腹囲形状計測のためのベルト型デバイス

† 東京農工大学大学院工学府情報工学専攻 〒183-8588 東京都小金井市中町 2-24-16 †† 東京農工大学大学院工学研究院先端情報科学部門 〒183-8588 東京都小金井市中町 2-24-16 E-mail: †s192232z@st.go.tuat.ac.jp, ††{atsuji@go.fujinami@cc}.tuat.ac.jp

あらまし 近年、肥満患者の増加が社会問題となっており、成人男性の約半数が患者または予備群と報告されている. そのため、肥満患者の早期発見や生活指導を目的として内臓脂肪量を基準とした診断が行われている. しかし、従来の測定方法では CT や MRI などの特別な装置が必要であり、内臓脂肪量の測定は容易ではない. そこで、内臓脂肪量の推定方法として、腹囲形状を用いることが有効であると報告されている. 本研究では、日常的に装着可能なベルト型デバイスを用いて、装着者の腹囲形状を推定するシステムの提案およびプロトタイプシステムの開発、腹囲形状システムの評価を行った. 被験者 8 人による評価実験の結果、被験者の各体型に応じて腹囲形状推定に有効なセンサ位置が分かった. また、デバイスに実装した各センサを用いて基準状態の検出が可能であることが明らかになった. キーワード ヒューマンプローブ. ベルト型デバイス. 腹囲形状

A belt-type device for measuring abdominal shape

Yukihiro OOISHI[†], Airi TSUJI^{††}, and Kaori FUJINAMI^{††}

† Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology 2–24–16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, Japan

†† Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology 2–24–16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, Japan

E-mail: †s192232z@st.go.tuat.ac.jp, ††{atsuji@go,fujinami@cc}.tuat.ac.jp

Abstract In recent years, obesity has become a social problem, and about half of adult males are reported as patients or reserve groups. Therefore, we perform diagnosis based on visceral fat mass for the purpose of early detection of obese patients and guidance on lifestyle habits. However, conventional measurement methods require special equipment such as Computer Tomography(CT) and Magnetic Resonance Imaging(MRI), and it is not easy to measure visceral fat mass. Therefore, it has been reported that it is effective to use the abdominal circumference shape as a method for estimating the amount of visceral fat. In this paper, we proposed a system to estimate the abdominal circumference. Developed a prototype system, and evaluated the abdominal circumference system using a belt-type device that can be worn on a daily basis. The evaluation experiment was an experiment to estimate the abdominal circumference of 8 subjects. As a result of the experiment, an effective sensor position for estimating the abdominal circumference shape was obtained for each body shape of the subject. It also became clear that each sensor on the device could be used to detect reference conditions.

Key words Human-probe, belt device, body shape

1. はじめに

近年,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.厚生労働省の報告書では,成人男性の約半数がメタボリックシンドロームの患者または予備群であると述べられている [1].内臓脂肪面積が $100\,\mathrm{cm}^2$ 以上になると,メタ

ボリックシンドロームの発症率が 1.5 倍を超えるという報告が ある [2].

そこで、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を目的として、内臓脂肪量を基準とし た診断が行われている。しかし、内臓脂肪面積の測定には、CT や MRI などの特別な装置と、それらを扱う専門技師が必要と なり、測定が容易ではない.定期健康診断では腹囲長に着目し、男性は85 cm、女性においては90 cm を基準値とした簡易的なスクリーニング手法を用いられている.しかし,腹囲長の計測のみでは発見できない肥満が存在するため、内臓脂肪量の推定には腹囲長だけでなく腹部断面積や腹囲形状を用いることが有効であるとの報告がある[3][4].腹囲長に加えて腹囲形状を計測する方法として X線 CT を用いて内臓脂肪面積を計測する方法[5][6]や3Dスキャナを用いて腹部断面形状を計測する方法[7]などが研究として存在するが、これらは装置が大型であることやコスト面などの問題があり,腹囲の形状を容易に計測できるシステムが必要である.

さらに、メタボリックシンドロームによる病気のリスクを減少させるためには、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重要であるとされている[8].毎日の測定を容易にするためには、ユーザが身に着けて利用可能なウェアラブルデバイスが適していると考えられる。ウェアラブルデバイスは、環境依存型のシステムと異なり、外的環境による制約を受け辛く、長時間の計測が可能である。ウェアラブルデバイスの中でも、腹部に装着可能なベルト型デバイスは、腹囲の形状を測定するために適していると考えられる。しかし、装着者の姿勢や行動などの状態によって腹囲形状が異なるため、腹囲形状を比較するためには装着者の状態を推定する必要がある[9].

先行研究 [14] では、ベルト型デバイスを用いて腹囲形状を推定する実験を実施した。実験の結果、装着者の体型が推定精度に影響を及ぼすため、装着者の体型に応じた適切な推定位置の分析が必要であることが明らかとなった。

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腹囲形状を推定するために、装着者の体型に応じて適切なセンサ位置の分析を行う. さらに、装着者の状態が基準状態に近いタイミングを検出する.

なお本研究は、東京農工大学 人を対象とする研究に関する倫理審査の承認を受けている(承認番号:201204 - 0265).

2. 関連研究

渡辺ら[10]によって、レーザ変位計を用いて腹囲との距離を 測定し、腹部断面形状を計測するためのシステムが開発され ている. さらに、腹部断面形状から内臓脂肪面積を推定する研究[3]では、レンジファインダを用いて装置と腹部との距離を 測定し、腹部の三次元形状を取得している. これらの研究では 計測するタイミングを被験者に伝え、基準状態での計測を行う が、ウェアラブルデバイスを用いた研究では装着者の状態を推 定する必要がある.

ベルト型デバイスに関する研究として,正井らによって光センサ群をベルトに搭載し,装着者の着座姿勢を識別する手法の研究 [11] が行われている.この研究ではベルトと衣服の距離を光センサを用いて測定し、機械学習を用いることで着座時の状態を識別している.また,Wuら[12]による腰部ベルトに設置した単一の加速度センサを用いた行動分類では,立位,ジャンプ,着座,歩行などの基本動作に対する全体識別精度 93% を達成している.松田らは腹囲長を計測する WaistonBelt 2 [13] を

提案している.このシステムはベルトのバックルにフォトレセプタを利用しており、ロータリーエンコーダから得られるパルス数をカウントすることでベルトの挿入距離を推測し、腹囲長を計測している.また、バックル部に取り付けた加速度センサから、装着者の姿勢や摂食に関する行動分類の可能性を示している.さらに、感圧センサデータなどを用いて、腹部の張力を測定することによる腹囲形状推定の可能性も述べている.

本研究では、これらの知見を基に日常的に装着可能なベルト型デバイスによる腹囲形状計測システムを提案する. さらに、測定した腹囲形状を比較・検討するために基準状態の検出を行う.

3. システム設計方針

3.1 システム要件の定義

本システムでは、装着可能なベルト型デバイスと一体化され たセンサのみを利用し,外部装置によるセンシングを必要とせ ずに腹囲形状を推定する.また,腹囲形状を推定するタイミン グは、装着者が基準状態のタイミングを入力するよりも、シス テムが基準状態に近いタイミングを検出する方が装着者の行動 を制限せずに実用的であることから、本研究では装着者の状態 が基準状態に近いタイミングを検出し、そのタイミングでの腹 囲形状を推定することを目指す. そこで本システムに望まれる 要件は1) 腹囲形状を推定,2) 基準状態に近い状態の検出の2 点である. 腹囲形状の推定精度として, 外部装置を用いた腹囲 形状計測の研究[10]では、レーザ変位計を用いて最大誤差3.4% で腹囲形状の計測が可能であることから、本研究ではウェア ラブルデバイスのみで推定精度の平均誤差が 3.4% 以内になる ことを目標とする. 基準状態に近い状態検出として, 同一の人 物でも, 呼吸や姿勢, 行動などの状態によって腹囲形状は異な る[9]ことから、腹囲形状を比較するためには同じ状態で比較す る必要がある. そこで, 直立姿勢・静止・呼気時を基準状態と し、肥満の判定をする場合は基準状態で腹囲長を計測すると定 められている[1]. そこで、本システムでは日常生活において、 基準状態に近いタイミングの検出を行う.

3.2 システム概要

提案するシステムの概要を図1に示す.システムでは、まず曲げセンサを用いて曲率半径を推定し、ベルトの形状を楕円形状に近似して推定する.しかし、本研究で測定対象とする腹囲形状はベルト装着による締め付けの影響を受けていないベルト未装着時を想定するものであり、ベルト形状そのものとは異なる.そこで、ベルトによる押下量を感圧センサを用いて推定し、ベルト形状に対して外側に加算することで、ベルト未装着時の腹囲形状を推定する.また、腹囲形状を推定するために使用したセンサを用いて基準状態を検出することで、センサを追加することなく装着負担の軽減や駆動時間の延長につながるメリットがある.

4. プロトタイプシステムの実装

システム設計に基づき、プロトタイプシステムの実装を行った.システムの処理の流れを図2に示す.システムではまず、

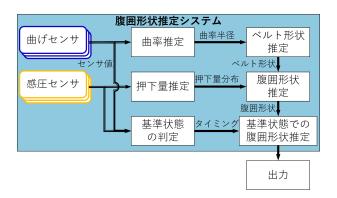


図1 システム概要

ベルト型デバイスの曲げセンサと感圧センサデータを Arduino によって取得し、ファイルに保存する. そして、データファイル からセンサデータを読み取り、曲げセンサデータからベルト形 状を推定し、感圧センサデータから押下量の腹囲形状の推定を 行う. 自作の外部装置の計測具を用いて計測した腹囲形状を正解値として、推定した腹囲形状との平均絶対誤差(MAE:Mean Absolute Error)を算出し、評価した.

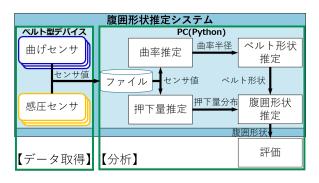


図 2 システムの処理の流れ

4.1 デバイスの実装

先行研究より、センサはデバイス全体に配置するよりも左側に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た [14]. そこで、図 3 に示すように、装着者の左側面部に曲げセンサ(Spectra Symbol 社製 FS-L-0055-253-ST)と感圧センサ(ALPHA 社製 MF01-N-221-A01)を設置した。また、各センサをピンヘッダに変換するためにコネクタを装着した。さらに、各センサに対して $1\,\mathrm{k}\Omega$ のプルダウン抵抗を用いて、各センサ値を取得した。

本研究で実装したベルト型デバイスを図4に示す. 各センサのデータを取得・保存するために Arduino Mega を使用した.

4.2 ベルト形状推定機能の実装

今回使用した曲げセンサでは、個体によって曲率半径とセンサ値のばらつきが生じることが分かった。そこで本研究では、発泡スチロールカッターを用いて、発泡スチロール(厚さ $30\,\mathrm{mm}$)を半径 $20\,\mathrm{mm}$ ごとに $60\sim180\,\mathrm{mm}$ に切り取ることで校正具を作成した。作成した曲げセンサの校正具を図 $5\,\mathrm{c}$ に示す。校正具を用いて、曲げセンサを一定の曲率半径にした際のセンサ値を計測する。さらに、 $3\,\mathrm{次}$ スプライン補間法を用いて各曲

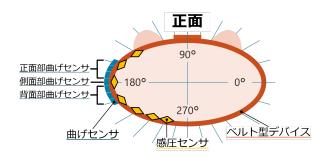


図 3 デバイス上のセンサ位置

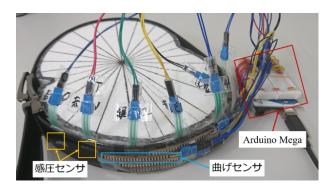


図 4 ベルト型デバイス

げセンサ値と曲率半径の関係をモデル化する. 得られたセンサ値と曲率半径の関係を図 6 に示す. この関係式を用いて, センサ値から曲率半径を推定した. 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, 式 (1) を用いてベルト形状の正面部を楕円形として推定する. 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として推定する.

$$R(\theta) = \frac{(a^2 \sin^2(\theta) + b^2 \cos^2(\theta))^{3/2}}{ab}$$
 (1)

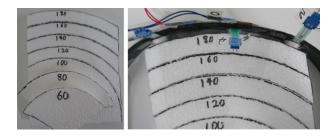


図 5 曲げセンサの校正

4.3 腹囲形状推定機能の実装

押下量とセンサ値の関係性を調査するために,腹部脂肪に対し $5,10,15\,\mathrm{mm}$ の押下量を加えた際の感圧センサのセンサ値を取得した.具体的には,図 $7\,\mathrm{に示す}$ 高さ $5,10,15\,\mathrm{mm}$ の栓を校正具の中央に装着し,校正具を腹部に押し付けて感圧センサ値を取得した.さらに,図 $8\,\mathrm{左}$ に示すように $3\,\mathrm{次}$ スプライン補間法を用いてセンサ値と押下量の関係をモデル化し,この関係式を用いて、図 $8\,\mathrm{右}$ に示すように各センサ位置における押下量を推定した.

また,腹部全体の押下量についても推定を行った.ベルトに

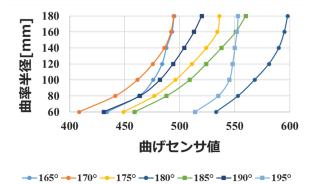


図 6 曲げセンサのセンサ値と曲率半径の関係

よる締め付けの大きさが左右対称であるとして、右側の押下量についても推定した。さらに、背骨付近は脂肪が付きにくく圧力が測定できないため、270°における押下量を0とした。255°の押下量は240°の押下量の半分として算出した。正面の押下量は、150°と165°の押下量から線形に増加するとして押下量を推定した。また、押下量分布の例を図9左に示す。

ベルト形状に対して推定した押下量の分布(図9左)を外側に加算することによって、図9右に示すようにベルト未装着時の腹囲形状を推定する.



図7 感圧センサの校正具

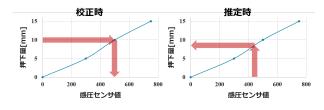


図 8 感圧センサ値と押下量の関係

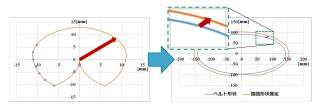


図 9 押下量分布による腹囲形状の推定

4.4 評価機能の実装

評価機能では, 推定した腹囲形状を評価するために, 自作の

計測具を用いて計測した計測値を正解値として,システムによって推定した推定値の推定誤差を算出する機能を実装した.

式 (2) によって 15° ごとの相対誤差を算出し、式 (3) によって 0° から 345° の相対誤差から平均絶対誤差を算出し、腹囲形状の推定誤差とした.

相対誤差 =
$$\frac{推定値 - 計測値}{計測値} \times 100$$
 (2)

推定誤差 =
$$\frac{\sum_{i=0}^{23} |(15^{\circ} \times i) \text{ の相対誤差 }|}{24}$$
 (3)

5. センサ位置の有効性分析

5.1 目 的

本実験では、ベルト型デバイスを用いて、腹囲形状を推定するために有効なセンサ位置の分析を目的とする。先行研究 [14] では装着者の体型によって推定誤差が異なることが分かっている。そこで、本実験では装着者の体型ごとに適切なセンサ位置を明らかにする。

5.2 実験内容

実験は 20 代前半の男子大学生 8 人を対象に実施した. 本実験では腹囲形状の計測を目的としており、装着者の体型によって推定誤差が異なることが分かっていることから、様々な腹囲を対象に調査する必要がある. そこで、日本肥満学会が定めるBMI に基づいた区分をもとに、やせ型体型から肥満型体型までの様々な体型を対象とした. 各被験者の体型および BMI を表1 に示す.

被験者 体型 BMIやせ型体型 17.0 Α 18.2 (BMI < 18.5)В С 20.6 標準体型 D 20.9 $(18.5 \le BMI < 25)$ \mathbf{E} 21.8 F 22.5 肥満型体型 G 25.2 $(25 \leqq BMI)$ Η 28.2

表 1 被験者の BMI

実験ではベルト型デバイスを被験者に装着し、基準状態における各センサのセンサ値を取得する.このセンサ値を用いて基準状態におけるベルトによる締め付けの影響を除いた腹囲形状を推定し、計測具を用いた計測値とデバイスによる推定値を比較することで推定精度を評価する.

曲げセンサのセンサ位置による有効性の分析では、使用する曲げセンサの組み合わせによる推定精度の影響を評価する.具体的には、図3に示す正面部と背面部に3つずつある曲げセンサから1つずつと、側面部の曲げセンサ1つの、計3つを用いてベルト形状を推定する。そのため、正面部から3通りと背面部から3通りの計9通りについて推定誤差を評価する。この分析では、全ての感圧センサを使用して押下量分布を推定する。

感圧センサのセンサ位置による有効性の分析では, 使用する

感圧センサのセンサ数による推定精度の変化を評価する。具体的には、まずデバイス上に設置した7つの感圧センサに対しそれぞれ有効/無効を切り替えることによって、 $2^7=128$ 通りの組み合わせにおける推定誤差を算出する。次に、被験者ごとに算出した推定誤差を感圧センサの組み合わせごとに平均し、各センサの組み合わせにおける平均の推定誤差を算出する。最後に使用したセンサ数ごとに平均の推定誤差が小さくなる組み合わせを求め、センサ数と推定誤差の関係を評価する。この分析では、被験者ごとに推定誤差が小さくなった曲げセンサの組み合わせを用いてベルト形状を推定する。

5.3 実験結果

5.3.1 曲げセンサの組み合わせによる推定誤差の変化

実験の結果、やせ型体型の被験者に対して、曲げセンサの組み合わせについての有効性分析を行った結果を図 10 に示す.また,推定誤差が最も小さくなった位置を赤色,推定誤差が 10%を越えた位置を青色にして示す.実験の結果、やせ型体型の被験者に対して、有効な曲げセンサの組み合わせは正面部 165°と背面部 195°であることが分かった.しかし,最良の曲げセンサの組み合わせでも平均誤差 3.4% は達成できなかった.また,正面部 175°や背面部 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明らかになった.

次に、標準体型の被験者に対する、曲げセンサの組み合わせによる誤差の平均を図 11 に示す、標準体型の被験者に対しては正面部 170°と背面部 190°の曲げセンサの組み合わせでは他の組み合わせに比べて誤差が小さくなることが分かった。これに対して、有効ではなかった曲げセンサは標準体型の被験者に対する実験結果と同様に正面部 175°や背面部 185°の曲げセンサであることが明らかになった。

最後に、肥満型体型の被験者における実験結果を図 12 に示す. 肥満型体型の被験者に対する腹囲形状推定に有効なセンサ位置は正面部 170°と背面部 195°の組み合わせであることが分かった. また、こちらも正面部 175°や背面部 185°の曲げセンサは、腹囲形状推定に有効ではないことが明らかになった.

やせ型体型		背面部			
平均誤差[%]		195°	190°	185°	正面部曲げセンサー
	165°	4.65	5.16	11.09	
正面部	170°	4.80	5.73	11.20	背面部曲げセンサー
	175°	10.59	12.28	16.52	

図 10 曲げセンサの組み合わせによるやせ型体型の平均誤差

標準体型		背面部			
平均誤差[%]		195°	190°	185°	正面部曲げセンサー
	165°	3.76	3.27	15.88	180°
正面部	170°	3.30	2.97	15.39	背面部曲げセンサー
	175°	15.32	15.52	22.04	

図 11 曲げセンサの組み合わせによる標準体型の平均誤差

5.3.2 感圧センサ数による推定誤差の変化

やせ型の被験者に対して,感圧センサの有効性分析を行った 結果を図13に示す.センサ数ごとに誤差が小さくなった感圧

肥満型体型		背面部			
平均誤差[%]		195°	190°	185°	正面部曲げセンサー
	165°	8.25	8.61	15.45	180° -
正面部	170°	6.20	7.92	16.64	背面部曲げセンサー
	175°	10.99	10.86	16.67	

図 12 曲げセンサの組み合わせによる肥満型体型の平均誤差

センサの組み合わせを赤色にして示す.全体的に感圧センサに よる推定誤差の変動が小さいことが明らかになった.また,背 面部の感圧センサを使用することで推定誤差が小さくなること も分かった.

標準体型の被験者に対する,感圧センサの使用数による推定 誤差の変化を図 14 に示す.実験の結果,標準体型の被験者に 対してはセンサ数が少ない場合には,背面部側の感圧センサを 用いることで推定誤差が小さくなったことが分かった.また, 4 個以上の場合には正面部の感圧センサも合わせて使用するこ とで,より正確な腹囲形状の推定が可能であることが分かった.

肥満型体型の被験者における実験結果を図 15 に示す.全体的に推定誤差が他の体型に比べて大きいが、使用する感圧センサの数を増加させることで推定誤差が減少していることから、各感圧センサが腹囲形状の推定に有効であることが明らかになった.またやせ型と同様に、背面部の感圧センサによって推定誤差が小さくなることが分かった.

各体型の被験者に対して最良の組み合わせでベルト形状を推定し、全ての感圧センサを用いて腹囲形状を推定した結果を図16に示す。やせ型体型の被験者に比べて肥満型体型の被験者の方が、ベルト形状に押下量分布が加わり、基準状態がより大きく推定されていることが分かる。また、肥満型体型の被験者Hでは楕円形状から大きく離れており、推定が困難であることが明らかになった。

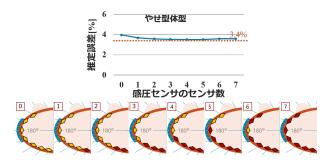


図 13 感圧センサの使用数によるやせ型体型の平均誤差

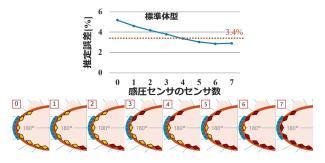


図 14 感圧センサの使用数による標準体型の平均誤差

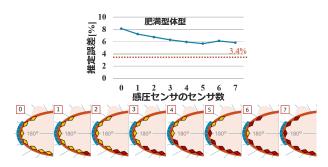


図 15 感圧センサの使用数による肥満型体型の平均誤差

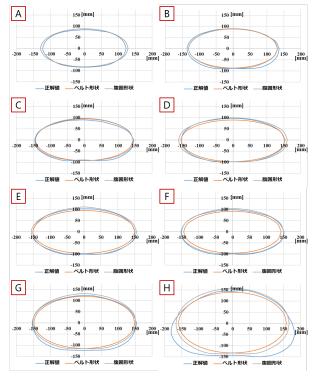


図 16 全ての感圧センサを用いた場合の腹囲形状推定

5.4 考 察

5.4.1 曲げセンサの最適な組み合わせ

実験の結果、やせ型体型の被験者では、165°と195°の曲げセンサを使用した場合に誤差が小さくなった。この要因として、今回の推定方法の特徴があると考えられる。本システムでは、正面部と背面部のそれぞれにおいて、側面部を含む2つの曲げセンサを用いてベルト形状を推定している。この方法では、側面部からの距離が近い曲げセンサを用いる場合には、より高精度に推定しないと誤差が大きくなってしまうという問題点がある。やせ型体型の腹囲形状は図16のA、Bに示すように小さいため、曲率半径の少しの誤差が推定結果に大きな影響を与えやすい。そのため、180°から遠い曲げセンサを使用した場合にベルトの曲率半径がより正確に推定され、誤差が小さくなったと考えられる。

標準体型の被験者に対しては正面部 170° と背面部 190° の曲げセンサの組み合わせで誤差が最も小さくなった.この要因としては、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ことが考え

られる。そのため、本実験の被験者では曲率半径が小さくなる 170° と 190° の曲げセンサの組み合わせで誤差が小さくなった と考えられる。

肥満型体型の被験者では、 170° と 195° の曲げセンサを使用した場合に誤差が小さくなった.肥満型体型の腹囲部正面は一般に脂肪によって楕円形状から歪んでいることから,正面部の曲げセンサは 165° より 170° の曲げセンサの方が誤差が小さく推定されたと考えられる.しかし,最良の組み合わせでも推定誤差が 6.2% と大きくなっている.この要因として,肥満型体型の被験者では図 16 の G, H に示すようにベルト形状が楕円形状から大きく外れていることが確認された.そこで,腹囲形状を高精度に推定するためには,ベルト形状を楕円形状に近似せず,複数の曲率を計測しベルト形状を正確に推定することが重要であると考えられる.

どの体型においても正面部 175° や背面部 185°の曲げセンサを用いることは有効ではないことが分かった. これは前述した推定方法の影響が考えられる. そのため、側面部 180°の位置に近い 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.

5.4.2 感圧センサの最適な組み合わせ

実験の結果、標準体型の被験者では感圧センサを 4 個以上用いることで誤差が 3.4% を下回った。またセンサ数を少なくする場合には、感圧センサの位置は背面部が適していることが分かった。しかし、推定誤差を 3.4% より小さくするためには、正面部と背面部のセンサを 2 つずつ組み合わせる必要がある。これは、正面と背面の筋肉や脂肪の形状を推定するために、それぞれの面にセンサが必要だからであると考えられる。

やせ型体型の被験者では、感圧センサの使用数による推定誤差の変動が小さかった。これは、感圧センサではベルトによる腹部の脂肪への押下量を計測しているが、やせ型体型の被験者は脂肪が少ないことから感圧センサによる計測の効果があまり現れなかったためと考えられる。また、やせ型体型の被験者は正面部の脂肪が少ないため、正面部の感圧センサの有効度合が低くなったと考えられる。そのため、感圧センサ数を増やしても推定誤差を3.4%より小さくするのは困難であると考えられる。また、やせ型体型では脂肪が少ないためベルト形状よりも腹囲形状が小さいことが確認されたことから、腹囲形状をベルト形状よりも内側に推定する必要があると考えられる。

肥満型体型では、使用する感圧センサのセンサ数が増加するにつれて推定誤差が減少し、各感圧センサが腹囲形状の推定に有効であることが分かった.これは、肥満型体型の被験者が本来の腹囲形状よりもきつくベルトを締めるため、締め付けによる押下量が感圧センサによって取得され、有効的に推定されるためであると考えられる.

5.5 各体型における最適なセンサ位置

5.3.1 項および 5.3.2 項の結果を受け、推定誤差が最も小さくなった際の、センサの組み合わせを図 17 に示す。図に示すセンサ位置が各体型において腹囲形状の推定に有効であると考えられる。このセンサ位置では、表 2 に示すように、標準体型では推定誤差 2.86% で可能である。また、体型に応じて最適な

センサの組み合わせで推定を行うことで、平均 3.73% の誤差で推定可能である.

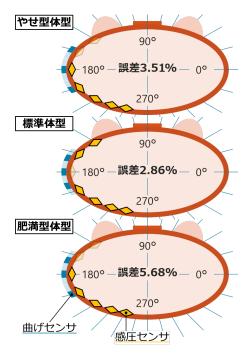


図 17 最適なセンサ位置

表 2 最適なセンサ位置における推定誤差

体型 被験者		推定誤差	各体型での平均推定誤差	
やせ型体型	A	3.74	3.51	
では至か至	В	3.28	3.31	
	C	4.28		
標準体型	D	2.11	2.86	
保华怀空	E	2.88	2.00	
	F	2.18		
肥満型体型	G	3.96	5.68	
	Н	7.39	3.00	
平均推定誤差		3.73		

6. 基準状態の検出分析

6.1 目 的

装着者の状態によって腹囲形状は異なるため、常に一定の状態で腹囲形状を推定するためには、計測に適した基準状態(直立・静止・呼気状態)に近いタイミングを検出する必要がある。本実験では、装着者の状態を推定し、基準状態に近いタイミングの検出を行うための方法を検討する。様々な状態の装着者における提案デバイスによるセンサデータを取得し、状態の違いによる腹囲形状の変化及びセンサデータを比較し、適切な基準状態の検出方法を検討する。

6.2 実験内容

本実験では、前章と同じ被験者を対象に、装着者が表3に示す状態を5秒間行った際のセンサデータを取得した.これらの状態は、基準状態と比較して直立・姿勢・静止・呼気といった状態がそれぞれ変化したものとして、表3の下線に示すように、

着座・直立猫背・歩行・吸気状態を想定した. 各状態での腹囲 形状は、時間内における各センサ値の平均値から推定した.

表 3 計測する装着者の状態

状態	姿勢状態	行動状態	呼吸状態
基準状態	直立	静止	呼気
歩行状態	直立	<u>歩行</u>	呼気
着座状態	<u>着座</u>	静止	呼気
直立猫背状態	直立猫背	静止	呼気
吸気状態	直立	静止	吸気

6.3 実験結果

6.3.1 歩行状態の検出

歩行時の曲げセンサ値を図 18 に示す. 本実験結果から,装着者が歩行状態の場合に曲げセンサ値が変動することが明らかになった. センサ値変動によって曲げセンサによる曲率半径計測が正しく行えず,ベルト形状および腹囲形状の推定が出来なくなった. 歩行状態においてセンサ値が変動する理由として,歩行の振動がデバイスに伝わり,センサの抵抗値が変動したためと考えられる.

実験の結果,基準状態と行動状態は曲げセンサ値を用いることで判別可能であり、曲げセンサ値が一定となる状態が静止状態であることが示された。また、行動中は腹囲形状の推定が困難であり、腹囲形状推定には装着者が静止する必要があることが分かった。

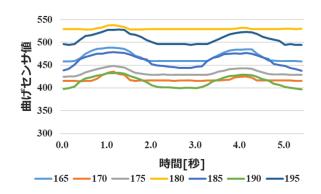


図 18 歩行による曲げセンサ値の変化

6.3.2 直立・呼気状態の検出

姿勢・呼吸状態が変化した際の直立・呼気状態を検出するために、基準状態と着座状態、直立猫背状態、吸気状態を比較する。姿勢・呼吸状態の変化によって感圧センサ値が大きくなったことが分かる。特に、正面部において感圧センサ値が大きくなり押下量が大きくなることが明らかになった。また、曲げセンサ値は呼吸によって変化しないことが分かった。基準状態と吸気状態における正面部 150°の感圧センサ値及び算出した抵抗値を図 19 に示す。今回の被験者において基準状態では、着座状態や直立猫背状態、吸気状態に比べて抵抗値が 2 倍以上になっており、正面部の感圧センサを用いることで基準状態の検出が可能であると考えられる。

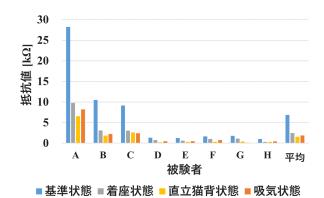


図 19 姿勢・呼吸状態による感圧センサ値の違い

6.4 考 察

実験結果より、いずれかの曲げセンサを用いて抵抗値が一定となったタイミングを静止状態として静止状態の検出が可能であると考えられる。さらに、正面部 150° の感圧センサの抵抗値が最も大きくなったタイミング、すなわち押下量が最も小さいタイミングを呼気・直立状態として検出が可能であると考えられる。これらのことから、図 20 に示すように、曲げセンサおよび正面の感圧センサを用いて基準状態の検出が可能である.

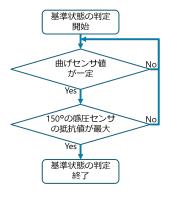


図 20 基準状態の検出方法

7. おわりに

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基準状態における腹囲形状を取得することを目的とし、ベルトに曲げセンサと感圧センサを7個ずつ設置したデバイスを実装した。曲げセンサではベルトの曲率半径を計測し、楕円に近似することでベルトの形状を推定した。感圧センサではベルトに加わる力を計測することで、ベルトの締め付けによる腹部の押下量を推定し、ベルト形状に対して外側に押下量を加算することで、ベルトによる締め付けの影響を考慮した腹囲形状の推定を目指した。

評価実験では、腹囲形状を誤差が少なく推定するために適切なセンサの組み合わせを分析した. さらに、装着者の異なる状態における各センサ値および腹囲形状を比較することで、計測に適した基準状態に近いタイミングの検出方法について検討を行った. 実験は8人の被験者に対して実施し、作成した計測具による腹部の計測値と提案システムによって推定した腹囲形状

を比較し、推定誤差を算出した.実験の結果、被験者の体型に応じた適切な曲げセンサの組み合わせが明らかになった. さらに使用する感圧センサ数による推定誤差の関係性を調査することで、センサ数が少ない場合には背面部の感圧センサが腹囲形状推定に有効であることが分かった. 基準状態の検出として、曲げセンサを用いることで静止状態の検出が可能であり、さらに正面部の感圧センサを用いることで直立・呼気状態の検出が可能であることが明らかになった.

今後の課題として、推定精度向上のために装着者の体型に応じてセンサの種類を変更・追加することが期待される. さらに、ユーザビリティを向上するために、デバイスを小型化し腹囲形状をリアルタイムに推定することが挙げられる.

文 献

- [1] 厚生労働省. 国民健康·栄養調査(令和元年). http://www.mhlw. go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html. (2020/12/10 閲覧)
- [2] B-S KEREM. メタボリックシンドロームの定義と診断基準. Nihon Naika Gakkai Kaishi, 94(4), pp. 794-809, 2005.
- [3] 齋藤仙一ら. 腹部断面形状からの内臓脂肪面積の推定法. 電子情報通信学会論文誌 D, 92(11), pp. 2059-2066, 2009.
- [4] Mbelege Rosina Nkwana, et al. Body Roundness Index, A Body Shape Index, Conicity Index, and Their Association with Nutritional Status and Cardiovascular Risk Factors in South African Rural Young Adults. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(1), p. 281, 2021.
- [5] 川崎善幸. CT を用いた内臓脂肪型肥満検査と他の肥満判定方法 との比較. 日放線技会誌, 53, pp. 1462-1466, 2006.
- [6] 菊池信幸ら. メタボリックシンドローム検査の腹囲計測値と CT fat scan での内臓脂肪値. 逓信医学, 62(1), pp.41–49, 2010.
- [7] 河内まき子ら. 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.
- [8] 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.
- [9] 張立娜ら、三次元計測データに基づく中国人中高年女性の体型特 徴の分析、日本家政学会誌、66(11)、pp. 563-573、2015.
- [10] 渡辺篤志ら. 腹囲径および腹部断面積の非接触自動計測システムの開発と実用性評価. 生体医工学, 49(1), pp. 156-162, 2011.
- [11] 正井克俊ら、光センサ群搭載ベルトによる装着者の着座姿勢識別 手法、インタラクション 2018 論文集, pp. 199-201, 2018.
- [12] Yuchuan Wu, et al. Automated classification of human daily activities in ambulatory environment. In Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing 2011, pp. 157–168.
- [13] Yuki Matsuda, et al. Waistonbelt 2: a belt-type wearable device for monitoring abdominal circumference, posture and activity. In Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2016 Ninth International Conference on, pp. 1–6. IEEE, 2016.
- [14] 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ーブ研究会第 20 回研究会, 2019.