって引き起こされる痛みや疾患を、医療専門家を介することなく普段の生活をしながら自主的に予防し、効果を確認しながら手軽に姿勢改善に取り組める全く新しい提案である。ユーザがシステムと協調して積極的に自分自身の健康を維持、向上する効果的なセルフヘルスケアを工学の技術を駆使して実現する。

また、姿勢データを生活習慣とリンクさせ姿勢が改善していく経過データが可視化されるなど、生活習慣病のような中長期的観察の必要な疾患の予防医学への発展も考えられ、医療費削減にもつながる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to prevent lumbago due to habitualized bad posture, a support system is provided - it can remember and maintain a correct posture by himself / herself to develop a method of measuring users spinal column posture in daily life and judging whether its posture is good or not.

The method to estimate the load on the lumbar intervertebral disk, which is one of the indices to decide whether the posture is good or bad, is optimized, and a signal processing algorithm that can apply to various postures is established. Furthermore, using four inertial sensors, a highly accurate sensing system that can simultaneously estimate the spinal column posture and the disk load is developed, so it realized wearable. In addition, a system that can relay smartphone then transmit and receive posture data to web server is added, therefore medium- and long-term posture data can be saved.

研究分野：セルフヘルスケア工学、計測・制御工学、機械力学、メカトロニクス

キーワード：脊柱姿勢 腰椎椎間板負荷 ウェアラブルセンシング 慣性センサ Webサーバ

### 1. 研究開始当初の背景

健康志向が高まる一方で、日常生活での姿勢のわるさから腰痛に悩まされている人は老若男女問わず多く、姿勢のわるさは内臓疾患などの病気も引き起こす。これまでの腰痛予防法には、整形外科やカイロプラクティックでの施術があるがユーザにとって受動的で一時的な処置でしかない。能動的な方法としてストレッチや姿勢保持グッズなどもあるが万人に共通の方法論であるため個人差を考慮できない。また、普段の姿勢を直すことで腰痛を予防できることが知られているが、自らの正しい姿勢を姿見などなしで自覚することは難しく、また楽な姿勢として無意識に猫背や平背などのわるい姿勢になり、正しい姿勢を維持し続けることは困難である。つまり、自分の普段の姿勢を意識し、楽しみながら姿勢改善できる手法や機器はこれまで皆無であった。

研究代表者らはこれまでに、ジャイロ・加速度・地磁気センサを組合せたウェアラブル慣性センサを用いて連続的にリアルタイムで高精度な運動解析が可能な医療用システムを世界で初めて開発、商品化した（図1）（T. Liu, K. Shibata, et.al, 2012）。また、映像による腰部体表面形状を基にバッチ処理で腰椎椎間板にかかる負荷を推定する技術を開発した（芝田ら, 2012）。そこで、2つの開発技術を適用して、日常生活を過ごす中で小型軽量のウェアラブルセンサシステムによりユーザの姿勢を連続的にリアルタイムで計測し、無意識にとってしまう習慣化したわるい姿勢をユーザ本人に意識させ、さらに自らの意思で姿勢を改善し正しい姿勢を体に憶えさせるシステム（図2）が開発できれば、姿勢のわるさから生じる腰痛を予防可能であると考えた。

これまで市販されている姿勢の計測装置（例えば、Index社 SpinalMouse や新川電機 ShapeTape）は静止状態に限られ、生活の中の連続測定や定量データの取得ができない。よって、日常生活を送りながら、現状のわるい姿勢がどのような特徴を有しているか精度良く同定できる機器はこれまでになく、さらに時々刻々測定データからユーザがどう直せば正しい姿勢になるかを瞬時に教示するシステムも開発されていない。

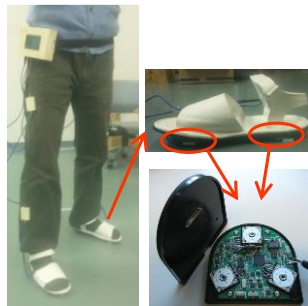


図1 ウェアラブル高精度運動解析システム

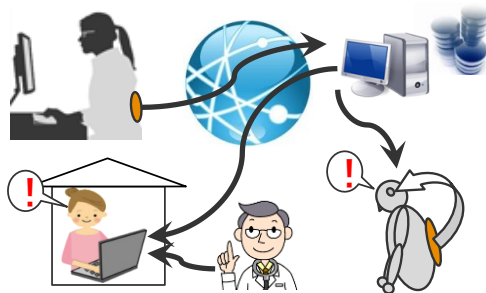


図2 開発システムの概要

### 2. 研究の目的

姿勢のわるさなど生活習慣が起因する腰痛にならないために、各ユーザに適応した姿勢改善を促すことで、健康な体作りを支援するシステムを開発する。大別して以下3項を開発する。

- (1) 連続的に3次元姿勢を測定する小型で常時携帯可能な高精度小型センサシステム
- (2) 日常生活での習慣的なわるい姿勢をユーザに意識させるために、姿勢変化を可視化したWebサービス
- (3) 正しい姿勢を体で憶えるために、ユーザが姿勢矯正の自主トレを行える仕組みを(1)に組み込んだシステム

### 3. 研究の方法

姿勢の高精度ウェアラブルセンシング技術構築のため、バイオメカニクス理論や信号処理理論、整形外科の知見などを利用して方法論を提案し、光学式モーションキャプチャとの同時計測、および外科手術を伴った実測結果（Nachemsonら, 1974）と比較検討することで提案法の有用性を示す。

姿勢識別では、姿勢の良し悪しを判断する指標として本研究では従来より検討を進めている腰椎椎間板負荷を体表面形状から間接的に推定する方法を用いている。脊柱のモデル化においてはこれまでは光学式モーションキャプチャを用いていたが、さらなる精度向上、対象姿勢の拡大、リアルタイム化、ウェアラブル化を実現すべく、問題点を抽出し、体表面形状の測定方法、および推定アルゴリズムについて再検討する。

姿勢データの長期的蓄積、および可視化は、クラウド上にWebサーバを構築し、センサとサーバ間はモバイル端末（スマートフォン）を介して送受信する仕組みを開発する。センサから送られたデータを基にスマートフォン上で姿勢を再現し描画するアプリケーションを開発する。

研究組織は工学と医学の専門家から成る分野横断型で編成し、複合的視点からのシステム開発と現場利用への連携を図る。

#### 4. 研究成果

(1) 腰椎椎間板負荷推定に用いる体表面形状の測定においてこれまでのモーションキャプチャを使う方法ではウェアラブル化ができないが、曲げセンサ (図3)、あるいは慣性センサ (図4) を用いて負荷推定を実現する2つの方法を新たに提案し、腰椎系のみではあるが精度よく推定可能であった。曲げセンサは一方方向の彎曲しか計測できないため、図3のように腰椎を挟むように2本貼り付ける。利便性の観点からコルセットに内蔵させた構造も試作したところ肌に直接貼付するよりも精度が高かった。慣性センサはL1-L2間、L5-S1間に装着しそれぞれの傾き角度とセンサ間距離から個人毎の関係式を導出し椎間板負荷比を推定した。結果、外科手術を伴う実測結果 (Nachemson ら, 1974) と定性的に同等の傾向が得られたため、次課題として移動を伴う動作、例えば歩行動作中の腰椎への負荷推定を現在検討している。また精度は高いままより小型軽量の慣性センサが今後開発されれば衣服に内蔵するなど商品化への発展も考えられる。

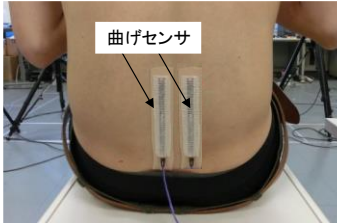


図3 曲げセンサを用いた負荷推定

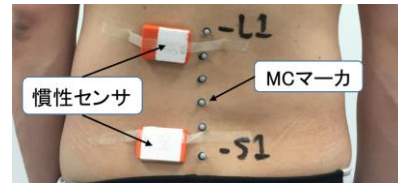


図4 慣性センサを用いた負荷推定

(2) 腰椎系の体表面形状を整形外科臨床やカイロプラクティックで一般的に提案されている円弧ではなく、2次関数で近似する信号処理アルゴリズムも新たに考案した。この方法により、重量物を持ったり無意識での連続的な座位姿勢の崩れ (図5)、速い動作中 (図6) など、より多くの姿勢において、時間とともに腰椎椎間板負荷が増大するような結果が得られ、本課題で取り上げた静止、あるいは準静止した姿勢でなくとも、腰椎への負荷が推定可能で、姿勢の良

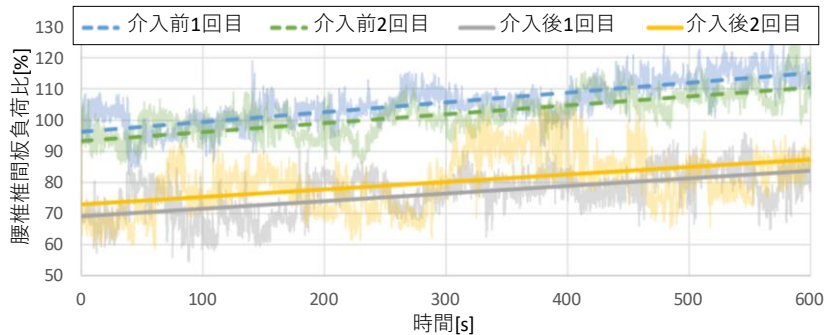


図5 動画鑑賞中の座位姿勢の崩れによる腰椎椎間板負荷比の増加 (座位歩姿勢保持装具使用前後の比較)

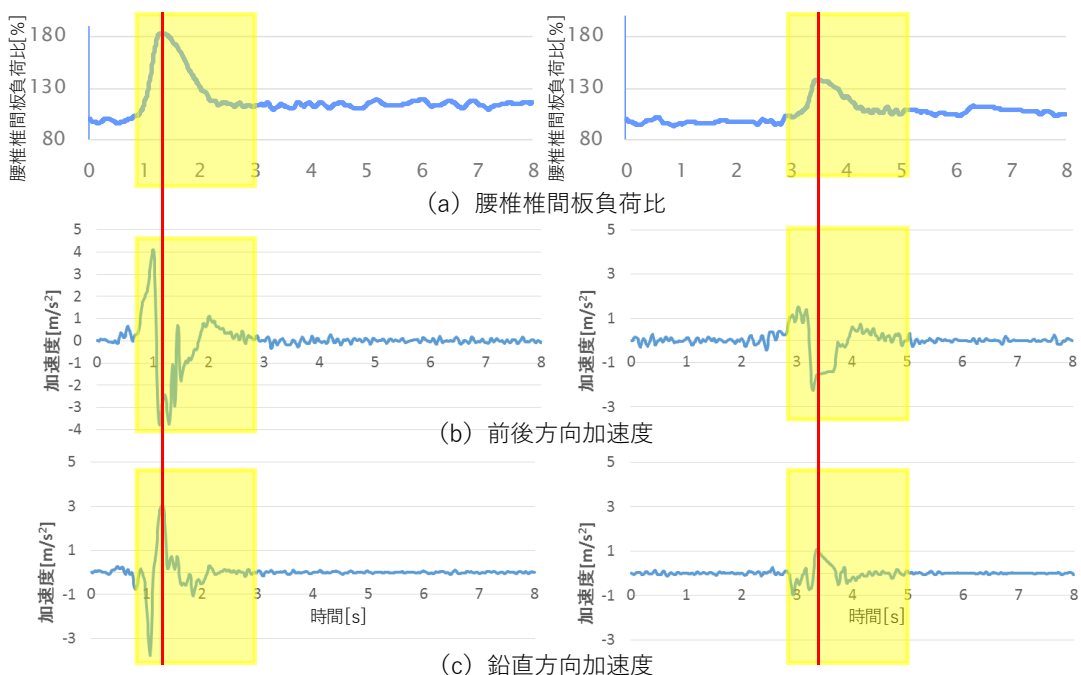


図6 くしゃみをしたときの腰椎椎間板負荷比と2方向加速度 (左: 通常のかしゃみ動作、右: 壁に手をあてて防御したくしゃみ動作)

し悪しの判断ができることが明らかとなった。今後、くしゃみなどの速い動きにおける負荷推定のさらなる定量的な精度向上のためには加速度を加味した新しいアルゴリズムの開発が必要ではないかとの考えに至り、現在も検討中である。

(3) 当初目的にはなかったが新たな検討による成果として、重量物を持った場合では、腰椎系を梁と考え腰にかかるモーメントとして腰椎椎間板負荷を推定する方法を新たに提案した。具体的には骨盤傾斜による腰椎部の曲げを考慮する方法を簡易モデルによる重回帰分析より検討し、実測結果と比較し有用性が得られた(図7)。そこで、次課題として腰椎系を含む脊柱下部への上半身の自重による影響と骨盤傾斜による影響を詳細モデルでの構造解析により明らかにする。

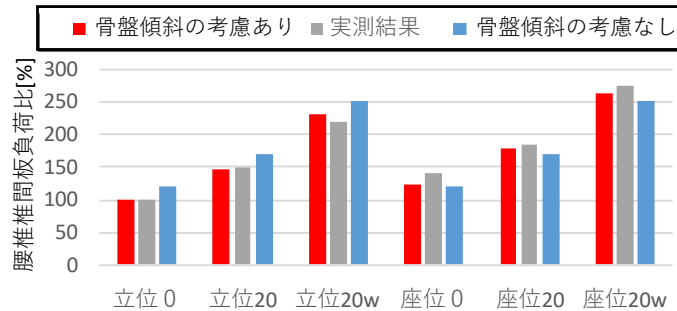


図7 腰椎系を簡易梁モデルとして重回帰分析によって推定した骨盤傾斜の考慮有無による腰椎椎間板負荷比の実測値との比較

(4) 脊柱(頸椎C6から仙骨S1まで)のモデル化では、3個の慣性センサで測定したデータを基に姿勢を再現する方法を確立した。様々な姿勢を光学式モーションキャプチャで測定し、脊柱を3リンクモデルで近似可能なこと、つまり3次関数でカーブフィット可能であることがわかった。これを基に個人毎に慣性センサを貼り付ける位置をモーションキャプチャによる傾き情報から決定するキャリブレーション方法を確立し、連続的に姿勢が変化する場合において矢状面での姿勢の再現が可能であることが示された(図8)。さらに、脊柱モデル化と腰椎椎間板負荷を同時にウェアラブルセンシングする方法を検討し、4個の慣性センサで可能である見通しが得られた(図9)。よって矢状面の姿勢を連続的に可視化し、腰椎椎間板負荷比により姿勢の良し悪しの判断が可能であり、次項(5)で述べるように姿勢データをWebサーバへ蓄積可能なウェアラブル姿勢センシングシステムが構築できた。

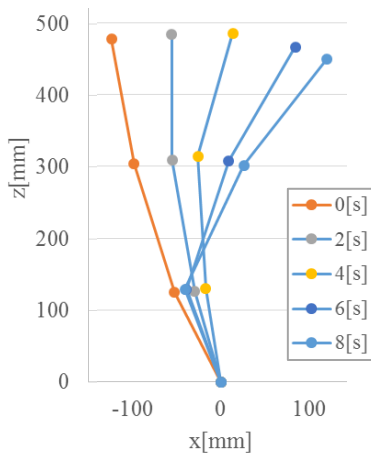


図8 連続的な脊柱モデル再現

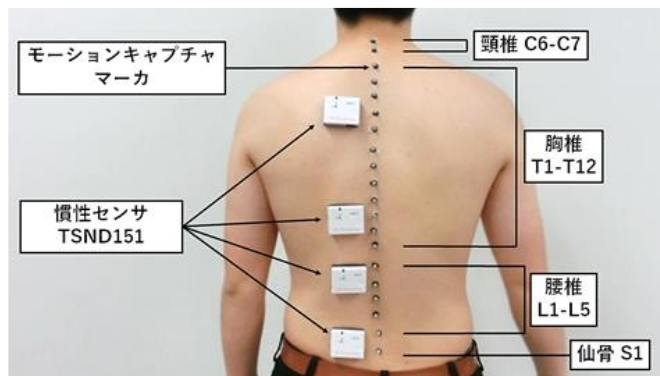


図9 4つの慣性センサによる脊柱モデルと腰椎椎間板負荷比の同時推定

(5) 姿勢データの蓄積では、Webサーバフレームワークの仕様を決定、構築し、複数の慣性センサの情報をスマートフォンを介してWebサーバへ送受信可能なアプリケーションを開発した(図10)。このとき、センサデータはBluetoothにより無線でスマートフォンへ送られ、スマートフォンからHTTPS(暗号化通信)によりWebサーバへ送信している。

<引用文献>

- ① 芝田京子, 井上喜雄, 岩田祥孝, 片川準也, 藤井涼, 腰椎系における椎間板負荷の非侵襲的な推定法, 日本機械学会論文集C編, Vol. 78, No. 791, pp. 2483-2495, 2012.
- ② T. Liu, Y. Inoue, K. Shibata, K. Shiojima, A Mobile Force Plate and Three-dimensional Motion Analysis System for Three-dimensional Gait Assessment, IEEE Sensors Journal, Vol. 15, No. 5, pp. 1461-1467, 2012.
- ③ Andersson, B. J. G., Örtengren, R., Nachemson, A., Elfström, G., Lumbar disc pressure and myoelectric back muscle activity during sitting, I. Studies on an experimental chair. Scand. J. Rehab. Med., No. 6, pp. 104-114, 1974.





図 10 姿勢データ取得および送受信のためのスマホアプリケーション

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 13 件)

- ① [Kyoko Shibata](#), Yasuhito Tsuyoshi, Yoshio Inoue, [Hironobu Satoh](#) and Motomichi Sonobe, Noninvasive estimation of lumbar intervertebral disk load using multiple regression analysis to consider the pelvic tilt, IHSED2018: Future Trends and Applications, 2018.
- ② 芝田京子, 津吉康仁, 園部元康, 井上喜雄, 骨盤傾斜を考慮した腰椎椎間板負荷の推定, 日本人間工学会第 59 回大会, 2018.
- ③ 津吉康仁, 芝田京子, 園部元康, 井上喜雄, 姿勢改善サポートシステムのための慣性センサを用いた腰椎椎間板負荷推定法, 日本機械学会中国四国支部第 56 期総会・講演会, 2018.
- ④ 西田隼人, 芝田京子, 園部元康, [佐藤公信](#), 津吉康仁, ワイヤレス慣性センサと Android 端末を用いた姿勢改善支援システム, 日本機械学会中国四国学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会, 2018.
- ⑤ Suzuki, Y., [Shibata, K.](#), Sonobe, M., Inoue, Y., [Satoh, H.](#), Noninvasive estimation of lumbar disk load during motion to improve the posture, AHFE 2017 Intl Conf on Safety Management and Human Factors, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017.
- ⑥ 芝田京子, 飯塚卓邦, 津吉康仁, 鈴木佑, 杉森香織, 金鍾貴, 園部元康, 井上喜雄, 座位姿勢補助器具使用時の腰椎椎間板負荷の推定, 日本人間工学会第 58 回大会, 2017.
- ⑦ 飯塚卓邦, 芝田京子, 園部元康, 井上喜雄, 姿勢改善サポートシステムのための脊柱形状の推定, 日本機械学会中国四国支部第 55 期総会・講演会, 2017.
- ⑧ 鈴木佑, 芝田京子, 園部元康, 井上喜雄, 動作中における腰椎椎間板負荷の非侵襲的な推定, 日本機械学会中国四国学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会, 2017.
- ⑨ 飯塚卓邦, 芝田京子, 園部元康, 井上喜雄, 姿勢改善を目的とした脊柱を再現するためのセンサ位置の検討, 計測自動制御学会四国支部学術講演会 2016, 2016.
- ⑩ 芝田京子, 井上喜雄, 木村弘樹, 体表面彎曲形状からの腰椎椎間板負荷の推定, 日本人間工学会第 57 回大会, 2016.
- ⑪ 津吉康仁, [佐藤公信](#), 芝田京子, 井上喜雄, 井口翔太, ウェアラブル端末を用いた姿勢改善サポートシステムの開発, 日本機械学会中国四国学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演会, 2016.
- ⑫ 木村弘樹, 芝田京子, 井上喜雄, 非侵襲的な腰部負荷推定法の開発, 第 48 回日本人間工学会中国・四国支部大会, 2015.
- ⑬ Takakuni Iituka, [Kyoko Shibata](#), Yoshio Inoue, Estimation of Radius of Curvature of Lumbar Spine Using Bending Sensor for Low Back Pain Prevention, Human-Computer Interaction - INTERACT2015, 2015.

〔産業財産権〕

○取得状況 (計 1 件)

名称: 姿勢および歩行状態推定装置

発明者: 井上喜雄, 芝田京子

権利者: 高知県公立大学法人

種類: 特許

番号: 第 6080078 号

取得年: 2017 年

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：佐藤 公信

ローマ字氏名：SATO, Hironobu

所属研究機関名：国立研究開発法人情報通信研究機構

部局名：ナショナルサイバートレーニングセンターサイバートレーニング研究室

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：90461384

### (2) 研究分担者

研究分担者氏名：武政 龍一

ローマ字氏名：TAKEMASA, Ryuichi

所属研究機関名：高知大学

部局名：教育研究部医療学系臨床医学部門

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20294837

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。