

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23570289

研究課題名(和文) 身体を基準とした方向認知と体性感覚に基づくヒューマンインタフェースの構築

研究課題名(英文) Human interface design based on cognitive and haptic compatibility between control and body directions

研究代表者

岡田 明 (Okada, Akira)

大阪市立大学・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) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：この研究は2つのサブテーマから構成されている。サブテーマ1は身体を基準とする操作方向 - 出力イメージの認知的適合性に関するものである。利き手と非利き手で機器を操作する際のパフォーマンスについて調べ、利き手は手の局所座標系に基づく方向認知をしており、またNIRS計測に基づき利き手の優位性と脳内活性化パターンとの対応が示唆された。サブテーマ2は手ごたえが操作パフォーマンスや認知に与える影響を明らかにするものである。触力覚提示装置を用いて開発したバーチャルリアリティシステムによる仮想ボタン操作実験により、体性感覚フィードバックがボタン入力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 human interface for safety and ease based on cognitive and haptic compatibility. Sub-theme 1 is a study for cognitive compatibility of spatial relation based on dominant/non-dominant body sites. A series of experiments showed the following results, 1) operators referred to their local coordinate systems of hand in operation by dominant hands, and 2) their reaction times were shorter when operators used non-dominant hands rather than dominant hands. The results from an experiment using near-infrared spectroscopy suggested compatibility between hand domination and central nervous system activity. Sub-theme 2 is a study on the influence of tactile and haptic feedback in manual operation on task performances. In an experiment using a virtual reality system developed with a haptic and kinesthetic feedback device, the optimum physical condition was cleared for comfortable click sensations of push button and key.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：人間工学 ヒューマンインタフェース 体性感覚 認知科学 操作系

1. 研究開始当初の背景

我々が道具を扱う際、視覚をはじめとする複数の感覚を介して道具の状態を把握し、それらの情報と記憶を脳内で照合し判断しながら運動器を介して操作を遂行していく。しかし、デジタル化が進む近年は、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介によるヒューマンインタフェースが主流となり、そのためのグラフィカル・ユーザ・インタフェースも進歩しつつある。また、こうしたデジタル化に伴い、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ヒューマンインタフェースの形態を自由に設定することも可能になりつつある。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、身体的認知的負荷の低減は図れるものの、以下の新たな問題も生じている。

- ・情報入力を視覚のみの単一モダリティに頼ることによる視覚自体の負担増やエラーの増大
- ・単純なデジタル操作による記憶の残りにくさ
- ・操作対象からのフィードバックを体感しにくいことによる操作イメージの減少
- ・操作方向と出力方向との対応のイメージのしにくさ

これらに共通するのは、触覚や運動覚などの体性感覚や方向認知が十分機能していないことである。すなわち、手ごたえや対象を触れる際の触感あるいはイメージしやすい方向などが活かされておらず、操作エラー誘発の要因となり、あるいは操作における豊かな感性の創出を妨げている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、身体を基準とした様々な位置や方向の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ことで、操作の負荷と効果を客観的に評価した。操作方向・出力方向の対応は、操作する手の方向や関節角度変化など運動覚や位置覚も強く関与し、また手で触ることによる操作対象の触感にも依存する。

これら一連の研究により、身体が機器と対面しない状態や様々な手ごたえや触感をもつ操作具での操作方略や認知特性について検証することができれば、操作系の視覚的要因から影響を受けない視覚障がい者への配慮や、とっさの方向判断などに有効となる視覚独立型インタフェースの改善、さらに将来的にはロボットの遠隔操作や、宇宙空間など絶対的上下の存在しない無重力状態での機器操作系のデザインなどにもデータを提供することが可能になる。

3. 研究の方法

本研究は2つのサブテーマから構成される。サブテーマ1: 身体を基準とする操作方向・出力イメージの認知的適合性に関する操作タスク実験と脳内活性化部位の変化に関する生理学的検討、およびサブテーマ2: 手ごたえ・触感が操作パフォーマンスに与える影響に関する実験である。1においては方向指示によるトラッキング課題を用いた操作パフォーマンスの学習過程を検討し、近赤外分光法(NIRS)による脳内活動部位の変化を捉えていく。また2においては触覚提示装置で様々な物理的特性を持つ素材やメカニズムを備えた操作具を仮想的に作成し、それを用いた操作での評価を行った。

4. 研究成果

各サブテーマについて、主な研究結果をまとめた。

[サブテーマ1]

(1) 回転操作における位置と方向の認知

「左」「右」の音声指示に対して操作する場合の認知特性について検討することを目的として、利き手/非利き手による違いを明らかにした。

方法

以下の3つの実験から構成されている。

(a) 実験参加者

実験1: 男女学生12名(全員右利き)

実験2: 男女学生12名(うち左利き3名)

実験3: 男女学生8名(全員右利き)

(b) 実験装置

回転ノブを用いた操作ユニット

(c) 手続き

実験1:

机上面に設置された回転ノブを用いた。コンピュータから発せられる「上」「下」「左」「右」のいずれかの音声情報を聞き、指示された方向に回転ノブを回して応答する。ただし、「上」「下」の音声情報に対しての操作は行わず、「左」「右」という音声に対してのみ操作を行うものとした。音声情報はランダムに各音声10回ずつ計40回提示される。また、身体を基準とした左右と、それを反転した条件を設定した。4条件全ての実験終了後に一番操作をイメージしやすかった条件とイメージしにくかった条件の申告を求めた。

実験2:

「上」「下」「増」「減」のいずれかの音声情報を聞き、指示された通りにノブを操作して応答する。ただし、「上」「下」の音声情報に対しての操作は行わず、「増」「減」という音声に対してのみ操作を行うものとした。その他の方法は実験1と同様である。

実験3:

身体前面に設置された回転ノブを用いた。「左」「右」という音声に対して身体側からみた左右と、操作具側からみた左右(身体側からは反

転方向)を基準とした操作を行うものとした。

結果と考察

実験1では、身体を基準とした左右で操作する条件と反転させて操作する条件間で有意差が認められ、身体を基準とした左右でないと操作をイメージしにくいことが裏付けられた。また、利き手/非利き手のどちらも左右反転させて操作する条件間で有意差が認められたが、非利き手での操作と比較して利き手での操作は左右反転の影響をより大きく受けていた。

実験2では条件間に有意差は認められず、「増」「減」という音声情報の操作イメージは「左」「右」に対する操作イメージほど強くはないと考えられた。

実験3では、操作具基準の左右で操作を行った場合、利き手と比較して非利き手での操作で有意に応答時間が長いことがわかった。また、非利き手での操作では身体基準の左右よりも操作具基準の左右での操作における応答時間が有意に長い結果となったのに対して、利き手での操作では有意差は認められなかった。これは、利き手で操作する際には、通常の操作における手と操作具との空間的関係を身体が覚えており、操作具基準の左右で操作を行う場合、つまり通常の操作と同じ手と操作具の空間的関係で操作を行う場合でも操作をイメージしにくいとは感じなかったためと考えられる。

まとめ

操作位置が机上面等の場合には、身体を基準とした左右をそのまま操作方向と対応させて情報入力インタフェースをデザインすべきだといえる。しかし、操作位置が前面裏側にあり、通常の操作における手と操作具の空間的関係に基づき操作すると、それが身体を基準とした左右と異なっている場合には、身体基準の左右に基づき操作方向を決定すべきだと一概にはいえない。利き手での操作を想定してインタフェースの操作方向を決定する場合には、あたかも手そのものが記憶し構築している固有の座標軸と環境に柔軟に対応できるため、ある程度自由なデザインでも許容できると思われる。一方、非利き手で操作することを想定するならば、身体を基準とした左右を操作方向と対応させて情報入力インタフェースをデザインすることが望ましい。

(2) 手の一側優位性と操作方向の認知

利き手度に基づく操作方向による認知負担の影響について、操作パフォーマンスおよびNIRSによる評価を試みた。

方法

操作具として上下左右に配列されたキーを用いた。その操作位置は、ウェアラブル機器の中でも近年増加傾向にある上腕型を想

定し、上腕に設置した。実験条件は操作する手が右手か左手の2条件、装置の設置方向が正面方向[1]、正面方向から90度右回り[2]、正面方向から180度右回り[3]、正面方向から270度右回り[4]の4条件(左手での操作時は各90度ずつ左回り)の計8条件を設定した。装置が回転したときも押しボタンの方向の意味は変わらない。

実験参加者は男女学生15名であり、エディンバラ利き手テストにより、8名が右利き、3名が両利き、4名が左利きと判定された。

結果

実験参加者全体の応答時間を検定した結果、「2」方向<「1」方向<「4」方向<「3」方向の順で応答時間が長くなっていくことが分かった。

主観申告では、右利きの実験参加者全員が最も操作しやすい条件として「1」方向を選んだのに対し、左利き・両利きの中には「2」方向を選ぶ参加者もいた。また、最も操作しにくい条件には右利き実験参加者全員が「3」方向を選んだのに対し、左利き・両利きの中には「4」方向を選ぶ参加者もいた。

また、NIRSによる脳内血中ヘモグロビン濃度は左上腕右手操作時に右上腕左手操作時と比べて左脳側脳内血中ヘモグロビン濃度が高くなり、右上腕左手操作時に左上腕右手操作時と比べて右脳側脳内血中ヘモグロビン濃度が高くなる傾向がみられた。全体を通して操作する手による脳内血中ヘモグロビン濃度の変化が認められた。

考察

以上のことから、最も操作しにくい条件は装置が身体の内側方向に設置している条件であるが、操作しやすい条件は装置が身体の外側方向または腹側方向に設置している条件であると考えられる。また、主観申告において、右利きの参加者と左利き・両利きの参加者には操作しやすい条件及び操作しにくい条件が異なっていることから、操作方向の認知について手の一側優位性による違いがあると考えられる。そして、机上時にはみられなかった脳内血中ヘモグロビン濃度の変化が操作する手によってみられたことから、慣れていない場所での操作は精神的負荷をもたらすと推察できる。

[サブテーマ2]

(1) 適正なクリック感の評価

今日ではタッチパネルのボタン操作時にバイブレーションによるフィードバックがなされるものもあるが、クリック感のあるものは見受けられない。今後、タッチパネルにおいてクリック感が容易に再現できるようになったとき、それを実用化する際には、どのようなクリック感が知覚されやすいのかを知ることは、優れたヒューマンインタフェースの構築に必要である。そこで、クリックのステータスの差による感じ方の違いを明

らかにするための以下の実験を試みた。

方法

[装置]

タッチパネルによる体性感覚フィードバックの設定が現時点で困難であることや、手ごたえやクリック感などの微妙な変化の機械的仕事が難しいことから、パソコンと 14 インチディスプレイ、および触力覚提示装置 PHANTOM (PHANTOM Omni, SensAble Technologies, Inc.) から構成されるバーチャルリアリティ環境下での入力装置を構築した。PHANTOM とは、高精度の力覚インタラクションを実現する三次元入出力デバイスである。操作者がスタイラス(ペン形状のポインティングデバイス)を把持して動かすと、その先端位置が仮想空間中に表示され、仮想物体と接触したときに、その物体の重さ、形状、表面の質感等が反力としてスタイラスに伝えられる。

ディスプレイ上には 1 から 0 の 10 のボタンが配置され、そのうち 1 から 6 の 6 つのボタンにそれぞれ違ったステータスを持つクリック感を設定した。1 はピークまでの距離が短く、ピークの反力は弱く、直後の反力の抜け具合が小さいボタンを示す(近:弱:小)。同様に 2-6 については以下の設定とした。2(近:強:小)、3(近:弱:大)、4(遠:弱:小)、5(遠:強:小)、6(遠:弱:大)。

[実験手順]

実験者が指定する 2 つのボタンを押し、どちらのボタンのクリック感が知覚しやすいか、また、どちらのボタンが押しやすいかを一対比較法により評価した。

[実験参加者]

21~25 歳の成人 8 名(男性 3 名,女性 5 名)である。

結果と考察

「わかりやすさ」「押しやすさ」とも有意な主効果が認められた。反力のピークの大きさより、その直後の力の抜け具合の大きいものの方が、クリック感がよりはっきりと知覚されていることがわかる。また、クリック感が手前にある方が知覚されやすいことも明らかとなった。

以上より、適切な反力と押し込み距離の組み合わせが重要であることが示された。

(2) 体性感覚情報がポインティング操作のパフォーマンスに及ぼす影響

体性感覚フィードバックの有無が操作性に及ぼす影響を以下の 2 つの実験により検討した。

実験 1

(a) 方法

[実験参加者]

数字入力は右手で行っていると回答した 20 歳代の男女 12 名で、数字入力の習熟度

を調査するために、普段の数字入力の方法や頻度、ブラインドタッチの可否、大量の数字入力を必要とする職種への従事経験を聞いた。

[条件]

条件 A は入力に使うテンキーを見ることができる状態、条件 B は入力に使うテンキーを見ることができないように箱状の覆いで隠した状態であった。いずれも 3 桁の数字の入力をそれぞれ 10 回課した。順序効果を避けるために実験参加者ごとに条件と、その中で提示する数値の順序はランダムに配置した。入力動作を行う指の指定は行わず、普段テンキーを使うときと同じように入力するよう指示した。

数字の提示と実験参加者の入力した数字の記録、所要時間の計測には Visual Basic 6.0 で作成したプログラムを用い、数字の入力には統一したテンキー(ELECOM 製, TK-TCM009BK)を用いた。また、操作時の右手第 2 指の接触力と加速度の計測には Haptic Skill Logger (テック技販製)を使用した。

(b) 結果

[指の動作]

アンケート調査から得られた習熟度と x, y, z 軸加速度、絶対加速度との間には明確な関連は見られなかった。

全実験参加者のパフォーマンスを条件 A と条件 B の間で比較すると絶対加速度の平均値において有意差が認められた ($p < 0.01$)。また、標準偏差においても有意傾向が認められた ($p < 0.10$)。

[エラーの分析]

習熟度の高い参加者ほど条件 B でエラーが生じる傾向にあった。また、エラーの内容を分析すると、右隣のボタンと押し間違え続ける、といったように実験参加者ごとに同じ種類のエラーをする傾向がみられた。

(c) 考察

エラーの回数から習熟度の高い参加者でもポインティング動作は視覚に依存する度合いが高いことが示唆された一方、条件 A と条件 B の絶対加速度の結果から、体性感覚情報がポインティング動作に影響を与えていることが示唆された。また、同じ方向に間違える等のエラー内容の傾向は指の深部感覚がキーボードの幅を記憶していることが影響していると考えられる。

実験 2

(a) 方法

[実験参加者]

数字入力は右手で行っていると回答した 20 歳代の男女 7 名で、数字入力の習熟度を調査するために、普段の数字入力の方法や頻度、ブラインドタッチの可否、大量の数字入力を必要とする職種への従事経験を聞いた。

[条件]

条件 A はタッチパネル画面 (Flex Scan T1502 EIZO 製) 上に実験 1 で使用したテンキーと同じ配列のボタンを表示し, その上からテンキーと同じ大きさの枠をスチレンボードと養生テープで作り画面に貼り付けた. さらにその上から画面を見ることのできない状態にするために箱状の覆いで画面の入力部分を隠した.

条件 B は同じ画面配列を使いテンキー 3 桁分の幅の枠を同じくスチレンボードと養生テープで作り画面へ貼り付け, その上から画面を見ることのできないように, 箱状の覆いで画面の入力部分を隠した.

条件 C ではタッチパネルでの数字入力の習熟を確認するために用意した条件で, 同じ画面配列を見ながら入力する条件である.

いずれも 3 桁の数字の入力をそれぞれ 10 回課した. 右手は数字入力のみを行い, 実験開始の操作や次の課題に進む操作は左手で行うように指示した. 入力動作を行う指の指定は行わず, 普段テンキーを使うときと同じように入力するよう指示した.

各条件は順序効果を避けるために半数の実験参加者は条件 A の次に条件 B, 残りの半数を条件 B の次に条件 A の順に配置した. また, 視覚情報からの影響を少なくするため, 条件 C は条件 A, 条件 B が終了してから行うこととした.

入力する数字の提示と実験参加者の入力した数字の記録, 所要時間の計測には VisualBasic6.0 で作成したプログラムを用い, 操作時の右手第 2 指の加速度の計測には Haptic Skill Logger (テック技販製) を使用した.

タッチパネル上のボタンや貼り付ける枠の寸法は先行実験等でも使用した TK-TCM009BK (ELECOM 製) を基準とした.

(b) 結果

[指の動作]

実験参加者が入力に使用した指は, 4 名が第 2 指のみ, 2 名が第 3 指のみ, 1 名が第 2 指と第 3 指の 2 本であった.

条件 A 条件 B との間で x, y, z 軸加速度, 絶対加速度の明確な違いは見られなかった. また, 正答数も条件 A では平均 2.3 問, 条件 B では 2.4 問と明確な違いは見られなかった. なお, 条件 C での正答数の平均は 8.7 問であった.

[エラーの分析]

縦方向:

全実験参加者 7 名中 6 名において, 縦方向のエラーは同一方向である傾向が見られた. また, その方向もほとんどが一つ上のボタンを押し間違えるエラーであった. このことは実験 1 でも確認されている. 残りの 1 名は条件 A, 条件 B を通して縦方向のエラーは上下両方向が混在していたが, 後述する横方向のエラーはほとんど見られなかった.

横方向:

横方向のエラーは大きく 条件に関らず横方向のエラーが少ない, 条件 A では正答率が高いが, 条件 B では内側へのエラーが多い, 条件 B では正答率が高いが, 条件 A では外側へのエラーが多い, の 3 種類が見られ, 内訳は がそれぞれ 2 名, が 3 名であった. とともに順序による影響は見られなかった.

(c) 考察

縦方向のエラー分析において, 実験 1 と同じような結果が見られ, 深部感覚の影響が当実験からも示唆された.

横方向のエラー分析においては, まず上記の条件に関わらず正答率の高い実験参加者ではそれぞれのボタンの幅を記憶している, または左端から順番にキーボードのボタンの幅を記憶していることが考えられる.

条件 A では正答率が高い実験参加者では, テンキー全体の幅をもとに 4 列分のボタンの位置を記憶しているために, それより幅の狭い条件 B において正答率が低く,

条件 B で正答率が高い実験参加者では数字入力に使う 3 列分のボタン幅を記憶しているために, とは反対にそれより幅の広い条件 A において正答率が低くなったと考えられる. 実験参加者ごとに傾向の差は存在するが横方向はどの実験参加者も, 実験順序に関らずいずれかの条件で高い正答率で入力することができていた.

まとめ

テンキーでの入力操作時のポインティングには縦方向では指先の関節角度が, 横方向では手の幅や指の幅が影響しているのではないかと示唆される.

また, 以上 2 つの実験からインタフェース上に限らず, 画面などのインタフェース周辺にポインティングの手掛かりとなるものを付与することで視覚への負担を軽減することが可能であることが示唆された.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 7 件)

永井正太郎, 岡田明, 山下久仁子, 入力操作の習熟が手指の動きに与える影響, 平成 25 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, 京都, 2013 年 12 月 14 日

K. Sakamoto, S. Sakashita, K. Yamashita, and A. Okada, Evaluating emotional state during 3DTV viewing using psychophysiological measurements, " HCI2013 Proceedings of The 15th International Conference on Human Computer Interaction (HCI) International, vol15, Las Vegas, USA, 25 July 2013

井上阿英, 岡田明, 山下久仁子, 自転車ブレーキの適切な操作形態に関する人間工学

的研究，第 48 回人類働態学会全国大会，和歌山，2013 年 6 月 15 日

岡田明，機器操作における体性感覚フィードバックの有効性，人間工学会誌第 48 巻特別号，福岡，2012 年 6 月 9 日

阪口麻里子，岡田明，山下久仁子，身体を基準とした操作位置と方向の認知に関する人間工学的研究，シンポジウム「モバイル'12」，別冊，大阪，2012 年 3 月 15 日

田中悠史，岡田明，体性感覚フィードバックを用いたヒューマンインタフェースに関する基礎的研究，シンポジウム「モバイル'12」，大阪，2012 年 3 月 16 日

松田典子，岡田明，テンキー配列と視線および指の動きとの関係性に関する研究，シンポジウム「モバイル'12」，大阪，2012 年 3 月 16 日

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