

Title	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
Author	永井, 正太郎 / 岡田, 明 / 山下, 久仁子
Citation	生活科学研究誌. 13 巻, p.91-99.
Issue Date	2015-03
ISSN	1348-6926
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	『生活科学研究誌』編集委員会

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

永井 正太郎*¹, 岡田 明*¹, 山下 久仁子*²

*¹大阪市立大学大学院 生活科学研究科

*²大阪市立大学 研究支援課

Basic Research on Effect of Haptic Information in Pointing Operation

Shotaro NAGAI*¹, Akira OKADA*¹ and Kuniko YAMASHITA*²

*¹Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

*²Research Support Department, Osaka City University

Summary

The role of the somatic sensory system in a keyboard-pointing operation was examined by conducting some basic experiments. In Experiment 1, participants were asked to perform the task of entering a three-digit number 10 times using a numeric keypad under two conditions: with visual and haptic sense, and with tactile sense alone. We compare participants' finger contact force, acceleration, and error trends between those two conditions. In Experiment 2, participants were asked to perform the same task thrice, as in Experiment 1, using a virtual keyboard on a touch panel, under three conditions: using only haptic sense twice, under varying conditions; using both haptic and visual senses. We compare the coordinates where the participants' touch registered and the error trends between the 3 conditions. The above experiments show that the pointing operation relies heavily on the visual sense. However, the numeric keypad experiment suggests that the cutaneous haptic sense seems to function effectively, and the experiment with virtual keys on a touch panel suggests that kinesthesia is also sufficient. In addition, this research demonstrates that adding physical clues to the periphery of the screen or interface can promote accurate operation.

Keywords: ヒューマンマシンインタフェース、入力操作、体性感覚、皮膚感覚、深部感覚

Human Machine Interface, Key Operation, Somatic Sensation, Cutaneous Sensation, Kinesthesia

I はじめに

近年、パーソナルコンピュータやゲーム機、携帯電話など Graphical User Interface (GUI) を利用した製品が幅広く使われている¹⁾。GUI を利用した製品を使うことで Character User Interface (CUI) と比較し、専門的な知識を必要とせず、い

わゆる“直観的な操作”を可能にしてきた。さらに、ここ数年のタッチパネルの急速な普及によって、より多彩な操作や表現が可能となった。その結果、GUI を使った製品は情報機器や産業分野²⁾だけでなく生活家電や公共空間³⁾でも幅広く使用されるようになった。

しかし、これら GUI は視覚に対する依存度が高

く、特にタッチパネルではボタンを押したときに生じる操作抵抗やボタン間の境界等の触覚によるフィードバックが減少したために、従来と比べ操作感を得ることが難しくなった^{4),5)}。その結果、画面表示によるフィードバックに頼らざるを得ないため、視覚負担が増加し疲労やヒューマンエラーの誘発、上述の要因に加えて、インタフェース上の物理的手がかりが減少したことで視覚に頼れないユーザの使用を妨げるといった問題が生じている。これらの経緯を踏まえ、視覚を中心としたインタフェースから、マルチモーダルなインタフェースの提案が行われており、そのひとつとして体性感覚を利用したインタフェースの研究が進められている。体性感覚とは、一般に触覚とよばれる皮膚表面領域の感覚である皮膚感覚、筋や腱、関節などに存在する受容器に発生する衝撃によっておこる感覚で、位置や運動の記憶と関連する深部感覚のことを指す。

研究の背景となった視覚への連続的な負担の発生や視覚へ頼ることのできないユーザへの対策として以下のような先行研究がある。

天野ら⁶⁾はタッチパネル上に位置や形を触覚的に伝える手がかりが少ないことが、文字入力速度の低下やエラーの増加をはじめとする文字入力性能の低下の要因であると考え、従来型のタッチパネルに取り付ける物理的手がかりを試作し、評価を行った。同様の研究は Malte ら⁷⁾によっても行われている。

赤津ら⁸⁾は ATM の操作画面の周辺に触覚による手掛かりを取り付けることで、視覚に頼れないユーザにも同じような操作が可能となるようなインタフェースの開発を行った。

これらの研究は機器の改良を中心としたもので皮膚感覚や深部感覚等の体性感覚情報がどのように処理されているか、またそれをどのようにインタフェースに利用するかといった検討は行われていない。

体性感覚と空間記憶特性に関する研究として、大島ら⁹⁾は腕を使ってポインティングを行った時の指先位置の情報について実験を行った。その結果、片手では頭を基準とした座標系を、両手では空間を基準とした座標系を利用していることが示唆された。しかし、前述のインタフェース操作で必要とされる手指等の細かな動作の検討は行われていない。これらの背景として、手指の動作を数

値化することが困難だったことが要因として挙げられる¹⁰⁾¹¹⁾。

近年、GUI を手で直接操作するタッチパネルの普及が急速に進み、情報機器だけにとどまらず生活家電でも使われるようになってきた。使いやすい、操作しやすいといった声もある一方で操作が分かりにくくなったといった意見もある¹²⁾。その要因として考えられるのは物理的手がかりの減少により手指によるポインティング作業が難しくなったことと、体性感覚フィードバックの減少により、使用感や操作感を得ることが難しくなっていることであると考えられる。

そこで本研究では、インタフェース操作において特に重要であると思われる手指によるポインティングに焦点をあて、皮膚感覚や深部感覚を含めた体性感覚そのものの果たしている役割を明らかにするために基礎的な実験を行った。

II 予備調査

1. 目的

どのように体性感覚を利用しているか把握するために、日常的に使っている携帯電話とテンキーを用いて観察を行い、体性感覚がどのように使われているのか調査した。携帯電話では、ボタンで入力する方式とタッチパネルで入力する方式の比較を主な目的とし、テンキーでは操作時の視覚による情報と体性感覚による情報の配分を検討することとした。併せて、普段使用している機器とその操作に対する習熟度、使用頻度について聞き取り調査を行い習熟と体性感覚情報の利用の関連性を調査した。

2. 調査参加者

携帯電話やキーボードでの文字入力に普段から慣れ親しむ 20 歳代から 40 歳代の男女学生 18 名で、実験の趣旨に関する説明を事前に行い同意を得た。

3. 調査内容

1) 聞き取り調査

普段利用しているスマートフォンを含む携帯電話、テンキーでの入力状況と調査参加者の属性について調査を行った。携帯電話での入力に関しては普段使用している携帯電話の機種とその使用期間、ブラインドタッチ可否についての主観評価と

携帯電話の使用感を調査した。また、使用している携帯電話がタッチパネルで操作を行う端末を使用している場合、タッチパネルとボタンでの操作感の比較を自由記述で調査した。実験参加者の属性としてレジをはじめとする数字を大量に入力する職種への従事経験の有無を確認した。2)の観察終了後にも観察から得られた知見をもとに聞き取り調査を行った。

2) 入力操作の観察

十分な明るさの室内で参加者は椅子に座りいつもと同じ姿勢で入力するよう指示した。携帯電話を使用して文字を入力するタスクでは、各参加者がいつも使っている携帯電話を使用し視覚あり、触覚のみの状態でそれぞれ約3~5分実験開始時に設定したテーマ（例：先週の週末にしたこと等）で文章の入力を行わせ、手指の動作を目視により観察した。普段の入力操作の状態、そのなかでも特に手指の動作を観察するのが目的であるため、文章の内容には指定を行わず、普段メールを記入するのと同じように入力するように伝えた。そのため、顔文字や絵文字の使用も可とした。

テンキーを使い数字を入力するタスクでは視覚ありと触覚のみの状態で、口頭により提示した3~4桁の数字を合計で10~30回の入力動作を行わせ、目視で観察した。

4. 結果と考察

1) 聞き取り調査

タッチパネル搭載の携帯電話を使用している参加者からは皮膚感覚に起因するものとして、凹凸がない、場所が分かりにくい、境目がわからない等の理由で、深部感覚に起因するものとして押し感がない等の理由で入力エラーが増加したとの回答が得られた。一方で文字入力でなければ困らない、時間の経過で解決するのでは、との回答もあった。

テンキーの利用状況についての質問では、数字入力時にテンキーを使わないという参加者も多く中には普段使っているパソコンにテンキーがあるかどうか分からないという参加者もいた。

2) 入力操作の観察

実験参加者が使用している携帯電話は、ボタンで入力を行う機種のみが6名、タッチパネルで操作を行う機種のみが12名、ボタンとタッチパネルの両方を使用している参加者が2名であった。

ボタンで入力を行う機種を使っている8名すべてがブラインドタッチの主観評価に関らず触覚のみで入力することができた。一方タッチパネルの場合には12名中1名を除き触覚のみで入力することができなかった。観察実施後の聞き取りからボタンで入力を行うときに5のボタン上にある手掛かりを必ずしも参照せず、持ち方や端の列からの距離を指の曲がり方から推測しているという回答が得られた。中には、5のボタン上の手掛かりを知らない、見ることを前提としているため見当がつかない等、皮膚感覚からの手掛かりを使うことを念頭に置いていない回答もみられた。

次にテンキーでの入力では18名中15名は主観評価でブラインドタッチができると回答し、18名中15名が実際に触覚のみの状態で入力することができ、1名はタスク遂行途中から入力することができた。観察終了後の聞き取りでは、5のボタン上の手掛かりを利用している参加者は半数にも満たず、そのほか物理的手がかりとして、123や456、0147の列からの距離で位置を推測している、0やEnterキーの大きさが他のボタンと異なるのを利用して場所を推測している、という回答があった。

以上の結果より、5のボタン上の凸は必ずしも適切な手掛かりとして使用されていない、と考えられる。また、一部のケースを除きテンキーでのタスクにおいて触覚のみの条件において上下の動きが少なくなったように見えたことから、境目等を皮膚感覚を通して探そうとしているためと考えられる。このことは13名いたタッチパネル搭載の携帯電話使用者のうち8名が境目に関する記述をしていたことから境目が重要な手掛かりであることが示唆される。また、ボタン間やキーボードの端からの距離を手掛かりに入力を行っていることが示唆された。

そこで実験1では、境目等の手掛かりの利用に着目し、入力操作時の皮膚感覚の有効性について検討するため視覚の有無の2条件で動作の比較を行った。実験2で距離に関する特性を中心にポインティングに必要な物理的手がかりや動作の記憶についてタッチパネルを用いて実験を行った。これら2実験を通してポインティング操作時の体性感覚情報の有効性について基礎的な研究を行うこととした。

Ⅲ 実験 1

1. 目的

予備調査よりボタン間の境目等を皮膚感覚情報として入力操作へ活用していることが示唆された。そこで、実験 1 では視覚ありと触覚のみの 2 条件でテンキー入力の際の動作計測とパフォーマンス比較を行うことで皮膚感覚情報がどのように利用されているか検討した。

動作計測の項目として、x,y,z 軸加速度、絶対加速度、接触力の平均と標準偏差を利用した。各加速度の平均値は細かな動きを表す指標として、標準偏差は動作が安定的に行われているか検討するための指標として用いた。

2. 実験参加者

19-27 歳の男女学生 10 名で、実験の趣旨に関する説明を事前に行い同意を得た。また、この 10 名は普段よりテンキーを使う場合は右手を使用している。

3. 実験機器

指の接触力、絶対加速度、x, y, z 軸加速度の計測には Haptic Skill Logger (テック技販製) を使用した。この装置ではセンサを基準として、x 軸は左から右、y 軸では後ろから前、z 軸では上から下がそれぞれ+方向となっており^{註1}、絶対加速度はこれら 3 軸のベクトルとして求められる。実験の刺激提示と入力した数字の記録には Visual Basic6.0 で作成したプログラム、数字の入力には統一したテンキー (TK-TCM009BK、ELECOM 製) を使用した。

4. 実験手順

画面に表示された 3 桁の数字を 10 回入力するタスクを 2 条件で比較を行った。条件 A ではテンキーを見ることが出来る状態で行い、条件 B では見ることができないよう箱状の覆いで隠して行った。この 2 条件は順序効果を相殺するため実験参加者ごとに交互に配置した。また、各条件内での提示する 3 桁の数字も参加者ごとにランダムに配置した。

Haptic Skill Logger は右手第 2 指に装着をしたが、入力に使う指の指定を行わず、普段と同じように入力するように指示した。

また、入力動作に影響を及ぼさないように右手はテンキーでの数字の入力のみを行い、数字の入

力ミスが発生しても訂正を行わずそのまま次の数字の入力をするように指示した。併せて、数字の訂正を行わないように画面には実験参加者が入力した数字は表示されず、入力した桁数のみが表示されるように設定した。

予備調査からテンキーでの数字入力の経験がほとんどなくテンキーの配列を知らない実験参加者が少数ではあるが存在したことから、条件 A 条件 B の実施前に 15 秒間のテンキーの配置を確認する時間を設けた。

差異の検定には t 検定を用い、有意水準を危険率 5%、また 10%未満を有意傾向として扱った。

5. 結果と考察

全実験参加者中 1 名において Haptic Skill Logger の取り付けに不備があったことから外れ値が発生したため、実験 1 では 9 名のデータで分析を行った。

Haptic Skill Logger では指のひずみ量をもとに接触力の測定を行っているが装置の検出域レベル未満でしか接触力が使われていないことが判明した。そのため本実験では指の接触力は分析の対象から除外した。

絶対加速度、x,y,z 軸加速度について全実験参加者の平均と標準偏差を表したのが図 1、2 でエラーバーは各標準偏差を表している。x 軸 y 軸加速度、絶対加速度の平均において有意傾向が見られた ($p<0.10$)。各実験参加者内の動作のばらつきを調べるため標準偏差を用いたところ、x,y,軸加速度、絶対加速度において有意差が確認され ($p<0.05$)、z 軸加速度では有意傾向が確認された ($p<0.10$)。

x 軸加速度、絶対加速度の平均において有意傾向が確認された。また、y 軸加速度においても有意傾向が確認され、前述の通り数値には方向を含んでいるため、条件 A の視覚ありの状態において、より速い入力動作を行っていたことが考えられる。とくに x,y 軸加速度で有意傾向が表れていることから、キーボード上の指示されたボタンの探索において視覚への依存度が高いことが示された。一方、標準偏差において x,y 軸加速度と絶対加速度において有意に低かったことから、触覚のみの状態でも安定した動作で入力ができていることが示唆された。z 軸において有意傾向にとどまったのは皮膚感覚を頼りにボタンを探した参加者だけでなく習熟度が高いために視覚で見ることができない状態でも

普段と同じような入力が可能だった参加者がいるためではないかと考えられる。また、平均正答数が視覚ありの状態で 9.7 問、触覚のみの状態でも 9.4 問と、触覚のみの状態でも入力エラーが少ないことから体性感覚が有効に機能していることがパフォーマンスからも示唆された。

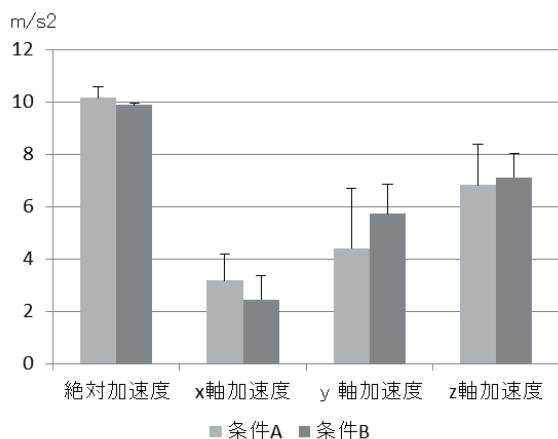


図 1 加速度の平均 (全実験参加者)

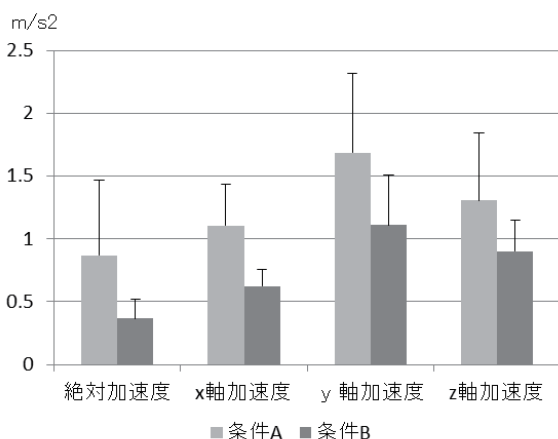


図 2 加速度の標準偏差 (全実験参加者)

IV 実験 2

1. 目的

これまでの予備調査や実験 1 でテンキーの両端を持つという動作が度々確認された。また、聞き取り調査からもテンキーの両端に関する記述も散見された。これらのことからテンキーの幅から受け取る体性感覚情報をポインティング動作に使用していると考えられる。そこで実験 2 では、同じボタン幅でキーボード幅の異なるタッチパネル上の仮想キーボードを用い、入力パフォーマンスの比較を行った。また、タッチパネル上にはテンキーと異なり、凹凸がないため皮膚感覚による影響

を抑えることができるため、深部感覚の影響も検討することができる。比較した項目は、タッチパネル上に表示された仮想ボタン操作によるエラー内容とそれをクリックしたタッチパネル上の座標である。

2. 実験参加者

19-27 歳の男女学生 10 名で、実験の趣旨に関する説明を事前に行い同意を得た。また、この 10 名は普段よりテンキーを使う場合は右手を使用している。

3. 実験機器

実験に使用する仮想キーボードとしてタッチパネルディスプレイ (FlexScan T1502、EIZO 製) を使用し、解像度は 1024*768 に設定した。実験の刺激提示と入力した数字の記録には Visual Basic6.0 で作成したプログラムを使用した(図 3)。

実施条件を実験 1 のテンキーと近づけるため、縦横のボタンサイズとして 1 から 9 の数字ボタンは 765*795Twip、0 ボタンは 765*1755Twip、Enter ボタンは 1725*795Twip に設定した。実際に表示された画面上でのキーピッチは 19mm、ボタンサイズは 1 から 9 では 14*15mm、0 では 14*33mm、エンターキーでは 33*15mm であった。また、Microsoft のガイドラインより画面上で表示されたサイズを基準として 2mm 以上ボタン間の間隔を空けることが推奨されているため、間隔を 3mm に設定した。

条件 A 条件 B では、この仮想キーボード上にストレッチボードで作成したそれぞれの枠を取り付けて実験を行った。条件 A ではテンキーと同じ 4 列分のボタンが見える枠(図 4)を取り付け、条件 B ではテンキーの内、数字を入力する 3 列分のボタンが見える枠(図 5)を取り付けた。

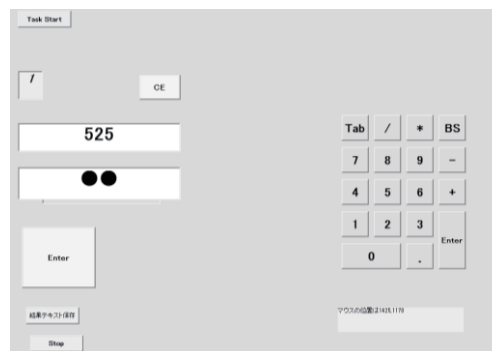


図 3 仮想キーボード

入力位置もテンキーでの入力状態に近づけるために画面を(図6)のように水平方向に設置した。この2条件のエラーを比較することで枠からの距離等の相対的な情報を利用しているのか、手を基準としてボタンのサイズやキーピッチを記憶しているのか検討することとした。普段テンキーを使用しているときの枠からの情報を利用している場合、条件Aで正解率が高くなり、手の深部感覚を基に位置を記憶している場合や左端からの距離を基準としている場合には条件A、条件Bともに正解率が高くなることが考えられる。

4. 実験手順

画面に表示された3桁の数字を10回入力するタスクを3条件で比較を行った。条件は前述の条件A、条件Bでは、見ることができないように箱状の覆いで隠した状態で行い、条件Cでは枠の取り付けは行わず見ながら操作を行える状態で行った。視覚からの影響を避けるために条件Cは条件A、条件Bの実施後に行うこととし、条件Aと条件Bは順序効果を相殺するために、実験参加者ごとに交互に配置した。また、各条件内での提示する3桁の数字も参加者ごとにランダムに配置した。実験1と同じく入力動作に影響を及ぼさないように右手は仮想キーボードでの数字の入力のみを行い、数字の入力ミスが発生しても訂正を行わずそのまま次の数字の入力をするように指示した。併せて、数字の訂正を行わないように画面には実験参加者が入力した数字は表示されず、入力した桁数のみが表示されるように設定した。一方、実験に使用しているタッチパネルの特性上、一度押しただけの数字が複数回押したように認識されることがあるため、同じ数字が複数回入力されても一回のみ入力されたものとして扱った。(例 122333 → 123)

こちらも実験1と同じく入力に使用する仮想キーボードの配列を覚える時間を各実験の前に15秒間設けた。

5. 結果と考察

図7、8、9はの各実験参加者が条件A、条件B、条件Cのタスク内でクリックした座標の平均で、エラーバーの交点は重心、各軸のエラーバーは標準偏差を表している。条件Aと条件Bの平均座標を比較するとx軸、y軸ともに有意差は見られな

った。一方、仮想キーボードでの入力結果を分析すると次のような傾向が表れた。

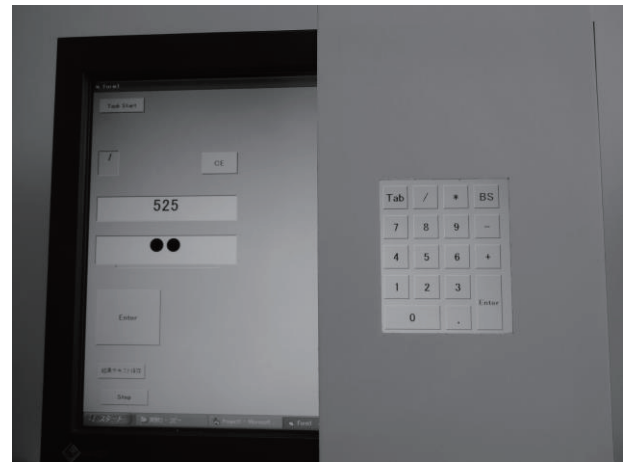


図4 条件A

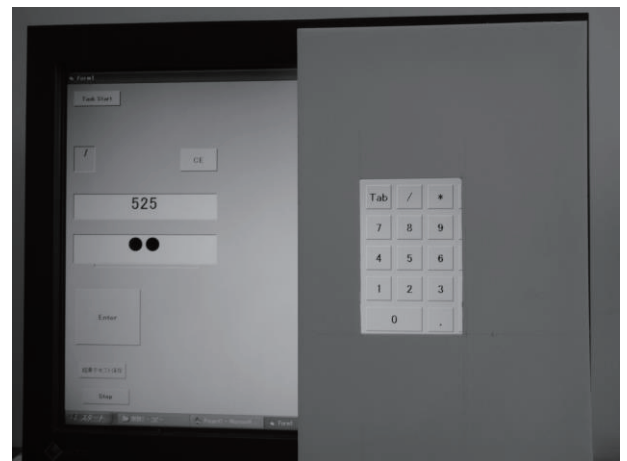


図5 条件B

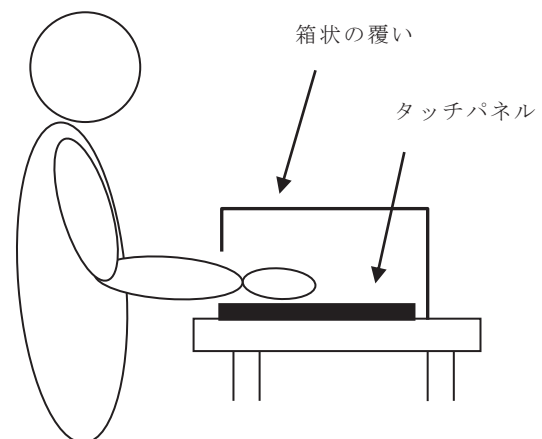


図6 実験の様子

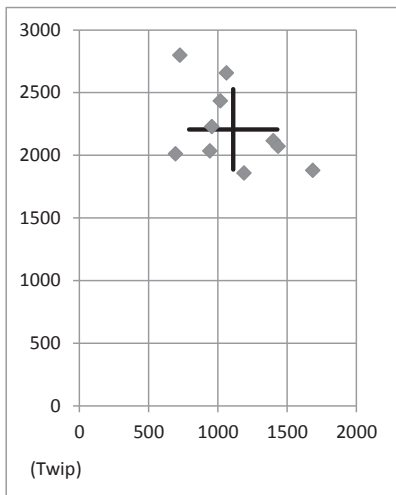


図 7 実験参加者毎の平均座標 (条件 A)

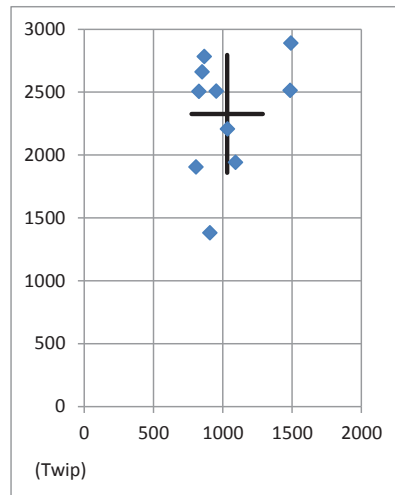


図 8 実験参加者毎の平均座標 (条件 B)

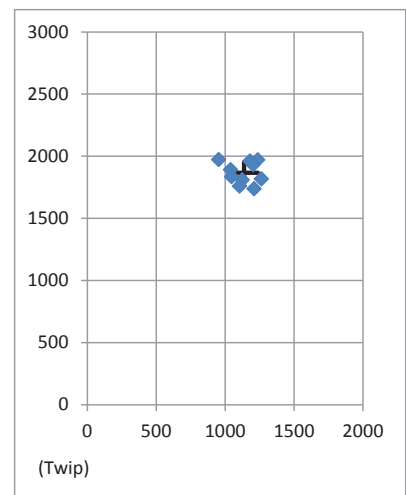


図 9 実験参加者毎の平均座標 (条件 C)

表 1 実験結果の例③ (条件 A)

提示した数字	入力した数字	縦方向エラー	横方向エラー
253	253		
625	625		
732	731		左
437	434		左
703	403	下	
525	555	上	
168	168		
837	837		
470	470		
410	110		

表 2 実験結果の例③ (条件 B)

提示した数字	入力した数字	縦方向エラー	横方向エラー
253	252		左
732	400	下	左
437	124	下	左
625	211	下	左
703	4022	下	左
525	111	下	左
837	124	下	左
470	140	下	
168	124	下	左
410	110	下	

設問ごとに縦方向、横方向で表れたエラーの向きを記載している。

x 軸では、同一条件内においてエラーがある場合、実験参加者ごとに同じ方向へのエラーを起こす傾向であることが分かった。また、条件 A、条件 B でその内容を比較するといくつかのパターンがあり、実験参加者 10 名のパターンを分類すると次のようになる。①条件に関らず同じようなエラーを起こす傾向が 4 名、②条件 A と条件 B を比較すると条件 A の方が右側のボタンを押す傾向が 2 名、③条件 B の方がより左側のボタンを押す傾向が 3 名、④条件 A においてより左側のボタンを押す傾向が 1 名確認された。表 1、表 2 は同一実験参加者

による入力結果とその分析の例で、③のパターンの条件 A と条件 B の例である。③では条件 A において横方向のエラーは 2 文字のみでほとんど正確に入力できているが、条件 B では 15 文字において右側へのエラーとなっている。

y 軸では、同一条件内においてエラーがある場合、実験参加者ごとに同じ方向へのエラーの傾向があり後述の座標の分析から上方向へのエラーが多い傾向であることが分かった。

見ながら入力することができる条件 C では、全実験参加者においてほとんどエラーは見られなか

った。

条件 C と条件 A、条件 B を比較すると、x 軸では有意な傾向は認められなかったが、y 軸で有意差が認められた (いずれも $p < 0.01$)。x 軸で有意な傾向が見られなかったのは、条件 A、条件 B において x 軸のエラーの傾向が複数あったためと考えられる。

以上の結果より縦方向と横方向では異なるエラー傾向が見られた。その要因として、x 軸においては、取り付けた枠を頼りにポインティングを行ったため、条件 A にて横方向のポインティングが正確な実験参加者ではテンキーと同じ 4 列分の幅をもとに位置を記憶しているため、条件 B にて横方向のポインティングが正確な実験参加者ではテンキーの中の数字で使う 3 列分のみ幅をもとに位置を記憶していたためと考えられる。また、条件に限らず横方向のポインティングが正確な実験参加者は枠に関係なくボタンの位置を記憶していたか、左端からボタンまでの距離を記憶していたか、と考えられる。その場合、横方向の位置記憶において深部感覚が有効に機能していたと考えられる。y 軸においてはポインティング座標の有意差が表れている一方でエラーの傾向では同一方向になるなど一定の傾向が表れている。指の深部感覚のみでのポインティングの難しさを表している可能性がある一方、エラー傾向が同一であることからポインティングの基準となる刺激を与えることでより正確なポインティングが可能になると考えられる。また、横方向に比べて縦方向では上端と下端の枠の距離が長いこともポインティングの難しさに影響を与えていたと考えられる。

V まとめ

実験 1 より、テンキーでの入力を視覚ありと触覚のみで比較した場合、視覚依存度の高さが改めて確認された一方で皮膚感覚がポインティング動作において重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

次に実験 2 より、触覚のみの状態でタッチパネル上の仮想キーボードを使用し、異なる枠を取り付けた場合、実験参加者によってはエラーの傾向に影響があることから、画面などのインタフェース周辺に適切な手掛かりを与えることでより正確なポインティングが可能になると考えられる。また、深部感覚もポインティングに有効に機能し

ていると示唆された。

これらの結果より体性感覚情報を適切に付与することで視覚負担の緩和が可能であることが本研究を通して示唆された。従来であれば QWERTY キーボードの F や J、テンキーの 5 の上に・やーが付与されているが、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取り付けることにより効果が期待できる。前述⁸⁾の ATM 周辺の手掛かり付与を応用することで視覚への負担軽減へとつなげることが可能であると考えられる。

エラーの傾向等から深部感覚の利用には複数のパターンがあることが示唆された。今後の課題として、例数を更に増やし、その要因をより詳細に検討するとともに、それらのパターンをもとにどのような体性感覚情報が適切であるか検討する必要がある。

参考文献

- 1) 東京工芸大学: 東京工芸大学, ナチュラルユーザインタフェースに関する調査, <http://www.t-kougei.ac.jp/static/file/nui.pdf>, 2014 年 8 月 19 日閲覧
- 2) JR 西日本安全研究所: 6 操作しやすい運転台の開発 <https://www.westjr.co.jp/safety/labs/result/pdf/report06/06.pdf>, 2014 年 8 月 19 日閲覧
- 3) 東京地下鉄株式会社: 地下鉄をより分かりやすく快適に～デジタルサイネージを活用したご案内 第二弾～ホーム上及び改札口付近にタッチパネル式デジタルサイネージを試験設置します!, http://www.tokyo-metro.jp/news/2014/pdf/metroNews20140312_11d203.pdf, 2014 年 8 月 19 日閲覧
- 4) 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, **48** (特別号), 110-111, (2012)
- 5) 岡田明: モバイル機器操作における体性感覚フィードバックの有用性, モバイル 14' 研究論文集, 11-12, (2014)
- 6) 天野貴之, 郷健太郎: タッチスクリーン用ソフトウェアキーボードへの物理的手がかりの付与, 情報処理学会全国大会講演論文集, **2011** (1), 313-315 (2011)
- 7) Malte Weiss, Julie Wagner, Yvonne Jansen, Roger Jennings, Ramsin Khoshabeh, James D. Hollan, Jan Borchers: SLAP Widgets: Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops, CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 481-490, (2009)
- 8) 赤津裕子, 三樹弘之: ATM 人間生活工学, **13** (2), 21-26 (2012)

- 9) 大島繁夫, 高橋周作, 笠井健: 体性感覚で獲得された空間的位置記憶の記憶特性, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, **99**(138), 31-38 (1999)
- 10) 川副智行: ウェアラブル触動作センシングシステム「Haptic Skill Logger」の開発, 人間生活工学, **13**(1), 15-19 (2012)
- 11) 仲谷正史, 川副智行: 感触の感性評価ツール: ウェアラブル触動作センサ HapLog, 日本ロボット学会誌 **30**(5), 499-501, (2012)
- 12) 古木健悦, 菊地淑晃: らくらくスマートフォン商品化への取組み, Fujitsu, **63**(5), 548-554 (2012)
- 注
1) 実際の操作時には手指の向きが動くため、座標軸内の向きとセンサの値の向きは一致しないことがある。

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

永井 正太郎, 岡田 明, 山下 久仁子

要旨: キーボードの入力操作時のポインティングにおいて、どのように体性感覚情報が利用されているのか基礎的な実験を通して検討を行った。実験 1 では、学生 10 名の実験参加者にテンキーを用いて 3 桁の数字を 10 回入力するタスクを、視覚ありと触覚のみの 2 条件で課し、エラー内容と第 2 指の接触力、絶対加速度、x,y,z 軸加速度の比較を行った。次に、実験 2 では、学生 10 名の学生参加者に対しタッチパネル上の仮想キーボードを用いて 3 桁の数字を 10 回入力するタスクを、視覚ありの 1 条件と触覚のみの 2 条件で課し、エラー内容とタッチしたポイント座標の比較を行った。これら 2 つの実験の結果より、ポインティングにおいて視覚への依存度が高いものの、テンキーでは皮膚感覚、タッチパネルでは深部感覚の情報がより大きく関わっていることが示唆された。また、従来から取り付けられているインタフェース上の物理的手がかりだけでなく、画面などのインタフェース周辺への物理的手がかりの付与が正確なポインティングを促す可能性が示された。