

Scroll Display: 超小型情報機器のための指示装置

椎 尾 一 郎†

手のひらに収まる超小型携帯コンピュータは、表示装置と指示機構の大きさに制約がある。このため、WWW ページ・新聞・地図・書類などの大きな面積を持つオブジェクトを直接的操作により閲覧・操作する場合、頻繁なスクロールが必要になり、操作が煩雑である。そこで筆者は、機械式マウス機構を超小型コンピュータの背面に組み込み、コンピュータの移動にともなって表示オブジェクトをスクロールする仕組みを提案し、試作した。これにより、大きなオブジェクトの一部をのぞき込む仮想的な窓枠を、手で直接移動してスクロールするユーザモデルを提供できる。試作機を用いて評価実験を行い、表示装置に収まらない大きなオブジェクトであっても、円滑にスクロールして閲覧できることを確認した。

Scroll Display: Pointing Device for Palmtop Computers

ITIRO SHIO†

The palmtop computer has limitations of its display size and pointing mechanism. This makes it difficult to apply direct manipulation manner on very large objects such as WWW pages, news papers, maps, and documents prepared for large display, because it takes frequent scroll operations. In this report, palmtop computer with a built-in mechanical mouse on the back is proposed to solve this problem. When a user moves the computer, the display scrolls over virtually boundless objects. This provides an intuitive user model as if a user is moving window frame through which a part of underlying large object is shown. An experimental palmtop computer with this mechanism has been made to evaluate the usability. The evaluation shows that users can scroll and manipulate larger objects than display device with ease of use.

1. はじめに

手のひらに収まる大きさ以下の、超小型コンピュータが、個人用情報機器 (PDA) などの用途で活発に利用されるようになった。

この超小型コンピュータは一般に、装置のサイズで制限される小型の液晶表示部と、ボタンやペンによる入力機構を有している。また、デスクワークと外回りの仕事の連携を目的として、デスクトップパーソナルコンピュータ (PC) と情報を共有して使用されることが多い。そのため無線/有線による通信手段、メモリーカードなどにより、デスクトップコンピュータと頻繁なデータ交換ができるように設計されている。

筆者は、超小型コンピュータを設計する際に考慮すべきヒューマンインタラクションの課題として、次の2点を考えた。

(1) 表示装置が小型であるため、大きな面積を持つ

オブジェクト (広いデスクトップ、WWW ページ、新聞・地図・書類など) を閲覧・操作することが困難である。これを克服する、直感的で分かりやすい操作手段を提供すべきである。その手段は、直接操作に不向きなスクロールボタンや、両手操作が必須のペンに依存しないことが望ましい。

(2) デスクトップ PC との円滑な連携のために、超小型コンピュータとデスクトップ PC の両方に対してシームレスな操作を提供すべきである。1つの手法として、超小型コンピュータがデスクトップ PC 画面の中のオブジェクトとして自然に振る舞うような仕組みを用意したい。

そこで、この課題を解決する機構とユーザモデルを提案し、ユーザインタフェースを設計した。また、試作機を製作し、この試作機を用いて評価実験を行った^{1),2)}。

2. システムの概要

超小型コンピュータで直接操作を実現するために、

† 玉川大学工学部電子工学科

Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Tamagawa University

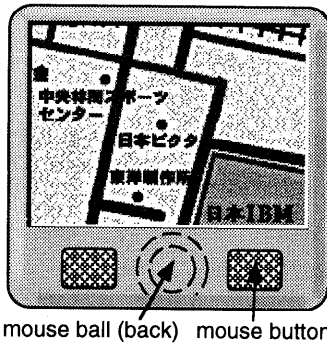


図 1 背面にマウスを内蔵した超小型コンピュータ

Fig. 1 An example of the Scroll Display. A palmtop computer has mouse mechanism on the back.

一般には、小型の表示装置に合わせた専用の画面デザインが採用される。しかし、小型表示装置を用いて、大きな画面を前提に設計されたオブジェクトを利用する場合（たとえば、デスクトップメタファーや WWW のページ）や、内容が本質的に大面積であるオブジェクトを扱う場合（たとえば、地図や写真、紙向けにフォーマットされた新聞・書類のイメージなど）は、頻繁なスクロール操作が必要になる。そこで、効率の良いスクロール操作を提供することが直接操作を設計するうえでの課題になる。

本研究では、超小型コンピュータに、指示装置の機能を組み込むことで、この課題を解決しようとした。図 1 に示す概要図では、超小型コンピュータの背面にメカニカルマウスのボール機構を組み込んだ。超小型コンピュータを、机上で移動すると、移動量と方向がマウス部分で検出される。

この移動方向と移動量に従って表示内容をスクロールするようにプログラムする。すると使用者は、あたかも、大面積の書類の一部をのぞき見るウィンドウ枠を手にとり、見たい方向に移動するかのような感覚を得ることになる（図 2）。机上に仮想的な大面積オブジェクトが置かれていると感ずることができれば、アイコンやリンクボタンなどのオブジェクトを仮想的机上空間に配置して整理したり、オブジェクトの位置関係を手がかりに必要なオブジェクトを探し出す操作が可能になる。後者は、たとえば日本地図の東京と大阪の位置を手がかりに名古屋の部分へスクロールする、新聞の一面見出しとコラムの位置を手がかりに天気図へスクロールするなどの操作である。このユーザモデルを利用すれば、小さな表示画面であっても、直観的で分かりやすい閲覧操作を提供できる。

一方、外回りの作業などで、机を利用できない場面では、本装置を手を持って、背面のマウスボールをト

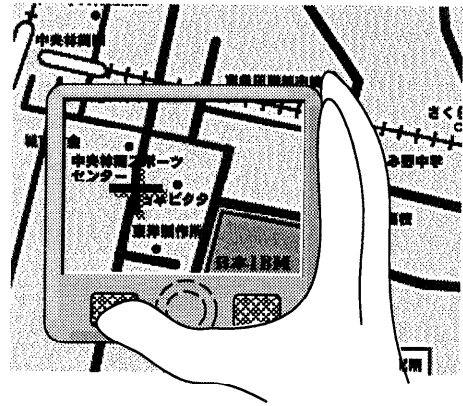


図 2 超小型コンピュータの移動に従って内容をスクロールすることで、大きなオブジェクトの部分を表示する仮想的な窓の枠をつかんで閲覧するユーザモデルを提供する。十字のポインターは、表示部分の位置を反映する位置に表示する。

Fig. 2 The Scroll Display gives illusion as if the user moves a window frame to look a part of an object (ex. a map) which is spread over the table.

ラックボールのように操作することも可能である。通常のマウスでこのような使い方をを行うと、ボールとポインターの動きが逆になってしまいトラックボールとして使用できない。しかし、本方式では表示されたオブジェクトを裏面から指でドラッグして移動するという自然な操作になる。

3. オブジェクトの操作

3.1 ポインター

表示されるオブジェクトを指示して、直接操作を行うために、ポインターを表示する。ポインターは基本的に表示画面に固定されていて、ユーザは指示したいオブジェクト（たとえば、WWW ページのボタン）の真上にポインターが重なるまで超小型コンピュータを移動し、ボタン操作により直接操作を行う。

ポインターを画面中央に固定とすると、スクロール可能な世界の縁が中央に来るまで移動する必要があり、何も表示されない部分が表示装置の最大 3/4 までを占めることになり利用効率が悪い。そこで、市販の仮想スクリーンソフトウェア³⁾に倣って、オブジェクト全体の大きさに対する表示範囲の位置関係を、表示画面内で相対的に示す位置に、ポインターで表示した（図 2）。たとえば WWW ページなどの中央を表示している場合はポインターを画面中央に、左上隅を表示している場合は画面左上隅に表示する。この方式には、表示している部分が全体のどこに相当するかが容易に判断できる利点もある。

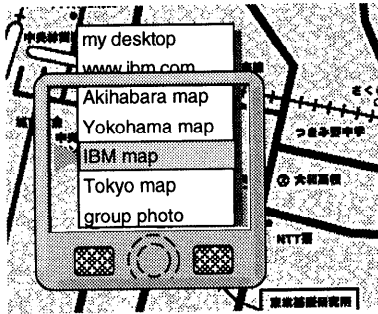


図3 ポップアップメニューを表示し、超小型コンピュータを上下に移動すると、表示中央の項目が選択される。

Fig. 3 The popup menu is scrolled by moving the computer vertically.

3.2 メニュー

ボタン操作により表示するポップアップメニューに対しても、他のオブジェクトと同様のユーザモデルを採用した。すなわち、ポインターを表示装置に固定し、超小型コンピュータを上下に動かすことで、メニュー項目を選択する。表示装置に収まらない長いメニューの場合は、その一部を表示し、超小型コンピュータの移動により表示部分が移動する(図3)。

ただし、メニューが背景のオブジェクトに完全に張り付くモデルでは、超小型コンピュータの移動によりメニューを見失ってしまうことが予想される。そこで、超小型コンピュータの左右の移動は、メニューの動きに反映しないこととした。この結果、横方向の動きに対しては、メニューが追従する動きをする。また、上下も、メニューの長さ以上にはスクロールせず、超小型コンピュータに追従する動きとした。

4. デスクトップ PC との連携

この超小型コンピュータに無線通信機能を組み込めば、デスクトップ PC のワイヤレスマウスとして利用することができる。その状態でデスクトップ PC の操作を行えば、シームレスな操作でデータの転送が可能と考え、次のような仕組みを提案する。

- (1) 超小型コンピュータをデスクトップ PC に近づけると、無線 LAN によるファイル共有機能が起動し、PC のデスクトップ画面に、超小型コンピュータがアイコンとして現れる。
- (2) 同時に、ワイヤレスマウスとしての機能も起動し、マウスポインターが(1)のアイコンをドラッグしている状態になる。この状態で超小型コンピュータを移動すると、デスクトップ PC の画面でもやはり移動する(図4上)。
- (3) 超小型コンピュータのボタンクリック操作によ

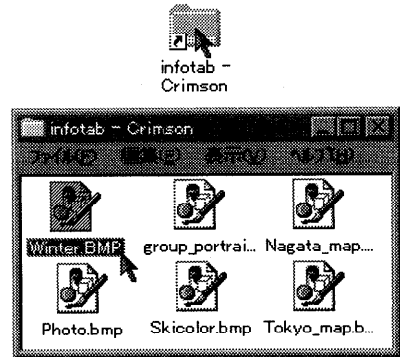


図4 超小型コンピュータは、デスクトップ PC 画面で情報を保持したポインターを表すアイコンになる(上)。ボタン操作でアイコンを開くと、通常のポインターになり、ファイルの操作ができる(下)。

Fig. 4 The palmtop computer appears as a pointing device that drags contents of the computer (upper). By clicking the push button switch of the palmtop computer, the drag mode ends (lower).

り、ドラッグ状態から脱し、通常のマウスポインター操作になる。そこで、超小型コンピュータのアイコンを開き、内容を閲覧・削除し、デスクトップ PC のファイルをこれに移動してコピーする(図4下)。

- (4) 超小型コンピュータのフォルダを閉じると(2)の状態になる。デスクトップ PC から離し、無線 LAN の接続が途絶えると、アイコンが消える。

操作(2)では、超小型コンピュータが、マウスポインターの張り付いたアイコンとして表示され、現実の超小型コンピュータの移動に従って移動する。これにより超小型コンピュータが、情報を保持したポインティングデバイスであるというユーザモデルを提供しようとしている。(3)では、保持している情報を、ポインティングデバイスで整理して、(4)でデスクトップ PC から取り出している。以上の操作により、超小型コンピュータを、デスクトップ PC の画面の中に持ち込んで、操作するモデルを提示することができると思われる。

5. 試 作

指示装置を備えた超小型コンピュータの有用性を確認する目的で、4 インチ液晶表示装置 (Sony, FDL-X40) にペン型シリアルメカニカルマウス (サンワサプライ, MA-P250PS) のマウス機構部分を付加した試作機を作製した。小さな表示部分での動作を実現する目的で、表示装置の中央部分 34×45 mm だけを利用した(図5)。

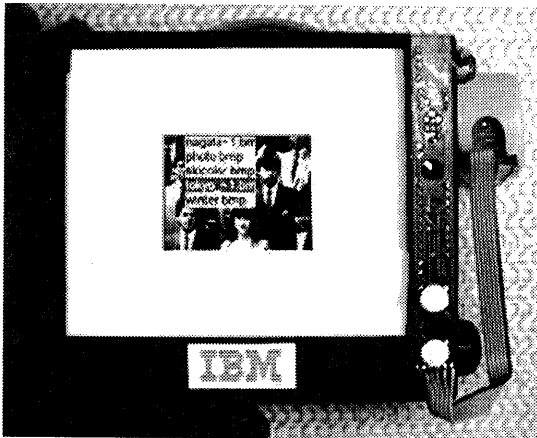


図 5 超小型コンピュータの試作機。マウスを内蔵し（本体右上）、本体を移動することでオブジェクトの閲覧・操作を行う。

Fig. 5 Prototype of the Scroll Display.

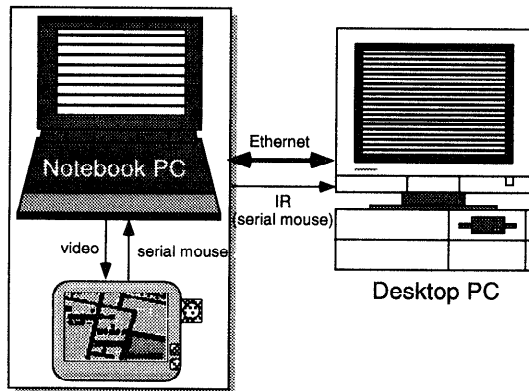


図 6 試作システムの構成図。ノートブック PC で、オブジェクトの閲覧・操作を実現する。デスクトップ PC と接続した状態では、デスクトップ PC のマウスポインターを操作し、ファイルコピー操作などをする。

Fig. 6 Structure of the Scroll Display prototype.

最終的にはこの単体が稼働すべきであるが、試作では、図 5 の装置をノートブック PC (IBM ThinkPad 760E) のディスプレイとマウスポートに接続し、ノートブック PC でオブジェクト操作のプログラムを動かす、操作結果を試作機のディスプレイに表示した (図 6)。マウス付きディスプレイとノートブック PC が、めざしている超小型コンピュータを構成している。デスクトップ PC (IBM PS/V) とは、赤外線と Ethernet で接続し、前者でマウス信号を送り、後者でファイルの操作とコピーを行った。この接続も、将来はすべて無線にすべきである。

ノートブック PC には、Visual Basic を用いて画像ファイルブラウザを試作した。本装置を移動することで、大きな画像ファイルをスクロールして閲覧できる。

また、ボタン操作でポップアップメニューを呼び出し、画像ファイルの一覧を表示し、選択することができるようにした。

デスクトップ PC とは、Windows95 のファイル共有機能を利用して、画像ファイルのフォルダを共有した。また、ノートブック PC から必要に応じてマウス信号を送り出し、デスクトップ PC のポインターを操作し、デスクトップ PC からファイルのコピー操作ができるようにした。

6. 評価

試作機を用いて、本方式の評価を行った。評価のために、まず被験者に試用してもらい使用感についてインタビューし、次に目標を指示する動作の所要時間を測定した。

6.1 試用による評価

この試作機を研究所研究員 10 人程度 (コンピュータ経験者) と学会発表会場²⁾ 来場者 20 人程度に試用してもらい、試用者に口頭で評価を求めた。その結果、小さな表示装置であっても、大きな地図や集合写真を直接的にスクロールできることが使いやすいとの回答を得た。また、地図ではランドマークの、集合写真では人の位置関係を手がかりに、見たい場所へスムーズにスクロールすることができた。地図では、道路や鉄道などに沿ってスクロールして目的地を見つける操作も容易であった。ズーム機能を要望する回答もあった。初期の試作機では、マウスポインターを画面中央に固定したが、その場合、スクロール可能範囲の縁にあるのに気づかず移動を試みる様子が観察された。相対位置にマウスポインターを表示する方式に改良した試作機では、このような操作は観察されなかった。

本方式のマウスポインターは、スクロール状態に従って表示位置が決まり、任意に動かせない。これが下のオブジェクトを隠し、邪魔になる場合があることが、試用の結果分かった。そこでスクロール操作停止状態が 3 秒続いたらポインターを消すように改良した。

本方式のポップアップメニューは、前述のように上下にメニューの長さしかスクロールしないので背景のオブジェクトの動きと異なる。この点を指摘して、口頭で評価を求めたが、不自然に感じることはなく、メニューの動きとして適しているとの回答を得た。

6.2 指示動作速度による評価 (実験 1)

6 人の被験者 (コンピュータ経験者) が、本試作機を用いて目標オブジェクトを指示するまでの所要時間を測定し、Fitts の法則^{4),5)} に基づいて解析を行った。

図 7 に示すような、出発領域と目標領域を黄緑色

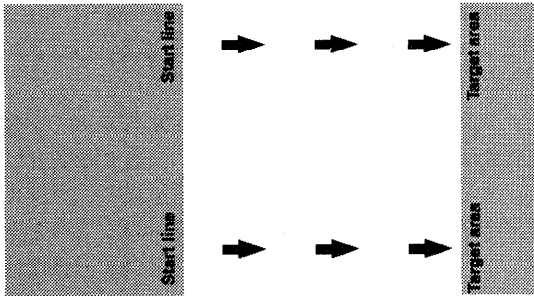


図7 指示動作時間測定のための提示パターン。最初に左側の帯、次に右側の帯（いずれも色は黄緑色）の中でクリックしてもらい、左帯でのボタンアップから右帯でのダウンまでの所要時間をms単位で測定した。

Fig. 7 One of the patterns for the experiment.

の帯で表したパターンを、試作機のディスプレイに表示した。ポインターは、前節での方式と違い、表示画面の中央に固定とした。出発帯は試作機の画面領域の横幅（45mm）のほぼ半分の幅である。そこでこのパターンを左端までスクロールした状態で、画面中央のポインターは出発帯内の右端に位置する。被験者には、この状態でまずクリックしてもらい、次に試作機を右に移動させて、画面中央のポインターが目標帯の中に入ったところでもう一度クリックしてもらった。一連の作業の、出発帯でのボタンアップから目標帯でのダウンまでの所要時間を測定した。

図7のパターンは、目標の幅（ S ）が10mm、出発帯の右端から目標の中央までの距離（ D ）が40mmである。被験者には、数回の練習の後、 $D = 5$ mmから320mm先にある、 $S = 5$ mmから40mm幅の目標を順番に、それぞれ5~10回選択してもらった。

目標を指示する作業は知覚、認識、筋肉の駆動の積み重ねであり、このサイクルの誤差が目標の大きさに収まるまで繰り返すとされている。そこで、距離 D がある幅 S の目標を指示するのに必要な時間 T は、

$$T = C1 + C2 \log_2(D/S + 0.5)$$

で求められる（Fittsの法則）。ただし $C1$ と $C2$ は定数であり、特に $C2$ は認知と運動のサイクル時間に比例する。

図8は、6人の被験者が、目標を指示するのに要した平均時間を縦軸に、Fittsの法則の対数部分を横軸にして作成したグラフである。測定結果が直線上に並び、Fittsの法則に従った動作が行われていたことが分かる。試作機の表示部分の中央から右端までの距離は22.3mmであるので、距離 $D = 40$ mm以上にある目標のうち幅 $S = 40$ mmを除く目標は、操作開始時にディスプレイにまったく表示されない。しかしこれらの目標も、短距離の目標と同じ直線上にあり、

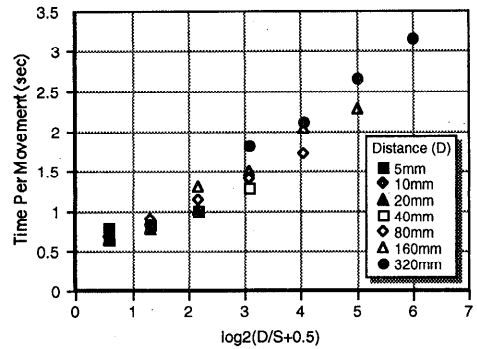


図8 Fittsの法則に基づいて解析した目標選択時間（全被験者の平均）

Fig. 8 The average of six subject's necessary time to point targets, using Scroll Display (Experiment 1).

表1 実験1における各被験者の結果

Table 1 Results of Experiment 1.

	C1 (msec)	C2 (msec/bit)	R 2 乗
被験者 N	397	356	0.961
被験者 I	511	338	0.872
被験者 K	200	547	0.829
被験者 Mi	77	510	0.873
被験者 Mu	433	385	0.933
被験者 S	209	375	0.933
平均値	294	423	0.934

Fittsの法則に基づいた結果が得られた。

表示装置の外にある目標が、表示装置内に見える目標と同じようにとらえていることから、仮想的な窓枠を移動して閲覧するユーザモデルが有効に働いていると考えられる。

それぞれの被験者の個別の結果も、ほぼ図8と同じく直線のグラフになった。表1に各被験者の測定結果を直線回帰して求めた係数とR2乗を示す。

6.3 比較実験（実験2, 3）

6.3.1 実験2

表示装置と指示装置が別々である、従来のマウス型操作による指示方式との比較を目的に、以下のように実験2を行った。実験1と同じ被験者6人が、同じパターンの目標帯を指示する時間を測定した。ただし、実験1では試作機の画面にパターンを表示したのに対して、実験2では図9に示すように、ノートブックPC画面にパターンを表示した。試作機を移動すると、ノートブックPC上のパターンがスクロールする。この構成では、被験者はノートブックPCの画面を見ながら、本装置を従来のマウスと同様の指示装置として操作する。

6人の被験者の平均を表2に示す。実験1と実験2を比較すると、ほぼ同様の結果である。本方式（実験

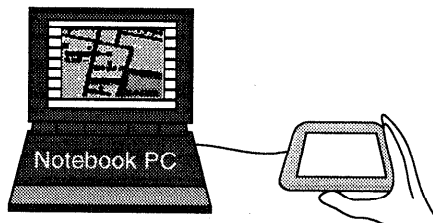


図9 実験2：従来のマウス型操作方式との比較のための実験。画像はノートブック PC に表示し、本装置はマウスとして使用。

Fig.9 Experiment 2. The prototype works as a conventional mouse.

表2 本方式(実験1)とマウス型操作方式(実験2)の比較(被験者6人の平均)

Table 2 Results of the Experiment 1 and 2 (mouse).

	C1 (msec)	C2 (msec/bit)
実験1	294	423
実験2	248	459

1) は、指示装置と表示装置が別である従来のマウス型操作方式と、同程度の指示性能であることが分かった。ただし、マウス型操作方式はマウス装置を持ち運ぶ必要があるため、超小型コンピュータの応用分野には適していない。また、被験者はマウス操作に熟練していたので、表示とマウス操作の対応訓練ができていたと考えられる。ユーザーがマウス操作に不慣れな場合や、本実験より複雑な指示操作では差が出ることも予想できる。

6.3.2 実験3

タッチパネルを備えた PDA においては、パネルをこする動作の繰り返しで、大きな画像をスクロールする操作方式を提供している。この方式との比較を目的に、タッチパッド(小型のタブレット)によるスクロールとの比較実験3を行った。実験1, 2と同じ被験者6人が、同じパターンの目標帯を指示する時間を測定した。パターンは、実験2と同様にノートブック PC 画面に表示した。ただし、ノートブック PC には本試作機は接続せず、代わりに市販の小型(50×35 mm)タッチパッド(Try Corporation JTM-01A)を接続した。タッチパッドを指でこする操作を繰り返すと、ノートブック PC 画面上のパターンがスクロールする。なお、こする速度に対するスクロール量の特性は、製品出荷時設定値のまま使用した。

6人の被験者の平均を表3に示す。本方式(実験1)はタッチパッドによる指示方式に比べて、素早く指示できることが確認できた。

表3 本方式(実験1)とタッチパッド(実験3)との比較(被験者6人の平均)

Table 3 Results of the Experiment 1 and 3 (touch pad).

	C1 (msec)	C2 (msec/bit)
実験1	294	423
実験2	373	771

7. 関連研究

表示装置と指示装置を、パームトップサイズに一体化する提案や研究には、次のようなものがある。文献6)では、携帯用情報機器にメカニカルマウスを組み込むことを提案している。ただし、表示画面とマウスポインターは、従来のデスクトップ計算機とまったく同様に表示・動作し、本研究で提案しているような仮想スクリーンをスクロールする機能はない。文献6)においても、2章で述べた、マウスボールをトラックボールとして指で操作する提案がされている。この場合、ポインターの動きが反対方向になるが、これをモードスイッチ切り替えで解決しようとしている。

仮想現実で用いられる、位置に連動して仮想世界を表示する装置も、関連する研究と考えられる。たとえば Chameleon⁷⁾は、人が3D位置センサー内蔵パームトップディスプレイを持って、仮想オブジェクトを閲覧する装置である。本研究は、机上の2D位置情報に限定することで、安価でどこでも使える装置を目指している。また、装置を手で支えず、机に置いて操作するので、長時間にわたって微妙なポインティング操作が可能であると考えられる。また、仮想現実の研究では主に絶対座標を用いるのに対し、本研究の装置はマウスと同じく相対座標を用いている。マウス操作と同様に、装置を持ち上げて移動することで、見やすい位置で表示を見たり、狭い机の上でも大きなスクロールを行うことができる。

一方、デスクトップ PC との連携で述べた、情報を保持する指示装置という考えは、InfoBinder^{8),9)}で提案した。InfoBinderは、机上にコンピュータ画面を投影する環境で使用する、小型ワイヤレス指示装置である。これにオブジェクトのアイコンを結び付け、手にとって動かせる実体のあるアイコンを提供した。指示装置が保持した内容は、机上の投影画面で閲覧する。本装置は、これをマウス大の装置にして、表示機能を自前で持たせたことになる。

8. まとめ

パームトップサイズの超小型コンピュータに、マウスによる指示装置を組み込むことを提案し、試作を

行い、評価実験を行った。この結果、表示装置が小さく、指示装置やボタンの実装に制約のある超小型コンピュータであっても、大きなオブジェクトを、直感的に閲覧・操作できることを確認した。

また、この超小型コンピュータでデスクトップPCのマウスを操作することで、ファイル交換などの円滑な連携操作を行うことを提案し実験した。

謝辞 本研究は筆者が日本アイ・ピー・エム（株）東京基礎研究所在職中に行った。助言をいただき、被験者になっていただいた当研究所の方々に感謝したい。

参 考 文 献

- 1) 椎尾一郎：超小型コンピュータのための直接操作，情報処理学会モバイルコンピューティング研究グループ研究報告，Vol.96, No.MBL-3, pp.59-64 (1996).
- 2) 椎尾一郎：パームトップコンピュータのための直接操作，情報処理学会インタラクション'97 論文集，Vol.97, No.1, pp.61-62 (1997).
- 3) 日本アイ・ピー・エム：スクリーン・マグニファイア/2 ユーザーズ・ガイド，GB88-7110-00.
- 4) Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A.: *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers (1983).
- 5) Shneiderman, B.: *Designing the User Interface*, 2nd edition, Addison-Wesley Publishing (1992).
- 6) 増永 誠：携帯用情報装置，日本国特許庁公開

特許広報，特開平7-121302 (1995).

- 7) Fitsmaurice, G.W., Zhai, S. and Chignell, M.H.: Virtual reality for palmtop computers, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.11, No.3, pp.197-218 (1993).
- 8) Siio, I.: *InfoBinder: A Pointing Device for a Virtual Desktop System*, Symbiosis of Human and Artifact, pp.261-264, Elsevier (1995).
- 9) 椎尾一郎：InfoBinder: 仮想デスクトップの小道具，情報処理学会，夏のプログラミング・シンポジウム「モバイル&ユービキタスコンピューティング」報告集，pp.19-22 (1995).

(平成9年7月1日受付)

(平成9年12月1日採録)



椎尾 一郎 (正会員)

1956年生。1979年名古屋大学理学部物理学科卒業。1984年東京工業大学大学院物理情報工学専攻博士課程修了，工学博士。同年，日本アイ・ピー・エム（株）東京基礎研究所に入社。マルチメディア会議システム，発表システム，実世界指向オフィスシステムなどのユーザインタフェースの研究に従事。1997年より，玉川大学工学部電子工学科助教授。ウィンドウ表示/マウス操作に代わる，新しいコンピュータの利用形態に興味を持っている。本論文の研究により1997年本会全国大会大会優秀賞受賞。