

ベルト型デバイスを用いた腹囲形状計測システムのセンサ位置の検討

大石 征裕†

辻 愛里††

藤波 香織††

† 東京農工大学 大学院 工学府 情報工学専攻

†† 東京農工大学 大学院 工学研究院 先端情報科学部門

1 はじめに

近年、肥満によるメタボリックシンドローム患者の増加が深刻な社会問題となっている。厚生労働省の報告によれば、成人男性の約半数がメタボリックシンドロームの患者もしくは予備群である[1]。そのため、内臓脂肪量を基準とした診断が行われ、メタボリックシンドロームの早期発見と患者および予備群への生活改善指導が行われている。しかし、内臓脂肪量の測定は、CTやMRIなどの特別な装置やそれらを取り扱う専門的な技術が必要であり、測定が容易ではない。

そこで、腹囲形状から内臓脂肪量を推定する研究[2]や腹囲形状を外部装置によって計測する研究[3]が行われている。しかし、これらの方法では大型な装置が必要であることやコスト面での問題がある。さらに、定期健康診断に加えて毎日腹囲を測定し、記録することが、メタボリックシンドロームによる病気のリスクの減少に有効であると報告されている[4]。

そこで、本研究では日常的に装着可能なベルト型ウェアラブルデバイスを用いて、装着者の腹囲形状を計測するシステムの開発を目的とする。

2 システムの概要と実装

腹囲の形状はベルトを装着すると、ベルトによって締め付けられ形状が変化する。そこで提案システムでは、曲げセンサによってベルトの形状を推定し、感圧センサによってベルトによる締め付けの大きさを推定することで、ベルト未装着時の腹囲形状を推定する。

システムの構成と処理の流れを図1に示す。まず、ベルトの形状を推定するために曲げセンサを用いて正面と側面、背面の曲率半径を計測し、ベルト形状を推定する。次に、ベルトによる締め付けの大きさを推定するために、感圧センサによって押下量を推定する。最後に、ベルト形状とベルトに加わる押下量を推定し、組み合わせることで腹囲形状を推定する。

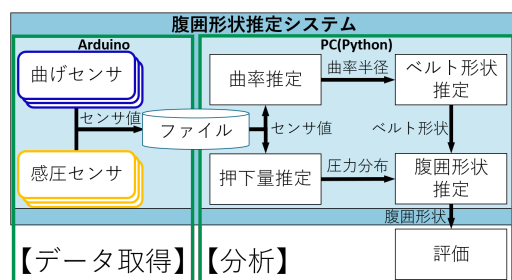


図1: システム構成図

2.1 デバイスの実装

本研究では、図2に示すベルト型デバイスを実装した。先行研究からセンサ位置は集中して設置したほうが誤差が小さくなることが示されている[5]。そこで、図

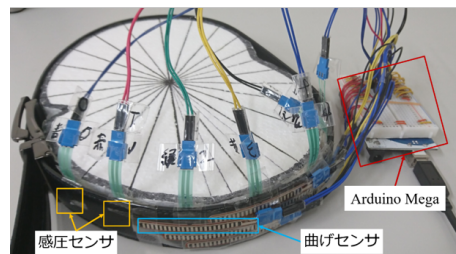


図2: ベルト型デバイス

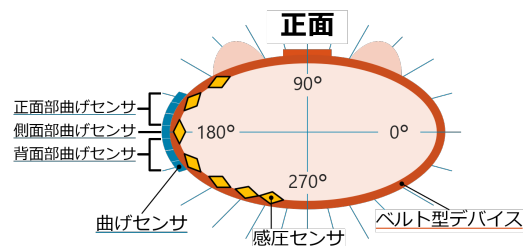


図3: デバイス上のセンサ位置

3に示すように、装着者の左側面に曲げセンサ（Spectra Symbol 社製 FS-L-0055-253-ST）と感圧センサ（ALPHA 社製 MF01-N-221-A01）を7個ずつ配置した。

2.2 ベルト形状推定機能の実装

曲率推定では、事前に既定の曲率半径における各曲げセンサのセンサ値を調査し、センサ値と曲率の関係モデル化することで、センサ値から曲率半径を推定する。ベルト形状推定では図3に示す正面部と側面部曲げセンサ値から曲率半径を推定し、ベルト形状の正面部を楕円形に推定する。背面部のベルト形状は側面部と背面部の曲げセンサによる曲率半径を用いて楕円形に推定する。

2.3 腹囲形状推定機能の実装

押下量推定では、まず腹部脂肪に対し5, 10, 15 mmの押下量を加えた際の感圧センサのセンサ値を取得し、センサ値と押下量の関係モデル化することで、センサ値から押下量を推定する。ベルトによる締め付けの大きさが左右対称であるとして、右側の押下量も推定する。そして、ベルト形状に対して推定した押下量を外側に加算することによって、腹囲形状を推定する。

3 曲げセンサ位置による推定精度の分析

3.1 実験概要

本実験では、ベルト形状推定に使用する曲げセンサの位置を正面部が3通り、背面部が3通りの計9通りの組み合わせごとに変化させ、推定誤差を算出した。そして、曲げセンサの位置による腹囲形状の推定精度への影響を分析した。本研究では、外部装置を用いた腹囲形状の計測値を正解値とした。15°ごとに計測値に対する推定値の誤差を平均し、推定誤差を算出した。本実験では、やせ型体型 ($BMI < 18.5$) 2名、標準体型 ($18.5 \leq BMI < 25$) 4名、肥満型体型 ($25 \leq BMI$) 2名の計8名を対象に実施した。

Investigation of sensor placement for a belt-type abdominal shape measurement system

† Yukihiko OISHI †† Tsuji AIRI †† Kaori FUJINAMI

†, †† Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

3.2 実験結果

ベルト形状推定に使用する曲げセンサの組み合わせを変化させた際の推定誤差を図4に示す。推定誤差が小さくなったセンサ位置を赤色、誤差が大きくなったセンサ位置を青色にして示す。標準体型の被験者において、最良の組み合わせ時と最悪の組み合わせ時における腹囲形状の推定結果を図5に示す。

実験の結果、他の組み合わせに比べて170°と195°の曲げセンサの組み合わせでは誤差が最も小さくなることが明らかになった。また、175°や185°の曲げセンサを用いると、他の組み合わせに比べて誤差が著しく大きくなることが分かった。

平均誤差[%]		背面部			正面部
		195°	190°	185°	
正面部	165°	5.10	5.08	14.58	背面部
	170°	4.40	4.90	14.66	
	175°	13.05	13.55	19.32	

図4: 曲げセンサの組み合わせによる平均誤差

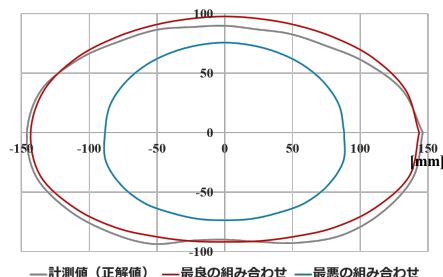


図5: 曲げセンサの組み合わせによる推定形状の違い

3.3 考察

今回使用した曲げセンサの特性上、曲率半径の大きな形状を計測する際には推定精度が低下してしまう。そのため、本実験の被験者では175°より170°の曲げセンサを用いた組み合わせにおいて誤差が小さくなったと考えられる。

ベルト形状推定では、背面部と側面部の曲率半径から背面部のベルト形状を推定している。この方法では、曲率半径を計測する2箇所の位置が近い場合には、計測の僅かな誤差が推定結果に大きく影響する。そのため、側面部180°の位置から遠い195°の曲げセンサを用いた組み合わせにおいて誤差が小さくなったと考えられる。さらに、側面部に近い175°や185°の曲げセンサを用いた場合に誤差が大きくなってしまったと考えられる。

4 感圧センサ数による推定精度の分析

4.1 実験概要

本実験では、7つの感圧センサを圧力分布取得に使用するか否かを変化させ、 $2^7 = 128$ 通りの組み合わせごとに推定誤差を算出した。使用したセンサ数ごとに最小の推定誤差になったセンサの組み合わせを求め、使用したセンサ数と推定誤差の関係性を調査した。また、感圧センサの位置による腹囲形状の推定誤差を分析した。本実験は、3.1節と同一の8名を対象に実施した。

4.2 実験結果

使用したセンサ数ごとに最小になった推定誤差を図6に示す。また、各センサ数ごとに推定誤差が最小になった組み合わせにおいて、使用したセンサ位置を赤色にして図7に示す。

使用するセンサ数が増加するにつれて推定誤差が減少し、全ての感圧センサが腹囲形状の推定に有効であることを確認した。センサ数が少ない場合には背面部の感圧センサを用いることで、推定誤差が小さく腹囲形状が推定された。さらに、背面部に加えて正面部の感圧センサを用いることで、腹囲形状が高精度に推定可能であることが明らかになった。

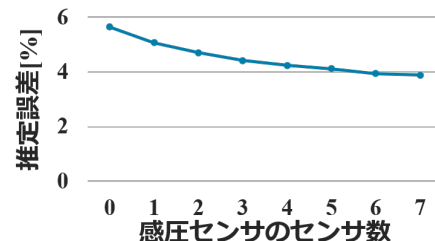


図6: 感圧センサ数ごとの最小推定誤差

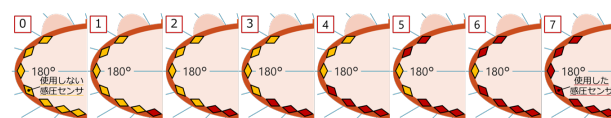


図7: 感圧センサ数ごとの有効なセンサ位置

4.3 考察

背面部には背骨があり、正面部に比べ楕円形状と異なる。そのため、背面部の形状を推定するためには、感圧センサによって脂肪や筋肉の形状を推定することが推定誤差の減少に有効であると考えられる。さらに、背面部に加え正面部の感圧センサを用いることで、腹部正面の押下量を推定し、より高精度に腹囲形状が推定可能となる。

5 おわりに

本稿では腹囲形状を推定するためのベルト型デバイスを提案し、腹囲形状推定に適切なセンサ位置の分析を行った。

実験の結果、ベルト形状は正面部170°と背面部195°の曲率半径を計測することによって推定可能であることが明らかになった。また、曲げセンサ間の距離が短い場合に推定誤差が大きくなることが示された。圧力分布の取得では、背面部に加えて正面部の感圧センサを用いることで腹囲形状をより高精度に推定可能であることが明らかになった。

参考文献

- [1] 厚生労働省. 国民健康・栄養調査(令和元年). URL: <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyuu_chousa.html> (2020-12-10 アクセス).
- [2] 齋藤仙一, 亀嶋英人, 佐藤幸男. 腹部断面形状からの内臓脂肪面積の推定法. 信学論 D, 92(11), pp. 2059-2066, 2009.
- [3] 河内まき子, 持丸正明. 形状スキャナによる人体寸法計測の誤差要因の検討. *Anthropological Science (Japanese Series)*, 113(1), pp. 63-75, 2005.
- [4] Peter T Katzmarzyk, et al. The importance of waist circumference in the definition of metabolic syndrome: prospective analyses of mortality in men. *Diabetes care*, 29(2), pp. 404-409, 2006.
- [5] 大石征裕, 前原啓太, 藤波香織. ベルト型デバイスを用いた腹囲形状の推定. 電子情報通信学会ヒューマンプロブ研究会第20回研究会, 2019.