

## Candle on the Table : 映像投影型卓上面での 効率的な非 WIMP 型電子作業の実現

岩本 和也<sup>†</sup> 藤田 誠司<sup>†</sup> 木村 朝子<sup>†</sup> 柴田 史久<sup>†</sup> 田村 秀行<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 立命館大学大学院理工学研究科 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: iwamoto@rm.is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 2D/3Dでの広視野電子作業空間での実世界指向インタフェースを研究している。今回のシステムでは、映像投影型テーブル上でカードや文書のメタファを積極的に導入し、ジェスチャ操作で効率的電子作業を実行できる「Candle (Card and Document File) on the Table」を開発した。実物の文具類操作や効果音も導入して、MR性やタンジブル度を高めている。また、カードメタファに関してはその応用例を示し、ドキュメントメタファに関しては評価を行い考察する。

キーワード ポスト WIMP 型インタフェース、ジェスチャ操作、壁面投影、テーブルトップシステム、カードメタファ、文書操作、ファッションコーディネート

## Candle on the Table : Implementation and Efficiency of Post-WIMP Electronic Data Handling on the Image-Projected Table System

Kazuya Iwamoto<sup>†</sup> Seiji Fujita<sup>†</sup> Asako Kimura<sup>†</sup> Fumihisa Shibata<sup>†</sup> and Hideyuki Tamura<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1

Nojihigashi, Kusatsu-city, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: iwamoto@rm.is.ritsumeai.ac.jp

**Abstract** We have investigated Real-world oriented interface on the Wide-view electronic working space in 2D/3D. In our system, we employ cards and documents metaphor which can perform electronic working efficiently by using unimanual and bimanual gesture and call this system as “Candle (Card and Document File) on the Table”. In addition, we emphasize features of Mixed Reality and tangibility by using real stationery and sound effects. Finally, we show electronic working “Candle on the Table” and the result of evaluation.

**Keyword** Post-WIMP User Interface, Gesture Operation, Wall Projection, Table-top System, Card Metaphor, Document Handling, Fashion Coordination

### 1. はじめに

近年、一般のコンピュータ利用では、Workstationの主操作画面として登場した WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing-device) 型 GUI が主流となり、急速に普及した。そのアンチテーゼとしてポスト WIMP 型インタフェースの研究が活発化している[1]。「実世界指向インタフェース[2]」や「タンジブルインタフェース[3]」なるアプローチはその代表例である。

我々はポスト WIMP 研究の一端として、大型壁面ディスプレイを利用した「広視野電子作業空間」をジェスチャ操作するシステム、MR-Cubeを開発してきた[4]。このシステムの発展形として、新たに映像投影された卓上面も作業領域に加え、壁面と卓上面を使い分けることで効率的な電子作業を実現する。

会議室や書斎といったワークスペースでは机、ホワイトボード、壁などの様々な作業スペースを使い分けたり、同時に使用して作業している。これは、複数の

作業スペースを併用することで、広い作業領域を確保するだけでなく、状況に応じてそれぞれを使い分け、作業の効率化を図るためである。既にテーブルトップ型のシステム実現例は数多く存在するが、我々のアプローチは、大型壁面ディスプレイ利用で実績があるシステムに卓上面併用を導入した点に特長がある。即ち、卓上面の利用には、壁面にはない特性を活かし、最大限の効率を引き出そうと試みている点である。

MR-Cubeは、平面もしくは湾曲した複数のスクリーンを連結した横長の領域に映像を投影し、その映像空間に表示された仮想オブジェクトをハンドジェスチャでコマンド操作するものであった。また、実在する什器・機材(ゴミ箱、ファイルボックス、プリンタ等)も操作対象として含み、VPPE (Visually Perceivable Physical Equipments) と呼んでいる。これは、それぞれデータの廃棄・保管・印刷場所を象徴する実物体で、例えば、廃棄したいデータをゴミ箱の方に向かって捨

てるという動作がコマンドとして定義されている。MR-Cube は壁面（直立したスクリーン面）に正対して立ったまま使用することが多いが、上述の実物体を配置する場合は、机を置き、座って利用することもある。その上部平面（卓上面）にも映像投影を行うように対象領域の構成を積極的に拡張した対話型電子作業空間を WATARI (WAll & TAbLe-based Reconfigurable Interaction) システムと総称する。

本稿では、まず WATARI システムにおける卓上面利用の技術基盤として開発した電子メタファ操作「Candle on the Table」の概念と設計について述べる。続いて、実際の WATARI システムの構成について述べ、最後に電子メタファ操作の応用事例や評価結果に関して述べる。

## 2. Candle on the Table

### 2.1. 卓上操作へのメタファの導入

本システムの卓上面には広い作業領域があり、ハンドジェスチャを用いることで両手による直接操作が可能という特長がある。ShapeTouch [5]では実世界には摩擦、圧力、衝突の概念があることに注目し、それらをインタラクションに用いることで卓上の表現力を向上させた。Bringing Physics to the Surface [6]ではデータの挙動に物理演算を利用し、現実に近い挙動を実現した。

しかしこれらは操作する対象が限定されておらず、効率的に電子作業を行うことを目指したものではない。卓上で行うのに適した作業として、例えば「カードの分類」や「文書の閲覧」等がある。本研究では、実際の卓上で日常的に扱うカードや文書のメタファを積極的に導入した、効率的な電子操作「Candle (Card and Document File) on the Table」を提案する。

### 2.2. カードメタファ

我々が日常的に触れる機会の多いカードには様々な特長がある。例えば表面には文字、絵、シンボル、色等の情報が集約されており、一目である程度の情報が得られるので選別や分類が容易である。加えて、同じ種類のカードの場合は情報の提示箇所が同じであることから必要な情報を素早く見つけることが可能である。また、カードにはある程度の厚さがあり、目視で重なりの度合いを視認できる。

そこで、卓上の電子メタファ操作の1つとしてカードのメタファを導入する。卓上に投影するカード型データの情報のレイアウトは数種類の実物のカードを参考にデザインし、カード同士の重なりが視認しやすいようにある程度の厚さを持たせた。カード操作のジェスチャ設計にあたり、実物のカードを扱っている様子を観察した。カードを扱う手の形や動作は様々であり、多様な動作をうまく活用してカードを移動している様

子が見られた。この観察結果を整理し、ジェスチャとして採用した。なお、これらの操作は RoomPlanner [7]で提案されたハンドジェスチャも一部参考になっている。

このカードメタファ・インタフェースのために設計したジェスチャコマンドは図1、表1に示す通りで、操作時の概観は図2のようになる。

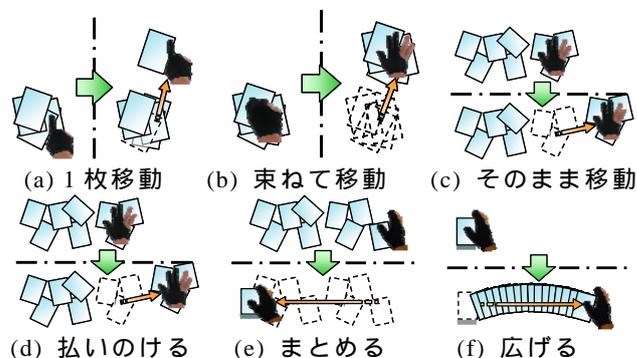


図1 カードメタファ・インタフェースのためのジェスチャコマンド

表1 カードメタファ・インタフェースのためのジェスチャコマンド

コマンド	手指の動作と効果
1枚動かす	人差し指だけをカードに触れ、指を動かすと1番上のカードだけが追従する。勢いをつけると、ディーラー感覚でカードを配れる。
複数枚を挟んで動かす	親指と人差し指でカードを挟んで動かすと、複数枚のカードが束になって移動する
複数枚をそのまま移動する	掌全体を卓上面に触れたまま動かすと、その下にあるカード全体が位置関係を保ったまま移動する
払いのける	手の端を卓上面に触れるように垂直に立てて動かすと、触れたカードが払いのけられる
1つの山にまとめる	手を少し浮かせ、指だけ卓上面に触れながら移動すると、整列したカードの山が作られる
ざっと広げる	上記の整列状態の山を、親指を浮かせ、掌で触れて移動するとカードが等間隔に広がる



(a) 複数データを両手で払って移動



(b) 箇所に重なったデータを見やすく広げる

図2 カードメタファ・インタフェースの操作例

### 2.3. ドキュメントメタファ

複数ページからなる文書をメタファとして採用し、そのページを繰ったり、抜き出したり、束ねたりするインタフェースが、もう1つの実現例である。コンピュータによる文書の電子化が一般的となった現在でも紙の文書はよく利用される。これは紙の文書ではページの移動にはめくる動作、メモを取るには任意の位置にペンで書き込むといった直接操作が可能なることによるものが大きい。それに対して WIMP 型 GUI では文書自体を動かしたり、ページを移動したり、メモを書き込むためにはマウスやキーボードを駆使しなければならない。更に、表示領域に大きな制約のあるデスクトップモニターでは複数のページを並べて閲覧することは困難である。そこで文書のメタファを卓上のデータ提示・操作方法の1つとして導入する。文書は1枚以上で構成されており、複数ページにわたるものは厚さで凡の枚数を表現する。

カードメタファ・インタフェースでのコマンドに加え、ドキュメント専用図3、表2を設けた。卓上面での操作時の外観は図4のようになる。

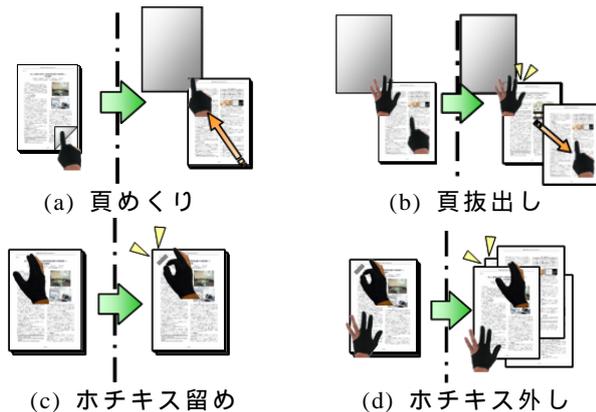


図3 ドキュメントメタファ・インタフェースのためのジェスチャコマンド

表2 ドキュメントメタファ・インタフェースのためのジェスチャコマンド

コマンド	手指の動作と効果
カードと同じ5操作	「1枚動かす」以外は、綴じられた文書単位で同じジェスチャが利用できる
頁をめくる	人差し指を触れ、左上になぞると頁送り、右下になぞると頁戻しができる。勢いをつけて動かすと、一気にめくりができる。
1頁抜き出す	片手で文書(束ねた書類)を押さえ、人差し指で触れて動かせば、見えている頁が外れる
ホチキスで留める	散逸した文書を1つの山に束ねた後、親指と人差し指で挟み込めば、ホチキス留めできる
ホチキスを外す	片手で文書を押さえ、もう一方の手の親指と人差し指でホチキス部分を摘み上げるとホチキスが外れて、バラバラの書類になる

### 3. システム構成

WATARIのシステム構成を図5に示す。壁面と卓上面に表示する映像は、映像生成用PCで生成され、2台のプロジェクタ(壁面用:PLUS社製U5-512h,卓上面用:日立製作所製CP-A100J)から各表示面に投影される。WATARI専用試作したテーブル(nac社製特注)には、上記のプロジェクタ、映像生成用PCの他に、スピーカが内蔵されており、効果音などを提示することができる。

ジェスチャ認識, VPPEの位置姿勢検出には、モーションキャプチャシステム(ViconPeaks社製MXカメラシステム)を使用する。これは、カメラ6台とカメラ制御用PC, 通信制御用PC各1台から構成される。利用者は、親指、人差し指、手の甲に再帰性反射マーカを貼付した手袋状デバイスを装着し、ファイルボックスやゴミ箱などのVPPEにも再帰性反射マーカを貼付することで、手指や各種実物体の位置姿勢を検出することができる。モーションキャプチャシステムにより得られたこれらの情報は、通信制御用PCを介して映像生成用PCに送られる。

本システムでは、開発言語にはC++を、グラフィックスAPIにはOpenGLおよびGLUT(OpenGL Utility Toolkit)を使用している。

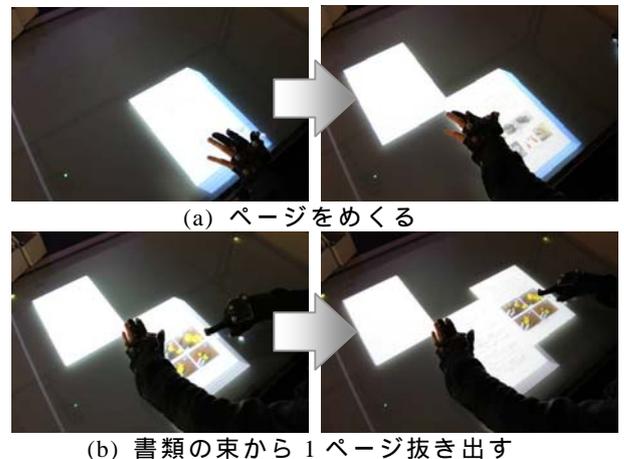


図4 書類メタファ・インタフェースの操作例

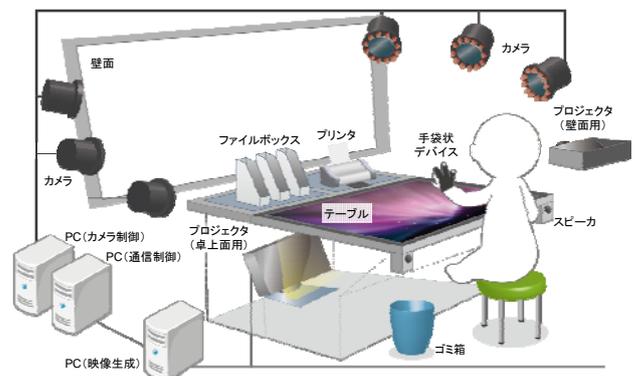


図5 WATARIのシステム構成

#### 4. カードメタファの応用事例

カードメタファを本システムで利用した応用事例として「ファッションコーディネートシステム」を取り上げ、実装した(図6)。このシステムでは卓上で壁面を併用し、卓上面で選別した衣類を壁面へ移動させ、壁面に投影された仮想空間内のマネキンに着脱する。衣類の種類は、上着、シャツ、ネクタイ、ズボン等があり、それぞれを組み合わせ、コーディネートする。

##### 【卓上の操作】

卓上での衣類のデータはカード型(図7)で表示されており、表面には衣類の色や種類の情報がシンボル化されて表示されている。このことからデータ同士がある程度重なっていても一目で衣類に関する情報を得ることができる。

初期状態ではカード型データはファイルボックスに格納されており、ファイルボックスをひっくり返すことで卓上にカード型データが展開される。それらを前述のカードメタファのジェスチャ操作で移動させ、操作を行う。

卓上で選別したカード型データを掴んで壁に向けて放すと、壁面に投影された領域にカードに描かれていた衣類が3D-CGとなって表示される。また、不要な衣類データは「掴む」動作でデータを移動し、ゴミ箱の上で「放す」動作をすることで卓上から消去することができる。データを印刷するには、データを掴み、プリンタ上部で放すことで、対象のデータを印刷することもできる。

##### 【壁面の操作】

壁面の実行画面を図8に示す。壁面は直接触れることができないので、ポインタを用いて間接的に操作を行う。可能な操作としてはマネキンへの衣類の着脱、視点の回転・拡大・縮小、衣類の整列がある。

衣類の着脱には、ポインタが3D-CGの衣類データ上に重なっているときに「掴む」動作をすることで「確定」状態となり、移動可能となる。ネクタイなら首元、ズボンなら足元、という具合にそれぞれの衣類に適した位置で「放す」動作をすることでマネキンに衣類を着衣させることができる。

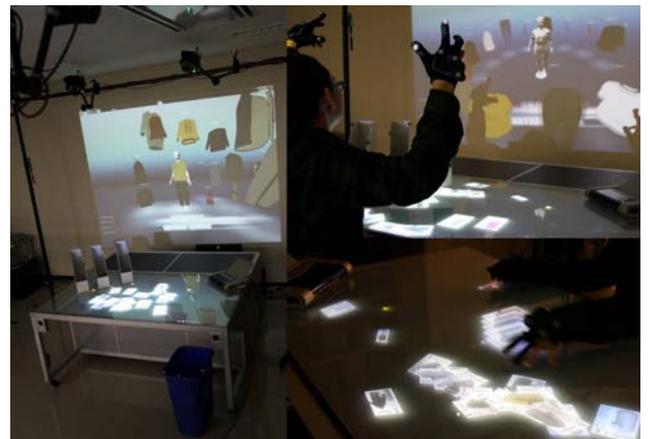
視点の回転・拡大及び縮小には、ポインタが衣類に重なっていないときに「掴む」動作をし、上下に動かすと上下の回転、左右に動かすと左右の回転、前後に動かすと拡大、縮小が行われる。

衣類の整列には3種類あり、「マネキンの周りの円周上」「グリッド状」「ランダム」に配置可能である。それぞれの整列は「卓上に手を向け、両手の人差し指と親指同士を付ける」「手を壁面に向け、両手の人差し指と親指同士を付ける」「両手を体の前でクロスさせる」動作で実行できる。整列実行時は聴覚フィードバ

ックを返すことで操作が実行されたことを知らせる。また、壁面で不要な衣類データは掴んで卓上に向けて放すことで、卓上へ移動しカード型データに戻る。

#### 5. ドキュメントメタファの操作効率評価

マウスによるWIMP型GUIでの文書ファイルの閲覧、編集作業のためのUIはユーザが使いやすいよう設計・実装されてきた。今日普及したそのUIに対し、提案したドキュメントメタファがどれほど太刀打ち出来るのか確かめるため、作業効率を定量的に評価した。



左：全景 右上：壁面操作の様子  
右下：卓上面操作の様子

図6 ファッションコーディネートシステム



図7 衣服を示すカードデザインとそのバリエーション



図8 壁面でのファッションコーディネート例

### 5.1. 実験目的

書類を利用する一般的なタスクを WIMP 型 GUI と提案したドキュメントメタファで行い、作業時間を測る。単純に作業時間を比較するだけでなく、操作感などの感想を得るために実験を行った。

### 5.2. 実験 1

#### 5.2.1. 内容

文書ファイルの中から特定のページを抜き出し、統合することで別の文書ファイルとするタスクを与える。

##### 【対象文書】

A4 サイズ約 40 ページの論文 3 本を用いる。各論文には 3 種類の印が重複せずに各 10 ページの計 30 ページに押印されている (図 9)。3 回の試行を行い、1 試行ごとに違う種類の印を指定し、別の文書ファイルを作成するタスクを与える。

##### 【PC 操作】

25 インチ液晶モニタに画面を表示し、「Adobe Acrobat Pro Extended (以下 Acrobat)」を用いて操作する。ページの選択や移動には制限を設けず、被験者が思いつく最速の方法でタスクを行わせる。

##### 【WATARI 操作】

前述のジェスチャコマンドを利用する。

##### 【被験者と準備】

Acrobat の操作に慣れている情報系の大学生 6 名に予めこのタスクを実行するために必要な操作方法の説明を行う。操作を円滑に行えるようになるまで練習させてから実験を行う。

#### 5.2.2. 結果と考察

各被験者の平均操作時間を図 10 に示す。6 人中 2 名の被験者に、PC 上でのタスクにおいて操作ミスによる大幅な時間のロスがあったため、ここでは残りの 4 名の結果を示す。PC 上でのタスクと WATARI の間にはそれほど操作時間に差はなく、少しの練習で使い慣れた WIMP 型操作と遜色なくなることが分かる。

被験者のコメントとして、「マウスと比較すると操作に必要な動作が大きいので、疲れやすい」といった意見があったが、「操作が日常の動作と似ているので直観的でわかりやすい」「聴覚フィードバックがあるので操作ができたことがわかりやすい」「爽快感がある」などのように好意的な意見も多くあった。課題はあるものの、卓上で実世界に類似した操作を行えるメリットが大きいことが分かった。

### 5.3. 実験 2

#### 5.3.1. 内容

書類の様々な場所に下線のついた赤字の数字が書かれたページが複数存在し、それらを伝票算のように加減算する。尚、この実験では作業時間の計測を目的

としているため、入力結果の見直しや訂正などによって作業時間が延びることを避けるため計算の正誤は問わない。

##### 【対象文書】

A4 サイズの 10 ページで各ページに 2~4 桁の正負の整数が合計 22 個記された文書、20 ページ中 13 ページに 2~3 桁の正整数が記された文書、50 ページ中 20 ページに 2~3 桁の正整数が記された文書の 3 種類を用いる。

##### 【PC 操作】

用いる PC のモニタ及びソフトは実験 1 と同じものを使う。条件として (a) 画面上の文書の「進む / 戻る」ボタン操作と PC 上の電卓ソフト操作を右手のマウス操作だけで行う場合、(b) 文書の「進む / 戻る」ボタン操作のみをマウスで行い、実物の電卓への入力を右手のみで行う場合でタスクを行わせる。

##### 【WATARI 操作】

左手でページをめくらせ、右手で卓上に表示した仮想電卓に入力させる。

##### 【被験者と準備】

被験者は右利きの 20 代の学生 5 名で、事前にこのタスクを不自由なくこなせるまで練習させる。



図 9 実験 1 で使用した書類の一例

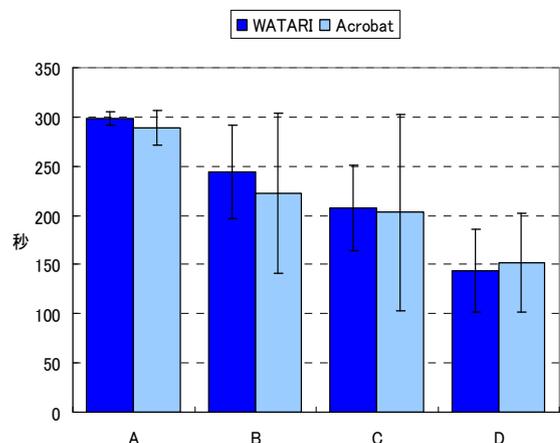


図 10 実験 1 の結果

### 5.3.2. 結果と考察

各文書での平均の作業時間を図 11 に示す。実験結果のグラフより本システムにおける作業時間が最も短かったことがわかる。この理由はマウスを用いた操作ではウインドウを切り替えるためにマウスを動かすといった動作や、マウスと電卓を持ち替えることやマウスポインタの位置を調整することで生じる時間のロスによるものであると考えられる。

ここで 10 枚と 50 枚の文書进行操作した結果を見ると、実物の電卓を用いて計算を行った場合に作業時間に違いがほとんど見られない。これは移動するページの多寡には関係なく、計算が作業時間のほとんどを占め、マウスと電卓の持ち替え動作に時間があまりかかっていないからである。

また、PC 上の電卓を用いたタスクでは計算回数やページ数が多くなればなるほどマウスの移動回数が増えるため作業時間が比較的長くかかっていた。本システムではページをめくる動作は WIMP 型 GUI でマウスを用いて「進む/戻る」ボタンを押す操作よりも時間がかかってしまうが、ページめくりのために作業と無関係な情報に注視する必要がないため、実際の伝票算のように右手と左手を使い分けられることが他の条件よりも作業時間が短くなった理由として考えられる。

被験者のコメントとしても「実際の文書に触れているような感覚があった」「自然な動作で作業が可能」といったコメントが得られ、ドキュメントメタファを利用した電子データの操作は有効であったといえる。

一方、ジェスチャに関して「めくるジェスチャが実物の文書をめくる動作とは違っているために違和感があった」といったコメントがあった。しかし、操作に慣れることで素早く操作が可能であるため、操作性が悪くなるなどの問題はなかった。

本システムで実装した仮想電卓に関しては「マーカーを付けた指でしか操作ができない」「触覚に訴えかけるフィードバックがないと不安」といった物理的な問題に関するコメントが多くあった。前者の解決策とし

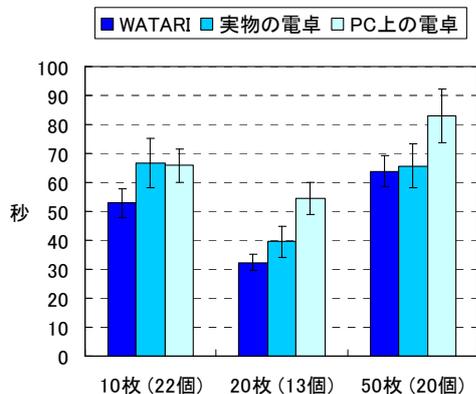


図 11 実験 2 の結果

ては、卓上への手の接触検出が可能となれば容易に解決可能であり、後者の解決策としては SLAP [8]のように押下感のある実物をインタラクションに利用することで解決可能である。

## 6. むすび

本稿では WATARI システムにおける映像投影型卓上へのデータ提示方法とデータ操作方法としてカードと文書のメタファを電子操作に利用する「Candle on the Table」を提案、実装した。また、本システムでカードメタファを利用する事例としてファッションコーディネートを行うシステムを実現し、運用を行った。実際に動作している様子の映像を [9] に示す。

最後に、WIMP 型 GUI と本システムで加減算を行い、ドキュメントメタファを利用した時の操作時間を比較することで評価を行い、有用性を確認した。

現状ではマーカーのついた指でしかインタラクションが行えないといった問題がある。そこで、今後は卓上下部にカメラを設置し、画像処理で卓上と手の接触を検出することでデータの操作方法を再設計し、精度や表現力の向上を図る予定である。

謝辞 本研究の初期段階で WATARI システムの開発に従事した大学院生・渡辺匡哉氏(現、キヤノン(株))、「Candle on the Table」の実装の一部を担当した学部学生・谷津芳樹氏の貢献に対して、感謝の意を表します。

## 文 献

- [1] A. V. Dam: "Post-WIMP User Interfaces," *Comm. ACM*, Vol. 40, No. 2, pp. 63 - 67, 1997.
- [2] 暦本純一: "実世界指向インタフェース - 実空間に拡張された直接操作環境", *情報処理*, Vol. 43, No. 3, pp. 217 - 221, 2002.
- [3] 石井裕: "タンジブル・ビット - 情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン -", 同上, pp. 222 - 229, 2002.
- [4] 木村朝子, 柴田史久, 鶴田剛史, 酒井理生, 鬼柳牧子, 田村秀行: "ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間の設計と実装", *情報処理学会論文誌*, Vol. 47, No. 4, pp. 1327 - 1339, 2006.
- [5] X. Cao, A. D. Wilson, R. Balakrishnan, K. Hinckley, and S. E. Hudson: "ShapeTouch: Leveraging contact shape on interactive surfaces," *Proc. TABLETOP 2008*, pp. 139 - 146, 2008.
- [6] A. D. Wilson, S. Izadi, O. Hilliges, A. G. Mendoza, and D. Kirk: "Bringing Physics to the Surface," *Proc. UIST 2008*, pp. 67 - 76, 2008.
- [7] M. Wu and R. Balakrishnan: "Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays," *Proc. UIST 2003*, pp. 193 - 202, 2003.
- [8] M. Weiss, J. Wagner, Y. Jansen, R. Jennings, R. Khoshabeh, J. D. Hollan, and J. Borchers: "SLAP widgets: Bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops," *Proc. CHI 2009*, pp. 481 - 490, 2009.
- [9] WATARI システムの映像:  
<http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/watari/>