

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 14 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440261

研究課題名(和文) 体性感覚と身体の一側優位性に基づく操作方向認知に関する研究

研究課題名(英文) Cognitive compatibility of spacial relation based on the dominant/non-dominant hand and haptic feedback in the human interface

研究代表者

岡田 明 (OKADA, Akira)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・教授

研究者番号：30158810

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：この研究は体性感覚や身体との相対位置に基づく方向認知の特性を機器操作系へ適切に反映させ、安全で操作しやすいヒューマンインタフェースの構築を目指すことが目的であり、2つのサブテーマから構成される。

サブテーマ1は身体の一側優位性に基づく操作方向と出力イメージの対応関係についてである。利き手と非利き手での機器操作パフォーマンスを調べ、それぞれの方向認知座標系や認知負担の相違を操作成績や生理的指標により検討した。サブテーマ2は手ごたえ・触感の認知についてである。機器のヒューマンインタフェースの体性感覚フィードバックおよび物理的性質の異なる材質が操作パフォーマンスに及ぼす効果について定量的に検討した。

研究成果の概要(英文)：This study consists of two sub-themes, and its final goal is to design a safe and easy-to-use human-machine interface of manual operation based on haptic sensation and cognitive compatibility between the human body and the direction of operation.

Sub-theme 1 is the study for cognitive compatibility of spatial relation based on the dominant/non-dominant hand. A series of manual operation experiments showed the frame of reference for direction cognition and the mental load based on operational performance and physical indices.

Sub-theme 2 is the study for the cognition of tactile and haptic sensation. The influences of tactile and haptic feedback of the human-machine interface and several materials with various physical properties on task performance were investigated quantitatively.

研究分野：人間工学

キーワード：体性感覚 操作方向 一側優位性 ヒューマンインタフェース 操作パフォーマンス

1. 研究開始当初の背景

機器操作の多くは、視覚をはじめとする複数の感覚を介してその機器の情報を把握し、それらと過去扱った同一あるいは類似の機器での操作記憶を脳内で照合し判断しながら遂行していく。しかし、近年パソコンやスマートフォン等のタッチパネル画面に代表されるように、視覚情報と指先の軽いタッチによる限定した媒体による操作が主流となり、しかもその操作対象の質量やメカニズムなどの機械的制約によらず操作部の形態を自由に設定することも可能となった。たとえば、軽いジョイスティックでも大型旅客機をコントロールすることは可能である。

こうした視覚情報と過少な筋出力による動作を主体としたヒューマンインタフェースにより、自由な操作系デザインと身体的認知的負荷の低減を実現できるようになったが、次のような新たな問題も生じている。

- ・視覚のみの単一感覚に頼ることによるそれ自体の負担増やエラーの増大
- ・単純なディジタル操作の連続による操作記憶の残りにくさ
- ・操作対象からのフィードバックが体感しにくいことによる操作の意識とイメージの減少
- ・操作方向と出力方向との対応のわかりにくさ

これらに共通する要因のひとつとしては、触覚や運動覚などの体性感覚が十分使われていないことにある。こうした問題を解決するために2つの要素が関わってくる。

1: 身体座標系に基づく操作方向と出力方向との対応関係の認知

2: 操作部における手ごたえ・触感の認知

まず1は操作者の身体を基準とする手の位置や動きの方向に関わる体性感覚を介した操作方向と出力方向とのイメージしやすい対応関係である。たとえばラジオの音量を上げる際はボリュームつまみを右へ回し、パソコンマウスの手前への引き操作は画面上のカーソルの下方への動きに対応するように、機器操作における入力操作と出力の方向との適切な対応関係がある。これは「ステレオタイプ」として人間工学および心理学の分野で研究が進められてきたが、この対応関係がうまく機能すれば、直感的な操作が遂行しやすくなり、誤操作を軽減できる。ただし、こうしたステレオタイプの法則は操作者と操作対象が正立方向に対面した状態で成立し、また左右方向に関しては利き手を基準とした法則である。

手の中の小型機器、ウェアラブル機器、遠隔装置などの操作の場合、すなわち身体や手の上下左右と操作具の上下左右が一致しないデザインの場合、あるいは非利き手の関与も含む操作の場合には必ずしもこの法則は当てはまらない。こうした状況下でも直感的でエラーの少ない操作を実現するためには、身体に対するあらゆる位置・方向でのイメージしやすい操作方向を明らかにするとともに、体性感覚に基づく方向判断のメカニズムを解明することが重要なカギとなる。それと共に重要となるのが2の課題、すなわち操作具自体の手ごたえや触感を生む物理的特性と体性感覚との対応関係の確立である。操作具を扱う際のこれら特性の効果を検証し、その適切な設定がより優れたヒューマンインタフェースデザインにつながる。

2. 研究の目的

これまで、身体を基準とした操作座標系における体性感覚を利用した操作によるパフォーマンスおよび脳内活動の変化を捉える試みを継続してきたが、特に上記1の課題に関しては手の一側優位性および学習過程との対応がまだ明確になっていない。また、上記2についても手で触ることによる操作対象の触感と運動覚に基づく操作特性については端緒にすぎたばかりであり、1と2の融合によるヒューマンインタフェースの構築がこれからの課題である。そのため、方向認知と体性感覚の総合的理解の中で操作座標系の認知と脳内負担について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究は上述の2つの要素に基づき、2つのサブテーマの実験研究から構成される。

・サブテーマ1: 身体座標系に基づく操作方向と出力方向との対応関係

・サブテーマ2: ヒューマンインタフェースにおける手ごたえ・触感の認知

ここではその主な成果として、以下の3つの論文の概要を紹介する。

4. 研究成果

(1) 体性感覚フィードバックが操作方向の認知に及ぼす影響 [サブテーマ 2] (学会発表)

目的

本研究では操作者と正立方向でない位置での機器操作時に体性感覚フィードバックが操

作方向の認知に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

実験 1

体性感覚フィードバック量の変化が利き手による操作方向の認知に及ぼす影響を検討した。

・方法

<参加者> 健常な 20 歳代の男女 9 名(全員右利き)

<計測項目> 入力時間, 誤入力数, 主観評価

<実験手順> コンピュータ上にランダムに

「<」または「>」の記号を表示させ, 入力デバイスを用いて画面矢印の方向のボタンを入力するタスクを課した。入力タスクは 1 条件あたり 20 回の入力作業とした。実験条件は体性感覚フィードバックとしてクリック感を付加したボタン(両方のボタンに付与/片側のボタンのみに付与/無)の 3 条件×操作方向(正面: 正面のボタン操作/背面: 正面裏側に配したボタンに手を回して操作)の 2 条件の計 6 条件である。実験には触力覚提示装置 (PHANTOM; PHANTOM Omni, Sensable Technologies, Inc.) を使用した。

・結果と考察

機器操作方向の認知がより必要となる背面条件の入力時間において, 体性感覚フィードバック[両方]と[無]の条件, [片方]と[無]の条件に有意な差が認められた ($p<0.05$)。また, [両方]と[片方]の条件間ではほとんど変化がなかった。

誤入力数に関しては [両方] の条件で少なくなる傾向が見られたが有意な差はみられなかった。

押しやすさの主観評価(最も押しやすいものを 2 ポイント, その次に押しやすいものを 1 ポイント)では [両方] の条件が最も評価が高かった。

実験 2

非利き手を用いた場合の, 体性感覚フィードバックが操作方向の認知に及ぼす影響を検討した。

・方法

<参加者> 健常な 20 歳代の男女 9 名(全員右利き)

<計測項目> 入力時間, 誤入力数

<実験手順> 実験 1 と同じタスクを課し, 非利き手を用いての入力作業を課した。実験条件は体性感覚フィードバック(有・無)の 2 条件×操作方向(正面・背面)の 2 条件の計 4 条件とした。

・結果と考察

非利き手使用時には体性感覚フィードバック有と無の条件では入力時間に有意な差が見られた ($p<0.05$)。

また, 両条件で誤入力数には差がほとんど見られなかったが, これは普段機器操作時には使用しない手での操作を行ったため, 利き手使用時と比較してより慎重に入力操作を行ったことが原因だと考えられる。

以上より, 利き手使用時と比較して, 非利き手使用時にはより体性感覚フィードバックが操作方向の認知を助ける効果があることが示唆された。また, 利き手では手そのものが固有の座標系を有しており, 非利き手では自己中心の座標系を使っていることを支持する結果となった。

(2) 視覚障がいのあるユーザによるスマートフォン利用時の画面内探索動作の特性に関する基礎的研究[サブテーマ 2] (学会発表)

目的

これまで行ってきた体性感覚を中心とした使いやすさの基礎的な研究の一環として, 視覚障がいのあるユーザによるタッチパネル端末使用時の手指動作についての調査がある。併せてユーザビリティ調査を行った結果, 画面上の部位によっては操作が難しい可能性が示唆され GUI 改善が操作性の改善につながる可能性があることが示唆された。

これらの経緯を踏まえたうえで, より操作性の高い機器を開発するためには体性感覚の観点から操作性の高さを研究することと同時に視覚的使いやすさに影響されない認知的使いやすさについても検討する必要がある。これらの課題に対応するため, 主に体性感覚と聴覚を用いて操作を行っている視覚障がいのあるユーザを対象に, GUI 操作で広く使われている画面を模したプログラムを開発し, 画面内探索課題を行わせる実験を次のように実施した。

方法

<参加者> 「NPO 法人 弱視の子どもたちに絵本を」の協力を得て参加者の募集を行った。情報機器の操作を普段より行っていることを条件として参加者を募集したところ, 5 名から協力を得ることができた。実験の実施にあたり, 参加者には実験の趣旨について説明を行い, 同意を得た。また, 参加者が未成年者の場合には保護者からの同意も得た。本研究は大阪市立大学生活科学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号:16-26)。な

お、5名のうち参加者A,B,C,Eの4名は普段よりVoiceOver機能を用いてタッチパネル端末を使用している。参加者Dは調査への参加時や視覚障害のあるユーザ向けの講習会等でタッチパネル端末を使用したことはあるが、日常的には使用していない。なお、参加者CについてはVoiceOver機能を十分に習得していなかったことから、課題の遂行が極度に困難であったことと、実験の途中で本人が課題遂行の意志を示さなくなったことから分析対象より除外した。

<タスク>画面内探索課題には使用言語をSwiftとしてiOSベースのアプリを作成した。実験時にはiPod touchをMacBook Airとケーブルで接続した状態で実施した。参加者にはプログラム上で読み上げられた単語を画面内から普段と同じように操作を行い探索し、選択するように教示した。画面構成は3通りの画面配置(Grid,List,Random)があり、この3種類がランダムに提示される。これらの配置パターンは実際のタッチパネル操作においてみられる画面パターンを模したものである。すなわち、Gridは縦4列×横4列のアイコンの配列、Listは縦に16個並んだアイコンの配列、Randomは16個のアイコンがランダムに配列された画面をモデルとしている。各画面パターン内には3種類用意した単語グループ(野菜,果物,魚)の中からランダムに1グループが選ばれ、さらに画面パターン内の配置においてもランダムに単語が割り当てられる。本研究では、選択する単語が読み上げられ、開始ボタンを参加者が選択した後、課題となる選択画面が完全に表示されてから、参加者が対象となっている項目を選択するまでを所要時間と定義した。所要時間への影響を避けるため、単語はすべて3音節とし、ひらがなで表記した。VoiceOverの読み上げ速度は0から100のうち70で統一し、速さに問題がないか確認した後に、課題の操作に慣れるためのタスクを数回実施した。そのうえで、上述の画面内探索課題を各参加者48回行った。これらの画面作成に当たっては、視覚障がいがあるユーザの多くがスマートフォン利用時に使用するVoiceOver機能に対応させ、実験を行う前にはVoiceOver機能を日常的に使用しているユーザに違和感なく操作を行うことができるか予備実験を行い、問題がないことを確認したうえで本実験を実施した。

・結果

Grid課題,List課題,Random課題毎の所要

時間の集計において、課題内の不正解の場合は対象から除外した。

<Grid課題>参加者A,B,Eにおいては、課題番号の順に直線状に所要時間の増加が見られた。参加者Dにおいては、7-16の課題番号においては同様に課題番号順に増加していることが確認できるが、課題番号1-6においてはそれ以外の課題番号と比べて所要時間がかかる傾向があり、とくに問題番号1において特に顕著である。

<List課題>

全参加者においては概ね問題番号の順に所要時間が直線状に増加している。一方、参加者によって異なるが問題番号1-3である画面上部において他の問題番号よりも所要時間がかかる傾向がみられた。

<Random課題>

参加者Dが問題番号2と16において他の問題番号より多くの時間を要していることを除いて、全参加者において概ね直線的に所要時間が大きくなっていることが確認された。

・考察

画面配置の種類に関係なく所要時間がカーソルの移動する順番に合わせて概ね直線状に増加していることから、アクセシビリティを考慮して作られたGUIにおいてはVoiceOver機能を使用することで、GUIと指を主な操作手段として用いる操作との間に、ある一定の適合性があることを示していると考えられる。一方で、これまで行ってきた調査でみられた画面上部への到達の難しさが、今回の実験においても確認され、さらに所要時間計測を通して定量的に示すことができた。この要因として、VoiceOver使用時にボタンなどの探索を行う際、上述の通りカーソルを利用し選択項目を読み上げる方法と指で直接ボタン等に触れ読み上げを行う方法の2種類あることが考えられる。カーソルを移動する場合には画面上をフリックすることで読み上げを行い、もう一方の操作方法では、ボタンを一度タップするのみで読み上げの対象となる。これらの方法は混在して使用することができるが、連続して行われる一連の操作においては、これらの操作の区別が明確でないことが考えられる。本実験においては、多くの課題において問題なく操作が行われていたが、VoiceOver機能使用時に限らず、フリックとタップの操作の区別が視覚への依存度が高い状況で使用することを前提としている、と考えられる。さらに把持位置との関係で、多くの課題遂行時に画面中

央部より上部を操作しているが、所要時間より明らかになった到達が難しい画面上部の位置よりも下部のボタンに参加者の指が意図せず触れていることが確認された。そのため、画面上部にあるボタンに気付かない状態でカーソル操作を移動させることにより、画面上部への到達が難しくなっている可能性がある。List 課題においてはすべての参加者において、画面上部である問題番号の 1 から 3 において所要時間の増加がみられた。List 課題では画面のすべてが選択可能な領域となっており、このことが意図しない動作を誘発し、操作性に影響を及ぼしている可能性がある。今回の課題では、あらかじめ選択すべき内容を最初に提示しているため、目的とするボタン等へ所要時間が増加しても到達することができた。しかし、初めて利用するウェブサイトやアプリのように目的はある程度明確であるが、ユーザがその手段について十分に理解していない場合には、必要とする情報や機能にたどり着くまでに必要以上に時間がかかったり、情報を得ることができない、と誤解する可能性もある。このようなことを防ぐには、選択している項目が画面の中のどのような位置にあるのか音声で確認できる機能に留まらず、手指の動作がどのような場所で行われているかを考慮したうえで、GUI 設計をすることで操作性を向上することが可能であると考えられる。今後はこれらの結果を踏まえ、視覚に頼ることができないユーザを対象により多くのケースについて分析を行うと共に、いわゆる健常ユーザも対象にモーションキャプチャを使用した動作計測も行い、端末をどのような位置で操作、把持を行っているかを定量的に計測する予定である。そして、画面内だけでなく端末の把持特性や形状を含めた操作全般を体性感覚の観点から検討し、視覚への依存にかかわらず操作のしやすい機器の研究につなげていくことが望まれる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

永井正太郎, 岡田明, 山下久仁子: ポインティング操作における体性感覚情報の利用に関する基礎的研究, 生活科学研究誌, 13, pp.91-99, 2015 (査読有)

〔学会発表〕(計 9 件)

永井正太郎, 新宅慶騎, 岡田明: 視覚障がいのあるユーザによるスマートフォン利用時の画面内探索動作の特性に関する基礎的研究,

モバイル学会シンポジウム「モバイル'17」, pp.13-16, Mar.9, 2017 (大阪府吹田市)

永井正太郎, 岡田明: 視覚障がい者におけるタブレット端末使用時のユーザビリティ調査, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016, pp.889-892, Sep.7, 2016 (東京都小金井市)

寺岡宏章, 岡田明: マルチタッチインタフェースを用いた文字入力操作の評価, 日本生理人類学会誌, 21 特別号(1), p.85, Jun.5, 2016 (大阪府大阪市)

永井正太郎, 岡田明: タブレット端末における視覚障がい者の手指動作に関する調査, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015, pp.287-292, Sep.2, 2015 (北海道函館市)

清水翔太, 山下久仁子, 岡田明: 握り易いグリップの断面形状に関する研究, 平成 27 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.81-84, Dec.5, 2015 (大阪府大阪市)

永井正太郎, 岡田明: タブレット端末使用における弱視者の体性感覚利用, モバイル学会シンポジウム「モバイル 16」, pp.87-88, Mar.10, 2016 (茨城県つくば市)

森大貴, 岡田明, 大野倫明: 体性感覚フィードバックが操作方向の認知に及ぼす影響, シンポジウム「モバイル'15」, pp.37-38, Mar.12, 2015 (愛知県名古屋市)

早川玲美, 岡田明: 機器の微細操作のための指の感覚運動に関する研究, シンポジウム「モバイル'15」, pp.39-40, Mar.12, 2015 (愛知県名古屋市)

永井正太郎, 岡田明, 山下久仁子: ペン型入力システムを用いたポインティング操作における体性感覚情報の効果, シンポジウム「モバイル'15」, pp.41-44, Mar.12, 2015 (愛知県名古屋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 明 (OKADA, Akira)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・教授 研究者番号: 30158810

(2) 研究分担者

渡部 嗣道 (WATANABE, Tsugumichi)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・教授 研究者番号: 90314822