

ウェアラブル加速度センサを利用した姿勢評価の検討

森 祐馬^{1,a)} 榎堀 優^{1,b)} 間瀬 健二^{1,c)}

概要: 不良姿勢での生活は、肩凝りや筋肉の痛みなどの身体的悪影響を発生させる。そこで我々は、一日を通じて負荷の無い姿勢で生活して、肩こりなどの不快な症状を感じる事無く一日を終えられるようにサポートするシステムを開発している。本システムは、不良姿勢をとった時に警告を発し、悪化度合いに従って警告の強度を変化させることで、利用者がよい姿勢に近づいたことを理解し、自身で良い姿勢に修正できるようにサポートする。本稿では、姿勢評価部分について言及する。人の姿勢は頭部、背部、腰部の傾きの組み合わせで表現できると仮定し、各部の傾きの組み合わせから姿勢を点数化した。首が垂れた姿勢、前傾姿勢、反り腰の三つの不良姿勢を対象とし、良い姿勢に近づくほど評価が良くなることを確認した。

キーワード: ウェアラブル加速度センサ, 姿勢評価

Human Posture Evaluation with Wearable Accelerometer

MORI YUMA^{1,a)} ENOKIBORI YU^{1,b)} MASE KENJI^{1,c)}

Abstract: Bad postures yield abnormal load for muscles, and then the load become causes of various pains, such as stiff shoulder. To prevent occurrences of such pains, we are developing a wearable system to assist people in keeping good posture. In this paper, we focus into the sensing and scoring functions of the system. Our prototype uses the head, back, and waist leans measured with three wearable accelerometers to generate posture scores. The scores showed improvements and good correlations in almost cases when subjects changed their posture from bad ones to good ones, in our evaluations.

Keywords: wearable accelerometer, posture evaluation

1. はじめに

不良姿勢は肩凝りや筋肉の痛みなどの身体的悪影響を発生させる。頭部が前傾すると、僧帽筋^{*1}に負荷がかかり、肩凝りに発展する。背部が前傾し、所謂猫背になると、脊柱起立筋^{*2}に負荷がかかり、腰痛に発展する。

この問題を解決する方法として、矯正下着などの矯正支援器具を用いて不良姿勢を改善する方法が普及している。しかし矯正下着は身体動作を制限することで姿勢を改善す

るため、利用者は身体動作に不自由を感じてしまう。

器具を使わず、身体動作の制限を受けない姿勢改善方法として、良姿勢を取ることを常に意識し続けるという方法がある。しかし、常に良姿勢を意識することは困難である。例えば、スマートフォンの画面を見ているときはその内容に意識が集中しやすく、姿勢に対しての意識が薄れる。

そこで我々は、姿勢が悪化した際に良姿勢を意識させ、自身で姿勢を修正するためのサポートシステムを提案する。本システムでは、ウェアラブル加速度センサを利用する。ウェアラブル加速度センサを頭部、背部、腰部に設置することによって、利用者の各部の傾きを取得し、良姿勢からの悪化度合いを推定・点数化する。本システムは不良姿勢をとった時に警告を発し、悪化度合いに従って警告の強度を変化させることで、利用者は良姿勢に近づいたことを理解し、自身で良姿勢に修正できるようにサポートする。

¹ 名古屋大学 大学院情報科学研究科
Nagoya University, Graduate School of Information Science
a) mori@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp
b) enokibori@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp
c) mase@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

*1 首、肩、背部上部の動作をする筋肉。頭部を支える機能を持つ。

*2 背部から腰部にかけて存在している筋肉。身体全体を支える機能を持つ。

これにより本システムは利用者を一日を通じて余分な負荷がかかることなく生活し、肩凝りなどの不快な症状を感じること無く1日を終わられるように支援する。

本稿では、提案システムの姿勢評価部分について言及する。2章ではこれまでに行われてきた姿勢に関する研究を取りあげる。4章では本稿で扱う不良姿勢について説明する。3章では本システムの姿勢評価方法について言及する。5章では本システムの実装について説明する。6章では姿勢評価実験について説明する。7章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

姿勢に関する研究は長年されている。姿勢をデータ化する手段としては画像処理やウェアラブル加速度センサを利用する手法が存在する。

画像処理を利用した方法として、Nooritawatiらの研究やSoumitryらの研究が挙げられる。Nooritawatiらは主成分分析法を用いて人間の身体シルエットから特徴を抽出し、多層知覚を用いて、固有空間変化の多様な組合せに基づいて姿勢を分類した[1]。Soumitryらは姿勢解析用のレンジカメラを用いて、工作中的の立位状態、座位状態、上半身が曲がっている状態、這っている状態の4状態の識別をした[2]。

加速度センサを利用した方法として、Changらの研究や樫原らの研究、倉沢らの研究が挙げられる。Changらは加速度センサを腰部に取り付けることで不良姿勢を感知し、加速度センサの振動を利用して、利用者に姿勢への意識を促すシステムを開発した[3]。樫原らは歩行時に姿勢がくずれやすいことに着目し、携帯端末に内蔵されている加速度センサを利用して歩行分析をすることで、良姿勢で歩行できるよう支援するシステムを開発した[4]。倉沢らは加速度センサの装着場所を自動的に判別し、それに応じてアルゴリズムを動的に変化させることにより加速度センサ1個のみで姿勢推定をした[5]。

画像処理を利用した方法は、人間が一定空間内に留まる時は有効である。しかし日常生活の行動を取得するのは困難である。公共の場所で利用するにはプライバシーの問題も発生する。加速度センサを利用した方法は、日常生活の姿勢の取得に有効である。しかし既存研究では姿勢を正すために各部位をどのように修正すればよいかまでは利用者に通知していない。

3. 不良姿勢

本節では、提案手法と実装の説明に先立ち、本稿で扱う不良姿勢について説明する。不良姿勢とは、筋肉に負荷がかかっている姿勢である。長時間不良姿勢でいると肩凝りや腰痛などに発展する。矢野は不良姿勢について、「骨格と筋肉のバランスがくずれているので、身体の各部分にス

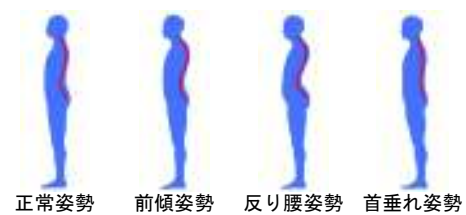


図1 正常姿勢と不良姿勢

Fig. 1 Good and bad postures
 (体内の赤線は脊柱の形状)

トレスが加わり疲れやすい。疲れるとバランスがさらにくずれ、姿勢はなお一層悪くなるという悪循環になる。疲れは全身にくるだけでなく、動きやすストレスの多い頸椎や腰椎の部分に特に強く働くので、肩こりとか腰痛の大きい原因になる」と述べている[6]。

本稿では不良姿勢として前傾姿勢、反り腰、首垂れ姿勢の3姿勢を扱う(図1)。前傾姿勢は骨盤、胸椎が前傾した姿勢である。側方から見ると身体が全体的に前傾しているように見える。頭部を支えるために首周りの筋肉に負荷がかかる。前傾姿勢は猫背時によく発生する。

反り腰姿勢は骨盤が前傾し、腰椎、胸椎が後傾した姿勢である。特に腰椎が大きく後傾しており、脊柱起立筋に負荷がかかる。反り腰姿勢は男性よりも女性の方が反り腰になりやすい。これは胸部やヒールなどの履物によって重心位置が前方になりやすいからである。

首垂れ姿勢は頸椎のみが前傾している姿勢である。頭部を支えるために僧帽筋に大きな負荷がかかる。スマートフォン利用の増加に伴い、首垂れ姿勢になる人が増加している。

4. 姿勢評価方法の検討

4.1 センサ設置箇所検討

センサの設置箇所を身体の頭部、背部、腰部の3箇所とした。一般に人間の身体において、頸椎や腰椎は屈曲しやすく、胸椎上部や仙椎は屈曲しにくいと言われている[7]。屈曲しにくい箇所を剛体として捉えると、人間の身体は剛体の連結とみなせる。頭蓋骨、胸椎、仙椎は剛体とみなせるので、それぞれの傾きを測定し組合せることによって、姿勢を表現できる、と仮定した。剛体は一部の傾きを導出すれば全体の傾きを導出できる。したがって頭部、背部、腰部の3箇所にセンサを設置する。

4.2 姿勢の点数化

基本姿勢時の各部の傾きと、対象姿勢時の各部の傾きを比較し、傾きの差分を点数とした。センサ内の x 軸の正方向を身体の正面方向、 y 軸の正方向を身体の右向き、 z 軸の正方向を鉛直上向きにそれぞれ取る。センサが角度 θ だけ y 軸を中心として右ねじの方向に回転した、すなわち身体が角度 θ だけ前傾したとする(図2)。 θ は加速度データ

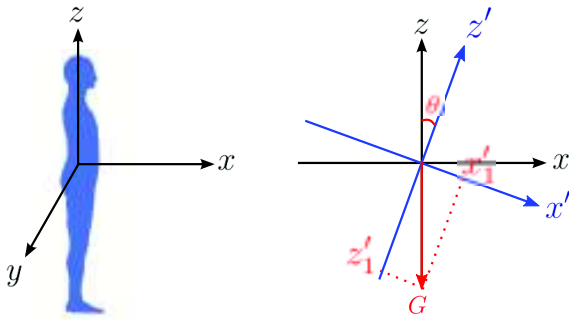


図 2 重力加速度方向から傾きの導出
Fig. 2 lean calculated from gravity
(G は重力加速度)



図 3 センサ取付け器具
Fig. 3 Equipments to attach sensors

を用いて、式 1 で表される。

$$\theta = \arctan\left(\frac{x'_1}{z'_1}\right) \quad (1)$$

x'_1 , z'_1 はそれぞれ取得した加速度データの x 軸, z 軸の値を表す。点数付けは基本となる姿勢と現在の姿勢の角度の差分とした(式 2)。

$$score = (\theta_{cur} - \theta_{base}) * \frac{2}{\pi} * 100 \quad (2)$$

θ_{cur} は現在の姿勢の傾きを, θ_{base} は基本となる姿勢の傾きをそれぞれ表す。score の範囲は-100 から 100 とした。score の符号から各部の傾き方向が判断できる。値が正である場合は前傾, 負である場合は後傾を表しており, 0 に近いほど基本となる姿勢に近づく。

5. 実装

我々はウェアラブル加速度センサ TSND121 を用いて実装した。利用手段をウェアラブル加速度センサとしたのは、長時間の動作が可能であり、日常生活中で継続して利用可能であるからである。したがって人の姿勢を 1 日中取得するのに最適であると言える。

頭部, 背部, 腰部にウェアラブル加速度センサを取付けるために, 取付け用の器具を利用した(図 3)。取付け用の器具として, 頭部には帽子, 背部には鎖骨サポータ, 腰部にはセンサホルダをそれぞれ利用した。センサ取付け用器具には伸縮性を持たせ, 装着した人の身体の動きを妨げることがないようにした(図 4)。

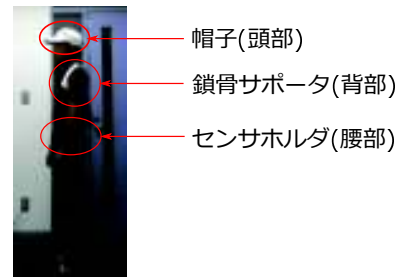


図 4 センサ取付け用器具の装着
Fig. 4 Sensors installation overview

6. 評価実験

6.1 実験概要

4 章で述べた姿勢評価方法が妥当であるかどうか検証した。姿勢が基本姿勢に近づくにつれて, スコアが 0 に近づけば妥当であると言える。

ウェアラブル加速度センサは加速度レンジ $\pm 4G$, サンプリング周波数 50Hz, サンプル平均回数 1 回にそれぞれ設定した。被験者は男性 5 名(平均年齢 21.2 ± 0.8 歳, 身長 $171\text{cm} \pm 4\text{cm}$)であり, 通常生活時の姿勢は多少の前傾姿勢であった。

基本姿勢の各部の加速度を計測した後, 各不良姿勢の各部の加速度を計測し, 式 2 によって点数化した。基本姿勢の各部の加速度は, 被験者に腰部背面, 胸部背面, 後頭部を壁に付くように立たせて計測した。外れ値を除くため取得した加速度データのうち上位下位 10% のデータを除外し, その平均を基本姿勢の加速度データとした。不良姿勢は 3 章で説明した 3 姿勢を対象とした。被験者に各不良姿勢から徐々に基本姿勢に近づくように指示し, 各部の加速度データを取得した。

6.2 実験結果

図 5 は各不良姿勢から基本姿勢への変化に対するスコアのグラフである。横軸は姿勢を表しており, 左に行くほど不良姿勢に近づき, 右に行くほど基本姿勢に近くなる。縦軸はスコアを表しており, 0 に近いほど基本姿勢に近いといえる。

前傾姿勢から基本姿勢へ変化した際, 基本姿勢に近づくに従っていずれの被験者においても頭部, 背部のスコアが良くなった。腰部のスコアにおいては被験者 1, 被験者 2 では良くなったが, 被験者 3, 4 ではあまり変化が見られなかった。

反り腰姿勢から基本姿勢へ変化では, 背部のスコアがよくなる傾向が見られた。腰部のスコアについてはあまり変化が見られなかった。頭部のスコアについては被験者によって異なる結果となった。

首垂れ姿勢から基本姿勢へ変化した際, いずれの被験者

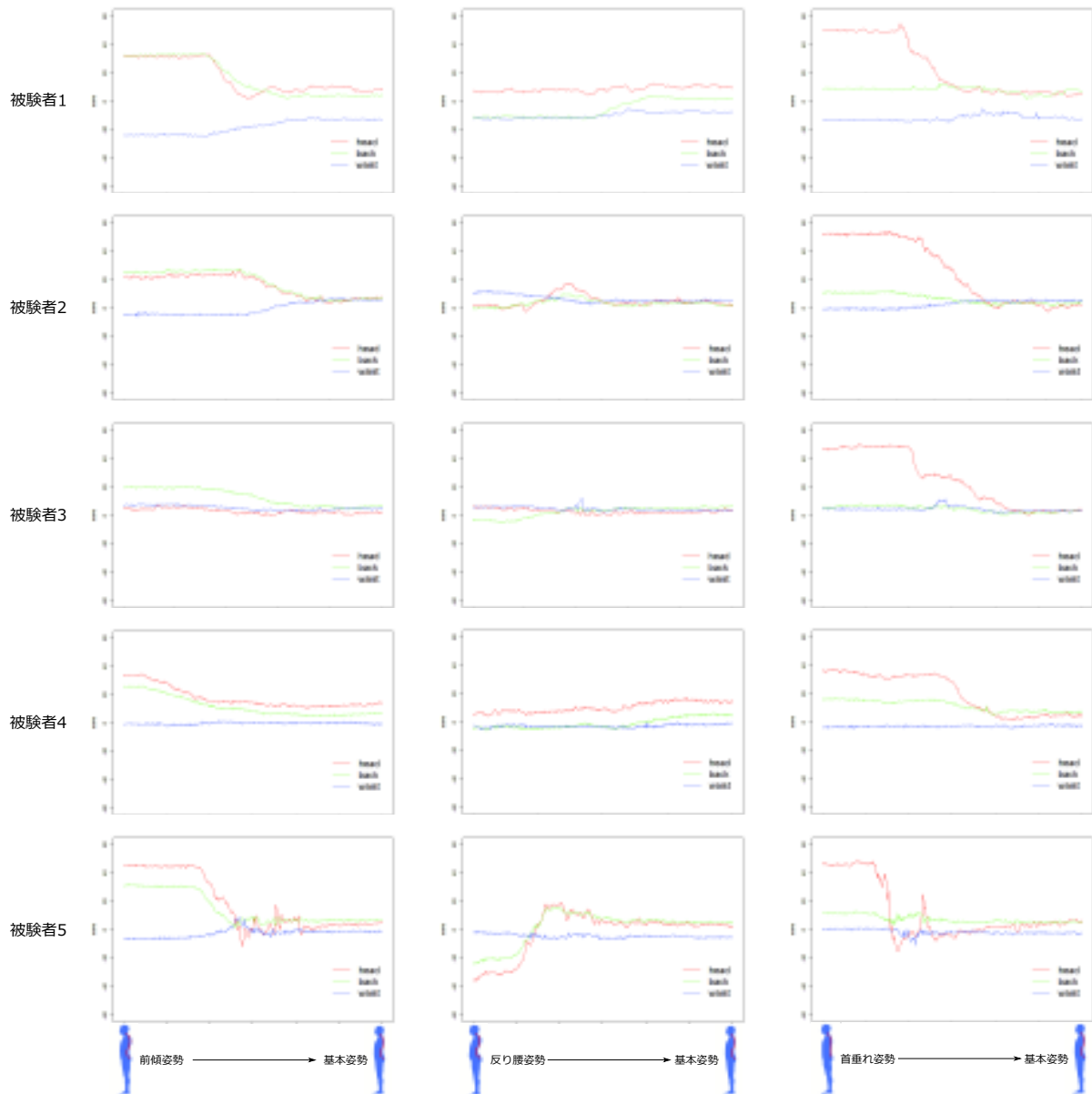


図 5 各不良姿勢から基本姿勢へのスコアの変化

Fig. 5 Score overview during posture changes from bad posture to good posture

においても頭部のスコアが良くなり、背部のスコアが良くなる傾向が見られた。腰部のスコアについてはあまり変化が見られなかった。

6.3 結果考察

姿勢の良さとスコアの関連性を調べるために相関分析をした。姿勢の良さを取得することは困難であるが、被験者に不良姿勢から徐々に基本姿勢に近づくよう指示しているので、姿勢の良さを時系列データで代用した。スコアについては求めたスコアの絶対値を利用した。相関係数にはスピアマンの順位相関係数を利用した。

表 1 は前傾姿勢から基本姿勢への変化における姿勢の良さとスコアの相関係数である。頭部、背部の姿勢の良さと

表 1 前傾姿勢から基本姿勢への変化における姿勢の良さとスコアの相関係数

Table 1 Correlations between posture changes and scores, from bending back posture to good posture

	頭部	背部	腰部
被験者 1	0.699	0.786	0.793
被験者 2	0.653	0.866	-0.746
被験者 3	0.755	0.860	0.747
被験者 4	0.828	0.879	-0.041
被験者 5	0.829	0.849	0.790

スコアの相関係数は正の相関が認められた。一方で腰部の姿勢の良さとスコアの相関係数は正の相関が認められる場合と負の相関が認められる場合があった。p 値は、被験者 4 の前傾姿勢における腰部で 0.241 であったが、それ以外

表 2 反り腰姿勢から基本姿勢への変化における姿勢の良さスコアの相関係数

Table 2 Correlations between posture changes and scores, from anterior pelvic tilt posture to good posture

	頭部	背部	腰部
被験者 1	-0.786	0.796	0.785
被験者 2	-0.475	-0.576	0.751
被験者 3	0.735	-0.772	0.781
被験者 4	-0.899	-0.329	0.335
被験者 5	0.888	0.831	-0.572

表 3 首垂れ姿勢から基本姿勢への変化における姿勢の良さスコアの相関係数

Table 3 Correlations between posture changes and scores, from hanging head posture to good posture

	頭部	背部	腰部
被験者 1	0.752	0.448	0.771
被験者 2	0.916	0.851	-0.842
被験者 3	0.872	0.765	0.641
被験者 4	0.834	0.865	0.596
被験者 5	0.811	0.824	-0.566

表 4 前傾姿勢から基本姿勢へ変化した際のスコアの変化量

Table 4 Amount of score changes from bending back posture to good posture

	頭部	背部	腰部
被験者 1	21.574	28.363	10.808
被験者 2	28.728	21.104	-1.889
被験者 3	4.217	11.597	3.064
被験者 4	16.627	20.043	-1.261
被験者 5	40.254	23.181	2.953

ではいずれも 0.05 未満であった。

表 2 は反り腰姿勢から基本姿勢への変化における姿勢の良さスコアの相関係数である。各部の相関係数は正の相関が認められる場合と負の相関が認められる場合があった。p 値はすべて 0.05 未満であった。

表 3 は首垂れ姿勢から基本姿勢への変化における姿勢の良さスコアの相関係数である。頭部、背部の姿勢の良さスコアの相関係数は正の相関が認められた。一方で腰部の姿勢の良さスコアの相関係数は正の相関が認められる場合と負の相関が認められる場合があった。p 値はすべて 0.05 未満であった。

これらをスコアの変化量でまとめると表 4、表 5、表 6 となる。負の相関が認められた試行を斜体で表記した。表 4、表 6 から前傾姿勢と首垂れ姿勢から基本姿勢に変化した場合には、負の相関となっていた試行のスコア変化量が他の変化量と比べて比較的小さい。よってバランスを取るなどの行為によって各部の角度が少量だけ変化したものだと考えられる。したがって負の相関となっているが、影響は少ないと考えられる。

表 5 反り腰姿勢から基本姿勢へ変化した際のスコアの変化量

Table 5 Amount of score changes from anterior pelvic tilt posture to good posture

	頭部	背部	腰部
被験者 1	-3.595	9.048	4.17
被験者 2	-0.840	-3.429	7.908
被験者 3	0.269	-2.740	3.972
被験者 4	-11.036	-0.906	1.664
被験者 5	35.007	20.486	-1.571

表 6 首垂れ姿勢から基本姿勢へ変化した際のスコアの変化量

Table 6 Amount of score changes from hanging head posture to good posture

	頭部	背部	腰部
被験者 1	42.170	3.033	2.306
被験者 2	47.127	4.664	-4.412
被験者 3	42.544	1.216	1.085
被験者 4	30.559	11.218	-0.480
被験者 5	38.308	6.966	-2.399

一方で表 5 では、負の相関となっている試行のスコア変化量は他の試行と比較して明らかに数値が小さいとは言えない。これは基本姿勢とした普段の姿勢がそもそも反り腰であった可能性が考えられる。例えば被験者 1, 4 は表 5 の通り、反り腰姿勢の状態でも基本姿勢の状態でもほぼ同じ角度を示している。また同様の傾向は被験者 2, 3 でも認められるが、彼らの場合は反り腰の姿勢でも各部のスコアがほぼ 0 を示しており、反り腰の姿勢を取れていなかった可能性もある。被験者 5 では適切に値が取れているように見える。しかしながらセンサの設置箇所やスコアの算出方法が適切でなかった可能性も残るため、本件の検討は今後の課題とする。

他の細かな考察として、以下のものを記載しておく。頭部のスコアは一度基準値を超えてから収束している。これは不良姿勢を基本姿勢に近づけていく際に、背部、腰部とのバランスを取るために頭部の位置を調整していると考えられる。基本姿勢において各部のスコアが 0 となっていない。基本姿勢を意識するよう指示したが、被験者の日常生活時の姿勢が影響したものと考えられる。

7. おわりに

我々は姿勢が悪化した際に良姿勢を意識させ、自身で姿勢を修正できるようにするためのサポートシステムを提案し、その姿勢評価部分について説明した。利用者の頭部、背部、腰部の 3 箇所の加速度から各部の傾きを導出し、姿勢の悪化度合いを点数化した。評価実験を行い、前傾姿勢、首垂れ姿勢において基本姿勢に近づくときのスコアの振舞いを確認した。前傾姿勢と首垂れ姿勢からの姿勢変化に関しては、すべての試行において基本姿勢に近づくとスコ

アが良くなることを確認した。一方で反り腰姿勢からの変化では1名のみで明確なスコアの改善が確認できたが、他の4名では明確にスコアが改善したのは確認できなかった。その原因は被験者が適切な姿勢を取れなかったこと、センサの設置箇所やスコアの算出方法が不適切であったことなどが考えられる。本件は今後の課題とする。

また、評価実験では被験者の日常生活時の姿勢が前傾姿勢よりであったことから、日常生活時の姿勢が良姿勢である場合やその他の不良姿勢である場合についても実験する必要がある。

謝辞 本研究は「知の拠点あいち」重点研究プロジェクトの支援による。

参考文献

- [1] Nooritawati Md Tahir, Aini Hussain, Salina Abdul Samad, and Hafizah Husain. Pca-based human posture classification. *Jurnal Teknologi*, 2007.
- [2] Soumitry J. Ray and Jochen Teizer. Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 26, No. 2, pp. 439–455, 2012.
- [3] Chang Andrew Robert (US) and et al. System and method of biomechanical posture detection and feedback, January 2013.
- [4] 樫原裕大, 清水裕基, 三好健文, 吉永努, 入江英嗣. スマートフォンを用いた歩行動作改善ツールの開発. 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 2011, No. 7, pp. 1–8, nov 2011.
- [5] 倉沢央, 川原圭博, 森川博之, 青山友紀. センサ装着場所を考慮した3軸加速度センサを用いた姿勢推定手法(データ解析・検索). 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 2006, No. 54, pp. 15–22, may 2006.
- [6] 矢野一郎(編). 姿勢と健康: からだの構えと心のもち方. 姿勢研究所, 1996.
- [7] 橋本有子, 水村(久埜)真由美. 胸椎および腰椎可動性の加齢変化. 体育学研究, Vol. 55, No. 2, pp. 333–342, dec 2010.