

## 視覚障害者用 GUI 操作デバイス CAT の開発と評価

海老名 毅\* 猪木 誠二\* 三宅 輝久\*\* 高橋 寛子\*\*

\*郵政省通信総合研究所

\*\*筑波技術短期大学 視覚部

我々は触覚ディスプレイ装置 CAT を試作した。CAT はグラフィカルユーザインターフェース画面上の視覚的なオブジェクトを、触覚的に表示する装置である。CAT を用いた GUI 操作の有効性を調べるため、キーを用いた探索方式と、触覚を用いた方法との比較実験をおこなった。その結果、目的のオブジェクトの探索パスが未知の場合および既知の場合の両条件下において、CAT を用いて操作する方が、キーを用いて検索する方法よりも速く選択できることがわかった。

## Development and Evaluation of a GUI Access Device CAT for the Visually Impaired

Tsuyoshi Ebina\*, Seiji Igi\*, Teruhisa Miyake\*\*, Eiji Nagaoka\*\*, Hiroko Takahashi\*\*

\*Communications Research Laboratory, MPT,

\*\*Division for the Visually Impaired, Tsukuba College of Technology

We developed a tactile display CAT. CAT is an interface device which represents visual objects on GUI screens as a tactile form. We compared a tactile-based search with a key-based search for testing the efficiency of CAT. As a result, the tactile-based search was faster than the key-based search in the both conditions where a search path is known and where a search path is unknown.

## 1 はじめに

グラフィカルユーザインターフェース(以下、GUI と略記する)の普及に伴い視覚障害者がコンピュータにアクセスできなくなる、という問題が重要視されるようになってきた<sup>(1)</sup>。この問題に対処するため、欧米では、視覚障害者用画面内容読み上げソフトウェアであるスクリーンリーダや、種々のスクリーンアクセスシステムが研究/開発されてきた。また、いくつかのスクリーンリーダはすでに実用化されている。

しかし、現在普及している多くのスクリーンリーダはキー操作と音声フィードバックを用いてオブジェクトを検索するため、操作に時間がかかる。また、ウインドウという概念を持たない視覚障害者に対し、GUI 画面上のウインドウの階層的な関係をどう伝えるかという問題に対しては、まだ解が見い出されていないように思える。

本稿では、我々が提案している GUI 操作方式<sup>(2,3)</sup>に基づき試作した触覚ディスプレイ装置およびスクリーンリーダについて説明する。また、本デバイスの有効性を調べるため、視覚障害者を被験者として評価実験を行ない、結果について考察する。最後に、実験結果と聞きとり調査の比較を行ない、本装置の改善点を検討する。

## 2 関連研究

本稿では全盲の視覚障害者がコンピュータをアクセスするためのソフトウェアおよびハードウェアを総称し、スクリーンリーダと呼ぶことにする。操作デバイスと操作方法によるスクリーンリーダの分類を、表 1 に示す。まずデバイスの特徴について説明する。

音声は、音声合成による読み上げで用いられる。音声は、点字の読めない者でも利用できること、装置が安価であることなどの利点により、多くのスクリーンリーダで用いられている。また、音声のモダリティを用いて同時に多くの情報を表現したり、音メタファを用いて短時間で情報を伝達する研究<sup>(4)</sup>も行なわれている。しかし音や音声は時間的に変化するメディアであるため、情報の一部分を確認する等の作業や形状、位置関係の表現には適さない。

触覚ディスプレイは、その利用形態の多くが点字を用いた触読であり、画面内容を点字で確認するときに用いられる。また、オブタコンのように振動子を用いて図形を触読する装置も市販されている。触覚ディスプレイは、位置関係や形状などの言葉による表現が難しい情報を、触覚フィードバックにより伝達できる特徴がある。一方、触覚の利用の問題点は、二点弁別の判別が視覚に比べて著しく劣ること、点字の読めない視覚障害者が多く存在すること、触覚ディスプレイの装置が高価であることである。

タブレットは、ポインティングデバイスの一種であり、位置を利用した画面操作等に有効であると考えられる。タブレットの操作方法にはコードレスマウスを用いる方法と、指で直接選択する方法がある。タブレットを用いた画面上のオブジェクト検索では、画面の二次元的なレイアウトが把握しやすいという利点がある反面、全画面を探索しなければならないなどの問題点が指摘されている<sup>(5)</sup>。

音声と触覚は相補的な性格をもっていると考えられる。よって、音声と触覚という異なるメディアを組み合わせることで、互いの欠点を補う

表1 デバイスとアクセス方式によるスクリーンリーダの分類

	音, 音声+テンキー	触覚	タブレット等
画面構造探索方式	OutSpoken, ScreenReader II, Jaws for Windows	GUIDE	Sound Tablet, Touch Sound Display
画面階層探索方式	MERCATOR, SPWIN	VIRGO, CAT	CounterVision/SR

インターフェースを設計する。

次に画面構造探索方式と画面階層探索方式(または論理構造探索方式)について説明する。

画面構造探索方式は、画面上に二次元的に配置されたオブジェクトを検索する方法である。画面構造探索方式は、視覚障害者が画面のレイアウトを把握しやすい等の利点がある。しかし、画面構造探索方式では、自分がいるオブジェクトの位置の確認が難しい、などの問題がある。

画面階層探索方式は、画面のオブジェクトの階層関係を用いてオブジェクトを検索する方法である。この方法は、オブジェクトの木構造を探索するため常に最初のオブジェクトに戻れる、探索パスを記憶することで画面上の部品の選択が容易である、などの利点がある。しかし画面階層探索方式は画面のレイアウトの把握が困難であること、画面全体の構造を把握できないなどの問題点がある。よって、画面階層探索では、階層関係を論理的な表現に変換して表現する方式(論理構造探索方式)を採用するなどの工夫がなされる。しかし、論理構造探索方式ではアプリケーションの構造を論理的表現に変換するためのデータベースがアプリケーションごとに必要になる。

オブジェクトの探索方法である画面構造探索と画面階層探索のどちらの方式が優れているかは一概に言えないが、視覚障害者は画面構造探索よりも論理階層探索の方を好むとの報告<sup>6)</sup>がある。また、階層関係は木構造で記述できるため、GUI画面を表現するために必要なピンの数を増やさずに、画面構造を触覚的に表現することが可能である。よって、探索方式として画面階層探索方式を採用する。

### 3 触覚ディスプレイ装置 CAT

現在市販されている触覚ディスプレイには、コンピュータの画面上の墨字を点字で読むための点字ディスプレイおよびスキャナと振動子を用いて紙や画面の情報を触読するオプタコンがある。

これまでにも、視覚障害者に点字以外の情報を

伝達することを目的として、大型の触覚ディスプレイ装置が開発されてきた。例えば生命工学工業技術研究所では、64ドット×64ドットの解像度を持ち、ピンの上下方向の多段階変移が可能な三次元情報表示装置が開発された<sup>7)</sup>。しかし、この装置の大きさは、三次元情報表示装置本体が机1脚分ほどを占める。また、値段も高価であると考えられる。よって、大型の触覚ディスプレイを視覚障害者のGUI操作に用いることは、実用的ではないと考えられる。したがって、最近の研究では二次元的な情報を伝達する手段として、小型の触覚ディスプレイを用い、マウスのな操作によって二次元的な情報をアクセスする方式が試みられている<sup>8)</sup>。

我々は、これらと異なるアプローチを採用する。我々が目的としている装置は、視覚障害者がGUIを操作するための装置である。よって、画面階層探索方式では形状を触覚ディスプレイ上に表現する必要がない。我々のアプローチでは、木構造で表現されているオブジェクト同士の階層関係を、触知ピンの前後方向の位置で表現する<sup>(2, 3)</sup>。

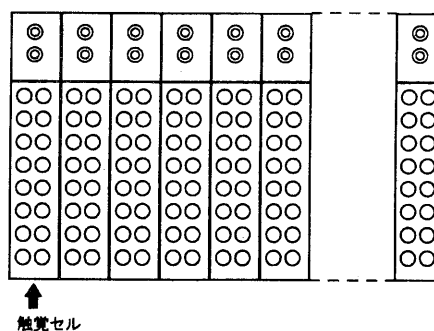


図1 触覚ディスプレイ装置CAT

図1に、我々が開発した触覚ディスプレイ装置CATを示す。CATは縦8ドット、横2ドットの触覚セルを40個組み合わせで構成されている。各触覚セルの左側のピンの位置でオブジェクトの階層を、右側のピンでオブジェクトの種類(機能)を表現する。

我々が提案しているインターフェースは、音声と触覚を用いた画面階層探索方式である。

## 4 システムの概要

図2に、我々が開発中のシステムの写真を示す。

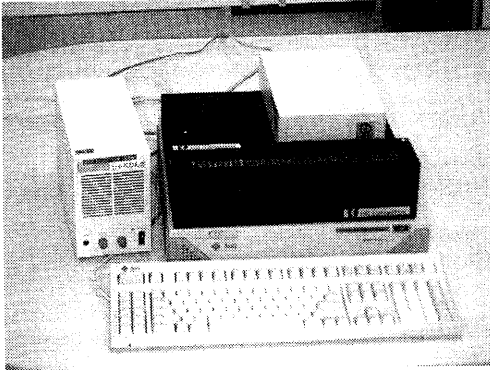


図2 システムの全体図

システムは、Sun社製のSparcStation5ワークステーション、NTTインテリジェントテクノロジー社製の音声合成装置しゃべりんぼう、そして触覚ディスプレイ装置CATからなる。ワークステーション本体と音声合成装置、CATとはRS-232Cにより接続されている。本スクリーンリーダーは、Xウィンドウシステム上で動作する。現在試作中のスクリーンリーダーでは、動作する対象はアテナウィジェットセットベースのアプリケーションに限られる。しかし、本スクリーンリーダーはEditRes<sup>®</sup>プロトコルを用いて通信のできるツールキットであれば、MotifやInterViews等他のツールキットを用いたアプリケーションに対応可能である（ただし、ライブラリの変更が必要なので、ライセンスの問題が別途発生する）。

図3のXウィンドウシステムのエディタアプリケーションxeditの構造を、CAT上に出力する例について説明する。xeditを構成するオブジェクトの木構造を図4に示す。図4中の点線外のオブジェクトは、GUI操作に不必要なオブジェクトなため除外し、図4中の点線内の部分木構造を、CAT上に表現する。触覚への変換は、木構造のルートのオブジェクトでは最下位のピンを立て、ルートの枝のオブジェクトを下から2番目のピンを立てる、という操作の繰り返しにより実現する。

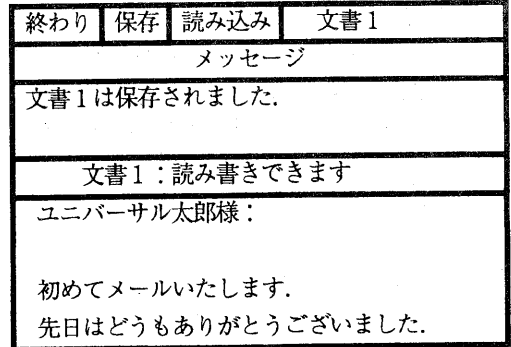


図3 xedit アプリケーション

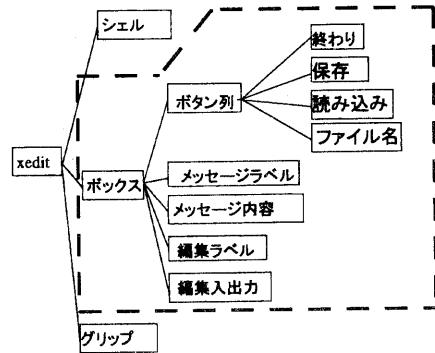


図4 xedit のオブジェクトの木構造

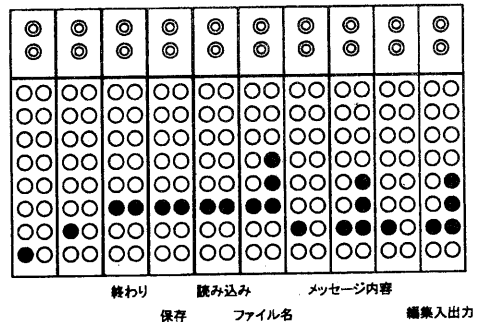


図5 xeditの触覚的表現

xeditの表現例を図5に示す。図5の●はピンの立った状態(ON)、○はピンの降いた状態(OFF)である。図4の各オブジェクトはそれぞれ、図5の各セル上に表現される。図5の各セルの右側にあるピンの数は、表2に分類される機能を表す。xeditの場合、入力可能なオブジェクトは3つ、選択可能なオブジェクトは3つあることが、触覚で確認できる。

表2 機能の分類と触知ピンへの割り当て

点の数	機能
0	操作不可能(ラベルなど)
1	選択操作(ボタン, メニュー項目など)
2	選択すると, 新しい階層構造が現れる (プルダウンメニューのボタンなど)
3	テキスト入力操作ができる (テキスト)

ユーザが触覚セルに触れると, セル上の触覚センサが指を検知し, スクリーンリーダの制御ソフトに信号を送る. スクリーンリーダの制御ソフトは, セルに対応するラベル名等を読み上げる. また制御ソフトは各セル上にある2つのボタンのうち, 下のボタンが押されると詳細内容を読み上げ, 上のボタンが押されると操作を実行する. CATの前面にはキーがあり, オブジェクトの順次読み上げ, テキスト内容の一括読み上げ, 表示領域の変更などの機能を有する. 視覚障害者は触覚フィードバックと聴覚フィードバックを用いてオブジェクトを検索し, ボタンを押して操作を実行する.

## 5 評価実験

CATの有効性を調べるため, 実験を行なった. スクリーンリーダによるGUIのオブジェクト検索では, ユーザは最初, 目的のオブジェクトの場所を知らないため, ウィンドウの領域内で全探索をおこなう(探索パス未知). しかし, 操作が熟達すると, 記憶している探索パスをたどって目的のオブジェクトを検索できる(探索パス既知).

よって, 目的とするオブジェクトの探索パスが既知の条件および探索パスが未知の条件において, CATを用いたGUI操作方式と, 矢印キーおよび音声を用いた画面階層検索方式とを比較する. なお, 両方式とも選択操作は, 光学マウスのボタンを用いて行なわせた. 光学マウスはマウスパッドから離れた状態にしていたため, マウスを動かしてもマウスカーソルが移動することはない.

実験の被験者には短期大学の情報処理科に

属する18歳から22歳の男女学生6名を用いた. 被験者のうち1名は失明後2年ほど経過した中途失明者であり, 他の被験者は先天盲または幼いころに失明した中途失明者である. また, 被験者のうち1名は, 強度の弱視である. 被験者は全員が点字を触読できる. 実験に際し, あらかじめ6名の被験者を3名ずつの2グループに分け, グループ毎に探索パス既知実験, 探索パス未知実験の順序を変えて実験した.

### 5.1 探索パス既知実験

探索パス既知条件下実験では, 被験者が目的とするオブジェクトの検索パスをわかるように, 図6の画面上から, 提示した5つのオブジェクトを順に検索させた. 矢印キー操作による探索では現在の位置が変化するたびに, 音声により現在の位置を提示した. またCATによる操作では, 最上位のオブジェクトの上に指があるときにのみ, 音声で現在の位置を提示した.

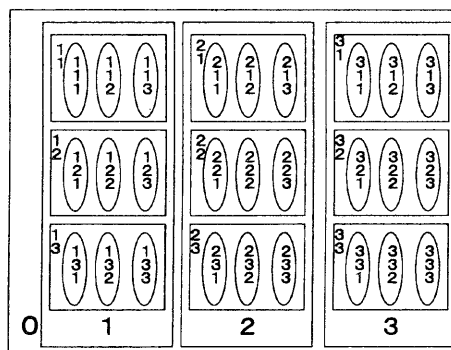


図6 探索パス既知時の画面

### 5.2 探索パス未知実験

探索パス未知条件下実験では, 図7に示すように, 再上位のオブジェクトのラベル名をランダムに並べ, この中から5つのオブジェクト(T,E,N,J,I)を順に検索させた. 矢印キー操作による探索では現在の位置が変化するたびに, 音声により現在の位置を提示した. またCATによる操作では, 最上位のオブジェクトの上に指があるときにのみ, 音声で現在の位置を提示した. 検索の順序を間違えた被験者もいたが, 正しく選択できたものとみなした.

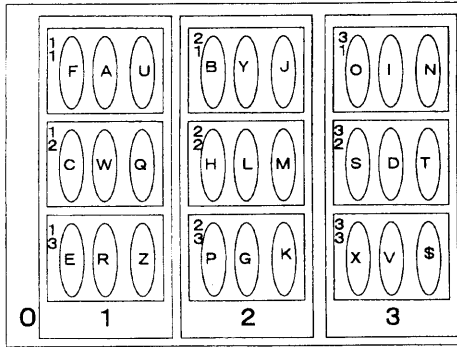


図7 探索パス未知時の画面

### 5.3 実験結果

図8に探索パス既知時の操作時間を、図9に探索パス未知時の操作時間を示す。図8、図9の操作時間は、被験者が最初の操作を行ってから、5つのオブジェクトを選択し終えるまでの経過時間である。被験者Cの探索経路未知実験は、データの取得に失敗したため、除外した。

探索パス既知実験、探索パス未知実験ともに、操作時間はCATを用いた場合の方が早い。なお、参考として操作イベントの数を図10に示す。図10の操作イベントは、CATによる操作ではセンサ上で指の検知された回数とマウスのボタン操作の累計を操作イベントとしてカウントし、矢印キーによる操作では矢印キー操作とマウスのボタン操作の累計を操作イベントとしてカウントした。よって多くの操作が行われれば、操作イベントの数は増大することになる。

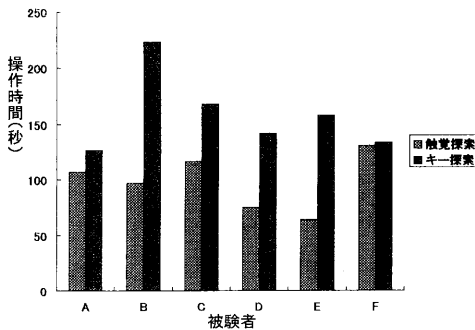


図8 探索パス既知時の操作時間

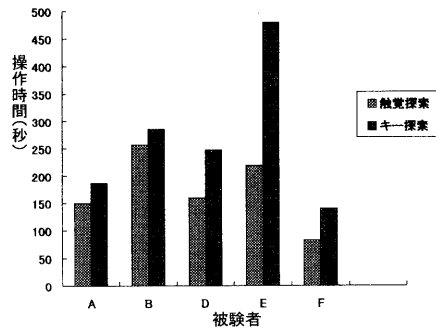


図9 探索パス未知時の操作時間

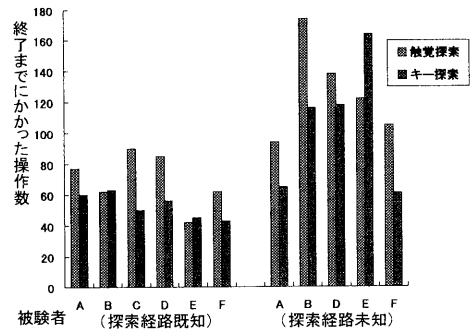


図10 操作イベント数の比較

## 6 考察

評価実験の結果、探索パス既知、未知条件ともにCATによる検索の方が、矢印キーを用いた探索より早く操作を終了した。この理由について検討する。

矢印キーによる探索作業では、音声フィードバックによる現在の位置の確認が必要である。探索パス既知条件時においては、自分の選択した探索パスが正しい選択パスであることを確認する必要がある。また探索パス未知条件時においても、矢印キーによる探索では画面全体の構造を確認しにくいいため、音声フィードバックがないと同じパスを何度も検索することになり、探索効率は低下する。よって、矢印キーによる探索では探索パスの途中において、音声フィードバックによる現在位置の確認が常に必要である。

しかしCATを用いた検索では、触覚フィード

バックによって現在の位置を確認できる。よって、CAT を用いた探索では最上位のオブジェクトを除き、音声フィードバックによる確認は必要ない。なおCATによる探索において、最上位のオブジェクトで音声フィードバックが必要な理由は、通常オブジェクト選択のキーとなる情報が、ボタンやメニュー項目などの項目名であるためである。

以上より、両方式による操作時間の差は、探索パスの途中における音声フィードバックと触覚フィードバックの処理時間の違いと考えることができる。これは、図10からCATを用いた操作の方が矢印キーによる探索より操作数が比較的多いことからわかる。よってCATを用いた探索方式の方が、矢印キーによる階層型探索より高速にGUI操作ができると結論できる。

ただし、本実験ではCATを用いた操作、矢印キーを用いた操作共に、選択操作にマウスのボタンを使用したため、両方式とも目的のオブジェクトにたどりついてから、マウスのボタンを押すまでに手間取ることが多かった。また矢印キーを用いた操作では画面探索とオブジェクト選択のモード切替の操作が必要であった。よって今回の実験結果だけでは音声フィードバックに要する時間と触覚フィードバックに要する時間の差を計測できない。したがって今後は、マウスボタンの代わりに、CAT上のキーやテンキーを用いたインターフェースを用いて再評価実験を行なう必要がある。

実験後に被験者に聞きとり調査を実施したところ、主観評価ではテンキー操作を好む被験者の方が、CATを用いた操作を好む被験者よりも多かった。よってインターフェースの嗜好と操作時間との関連はあまり高くはないと考えられる。また、好みの決定に際して、どちらのインターフェースが望ましいか判断できない被験者が多かった。このことから、キー探索インターフェースと触覚探索インターフェースは互いに異なる特長をもっていると考えられる。聞きとり調査の結果から、触覚探索方式は以下のようなメリット・デメリットをもっていることがわかった。

#### ・メリット

慣れると高速に操作ができる  
画面全体を確認できる

#### ・デメリット

最初は操作がよくわからない  
次の点に触っても、前に触った点をしゃべり続けるので、わかりにくい  
目的のものを正しく選択しづらい  
(隣を選んでしまうことがある)

以下、デメリットについて検討する。

「最初はよくわからない」という指摘は、被験者が装置に慣れることと、制御用ソフトウェアの今後の改良によって解決できる。

「次のものを触っても、前のものをしゃべり続ける」という指摘は、今回実験に用いた音声合成装置が音キャンセル機能を持たないための問題である。現在多くの音声合成装置が市販されているが、音出力キャンセル機能をもつ音声合成装置は半分程度である。これは、音声合成装置で対処すべき課題であると思われる。

最後の「間違えて隣のものを選んでしまうことがある」という指摘については、本実験でマウスボタンを用いて選択させたことによる問題である。すなわち、被験者があるオブジェクトまでたどりついたにもかかわらず、マウスのボタンを押す前に誤って近隣のオブジェクトにふれてしまったために、結果として誤った選択をするケースである。この問題は、CAT上のスイッチをもちいて選択を行なうことと、階層の触覚的表現を上下逆してスイッチを押すまでの時間を短縮させることで、解決できると考えられる。

他のスクリーンリーダーのアクセス方式と比較した、CATのインターフェースデザイン上の問題は以下の2点がある。

- ・触覚セルを用いるため、システムが高価になる
- ・2次元的なレイアウトを表現できない

最初の問題は、触覚ディスプレイデバイスを採用したための問題である。現状では、触覚セルそのものが高価であるため、今後の急速なコストの

低下は期待できない。しかし、CAT は点字ディスプレイやテキストレイアウトの確認のための装置として利用できる。よって、従来の方式である音声スクリーンリーダーに比べると高価になるものの、音声スクリーンリーダーと点字ディスプレイを併用するインターフェースと比較すると、価格的なデメリットはさほどないと考えられる。

2 番目の問題点は、本スクリーンリーダーが画面階層探索方式を採用しているための問題である。しかし、多くのアプリケーションウィンドウの画面では上から下、左から右の順序でタスクを処理するように設計されているため、ウィンドウ上のオブジェクトをタスクの順序にしたがって1列に並べることができる。よって、ウィンドウ内でのタスク処理において、2次元的なレイアウトを把握することが重要なアプリケーションは、電卓などの一部のアプリケーションに限られる。

## 7 まとめ

視覚障害者用触覚ディスプレイ装置 CAT について提案し、画面階層探索を用いた GUI スクリーンリーダーの操作方法を提案した。また、CAT による GUI 操作の有効性を検証するため、視覚障害者の方に評価をしていただいた。その結果、目的のオブジェクトの探索パスが既知、未知にかかわらず、CAT を用いた探索の方が、矢印キーを用いた探索よりも高速に操作できることがわかった。この操作時間の差は、触覚フィードバックと聴覚フィードバックによる差と考えられる。

従来触覚を用いた視覚障害者用インターフェースはいくつか提案されてきたが、GUI 操作に点字以外の触覚情報を用いるアプローチはほとんどなかった。これは、(1)触覚的なメディアは聴覚的なメディアに比べて表現できる情報が限られているため、(2)画像情報を触覚的に表現するためには多くの触知ピンが必要であるためであった。

我々のアプローチは画面のオブジェクトの木構造をピンで抽象的に表現する方法である。よって、触覚を用いてオブジェクトの機能やオブジェクト同士の関係を表示することができる。よって

構造を表現するためのピン数も、普及型の点字ディスプレイの2倍に抑えることができた。

今後は評価実験の繰り返しによりシステムを改善し、 $\alpha$ 版を作成してゆく予定である。

**謝辞:**本研究に際して、東京電機大学の大竹紀子さんの協力を得た。また被験者になっていただいた筑波技術短期大学の学生の方々から多くの貴重な意見を頂いた。ここに感謝する。

## 参考文献

- (1)石川:"GUI 用スクリーンリーダーの現状と課題", 情報処理,Vol.36,No.12,pp.1133-1139(1995)
- (2)海老名, 大竹, 猪木:"触覚ディスプレイを用いた視覚障害者用スクリーンリーダーの設計",計測自動制御学会第 12 回ヒューマンインターフェースシンポジウム,pp.87-94(1996)
- (3)海老名, 大竹, 猪木:"視覚情報なしに GUI を操作するインターフェース",第 4 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS'96) ,pp.111-120(1996)
- (4)Karshmer,A." Navigating the Graphical User Interface(GUI) by the Visually Impaired Computer User", HCI'95,pp.149-154(1995)
- (5)渡辺:"視覚情報なしで GUI 画面上のオブジェクトを探す方法について",信学技報 HIP95-54,pp.25-30(1995)
- (6)岡本,市川:"GUI 音声スクリーンリーダーの探索法",自動制御学会第 12 回ヒューマンインターフェースシンポジウム,pp.57-62(1996)
- (7)清水, 篠原, 長岡, 望月:"盲人用 3 次元情報表示装置の利用について",第 20 回感覚代行シンポジウム,pp.23-28(1994)
- (8)山中,岡田,兼吉,井関:"触覚ピンディスプレイ付きポインティングデバイスの提案",自動制御学会第 12 回ヒューマンインターフェースシンポジウム,pp.63-66(1996)
- (9)Chris,D.P:"editres - A Graphical Resource Editor for Users and Programmers", The X Resource, Issue 0, pp.154-183(1991)