

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 大西鮎美¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹

概要: パソコン作業などの長時間の座位作業は健康に悪影響を及ぼす。悪影響は座位作業中に歩行や立ち上がり動作などの日常動作を行うことによって緩和できるが、作業の中断をとらなう。そこで、本研究ではユーザにパソコン作業を中断させず、作業時に可能な身体動作を行わせることで運動不足を解消するシステムを提案する。提案システムでは、ストレッチセンサを用いて身体動作を認識し、あらかじめ割り当てておいたキーの入力を行う。評価実験より、提案システムによる対象動作の認識精度は平均 F 値 0.99 となり、高精度にキー入力の置き換えができることを確かめた。また、提案システムを用いて日常の健康管理やトレーニングを管理するアプリケーションなどに応用できる可能性があることを示した。

1. はじめに

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。座位作業は1日あたり約8時間で、活動している時間の内の約55%を占めている[1]。さらに、16歳から19歳の青少年や65歳以上の高齢者は座位作業が占める時間が特に多く、60%を超えている。成人の日常生活における1日の活動量のうち、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の実施時間は5%ほどしかない。

座位作業が1日の長時間を占める一方で、日本人の1日あたりの歩数は減少する傾向にあり、歩数の減少は健康への悪影響の原因となる可能性が高い。厚生労働省による日常生活における1日あたりの歩数の目標値は男性が9200歩、女性が8300歩であるが[2]、日本人の1日あたりの歩数の平均は男性が6846歩、女性が5867歩と目標値を大きく下回っている[3]。さらに1日あたりの歩数の平均は年々減少しており、過去10年間で男女ともに約500歩減少している。加えて現在COVID-19の影響で、家に引きこもることが余儀なくされ、テレワークが推進されることで今後も運動不足の人が増えると考えられる。

長時間の座位作業は、肥満や糖尿病など多くの慢性疾患や健康状態の悪化に繋がる。一般にパソコン作業は就業時間の大部分を占めることが多く、中断のない座位作業が長時間続いてしまうことになる。また、パソコンを用いた作業は学生など若い世代でも一般的になってきており、健康に有害な影響を与える大きな要因となっている。就業日と

休日の座位作業の時間に関する研究では、座位作業が多い仕事をしている人の身体活動において、就業日に座位姿勢でいる時間は休日に比べ平均で110分多いという結果が得られている[4]。さらにデスクワークは身体活動やそれにとらなう健康被害へ大きな影響を与えることも示唆されている。座位での活動が長いことは多くの慢性疾患や健康状態の悪化、早期死亡のリスクと関連しており、これらの病気には肥満、糖尿病、高血圧、脳卒中や心血管疾患が含まれる[5], [6]。

Dunstan らによると、歩行や立ち上がり動作などの日常動作を行って、座位作業を中断することは健康への悪影響を減らすことができる[7]。長時間の座位作業による健康への悪影響を防ぐために身体活動を促す研究は数多く行われている。座位作業中に足を動かすなどの身体動作を行うことで、これらと同等の効果をえられるのではないかと考える。座位作業の合間に歩行などを行うには作業を中断させる必要があるため、座位作業中に自然に日常動作と同程度の負荷の運動をすることが望ましい。Duysens らや沢井らによると、歩行や走行、階段の上り下りなど日常生活で行う運動によって、最も活動的になる筋肉は異なる[8], [9]。そのため、その日の過ごし方によって、一部の筋肉は活動的であったが他の筋肉は使われなかったなど運動の量に偏りができてしまう。

そこで本研究では、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ことを目指す。本論文ではユーザにパソコン作業を中断させず、作業時に可能な身体動作を行わせて運動が不足している筋肉に負荷を

¹ 神戸大学大学院工学研究科

かけることで運動不足を解消するシステムを提案する。提案システムは、キー入力を適切な身体動作に置き換えることでパソコン作業に身体動作を組み込み、運動不足解消を促すことを試みる。

2. 関連研究

本章では、長時間の座位作業による健康への有害な影響を防ぐための先行研究、および下肢動作による入力についての研究を紹介する。

2.1 座位作業を中断することによる健康への影響

歩行などの軽い運動で座位作業を中断することによる健康への影響についての研究が行われている。Dunstan らや Peddie らによると、座位作業を中断して歩行や立ち上がり動作などの軽い運動を行うことで、糖尿病や肥満などのリスクを減らすことができることが分かっている [7], [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の変化を調査した [11]。この研究では、30 分間座位作業を続けたとき、14 分間の座位作業の後 1 分間歩行し、その後 15 分間座位作業をしたとき、13 分間の座位作業の後 2 分間歩行し、その後 15 分間座位作業をしたとき、13 分間の座位作業の後 5 分歩行し、その後 12 分間座位作業をしたときの 4 種類の試行における酸素消費量と二酸化炭素の生成量を計測し、それらから各試行のエネルギー消費を推定した。座位作業を中断し歩行したときは、中断しないときと比較してエネルギー消費が大幅に増加した。8 時間の座位作業中に 1 時間に 1 回、2 分または 5 分程度の歩行をしたときのエネルギー消費の変化は、体重の維持に重要な影響を与える可能性が高かった。よって、座位作業を身体動作によって中断することは健康に対して十分な効果があるといえる。これらの研究では、座位作業を中断したときに歩行や立ち上がり動作などの運動をすることで健康への悪影響を低減させている。このような運動と同等の負荷のかかる身体動作を座位状態で行うことで、同じように健康への悪影響を低減させることができると考え、本研究では座位作業中に身体動作を促すことを目指す。

2.2 長時間の座位作業の中断を促す研究

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なかでも、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。Matevitsi 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 [12]。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、座位作業の時間を 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変化させてユーザへフィードバックする。評価実験の結果から、HealthBar は作業の邪魔になら

ず、ユーザの座位作業の時間を減らすことができていた。しかし、机上に 3 フィートのデバイスを設置する場所が必要となる。Wang らは座位での仕事の大部分を占めるのがパソコン作業であることから、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 [13]。長時間座位作業が続いたときに通知をして休憩を促す方法と比較して、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、調査の参加者は SedentaryBar を好む人が多かった。しかし、参加者の勤務時間中のログデータによると、座位作業を減らすには通知を送って休憩を促す手法が効果的であった。この結果からユーザは長時間座位作業が続いていることを認識していながら、休憩を開始していなかった。そこで本研究では、ユーザが座位作業の持続時間を把握しているかどうかに関係なくユーザの身体活動を促すシステムを提案する。

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 [14]。30 分からカウントダウンし、ユーザが身体活動の強さ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 分を越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の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 [15]。座位作業の時間が表示され、長時間続くと休憩を促されるアプリ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 [16]。SuperBreak はドキュメントを簡単に読んだり、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、工作中的の 8 分ごとに 25 秒の休憩をするよう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をとまなう。作業を中断させず座位状態で身体動作をすることで、長時間の座位作業を中断することと同じ効果を得られると考えられる。そこで本研究では、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 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 らや Saponas らは既製の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製作している [17]。また、Saponas らは腕に筋電位センサを装着し、指のジェスチャによって入力を行うデバイスを構築している [18]。Yin らは足下に敷い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製作している [19]。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運動促進を目的としている。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、身体動作を促すことを目的としているため、提案するシステムはパソコン作業では通常使うことのない下肢動作によって入力を行う。

Dearman らはペダルを用いて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 [20]。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ている [21]。高い精度を求められることの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。しかし、これらのデバイスは入力の多様化が目的であり運動不足の解消を目指したものではなく、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。大きく足を動かすためには足を浮かせた状態での動作も認識できる必要がある。よって、本論文で提案するシステムでは、足に取り付けることで足を浮かせた状態でも動作を認識可能で、反応速度の速いストレッチセンサを用いることで、システムを多様な動作に対応させる。

3. 提案システム

3.1 想定環境

長時間の座位作業を歩行や立ち上がり動作などの日常動作で中断することで、健康への悪影響を低減することができる。座位状態で足を動かすなど身体に負荷のかかる動作をすることで同等の効果が得られると考え、提案システムでは座位作業を中断させずに身体動作を行わせることで運動不足を解消させる。

提案システムの使用イメージを図 1 に示す。加速度センサを搭載したスマートフォンによってライフログをとり、運動が足りていなければその日のパソコン作業中に補う。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ひとつに、歩数があげられる。健康の指標として 1 日に必要な歩数は 8000~9000 歩といわれているが、日常生活では足りないことが多い [2]。

そこで提案システムでは、パソコンの主たる作業方法であるキー入力を座位作業時に可能な身体動作に置き換えることで、座位作業中に歩数の不足を補う。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 キーを割り当て、それらの動作を行うとメモ帳などの既存のアプリケーションに割り当てたキーが 1 回入力されるようなシステムである。

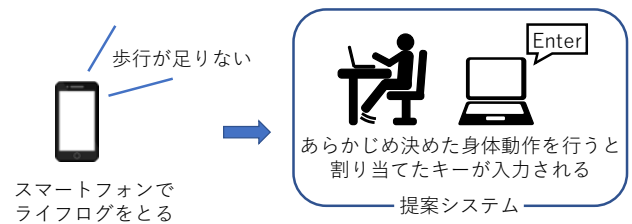


図 1: 提案システムの使用イメージ



図 2: 筋電位の計測箇所



図 3: 筋電位センサ

割り当てたキーは元のキーボード上では無効化されているため、キーの入力に応じて自然にユーザに運動を促す。置き換える身体動作は歩行や走行などの日常動作に使われる筋肉であるヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋へパソコン作業中に負荷がかけられるよう決定する。また、本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へフィードバックすることでユーザの健康へのモチベーションを向上させることができる。本システムでは、行った動作による身体への負荷が何歩分の歩行動作に相当するかを提示することでユーザへフィードバックする。そのために置き換え動作を何回行くと歩数 1 歩分になるかを調べる必要がある。よって予備実験を行い、置き換え動作の決定、置き換え動作の回数と歩数の関係の調査を行う。

3.2 予備実験

3.2.1 置き換え動作の決定

置き換え動作を決定するために予備実験を行った。被験者はヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋の筋電位の計測を行うために図 2 に示す箇所に株式会社スポーツセンシングの筋電位センサ (図 3) (DSP ワイヤレス筋電センサ (乾式) [22]) を装着し、座位状態で図 4 に示す動作を行った。被験者は 20 代男性 1 名である。

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

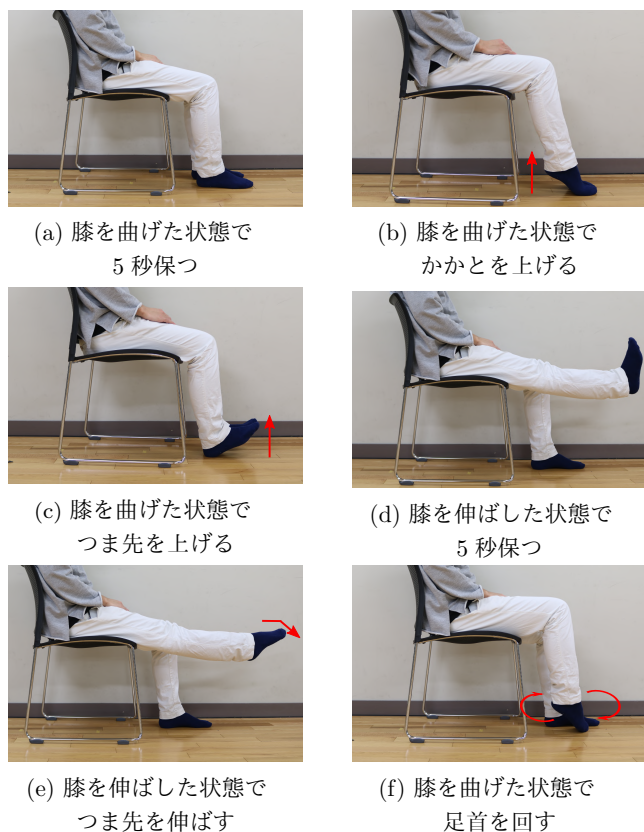


図 4: 予備実験で行った動作

のは難しいため、筋電値の解析には整流平滑化値 (ARV: Average of Rectified Value) を動作の時間で積分した値を用いた。整流平滑化値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 [22]。

- (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

筋電位の計測結果を整流平滑化した結果を図 5 に示す。(a) や (d) のような足のある状態で保つ動作ではこれらの部位に負荷はかかっていなかった。よって、(a) と (d) を除く 4 つの動作から置き換え動作を決定する。整流平滑値から動作 1 回分の積分値を求めた結果を表 1 に示す。それぞれの筋肉における積分値が最も大きい動作が置き換え動作にふさわしいと考え、ヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋それぞれの置き換え動作は以下の 3 つの動作に設定した。

- 膝を曲げた状態でかかとを上げる
- 膝を伸ばした状態で足首を伸ばす
- 膝を曲げた状態でつま先を上げる

3.2.2 置き換え動作の回数と歩数の関係の調査

3.2.1 節で決定した置き換え動作を 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に予備実験を行った。被験者は図 2 に示す箇所に筋電位センサを装着し、歩行動作を行った。歩行動作は 10 歩分であり、休憩を挟んで 4 回繰り返した。被験者は 20 代男性 1

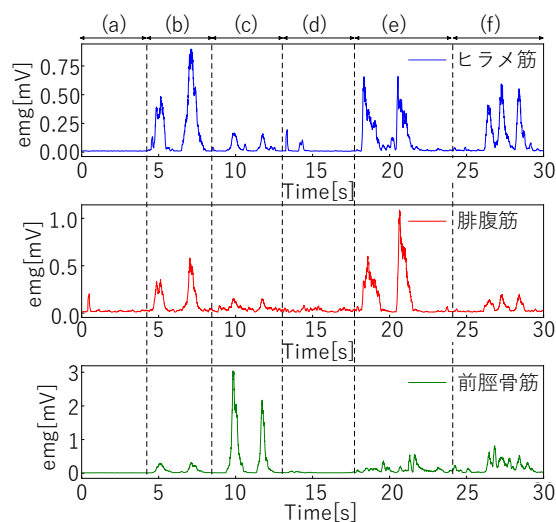


図 5: 動作時の筋電位

表 1: 動作時の筋電位の積分値

動作	ヒラメ筋	腓腹筋	前脛骨筋
膝を曲げてかかとを上げる	0.405	0.256	0.187
膝を曲げてつま先を上げる	0.084	0.113	0.902
膝を伸ばして足首を伸ばす	0.360	0.490	0.332
膝を曲げて足首を回す	0.205	0.093	0.327

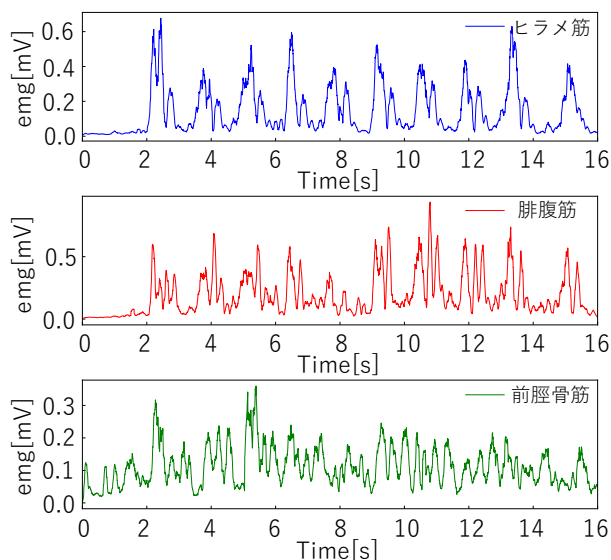


図 6: 歩行時の筋電位

名である。筋電位の計測値を整流平滑化した結果を図 6 に示す。歩行 1 歩分の負荷を算出するために積分値を求めた結果を表 2 に示す。歩行時の筋肉の活動量は腓腹筋が最も多く、前脛骨筋が最も少なかった。試行 4 回分の平均値と 3.2.1 節の予備実験の結果から置き換え動作 1 回の負荷は表 3 に示した結果となった。

表 2: 歩行 1 歩の筋電位の積分値

歩行動作	ヒラメ筋	腓腹筋	前脛骨筋
1 回目	0.233	0.311	0.179
2 回目	0.246	0.205	0.172
3 回目	0.169	0.202	0.158
4 回目	0.149	0.176	0.132
平均値	0.199	0.224	0.160

表 3: 置き換え動作と歩数の関係

置き換え動作	歩数
膝を曲げた状態でかかとを上げる	2.04
膝を伸ばした状態で足首を伸ばす	2.19
膝を曲げた状態でつま先を上げる	5.63

3.3 キーの割り当て方法

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。ユーザが運動不足を解消するために、提案システムは頻繁に使用されるキーを動作に割り当てる必要がある。そこで本システムでは、どのキーが頻繁に使用されるかを知るために、キーボードの入力を全て取得し、カウントしておく。そして、身体動作による入力を一定回数行くと、最も頻繁に使用されたキーから順に自動で身体動作に割り当てる。また、同じ動作が最も頻繁に使用されたキーに割り当てられ続けると、身体動作によって負荷がかかる筋肉が偏ってしまうので、行った回数が少ない動作を優先的によく使われるキーに割り当てる。delete や母音のキーは入力に用いる回数が多く、作業効率へ大きな影響を及ぼす可能性があるため、これらのキーは自動で割り当てる対象から除く。

3.4 システム構成

提案システムでは、パソコンの主たる作業方法であるキー入力を座位作業時に可能な身体動作に置き換えることで、歩行や立ち上がりなどの日常動作で使う筋肉を使用させる。置き換え動作は 3.2.1 節で設定した動作を用いる。

提案システムの構成を図 7 に示す。提案システム使用時に、ユーザは両膝と両足首に ZAMST 社のサポータ (EK-1[23], FA-1[24]) を装着し、バンドー化学株式会社のストレッチセンサ (C-STRETCH[25]) を取り付ける。ストレッチセンサの値は Arduino Holdings のマイコン (Arduino Nano[26]) を通して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下肢動作を認識し、置き換え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。入力キーは、あらかじめ各置き換え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、置き換え動作をしたときのみ、そのキーを入力可能とする。

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

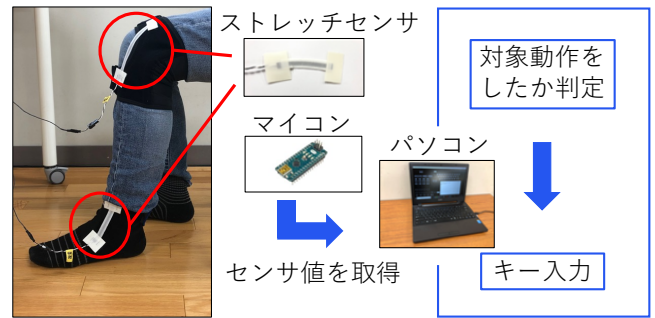


図 7: システム構成

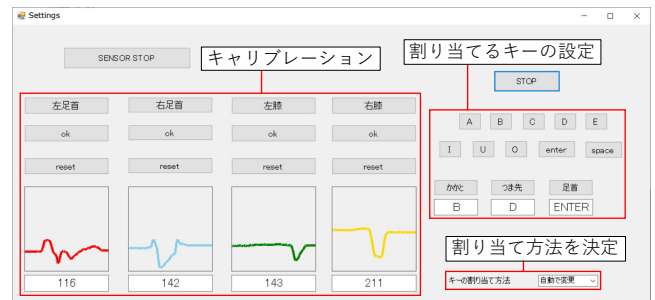


図 8: 動作設定画面

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 つの下肢の置き換え動作を認識する。システム使用時の動作設定の画面を図 8 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 8 の動作設定画面上でキャリブレーションを行う。置き換え動作を行ったときのセンサ値を記録し、疲労などで動作が小さくなることを考慮してキャリブレーション時の最大値より 20 小さい値を閾値とした。下肢動作を行ったときのストレッチセンサ値を図 9 に示す。膝に取り付けたストレッチセンサの値が閾値 $th1$ より大きいときは膝を曲げた状態、閾値 $th2$ より小さいときは膝を伸ばした状態であると判定する。足首に取り付けたストレッチセンサの値が閾値 $th3$ より大きいときはかかとを上げる、または足首を伸ばした状態、閾値 $th4$ より小さいときはつま先を上げた状態であると判定する。これらから、3 つの置き換え動作を認識する。

キャリブレーション後、ユーザは割り当てるキーを設定し、システム使用中に自動でキーの割り当てを変更するかを選択する。自動でキーの割り当てを変更する方法は 3.2.3 節で示した方法を用いる。その後、START ボタンを押すと割り当てたキーが元のキーボードでは無効化され、身体動作での入力開始される。また、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、表 3 に示した数値をもとに算出した歩数を図 10 のように表示している。

4. 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

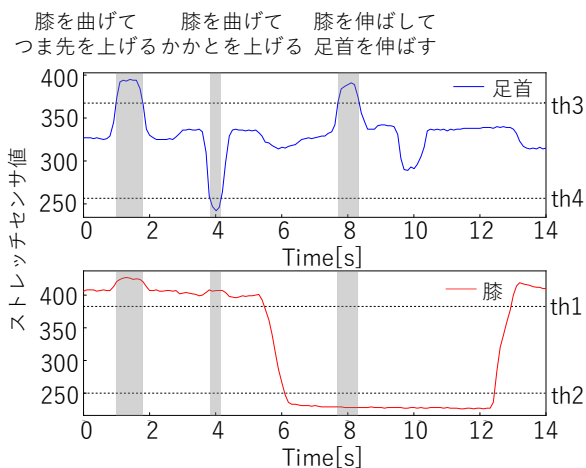


図 9: 置き換え動作時のストレッチセンサ値

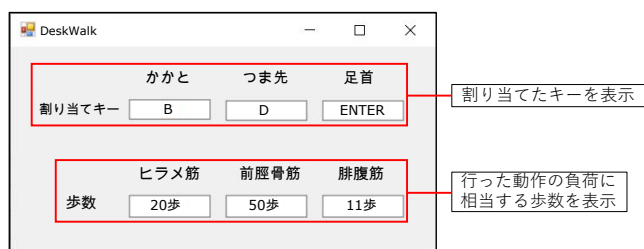


図 10: システム使用中のユーザへの情報提示画面

表 4: 動作認識精度

被験者	身体動作	再現率	適合率	F 値
A	かかとを上げる	1.00	1.00	1.00
	つま先を上げる	1.00	1.00	1.00
	足首を伸ばす	1.00	1.00	1.00
B	かかとを上げる	1.00	1.00	1.00
	つま先を上げる	1.00	0.98	0.99
	足首を伸ばす	1.00	0.96	0.98

を行った。被験者は左足首と左足の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、キー入力に用いる動作である「膝を曲げた状態でかかとを上げる」「膝を曲げた状態でつま先を上げる」「膝を伸ばした状態で足首を伸ばす」の3種類を順にそれぞれ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20代男性2名である。

結果を表4に示す。被験者Aは再現率、適合率、F値が全て1.00と認識精度は高かった。被験者Aは著者であったため、このシステムに慣れていて精度が高かった可能性があるが、本システムの使用経験がない被験者Bにおいても再現率、適合率、F値全て0.95以上となった。どの動作においても再現率は1.00で、被験者が身体動作をしたときには正確に認識していた。しかし、かかとを上げる以外の動作は適合率が1.00未満になっていた。この原因はつま先

を上げる動作や足首を伸ばす動作の際に入力に使う動作ではない膝の曲げ伸ばしを誤認識したためである。また、つま先を上げる動作は足首の可動域に個人差があったため、人数を増やして実験を行いキャリブレーション時の閾値の設定方法を調整する必要がある。

5. 議論

本研究は長時間の座位作業による運動不足を解消することを目的としている。歩行や立ち上がり動作などの日常動作を行って座位作業を中断することで、運動不足による健康への悪影響を減らすことができるが、作業効率の低下が考えられる。そこで、座位状態で足を動かすなどの身体動作を行うことで座位作業を中断して歩行などの日常動作を行うことと同等の効果が得られると仮定し、座位作業を中断させずに身体動作を促すシステムを提案した。座位作業中に身体動作をすることと座位作業を中断して歩行などの日常動作を行うことが等価であるかと提案システムを使用することによる作業効率への影響は評価できていないため調査する必要がある。

キー入力を身体動作に置き換えることは、パソコン作業の効率を低下させる可能性がある。提案システムはパソコン上でキー入力を行う作業全般に利用可能だが、作業効率を考えると対象とする作業や置き換えるキーをユーザの作業を阻害しないようなものに設定する必要がある。システム設計時には頻繁に使用されるキーを動作に割り当てる必要があると考えたが、作業効率に関する調査は本論文では行っておらず、今後の課題である。作業効率と運動のバランスを考慮し、座位作業が長くなり始めて一定時間足を動かしていないときにキー入力を制限するなどの方法で身体動作を促す方法も検討したい。

提案システムによって運動不足の解消ができていないかの調査は必要である。提案システムを使用していることで、割り当てたキーの入力時以外で置き換え動作をしないようにユーザが体の動きを減らしてしまう可能性がある。また、提案システムは膝と足首にサポータを装着しているため、座位作業中の身体動作が制限されてしまうことも考えられる。よって、提案システム使用時に座位作業中の運動が阻害されていないかは、6章で後述する日常の健康管理でスマートフォンアプリケーションを実装して評価しており、被験者は1名であるが、提案システムにより1日の運動量は増えていることを確認した。

歩数の換算に関して、提案システムでは、まず歩行や走行などの日常動作に使われる筋肉であるヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋に負荷のかかる動作を置き換え動作に使用し、次にこれらの筋肉の置き換え動作時の筋電位と歩行時の筋電位から置き換え動作を歩数に換算した。しかし、歩行時には足の筋肉だけでなく全身の筋肉や心肺機能にも負荷がかかっているため、これらを考慮した歩数の換算を行う必要

がある。

置き換え動作は、本論文では歩行を運動の目安としたため、膝と足首に取り付けたストレッチセンサで認識することのできる動作に限定したが、他のセンサを用いたり体の他の部位に取り付けたりすることで、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。

6. アプリケーション

本章では、置き換え操作によりキー入力を行う提案システムを用いた応用例として、日常の健康管理を行うアプリケーションとパソコン作業中のトレーニングを促すアプリケーションを提案する。本論文では、提案する2つのアプリケーションのうち日常の健康管理を行うアプリケーションを実装し、データ取得を行った。

日常の健康管理

提案システム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11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[27]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、過去一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用いて、提案システムを使わなかった日と使った日の実際の歩数と提案システム使用時の換算歩数をそれぞれ1日分記録した。記録した歩数を図12(a)および図12(b)に示す。図12より、活動している時間のなかで、提案システムを使わなかった日はパソコン作業を行っていた時間帯の歩数は、428歩と少なかった。また、提案システムを使った日もパソコン作業を行っていた時間歩数が少ない時間帯に提案システムによる運動を行っており、座位作業中の換算歩数は2629歩だった。記録結果の比較より、提案システムを使用することによってパソコン作業中の運動が阻害されている訳ではないと考えられる。表5にそれぞれの日の歩数と提案システムによる換算歩数、およびそれらの合計を示す。提案システムを使った日の実際の歩数は使わなかった日と比較して少ないが、換算歩数を含むと使わなかった日より合計の歩数が多くなっている。以上より、提案システム使用時は、システム非使用時に比べて運動量が多い結果となった。したがって、日常の歩数を計測し、歩数が足りていない日はその日や翌日のパソコン作業時に提案システムを用いて運動をさ

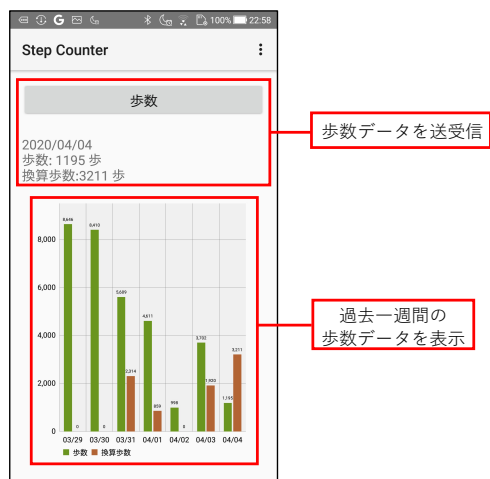
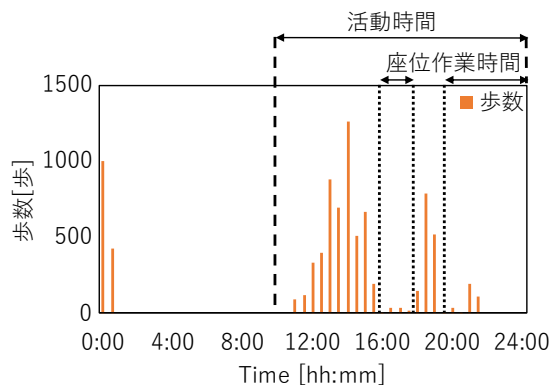
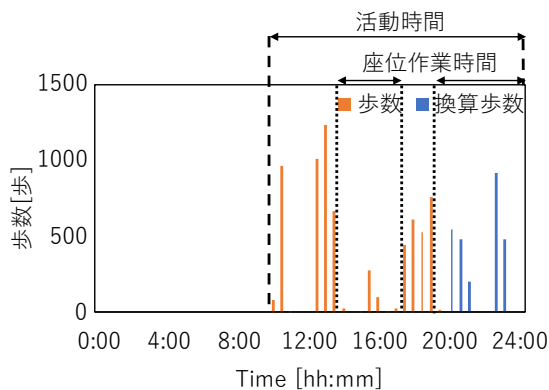


図 11: スマートフォンアプリケーションの画面



(a) 提案システムを使わなかった日



(b) 提案システムを使った日

図 12: 歩数と換算歩数

表 5: アプリケーションで記録した歩数

	歩数	換算歩数	合計
提案システムなし	8410	0	8410
提案システムあり	6744	2629	9373

せることで、ユーザは日常の健康管理ができる。

パソコン作業中のトレーニング

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、提案システム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ことが難しい場合に、ユーザは提案システム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章で述べた提案システム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。

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を提案した。筋電位センサを用いた予備実験によって日常動作に使われる筋肉であるヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋に負荷のかかることのできる座位作業時の動作を調査し、置き換え動作を「膝を曲げた状態でかかとを上げる」「膝を曲げた状態でつま先を上げる」「膝を伸ばした状態で足首を伸ばす」の3つの動作に決定した。また、歩行時の筋電位を計測することで、置き換え動作が何歩分の歩行動作に相当するかを調査した。これらの予備実験の結果から、膝と足首のサポート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するデバイスを用いて置き換え動作をしたときのみあらかじめ割り当てたキーが入力され、ユーザが行った身体動作に相当する歩数をフィードバックするシステムを実装した。また、実装したシステムの動作認識精度を確認するために評価実験を行った。その結果、どの動作においてもF値が0.95より高く、置き換え動作を高精度に認識することができた。

実装したシステムの応用例として、日常生活での歩数と提案システムによる運動の量を記録し、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、パソコン作業中にユーザが鍛えたい筋肉に負荷がかかる動作を促すことで日常のトレーニングを管理するアプリケーションなどに応用できる可能性があることを示した。今後はこれらのアプリケーションの開発や適切な置き換え動作とキーの割り当て方法の検討を行う。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1, JP-MJCR18A3)、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] C. E. Matthews, K. Y. Chen, P. S. Freedson, M. S. Buchowski, B. M. Beech, R. R. Pate, and R. P. Troiano: 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] 厚生労働省: 健康日本21(身体活動・運動), https://www.mhlw.go.jp/www1/topics/kenko21_11/b2.html.
- [3] 厚生労働省: 平成29年国民健康・栄養調査報告(2017), https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000177189_00001.html.
- [4] S. K. McCrady and J. A. Levine: Sedentariness at Work: How Much Do We Really Sit?, *Obesity*, Vol. 17, No. 11, pp. 2103–2105 (Nov. 2009).
- [5] P. T. Katzmarzyk: Physical Activity, Sedentary Behavior, and Health: Paradigm Paralysis or Paradigm Shift?, *Diabetes*, Vol. 59, No. 11, pp. 2717–2725 (Nov. 2010).
- [6] E. S. Ford, H. W. Kohl III, A. H. Mokdad, and U. A. Ajani: Sedentary Behavior, Physical Activity, and the Metabolic Syndrome among US Adults, *Obesity Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 608–614 (Mar. 2005).
- [7] D. W. Dunstan, B. Howard, G. N. Healy, and N. Owen: Too Much Sitting—A Health Hazard, *Diabetes Research and Clinical Practice*, Vol. 97, No. 9, pp. 368–376 (Sep. 2012).
- [8] J. Duysens, A. A. M. Tax, B. Doelen, M. Trippel, and V. Dietz: 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).
- [9] 沢井史穂, 実松寛之, 金久博昭, 角田直也, 福永哲夫: 日常生活動作における身体各部位の筋活動水準の評価—姿勢保持・姿勢変換・体重移動動作について—, *体力科学*, Vol. 53, No. 1, pp. 93–105 (Feb. 2004).
- [10] M. C. Peddie, J. L. Bone, N. J. Rehrer, C. M. Skeaff, A. R. Gray, and T. L. Perry: 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).
- [11] A. M. Swartz, L. Squires, and S. J. Strath: Energy Expenditure of Interruptions to Sedentary Behavior, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol. 8, No. 1, pp. 1–7 (June 2011).
- [12] V. Mateevitsi, K. Reda, J. Leigh, and A. Johnson: The Health Bar: A Persuasive Ambient Display to Improve the Office Worker's Well Being, *Proc. of the 5th Augmented Human International Conference (AH 2014)*, Article No. 21, pp. 1–2 (Mar. 2014).
- [13] Y. Wang and H. Reiterer: The Point-of-Choice Prompt or the Always-On Progress Bar?: A Pilot Study of Reminders for Prolonged Sedentary Behavior Change, *Proc. of the 2019 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2019)*, pp. 1–6 (May 2019).
- [14] T. Grundgeiger, J. Pichen, J. Häfner, B. Wallmann-Sperlich, D. Löffler, and S. Huber: Combating Sedentary Behavior: An App Based on a Distributed Prospective Memory Approach, *Proc. of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2017)*, pp. 1632–1639 (May 2017).
- [15] D. S. Bond, J. G. Thomas, H. A. Raynor, J. Moon, J. Sieling, J. Trautvetter, T. Leblond, and R. R. Wing: 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).
- [16] D. Morris, A. J. Brush, and B. R. Meyers: Super-Break: Using Interactivity to Enhance Ergonomic Typ-

- ing Breaks, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, pp. 1817–1826 (Apr. 2008).
- [17] D. Verweij, A. Esteves, V. J. Khan, and S. Bakker: WaveTrace: Motion Matching Input Using Wrist-Worn Motion Sensors, *Proc. of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2017)*, pp. 2180–2186 (May 2017).
 - [18] T. S. Saponas, D. S. Tan, D. Morris, R. Balakrishnan, J. Turner, and J. A. Landay: Enabling Always-Available Input with Muscle-Computer Interfaces, *Proc. of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2009)*, pp. 167–176 (Oct. 2009).
 - [19] K. Yin and D. K. Pai: FootSee: An Interactive Animation System, *Proc. of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp. 329–338 (July 2003).
 - [20] D. Dearman, A. Karlson, B. Meyers, and B. Bederson: Multi-Modal Text Entry and Selection on a Mobile Device, *Proc. of Graphics Interface 2010*, pp. 19–26, (May 2010).
 - [21] T. Pakkanen and R. Raisamo: Appropriateness of Foot Interaction for Non-Accurate Spatial Tasks, *Proc. of the 2004 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2004)*, pp. 1123–1126 (Apr. 2004).
 - [22] 株式会社スポーツセンシング: DSP ワイヤレス筋電センサ (乾式), https://www.sports-sensing.com/products/sensor/dspvital/dspemg_ds.html.
 - [23] ZAMST: EK-1, <https://www.zamst-online.jp/SHOP/3718.html>.
 - [24] ZAMST: FA-1, <https://www.zamst-online.jp/SHOP/3701.html>.
 - [25] バンドー化学株式会社: C-STRETCH, <https://www.bandogrp.com/c-stretch/index.html>.
 - [26] Arduino Holdings: Arduino Nano, <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>.
 - [27] Google LLC: Google Fit, https://www.google.com/intl/ja_jp/fit/