

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 (3) —被隠蔽領域に対するインタラクション方法の検討—

井上品継^{†1} 柴田史久^{†1} 木村朝子^{†1}

概要：テーブルトップ型ディスプレイを用いた研究ではこれまで、タッチジェスチャ操作や卓上に置かれた道具、前腕を活用した魅力的なインタラクションの提案が行われている。本研究では、先行研究で提案された、ユーザの身体によって他のユーザから隠蔽される領域（被隠蔽領域）を活用するシステムについて、その応用事例を整理するとともに、他者に気付かれにくい入力方法についての検討・提案を行う。具体的には、日常生活や卓上を囲む打ち合わせなどの場面で、人が何気なく／無意識に行う動作を同システムへの入力として利用した。また、提案した入力方法が実際にどの程度気付かれにくいのかを実験を通して確認し、考察を行った。

キーワード：前腕，インタラクション，テーブルトップ型ディスプレイ，ジェスチャ操作，被隠蔽領域

1. はじめに

大型のテーブルトップ型ディスプレイは、表示面の広さや上に物を置くことができるといった特徴から、数名のユーザが1台のディスプレイを囲み、議論や作業を行うといった目的に適している。しかるに、数名のユーザが同一のテーブルトップ型ディスプレイを共有する場合、卓上の全領域が共有のスペースとなるため、各ユーザがプライベートな情報や自身の混沌としたフォルダをこっそり確認することは難しい。

そこで我々は、作業者がテーブルトップ型ディスプレイ上に腕を置いた際に、その腕によって共同作業から隠蔽されるテーブルトップ型ディスプレイ上の領域（以後、被隠蔽領域とする）をプライベートな領域として活用し、ユーザが他の作業者に見られたくない情報を扱うことを可能にする方法について研究を行ってきた（図1）[1][2][3]。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。

しかしこれまでの研究報告は、被隠蔽領域をプライベートな表示領域として活用するシステムの提案・実装といくつかの活用事例の紹介にとどまっており、被隠蔽領域に対するインタラクション方法については検討してこなかった。

そこで本稿では、同システムの応用事例について整理するとともに、共同作業者に気付かれにくい入力方法についての検討・提案を行う。具体的には、日常生活や卓上を囲む打ち合わせなどの場面で、人が何気なく行う動作を同システムへの入力として利用した。また、提案した入力方法が実際にどの程度気付かれにくいのかを実験を通して確認し、考察を行った。

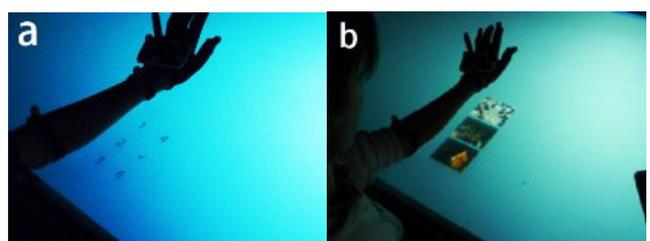
本稿では、まず2章で関連研究について述べ、3章で被隠蔽領域を活用したインタラクションとそのシステム、応

用事例について述べる。4章では、日頃無意識に行っている動作を実際のミーティングの様子から抽出し、どのような動作が他者に気づかれにくく、入力として適切であるのか考察を行う。5章では4章の考察を元に、気付かれにくい入力方法を提案し、実装する。6章では提案した入力方法がどの程度気付かれにくいのか、実験を通して確認する。7章では本稿のまとめと今後の展望について述べる。

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ラクション手法としては、これまでに手や前腕を使った方法が多く提案されている。例えば、Wuら[4]のRoom Plannerは、実世界における手の動きに着目し、複数の指先や手全体を使ったジェスチャインタラクションを提案している。またWilsonら[5]は、実世界で行う手を使った動作でデータを操作する手法を提案しており、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ている。

一方、これまでテーブルトップ型ディスプレイのインタラクションにおいて、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。例えばVogelら[6]のOcclusion-Aware Interfaces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



(a) パスワード入力 (b) 写真閲覧

図1 先行研究によるインタラクション

^{†1} 立命館大学大学院 情報理工学研究所
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

提案している。また、Tangら [7] の Three's Company 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、前腕による隠蔽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。これに対して、我々は、普段の卓上で作業全般に見られる前腕を卓上に置くという動作に着目し、これを積極的に活用したインタラクションを提案してきた [1][2][3]。具体的には、前腕によって生じる被隠蔽領域そのものをプライベートな情報の表示領域として活用する。

プライベートな情報を他者に気づかれずに表示可能な技術として、Wuら [4] は手を用いて卓上面に表示している情報を隠すジェスチャを提案している。Isogawaら [8] は、テーブルトップ型ディスプレイの上部に設置したプロジェクタで卓上面に表示している画像の補色画像を投影し、手や実物体によって影になった部分と影になっていない部分で違う情報を表示する手法を提案している。また、Kakehiら [9] は視界制御フィルム Lumisty を用いることで、同じ画面上に、見る方向に応じて異なる映像を提示可能なテーブル型ディスプレイ Lumisight Table を提案しており、見る方向によって異なる映像を提示できるため、ユーザごとにプライベートな情報を提示することも可能である。

一方、我々の先行研究 [1][2][3] では、被隠蔽領域を活用することで共同作業から見えない卓上の領域を確保し、被隠蔽領域内の情報を共同作業員に見られずに閲覧が可能なシステムを実現している。しかし、被隠蔽領域に対する操作は一般的なタッチやスワイプ、スクロールなどを使っており、操作自体には気付かれてしまうという問題があった。そこで、本研究では、共同作業員に気付かれにくい被隠蔽領域に対する操作方法を検討する。

Andersonら [10] の調査結果では、86%の回答者が会議中にモバイル端末を隠れて使用し情報を確認したいと答えている。しかし、他者に気付かれにくい入力方法は限られており、常に他者の視界の外で操作することは難しい。Andersonらはこの問題に対してマジックに用いられる手法を用いて、デバイスを作成し、情報を確認・操作しているとは気付かれにくい確認方法を提案した。しかし、この

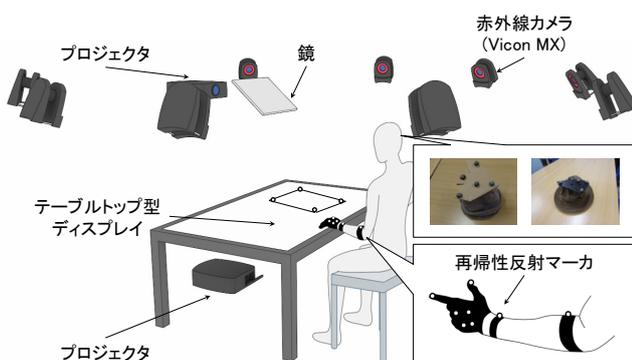


図2 システム構成

システムを共同作業員が知っている場合、作業員がデバイスを把持するたびに、入力を行っているのではないかと共同作業員に推測されてしまう。本研究では共同作業員に推測されにくいインタラクション方法を提案する。

3. 被隠蔽領域を活用した個人情報の提示

3.1 概要

前腕を置いた際に発生する隠蔽領域は、シャドウマッピング法を用いて算出する [2]。シャドウマッピング法は、光源からシーンをレンダリングしシャドウマップを求め、視点からレンダリングしたときにその奥行き値を比較することで、ある点が影領域かどうかを判定する手法である。3次元空間において、卓上に前腕を置いた際、卓上にできる影は光源の位置からは見えない領域である。そこで、光源を共同作業員の目に見立て、卓上に前腕を置いてできた影の領域を個人的な情報の表示領域として活用することで、テーブルトップ型ディスプレイでの個人情報の閲覧・操作を実現する。

3.2 システム構成

システム構成を図2に示す。映像生成用PCで生成する映像はプロジェクタ (日立製作所製 CP-A100J) によりテーブル内部から卓上面に対して投影する。卓上面は幅1520mm、奥行き820mmの作業領域を有し、ユーザが手・前腕を自由に動かすのに十分な広さを持つ。

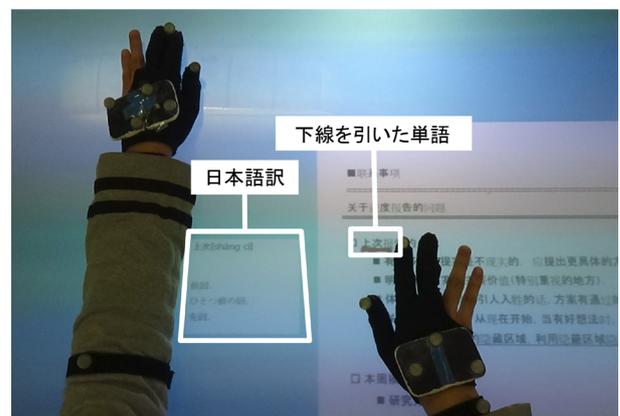


図3 情報の付与

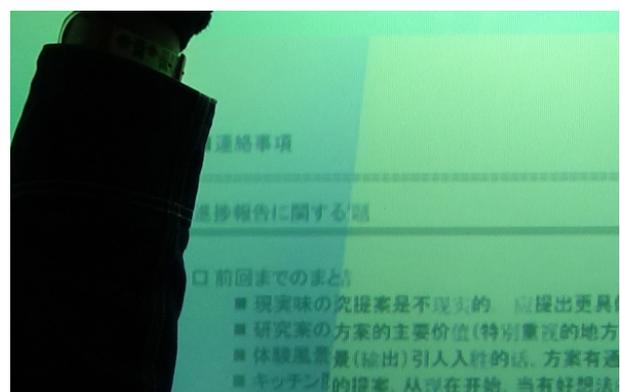
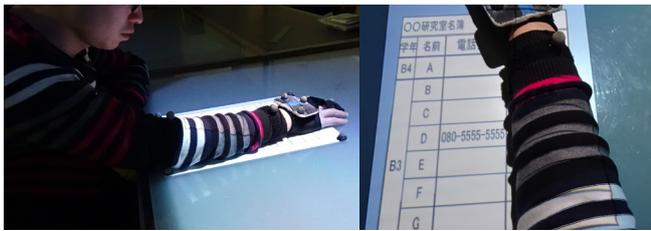
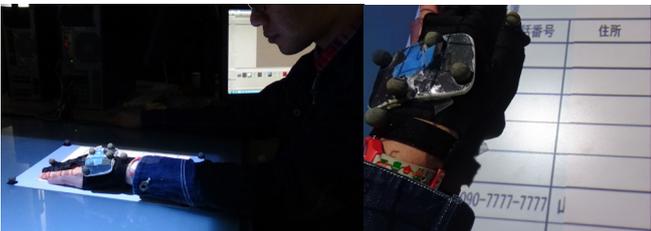


図4 情報の切り替え



(a) 体験者 1 による確認



(b) 体験者 2 による確認

図 5 閲覧者ごとで違う内容を提示

頭や前腕・資料の動きやタッチの検出には VICON モーションキャプチャシステム (ViconPeaks 製 MX カメラシステム) を用いる。このシステムはカメラ 9 台とカメラを制御する PC1 台, 検出した頭・前腕や手指の位置姿勢を送信するための PC (以下, 通信制御用 PC) 1 台で構成される。Kinect などの距離センサでも同様のシステムは実現可能である。また, 開発言語には C# を用い, 映像生成のための処理にゲームエンジンである Unity を利用する。

3.3 応用事例

被隠蔽領域を活用した個人情報提示の応用事例として以下の 3 つのタイプが考えられる。

- (1) 情報の閲覧+ (気付きにくい) 入力: 提示する情報が多い場合は, スクロールや切り替え, 選択といった入力操作が必要となる
- (2) 情報の閲覧+ (気づかれてもよい) 入力: パスワード入力のように, 入力していること自体は気づかれてもよいが, その内容は見られたくないという場合もありうる
- (3) 情報の閲覧のみ (入力なし): プライベートな情報を閲覧する場合でも, 提示する情報が少なければ入力の必要はない

次に, それぞれのタイプについて実装した応用事例を紹介する。

(1) 情報の閲覧+ (気付きにくい) 入力

写真閲覧: 共同作業者に見られないよう, 被隠蔽領域に 3 枚の写真を表示している。写真の選択にタッチ操作を用いて入力を行う (図 1 (b))。

スケジュール確認: 共同作業者に見られないよう, スケジュールを確認する。日付を選択すると, その日の予定が表示される。

(2) 情報の閲覧+ (気づかれてもよい) 入力

パスワードの入力: 共同作業者に見られないよう被隠蔽領域にパスワードを入力するために, 被隠蔽領域にキーボ



図 6 ミーティングの様子

ードを表示する。PIN コードのような 4 つの数字を入力する場面を想定し, 表示されたキーボードに対してタッチ操作を用いた入力を行う。キーボードの文字列は, 常にランダムな順番で表示される (図 1 (a))。

資料の翻訳: 留学生から「会議の際, 母国語以外の言語で書かれた資料が理解しづらい」という意見があった為, ニーズに基づき実装した。用意された資料の中で意味を知りたい単語や文章に利き手の人差し指を用いて下線を引くと利き手と逆の前腕の被隠蔽領域にその単語や文章の意味が表示される (図 3)。また, 人に知られずに, 文書全体の翻訳を見たい場合には, 資料の上に作業者が前腕を置くことで, その前腕による被隠蔽領域と重なる資料の部分が母国語の資料に切り替わる (図 4)。

(3) 情報の閲覧のみ (入力なし)

名簿の確認: 1 つの実物体の資料を複数人で確認する場合にシステムが閲覧者を判別し, 電話番号や住所といった個人情報を閲覧者に対応する部分のみ提示する。同一の資料を用いても閲覧者ごとに提示される情報が異なる (図 5)。図 5 (a) が表において上から 4 番目の D に対応した情報の提示であり, 図 5 (b) が表において上から 6 番目に記載されている F に対応した情報の提示である。

4. 気付かれにくい入力方法の検討

4.1 気付かれにくい入力方法

Anderson ら [10] は, 「気付かれにくい」操作の実現は不可能なので, 「気付かれにくい」操作を提案, 評価するとしている。本研究もそれに則り, 気付かれにくい入力方法について検討する。本研究では, この気付かれにくい入力方法として, 普段何気なく/無意識に行う動作に着目した。普段から何気なく/無意識に行い, かつその回数が多い動作を入力操作として採用すれば, 普段の動作との区別が付きにくく, 入力しているとは気付かれにくいと考えられる。

そこで, 何気ない/無意識の動作を実装するため, まずは普段行う動作について観察を行った。

4.2 何気ない/無意識の動作の抽出

ミーティングや会議の場を想定し, 実際のミーティング

を観察することで、何気ない／無意識の動作を抽出することにした。具体的には、ミーティングの様子を撮影し、その映像から何気ない／無意識の動作の抽出とその動作回数を計測した。ミーティングの様子を図6に示す。参加者は10名（内、3名はカメラの死角に居た為、対象外）、ミーティングの所要時間は1時間強である。今回抽出した何気ない／無意識の動作の条件は以下の2つである。

(1) 明確な目的（対象ページへの資料の移動、記入など）がない動作

(2) 卓上から離れた動作（足元の動作など）は対象外
尚、抽出回数が多ければ、普段から多用しているジェスチャでありと見なし、100回以上計測された動作に関してはそれ以上の計測を行っていない。

観察結果をまとめた表を付録表 A.1 に示す。実際に行われた動作は56種類1557回であった。動作には個人差があり、全員が共通して行った動作は少なかった。

抽出された動作は、以下の6種類に分類できた。

(1) ペンや消しゴムなど卓上に出ている物への動作

ペン回しとペンを前後に振る動作は多くの参加者が行っており、かつ回数も多いものであった。個人差はペン回しができるかできないかによって生じるものと推測される。卓上に出ている物を触る人は予想以上に多かった。

(2) 顔の一部を触る動作

他の動作は卓上、または卓上付近で行うのに対し、顔の一部を触る動作は顔の高さで行う動作である。その為、他の動作と比べ目立ちやすい印象だった。しかし、観察結果を見ると普段からよく行われていることが読み取れ、動作自体は目立つが操作していることは気付かれにくい可能性もある。また、触れる部位は人によって異なっていたが、顔全体を対象とするとすべての参加者がどこかの部位に触れていた。

(3) 資料への動作

資料を閲覧する際に、参照のため資料を動かすことはよくあるだろう。しかし、今回の観察では資料を動かす必要がない場面でも資料を動かす動作がしばしば見られた。また、これは参加者の視線が資料にない場合にも見受けられた。このように、目的なく資料を動かす動作が、多くの参加者に見受けられた。

(4) 腕や肘を用いる動作

腕全体を動かす動作はあまり多くは見られなかった。腕を組む、頬杖をつく動作に関しては参加者全員に共通して見受けられたが、全員が共通して行う動作の中では回数が少ない動作であった。

(5) 手・手首を用いる動作

手・手首を用いる動作は手を組む、指を弄るなどで、行う人と行わない人で顕著に差が表れた動作であった。この動作を行う人は数回ではなくかなりの回数行っていたが、対照的に行わない人は一切行わない動作であった。

(6) 体全体を動かす動作

前かがみになる動作や姿勢を正す動作などは全員が共通して行っていた。頻繁に行う動作ではあったが、観察では何度も連続して行うことは少なかった。

(1)(2)(3)の動作は、行う回数も多く、個人差はあるが動作の種類も豊富であり、入力方法に使いやすい動作と思われる。(4)の動作は、あまり行われないうえ、頻繁に操作を行う入力操作として用いると不自然になり、操作が気付かれやすいと考えられる。しかし、逆に頻繁には行わない操作としては、利用可能である。(5)の動作は個人差があるため普段この動作を行わない者にとっては不自然な動作になりうる。(6)の動作は全員が共通して行っていたが、(4)の動作と同様、連続して行うと不自然なため、入力には不向きではないかと思われる。

5. 気付かれにくい入力方法の提案と実装

5.1 気付かれにくい入力方法の提案

以上のことから、以下の4種の動作を入力として用いることを提案する。

(1) ペンや消しゴムなど卓上に出ている物への動作

この動作では、卓上に置いてあるものを使った入力を考える。今回の観察状況から卓上にある物体としてはペンを想定し、「ペンを前後に振る」ことで選択の対象を切り替え、「ペンを回す」ことで決定といった入力方法が考えられる。

(2) 顔の一部を触る動作

この動作では顔の触る部位によって入力内容を変える入力方法が考えられる。例えば、左右の頬を触ることで左右の選択をするといった入力方法が考えられる。

(3) 資料への動作

この動作では卓上の資料をコントローラと見立て、操作を行い、入力を行う。資料を左右に振ることや資料を上下に動かすことなどの操作を用いた入力方法が考えられる。

(4) 腕や肘を用いる動作

この動作では卓上に置いた腕を用いた入力を考える。腕の初期位置を設定し、その位置に対して上部か左右部のどこかに腕を移動させた場合にその動作の方向毎に入力を割り振る入力方法が考えられる。

5.2 気付かれにくい入力方法の実装

まずは、(3)の資料への動作と、(4)の腕や肘を用いる動作を実装した。システム構成は、2.2と同様である。ペンや消しゴムなど卓上に出ている物への動作と顔の一部を触る動作については、今後順次実装を行う予定である。

今回は、上記の動作を使って被隠蔽領域に表示された自身のスケジュールを確認する機能を実装した。具体的には、被隠蔽領域内に表示されている日付を上下にスクロールし（図7）、確認したい日を選択する（図8）ことでスケジュールが表示される。

【資料への動作】

資料をずらす動作による入力の実装を行った。今回は、資料に再帰性反射マーカを付けることで資料の位置を取得し、その座標を入力に用いる。

操作としては、資料の移動量と同じだけスクロールさせる方法と、資料を少しずらすとその方向にスクロールし、再度別の入力を得るまでスクロールする方法が考えられる。本研究では気付かれにくい入力を目指すため、入力回数の少ない後者を採用した。取得した位置座標を1フレーム前と現在のフレームのものと比較し、その差分から資料の移動を算出する。

テーブル上で、資料が前後に移動すると隠蔽領域の情報が上下方向にスクロールし、資料を反時計まわりに回すと日にちが選択され、時計回りに回転すると日にちの選択が解除される。

【腕や肘を用いる動作】

腕の動きによる入力の実装を行った。腕に再帰性反射マーカを付けることで、腕の位置を取得し、その座標の変化を入力に用いる。

資料への入力と同様、一度入力するとスクロールを開始し、再度入力するとスクロールが停止する。この動作では、テーブルに対して、前後方向に腕を動かすと、被隠蔽領域内に表示された画像が上下にスクロールされ、左右方向に移動すると、選択・解除が実行される。



図7 スクロール操作



図8 選択操作

6. 実験

6.1 目的

先行研究より、情報を表示している被隠蔽領域内を共同作業者に確認されないことは担保できているが、同領域に対して操作を行う動作については共同作業者に気付かれにくい動作であるか評価できていない。そこで実験によって気付かれにくさの評価を行う。

6.2 内容

事前に撮影協力者に被隠蔽領域への操作を行わせ、それを撮影した、実験ではこの動画を実験協力者に見せ、質問に答えさせた。

【動画の内容】

動画の内容は、撮影協力者が共同作業者と議論している様子であり、動画は共同作業者の視点から撮影されている(図9)。つまり、動画には撮影協力者の様子のみが映っている。

撮影協力者には議論と並行して探索課題を行わせた。探索課題とは、被隠蔽領域内に表示された一列の写真から数字のみの写真を探し、その数字を答えるものである。その際、被隠蔽領域には一列の写真はすべて表示できないため、スクロール操作によって複数の写真を上下に移動し確認させた。このスクロール操作に、5.2で実装した入力方法を適用した。

入力方法は撮影協力者毎で異なり、一人は「卓上で手を前後に移動させる動作」、もう一人は「資料を動かす動作」によって入力を行う。

撮影協力者には撮影前に入力方法を説明し、練習を行い、制限時間内で筆者との議論と並行して筆者に気付かれず、探索課題を行うよう指示を与えた。

一人目の「手を前後に移動させる動作」を用いた動画1は1分24秒あり、撮影協力者は動画内でこの操作を11回行っている。「資料を動かす動作」を用いた動画2は1分33秒であり、撮影協力者は1回のみ入力を行っている。なお、入力のタイミング・回数についてはこちらから一切の指示を与えていないため、撮影協力者が気付かれないように考えて行った結果である。

実験協力者にはこの動画2本をみせて、動画中のどの動作で被隠蔽領域内への操作を行っているかを推測させた。動画の提示は全員同じディスプレイ(EIZO社、T2351W、23インチ)で行っている。実験協力者は6名(20代の男性5名、女性1名)である。

具体的な実験手順は以下の通りである。

- (1) 実験協力者に被隠蔽領域の説明を行う
- (2) 動画1を確認させたのち、入力に用いたと推測した動作を自由に回答させる。動画2についても同様に行う
- (3) 両方の動画について、入力に用いることができると予想した動作をすべて回答させる



図9 動画：資料を動かす動作のキャプチャ画像

(4) 事前に用意した動作リストを提示し、その中から、それぞれの動画について入力に用いたと推測する動作を回答させる

ただし、手順(2)における動画の再生は一度のみとし、手順(3)(4)における動画の再生は巻き戻し、一時停止も含め自由に行わせた。

なお、(4)で用いた動作リストは、事前に動画から抽出した動作のリストであり、動画1では「ペンを振る」「ペンを回す」「振り返る・横を向く」「頭を掻く」「資料を動かす」、動画2では「ペンを前後に振る」「ペンを回す」「ペンを離す」「うなづく」「首を振る」「振り返る・横を向く」「左右に動く」「頭を掻く」「顎を触る」「左手を握る」「机をトントンと叩く」となっている。これらの動作は、撮影協力者がこちらの指示とは関係なく、無意識に行った動作である。

6.3 実験結果

手順(2)において、「手を前後に移動させる動作」については6名中2名に推測され、「資料を動かす動作」については誰にも推測されなかった。「手を前後に移動させる動作」については「撮影協力者の操作が不自然である」という意見が複数あり、「会議中であってもこの撮影協力者の挙動は不自然であり、入力や作業を行っている」と分かれる」という意見もあった。一方で腕や手の動きは実際の会議でも使用されるため、今回の提案手法と比較を行うと「資料を動かす動作」よりも「手を前後に移動させる動作」のほうが自然であるという意見もあった。動きが大きい動作は入力の際に目立ち、不自然な動きに繋がる。しかし、動きの小さい動作であっても、普段、使用する回数が少ない場合は長時間の使用の際には不自然な動きに繋がってしまうと考えられる。

実験協力者が推測した中で間違った回答は、大きく「ペンをういた動作」「指を用いた動作」「腕を動かす動作」に分けられた。「ペンをういた動作」は6名中3名が回答しており、動画中では最も多く用いられている動作であるため、推測が集中したのではないかと考えられる。「指を用いた動作」は6名中2名が回答した。指の動きは動きが小さいため、気づかれずに入力を行うには最適だと推測されたのではないかと考えられる。また、「指を用いた動作」については「ペンをういた動作」の前後に行われていることが多かったため、

「ペンをういた動作」で手周辺に注目が集まった後に細かい動きを行ったため、気づかれにくい動作として推測されたのではないかと考えられる。「腕を動かす動作」は6名中2名が回答した。実際に入力に用いた「手を前後に移動させる動作」もこのカテゴリに分類されるが、この2名はそれ以外の動作を回答した。腕を動かす動作は動きが大きいため、目立っていたと考えられる。

以上より、入力に用いる動作は、できるだけ少ない回数で操作できることが望ましく、視線が集まりにくい箇所、かつ動きが小さい動作が適していると考えられる。実際に「手元に注目していたため、顔の動きはわからなかった」というコメントもあり、手は特に注目を集める箇所であるため、入力には適さない可能性がある。そのため、あまり注目されず、動きが小さな「資料を動かす動作」は、注目されやすく、動きが大きな「手を前後させる動作」より気づかれにくかったと考えられる。

また手順(3)で、実験協力者が、被隠蔽領域への入力として用いることができると予想した動作は、動画1では8種類、動画2では13種類あった。このうち事前に用意した動作リストに含まれなかったものはそれぞれ2種類と4種類であった。具体的には「資料に書き込む動作」「ペンをノックする」「腕を上げ下げする」「親指を隠すように他の指で包む」「人差し指と親指をこすり合わせる」で、これらの動作は、5.1で述べた(1)ペンや消しゴムなど卓上に出ている物への動作、(4)腕や肘を用いる動作、(5)手・手首を用いる動作に属しており、今回提案した6種類の入力動作でほとんどの何気ない動作が網羅できていると考えられる。

次に、手順(4)の動作リストを示したうえで、その中から入力に用いた動作を回答させたところ、動画1,2ともに、誰も正しい動作を推測することができなかった。この結果は実験協力者が自信を持って推測を行えていなかったことを示すものであり、システムの運用の際、事前に入力に用いることのできる操作を共同作業者に知られていても問題なく運用できることを示唆している。

また、実験協力者に入力に用いた動作を示した後に「実利用時に入力に気付くか」質問したところ、実験協力者全員が「想定する状況では入力に気付かないだろう」と答えた。このことから、会議など、常に注目を浴びているわけではない場面での使用を考えた場合、十分に運用に耐えるのではないかと考えられる。ただし、「その人に注目している状況では気付くかもしれない」「誤魔化すために動作の回数が増えると気付く」などといったコメントが得られており、確実に気付かれない入力の実現は難しい。

7. むすび

本稿では卓上に前腕を置いた際に共同作業員から見えない卓上の領域(被隠蔽領域)を利用したシステムにおける、領域内の情報操作方法について提案し、実装を行

った。この情報操作方法については普段から行う何気ない動作を用いて気付かれにくい操作方法とし、実験を通して気付かれにくさの確認を行った。

2種類の入力方法を用いて実験を行っており、「手を前後に移動させる動作」を用いた実験では6名中2名に推測されてしまったが、「資料を動かす動作」を用いた実験については実験協力者全員に気付かれることはなかった。

また、リストを用いた推測では実験協力者全員が2種類の入力方法それぞれにおいて、用いた動作を正しく推測できなかったため、実験協力者が自信を持って推測ができていなかったことを示唆し、提案手法を共同作業者が知っていた場合にも運用できる可能性も示唆している。

気付かれにくさの評価という定量的に評価を行うことが難しい実験であったが、普段何気なく行う動作を入力に用いることのメリットを示すことができた。

今後の展望としては、その他の入力動作を実装した上で、比較実験を行うことなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 佐藤健, 足立隆将, 柴田史久, 木村朝子: 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, インタラクション 2015 予稿集, pp. 79 - 87, 2015.
- [2] 佐藤健, 李凱, 柴田史久, 木村朝子: 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(2)ー隠蔽領域を利用した個人情報の提示, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol.2015, No.12, pp. 1 - 6, 2015.
- [3] K. Li, A. Kimura, and F. Shibata: "Arm-Hidden private area on an interactive tabletop system," Proc. SUL, p. 197,
- [4] M. Wu and R. Balakrishnan: "Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays," Proc. UIST, pp. 193 - 202, 2003.
- [5] A. Wilson, S. Izadi, O. Hilliges, A. Mendoza, D. Kirk: "Bringing Physics to the Surface", Proc. UIST 2008, pp.67-76, 2008.
- [6] D. Vogel and R. Balakrishnan: "Occlusion-Aware Interfaces," Proc. CHI 2010, pp. 263 - 272, 2010.
- [7] A. Tang, M. Pahud, K. Inkpen, H. Benko, J. Tang, and B. Buxton: "Three's Company: Understanding Communication Channels in Three-way Distributed Collaboration," CSCW 2010, pp. 271 - 280, 2010.
- [8] M. Isogawa, D. Iwao, K. Sato: Making Graphical Information Visible in Real Shadows on Interactive Tabletops, IEEE Trans. VCG, Vol.20, No.9, pp. 1293 - 1302, 2014.
- [9] Y. Kakehi, M. Iida, T. Naemura, Y. Shirai, M. Matsudhita, and T. Ohguro: "Lumisight Table: An Interactive View-Dependent tabletop display," IEEE CG&A, Vol.25, No.1, pp 48-53, 2005.
- [10] F. Anderson, T Grossman, D. Wigdor, and G. Fitzmaurice: "Supporting subtlety with deceptive devices and illusory interactions," Proc. CHI, pp. 1489 - 1498, 2015.

付録

表 A.1 観察結果

種類	動作	協力者							合計
		A	B	C	D	E	F	G	
(1) 卓上に出ているものへの動作	ペン回し	100以上			1	30	100以上	10	241以上
	ペンの持ち直し	1			2		6		9
	ペンを前後に振る	1	30		33	100以上	100以上	1	265以上
	ペンをノックする	2	7		18	5	34	5	71
	ペンを両手でねじる	13					1		14
	ペンを両手で持つ		8						8
	ペンを両手で転がす		23					2	25
	ペンで資料を叩く				16				16
	ペンを額に当てる						15		15
	ペンを顎に当てる						2		2
消しゴムをいじる				23				23	
(2) 顔の一部を触る動作	髪を触る	4		2	100以上	12	31	24	173以上
	頭を搔く	3	1	6	6	1	34	6	57
	目を搔く				2		5	32	39
	耳を触る		1		1	1			3
	鼻を搔く	1	2	3	1		5	4	16
	頬を搔く	1	8	4	3		6		22
	顎を触る		10	1		2	10	2	25
	首を触る		1				1	1	3
	口を隠す					2	1		3
	唇を触る			1			7		8
	顔を手で覆う							3	3
(3) 資料への動作	資料を捲る	1	2	2		2		2	9
	資料をずらす	6	1	1	57	2		3	70
	資料を持ち上げる	4	4	1	2	3			14
	資料を置く				1				1
(4) 腕や肘を用いる動作	頬杖をつく	1	3	3	5	5	2	7	26
	肘をつく					1			1
	腕を組む	1	2	1	4	3	7	5	23
	肘を卓上に置く			1			1		2
	袖をたくし上げる					1			1
	袖を伸ばす					2		1	3
	顎を袖に擦りつける						5	2	7
(5) 手・手首を用いる動作	服装を直す				2	4		2	8
	手首を搔く・触る			4			4		8
	手首の骨を鳴らす					1		1	2
	手のひらを指でたたく					4			4
	手を組む					1		6	7
	指をいじる		1			11	22	10	44
	指先をこすり合わせる					10			10
	手を組んで頭に乗せる							4	4
	肩に手を回す						2		2
	机のふちを触る・持つ	1					21	1	23
	机のふちをペンでこする						18		18
机のふちで資料に折り目をつける	6							6	
腕時計を外す・つける					3			3	
時計の位置をずらす					2	2		4	
(6) 体全体を動かす動作	背もたれにもたれかかる	1		9	1	8	1	1	21
	前かがみになる	11	2	9	3	7	11	18	61
	頭を机につける						15	2	17
	姿勢を正す	4	2	5	7	7	3	12	40
	座り直す	1	3	2	6	9	1	9	31
	前後に動く	9						17	26
	左右に動く			1		10			11
	首を振る	1			2	2	2		7
	腕時計を外す・つける					3			3
	時計の位置をずらす					2	2		4
	伸びをする							2	2
合計	173以上	111	57	295以上	251以上	477以上	193		