

Amazing Forearm: テーブルトップ型ディスプレイにおける前腕の活用

佐藤健^{†1} 足立隆将^{†1} 柴田史久^{†1} 木村朝子^{†1}

概要: 本稿では、テーブルトップ型ディスプレイのようなダイレクトインプットサーフェスにおける前腕（腕の肘から手首までの部分）を積極的に活用したインタクションを提案する。まず、前腕に適したインタクションを設計するために、卓上作業で前腕がどのように使われているのかを観察した。その観察結果から、本研究では前腕を活用したインタクションとしてストレージ、衝突、範囲指定の3種類のインタクションを提案する。また、テーブルトップ型ディスプレイで一般的に利用されるインタクション手法と比較する実験を行い、提案したインタクションの特性を確認する。

Amazing Forearm: An Innovative Use of Forearms on Tabletop Displays

KEN SATO^{†1} TAKAMASA ADACHI^{†1} FUMIHISA SHIBATA^{†1}
ASAKO KIMURA^{†1}

Abstract: This paper proposes interaction techniques using the forearm (the part of the arm between the elbow and the hand) on tabletop displays. In order to design interaction techniques suitable for using the forearm, we observed the activity of the forearm during desk work. From the observation, we propose three interaction techniques which utilize forearms as storage, broom or wall to move or stop items and to specify an area. To show the usefulness of the interaction techniques we propose, we conducted an user study which compared the interaction techniques that we propose with common interaction techniques.

1. はじめに

テーブルトップ型ディスプレイに対するインタクション手法は、これまでに数多く提案されているが、その多くは手や指によるタッチジェスチャを用いたものやペン、ノブ、ボタンのような対話デバイスを用いたものであった。これらのタッチジェスチャ、対話デバイスによる操作は共に、操作対象に対する動作や利用する道具に着目し、それらの特徴を電子作業へ応用したインタクション手法である。これに対して本研究では、普段の卓上での作業全般に見られる前腕を卓上に置く動作に着目し、これを積極的に活用したインタクションを提案する（図1）。これまで、テーブルトップ型ディスプレイのインタクションにおいて、前腕は、見せたいデータを隠蔽してしまう、手指のジェスチャ認識時に誤操作を招くといったマイナスの存在として扱われてきた。これに対して、本研究ではその前腕をインタクションに積極活用する点に新規性がある。なお、本稿では腕の肘から手首までの部分を前腕と呼称する。

本稿では、まず2章で関連研究に対する本研究の位置づけを行い、3章で前腕を活用するインタクションを設計するために、卓上作業で前腕がどのように置かれているか、また利用されているかを観察・分析する。4章では、観察

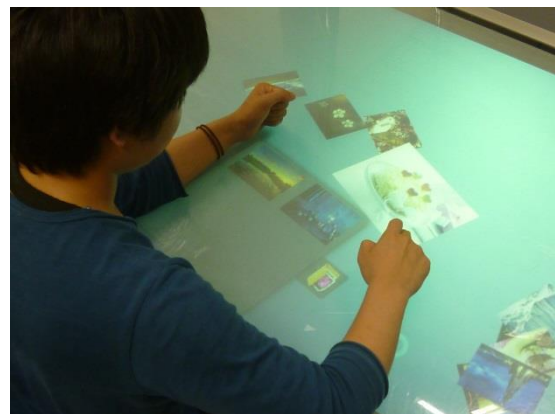


図1 前腕を活用したインタクション

Figure 1 Examples of proposed interactions: user's forearm can be used for data storage

実験の結果から3つの活用方法を提案する。5章では、提案・実装したインタクションの特性を確認する実験を行い、その結果について考察する。

2. 関連研究

テーブルトップ型ディスプレイに対するインタクション手法としては、手や指を用いた方法が数多く提案されてきた [1-11]。Wu ら [1] は実世界における手の動作に着目し、複数の指先や手全体を使ったジェスチャ操作を実現

^{†1} 立命館大学
Ritsumeikan University

している。Wilson ら [2] は、実世界で行う動作でデータを操作する手法を提案している。この研究では、オブジェクトを実世界と同様の感覚で操作することができるように、卓上との接触パターンに応じた操作を実現した。また、最近では音を使ったインタラクション手法も提案されている。Lopes ら [3] は、指や爪、拳など手の様々な部分をディスプレイでタップした際の音の違いを識別し、インタラクションとして利用する手法を提案している。

また、対話デバイスを用いる方法も数多く提案されている [8, 13-18]。実世界で実物に触れる感覚で情報やデータを操作することができるタンジブルな対話デバイスとして、Weiss らの SLAP Widgets [13] は、シリコンやアクリルで作成されたスライダ、ノブ、スイッチなどを卓上に置き、これらを物理的に動かすことでメニューの切り替えや値の調整操作を実現している。Hinckley らの Pen+Touch [8] では、ペン型の対話デバイスを導入し、ペンを把持していない方の手の動作をジェスチャ操作として取り入れ、ペン型の対話デバイスとジェスチャ操作を組み合わせたインタラクションを提案している。

一方、前腕を利用するインタラクションの例は少ない [19-23]。Rekimoto ら [19] は、テーブルトップ型ディスプレイにおいて手や腕を使った実世界の操作を忠実に再現している。この研究では、腕全体を使ってデータをかき集めるといった操作を実現している。本研究では、腕とデータの衝突を利用した操作だけでなく、ストレージとして活用する点に新規性がある。腕を壁として利用するだけでなく、データを格納する箱として利用するという2つのメタファでの操作が可能である。Vogel ら [20] はペン型デバイスを把持している前腕によって隠蔽される領域をモデル化し、前腕によって隠蔽されたデータを適切な位置に再提示する手法を提案している。しかし、テーブルトップ型ディスプレイで前腕を扱う研究のほとんどが、前腕によってデータが隠蔽されるといったオクルージョンの問題を対象としている。一方、本研究では、見せたいデータを隠蔽してしまう、手指のジェスチャ認識時に誤操作を招くといった、これまでマイナスの存在として扱われてきた前腕を、インタラクションに積極的に活用する点に新規性がある。Tang らの Three's Company [22] では、同一の作業領域を共有する複数台のテーブルトップ型ディスプレイによって構成される協調作業において、前腕によるオクルージョンの領域を影として互いの卓上面に表示し、作業を支援する手法を提案している。これらの研究では、インタラクションにおいて前腕によるオクルージョンをユーザからの入力として利用しているが、前腕をインタラクション自体に積極的に活用しているわけではない。

テーブルトップ型ディスプレイ以外を対象としたインタラクションでは、前腕を活用した研究がいくつか存在する [24-28]。Harrison らの OmniTouch [24] では、深度セン

サとプロジェクタを利用するウェアラブルシステムを提案し、身体に装着した小型のプロジェクタから前腕にメニューを投影、指で直接入力操作を行うといったインタラクションを実現している。この研究は、前腕を含むあらゆるサーフェスを操作面として活用することに焦点を置いている。この研究とは対照的に、本研究では前腕とテーブル型ディスプレイの関連性に焦点を置く。

我々は、普段の卓上での作業全般に見られる前腕を卓上に置く動作に着目し、これをテーブルトップ型ディスプレイへのインタラクションとして積極的に活用する方法を提案する。

3. 観察実験

書類の閲覧、道具の利用といった、実世界で椅子に座って行う卓上作業を実際に観察し、この動作から卓上作業において前腕がどのように使われているのかを分析する。観察・分析は、特に次の2点に注目して実施した。

- ・前腕を卓上に置く動作がどの程度見られるか
- ・どのような状況・目的で前腕を卓上に置くのか

3.1 観察内容

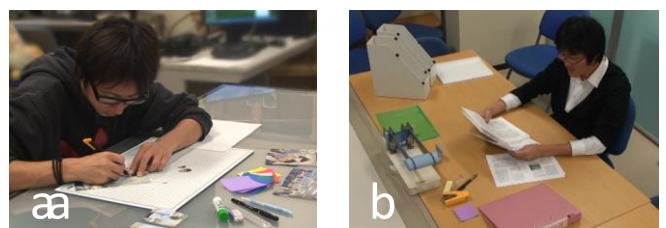
観察実験では、以下の2種類の作業を実施させた(図2)。

- ・作業1: ペンやはさみなどの道具を用いて写真を加工し、フォトアルバムを作成(図2(a))
- ・作業2: 複数の資料を読み、実験者に指定された条件に該当する書類を分類(図2(b))

なお、各実験の被験者数は作業1が7名、作業2が4名の計11名である。また、実験に際して、被験者には作業内容のみを伝えた。

3.2 観察結果

(1) 作業中、被験者が作業の進め方を考えている際に卓上に前腕を置くことが多かった。また、実験を開始する前に実験者が被験者に対して作業内容を説明している際に被験者が前腕を卓上に置きながら説明を聞く様子が見られた。この時点では、被験者は特に作業を行っておらず前腕を置



(a) フォトアルバムを作成する作業 (b) 書類を読み分類する作業

図2 観察実験

Figure2 Design study using forearms: (a) participants asked to create a photo album using photographs and stationery, (b) participants asked to read several documents and classify

いていた。

(2) 卓上にある道具や写真を前腕で払い退けるといった動作が見られた。これは、作業で不要になっているものが複数ある場合に、それらをひとつひとつ手で把持して移動させるのではなく、一度に全てを移動させるために広い接触面を持つ前腕を使ったと考えられる。

(3) 全ての被験者が、資料を読む、作業対象を眺める際に両前腕で囲まれた領域を作業領域としていた。これは、両前腕で囲まれた領域は被験者にとって注視しやすい領域だからだと考えられる。

また、観察の結果、全体を通して卓上での作業中に前腕を頻繁に置く様子がよく見られた。

3.3 前腕を活用するインタラクションの提案

観察結果から、前腕を活用するインタラクションとして以下の3つを提案する。

結果 (1) より、卓上において前腕はユーザに比較的近い場所に置かれていることが多い。このことから、卓上に置いた前腕を、頻繁にアクセスするデータストレージとして利用するインタラクションを提案する。

結果 (2) より、前腕とディスプレイに表示されたデータとの衝突を活用し、前腕をほうき、または障壁のように利用する。例えば、前腕で払うようにデータを移動、移動しているデータを前腕に衝突させることで静止するインタラクションを提案する。

結果 (3) において、ユーザが両前腕を卓上に置く動作は、体を支える目的以外に、両前腕で囲まれた領域を作業領域とする被験者が多い。このことから、意図的にある領域を

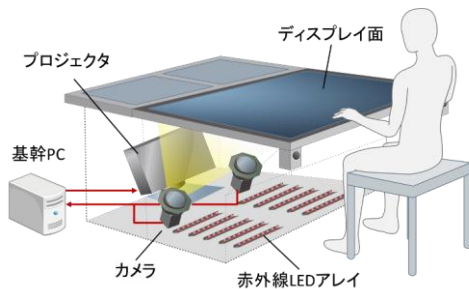


図3 システム構成

Figure 3 System configuration

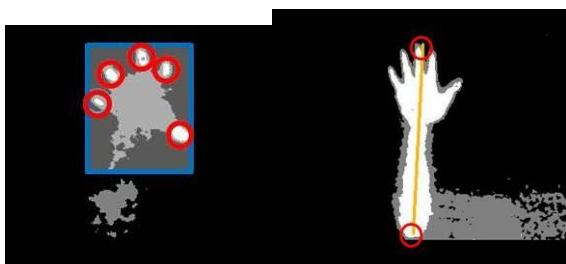


図4 指先(左)と前腕(右)の検出

Figure 4 Detection of finger-tip and forearm

両前腕で囲むことで範囲の指定を行い、指定範囲内にあるデータを操作の対象とするインタラクションを提案する。

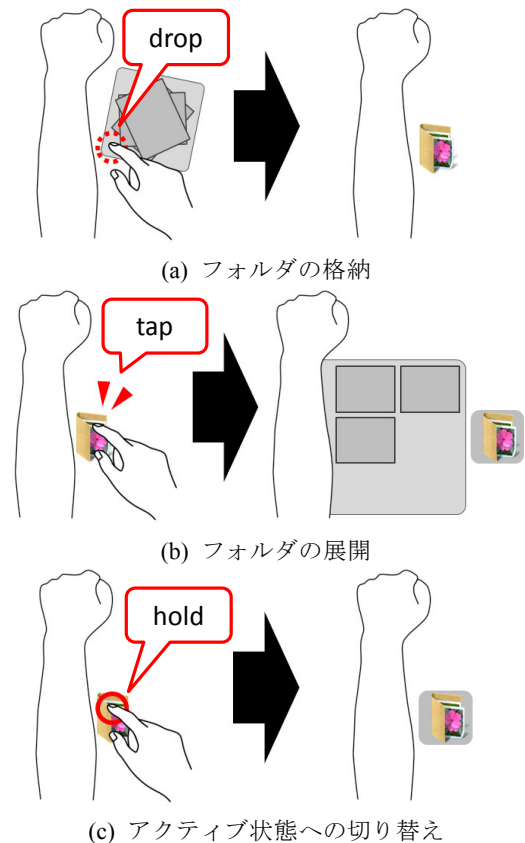
4. システム構成

図3にシステム構成を示す。テーブル内部は、映像を投影するプロジェクタ(日立製作所製 CP-A100J)と卓上面に接触する物体を撮影するための複数の赤外線LEDを組合せたアレイ、赤外線透過フィルタが装着された2台のカメラ(SONY製 XC-E150)で構成される。椅子に着座した際にテーブルの下に足を入れて操作できるよう、赤外線LEDとカメラは卓上表面に対して斜めに設置している。卓上表面に手や腕が接触すると、接触点で赤外光が反射し白い影としてカメラに写る(図4)。2台のカメラから得られる画像を統合し、処理することで、テーブル全体から指の領域、腕の領域を検出している。卓上の表示は机に内蔵されたプロジェクタによってリアプロジェクションを行っている。表示領域の大きさは1520×820[mm]である。

5. インタラクション

5.1 ストレージ機能

卓上に置いた前腕を、データを格納することができるストレージとして利用する。ストレージは、写真や書類、動画といったデータを、あらかじめ前腕に格納したフォルダを介して格納するインタラクションである。図5にストレ



(a) フォルダの格納

(b) フォルダの展開

(c) アクティブ状態への切り替え

図5 ストレージ

Figure 5 Data storage

ージ機能の操作を示す。

【前腕への格納】

任意のフォルダを卓上に置いた前腕付近にドラッグ&ドロップすることで、フォルダを前腕に格納する(図5(a))。

格納とは逆の手順で、前腕からフォルダを取り除く。また、複数のフォルダを格納したり、左右の前腕にフォルダを格納し、前腕を使い分けたりといった利用方法も可能である。

【フォルダの使用】

前腕を卓上に置くことによって前腕に沿ってフォルダアイコンが表示され、アイコンをタップすることで前腕内からウィンドウが引き出される(図5(b))。この際、前腕の置く向きに応じてウィンドウが表示される。このウィンドウが1つのストレージを表す。また、複数のフォルダを前腕に格納している場合、別のアイコンをタップすることで、ウィンドウを切り替える。同じアイコンを再度タップするか、前腕を卓上から離すことでウィンドウを閉じる。

【データの格納】

データをウィンドウ内にドラッグ&ドロップするか、アイコン上にドラッグ&ドロップすることで、データをストレージに格納する。

【アクティブ状態への切り替え】

このモードは後述するインタラクションにおいて使用する。卓上に置いた前腕に沿って表示されるフォルダア

イコンに対して一定時間以上の長押しを行うことで、そのストレージをアクティブ状態にする(図5(c))。また、アイコンをもう一度タップすることでアクティブ状態を解除する。

5.2 衝突

前腕をほうき、または障壁のように利用するインタラクションである。このインタラクションは、前腕でデータを払うように移動させ、移動しているデータは前腕に衝突することで静止する。これは、次世界の卓上作業において、前腕と卓上の物体が接触する事実に基づいている。図6に衝突の操作を示す。

【衝突移動】

図6(a)は、散乱している複数のデータに対して前腕の払う動作で一度に移動させている。このインタラクションは、作業領域に不要なデータが複数散乱している際に、それらを一掃する際に利用する。

【衝突静止】

図6(b)では、卓上に静止して置かれている前腕に、移動しているデータが衝突した場合に、その位置でデータを静止させる。このインタラクションは、離れた場所に表示されているデータをドラッグすることなく、単にフリックを行うだけで前腕が置かれている場所までそのデータを移動させる。

【衝突を利用したデータの格納】

図6(c)はデータを前腕に格納するためのインタラクションである。本研究では、2つのデータ格納方法を実装した。1つ目は、卓上にある格納したいデータを払う、または掻き集めるように前腕を動かすことで、前腕と衝突した全てのデータをアクティブ状態にしたストレージへ格納する方法である。このインタラクションを利用することで、1回の動作で複数のデータを格納する。2つ目は前腕に向けてデータをフリックして、前腕と衝突したデータをアクティブ状態にしたストレージへ格納する方法である。このインタラクションを利用することで、ストレージから離れた場所に表示されているデータをドラッグ&ドロップすることなく格納する。

5.3 範囲指定

両前腕を範囲の指定に使用する。両前腕を卓上に置いた際、両前腕で囲まれた範囲をデータの整列やデータの格納といったインタラクションに利用する。図7に範囲指定の操作を示す。

【範囲指定のジェスチャ】

範囲指定を行うジェスチャには、卓上に両前腕を置き、先に置いた前腕に向かって、後に置いた前腕を一定距離近づけるといふ一連の動作を採用している。このような2段階のジェスチャを採用した理由は、両前腕を卓上に置くという動作は、卓上作業において自然に行われる動作であるため、単に両前腕を置いた場合と、範囲指定を行いたい場

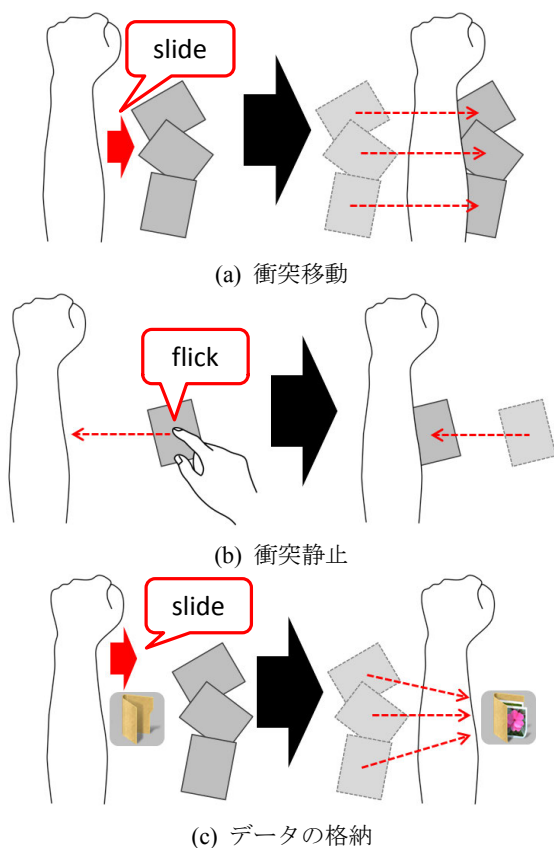


図6 衝突

Figure 6 Broom and obstacle

合を明確に区別し、両前腕を卓上に置いただけでは範囲指定のジェスチャと誤判別しないようにする必要があると考えたためである。

【範囲指定を利用した整理】

両前腕で囲まれた領域を指定範囲とし、この範囲内のデータに対して整理を行う。例えば、図7(a)のようにテーブルトップ型ディスプレイ上に複数のデータが散乱している際に、それらを囲むように両前腕で範囲を指定することで、範囲内に存在するデータの大きさ・向きを整え、整列させる。

【データ格納】

ストレージアイコンがアクティブな状態で、卓上にある格納したいデータを両前腕で囲み、範囲指定ジェスチャを行うと、指定範囲内に存在する全てのデータが前腕のストレージへ格納される(図7(b))。

これらのインタラクションを組み合わせてすることで、例えば、たくさんのデータの分類作業の補助として利用することができる。また、ユーザが無意識に前腕を置いた際に前腕によるインタラクションが数秒間なかった場合、前腕の操作を無効にすることでユーザの意図しない操作を防ぐことができる。

6. 比較実験

6.1 目的

テーブルトップ型ディスプレイにおける前腕を活用したインタラクションの特徴を確認する実験を行う。提案したインタラクションの中でも、衝突と範囲指定は、あらゆる状況において常に有効利用できるインタラクションではないと考えられる。そのため、テーブルトップ型ディスプレイにおけるデータを移動・選択する利用状況を想定した2種類の実験において、テーブルトップ型ディスプレイにおける一般的なインタラクション手法と比較することで、

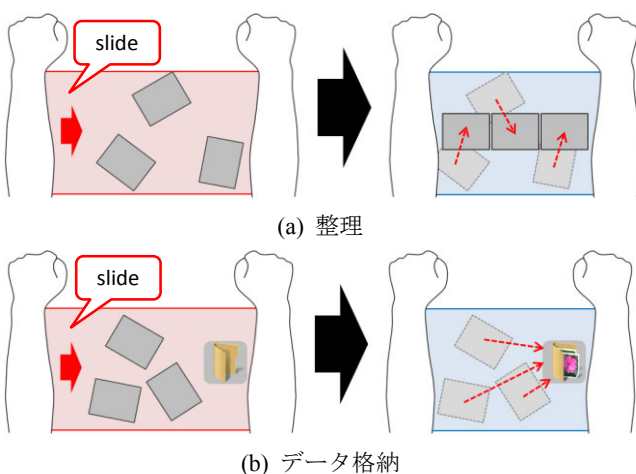


図7 範囲指定

Figure 7 Area specification using both forearms

これらのインタラクションに適した利用状況を確認する。

6.2 実験環境

実験では、タッチ検出、前腕の位置の検出を Vicon モーションキャプチャシステムによって行うことにした。4章で説明した卓上接触によるシステムで実験を実施することも可能ではあったが、入力操作の誤認識が実験結果へ与える影響を最小限とするため、実験ではインタラクションの認識精度が非常に高いモーションキャプチャシステムを採用した。前腕・指に装着したマーカを9台のカメラでトラッキングすることで、前腕・指の位置を推定する。

実験は、タッチインタフェースの使用経験を持つ20代の男女8名に対して行った。

6.3 実験1

データを端によけて作業領域を確保したり、手元にデータを集めたりといった、データを移動させる状況を想定し、前腕とデータの衝突を利用した衝突移動、衝突静止のインタラクションの特性を確認する。

6.3.1 内容

テーブルトップ型ディスプレイ上に画像(8cm×4cm)を10枚表示し、被験者に、表示した全ての画像を指定エリアに移動させる。提案したインタラクションは、ユーザがテーブルトップ型ディスプレイの前方に座り、前腕の届く範囲にあるデータに対して行うことを想定している。そのため、被験者はテーブルトップ型ディスプレイの中心前方に配置された可動式の椅子に座った状態で実験を行う。なお、必要に応じて立って作業することも許可する。また、テーブルの手前から半分のエリアを幅760[mm]、奥行き205[mm]毎に4つのエリアに分割し、画像を移動させる位置の目安として目印を表示する(図8)。画像は、各エリア内にランダムに配置する。被験者は、以下の4種類の移動方法を体験する。

- (a) ドラッグ：指を使ってデータを一つずつ移動
 - (b) 手のひら：手のひらを使って一つ、または複数のデータを移動
 - (c) 衝突静止：指や手でデータをフリックし、前腕にぶつけて止める
 - (d) 衝突移動：前腕で複数データを集めるように移動
- また、各移動方法に関して、以下の項目を評価する。

【評価項目】

- ・ 正確性 (画像を正確に移動できたか)
- ・ 効率性 (画像を効率的に移動できたか)
- ・ 好感度 (積極的に使いたいと感じたか)
- ・ 疲労感 (画像を移動する際、疲労を感じたか)

評価項目は、アンケート方式で1~5の5段階(1:悪, 5:良)で比較する。また、各移動方法で作業にかかった時間を計測する。移動方法の体験順序はランダムとする。

6.3.2 実験手順

以下に実験の手順を示す。

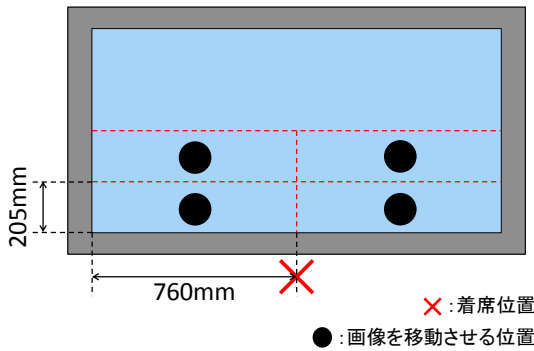


図8 テーブル分割と着席・画像を移動させる位置

Figure 8 The tabletop is divided into four areas. Black circles represent the areas to move the cards to

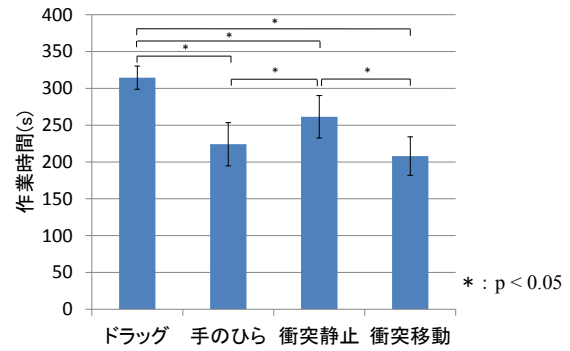
- (1) 被験者を椅子に着座させる
- (2) 画像を1つのエリアに表示
- (3) 実験者が画像を移動させるエリアを指定
- (4) 被験者は、指定エリアまで画像を移動させる
- (5) 手順2~4を12試行(4エリア×3試行)繰り返す
- (6) 手順1~5を4つの移動方法に対してランダムな順番で実施
- (7) 評価とコメントを聴取

6.3.3 結果

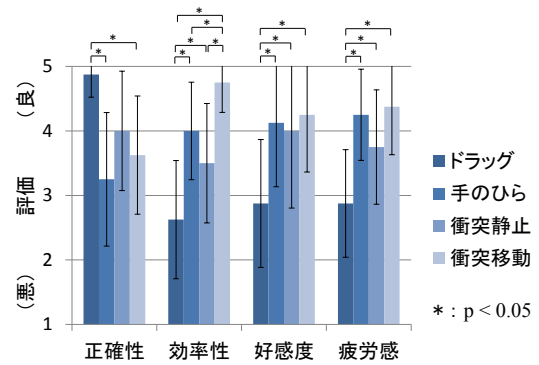
実験1の結果を図9に示す。各移動方法について実験手順(2)~(5)でかかった作業時間の全被験者の平均と標準偏差を図9(a)に示す。縦軸は作業時間の平均を、横軸は移動方法を表している。また、主観評価の全被験者の平均と標準偏差を図9(b)に示す。縦軸は主観評価の平均を、横軸は各比較項目を表している。作業時間と主観評価の結果に対して、それぞれフリードマン検定とウィルコクソンの符号順位和検定を用いて、有意差検定を行った。

実験1の結果より、作業時間の短い移動方法(衝突移動、手のひら)が、効率性、好感度、疲労感において評価が高い傾向にあった。特に衝突移動は、正確性を除く全ての項目で高い評価を得る結果となった。効率性について、全ての被験者から「1回の動作で、多くの画像を移動できるため、便利である」との意見が得られ、全ての移動方法に対して有意差が見られた。一方、正確性については、指定エリアまで移動可能であるが、細かい位置に移動できないため、他の移動方法と比べて劣る結果となった。

衝突静止に関しては、4人の被験者から「画像を1枚ずつ操作するため、正確に移動ができた」という肯定的な意見が得られた。また、効率性については、被験者によって意見が分かれる結果となった。3名の被験者から「小さい動作で移動できるため効率が良い」という肯定的な意見が得られ、2名の被験者から「画像を1枚ずつしか操作できないため、効率が悪い」という否定的な意見が得られた。また、疲労感についても同様に、5名の被験者から「動作が小さいため疲労感が少ない」という肯定的な意見が得ら



(a) 作業時間



(b) 5段階評価

図9 実験1の結果

Figure 9 Result of task1

れ、2名の被験者から「1枚ずつしか移動できないため、疲労感がある」という否定的な意見が得られた。これらは、被験者によって効率性や疲労感を感じる要因が違うため、意見が分かれたと考えられる。

6.4 実験2

複数のデータを選択する状況を想定し、前腕を活用した範囲指定インタラクションの特性を確認する。

6.4.1 内容

被験者は実験1と同様、テーブルトップ型ディスプレイの中心位置の前方に配置された可動式の椅子に座った状態で実験を行う。ディスプレイ上に色の付いた画像(8cm×4cm)を表示し、被験者は指定された色の画像を選択状態にする。また、選択する画像に関して2つの条件に分ける。以下に実験2の条件を示す(図10)。

実験2A: 被験者の近くに10枚の画像を密集した状態で配置し、全ての画像を選択状態にさせる(図10(a))

実験2B: 被験者の近くに黒色と赤色の画像を密集した状態で10枚ずつ配置し、指定された色の画像を選択状態にさせる(図10(b))。

被験者は以下の3種類の選択方法を体験する。

- (a) タップ: 指で選択したい画像を順にタップする
- (b) 一筆書き: 指で選択したい画像を順になぞる

(c) 前腕による範囲指定：両腕で選択したい画像を囲む
 選択状態の画像をタップすることで、選択状態を解除する
 ことができる。また、画像以外のスペースをタップすること
 で、選択状態を全て解除することができる。体験終了後、
 選択方法に関して、以下の項目を評価する。

【評価項目】

- ・ 正確性：画像を正確に移動できたか
- ・ 効率性：画像を効率的に移動できたか
- ・ 好感度：積極的に使いたいと感じたか
- ・ 疲労感：画像を移動する際、疲労を感じたか

なお、評価項目はアンケート方式で1~5の5段階(1: 悪,
 5:良)で評価する。また、各選択方法で作業にかかった時
 間を計測する。選択方法の体験順序はランダムとする。

6.4.2 実験手順

以下に実験の手順を示す。

- (1) 被験者を椅子に着座させる
- (2) 画像を1つのエリアに表示する
- (3) 実験者が画像を移動させるエリアを指定する
- (4) 被験者は、指定エリアまで画像を移動させる
- (5) 手順2~4を12試行(4エリア×3試行)繰り返す
- (6) 手順1~5を4つの移動方法に対してランダムな順番
 で実施する

6.4.3 結果

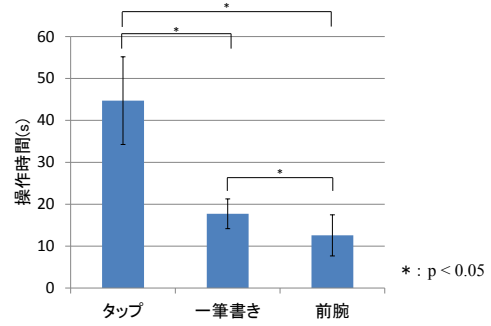
実験2Aと2Bの結果を図11と図12に示す。両実験とも
 に、作業時間の短い選択方法(前腕、一筆書き)が、正確
 性を除く全ての評価項目において評価が高い傾向にあった。

図11より前腕による範囲指定が、最も作業時間の短い結
 果となり、タップと一筆書きに対して有意差が見られた。
 また、7名の被験者から、効率性と疲労感に関して「少な
 い動作で複数の画像を選択できるため効率的だった」、「両
 前腕を置くだけであるため、楽である」という意見が得ら
 れた。一方、実験1同様、正確性においては、画像を1枚
 ずつ操作する選択方法が高い評価を得る結果となった。前
 腕で範囲指定を行った場合、範囲外にある画像は選択され
 ないため、正確性に影響が出たと考えられる。

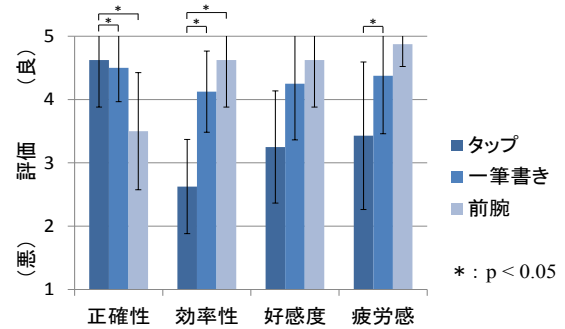
図12より、一筆書きが最も作業時間の短い結果となり、
 正確性を除いた全ての評価項目で高い評価を得た。その理
 由として、指定画像とそれ以外の画像が密集した場合でも、
 指定外の画像を避けて選択できるからだと考えられる。一
 方、前腕による範囲指定は、4名の被験者から「指定外の
 画像を除ける作業が煩わしい」という否定的な意見を得た
 が、その他の被験者からは肯定的な意見を得た。

7. 考察

全ての評価実験を通して、多くの被験者が卓上に前腕を
 置く、離す、スライドするといった動作を自然に行い、提
 案したインタラクションを操作できたという意見を得た。



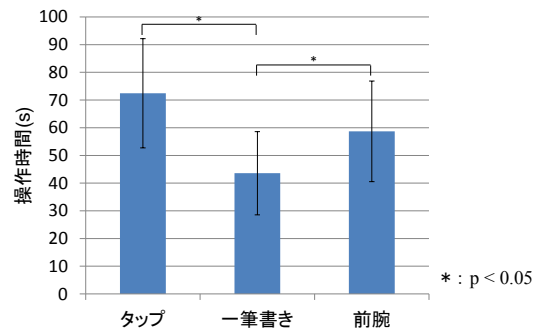
(a) 作業時間



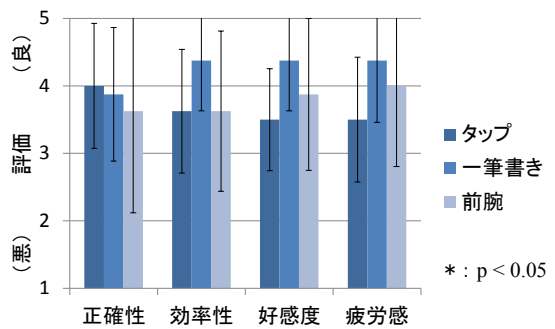
(b) 5段階評価

図11 実験2Aの結果

Figure 11 Result of task2A



(a) 作業時間



(b) 5段階評価

図12 実験2Bの結果

Figure 12 Result of task2B

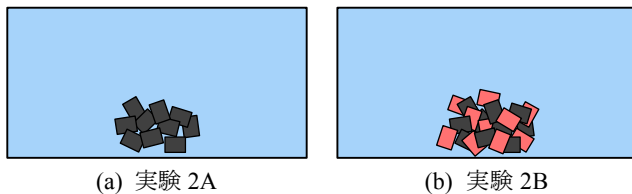


図 10 実験 2 条件

Figure 10 The cases used in task 2

実験 1 において、衝突移動は正確性を除いた全ての評価項目において高い評価を得た。そのため、手元の作業領域を確保するために、大雑把に複数の画像を作業領域外に移動させるといった状況では、衝突移動を有効に活用することができると考えられる。一方、衝突静止は、正確性において高い評価を得たが、効率性において低い評価を得た。しかし、手元に必要な画像を 1, 2 枚だけ移動させるといった状況においては、「衝突静止」は有効に活用することができると考えられる。以上の結果より、衝突のインタラクションは、データを移動する場合における 1 つの選択肢として、ユーザが状況によって使い分けることによって有効に利用可能であると考えられる。

実験 2A では、前腕による範囲指定が、作業時間が最も短くなり、正確性を除く全ての評価項目において高い評価を得た。このことから、前腕による範囲指定はユーザの前腕の届く範囲にあるデータをまとめて操作したい状況で有効に利用できると考えられる。実験 2B では、一筆書きが、作業時間が最も短くなり、全ての評価項目で高い評価を得る結果となった。一方、前腕による範囲指定は好感度、疲労感において高い評価を得たが、一筆書きには劣る結果となった。しかし、オブジェクトを除ける動作を煩わしいと感じないユーザは、このような状況においても前腕による範囲指定が有用であると確認できた。

提案した前腕を活用したインタラクションを評価するために、テーブルトップ型ディスプレイにおけるデータを移動・選択する利用状況を想定した実験を行った。その結果、ユーザの好みにもよるが多くのユーザから提案するインタラクションに対して概ね良い評価を得ることができた。しかし、テーブルトップ型ディスプレイの作業においては、想定した状況以外にも様々な状況が考えられる。それらの状況において、提案した前腕を活用するインタラクションは、ユーザが状況に応じて利用することで有効に利用できると考えられる。そのため、前腕を活用したインタラクションは、従来のインタラクションに置き換わるものではなく、様々な状況におけるユーザが利用可能なインタラクションの選択肢の 1 つとして、従来のインタラクションと併用するものと考えている。

8. むすび

本稿では、テーブルトップ型ディスプレイにおいて前腕

を積極的に活用したインタラクション手法を提案した。提案したインタラクションは以下の通りである。

ストレージ：卓上に置いた前腕に沿ってストレージが表示され、データの格納を行うインタラクション

衝突：前腕をほうきや障壁のように利用して卓上に表示されているデータを移動・静止させるインタラクション

範囲指定：意図的にある領域を両前腕で囲むことで範囲の指定を行い、両腕に囲まれた領域内にあるデータを操作の対象とするインタラクション

これらの提案したインタラクションの有用性を確認するため、各インタラクションの利用状況を想定した評価実験を行った。その結果、多くの被験者が卓上に前腕を置く、離す、スライドするといった動作を自然に行い、我々の提案した前腕を活用するインタラクションを操作することができたとの意見を得た。この結果から、本稿の提案手法はテーブルトップ型ディスプレイにおいて新たなインタラクションの可能性を提示することができたと考えている。

今後の展望として、複数のユーザの前腕を識別することによって個人の識別を行うことが挙げられる。これにより、異なるユーザの前腕を識別したインタラクションを提案することができると考えられる。

参考文献

- 1) Wu, M., et al.: Multi-Finger and Whole Hand Gestural Interaction Techniques for Multi-User Tabletop Displays, Proc. UIST 2003, pp.193-202 (2003).
- 2) Wilson, A.D., et al.: Bringing Physics to the Surface, Proc. UIST 2008, pp.67-76 (2008).
- 3) Lopes, P., et al.: Augmenting Touch Interaction Through Acoustic Sensing, Proc. ITS 2011, pp.53-56 (2011).
- 4) Annett, M., et al.: Medusa - A Proximity-Aware Multi-touch Tabletop, Proc. UIST 2011, pp.337-346 (2011).
- 5) Banerjee, A., et al.: Pointable - an in-air pointing technique to manipulate out-of-reach targets on tabletops, Proc. ITS 2011, pp.11-20 (2011).
- 6) Banovic, N., et al.: Design of Unimanual Multi-Finger Pie Menu Interaction, Proc. ITS 2011, pp.120-129 (2011).
- 7) Hilliges, O., et al.: Interaction in the Air - Adding Further Depth to Interactive Tabletops, Proc. UIST 2009, pp.139-148 (2009).
- 8) Hinckley, K., et al.: Pen + Touch = New Tools, Proc. UIST 2010, pp.27-36 (2010).
- 9) Wobbrock, J.O., et al.: User-defined gestures for surface computing, Proc. CHI 2009, pp.1083-1092 (2009).
- 10) Yoshikawa, T., et al.: HandyWidgets - Local Widgets Pulled-out from Hands, Proc. ITS 2012, pp.197-200 (2012).
- 11) Zhang, Z., et al.: Left and right hand distinction for multi-touch tabletop interactions, Proc. IUI 2014, pp.47-56 (2014).
- 12) Yoshikawa, T., et al.: HandyWidgets - Local Widgets Pulled-out from Hands, Proc. ITS 2012, pp.197-200 (2012).
- 13) Weiss, M., et al.: SLAP Widgets - Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops, Proc. CHI 2009, pp.481-490 (2009).
- 14) Ben-Joseph, et al.: Urban simulation and the luminous planning table - Bridging the gap between the digital and the tangible, Journal of Planning in Education and Research, pp.195-202 (2001).
- 15) Jorda, S., et al.: The reacTable - exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces, Proc. TEI 2007,

pp.139-146 (2007).

- 16) Patten, J., et al.: Sensetable - A wireless object tracking platform for tangible user interfaces, Proc. CHI 2001, pp.253-260 (2001).
- 17) Patten, J., et al.: Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces, Proc. CHI 2007, pp.809-818 (2007).
- 18) Ullmer, B., et al.: The metaDESK - Models and Prototypes for Tangible User Interfaces, Proc. UIST 1997, pp.223-232 (1997).
- 19) Jun, R., et al.: SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces, Proc. CHI 2002, pp.113-120 (2002)
- 20) Vogel, D., et al.: Hand Occlusion on a Multi-Touch Tabletop, Proc. CHI 2012, pp.2307-2316 (2012).
- 21) Genest, A., et al.: KinectArms - A Toolkit for Capturing and Displaying Arm Embodiments in Distributed Tabletop Groupware, Proc. CSCW 2013, pp.157-166 (2013).
- 22) Miki, M., et al.: Optically Hiding of Tabletop Information with Polarized Complementary Image Projection - Your Shadow Reveals It!, Proc. ITS 2011, pp.260-261 (2011).
- 23) Tang, A., et al.: Three's Company - Understanding Communication Channels in Three-way Distributed Collaboration, Proc. CSCW 2010, pp.271-280 (2010).
- 24) Harrison, C., et al.: OmniTouch - Wearable Multitouch Interaction Everywhere, Proc. UIST 2011, pp.441-450 (2011).
- 25) Harrison, C., et al.: Skinput - Appropriating the Body as an Input Surface, Proc. CHI 2010, pp.453-462 (2010).
- 26) Harrison, C., et al. On-Body Interaction: Armed and Dangerous, Proc. TEI 2012, pp.69-76 (2012).
- 27) Lin, S., et al.: PUB-Point Upon Body - Exploring Eyes-Free Interaction and Methods on an Arm, Proc. UIST 2011, pp.481-488 (2011).
- 28) Ogata, M., et al.: SenSkin - Adapting Skin as a Soft Interface, Proc. UIST 2013, pp.539-543 (2013).
- 29) Olberding, S., et al.: Augmented Forearm - Exploring the Design Space of a Display-enhanced Forearm, Proc. AH 2013, pp.9-12 (2013).