

センサ内蔵アンダーパンツを用いた行動認識手法

恵村健太郎¹ 寺田 努¹ 磯山直也² 塚本昌彦¹

概要：排泄活動を適切に行うことは、健康を維持する上で重要である。ユーザの日々の情報の記録であるライフログデータとして日々の排泄活動に関する記録は、便秘や頻尿などの排泄障害の原因の特定や適切な排泄のための食事内容や運動量の改善として有効である。しかし、排泄はトイレという極めてプライベートな空間での行動であり、ユーザ自身や周囲の人のプライバシーを考慮した測定方法が求められる。そこで、センサ内蔵アンダーパンツを用いた行動認識手法を提案する。アンダーパンツに搭載したセンサによって、ユーザの排泄情報を含む日々の情報を取得する。アンダーパンツはズボンやスカートに覆われるため、ユーザの見た目への影響が小さく、ウェアラブルデバイスに適している。本論文では、ストレッチセンサ、温湿度センサ、ガスセンサを搭載したプロトタイプデバイスを実装した。実装したプロトタイプデバイスを用いて、ストレッチセンサによる行動認識の評価と長時間の着用実験を行った。ストレッチセンサによる行動認識の性能は排尿、排便動作を含む5動作の識別について平均82.7%の認識率を得た。長時間の着用実験では、静止時のストレッチセンサ値の上昇、起立、排泄動作時の温湿度センサ値の変化などを確認した。

1. はじめに

排泄活動を適切に行うことは、健康を維持する上で重要であり、排泄情報を得ることにより健康状態を把握できるとも言える。正常な排泄を行えていない便秘や頻尿などの排泄障害は疾病の原因や生活の制約となりうる。例えば、便が腸内に長く留まる便秘状態では、便が腸壁と接することで潰瘍ができたり、癌の発症率が高まることがわかっている [1]。便秘には一過性のもの、ストレスが原因の自律神経に乱れによるもの、腫瘍や癌が原因の通過障害によるものがあるが、自身で原因を特定することは難しい [2]。頻尿に尿意を催す頻尿は、夜間の排尿による覚醒で睡眠の質を下げたり、人前での失禁の恐れから外出をためらうなどQOLの低下を引き起こす。頻尿の原因として自律神経の乱れによる精神的なものや、細菌感染による膀胱の萎縮などがあるが、便秘と同様に自身での原因の特定は難しい [3]。

近年、日々の生活に関する情報を映像や音声などデジタルデータで記録するライフログに注目が集まっているが、それらと共に日々の排泄活動に関する記録を取ることは、排泄障害の原因の特定に役立つと期待できる。排泄を適切に行うために重要な行動として、適度な運動があげられ、歩行や階段昇降動作が排泄を促すことがわかっている [4]。排泄情報と同時に歩行などの行動を認識し、十分でない場合に運動を指示することで正常な排泄の補助になると考え

られる。また、精神的な要因の場合、排泄活動を記録し、状態を把握することによる安心感から症状が改善する場合もある。便や尿そのものからも体内の情報が取得できる。例えば、便に含まれる成分から感染症の検査を行ったり、形状や色から腸の状態を推測する研究が行われている [5]。尿の糖分量から腎臓の病気である糖尿病が検出されるほか、尿の成分から癌を検出する研究も行われている [6]。

このように排泄は病気や精神状態に関わる影響を多く受ける生理現象であり、排泄情報を取得することで得られる健康状態に関する情報は多い。しかし、排泄はトイレという極めてプライベートな空間での行動であり、ユーザ自身や周囲の人のプライバシーを考慮した測定方法が求められ、カメラによる映像撮影やマイクによる録音などは排泄情報の測定に不適である。トイレに設置したセンサにより排泄情報を取得する方法 [7]、[8] が提案されているが、排泄情報を取得できるトイレが限定され、外出先のトイレの利用では情報を記録できない。自宅など特定の場所だけでなく、外出先でも日常的な行動記録を行う方法として、ウェアラブルデバイスによる行動認識が適していると考えられる。椿らは、衣服に搭載した導電布を用いて身体各部の周径変化を測定し、9つの動作を認識するシステムを提案しており、身体各部の周径変化や衣服の形状変化を計測することによりその他の行動も認識できる可能性を示している [9]。

そこで本研究では、センサ内蔵アンダーパンツを用いた行動認識手法を提案する。アンダーパンツにセンサを内蔵させることで、ユーザの動作やアンダーパンツ内のあらゆる

¹ 神戸大学大学院工学研究科

² 奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科

る情報を取得することで、ユーザの行動を識別することが可能になると考えられる。また、アンダーパンツは着用時に衣服に隠れるため、ユーザの見た目を損ねずにセンサを搭載することができ、日常生活でほとんどの時間に渡り着用しているものなので場所を選ばずにデータを取得できる。本論文ではアンダーパンツに、アンダーパンツの腹部と太腿部の周径データを取得するためのストレッチセンサ、アンダーパンツ内の温度や湿度、においといった、アンダーパンツ内の情報を取得するための温湿度センサ、ガスセンサを装着してプロトタイプデバイスを実装した。評価実験として、ストレッチセンサのみを用いて、歩行・階段昇降・排尿動作・排便動作の5つのユーザの行動の認識性能の評価と実環境でのプロトタイプデバイスの長期計測実験を行った。

本論文は以下のように構成されている。2章では本研究に関連する研究について述べ、3章では提案手法について説明する。4章でデバイスの実装について述べ、5章では評価実験とその実験結果について記述する。6章では提案手法の課題と可能性について議論し、7章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

2.1 ウェアラブルデバイスを用いたライフログ技術

身に着けたセンサによってユーザの行動や生体情報、周囲の環境などを認識する研究が数多く行われている。大西らは圧力センサを内蔵した靴を用いて足圧の分布を測定し、ユーザの姿勢を認識するシステムを提案している [10]。メガネにセンサを備えた認識システムの例として、福本らは、取り付けたフォトリフレクタによって目尻と頬の皮膚の変形を検出し、笑顔を認識するシステムの提案している [11]。安福らは温度センサで鼻部表面の皮膚の温度を測定し、ユーザのストレス度合いを評価するシステムの提案をしている [12]。小玉らは鼻腔に挿入した温度センサによって鼻腔内の温度変化から呼吸数や8つの日常動作の認識を行うシステムを提案している [13]。松井らはアイマスクにフォトリフレクタをアレイ状に取り付けることで眼球の動きを検出し、REM睡眠やNONREM睡眠といった睡眠段階を認識するシステムを提案している [14]。靴や眼鏡、アイマスクなど、ユーザが身に着けるものにセンサを搭載することで、ユーザの見た目を考慮しつつ装着を容易にしている。その他にユーザが着用するものとして衣服がある。衣服にセンサを統合することで、靴や眼鏡型デバイスでは取得できない多くの情報が取得できる。Pandianらは、心電を記録する ECG センサ、脈波を計測する PPG センサなどを取り付けたベストによって体温や血圧、心拍数と行ったユーザの生体情報を記録することで着用者の健康を遠隔管理するシステムを提案している [15]。椿らは、衣服に搭載した導電布を用いて身体各部の周径変化を測定

し、歩行や着席、食事といった9つの日常動作を認識するシステムを提案している [9]。

衣服の中でも、下着を用いた研究も多く行われている。下着はほぼ1日中着用しており、日中のデータ以外に就寝時などのユーザの1日の様々なデータを取得することができる。また、他の衣服に覆われるため、センサや配線などによるユーザの見た目への影響が小さい。デバイスの装着によりユーザの見た目を損なうことはデバイスの使用に抵抗を与えてしまう。藤岡らは、変形度合いで電気抵抗値の変化する導電性編物を用いた肌着とタイツにより、動作時の抵抗値の変化から歩行等の8種類の日常動作の認識を行っている [16]。Leeらは、加速度センサ、ECG センサを肌着に取り付け、加速度センサ値からユーザの動作を認識し、ECG センサで心電情報を計測し記録するシステムを提案している [17]。Andrewらは、PPG センサ、ECG センサ、加速度センサをアンダーパンツに取り付け、睡眠時の血圧の測定、寝返りなどの認識を行うことで睡眠の質を評価するシステムを提案している [18]。しかし、これらの研究では排泄情報は記録していない。消化管の出口である肛門を覆うアンダーパンツは排泄時の脱衣認識や腹部の状態計測など、排泄情報の取得に適している。

2.2 排泄情報取得手法

排泄回数や排泄量などの排泄情報の記録は、ユーザの胃や腸などの消化器官の調子の確認や病気の早期発見、医師への情報伝達支援など様々なサービスを実現できる。排泄情報の取得にはセンサを設置したトイレによる手法がある。山越らは反射型光電センサ、エアバックを便座に設置し、着座時にエアバックにて加減圧を行った際の、反射型光電センサの値の変化から排泄時の血圧を測定する [19]。さらに、トイレの床に設置した重量計の変化から排泄量を計測し、生体情報と排泄情報を同時に記録するモニタリングシステムを提案している。藤田らは、非接触マトリクス温度センサを用いて、排尿による空間の温度変化を検知し、流量を推定することで、排尿量の推定を行うシステムを提案している [7]。さらに、トイレで取得した情報の分類に関する研究もある。倉橋らはトイレトペーパーの芯に角速度センサを設置し、トイレトペーパーの引き出し動作からトイレ使用者の識別を行うシステムを提案している [8]。しかし、これらの方法では情報を取得できるトイレに限られ、外出先のトイレの利用などユーザの排泄情報をすべて記録することが難しい。そのため、ユーザが身に着けたセンサによって排泄情報を取得する研究も行われている。大内らは携帯電話に搭載されたセンサを用いて行動の認識を行っている [20]。この研究では、携帯電話に搭載されたマイクで認識したトイレの水洗面から排泄情報の記録を行っている。しかし排泄時の音情報はユーザや周囲の人のプライバシーを考慮すると、取得を敬遠される情報である。中島らは

紙おむつに尿を検知するセンサを取り付けることで、失禁を検知するシステムの提案を行っている [21]。しかし、トイレを利用して排泄を行った際の排泄情報は取得できない。

そこで、本研究では、ウェアラブルデバイスを用いた使用環境に制限のない排泄情報の取得を目指す。取得するデータはユーザや周囲の人のプライバシーを考慮したデータを選択する必要がある。

3. 提案システム

本研究では排泄動作を含む日常動作を常時記録するため、センサ内蔵アンダーパンツを用いた行動認識システムを提案する。

3.1 システム要件

提案システムは歩行や階段昇降の認識とともに、排泄行動についても認識できることを目的とする。日常生活において常時使用できることが重要であり、そのためにユーザがシステムの使用に抵抗を感じないことが求められる。まず、デバイスの着用によって、ユーザの動作を妨げず、見た目を損なわないことが重要である。排泄行動を認識するためには排泄時の情報を取得する必要があるが、トイレ内での映像撮影や録音による情報収集はユーザ自身や周囲の人へのプライバシーの観点から望ましくなく、プライバシーを侵害しないように情報を取得する必要がある。ライフログとして排泄行動を取得するためには、自宅だけでなく外出先での排泄など環境に左右されずに、情報を取得する必要がある。そして、日常的に身につけて利用するデバイスとしては衛生的であることが求められる。そこで、歩行や階段昇降、排泄行動を認識・記録するライフログシステムを構築する際には、以下のような要件があげられる。

- ユーザの動きを妨げない。
- ユーザの見た目を損なわない。
- プライバシーが確保された排泄情報を取得する。
- 環境に左右されずに情報を取得する。
- 衛生的に利用できる。

3.2 システム設計

3.1 節の要件を基に、センサを装着したアンダーパンツ型デバイスを提案する。提案システムの構成図を図 1 に示す。アンダーパンツに装着したセンサによって、ユーザの歩行や排泄行動などに関わるデータを取得し、PC やスマートフォンでセンサデータの記録と分析を行う。マイコンによってセンサを制御し、センサデータは無線通信または SD カードを介して PC、スマートフォンに渡される。アンダーパンツには、温度センサ、湿度センサ、ガスセンサ、ストレッチセンサを装着する。ストレッチセンサとは伸縮性のゴムひも状のもので、伸縮により電気抵抗値が変化するものである。温度センサは排泄時の衣服の着脱に伴

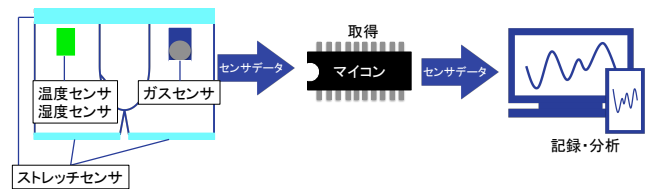


図 1 提案システム

う体温の変化、湿度センサは着脱に伴う衣服内の湿度の変化を測定する。ガスセンサは排泄時に発生するアンモニアの検出を行う。ストレッチセンサはユーザの腰や太腿の周囲に設置し、ユーザが歩行したり排泄活動を行うことで起きる腰や太腿の周径変化やアンダーパンツの形状変化をセンサの伸縮により検出する。これらのセンサデータをもとにユーザの歩行や排泄行動に関わる情報を取得する。

アンダーパンツは着用時に衣服に隠れるため、提案デバイスはユーザの見た目への影響が少なく、日常生活で身に付けられる衣服であるため着用時の違和感が少ない。ユーザの動作を妨げないように、ストレッチセンサはアンダーパンツのゴム部分である腹部と大腿部に配置し、温湿度センサとガスセンサは足の付根付近に配置する。取得するセンサデータは映像や音声とは異なり、ユーザの周囲に関する情報は取得しないため他者のプライバシーを侵害しない。洗濯時やセンサの故障時のためにすべてのセンサは取り外しでき、衛生面や長期使用を考慮している。

4. 実装

アンダーパンツ型行動認識システムのプロトタイプデバイスを実装した。実装したデバイスを図 2 に示す。アンダーパンツに温湿度センサ、ガスセンサ、ストレッチセンサを装着した。アンダーパンツの前面にマジックテープを縫い付け、腹部と大腿部にスナップボタンと布をベルトループ状に縫い付けた。温湿度センサとガスセンサは 1 つずつマジックテープを用いてアンダーパンツの前面に固定した。ストレッチセンサは 3 本をそれぞれ腹部と左右の大腿部に縫い付けた布に通し、両端を金属製のスナップボタンを用いて固定した。マジックテープ、スナップボタンによってセンサの着脱を容易にしている。大腿部のストレッチセンサの配線のために導電糸を用いた。アンダーパンツの大腿部のスナップボタンから腹部まで導電糸を縫い付け、腹部に配線接続用のスナップボタンを縫い付けた。提案デバイス着用時の様子を図 3 に示す。

温湿度センサは Sensirion 社の SHT71、ガスセンサはアンモニア、窒素酸化物、アルコール、ベンゼン、煙、二酸化炭素などを検出可能な Waveshare 社の MQ-135、ストレッチセンサは Images Scientific Instruments 社の STRX-14 を用いた。センサはマイコンに接続され、マイコンはセンサデータを常時取得して Bluetooth 通信によって PC へ送信

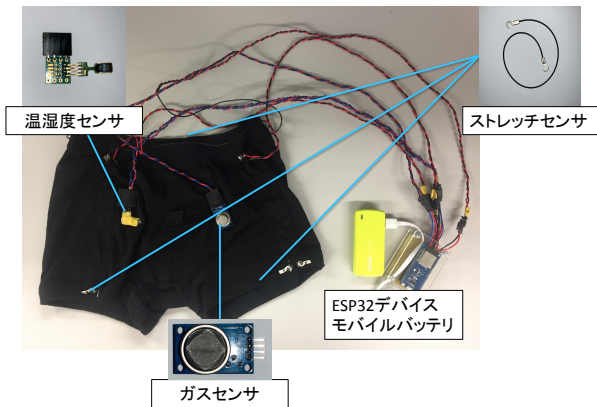


図 2 プロトタイプデバイス

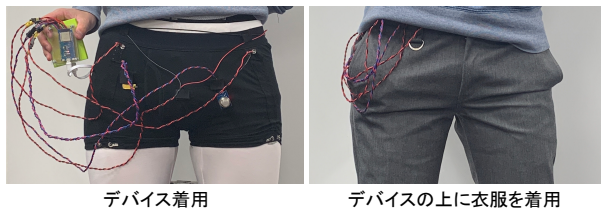


図 3 デバイスの着用

する。センサデータは PC の常時通信が困難な場合に備え、マイコンから SD カードに常時蓄積される。PC では測定したセンサデータから行動認識の処理を行う。マイコンは Espressif Systems 社の ESP-WROOM-32 を用いた。データ受信を行うための PC 上のソフトウェアは Processing[22] によって開発した。ストレッチセンサはマイコンから電圧を印加して分圧した信号をノイズ除去のためにローパスフィルタ回路を通し、マイコンの AD コンバータを用いて変換したものをセンサ値として使用する。

5. 評価実験

実装したプロトタイプデバイスを用いて提案手法の有効性を示すために、アンダーパンツ型デバイスを用いた行動認識の性能評価実験と実環境の使用を想定した長期計測実験を行った。

5.1 行動認識性能評価

実装したプロトタイプシステムの行動認識の精度を評価した。本提案デバイスでは、ストレッチセンサ、温湿度センサ、ガスセンサを搭載しているが、本実験では、ストレッチセンサのみを用いて、アンダーパンツの周径変化からユーザの行動認識を行い、認識精度の評価を行う。

行動認識手法

ストレッチセンサを用いた行動認識のアルゴリズムを説明する。得られたセンサデータから平均値 μ 、分散値 σ^2 を特徴量として抽出する。ウィンドウサイズを n サンプル、得られるセンサデータを $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ とし、以下にそれぞれの特徴量について説明する。まず、得られたセンサ

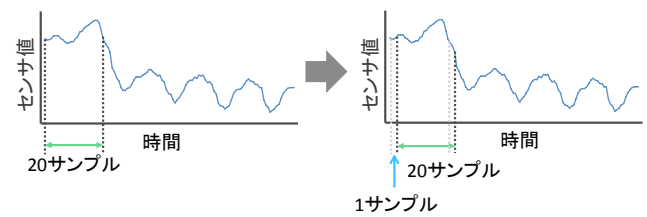


図 4 特徴量の算出方法

データ x_i の平均値 μ と分散値 σ^2 について、以下の式で表される。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu - x_i)^2 \quad (2)$$

以上の計算を用いて 3 つのストレッチセンサごとに平均値、分散値を算出する。各センサの生データと平均値、分散値の計 9 種のデータの特徴量とし、提案手法では分類器として Random Forest を用いる。Random Forest は決定木を弱学習器とする集団学習のアルゴリズムであり、ランダムサンプリングされた学習データの特徴量から多数の決定木を作成する。それぞれの特徴量はスケールが異なり、対等に扱えないため、最大値を 1、最小値を 0 として正規化を行なった。

実験方法

22 歳および 23 歳の健康な男性被験者 A, B に対して実験を行った。被験者は提案デバイスをタイツの上から着用し、直立した状態から、歩行・階段上昇・階段下降・排便動作・排尿動作の順に 5 動作を行った。歩行と階段昇降は 10 歩を 1 セット、排便と排尿動作はタイツを着用したまま、衣服と提案デバイスを普段の動作時のように動かし、元の位置に戻すまでを 1 セットとし、被験者は各動作を 3 セット行った。各動作は直立した状態から行い、直立時のデータは学習には用いなかった。

センサのサンプリング周波数は 100Hz とした。図 4 のように、センサデータのウィンドウサイズは 20 サンプルとし、1 サンプル分移動させ、各ウィンドウごとのセンサデータから特徴量として平均値、分散値を抽出した。抽出された特徴量に対して Random Forest を用いて 3 分割交差検証を行い、認識率を求めた。3 分割交差検証とは、データを 3 分割し、そのうち 1 つのデータをテストデータ、残りの 2 つのデータを学習データとする検証をテストデータと学習データを入れ替えて計 3 回行い、その結果を平均して推定を行う解析手法である。Random Forest の利用と交差検証には、データマイニングツールである WEKA[23] を用いた。

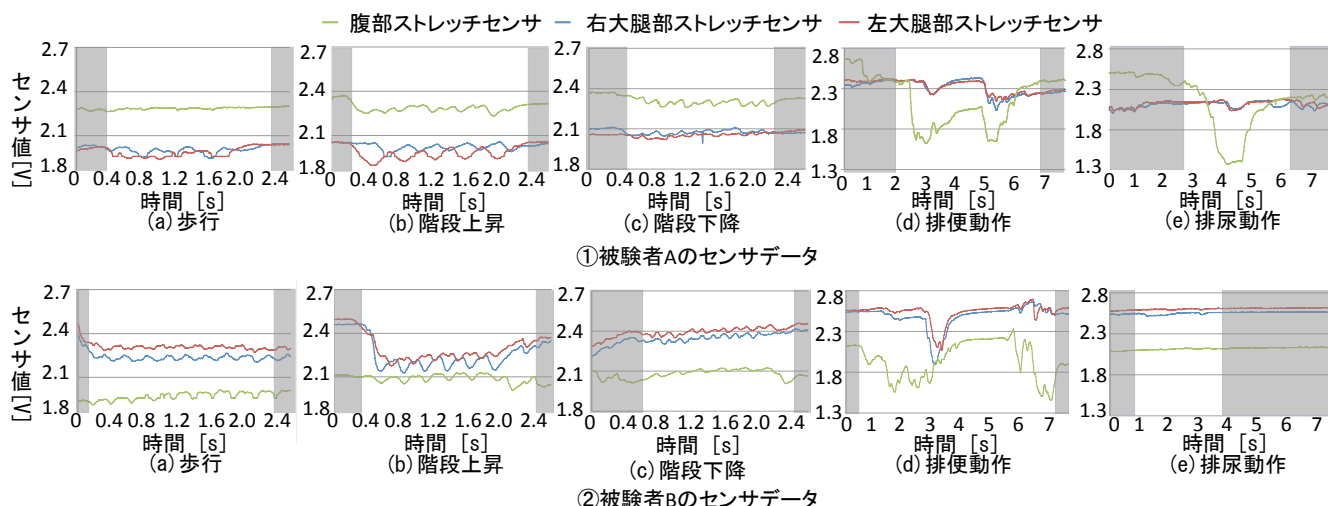


図 5 各被験者のストレッチセンサデータ

実験結果

2名の被験者AとBから取得した各ストレッチセンサの値を図5に示す。まず、被験者Aのセンサデータから考察する。測定したセンサデータより、歩行時は、左右の太腿部のセンサ値が交互に変化していることがわかる。歩行の際の太腿の筋肉の収縮に合わせ、大腿部の周径が変化することにより、ストレッチセンサが伸縮し、センサ値が変化していると考えられる。階段上昇時は腹部のセンサ値が歩行時と異なり、左右大腿部のセンサ値が交差する点で反応していることが確認できた。階段上昇時は、歩行時のように左右の足を繰り出す動作に加え、上体を反らす動作を行うため、腹部の周径が変化していると考えられる。階段下降時は歩行、階段上昇時と異なり、左右大腿部のセンサ値が同時に変化している。これは、繰り出す足と同時に、他方の足も体の重心を下げるために屈しており、左右大腿部の周径が同時に変化するためであると考えられる。排便と排尿動作時には、腹部のセンサ値が大きく下降している。これは、排便と排尿動作時にアンダーパンツの腹部のゴムを伸ばすため、ストレッチセンサが伸び抵抗値が上昇しているためである。排便動作時には、排尿動作時と異なり、腹部センサ値が下降後に両大腿部のセンサ値が徐々に上昇している。これは、アンダーパンツを下腿まで下ろす過程で脚の周径が変化していくためだと考えられる。排尿動作時は、排便動作時と逆で、腹部センサ値の下降と同時に両大腿部のセンサ値が下降している。これは、排尿時に体の重心が前方に向かうため、大腿部の前方の筋肉が直立状態と比べ縮小し、周径が大きくなっているためではないかと考える。このように各動作の特徴がストレッチセンサのセンサ値に表れていることが確認できた。

次に被験者Bのセンサ値について確認する。被験者Bは被験者Aと比べ、腹部のセンサの値が全体的に小さい。被験者Bのデバイス着用時に腰骨のあたりに腹部のセンサ

表 1 認識結果

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	適合率
(a) 歩行	1323	443	27	7	0	0.735
(b) 階段上昇	159	1510	22	14	0	0.88
(c) 階段下降	15	27	1568	11	0	0.967
(d) 排便動作	202	19	103	1388	88	0.771
(e) 排尿動作	0	78	33	259	1430	0.794
再現率	0.778	0.727	0.894	0.826	0.942	0.827

が位置しており、被験者Aよりも周径が大きい位置に腹部のセンサがあり、ストレッチセンサが伸びているため小さい値を示していると考えられる。歩行時の腹部のセンサデータが被験者Aでは反応していなかったが、被験者Bでは左右の大腿部のセンサデータと同様に反応している。ストレッチセンサが歩行時の腰骨の動きに応じて伸縮しているためだと考えられる。階段上昇では被験者Bは右足から先に次の段へ踏み出すため、右足の振幅が大きくなっていることが分かる。階段下降時、被験者Aの左右の大腿部のセンサデータと同様に左右同時に反応している。排便動作は、被験者Aと同様に脱衣、着座、再着衣の波形が確認できる。しかし、排尿動作に注目すると、センサ値の変化が見られなかった。これは、被験者Bは排尿の際にアンダーパンツを脱がず、前開き部を利用して排尿を行うためである。

被験者AとBのセンサデータを比較すると、デバイス着用時の腹部センサの位置により腹部センサデータが異なる反応を示すことがわかった。また、被験者により排尿動作に違いがあることが確認できた。

2名の被験者から得られたデータから計測した認識率を表1の混同行列に示す。混同行列とは、認識率を示す分類表である。混同行列の縦軸は実際の行動名、横軸は認識器により分類された行動名、各セルの数値は認識器により分

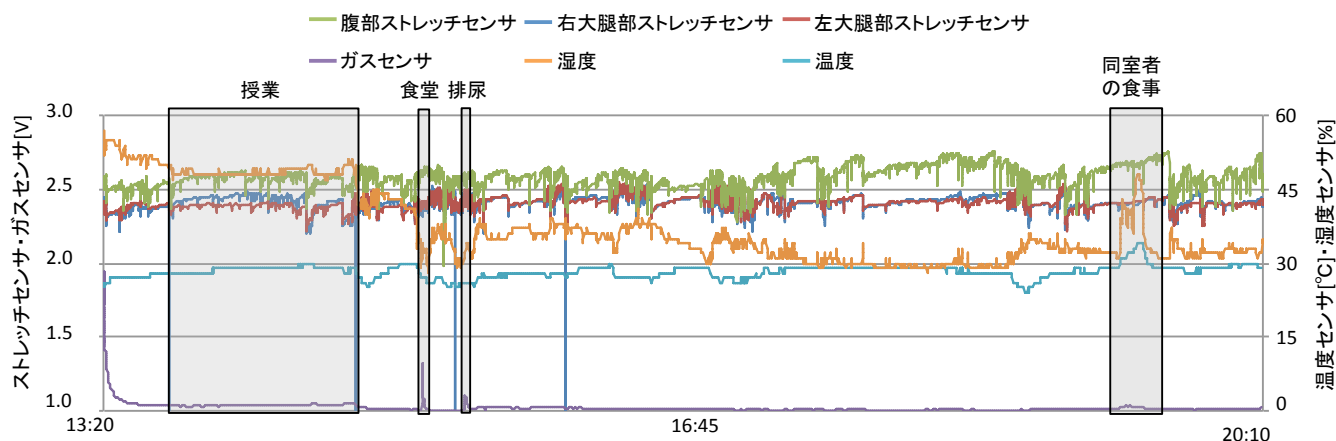


図 6 長期計測のセンサデータ

類されたサンプル数の合計である。各被験者のデータを同一の被験者のデータを学習した認識器により分類した。結果から、今回分類した5動作は平均して82.7%の精度で認識できた。歩行と階段上昇の認識率が他の動作に比べ低い。歩行と階段上昇の動作はどちらも足を左右に繰り返す動作であるため、一部センサデータが共通する挙動を示し、誤って認識されたためであると考えられる。また、排便動作を歩行と誤って認識したサンプルも多く見られた。これは、排便動作後にデバイスを装着しながら立ち上がる動作が誤って歩行と認識されたためではないかと考えられる。被験者ごとの認識率は、被験者 A が 90.2%、被験者 B が 71.4%であり、被験者によって認識率に大きな違いがあった。

5.2 長期計測実験

認識率の向上や排泄物の量などの様々なコンテキストを認識させるために、ストレッチセンサ以外のセンサの搭載が不可欠である。そこで、ストレッチセンサ以外のセンサが提案デバイスに有用なセンサであるかの調査および、長期着用時のストレッチセンサの挙動の確認のために、日常環境で提案デバイスを着用し、長期計測を行った。

実験方法

23歳の健康な男性被験者1名に対して実験を行った。被験者は提案デバイスをタイツの上から着用し、2019年3月中の1日で7時間にわたり計測を行った。取得したセンサデータはマイコンに設置したSDカード内に保存した。特徴的な動作時にマーカーを取り付け、各動作の記録を行った。サンプリング周波数は20Hzとした。

実験結果

測定の結果を図6に示す。5.1節の実験で測定した同じ動作時、ストレッチセンサデータに同実験で得られたデータと同様の波形が確認された。また、授業中の着席時など静止している間にセンサ値が緩やかに上昇することが分

かった。これは、デバイスが被験者の体に食い込むことで、周径が変化しているためであると考えられる。温湿度センサデータでは、歩行中や直立時に温度センサ値の上昇と湿度センサ値の下降を確認した。また、排泄動作時に両センサ値が上昇することが確認できた。このことから、動作認識の認識精度向上のための特徴量として温度、湿度を用いることができるのではないかと考えられる。ガスセンサデータは、周囲の環境により大きくセンサ値が異なることが分かった。特に、食堂やトイレでの反応が大きく、ガスセンサデータからユーザのいる場所が特定でき、動作認識に場所の情報を付加することで、認識精度の向上や、より細かいコンテキストの認識を行うことができるのではないかと考えられる。

6. 議論

6.1 認識率の向上

提案デバイスを用いて、5つの動作を平均82.7%の精度で認識できた。さらに認識精度を上げるためにも、認識手法についてさらに検討が必要である。まず歩行や階段上昇などの連続して行う動作の認識方法について、被験者AとBのストレッチセンサデータの比較の結果、腹部センサの位置により腹部のセンサデータが異なる反応を示していた。腹部センサデータの挙動は、デバイスを着脱することや個人差によって異なるため、着用時のキャリブレーション、センサ値のずれや個人によらない特徴量の使用によって対応する。認識アルゴリズムにも改良の余地がある。本研究で用いた特徴量抽出の際のウィンドウサイズは動作周期の短い歩行と階段昇降に合わせて設定していたが、広いウィンドウサイズでの分散をとって、その値が大きい箇所には波形マッチングをかけ、排泄動作ではないかを確認する。また、歩行、階段昇降と排泄動作では動作周期が大きく異なるため、例えば、取得データを周波数毎に分解する高速フーリエ変換を用いて各動作の周波数を求めたり、一

定時間内に設定した閾値を通過した数を示すクロッシングカウントを特徴量に加え、認識率の向上を検討している。また、温湿度センサは歩行中や直立時、排泄動作時に特徴的な値を示すことが確認されたことから、アンダーパンツ内の温度、湿度を特徴量として加えることを検討する。ガスセンサの値から食堂やトイレを認識し、場所によって認識方法を変えるなど、ストレッチセンサ以外のセンサの利用も検討する。

6.2 排泄情報

実装したプロトタイプシステムはストレッチセンサによって排泄行動を行ったタイミングを認識した。排泄情報をライフログとして残す際には排泄行動を行ったタイミングに加え、排泄量や便の形状などの排泄の質に関する情報を記録することでさらに詳しく健康状態を把握できる。行動認識性能評価での行動認識に使用しなかったガスセンサ、温湿度センサデータから排泄の質に関する情報を得ることを検討する。例えば、温湿度センサを用いることでユーザーの体温や発汗量を推定し、排便量や状態を推定する。これらの情報の他に食事内容や運動の記録を取得して組み合わせることで胃腸などの消化器系の異常検知や病気の早期発見、医師への情報伝達など有益なサービスを提供できる。また、ガスセンサや温湿度センサ以外のセンサがライフログシステムに有効なセンサかも検討する。

6.3 排泄動作の多様性

2名の男性被験者の排泄動作を測定した。特に、排尿時において、一方の被験者は下着を脱いで行ったのに対して、もう一方の被験者は下着を脱がずに前開き部を利用して行った。このように、被験者によって排泄動作に違いがあることを確認した。洋式便所の普及により、男性でも座って排尿する人が増え、性別や年代、家庭環境の違いなどから様々な排泄スタイルが存在する。今後、評価実験の被験者の増加、排泄スタイルに関するアンケートの実施により様々なユーザーの排泄動作の共通の特徴や同一ユーザーの排泄動作の一貫性などを調査する。様々な排泄スタイルに対応するため、まず前開き部を利用する排尿動作と洋式便器に座って行う排尿動作への対応を検討する。前開き部の開閉を検知するため、前開き部に新たなストレッチセンサの装着などを検討している。

7. まとめ

本論文では、センサ内蔵アンダーパンツを用いた行動認識手法を提案した。ストレッチセンサ、ガスセンサ、温湿度センサをアンダーパンツに装着し、プロトタイプデバイスを実装した。ストレッチセンサのみを用いて、アンダーパンツの周径変化からユーザーの行動認識を行い、認識精度の評価を行った。歩行・階段上昇・階段下降・排便動作・

排尿動作の5動作の認識を行い、82.7%の精度が得られた。長期計測実験では認識精度の向上や排泄の質を認識する手法を検討するため、ストレッチセンサに加え、温湿度センサ、ガスセンサを用いて長時間計測を行い、各センサが提案デバイスに有効なセンサであるかを調査した。

今後は、下痢などの異常な排泄の検知を行うため、提案デバイスを日常的に着用することで、排泄物の成分の分析や形状などによるセンサ値の違いについて観察する。また、認識率の向上のために特徴量として温湿度センサ、ガスセンサの値を用いたり、特徴量抽出のウィンドウサイズの調節や排泄行動の認識手法の切替など、認識アルゴリズムの改良も行う。人により排泄行動に違いがあるため、被験者の増員やアンケートの実施により、共通の特徴や同一者の動作の一貫性などを調査する。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1,JPMJCR18A3), NICT(アジャイル型共創による高齢者補助ロボット用ネットワークプラットフォーム技術の研究開発)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] R. MacLennan, O. Jensen, and J. Mosbech: Diet, Transit Time, Stool Weight, and Colon Cancer in Two Scandinavian Population, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 31, No. 10, pp. 239–242 (Oct. 1978).
- [2] 国立がん研究センター: 便秘 ～がんの治療を始めた人に、始める人に～, <https://ganjoho.jp/public/support/condition/constipation.html>.
- [3] 日本泌尿器科学会: <https://www.urol.or.jp/public/symptom/02.html>.
- [4] 深井喜代子, 坂本みどり, 田中美穂: 水又は運動負荷と温電法の健康女性の腸音に及ぼす影響, *川崎医療福祉学会誌*, Vol. 6, No. 1, pp. 99–106 (June 1996).
- [5] G. Riegler and I. Esposito: Bristol Scale Stool Form. A Still Valid Help in Medical Practice and Clinical Research, *Techniques in Coloproctology*, Vol. 5, No. 3, pp. 163–164 (Dec. 2001).
- [6] T. Yasui, T. Yanagida, S. Ito, Y. Konakade, D. Takeshita, T. Naganawa, K. Nagashima, T. Shimada, N. Kaji, Y. Nakamura, I. Thiodorus, Y. He, S. Rahong, M. Kanai, H. Yukawa, T. Ochiya, T. Kawai, and Y. Baba: Unveiling Massive Numbers of Cancer-related Urinary-microRNA Candidates via Nanowires, *Science Advances*, Vol. 3, No. 12, pp. 1–19 (Dec. 2017).
- [7] 藤田紘也, 金主賢, 中島一樹: 非接触マトリクス温度センサを用いたトイレ排尿量評価に関する基礎的研究 -便器からの輻射熱の影響-, *生体医工学*, Vol. 54, No. 26, p. 28 (2016).
- [8] 倉橋真也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: トイレットペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 58, No. 1, pp. 237–248 (Jan. 2017).
- [9] K. Tsubaki, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Activity Recognition Method by Measuring Circumference of Body Parts, *Proc. of the 7th Augmented Human International Conference (AH '16)*, Article No. 13, pp. 1–7 (Feb. 2016).

- [10] A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Method for Recognizing Postures and Gestures Using Foot Pressure Sensors, *Journal of Information Processing*, Vol. 27, pp. 348–358 (Jan. 2019).
- [11] K. Fukumoto, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Smile/Laughter Recognition Mechanism for Smile-based Life Logging, *Proc. of the 4th Augmented Human International Conference 2013 (AH '13)*, pp. 213–220 (Mar. 2013).
- [12] H. Yasufuku, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Lifelog System for Detecting Psychological Stress with Glass-equipped Temperature Sensors, *Proc. of the 7th Augmented Human International Conference 2016 (AH '16)*, Article No. 8, pp. 1–8 (Feb. 2016).
- [13] R. Kodama, T. Terada, and M. Tsukamoto: Evaluation on Context Recognition Using Temperature Sensors in the Nostrils, *Sensors*, Vol. 19, Iss. 7, Article No. 1528 (Mar. 2019).
- [14] 松井 駿, 寺田 努, 塚本昌彦: 赤外線センサを用いたアイマスク型デバイスによる睡眠状態認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 8, pp. 1477–1484 (Aug. 2018).
- [15] P. S. Pandian, K. Mohanavelu, K. P. Safeer, T. M. Kotresh, D. T. Shakunthala, Parvati Gopal, and V. C. Padaki: Smart Vest: Wearable Multi-parameter Remote Physiological Monitoring System, *Medical Engineering & Physics*, Vol. 30, Iss. 4, pp. 466–477 (May 2008).
- [16] 藤岡 潤, 吉田善洋, 伊勢大成, 関 啓明: 導電性編物を用いたウェアラブルセンサによる人体動作の計測と行動認識, *Journal of Textile Engineering*, Vol. 64, No. 1, pp. 19–27 (Feb. 2018).
- [17] Y. D. Lee and W. Y. Chung: Wireless Sensor Network Based Wearable Smart Shirt for Ubiquitous Health and Activity Monitoring, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 140, Iss. 2, pp. 390–395 (July 2009).
- [18] C. Andrew and H. Christian: Naptics: Convenient and Continuous Blood Pressure Monitoring during Sleep, *Proc. of ACM Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT)*, Vol. 2, No. 3, pp. 96–118 (Sep. 2018).
- [19] 山越憲一: トイレに設置するモニタリングシステム, *BME*, Vol. 10, No. 5, pp. 30–38 (1987).
- [20] 大内一成, 土井美和子: 携帯電話搭載センサによるリアルタイム生活行動認識システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1675–1686 (July 2012).
- [21] 中島一樹, 田村俊世, 三池秀敏, 下沖 晋, 藤元登四郎, 中野寿彦: 尿失禁センサ付き紙おむつの開発, 医用電子と生体工学, Vol. 32, No. 2, pp. 97–105 (June 1994).
- [22] Processing.org: <https://processing.org/>.
- [23] WEKA: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.