



DeskWalk : パソコンを利用した作業時のキー入力を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システム

清水, 裕介
大西, 鮎美
寺田, 努
塚本, 昌彦

(Citation)

情報処理学会論文誌, 63(2):468-481

(Issue Date)

2022-02-15

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うをお願いいたします。

Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by th...

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100492842>



DeskWalk：パソコンを利用した作業時のキー入力を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システム

清水 裕介^{1,a)} 大西 鮎美^{1,b)} 寺田 努^{1,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

受付日 2021年4月14日, 採録日 2021年11月2日

概要：本論文では、パソコンを利用した作業時のキー入力を身体動作で置き換えることにより、運動不足を解消するシステム、DeskWalk を提案する。長時間の座位作業は健康に悪影響がある。歩行や立ち上がりを行うことでその影響を低減できるが、これらは作業の中断をとまう。DeskWalk は下肢に取り付けたストレッチセンサで歩行と同等に筋肉が動く動作を認識し、それらの対象動作にあらかじめ割り当てたキーの入力を行う。これにより、ユーザは座位作業を続けながら運動ができる。さらに、日常生活での運動を記録しておき、座位作業時に DeskWalk を用いて不足分の運動を補わせるアプリケーションを提案、実装した。評価実験の結果、DeskWalk は対象動作を平均 F 値 0.98 と高精度に認識できた。システム使用時は未使用時と比較して 2 割から 3 割程度入力速度が減少したが、通常のパソコン作業において問題のない速度で入力できていた。

キーワード：ヒューマンインタフェース, ヘルスケア, センシング, 行動認識, キー入力

DeskWalk: An Exercise System that Replaces Key Inputs with Body Movements

YUSUKE SHIMIZU^{1,a)} AYUMI OHNISHI^{1,b)} TSUTOMU TERADA^{1,c)} MASAHIKO TSUKAMOTO^{1,d)}

Received: April 14, 2021, Accepted: November 2, 2021

Abstract: We propose DeskWalk, which is an exercise system that replaces key inputs with body movements. Prolonged sitting significantly compromises health. Previous studies have shown that walking and standing during sedentary work can reduce the negative effects of prolonged sitting. However, these movements interrupt the work of the user. DeskWalk allows a user to exercise during his/her work. It recognizes the body movements using stretch sensors attached to the lower limbs and replaces them with preassigned key inputs. In preliminary experiments, we determined three target movements that involved muscle activities equivalent to walking. We implemented a system to measure steps using a smartphone and to perform exercises similar to the walking motion with DeskWalk. The average F-value of the motion recognition rate was 0.98. The input speed when using Deskwalk was 20% to 30% less than when not using Deskwalk, which was confirmed to be an acceptable speed for daily use.

Keywords: human interface, healthcare, sensing, motion recognition, key inputs

1. 背景

日常生活の中で最も長い時間を占める活動はパソコン作業やテレビ視聴、読書などの座位作業である [1]。成人の日常生活における 1 日の活動のうち、ジャンプやジョギングなどのエネルギー消費の多い活動は約 5% ほどしかない [2]。また、座位作業が多い仕事をしている人の日常生活

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Hyogo,
657-8501 Japan

a) yusuke-shimizu@stu.kobe-u.ac.jp

b) ohnishi@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp

において、就業日に座位姿勢でいる時間は休日に比べ平均で110分多いという調査結果が得られている [3]。加えて現在、COVID-19の影響で在宅勤務が推進されており、自宅でのパソコン作業が多くなることでさらに運動不足が深刻化していると考えられる。

長時間の座位作業は、肥満や糖尿病、高血圧、脳卒中、心血管疾患など多くの慢性疾患の要因となり、健康状態の悪化や早期死亡のリスク増加につながる [3], [4], [5], [6], [7]。世界保健機関 (WHO) によると、運動不足は死亡の原因となる第4位の危険因子と見なされている [8]。WHOは、18から64歳の成年者は週に最低150分の歩行のような中程度の運動または75分のエネルギー消費の多い運動を行うことを推奨している。しかし、現在の成年者の身体活動の量は十分ではない。

これまでの研究から、座位作業中に歩行や立ち上がり動作を行うことで、長時間の座位作業による健康への悪影響を低減できることが分かっており [2], [9], [10]、悪影響を減らすために身体活動を促進するシステムが多く提案されている [11], [12], [13], [14], [15]。例として、Apple Watchは、ユーザへ50分ごとに立って少し体を動かすように促すStand Reminder機能を備えている [16]。これらの既存手法では、ユーザの作業中断が必要となるが、アプリケーションによる通知やその他の外部からの介入によって作業を中断することは、ユーザのタスクパフォーマンスや集中力に大きな悪影響を与える [17], [18], [19]。よって、作業を中断させないことが集中力の維持には望ましい。しかし、作業の中断をとまわずに長時間の座位作業による悪影響を低減するシステムは提案されていない。そこで本研究では、ふだんパソコンを用いた座位作業が多く運動の時間をとれない人を対象として、座位作業を継続しつつユーザに運動をさせるシステムDeskWalkを提案する。DeskWalkではパソコンの主たる作業方法であるキー入力を歩行と同程度の負荷がかかる下肢動作に置き換えることで運動不足を解消させる。

さらに本論文では不足した分の運動を適応的に補うために、日常の運動を携帯端末で記録し、座位作業中にDeskWalkを用いて、不足分の運動をさせるシステムを構築する。体の各部位の筋肉の活動量はその日の過ごし方によって異なるため [20]、運動不足を解消するためにユーザは活動量が足りていない筋肉を適切に動かす必要がある。そこで提案システムでは、ユーザの日常生活の運動の量に応じて、足りていない運動に使われる筋肉に負荷のかかる動作をその日や翌日の座位作業中に行わせる。

本研究の貢献は以下のとおりである。

- パソコン作業のキー入力を、予備実験で調査した歩行と同程度の筋活動をともなう下肢動作に置き換えることで、ユーザの座位作業を中断せずに歩行と同等の運動をさせるシステムを提案した。

- 評価実験から、提案システムで下肢動作を高精度に認識できること、通常のパソコン作業において問題のない速度で入力できることを確認した。
- その日に必要な運動量に対して不足分を適応的に補うために、日常の運動を携帯端末で記録してその不足分を座位作業中に補うシステムを構築した。

本論文では以降、2章で関連研究を紹介し、3章で提案システムについて述べる。4章では評価実験について説明し、5章では提案システムの応用例を述べる。6章では運動不足解消のために最適な動作やシステム使用時の作業効率について議論し、最後に7章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

本章では、長時間の座位作業による健康への悪影響を防ぐための先行研究および身体動作による入力についての研究を紹介する。

2.1 長時間の座位作業による悪影響とその対策

座位作業を中断して歩行や立ち上がり動作などの身体動作をすることで、長時間の座位作業による健康への悪影響を低減できる。DunstanらやPeddieらは、座位作業を中断して身体動作を行うことで、肥満や糖尿病のリスクを減らすことができることを示した [2], [21], [22]。さらに、歩行や足を動かすなどの定期的な下肢筋肉の活動は、長時間の座位が足の血管や内皮機能に及ぼす悪影響を低減する可能性がある [9], [10]。Swartzらは、歩行などの運動で座位作業を中断した際の身体活動の総エネルギー消費量の変化を調査した [23]。この研究では、30分間の座位作業中に4つの異なる時間の歩行動作を行ったときの総エネルギー消費量を計測した。その結果、歩行をとまなう座位作業の方が、歩行をとまなわない座位作業に比べて有意に多くのエネルギーが消費されており、肥満や慢性疾患を防ぐ可能性が示唆された。このように、座位作業中に歩行動作を行うことによって健康への悪影響を減らすことができる。歩行が運動不足の解消に効果的な理由は、心肺機能の促進や筋肉を動かすなどいくつかあり、本研究では筋肉を動かすことに着目する。

健康への悪影響を減らすためには、座位作業を中断して身体動作を行うだけでなく、日常生活で不足している運動を補うことも重要となる。1日の過ごし方によって体の各部位の筋肉の活動量は異なるので [20]、その日に不足している運動を適応的に補う必要がある。提案システムでは、日常生活の運動を携帯端末で記録し、座位作業中に不足分の運動を行わせる。

2.2 座位作業による健康への悪影響を低減させるシステム

長時間の座位作業を中断させ、健康への悪影響を低減させる研究の中でも、特にパソコン作業を中断させる研究は

多く行われている。しかし、これらのシステムは健康への悪影響を減らすために、座位作業の中断させ運動を促すことのみを目的としており、作業を行いながら同時に悪影響を低減させるシステムは提案されていない。

Mateevitsi らは、ユーザの座位作業が長時間続くのを防ぐためのデバイスである HealthBar を提案している [11]。HealthBar は赤外線モーションセンサを利用して作業机でのユーザの有無を検出し、3 フィートのプラスチック製ディフューザライトチューブの色を座位作業時間に応じて変化させ、ユーザへ休憩が必要な時間を知らせる。評価実験の結果、HealthBar はユーザの座位作業を止めることで、座位時間を減らすことができていた。Wang らはキーボードやマウスの使用状況と web カメラで座位時間を取得し、長時間座位作業が続くとパソコン画面上に表示されているバーが伸びていく SedentaryBar を提案している [12]。他の長時間座っていたときに通知して休憩を促す方法と比較した結果、SedentaryBar は休憩に入る前に準備ができることやより多くの情報の提示などに関して有用性があり、被験者は SedentaryBar を好む人が多かった。しかし、被験者の作業時間のログデータからは、通知を送って作業の中断を促す方法の方が座位作業の低減に効果的であることが示された。被験者が長時間座っていることを理解しているにもかかわらず、必要な運動を行えていないことがあった。そこで本研究では、座位作業に運動を組み込み、半強制的に体を動かさせることで、健康への悪影響を低減させる。

Grundgeiger らは、スマートフォンで座位、立位、歩行などの行動を認識し、30 分以上座位作業が続くとスマートフォンのアプリで通知するシステムを実装している [13]。提案システムでは、30 分からカウントダウンし、ユーザが一定以上の運動をするとカウントがリセットされ、座位作業が 30 分を超えると通知と触覚フィードバックで知らせた。Bond らはスマートフォンに搭載された加速度センサを介して、被験者の座位作業をリアルタイムで自動的に監視し、休憩を促すシステムを提案している [14]。座位作業の時間が表示され、長時間座位作業が続くと休憩を促されるアプリケーションを使った被験者は、座位作業の継続時間が大幅に減少し、軽い身体活動の時間が増加した。また、Morris らは職場での休憩を促進する SuperBreak を提案している [15]。SuperBreak は文書を読んだり、インタラクティブなゲームをプレイしたり、ビデオを視聴させたりすることで、仕事中の 8 分ごとに 25 秒程度の休憩をするように促すシステムである。SuperBreak は細かい休憩をさせるのに効果的であった。しかしこれらは作業の中断によってユーザの集中力や仕事の効率に影響を与える可能性がある。そこで本論文では、作業を行いながら体を動かすことで長時間の座位作業の中断と同様の健康に対する効果が得られると考え、作業を中断させずに歩行などの日常動作と等価な運動を座位作業中に行わせるシステムを提案する。

2.3 座位作業中の運動不足解消システム

座位作業時に運動不足を解消するアプローチとして、エアロバイク付きデスクやロッキングチェア、バランスボールがあげられる。椅子型のエアロバイクを漕いで座位作業中に運動不足を解消できる可能性がある。しかし、座位作業中に運動ができる環境にあっても運動をしない人がいるという問題がある。椅子型のエアロバイクは、作業と並行して意識してペダルをこぎ続けなければ、運動にはならない。また、エアロバイクは 1 種類の動作にしか対応しておらず、日常生活で不足した運動を補うことはできない。そこで本研究では、座位作業中に、日常生活で不足している運動と同等の動作をユーザの意識によらずに促すシステムを提案する。

ロッキングチェアやバランスボールは、椅子の代わりに使うことで座位作業中に下半身全体を運動させることができる。しかし、特定の動作を促すことはできないため不足分の運動を適応的に補うことは難しい。本研究では、不足している運動に合わせて促す動作を変えるために、複数の動作に対応可能なシステムを設計する。

2.4 身体動作による入力インタフェース

身体動作によってパソコンの入力を行う研究は数多く行われている。Verweij らはスマートウォッチに搭載されたモーションセンサを用いて、腕のジェスチャで入力を行うシステムを実装している [24]。また、Saponas らは腕に筋電センサを取り付け、指のジェスチャで入力を行うデバイスを構築している [25]。Yin らは足の下に配置した圧力センサパッドを用いて身体ジェスチャを認識するデバイスを制作している [26]。これらの研究はウェアラブルセンサのみでの入力や立位状態での動作認識を目的としている。本論文ではパソコン作業時の使用を想定しているため、座位状態での入力を行うシステムを提案する。また、本研究は身体動作を促すことを目的としているため、ユーザの作業を妨げない下肢動作を利用した入力が可能なシステムを提案する。

Dearman らはペダルとスイッチを用いた足で入力するデバイスを構築し、キーボードや音声入力と同時に使用することでテキスト入力やパソコン操作の速度や効率が高くなることを確認した [27]。Pakkanen らはトラックボールを足で操作し、ウィンドウのスクロールやフォルダの移動などの作業を行ったときの速度や精度について調査した [28]。高い精度を必要としないタスクにおいては適切な精度と実行時間で操作することができた。Fukahori らは靴下に装着した圧力センサを用いた足底ベースの入力システムを提案している [29]。このシステムはジェスチャを正確に認識し、ハンズフリーのインタフェースへの応用が考えられる。しかし、これらのシステムは入力の多様化を目的としており、さらに使用時に足が地面に接している必要が

ある。本研究の目的である運動不足の解消には、ユーザに身体的に負荷が大きくダイナミックな動作を行わせることが望ましい。本論文で提案するシステムでは、伸縮性があり反応速度の速いストレッチセンサを下肢に装着することで足が浮いた状態でも動作の認識を可能にし、多様な動作に対応させる。

石井らは、フットスイッチを用いた筋力トレーニングシステムを提案している [30]。評価実験より、パソコンゲームの操作にフットスイッチを用いることで、足趾屈曲力の強化に効果があった。しかし、このシステムは運動をゲームのキー入力に関連づけているが、パソコン作業中に運動を促すことはできない。また、この研究は高齢者の転倒防止のための筋力強化を目的としており、座位作業中の運動不足の解消や日常で不足している運動の補完はできていない。本研究では、歩行と同じ筋肉に負荷のかかる動作を調べ、その動作をパソコン作業中に促すことで、1日の運動量を管理、調整できるシステムを提案する。

3. 提案システム

3.1 システム要件

本研究では、長時間の座位作業による悪影響を減らすために、以下の3つを達成することを目指す。

- 1 座位作業の悪影響（座りすぎや運動不足）を解消するために、座位作業中に運動を促すこと。
- 2 運動そのもののために時間をとるのではなく、座位作業中に何か作業しながら運動を行わせることで、運動に取り組む敷居の高さを軽減すること。
- 3 日常の運動を記録し、運動が足りていなければ、不足している運動と同等の動作を座位作業中に行わせることで、偏りなく必要十分な運動をさせること。

提案システムを用いたアプリケーション使用時のイメージを図1に示す。ユーザはスマートフォンで日常の運動を記録し、運動が足りていないときや座位作業が長時間続くときにはシステムを用いて身体動作を行わせ、座位作業中に運動を促す。さらに、現代の日々の生活では運動をする時間が1日の中でまったくないわけではなく、空き時間に運動に取り組む敷居が高いため多くの人が運動不足になっている [31]。よって、提案システムでは運動に取り組む敷居の高さを軽減するために座位作業中に何か作業しながら運動を行わせる。加えて、1日で不足した分の運動

を適応的に補う。運動不足を解消するために、ユーザの活動量が足りていない筋肉を提案システムを用いて動かさせる。

システムを使うことで作業効率に多少影響があるとしても、運動不足はより重要な問題であると考え、本研究では運動不足の解消を優先する。よって、提案システムは、運動が不足しており、システムを使用することによってそれを補いたいと考えているユーザを対象とする。さらに、提案システムではユーザごとに適切な使用頻度になるように調整できる機能を備えるようにする。たとえば、座位作業を早く終わらせて余暇の時間を増やし、運動をしたいというユーザについては、長時間足を動かさないことによる健康への悪影響も大きいため、システムによる運動量が少なくなるように調整し、システムによって定期的に足を動かすことが好ましい。一方、余暇で運動する機会がないようなユーザは座位作業中のシステムによる運動量が多くなるように調整することが好ましい。このように、ユーザそれぞれに必要な運動を補えるようなシステムを設計する。

以上より、提案システムは下記の要件に基づいて設計する。

- ユーザが座位作業を続けられる。
- システムによって、ユーザに運動を促す。
- ユーザの運動量を調整できる。
- 負荷をかける筋肉を選べる。
- 提案システムを使用時の運動量を比較可能な指標で記録してフィードバックできる。

これらのシステム要件に基づき、ユーザの身体動作を促すシステムを設計する。提案システムではキー入力を身体動作に置き換えることで、パソコン作業を行いながら歩行と同等の負荷をユーザに与える。また、3つ目の目的のためには、携帯端末を用いて日常生活における身体活動を記録する補助システムが必要となる。以下のようにして、システム要件を満たす。

作業の継続、運動の促進、運動量の調整

3つの要件に基づき、提案システムではパソコンの主たる作業であるキー入力を座位状態で可能な身体動作に置き換えることで、座位作業中に運動を促す。具体的には、膝の曲げ伸ばしや足首の曲げ伸ばしなどの動作にEnterキーやSpaceキー、アルファベットキーを割り当てる。それらの動作を行うとメモ帳やブラウザなどの既存のアプリケーションに、割り当てたキーが1回入力されるシステムである。これらの動作を半強制的に行わせるために、元のキーボード上では割り当てたキーを無効化しておく。これにより、ユーザは身体動作によってのみ割り当てられたキーを入力することができ、自然に運動を促されることになる。また、システムでパソコンの入力を取得し、入力頻度に合わせてキーの割り当てを変更することで、ユーザの運動量を調整できる。



図1 アプリケーション使用時のイメージ

Fig. 1 Image of an application.



図 2 筋電位の計測箇所
Fig. 2 Measuring positions.



図 3 筋電位センサ
Fig. 3 Myoelectric sensors.

負荷をかける筋肉の選択

1日をどのように過ごすかによって、体の各部位の筋肉の活動量は異なる。本研究では、歩行時に使われる筋肉であるヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋に負荷をかけられるように身体動作を決定する。

運動量の記録

提案システムを使用する際、適切な指標に基づいて運動量を調整する必要がある。成人の日常生活において運動が不足しているかどうかの目安の1つに、歩数があげられる。健康であるために必要な歩数は、1日あたり約7,000歩から11,000歩といわれている [32], [33]。1日で歩いた歩数を提示することは、ユーザはその日に十分な運動をしているか確かめるのに適していると考えられる。提案システムでは、キー入力に用いる動作の回数を歩数に変換し記録する。

3.2 予備実験

本節では、前節で述べた要件を満たすために予備実験を行う。具体的には、座位状態でいくつかの身体動作を行ったときの筋電位を計測し、キー入力に用いる動作を調査する。また、キー入力に用いる動作を歩数に換算するために、歩数と対象動作の回数との筋活動量の関係を調査する。

3.2.1 キー入力に用いる動作の決定

キー入力に用いる動作を決定するために、予備実験を行った。被験者は歩行時に使われる筋肉であるヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋 (図 2) に DSP ワイヤレス筋電センサ (図 3 [34]) を装着し、座位状態で図 4 に示す動作を行った。被験者は、表 1 に示す 22 歳から 30 歳 (平均年齢 23.9 歳、標準偏差 2.59 歳) の男性 5 名、女性 2 名で、日常的にパソコンを用いた座位作業を行っている。身体的特徴の差によって筋電値の結果が異なる可能性を考え、体格差のある被験者を集めた。被験者の平均身長は 171.4 ± 7.63 cm、

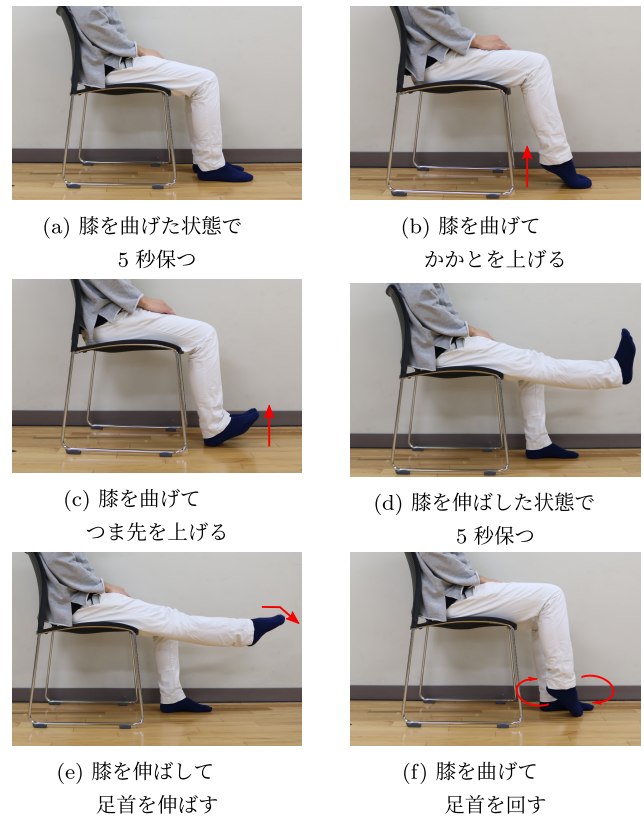


図 4 予備実験で行った動作

Fig. 4 Movements performed in the preliminary experiment.

表 1 被験者
Table 1 Participants.

被験者	性別	身長 [cm]	BMI
1	男	170.0	20.4
2	男	174.5	18.1
3	女	157.0	19.8
4	男	178.0	18.6
5	男	171.0	18.8
6	女	167.0	17.0
7	男	182.6	24.6

平均 BMI は 19.6 ± 2.27 であった。

表面筋電位の単純な計測値から動作ごとの負荷を求めることは難しいため、筋電値の解析には整流平滑化値 (ARV: Average of Rectified Value) を用いた。ARV は筋電位センサに備わっている演算機能により以下の処理を行った [34]。

- (1) 5-450 Hz バンドパスフィルタ
- (2) 全波整流
- (3) 100 ms の範囲で平均

被験者 1, 被験者 3, 被験者 7 の動作時の ARV を図 5 に示す。動作時の ARV は、性別や BMI といった身体的な特徴が異なる被験者間においても、結果に大きな差がなかった。動作 (a) および動作 (d) は足を一定の位置に保持する動作であり、図 5 からこれらでは計測した筋肉に大きな負

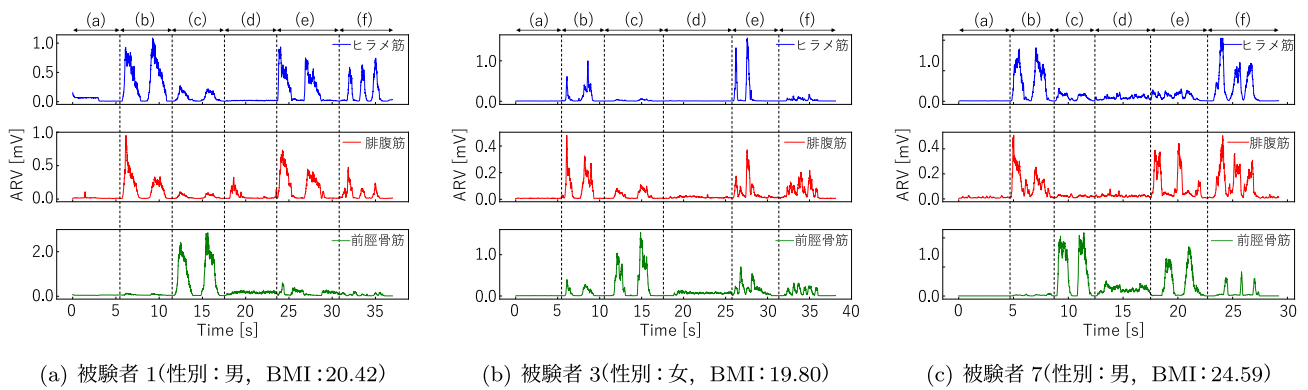


図 5 図 4 に示した動作時の ARV

Fig. 5 Average of rectified values during the body movements illustrated in Figure 4.

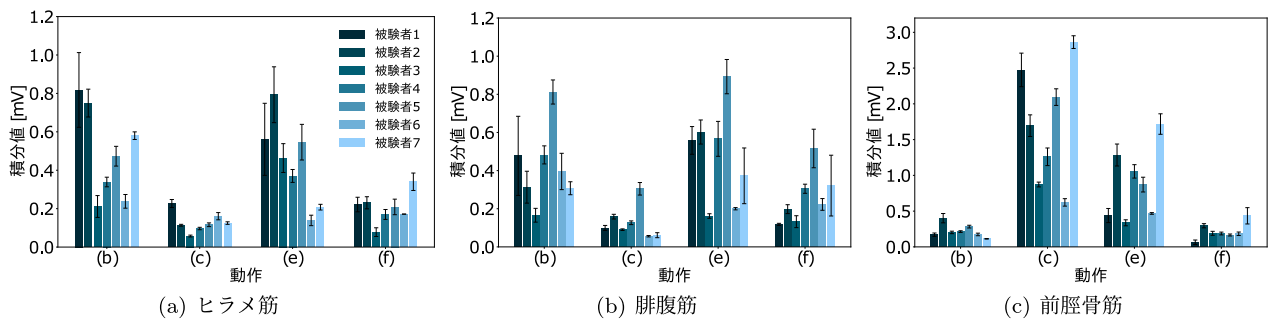


図 6 対象動作の積分値

Fig. 6 Integral values of myoelectric sensor values of the target motions.

荷がかからなかった。一方、他の 4 種類の動作は、動作時に ARV が大きくなっている。よって、(b), (c), (e), (f) の 4 種類の動作からキー入力に用いる動作を決定する。

どの動作が筋肉に負荷を与えたかを確かめるために、ARV を動作の時間で積分して動作の回数で割り、動作 1 回の積分値を求めた。結果を図 6 に示す。図 6 から、動作 (b) または動作 (e) によってヒラメ筋、動作 (b) または動作 (e) によって腓腹筋、動作 (c) によって前脛骨筋に大きく負荷がかかっていた。対象動作を決定する基準として以下が考えられる。

- 被験者間で一貫して同じ筋肉の活動量が大きくなっているもの
- 動作時に 1 つの筋肉のみ活動するもの
- 被験者間での違いが少ないもの

被験者間で一貫して同じ筋肉の活動量が大きくなっているものは、部位ごとで動かされる筋肉の量に偏りが出る可能性があるが、運動不足の解消に効果が高いと考えられる。一方、1 つの動作で 1 つの筋肉のみ活動するものがあれば、使われる筋肉のバランスがとりやすくなる。また、被験者間で筋肉の活動量の違いが少ない動作であれば、多くのユーザを対象としたときも正確に歩数を予測しやすくなる。本研究ではこれらのうち、被験者間で一貫して同じ筋肉の活動量が大きくなっているものを基準とし、以下の 3 つの動作に決定した。

- 膝を曲げた状態でかかとをあげる (b)。
- 膝を曲げた状態でつま先をあげる (c)。
- 膝を伸ばした状態で足首を伸ばす (e)。

実験結果より、活動的になる筋肉の部位は、座位状態で行う動作によって異なることが分かった。このことから、ある特定の動作のみを行っていても、動かされる部位は一部のみであり、歩行運動の代替とはいえない。よって、多様な動作に対応できる必要がある。そこで、提案システムでは複数の動作を認識できるようにして、各動作とキーの割当てを変えることで、ユーザが運動させたい部位を必要な分動かせるようにした。

3.2.2 歩数と対象動作の関係の調査

3.2.1 項で決定した対象動作を 1 回行ったときに、歩行何歩分の負荷が筋肉にかかっているのかを調べるため、予備実験を行った。予備実験と同じ被験者に、図 2 に示す箇所に筋電センサを装着させ、トレッドミル上を普段歩く速度で歩行させた。歩行動作は 10 歩分の試行を計 5 回行った。被験者 1 の歩行時の ARV を図 7 に示す。図 7 から分かるように、それぞれの筋肉に負荷がかかっていた。被験者それぞれの歩行時の ARV を 1 歩分の時間で積分し、試行 5 回で平均した結果を表 2 に示す。歩行時に筋肉にかかる負荷は個人によって異なっていた。体格や歩き方によって違いがあったと考えられる。ここで、対象動作と歩行時の ARV をそれぞれ ARV_{motion} , ARV_{walk} としたときの換

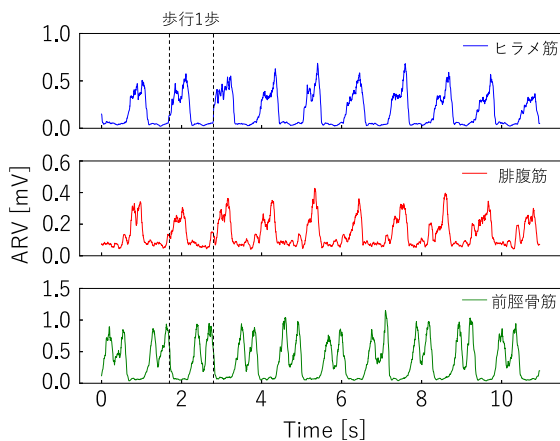


図 7 歩行時の ARV (被験者 1)

Fig. 7 Myoelectric sensor values during waking movements (Participant 1).

表 2 歩行時の筋電位の平均値 [mV]

Table 2 Average of integral values of myoelectric sensor values of a step in the walking movement.

被験者	ヒラメ筋	腓腹筋	前脛骨筋
1	0.37	0.30	0.74
2	0.48	0.22	0.37
3	0.57	0.19	0.22
4	0.37	0.15	0.42
5	0.34	0.17	0.28
6	0.19	0.12	0.20
7	0.33	0.51	0.64

表 3 被験者 1 の対象動作の換算歩数 [歩]

Table 3 calculated steps of the target movements (Participant 1).

動作	ヒラメ筋	腓腹筋	前脛骨筋
膝を曲げてかかとをあげる	2.17	1.53	0.23
膝を曲げてつま先をあげる	0.62	0.34	3.49
膝を伸ばして足首を伸ばす	1.84	2.22	0.63

算歩数 N_{step} を式 (1) のように定義した。本論文では、例として被験者 1 を対象に歩数と対象動作の関係を求める。表 2 と 3.2.1 項の結果から、被験者 1 の対象動作 1 回分の歩数は表 3 のようになった。

$$N_{\text{step}} = \frac{ARV_{\text{walk}}}{ARV_{\text{motion}}} \quad (1)$$

3.3 キーの割当て方法

提案システムを使用する際、身体動作に割り当てるキーの適切な選択は重要である。運動不足を効率的に解消するには、使用頻度の高いキーを選択する必要がある。提案システムによって、入力されたすべてのキーを取得しカウントすることで、どのキーが頻繁に使用されているかを知ることができる。そして、定期的に使用頻度の高いキーを行った回数が少ない動作へ割り当て直すことで、よりユー

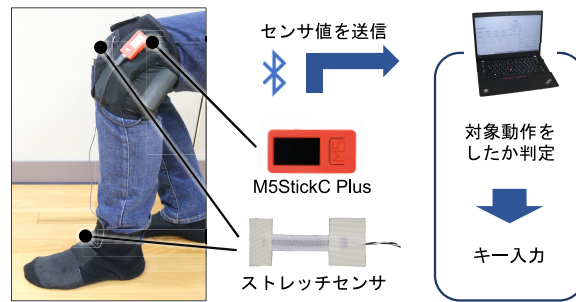


図 8 システム構成

Fig. 8 System configuration.

ザの運動を促すことができる。また、Delete キーは連続して使うことが多く、過剰に使いすぎる可能性のあるキーはユーザの作業効率に大きな影響を与えるため、割り当てるキーからは除外した。

3.4 システム構成

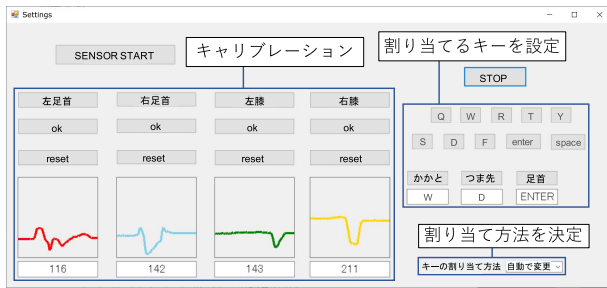
提案システムは、パソコン作業時のキー入力を座位状態で可能な身体動作に置き換え、ユーザに座位作業中の運動を促す。対象とする動作は 3.2.1 項で決定した動作とする。

システム要件と予備調査の結果を基にシステムを実装した。図 8 にシステム構成を示す。提案システム使用時、ユーザは膝と足首にストレッチセンサ (C-STRETCH [35]) を備えたサポータ (ZAMST EK-1 [36], ZAMST FA-1 [37]) を装着する。ストレッチセンサ値はマイコン (M5StickC Plus [38]) を通して Bluetooth でパソコンに送信される。パソコン上では、ストレッチセンサ値から身体動作を認識し、対象動作をしたときにアクティブなウィンドウ上でキーが入力される。入力するキーは、あらかじめ各対象動作に対して割り当てておき、元のキーボードではそのキーを無効化することで、対象動作をしたときのみ、そのキーを入力可能とする。キー割当ての変更と無効化には AutoHotkey [39] を用いた。

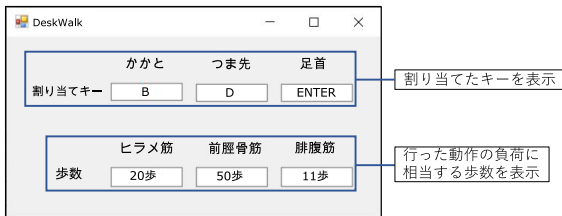
3.5 動作認識手法

提案システムでは、膝に取り付けたストレッチセンサで膝の曲げ伸ばし、足首に取り付けたストレッチセンサでかかととつま先の上げ下げを取得し、閾値判定により 3 つの対象動作を認識する。システムの操作画面を図 9 に示す。個人の体格差と装着位置のずれを考慮するため、ユーザは最初に図 9 (a) の動作設定画面上でキャリブレーションを行う。

閾値は、疲労による動作のばらつきを考慮して設定した。 S_1, S_2 はそれぞれ、膝に取り付けたストレッチセンサの膝を曲げているときの値、膝を伸ばしているときの値である。 S_3, S_4 はそれぞれ、足首に取り付けたストレッチセンサのかかとをあげたときの値、つま先をあげたときの値である。これらから、閾値 (th_1 – th_4) を以下のように定義した。



(a) 動作設定画面



(b) システム使用中のユーザへの情報提示画面

図 9 DeskWalk の操作画面
Fig. 9 Screen of DeskWalk.

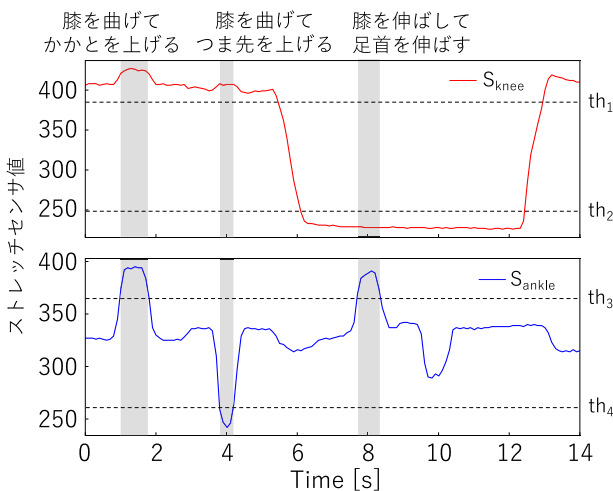


図 10 動作時のストレッチセンサ値

Fig. 10 Stretch sensor values performing the target movements.

$$th_1 = S_1 - 20 \quad (2)$$

$$th_2 = S_2 + 20 \quad (3)$$

$$th_3 = S_3 - 20 \quad (4)$$

$$th_4 = S_4 + 20 \quad (5)$$

図 10 に対象動作時のストレッチセンサ値を示す。図 10 において、 S_{knee} , S_{ankle} はそれぞれ膝、足首に取り付けたストレッチセンサ値である。提案システムは、以下の条件で対象動作を認識する。

$$\begin{aligned} & \text{if}(S_{knee} \geq th_1 \&\& S_{ankle} \geq th_3) \\ & \rightarrow \text{膝を曲げてかかとをあげる (b)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \text{if}(S_{knee} \geq th_1 \&\& S_{ankle} \leq th_4) \\ & \rightarrow \text{膝を曲げてつま先をあげる (c)} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \text{if}(S_{knee} \leq th_2 \&\& S_{ankle} \geq th_3) \\ & \rightarrow \text{膝を伸ばして足首を伸ばす (e)} \end{aligned} \quad (8)$$

3.6 使用時の流れ

キャリブレーション後、ユーザは割り当てるキーを設定する。START ボタンを押すと割り当てたキーが元のキーボード上では無効化され、身体動作での入力開始される。システム使用中は、システムによってどれだけ運動不足が解消できているかをユーザにフィードバックするために、3.2.2 項で算出した換算歩数を図 9 (b) のように提示している。

4. 評価実験

提案システムによる動作認識の精度と提案システムを使用した際の入力速度を調査するために評価実験を行った。提案システムを使用することで、作業効率に影響があることは考えられるが、できるだけ普通の作業を再現することが望ましい。作業効率に影響を与える要因として、システムによる動作の誤認識とシステムを使用することによる入力速度の低下が考えられる。普通の作業を再現するには、提案システムによって身体動作を高精度に認識し、キー入力を正確に行える必要がある。また、提案システムを使用することによって入力速度の低下が予想されるが、通常のパソコン作業において問題のない範囲であることが望ましい。よって、これらを評価実験で確かめる。また、ユーザの作業の種類によっては、作業効率に影響が大きいなど、提案システムが適さない可能性がある。そこで、実際に 2 名の被験者に 2 日間システムを使用させ、行った作業の種類や使用感についての感想を聴取した。

動作認識精度評価実験

提案システムの動作認識精度を確認するため、評価実験を行った。被験者は片足の足首と膝に提案デバイスを装着し、キャリブレーションを行った後、以下の 3 種類の動作を行った。

- (b) 膝を曲げた状態でかかとをあげる。
- (c) 膝を曲げた状態でつま先をあげる。
- (e) 膝を伸ばした状態で足首を伸ばす。

被験者は各動作をそれぞれ 50 回ずつ行った。なお、連続して動作を行うことによる疲労の影響を減らすため、10 回ごとに 1 分間の休憩を設けた。被験者は著者を含む 21 歳から 30 歳 (平均年齢 23.3 歳、標準偏差 2.45 歳) の男性 8 名、女性 2 名である。結果を表 4 に示す。提案システムは、どの動作においても F 値 0.98 と高精度に認識できていた。実験中、膝を伸ばした状態で足首を伸ばす動作を、膝を曲げた状態でかかとをあげる動作と誤認識することがあった。また、足首の可動域に個人差があり、つま先をあげる動作の認識率が低い被験者がいた。よって、足首可動

表 5 入力速度 (words per minute)
Table 5 Typing speed (words per minute).

被験者		システムなし		システムあり	
		入力速度 [wpm]	入力精度 [%]	入力速度 [wpm]	入力精度 [%]
1	練習前	30.6	88.8	21.0 (31.2%低下)	81.8 (7.8%低下)
	練習後	32.1	88.3	24.9 (22.4%低下)	82.7 (6.3%低下)
2	練習前	26.6	90.8	20.2 (23.8%低下)	85.4 (5.9%低下)
	練習後	27.8	89.3	21.4 (23.1%低下)	85.7 (4.1%低下)
3	練習前	31.9	84.9	20.0 (37.5%低下)	82.9 (2.3%低下)
	練習後	32.5	82.1	23.8 (26.8%低下)	84.7 (3.1%増加)
4(熟練者)		56.8	93.3	45.3 (20.3%低下)	89.4 (4.1%低下)

表 4 平均動作認識精度

Table 4 Average motion recognition accuracies.

動作	再現率	適合率	F 値
(b)	0.99	0.97	0.98
(c)	1.00	0.95	0.98
(e)	0.98	0.99	0.98

表 6 誤認識率

Table 6 False recognition rate.

	被験者 A	被験者 B
1 回目	5.1%	7.5%
2 回目	4.7%	4.6%
3 回目	6.0%	2.8%
4 回目	5.7%	10.6%
平均	5.4%	6.4%

域を考慮したキャリブレーション時の閾値の設定方法を検討する必要がある。

入力速度評価実験

本研究では、長時間の座位作業による運動不足を減らすことを目的とし、システムを設計した。そこで、提案システムを用いてキー入力した際の入力速度を調査した。システム使用経験のない22歳から30歳(平均年齢25.7歳、標準偏差3.09歳)の男性2名、女性1名にシステムを使用させ、入力速度および入力精度を計測した。被験者はシステムなしとシステムありで5回ずつ交互に計測を行った。さらに、システムにある程度慣れた状態での入力速度を確かめるために、2時間程度練習した後、再度同様の計測を行った。練習では、システムを用いて文章の書き写しをさせた。また、本実験の被験者はシステムの使用が初めてであったが、日常的にシステムを使用することでシステムに慣れ、入力速度が速くなる可能性がある。そこで、システムに習熟した1名の被験者の入力速度を調査した。提案システムを1週間以上使用し操作に慣れた状態で、システムなしとシステムありで5回ずつ交互に計測を行った。この計測において、割り当てるキーには、母音、子音、記号からそれぞれ1つずつを用いることとし、割当ては「かかとをあげる」動作に「a」のキー、「つま先をあげる」動作に「スペース」のキー、「膝を伸ばして足首を伸ばす」動作に「k」のキーとした。計測に用いた文章は、約100単語の英文とした。結果を表5に示す。

結果より、被験者3名すべてにおいて、2時間の練習後でシステム使用時の入力速度、入力精度ともに高くなった。また、どの被験者においても、システムを使用したときにはシステムなしのときより20%から30%速度が低下して

いた。被験者1の練習後において、入力速度の使用時の減少率は熟練者と2%ほどしか変わらなかった。これらから、ユーザはシステムに最初の数時間で慣れることができ、習熟したときと変わらない状態で使用できると考えられる。

入力速度の低下は、主にシステムによる誤入力や、動作を行っているのに入力されないといったセンサによる動作の誤認識が原因であった。また、動作が認識できなかったときに、ユーザがそのまま残りの文字を打ってしまい、誤入力をしてしまうことがあった。このような、動作の誤認識にともなう打ち間違いによって入力速度が低下したと考えられる。

システムによる動作の誤認識

入力速度の低下の主な要因がシステムの誤認識であったため、提案システム使用時の動作の誤認識率を確認する実験を行った。実験では2名の被験者にシステムを使用しながら100単語程度の英文を入力させた。被験者はそれぞれ4回ずつ入力を行った。入力中のセンサ値の変化から、ユーザが提案システムで割り当てたキーを入力しようとしているかどうかを著者が判断し、入力しようとしたときに入力できたかどうかを確認することで、誤認識率を算出した。

結果を表6に示す。どちらの被験者においても、誤認識率は約5%であった。動作認識精度評価実験での認識精度と比較すると、実際のタイピング内での計測であるため誤認識は高くなっているが、許容できる範囲内であると考えられる。また、被験者Bの結果は試行によって精度にばらつきがあった。これは装着具合などが認識精度に影響を与えたと考えられるため、装着時にシステムで行っている

キャリアレーションを改良することで解決できる可能性がある。

適している作業の種類や使用感

提案システムを使用することによる効果や悪影響を調べるために、2名の被験者に2日間システムを使用させ、行った作業の種類や使用感についての感想を聴取した。提案システムを使用している様子を図 11 に示す。被験者は図 11(a) のような論文原稿の執筆や、図 11(b) のような Web 会議などいくつかの環境でシステムを使用した。被験者に聞き取った使用感や満足度については以下のような意見が得られた。

- 普通のタイピングより運動不足は解消されたと感じた。
- 足がすごく疲れた。
- 短時間で足が結構疲れた。
- ミーティングのメモとりなど速さを求められる作業は難しかった。
- 椅子を回転させて横を向くなど関係ない動作をしたときに誤入力されていることがあった。
- 使用し始めて2日目には、入力はスムーズになったと思う。
- 慣れるとあまり難しくなかった。
- スペースキーに割り当てると使いやすかった。
- 自分のペースで進められる作業ならあまりストレスなく使えた。

提案システムを使用することによる効果については、まず被験者の意見から、システムを使用することで十分な運動不足解消効果があったと分かった。また、使用開始から2日目には使用に慣れて入力がスムーズになったことから、提案システムを導入する敷居は高くないことが示唆された。聴取した感想より、被験者はメールの作成や資料作りなど、作業によってはストレスを感じずに使えていた。さらに、短時間でも十分な運動不足解消効果があったことから、キーの割り当て方によっては運動量を十分に多くできることが分かった。システムで動作に割り当てるキーを変



(a) 原稿執筆 (b) Web 会議

図 11 提案システム使用時の様子

Fig. 11 When the participant uses the proposed system.

えることで、自由に座位作業中の運動量を調整することができるため、頻繁に使われるキーを割り当てれば座位作業のパフォーマンスへの影響は大きくなるが、短時間で多くの運動をすることになる。

悪影響については、ユーザが意図していない動作で入力されてしまうことや誤入力が起こることもあった。さらに、議事録をとるなどの速さを求められる作業には適していないことも分かった。このような作業では、誤入力や焦りによってユーザがストレスを感じる可能性がある。これらのように、速さを求められる議事録などではシステムの導入が難しく、メールの作成や資料作りなどの作業では導入できることが分かった。

5. アプリケーション

本章では、DeskWalk を用いた3つの応用例を紹介する。3つの応用例のうち、日常の健康管理のアプリケーションを実装し、2名のユーザに使用させて運動のデータを取得した。

日常の健康管理

DeskWalk を用いて日常の健康管理を行うアプリケーションを実装した。実装したスマートフォンアプリケーションの画面を図 12 に示す。このアプリケーションでは、歩行やランニングなどの運動の量を記録することができる Google Fit [40] から統計情報を取得している。アプリケーション起動時に Google Fit で記録された歩数を取得し、Google スプレッドシート上に記録する。提案システムによって換算した歩数はパソコン作業終了時に自動で Google スプレッドシート上に記録されており、過去1週間の歩数と換算歩数をアプリケーション画面から確認することができる。

実装したアプリケーションを2名の被験者に使用させ、歩数データを取得した。歩行の多い日と少ない日のシステム使用時の歩数をそれぞれ1日分記録した。記録した歩数

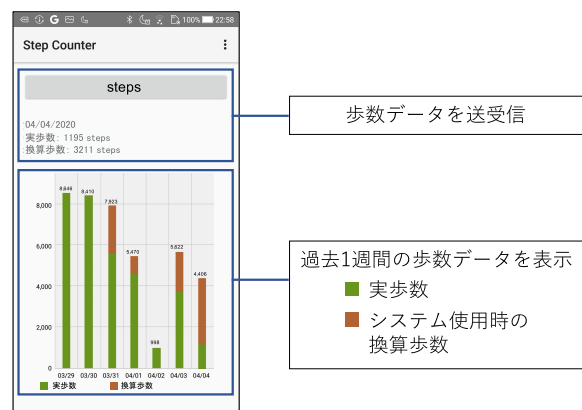


図 12 スマートフォンアプリケーション画面

Fig. 12 A smartphone application screen.

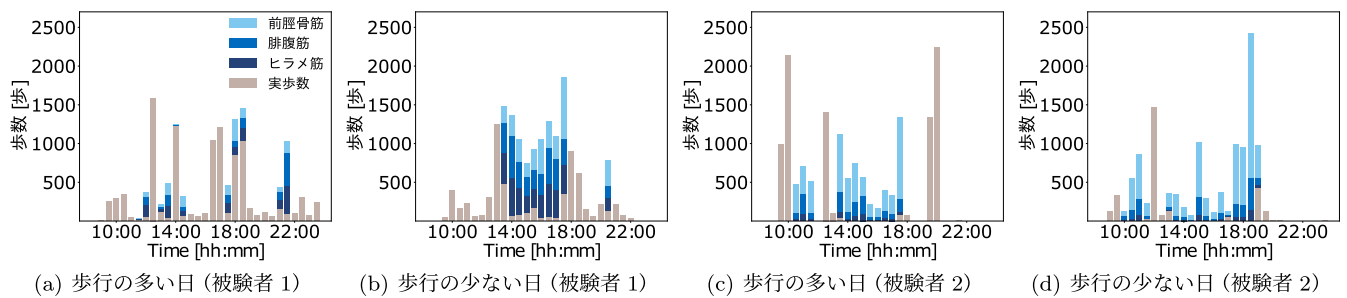


図 13 アプリケーションを使用した日の実歩数とシステムで運動した換算歩数
 Fig. 13 Actual steps and calculated steps in the day of using the application.

表 7 被験者 1 の歩数 [歩]

Table 7 Total steps of participant 1 [steps].

	実歩数	ヒラメ筋	腓腹筋	前脛骨筋
歩行の多い日	9,934	1,286	1,179	1,119
歩行の少ない日	6,287	3,321	3,396	3,413

表 8 被験者 2 の歩数 [歩]

Table 8 Total steps of participant 2 [steps].

	実歩数	ヒラメ筋	腓腹筋	前脛骨筋
歩行の多い日	8,396	562	1,604	4,856
歩行の少ない日	2,813	610	1,782	6,962

を図 13 に、被験者 1 および被験者 2 の実歩数と各筋肉の換算歩数をそれぞれ表 7、表 8 に示す。これらから、歩行の多い日には、座位作業時に定期的にシステムによる身体動作を行っていた。また、歩行の少ない日には、座位作業中にシステムで身体動作を行い、足りていない分の運動を補っていたことが分かる。

パソコン作業中の筋力トレーニング

パソコン作業中に筋肉に負荷のかかる身体動作を促すことができたことから、DeskWalkによってユーザは鍛えたい筋肉をパソコン作業中に鍛えさせることができると考えた。仕事をしながらクラブチームに所属している人など、高いパフォーマンスを維持する必要があるが毎日欠かさずにトレーニングをするのが難しい場合に、ユーザは DeskWalk を用いてパソコン作業中に鍛えたい筋肉に負荷のかかる動作を行うことができる。3章で述べたように DeskWalk は動作の回数も記録できるため、毎日のトレーニング管理にも役立つ。

定期的に必要な運動

DeskWalk は、定期的に行わなければならない運動など、自分で管理することが難しい動作にも適していると考えられる。例として、肩こりのように長時間肩を動かさないことで筋肉の血行が悪くなることを 1分に 1度動かさせることで予防することができる。このように DeskWalk は、意識的に続けるのが難しく、忘れてしまいがちなストレッチ

などを定期的に行わせることにも応用できる。

6. 議論

対象動作の決定

提案システムは、サポータの位置を変えることで全身での入力インタフェースに応用することができる。本研究では、運動の目安として歩行に着目したため、膝と足首に装着したストレッチセンサで認識できる動作を対象動作とした。加速度センサなど他のセンサを使用したり、体の他の部位にストレッチセンサを装着したりすることで、より運動不足の解消に適した動作を認識できる可能性がある。このように入力に用いる動作を多様化することで、より実用性の高いシステムの実装が期待できる。

歩数換算方法

歩数の換算方法について、本研究では筋肉に負荷をかけることに着目し、対象動作時と歩行時の足の筋電位から対象動作の回数を歩数に換算した。歩行が運動不足の解消に効果的な理由は、下肢の筋肉への負荷に加えて、全身の筋肉や心肺にも負荷がかかるからである。よって、これらを考慮した歩数換算を行う必要がある。提案システムは、センサの種類やセンサを装着する部位を変えることで多様な動作に拡張できる。心肺に負荷がかかる動作や全身の筋肉を動かす動作へ拡張することで、提案システム使用による身体への負荷をより歩行時の負荷に近づけられる可能性がある。具体的には、深呼吸でキー入力を行って心肺に負荷をかけたり、腕の動きでキー入力を行って上半身の筋肉に負荷をかけたりすることが考えられる。

その他の動作の阻害

提案システム使用中、座位姿勢の変更や足を組むなど想定していない動作で誤認識が起こる可能性がある。また、それらを防ぐために、ユーザが足を動かさないように意識してしまうことも考えられる。そこで、無意識に足を動かしたときに誤ってキーを入力してしまわないように、キーボード操作を行っていないときはシステムによる入力を中止するなどの対策を行う必要がある。

入力速度

評価実験で提案システムを使用することによる作業効率への影響を調査したが、入力インタフェースにはそれぞれ目的があり、目的によって許容できる入力速度や精度が異なる。片山らは携帯性や装着性を高めるために片手キーボードによる入力デバイスを提案している [41]。5日間デバイスを使用した5名の被験者は通常のタイピングの49.9%である平均15.8[wpm]で入力できた。ScottらはタブレットやモバイルPCにおいて、画面を遮らないように、背面にキーボードを配置した入力システムを提案している [42]。1時間練習した12名の被験者は通常のタイピング速度の20.9%である平均15.1[wpm]で入力できた。本研究では、座位作業中に身体動作をさせることを目的としている。2時間練習した3名の被験者は通常のタイピングの75.9%である平均23.4[wpm]で入力できた。関連研究と単純な比較は難しいが、提案システムの入力速度は遜色なく、本研究では作業効率より運動不足解消を優先するユーザを対象としているため、この結果は通常のパソコン作業において問題のない速度であると考えた。

入力速度評価実験時には、1つの動作に1度に1文字または1種類の記号のキーを割り当てた。システムでは複数のキーの組合せなども可能になるため、コピーやペーストなど、タイピングとは別の作業を割り当てることもできる。また、よく使う単語を1回の動作で入力するように設定すれば、作業を減らすこともできると考えられる。このように、システム使用時には、個人や作業内容に合わせて最適なキーの割り当て方を考えることで、入力速度や使用感を向上できる可能性がある。

継続的な利用

既存のシステムでも課題となっている長期的な使用の評価は、本論文の中では行っていない。運動の継続や習慣化ができない理由としては、時間に余裕がないことや時間が確保されたとしても、その人の要求に合う環境が必要という意見があった [31]。また、仕事が忙しいなど、生産活動時間に生活時間が奪われて物理的に難しいという意見もあった。提案システムでは、運動に取り組む敷居を低減させ、座位作業中に運動を行わせることができるため、物理的に難しい人にも継続、習慣化させられると考えられる。また、Wii Fit [43] やリングフィットアドベンチャー [44] などの市販の製品でも他の作業をしながら運動をする「ながらモード」を備えており、作業中に軽い運動を行うことが推奨されている。これらのように、運動そのもののために時間をとるのではなく、何か作業をしながら運動をすることで、継続性や習慣化を促せると考えられる。提案システムは、運動不足の原因となる日々の座位作業中に運動不足を解消できる点と、運動そのもののために時間をとるのではなく、何か作業をしながら運動ができる点で、継続や習慣

化を促す設計になっている。

7. まとめ

本論文では、パソコン作業時のキー入力を身体動作に置き換えることで運動不足を解消するシステム DeskWalk を提案した。筋電位センサを用いた予備実験によって歩行時に使用する筋肉であるヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋に負荷のかけることのできる動作を調べた。また、歩行時の筋電位を計測することで、キー入力に用いる動作が何歩分の歩行動作に相当するかを調査した。これらの実験結果を基に、膝と足首のサポータに取り付けたストレッチセンサ値の変化で身体動作を認識し、対象動作を行ったときのみあらかじめ割り当てたキーを入力するシステムである DeskWalk を実装した。評価実験の結果、動作認識率は平均 F 値 0.98 であり、実装したシステムによって高精度に身体動作を認識できていた。また、システム使用したときにはシステムを使用しないときより 20% から 30% 入力速度が低下した。これは、通常のパソコン作業において問題のない速度であると考えられる。作業を中断しないことで、ユーザが集中を維持することができるかは評価できていないので、今後検証する必要がある。

DeskWalk の応用例を 3 つ提案し、そのうちの 1 つである、日常生活での歩数と提案システムによる運動量を記録し日常の健康管理を行うアプリケーションを実装した。また、2名のユーザに実装したアプリケーションを使用させ、歩数データを取得した。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST (JPMJCR16E1)、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の支援によるものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] Matthews, C.E., Chen, K.Y., Freedson, P.S., Buchowski, M.S., Beech, B.M., Pate, R.R. and Troiano, R.P.: Amount of Time Spent in Sedentary Behaviors in the United States, 2003–2004, *American Journal of Epidemiology*, Vol.167, No.7, pp.875–881 (Apr. 2008).
- [2] Dunstan, D.W., Howard, B., Healy, G.N. and Owen, N.: Too Much Sitting—A Health Hazard, *Diabetes Research and Clinical Practice*, Vol.97, No.9, pp.368–376 (Sep. 2012).
- [3] McCrady, S.K. and Levine, J.A.: Sedentariness at Work: How Much Do We Really Sit?, *Obesity*, Vol.17, No.11, pp.2103–2105 (Nov. 2009).
- [4] Katzmarzyk, P.T.: Physical Activity, Sedentary Behavior, and Health: Paradigm Paralysis or Paradigm Shift?, *Diabetes*, Vol.59, No.11, pp.2717–2725 (Nov. 2010).
- [5] Ford, E.S., Kohl III, H.W., Mokdad, A.H. and Ajani, U.A.: Sedentary Behavior, Physical Activity, and the Metabolic Syndrome among US Adults, *Obesity Research*, Vol.13, No.3, pp.608–614 (Mar. 2005).
- [6] West, J., Perrin, K., Aldington, S., Weatherall, M. and Beasley, R.: A Case–Control Study of Seated Immobility

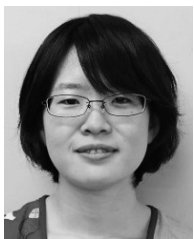
- at Work as a Risk Factor for Venous Thromboembolism, *Journal of the Royal Society of Medicine*, Vol.101, No.5, pp.237–243 (May 2008).
- [7] Healy, B., Levin, E., Perrin, K., Weatherall, M. and Beasley, R.: Prolonged Work-and Computer-Related Seated Immobility and Risk of Venous Thromboembolism, *Journal of the Royal Society of Medicine*, Vol.103, No.11, pp.447–454 (Oct. 2010).
- [8] World Health Organization: Global Recommendations on Physical Activity for Health (2010).
- [9] Thosar, S.S., Bielko, S.L., Mather, K.J., Johnston, J.D. and Wallace, J.P.: Effect of Prolonged Sitting and Breaks in Sitting Time on Endothelial Function, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol.47, No.4, pp.843–849 (Apr. 2015).
- [10] Morishima, T., Restaino, R.M., Walsh, L.K., Kanaley, J.A., Fadel, P.J. and Padilla, J.: Prolonged Sitting-Induced Leg Endothelial Dysfunction is Prevented by Fidgeting, *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, Vol.311, No.1, pp.177–182 (July 2016).
- [11] Mateevitsi, V., Reda, K., Leigh, J. and Johnson, A.: The Health Bar: A Persuasive Ambient Display to Improve the Office Worker’s Well Being, *Proc. 5th Augmented Human International Conference (AH 2014)*, No.21, pp.1–2 (Mar. 2014).
- [12] Wang, Y. and Reiterer, H.: The Point-of-Choice Prompt or the Always-On Progress Bar?: A Pilot Study of Reminders for Prolonged Sedentary Behavior Change, *Proc. 2019 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2019)*, pp.1–6 (May 2019).
- [13] Grundgeiger, T., Pichen, J., Häfner, J., Wallmann-Sperlich, B., Löffler, D. and Huber, S.: Combating Sedentary Behavior: An App Based on a Distributed Prospective Memory Approach, *Proc. 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2017)*, pp.1632–1639 (May 2017).
- [14] Bond, D.S., Thomas, J.G., Raynor, H.A., Moon, J., Sieling, J., Trautvetter, J., Leblond, T. and Wing, R.R.: B-MOBILE-A Smartphone-Based Intervention to Reduce Sedentary Time in Overweight/Obese Individuals: Within-Subjects Experimental Trial, *PLoS One*, Vol.9, No.6, pp.1–8 (June 2014).
- [15] Morris, D., Brush, A.J. and Meyers, B.R.: Super-Break: Using Interactivity to Enhance Ergonomic Typing Breaks, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, pp.1817–1826 (Apr. 2008).
- [16] Apple: Apple Watch, available from (<https://www.apple.com/watch/close-your-rings/>).
- [17] Bailey, B.P., Konstan, J.A. and Carlis, J.V.: The Effects of Interruptions on Task Performance, Annoyance, and Anxiety in the User Interface, *Interact*, Vol.1, pp.593–601 (July 2001).
- [18] Sonnentag, S., Reinecke, L., Mata, J. and Vorderer, P.: Feeling Interrupted—Being Responsive: How Online Messages Relate to Affect at Work, *Journal of Organizational Behavior*, Vol.39, No.3, pp.369–383 (Mar. 2018).
- [19] Mansi, G. and Levy, Y.: Do Instant Messaging Interruptions Help or Hinder Knowledge Workers’ Task Performance?, *International Journal of Information Management*, Vol.33, No.3, pp.591–596 (June 2013).
- [20] Duysens, J., Tax, A.A.M., Doelen, B., Trippel, M. and Dietz, V.: Selective Activation of Human Soleus or Gastrocnemius in Reflex Responses during Walking and Running, *Experimental Brain Research*, Vol.87, No.1, pp.193–204 (Oct. 1991).
- [21] Peddie, M.C., Bone, J.L., Rehner, N.J., Skeaff, C.M., Gray, A.R. and Perry, T.L.: Breaking Prolonged Sitting Reduces Postprandial Glycemia in Healthy, Normal-Weight Adults: A Randomized Crossover Trial, *The American Journal of Clinical Nutrition*, Vol.9, No.2, pp.358–366 (Aug. 2013).
- [22] Peddie, M.C., Kessell, C., Bergen, T., Gibbons, T.D., Campbell, H.A., Cotter, J.D., Rehner, N.J. and Thomas, K.N.: The Effects of Prolonged Sitting, Prolonged Standing, and Activity Breaks on Vascular Function, and Postprandial Glucose and Insulin Responses: A Randomised Crossover Trial, *Plos One*, Vol.16, No.1, pp.1–9 (Jan. 2021).
- [23] Swartz, A.M., Squires, L. and Strath, S.J.: Energy Expenditure of Interruptions to Sedentary Behavior, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol.8, No.1, pp.1–7 (June 2011).
- [24] Verweij, D., Esteves, A., Khan, V.J. and Bakker, S.: WaveTrace: Motion Matching Input Using Wrist-Worn Motion Sensors, *Proc. 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2017)*, pp.2180–2186 (May 2017).
- [25] Saponas, T.S., Tan, D.S., Morris, D., Balakrishnan, R., Turner, J. and Landay, J.A.: Enabling Always-Available Input with Muscle-Computer Interfaces, *Proc. 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2009)*, pp.167–176 (Oct. 2009).
- [26] Yin, K. and Pai, D.K.: FootSee: An Interactive Animation System, *Proc. 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp.329–338 (July 2003).
- [27] Dearman, D., Karlson, A., Meyers, B. and Bederson, B.: Multi-Modal Text Entry and Selection on a Mobile Device, *Proc. Graphics Interface 2010*, pp.19–26 (May 2010).
- [28] Pakkanen, T. and Raisamo, R.: Appropriateness of Foot Interaction for Non-Accurate Spatial Tasks, *Proc. 2004 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2004)*, pp.1123–1126 (Apr. 2004).
- [29] Fukahori, K., Sakamoto, D. and Igarashi, T.: Exploring Subtle Foot Plantar-Based Gestures with Sock-Placed Pressure Sensors, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2015)*, pp.3019–3028 (Apr. 2015).
- [30] 石井竹夫, 柴崎恵里花, 堀内邦雄, 齋藤充生, 頭島 武, 前川有一朗, 林 譲: フットスイッチで操作する高齢者向け PC ゲームを用いた足趾屈曲力の強化訓練方法の基礎的研究, *人間工学*, Vol.48, No.5, pp.274–277 (2012).
- [31] 小原史朗, 松下智之: 運動・スポーツの習慣化・継続化に関する調査研究, *愛知工業大学研究報告*, Vol.50, pp.58–70 (Mar. 2015).
- [32] Tudor-Locke, C., Craig, C.L., Brown, W.J., Clesmes, S.A., De Cocker, K., Giles-Corti, B., Hatano, Y., Inoue, S., Matsudo, S.M. and Mutrie, N.: How Many Steps/Day are Enough? For Adults, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol.8, No.1, pp.1–17 (July 2011).
- [33] Clemente, F.M., Nikolaidis, P.T., Martins, F.M.L. and Mendes, R.S.: Physical Activity Patterns in University Students: Do They Follow the Public Health Guidelines?, *PLoS One*, Vol.11, No.3, pp.1–11 (Mar. 2016).

- [34] Sports Sensing: DSP wireless myoelectric sensor, available from https://www.sports-sensing.com/products/sensor/dspvital/dspemg_ds.html.
- [35] Bando Chemical Industries: C-STRETCH, available from <https://www.bandogrp.com/c-stretch/index.html>.
- [36] NIPPON SIGMAX: ZAMST EK-1, available from <https://www.zamst-online.jp/SHOP/3718.html>.
- [37] NIPPON SIGMAX: ZAMST FA-1, available from <https://www.zamst-online.jp/SHOP/3701.html>.
- [38] M5stack: M5StickC Plus, available from <https://m5stack.com/collections/m5-core/products/m5stickc-plus-esp32-pico-mini-iot-development-kit?variant=35275856609444>.
- [39] AutoHotkey, available from <http://www.autohotkey.com>.
- [40] Google LLC: Google Fit, available from <https://www.google.com/intl/ja-jp/fit/>.
- [41] 片山拓也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 片手用キーボードによる打鍵間隔を活用した文字入力手法, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1667-1676 (Apr. 2013).
- [42] Scott, J., Izadi, S., Rezai, L.S., Ruszkowski, D., Bi, X. and Balakrishnan, R.: RearType: Text entry using keys on the back of a device, *Proc. 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI2010)*, pp.171-180 (Sep. 2010).
- [43] Nintendo Co., Ltd.: Wii Fit, available from <https://www.nintendo.co.jp/wii/rfnj/index.html>.
- [44] Nintendo Co., Ltd.: リングフィットアドベンチャー, 入手先 <https://www.nintendo.co.jp/ring/anyone/index.html>.



清水 裕介

2020年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。同年より同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程前期課程, 現在に至る。



大西 結美 (正会員)

2014年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2016年東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻修士課程修了。2019年神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程後期課程修了。同年より神戸大学大学院

工学研究科特命助教, 2020年より同助教。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1974年生。1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年

より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授, 2018年より同教授, 現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事。博士(工学)。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1964年生。1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996年同専攻助教授。2002年

同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学大学院工学研究科教授, 現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等8学会の会員。