

回転型円形テーブルトップシステムにおける 大規模情報の視覚化および対話手法

梶原 慎太郎^{†1,*1} 小池 英樹^{†1}
福地 健太郎^{†1,*2} 佐藤 洋 一^{†2}

近年、多くのテーブルトップシステムが開発されている。しかし、物理的に大きさの限られたテーブル上に多くの情報をいかに表示し、いかに操作するかに関する議論はほとんどなされていない。これに対し、我々は回転可能な円形テーブルトップシステムによりこの問題の解決を試みた。実際にはユーザの手指ジェスチャを認識してテーブル上に投影された情報が回転する仮想回転テーブルと、転がり軸受けを取り付けた円形テーブルトップを実際に回転させることで投影された情報が回転する実回転テーブルの2種類の実装を行った。ユーザはテーブルを回転させることにより、テーブル上に表示された情報をスクロールすることができる。我々は3種類の配置手法、すなわち連続配置、分類配置、らせん配置を提案、実装し、評価を行った。また、仮想回転テーブルと実回転テーブルの利便性と直感性について比較評価実験を行い、その結果、実回転テーブルの利便性が高く、直感的であることが分かった。

Informaton Layout and Interaction on Rotationable Round Tabletop Systems

SHINTARO KAJIWARA,^{†1,*1} HIDEKI KOIKE,^{†1}
KENTARO FUKUCHI^{†1,*2} and YOICHI SATO^{†2}

Many tabletop systems have been developed, but few of them discussed how to visualize and manipulate a large number of information such as files on the tabletop which is physically limited in size. In order to address this issue, we developed a rotary table. The system recognizes users' hand gestures and the users can rotate the table virtually. The table acts as a scroll wheel and users can see much information by scrolling the table. We investigated three layout method, sequential, classification, and spiral layout on the system. and conducted user studies. Moreover, we also developed a REAL rotary table by using a roller bearing and a round tabletop. Then, we conducted comparative experiments on usability and intuitiveness of two rotary tables.

1. はじめに

近年、多くのテーブルトップシステムが開発されている。こうしたテーブルトップシステムの特徴の1つは、協調作業に向いているという点である。協調作業では人々がテーブルを囲み互いに議論を行う。現在の小会議においては、会議参加者によって共有されるべき情報を表示するために垂直のスクリーンを設置することが多い。しかし、参加者はスクリーンのある1方向を見なければならず、互いの顔を見ることができないため、より良いコミュニケーションをとることが難しい。議論の場において、視線や表情等を共有することはコミュニケーションを円滑に進める重要な要素であり、Kakehiらの研究⁵⁾においても、参加者同士の視線やジェスチャ等を自然に共有することが望ましいと述べられている。第2に、参加者がスクリーンのどこかを指し示したいと思ったとき、レーザーポインタ等を用いて遠隔から指示することになる。第3に、表示された情報は、接続したPCを通じて1人のみが操作でき、他の参加者は情報を制御することができない。

一方、テーブルトップシステムを用いた会議の場合、参加者は互いの顔を見ながらテーブル上に表示された情報について議論できるので、より良いコミュニケーションを実現できる。たとえば、各参加者は自分自身の手指を用いてテーブル上の情報を指し示すことができる。また、各参加者はテーブル上の情報を制御できる。

しかしながら、テーブルトップシステムにはいくつかの問題点が存在する。1つは表示される情報の方向に関する問題である。人々はテーブルを囲んで異なる方向から情報を見るので、すべての人が正しい方向から情報を見ることができるとは限らない。また、もう1つの問題として、1度に表示しきれない大量の情報をテーブルトップ上にいかに表示するかということがある。この場合、何らかの方法で表示する情報を入れ替えなくてはならない。

そこで本研究の目的は、上で述べたテーブルトップシステムにおける2つの問題点を解

^{†1} 電気通信大学大学院情報システム学研究所

Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

^{†2} 東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

*1 現在、ソニーデジタルネットワークアプリケーションズ株式会社

Presently with Sony Digital Network Applications Inc.

*2 現在、独立行政法人科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェース研究員

Presently with User Interfaces for Design (Design UI) Project, Exploratory Research for Advanced Technology, Japan Science and Technology Agency

決するために、仮想スクロール機能を備えた回転テーブルトップシステムを提案し、その評価を行うことである。また、実回転と仮想回転の比較を行うことを目的とする。

これらのことをふまえ、我々はユーザによって回転可能な円形領域に情報を提示するテーブルトップシステムを実装した。テーブルを囲むユーザがテーブルを回転させることで、必要に応じて情報を正しい方向から見るができる。また、このシステムは円形テーブル向けに設計された仮想スクロール機能を持つ。この機能は3種類のレイアウト機能として実装されており、大量情報を効率良く提示できる。我々は、この仮想スクロール機能の利便性を調べるためにユーザテストを行った。さらにこの仮想スクロール機能を仮想回転テーブルと実回転テーブルの2種類に実装し、それぞれにおいて仮想スクロール機能を利用した場合の有用性を調べるためにユーザテストを行った。

2. 関連研究

テーブルトップシステムには多くの関連研究^{7),14),15)}がある。これらのうちいくつかは協調作業用に利用されるものである。ここでは、こうした協調作業に利用されるテーブルトップシステムについて焦点を当てる。

Augmented Surfaces¹³⁾は拡張現実感を利用した協調作業用のテーブルトップシステムである。ユーザは各人がPC内に持つ電子ファイルをテーブルを介してシームレスに交換できる。また、部屋のレイアウトアプリケーションにおいては、テーブル上で家具のミニチュアを配置すると、これらの3次元CGモデルが作成され、垂直スクリーン上に表示される。ただし、情報の向きの問題や、大量情報表示の問題は議論されていない。

MediaTable¹¹⁾はタッチパネル付きの円形テーブルトップシステムである。タッチパネルは同時に1点のみの入力しか受け付けられないが、ユーザはテーブルに表示された情報を見て操作できる。各情報はテーブル上で任意の方向に表示されているが、ユーザがコマンドを選択すると、表示されている情報とそのユーザの近くに集まり、同じ方向を向いて整列する。しかし、大量情報の表示問題は議論されていない。

PDH¹⁰⁾は入力デバイスとしてDiamondTouch²⁾を利用したテーブルトップシステムである。情報は時間、場所等の特徴によって整列されて表示される。PDHは大規模なデータの表示、特に階層構造に焦点を絞ってHyperbolicTree⁹⁾を用いて視覚化を行った。そして円形テーブルがHyperbolicTreeと整合性の高いことを示した。しかし、HyperbolicTreeとのインタラクションは、GUIにおけるマウスインタラクションと同じであり、必ずしも円形テーブルに最適化されていない。またPDHはソートされたファイルのような大規模な線

形データの表示については述べていない。

EnhancedTable⁸⁾は少人数対面会議のためのテーブルトップシステムである。EnhancedTableには個人用と共有用の2つの作業領域がある。ユーザが携帯電話をテーブル上に置くと個人領域が自動的に表示される。共有領域はテーブルの中心に表示されており、ユーザの手指ジェスチャを認識して仮想的に回転できる。ユーザは個人領域にあるファイルをこの共有領域を介して交換できる。

InterfaceCurrents³⁾はユーザがその形と速度を変更できる仮想的なベルトコンベアを提供する。これにより円形に制限されない連続的情報の配置を実現した。しかし、インタラクションはタッチペンで行われるため、複数人での同時入力はできない。また、大量情報の表示法に関する議論は行われていない。

LumisightTable⁵⁾はテーブルトップシステムにおける表示方向の問題を、特殊なスクリーン素材を用いることで解決した。システムは個々のユーザに対して別々な表示を提供できる。ただし、適切に情報が閲覧できるのは4方向のみに限られるため、ユーザの数は4人に制限される。また大量情報の表示には未対応である。

3. 大規模データの表示と対話

初めに述べたように、テーブルトップシステムでは複数人で議論しながら情報を閲覧するという利用シーンが想定される。そして、現在ではPC・携帯電話といった情報端末やデジタルカメラ等の普及により、個人が大量の電子情報を保持することが一般的になっているため、これらのデータをテーブルトップシステム上で効率良く扱えることが望ましい。しかし、関連研究の調査からは、これらのデータを制御する方法について十分に考慮されていないことが分かる。そこで、我々は大規模データの表示とナビゲーションを行うときの、円形テーブルトップシステムのユーザインタフェースの設計に焦点を絞ることとした。本章では我々のアプローチについて述べる。

従来のGUI環境においては、電子ファイルはアイコンやテキストとしてウィンドウ内に表示される。物理的な大きさに制限のあるウィンドウに大規模なデータを表示するため「仮想スクロール」(あるいは単に「スクロール」と呼ばれる手法が一般的に使用される。このスクロールは多くのファイルが配置された2次元平面の一部を縦横に移動可能な小さな窓を通して覗く、というメタファである(図1(左))。

スクロールを用いることで、テーブルトップシステムにおいても大規模データを表示できると考えられるが、GUI環境の方法をそのままテーブルトップシステムに適用することは

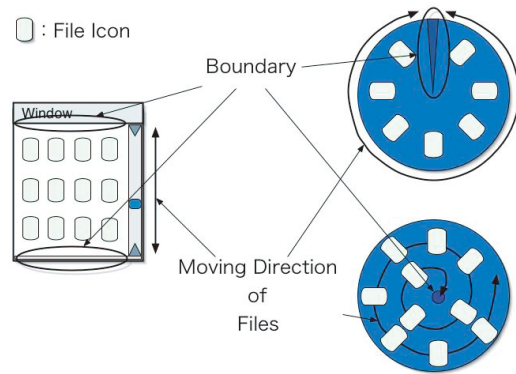


図 1 Window system におけるスクロール (左) と回転テーブルにおけるスクロール (右). 連続配置におけるスクロール (右上) とらせん配置におけるスクロール (右下)
 Fig. 1 Traditional scroll in window system (left) and scroll in the rotary table (right). Two variations for the scroll in the rotary table are designed: sequential layout and its scroll (top-right) and spiral layout and its scroll (bottom-right).

できない。通常の PC 環境におけるディスプレイはユーザと正対しているため、表示されている情報はつねにユーザに正しい向きで表示される。しかし、テーブルトップシステムではその周囲にユーザが存在するため、あるユーザから正しい向きで見える情報は、テーブルを挟んで向かい側にいるユーザからは逆さまに見えてしまう。そのため表示される情報の向きについて考慮しなくてはならず、2次元平面のスクロールをそのままテーブルトップに適用することはできない。情報の向きの問題はテーブルトップシステム特有の問題で過去の研究においても議論されており、ボタンや手のジェスチャによって表示されている情報の向きを変えるものがある。しかし、それらの方法ではスクロールのたびに向きを変えなくてはならず、大量の情報に対して行うのは現実的でない。

つまり、大量の情報をスクロールさせ、なおかつ周りにいる人に適切な向きで表示するには、情報の「位置」と「向き」の2つを変化させる方法が必要である。

そこで我々は仮想スクロールのメタファを回転テーブルに拡張した。図 1 (右) はその概念を示している。従来のスクロールではウィンドウの上下 (あるいは左右) に境界線があり、ユーザがスクロールバーを上下に動かすと、ファイルは一方の境界線から現れ、もう一方に消えていく。

我々の第 1 のデザインは図 1 (右上) に示されている。円形領域内に円の中心から円周方

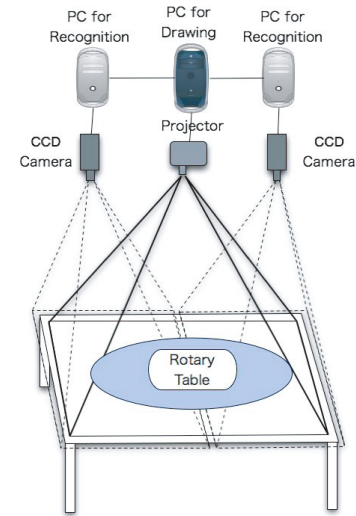


図 2 仮想回転テーブルのハードウェア構成
 Fig. 2 Hardware set-up of a virtual rotary table.

向に向かう 1 つの線分を境界線とする。スクロールを行うには、ユーザはこの円形領域を回転させる。ファイルはこの境界線的一方から現れ、もう一方に消えていく。

第 2 のデザインは図 1 (右下) に示されている。ファイルは螺旋状に配置される。境界は円の中心と、円周部分である。ユーザが円形領域を回転させると、ファイルは中心から現れ、円周部分で消える。

4. 回転テーブルの実装

我々は、2 つの回転テーブルの実装を行った。1 つは机上に投影される円形領域をユーザの手指ジェスチャ認識による仮想的に回転する仮想回転テーブルで、もう 1 つは転がり軸受けと円形のテーブルトップを実際に回転する実回転テーブルである。

4.1 仮想回転テーブル

図 2 はシステムの概略である。システムはテーブルトップ、液晶プロジェクタ、2 つの CCD カメラ (SONY DFW-VF500)、2 台の画像処理用 PC (Pentium 4, 2.8 GHz, 512 MB memory, Linux)、1 台の画像生成用 PC (Pentium 4, 2.8 GHz, 512 MB memory, Win-

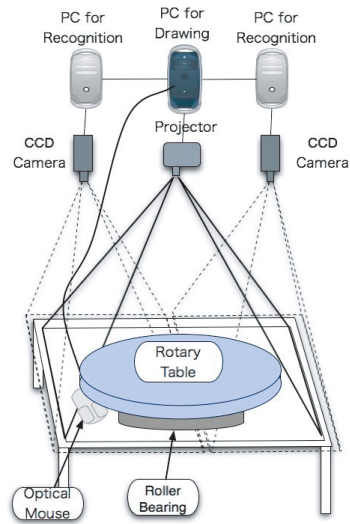


図3 実回転テーブルのハードウェア構成
Fig. 3 Hardware set-up of a real rotary table.

dows) からなる。CCD カメラはテーブルの上を撮影し、この映像は画像処理用 PC で処理される。ユーザの手指認識には、以前開発した実時間手指認識手法¹²⁾ を利用した。画像処理用ライブラリとしては Intel Open CV¹⁸⁾ を利用している。各 PC は最大 2 つの手を 10 frame/sec で認識することが可能である。そして画像生成用 PC で生成された画像がテーブル上に投影される。

4.2 実回転テーブル

我々はアクリルの円形テーブルトップと回転軸受を用いて実回転テーブルを作成した。図 3 はシステムの構成図、図 4 は概要である。カメラとプロジェクタは仮想回転テーブルと同じである。テーブルの回転量の計測には光学式マウスを使用した。

4.3 配置手法

我々は、連続配置、分類配置、らせん配置という 3 つの表示手法を実装した。ファイルは表示される前に、ユーザの指定した特徴に基づき整列される。使用する特徴にはファイル名、作成日時、ファイルサイズがあり、画像ファイルの場合には、Hue, Saturation, Value によって整列することもできる。

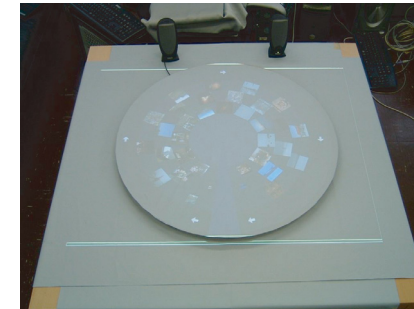


図4 実回転テーブルの様子
Fig. 4 An overview of a real rotary table.

- 連続配置
連続配置では図 5 (左) に示すようにファイルは連続的に表示される。円形領域には境界線があり、ユーザがこの円形領域を回転させると、ファイルは一方から現れ、もう一方に消えていく。
 - 分類配置
分類配置では連続配置と同様にファイルは連続的に表示されるが、ユーザの選択した特徴に基づいて分類されている。分類されたファイルは回転卓上の一定の範囲に配置され、収まりきらないファイルは重ねて配置される。分類するときの値は後述するメニューによって選択する。
 - らせん配置
らせん配置 (図 5 (右)) では、ファイルは円の中心から周辺に向かってらせん状に配置される。ファイルの大きさは円の中心で最も小さく、円周部分で最も大きい。
- #### 4.4 ジェスチャ認識と対話手法
- 本システムではユーザの指の本数により、異なるジェスチャと判定した。
- 指し示すジェスチャ
1 本の手につき、1 つの指先が検出された場合、これを指し示すジェスチャと判定する。
 - つまむジェスチャ
1 本の手につき、指先が 2 つ検出され、かつ 2 つの指先位置が一定距離以下の場合、これをつまむジェスチャと判定する。
 - 回すジェスチャ

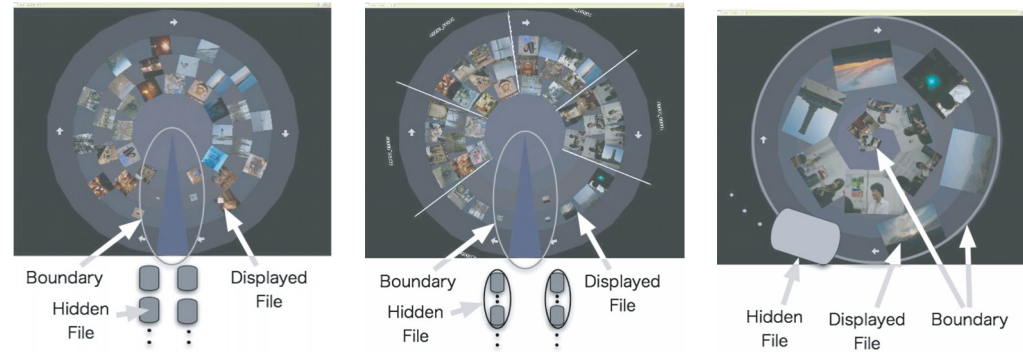


図 5 3 種類の配置手法．連続配置（左），分類配置（中），らせん配置（右）
 Fig. 5 Three layout methods. Sequential layout (left), classification layout (middle) and spiral layout (right).

1 本の手につき，3 本以上の指先が検出された場合，これを回すジェスチャと判定する．実際に回す際には，5 本の指を開くことがほとんどであるが，指先認識が失敗する場合は考慮し 3 本以上とした．

GUI 環境においてファイルに対する基本的な操作は，選択，実行，移動である．たとえば初期の Apple の Macintosh のシングルボタンマウスの場合，これらの基本操作はそれぞれ，シングルクリック，ダブルクリック，マウスドラッグに割り当てられていた．他の付加的な操作やより複雑な操作はメニューを利用することで実現されていた．

我々はこれらの基本操作を手指操作によって以下のように実現した．

- Selection and Drag
 ユーザがつまむジェスチャをすると，ファイルは選択モードとなり，そのまま手を動かすことでファイルのドラッグを行える（図 6(a)）．
- Execution
 ユーザがファイルを指し示すジェスチャをしてしばらく静止すると，ファイルは実行される．たとえば，画像ファイルの場合には画像ファイルが拡大される（図 6(b)）．
- Rotation
 仮想回転テーブルの場合，手の重心位置が円形領域内にあり，かつ回すジェスチャをした場合，円形領域に表示された画像が回転する（図 6(c)）．これに対し，実回転テーブルの場合には，テーブルを実際に回転させると表示された画像がテーブルとともに回転する．

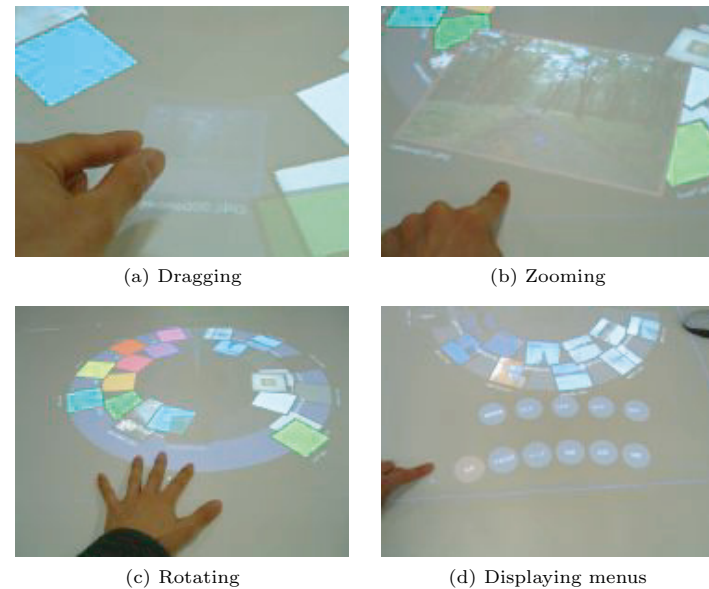


図 6 テーブル上での基本的操作
 Fig. 6 Primitive interactions on the table.

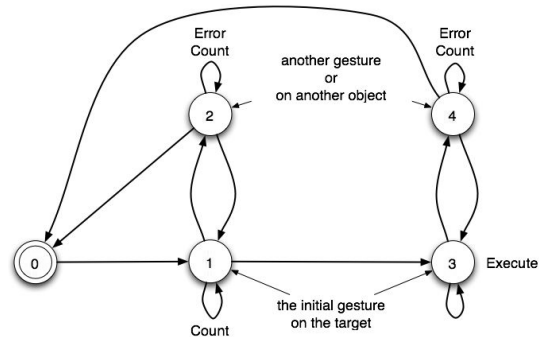


図 7 手指操作の状態遷移図

Fig. 7 State transition diagram of finger manipulation

- Displaying menus

ユーザがテーブルの画像が表示されていない部分を左手の指で指し示すジェスチャをすると、階層型メニューが現れる(図 6(d)). ユーザは右手の指で項目を選択する. このメニューの両手操作は文献 1) を参考としている. ユーザはまずソートに利用する特徴を選択すると, 第 2 層のメニューが現れ, ここから配置手法を選択する.

本システムでは CCD カメラからの色情報をもとにユーザの手の認識を行うが, 操作中に手を動かしたり, プロジェクタの映像が手に投影されたりするため誤認識が起こりやすく, そのままでは正確にジェスチャを判別することができない. そのため, 各操作において誤認識を吸収するような内部状態の遷移を行う.

図 7 に状態遷移図を示す. state0 が初期状態であり, 何らかのジェスチャが検出されると state1 に遷移する. state1 ではジェスチャが検出されている時間がカウントされ, 一定時間経過すると state3 に遷移しそのジェスチャでの操作が行われる.

state1 において当初と異なるジェスチャが検出されると, state2 に遷移してその検出時間をカウントする. もし state2 で当初のジェスチャが検出されると, state2 に遷移した際のジェスチャは誤認識だったと判断して state1 に戻る. 逆に一定時間経過した場合は, ユーザが当初のジェスチャをとりやめたと判断して state0 に遷移する. state3 においても同様に, 当初と異なるジェスチャが検出されると state4 に遷移して経過時間をカウントする. 元のジェスチャが検出されると state3 に戻るが, そのまま一定時間経つと操作を終了して state0 に遷移する.

5. 評価

5.1 配置に関する評価実験

仮想スクロール機能の利便性を調べるために, 各配置方法において以下のような評価実験を行った.

被験者 8 人に以下の 4 種類の配置を使って 400 枚の画像ファイルの中から 3 つの画像ファイルを検索してもらい, その所要時間を計測した. 実際の会議の場では画像以外にも文字情報が用いられるが, 画像に比べてテキストは判別しにくく, 実験の差が出にくいと考えたため, 今回の実験では画像のみを用いた. なお, 本実験は仮想回転テーブルのみを用いて行われた. また, 分類配置と連続配置はほぼ同じ表示であるため, 分類配置の実験は省略した.

- 連続配置 L

ファイルの 1 辺の大きさが 6 cm で, 回転卓 1 回転分に約 30 個表示される.

- 連続配置 M

ファイルの 1 辺の大きさが 4 cm で, 回転卓 1 回転分に約 45 個表示される.

- 連続配置 S

ファイルの 1 辺の大きさが 2 cm で, 回転卓 1 回転分に約 100 個表示される.

- らせん配置

ファイルの大きさが 2~11 cm で表示され, 回転卓 1 回転分に 28 個表示される. また, 1 回転で約 10 個が入れ替わる.

実験結果のグラフを図 8 に, 所要時間の平均と分散を求めた結果を表 1 に示す. グラフを見ると, 連続配置に関しては個人差が大きく, 最適な大きさはないように見られる. 連続配置の各サイズ間において, 平均値の差に関して t-検定を行ったところ, どれも有意差は見られなかった. これに対し, らせん配置は 8 人中 7 人が 3 位以下となっており, 各連続配置とらせん配置の平均値の差に関して t-検定を行うと, 連続配置 M とらせん配置の間に有意差が見られた ($p < 0.05$). この理由としては, らせん配置ではファイルの大きさが連続的に変化するため, ユーザがファイルの発見や追跡に苦労するが, 連続配置ではスクロール時にユーザが発見し損なっても, テーブル全体を見渡すことでそのファイルを容易に発見することができるためと考えられる.

5.2 仮想回転テーブルと実回転テーブルの比較実験

テーブルの利便性と直感性を評価するために, 以下のような比較実験を行った. 実験の主たる目的は仮想回転テーブルと実回転テーブルを比較することであったが, 他のテーブル

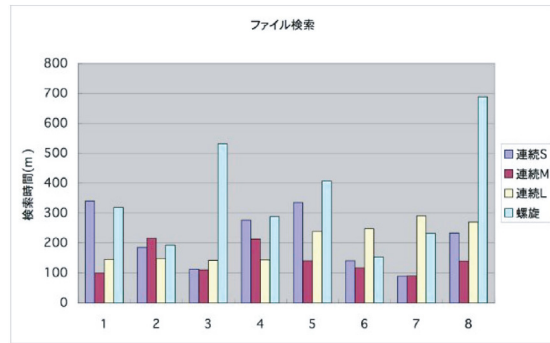


図 8 実験結果
Fig. 8 Experimental result.

表 1 各配置方法の所要時間の平均と分散
Table 1 Mean and variance of time required.

操作方法	平均値 [sec]	標準偏差
連続配置 S	217.5	93.8
連続配置 M	142.9	46.7
連続配置 L	206.3	61.4
螺旋	358.2	174.5

トップシステムでよく用いられるタッチペンによる操作をも比較することとした。このために仮想回転テーブルを修正し、タッチペンシステム mimio¹⁶⁾ によって円形領域を回転できるようにした(図 9 (b))。

6 人の大学院生が被験者として実験に参加した。被験者には 3 つのテーブルトップシステムを用いて、500 の画像ファイルから指定された 3 つの画像を見つけるよう指示した。500 枚の画像はランダムに並んでいる。1 度にテーブル上に表示できる画像数は 30 であり、500 枚すべての画像を見るためには最低でも 16 回転させる必要がある。制限時間は 10 分とし、時間内に発見できなかった場合にはそこで実験を終了した。

図 10 は各被験者がかかった時間のグラフである。このグラフからほとんどのユーザが実回転テーブルで他の 2 つより速く発見できていることが分かる。ただ 1 人の被験者 (Subject 2) は 10 分以内にタスクを遂行することができなかった。この理由は、彼は実験時にテーブルを速く回しすぎ、テーブル上に表示された画像を見逃してしまい、混乱して結局最後まで

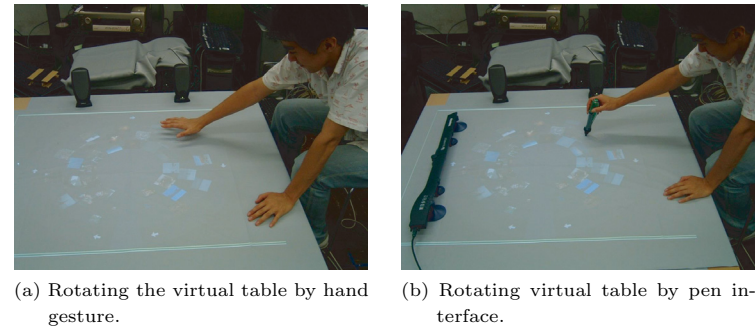


図 9 実験の様子
Fig. 9 Experiment.

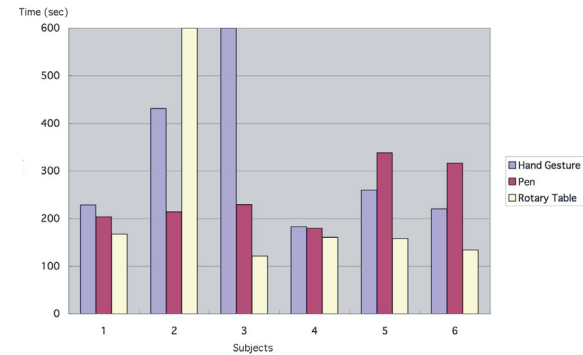


図 10 実験結果
Fig. 10 Experimental result.

発見できなかったためである。仮想回転テーブルにおいては、別な 1 人の被験者 (Subject 3) が制限時間内にタスクを完了できなかった。この理由は、仮想テーブルを回転しているときに、対象とする画像がちょうど手の甲に重なったため、これを発見できなかったためである。外れ値 (Subject 2, 3) を除き、所要時間の平均と分散を求めた結果を表 2 に示す。また、各平均値の差に関して t-検定を行ったところ、ペンと手のジェスチャの間に有意差は見られなかったが、実回転卓と他の 2 つの操作方法の間には有意差が見られた ($p < 0.05$)。

実験終了後、被験者に対し各システムの印象を聞いた。彼らは実回転テーブルの操作は仮想回転テーブルより直感的であると述べた。また、手のジェスチャによる仮想回転テーブル

表 2 各操作方法の所要時間の平均と分散
Table 2 Mean and variance of time required.

操作方法	平均値 [sec]	標準偏差
手のジェスチャ	264.5	86.84
ペン	247.0	59.12
実回転卓	148.2	17.61

の回転は、手を大きく動かさなければならぬため不評であった。これは手の認識精度が低く、小さな動作が反映されにくいと考えられる。実回転卓による操作は、手の小さな動きで動かせることと、テーブルの慣性を利用して回転できる点が好まれた。

6. 考 察

6.1 実装上の問題

前までの章で述べたように、実回転テーブルはユーザによるテーブルの回転とテーブル上の表示の回転が一致するため、仮想回転テーブルに比べ信頼性が高かった。本実装では光学式マウスを用いたが、ロータリエンコーダやポテンショメータ等より信頼性の高い回転センサを利用することが考えられる。

ポインティングデバイスとしては、画像認識による方法より、タッチペンやタッチパネルの方が信頼性が高いかもしれない。しかし、画像認識による手法では、複数同時入力が可能であり、ジェスチャ認識が可能である。さらに、画像認識ではテーブル上に置かれた実物体の認識も可能であるため、我々は画像認識手法は有効であると考えられる。

他のテーブルトップシステムのように、本システムではプロジェクタが利用された。テーブル上の表示を明るく鮮明にするためには部屋をある程度暗くしなければならない。しかし、実際の会議では必ずしもそうした暗い部屋で行うことができるとは限らない。背面投影のプロジェクタは前面投影より明るい表示が可能である。しかし、こうした背面投影システムは、比較的大きく、重く、高価なハードウェアを必要とする。一方、大画面 LCD ディスプレイやプラズマディスプレイが次第に安くなっている。我々は現在、この大画面 LCD ディスプレイを水平に置いたテーブルトップシステムを開発中である。

6.2 マルチメディアコントローラ

前の節においては、回転スクロールの設計と実装について主に述べた。これまでは操作の対象となる情報は画像のみであったが、実際の小会議の場では、画像だけでなく音声や動画が扱われることも珍しくない。音声・動画を扱う場合、時間軸方向の変化を操作できなく

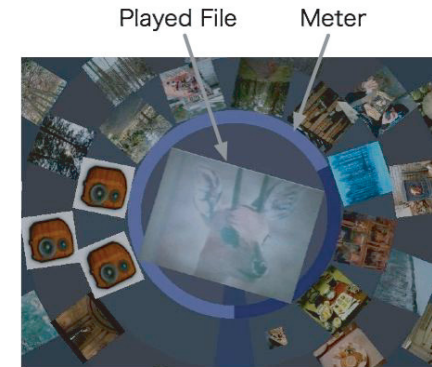


図 11 マルチメディアコントローラ

Fig. 11 A multimedia controller. When the user selects the audio or movie file, the CD jacket or the movie clip is displayed and played at the center of the table. The user can play forward or backward by rotating the table.

てはならないが、それには本システムの回転テーブルを利用できると考えられる。そこで、我々は回転を利用した音声・動画のためのインタラクションを設計、実装した。図 11 は回転テーブル上に実現されたマルチメディアコントローラである。ユーザが音楽ファイルを選択すると、その CD ジャケットが中央に表示されると同時に音楽が再生される。同様に動画ファイルが選択されると、動画クリップがテーブル中央で再生される。図 11 に見られるように、ファイルの周辺に現在の再生箇所を示す円形のゲージが表示される。テーブルを回転すると、ファイルの早回し、巻き戻しができる。こうしたインタフェースは動画編集機のジョグシャトルやディスク/ビデオジョッキのターンテーブルに見ることができる。回転テーブルはこうしたマルチメディアコントローラに適している。

6.3 回転スクロール

本論文で述べた回転スクロールは Apple の iPod や Panasonic のノート PC のインタフェースに似ている。こうした回転スクロールの利点の 1 つは、ユーザがタッチパネルから手を離さずにスクロールをし続けることができる点である。これに対し、たとえばスクロールマウスによるスクロールでは、Scroll Wheel を何度も回転させなければならない。よって、回転スクロールは普通のスクロールに比べ大規模ファイルのブラウズがより連続的に効率良く行えると考えられる。

本システムの回転スクロールと iPod の回転スクロールには 2 つの相違点がある。1 つは

手指の回転方向とスクロールの方向の関係である。iPod では、タッチパッドにおける回転動作は、画面上に表示されるリストの縦方向の動きにマップされる。これに対し、本システムではテーブルの回転動作はファイルの回転動作にマップされている。第2の相違点は、入力デバイスと出力デバイスの関係である。iPod では、入力デバイス（つまりタッチホイール）と出力デバイス（つまり液晶ディスプレイ）は異なる。これに対し、本システムでは、入力デバイスと出力デバイスは同じである。これはユーザにとってより直感的であると思われる。

7. おわりに

本論文は仮想、および実回転テーブルの設計と実装について述べた。そして、回転テーブル上での大規模データの表示手法、探索手法を提案した。比較実験によって実回転テーブルの方がより利便性が高く、直感的であることを示した。また、回転インタフェースのマルチメディアコントローラへの応用も示した。

今後は、実回転テーブル上での実物体と電子情報の高度な統合を目指す。実際の共同作業においては、人々は実物体を見ながら議論を行うことが多い。テーブルトップシステムはこうした点を支援する必要があると考える。

参考文献

- 1) Chen, X., Koike, H., Nakanishi, Y., Oka, K. and Sato, Y.: Two-handed drawing on augmented desk system, *Proc. 2002 Int'l Conf. on Advanced Visual Interfaces (AVI 2002)*, ACM, pp.219–222 (2002).
- 2) Dietz, P.H. and Leigh, D.L.: DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology, *ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp.219–226 (2001).
- 3) Hinrichs, U., Carpendale, S., Scott, S.D. and Pattison, E.: Interface Currents: Supporting Fluent Collaboration on Tabletop Displays, *Proc. 5th Symposium on Smart Graphics*, pp.185–197 (2005).
- 4) Kajiwara, S., Koike, H., Fukuchi, K., Oka, K. and Sato, Y.: Information Layout and Interaction Techniques on Augmented Round Table, *Proc. IEEE Int. Workshop on Human-Computer Interaction (HCI 2005)* (Oct. 2005).
- 5) Kakehi, Y., Iida, M., Naemura, T., Shirai, Y., Matsushita, M. and Ohguro, T.: Lumisight Table: Interactive View-Dependent Tabletop Display, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.25, No.1, pp.48–53, 2005.
- 6) Koike, H., Kajiwara, S., Fukuchi, K. and Sato, Y.: Information Layout and Inter-

- action on Virtual and Real Rotary Tables, *Proc. 2nd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems (Tabletop 2007)*, (Oct. 2007).
- 7) Koike, H., Sato, Y., Kobayashi, Y., Tobita, H. and Kobayashi, M.: Interactive Textbook and Interactive Venn Diagram: Natural and Intuitive Interface on Augmented Desk System, *Proc. Human Factors in Computing Systems (CHI2000)*, ACM, pp.121–128 (2000).
 - 8) Koike, H., Nagashima, S., Nakanishi, Y. and Sato, Y.: EnhancedTable: Supporting a Small Meeting in Ubiquitous and Augmented Environment, *Proc. 5th Pacific Rim Conference on Multimedia (PCM2004)*, LNCS, pp.97–104 (2004).
 - 9) Lamping, J. and Rao, R.: Laying out and visualizing large trees using a hyperbolic space, *Proc. 7th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (Nov. 1994).
 - 10) Shen, C., Lesh N. and Vernier, F.: Personal Digital Historian: Story Sharing Around the Table, *ACM Interactions*, Vol.10, Issue 2, pp.15–22 (Mar./Apr. 2003).
 - 11) Misawa, J., Tsuchiya, K. and Yoshikawa, K.: MediaTable: A Computer Screen System with Nonspecific Direction in Presenting Information, *Proc. 9th Workshop on Interactive Systems and Software (WISS2001)*, pp.173–178 (2001). (in Japanese)
 - 12) Oka, K., Sato, Y. and Koike, H.: Real-time tracking of multiple fingertips and gesture recognition for augmented desk interface systems, *Proc. IEEE Int'l. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2002)*, pp.429–434 (May 2002).
 - 13) Rekimoto, J. and Saitoh, M.: Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, *Proc. CHI'99*, pp.378–385 (1999).
 - 14) Ullmer, B. and Ishii, H.: The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces, *Proc. Symp. on User Interface Software and Technology (UIST'97)*, pp.223–232 (1997).
 - 15) Wellner, P.: Interacting with paper on the DigitalDesk, *Comm. ACM*, Vol.36, Issue 7, pp.87–96 (1993).
 - 16) mimio. <http://mimio.com>
 - 17) Panasonic Let's Note. <http://panasonic.jp/pc/>
 - 18) Intel Open Computer Vision Library. <http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>

(平成 19 年 9 月 22 日受付)

(平成 20 年 4 月 8 日採録)



梶原 慎太郎

2007年電気通信大学情報システム学研究科修士課程修了。同年ソニーデジタルネットワークアプリケーションズ株式会社入社。現在に至る。ソフトウェア開発に従事。ユーザインターフェイス，ユーザビリティに興味を持つ。



小池 英樹 (正会員)

1991年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。同年電気通信大学電子情報学科助手。1994年同大学院情報システム学研究科助教授。1994～1996年，1997年U.C.Berkeley 客員研究員。2003年Sydney大学客員研究員。2006年電気通信大学大学院情報システム学研究科教授。現在に至る。情報視覚化の研究に従事。Focus+Context技術，大規模ログの解析/視覚化，やわらかい認証方式，Honeypot技術，画像認識を利用したHCI等に興味を持つ。1991年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞，2000年情報処理学会DICOMO 2000最優秀論文賞，2001年IEEE VR2001 Honorable Mention for the Outstanding Paper Award受賞。ACM，IEEE/CS，日本ソフトウェア科学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員。



福地 健太郎 (正会員)

1975年生まれ。2000年東京工業大学大学院情報理工学研究科修士課程修了，2006年博士号取得。2004年より電気通信大学情報システム学研究科助教。2008年より科学技術振興機構ERATO五十嵐デザインインタフェース研究員。ユーザインタフェースやエンタテインメント応用，音楽・映像分野との協調に興味を持つ。ACM会員。2002年FIT船井ベストペーパー賞受賞。



佐藤 洋一 (正会員)

1990年東京大学工学部機械工学科卒業。1997年カーネギーメロン大学計算機科学部ロボティクス学科博士課程修了。Ph.D. in Robotics。同年より東京大学生産技術研究所研究機関研究員，講師，助教授を経て，現在同大学大学院情報学環准教授。コンピュータビジョン，ヒューマン・コンピュータ・インタラクション，コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。2006年電子情報通信学会論文賞，1999年情報処理学会山下記念研究賞，1999年日本バーチャルリアリティ学会論文賞等を受賞。電子情報通信学会，日本バーチャルリアリティ学会，ACM，IEEE各会員。