

## 文房具メタファを用いた手書き作図システム

風 間 信 也<sup>†</sup> 加 藤 直 樹<sup>†</sup> 中 川 正 樹<sup>†</sup>

本論文は、新しい入力インタフェースであるペンと表示一体型タブレットを採用し、ユーザの発想支援を目標に、これまでの計算機を用いた作図手法とは異なり、従来の紙上での作図に近い直感的な作図操作を行える環境について、またその評価のための予備実験の結果について述べる。われわれは、ペン入力の良さは特に次の点にあると考える。(1)ペンの操作に意識を払う必要がない分、思考に集中できる。(2)図や文章を書くときにペンを持ち替えずとも済み、思考の継続を妨害しない。以上のことから、特別な訓練や意識を払う必要がなく、従来から人間が慣れ親しんだ紙上での作図を計算機支援する可能性を実験することにした。本システムでは次の作図環境を提供する。(1)下書き用の画面に対しフリーハンドで書きたいものを自由に書く。(2)下書き用の画面の上に清書用の画面を仮想的に重ね、整形したい対象に対して文房具メタファという仮想的な文房具を用いて整形を行う。これにより、手本の清書になりがちだった従来の計算機上での作図操作に比べ、本システムでは発想の段階からユーザを支援できる。この手書き作図システムをユーザに使用してもらい、その使い勝手について調査した。そして、その結果から、文房具メタファを用いた手書き作図システムの有効性と問題点を考察した。

### A Hand-Drawing System with 'Stationery Metaphors'

SHINYA KAZAMA,<sup>†</sup> NAOKI KATO<sup>†</sup> and MASAKI NAKAGAWA<sup>†</sup>

This paper describes a figure drawing system on a display integrated tablet with a stylus which extends the familiar concept of drawing on paper with a pen and drawing tools. It thus combines the merit of hand-drawing on paper with the advantages of computing in order to promote the user's creativity. In this design, the merit is emphasized that the writing (drawing) process can be done subconsciously without disturbing the train of thought. Sketching with higher flexibility due to computing may promote thinking unlike mouse operations. The system provides the following two features. (1) drawing rough sketches on a screen, and (2) tidying these up with stationery metaphors. These stationery metaphors are displayed on paper-like images and are manipulated with a realistic feel. This process is similar to drawing with pen and paper so that it may be easily accepted even by novice users. Moreover, this system can support drawing from the stage of creating ideas, unlike previous systems with mouse which are used to make neat copies of already hand-drawn drafts. By allowing users to 'test drive' this system, the advantages of hand-drawing with stationery metaphors as well as problems were clarified.

#### 1. はじめに

現在、計算機の普及によって、多くの人がパーソナルコンピュータやワードプロセッサ上で文書を作成するようになった。これは、計算機上での文書作成には、きれいな出力が得られ、文書の管理も容易であるといった利点があるからである。文章の入力に関しては、仮名漢字変換アルゴリズムの向上や辞書語数の増大に伴って、ほぼ快適に行えるようになっている。

ところが、文書における重要な構成要素の一つである図形の入力においては、いまだに不十分であると言わざるをえない。ユーザは出力や管理における利点と引替えに、大変な作図の手間を強いられ、かつ、図の出来ばえに妥協せざるをえない結果となっている。これは、従来の作図システムが計算機よりに作られていて、人間が操作するには、特別な意識と訓練を必要とするからである。人間にとって自然な図の入力方法を確立し、計算機上での作図の手間を軽減することは急務であるといえる。

古来、人間は意図するものを紙に筆やペンなどの筆記用具を用いて記してきた。これは、計算機が普及した現在でも、人間にとって最も簡単に慣れ親しんだ方

<sup>†</sup> 東京農工大学工学部電子情報工学科  
Department of Computer Science, Faculty of  
Technology, Tokyo University of Agriculture and  
Technology

法であることに変わりはない。手書きは幼年期からの練習により、認知心理学でいうところの“自動化”がなされており<sup>1)</sup>、そのこと自体に意識を要しないために思考に集中できる、ペン1本で何でも書けるために思考を中断しない、という重要な利点がある。人間が発想段階でペンと紙を用いて図や文字を書くのは、これらの利点によるところが大きいと考えられる。したがって、これらの利点を最重視して、ユーザが思考を容易に、かつ思い通りに図として表現でき、それと対話することで思考を進展させ、それがまとまってから必要に応じて整形できる手書きインタフェースの研究が必要であると考え<sup>2)</sup>。

近年、新しい入出力デバイスとして、液晶ディスプレイなどの薄型の表示装置と一体化したタブレット装置（以下、表示一体型タブレットと呼ぶ）が開発されている。このデバイスは、ペン型の入力装置をもち、入力と出力を同一盤面で行うことができるという特徴を有している。このため、マウスと置き換えるだけでも、マウスを引きずってカーソルを移動させることなく対象を直接指示できる。また、指示するだけでなく書く（描く）ことができる、ジェスチャの認識により対象とコマンドを一つの動作で指定できる。などの利点が注目を集めている。このため、多方面で、表示一体型タブレットを用いたシステムが研究開発されている<sup>3)~5)</sup>。

現在発表されている、表示一体型タブレットを用いたペンベースの作図システムは、研究段階のものも含めて、システム定義の基本図形を選択して画面上に配置する方式のものと、図形認識の手法を用いてフリーハンドのストロークからシステム定義の図形に置き換える方式のものに大別される<sup>6)~9)</sup>。前者は、基本的には従来のマウスベースのシステムのペンへの置き換えである。これでは、ペンの直接指示性の利点は生かされるが、従来同様、操作が抽象化されすぎていて、実際の作図における人間の動作とはかけ離れている。そのため、操作するのに学習と慣れを必要とする。後者は、手書き入力の手軽さを取り入れ、入力の際の手間は少なくなるが、正しく認識できるかが問題であり、また正しく認識できても、その図形の大きさや位置などの修正の手間が多いという問題がある。さらに、両者とも、効率よく描くことができる図は、定義された図形の組合わせに限られるため、システムの応用範囲が狭い。後者に属するが、その問題点を回避するために、認識すべき基本図形を基本的なものに限定し、か

つ、編集操作にジェスチャを導入したシステムも発表されている<sup>10)</sup>。しかし、システムを高機能に拡張することと、誤認識の発生のトレードオフの問題が解決されているわけではない。

1991年に相次いで発表された PenPoint\* と Windows for Pen\*\* では、上に挙げた二つの方式またはアプリケーションをサポートしているが、われわれが提唱する文房具メタファと類似した方式は見られない<sup>11),12)</sup>。

われわれは、以上とはまったく異なる作図インタフェースを提案する。われわれは、手書きの思考への利点を重視し、柔軟で直感的な作図を可能にしたいと考える。描画システムの初心者にも馴染みややすいシステムを構築するためには、人間が動作として知覚している個々の作業を、その動作のイメージに近い操作で行えることが重要である。そこでペンや文房具を用いた実際の紙面上での作図に近い感覚で作図を行えるインタフェース<sup>13)</sup>を考える。

ユーザは発想段階では自由に手書きする。この段階では削除や複写、拡大、縮小、移動などを計算機で支援する。そして、図としてまとまったら、現実と同じように仮想の文房具で必要に応じて整形する。

本研究は、広く創造的段階で行う作図を対象として考えている。作図（生成）規則が明確なフローチャートや論理回路図などだけに限定せず、問題の整理や解決、設計、文書作成などの場面において、概念を表現したり練ったりするために描き、必要に応じて整形し保存する図を対象とする。言い換えれば、われわれが何気なく描く図でも何でも描画でき、必要なら整形できなければならない。フローチャートや論理回路を考えるときに描く補助的な図も、操作に煩わされることなく自然に作図できなければならない。したがって、フローチャート、論理回路図、機械図面 CAD などのための特殊化したシステムとは異なった難しさがある。

このことから、想定されるユーザは、専門分野を限定しない学生や社会人である。もちろん、より広いユーザ層に有効であることが望ましいが、幼児や高齢者になればなるほど、別の困難が予想される。

\* PenPoint は Go 社の登録商標。

\*\* Windows for Pen は Microsoft 社の登録商標。

## 2. 手書き作図インターフェース

### 2.1 図形の階層表現

手書きパターンは、それが機能（コード）を表現する場合と、図形を表現する場合と、単に手書きパターン（筆跡パターン）を表現する場合がある。手書きの利点は、ペン1本で文字や図など、さまざまなものを表現できることである。言い換えると、手書きのパターンには、多義性があるということである。例えば、文字はコードであり、フローチャートの処理、論理回路のゲートの結線も機能を示す。一方、システムの構成を示した図、大まかな処理のダイアグラム、実物を抽象化した図などは機能として解釈される必要はなく、単に図形として整形されればよい。また、ある機能を表した図の中でメモ書きされた図は機能とはいえない。なぜなら解釈すべきドメインが違うからである。さらに、その図に記されたサインは筆跡パターンであり、文字に認識してしまうと意味がなくなる。人間は文脈を与えられればこれらの判定ができる。だからこそペン1本でこれらを混在して表現できるといえる。計算機で手書きの利点を活用するためにも、これらが混在するものを扱える枠組みを用意すべきであると考えらる。

そこで、計算機上で図形を扱う場合、図形を次の四つの論理的レベルに階層化する（図1）<sup>4)</sup>。

- (1) 機能シンボル
- (2) 図形コンポーネント
- (3) 図形プリミティブ
- (4) 筆跡パターン

機能シンボルとは、フローチャートや回路図といった、記号で表現できる図形の階層で、図形全体と構成要素が意味と機能を持ち、それが作図上のルールをもっている。文字も機能シンボルとして扱う。

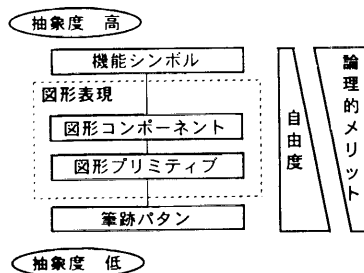


図1 図形表現の階層

Fig. 1 Hierarchy of figure representation.

図形コンポーネントとは、長方形やひし形といった図形、またはそれらを組み合わせた図形の階層である。

図形プリミティブとは、図形コンポーネントのさらに下位に位置する図形レベルである。つまり、図形コンポーネントが長方形やひし形といったレベルであるのに対して、図形プリミティブは線分や円弧といった、図形コンポーネントを構成する図形の構成要素である。

筆跡パターンとは、オンライン入力の場合は時系列の筆点列である。フリーハンドの図形やサインなどがこれに属する。

階層における上位は下位から還元（パターン認識）されるものであり、下位は上位から生成されるものである。

人間は文脈を与えられれば、図形がこれらのどのレベルを意図されたかを理解できるが、計算機では、筆記者の意図の推定や筆記者からの指示により、図形がどの階層を意図されたかを判定し、それに伴い情報の還元や生成を行う必要がある。

なお、筆跡パターンは筆点列であることから、表現方法によっては線分の系列となり図形コンポーネントとなるが、これはデバイスのサンプリングの性質からこうなるのであって、筆記者が筆点列や線分系列を意図したかどうかとは別の問題である。筆記者の意図が点や線分の列なら、もちろん図形コンポーネントに還元されるべきであるが、その場合も含めて、手書き入力情報の還元を行う以前のパターンを筆跡パターンとして扱う。

図形の機能としての情報を利用できることを論理的メリット、表現可能な図形の範囲の広さを自由度と呼ぶ。フローチャートからプログラムへの変換、論理回路図によるシミュレーションなどが前者の例であり、フローチャートエディタや論理回路CADでそれ以外の図が描けないことは自由度が制限された例、ペンならきれいを問題にしなければ何でも描けることは自由度が大きい例である。

機能シンボルは論理的メリットが最も大きい、図形の機能としての解釈はドメインに依存する。また、表現できる図形はドメインで限定される。一方、筆跡パターンは自由度が最大であるが、利用できる論理的情報は小さい。

以下、本論文では、「図形」は上の四つの階層のいずれをも意味しうる用語として用いる。そして、特に

階層を限定する必要がある場合は、その階層を明示する。

## 2.2 文房具メタファ

前述の図形の階層に当てはめると、従来の、ユーザがメニューから基本図形を選択し、配置する方式（基本図形配置型）のシステムが扱うのは図形コンポーネントである。図形コンポーネントは編集や整形は容易であるが、表現の自由度という観点からは不満が残る。われわれは、より柔軟な作図環境を構築したいという立場から、図形プリミティブを扱う、“文房具メタファ”による作図インタフェースを提案する。

文房具メタファとは、表示一体型タブレットの表示画面を紙とし、入力ペンを鉛筆とする世界で使用する仮想的な文房具である<sup>15),16)</sup>。ユーザは画面上に表示された文房具メタファを操作して図形プリミティブを入力する。例えば、実際の作図の際、直線を描くのに、われわれは定規を紙面上で動かし、位置を決めた後ペンなどで直線を描く。これと同じように、定規のメタファを選ぶことにより定規のメタファが画面上に表示され、これを動かして直線を描く位置を決定する。その後、定規のメタファに沿ってペンを動かせば直線を描くことができる。ユーザが円弧を描きたいのであれば、コンパスのメタファを選び、位置や開きを決めた後、ペンでコンパスを回転させて任意の円弧を描画することができる。

この文房具メタファの利点は次の4点である。

### (1) 幾何学的図形を正確かつ容易に描ける

手書きだけでは、幾何学的図形の正確な描画は不可能であるので、定規やコンパスなどの文房具の動きをするものが必要である。

### (2) ユーザが作図操作を直感的に行える

文房具メタファの操作方法を現実の文房具に対応させることによって、人間が知覚している動作で計算機上の作図操作を行える。また、文房具メタファが画面上に表示されているので、現在行っている作図操作の確認が一目で行える。

### (3) 表示一体型タブレットの視差の吸収

現在のほとんどの表示一体型タブレットは、その構造上、ユーザの眼の位置によって入力座標と出力座標に視差を生じる（図2）。文房具メタファは入力ペンの先端の座標に対して描画を行うのではなく、入力ペンの座標と画面上の文房具メタファの位置によって作図を行う。例えば直線を描くとき、直線は入力ペンのタブレット座標ではなく画面上の定規の縁に沿って描

面される（図3）。

### (4) 手書きパタンの多義性の解消

入力された手書きパタンに何の制限もなければ、そのパタンが何を表現するものなのか計算機には区別できない。ところが、文房具メタファを選べば、それによって描かれるパタンの解釈は限定される。例えば、定規を選んで描いた図形は直線であり、コンパスを選んで描いた図形は円弧であることがわかる。

## 2.3 テンプレートメタファ

われわれは、文房具メタファを用い、図形プリミティブを扱うことで、自由度の高い柔軟な作図環境を構築したいという立場に立つが、これは基本図形配置型のシステムを完全に排除するものではない。頻繁に使用する図形を簡単に入力でき、それを容易に編集、整形できることは有用であると考える。そこで、図形コンポーネントや機能シンボルも扱えるインタフェースを考える。

紙面上での作図を考えたとき、基本図形配置型に相当するのはテンプレート（型板）である。そこで、テンプレートの働きをする文房具メタファである、テンプレートメタファ<sup>17)</sup>を考えた。

テンプレートメタファは、ユーザが任意の図形を登録し、それを呼び出すことにより描画するものである。ユーザは、テンプレートメタファを移動や拡大縮小、回転することにより、テンプレートを調整し描画

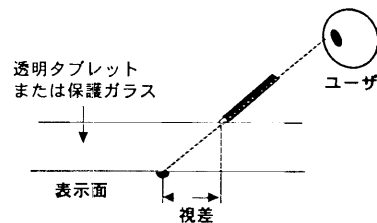


図2 表示一体型タブレットの視差  
Fig. 2 Parallax on a display integrated tablet.

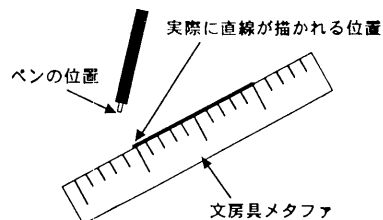


図3 文房具メタファの描画位置  
Fig. 3 Actual position drawn by stationery metaphors.

する。

テンプレートメタファが基本図形配置型と大きく違う点は、現実のテンプレートと同様に、図形を部分的に描画できることである。例えば「コ」の字形を描画したいときに、長方形のテンプレートを部分的に使用する使い方があるが、テンプレートメタファでも同様の描画が行える。

このテンプレートメタファの利点は次の4点である。

(1) 使用頻度の高い図形の入力が容易

頻繁に使用する図形を登録しておくことにより、それを容易に入力することができる。

(2) 図のイメージの把握が容易

画面上にテンプレートが表示されており、描画する図形の位置決めや大きさなどの調整が行える。このため、描画する前に、図形の図中でのバランスなどが把握できる。

(3) 機能シンボルと図形コンポーネントの入力に有効

テンプレートに、機能シンボルや図形コンポーネントを登録しておくことができる。

(4) テンプレートメタファを含めた文房具メタファで図形のすべての階層をサポートできる

テンプレートメタファを含めた文房具メタファを用いることにより、図形記述のすべての階層を、還元や生成を経ずに、表現することができる。

### 3. 文房具メタファを用いた手書き作図システム

上に述べた文房具メタファを入力手段とした手書き作図システムを試作した<sup>18),19)</sup>。次に本システムについて述べる。

#### 3.1 手書き作図システムの試作目的

本システムは、次の5点を目的として作成した。

(1) 初心者にとってのわかりやすさの検討

初心者のユーザが使用に際し、実際にマニュアル参照や説明をどの程度必要とするかを調査する。

(2) 実際のペンと文房具による作図に近い環境での表現のしやすさの検討

手書きの作図システムが、非熟練者でも思いどおりに自分の考えを表現できる手段として役立つかを検討する。

(3) ペンと文房具メタファの習得しやすさ、使いやすさの検討

(4) 文房具メタファの動作の即時性が実現可能かどうかの検討

(5) 紙上では得られない計算機処理を活用する可能性と有効性の検討

実際のペンと文房具に近い作図環境において、どのような計算機処理を提供すれば、使いやすさ、そして効率を高められるかを検討する。

#### 3.2 手書き作図システムの開発環境

本システムは、表1に示す仕様の表示一体型タブレットをMC 68020 (20 MHz)をCPUとするワークステーションに接続した環境で実現した。

#### 3.3 手書き作図システムの特徴

本システムの特徴は、次の4点である。

(1) フリーハンド描画機能

(2) 下書きと清書のサポート

(3) 文房具メタファによる図形入力

(4) ペンを用いた編集機能

次にこれらについて詳しく述べる。

##### 3.3.1 フリーハンド描画

本システムでは、ペンを用いたフリーハンド描画の機能を実現した。ユーザはタブレット盤面を紙、入力ペンを鉛筆のように使用し、自由に何でも描くことができる。このとき入力された図形は筆跡ボタンとして扱われる。また、このフリーハンドの図形は、スプラインを用いて補間して表示することもできる。補間の適用には、入力終了直後に自動的に補間する方法と、すでに入力されたフリーハンドの図形を選択して補間する方法がある。補間の詳細は3.4.5項で述べる。

##### 3.3.2 下書きと清書

フリーハンドで下書きを行った後、その上に清書用の画面を仮想的に重ねて、文房具メタファを用いて清書を行う機能を提供する。手書きのままがよい部分は清書画面にコピーを行い、整形したい部分には、下書きを見ながら任意の文房具を用いて製図する。

この下書き画面と清書画面は随時切り替えることができる。また、清書画面を重ねたときに、下書き画面を透視するかしないかを選択することができる。透視したときには、下書きの図形は、清書の図形と区別す

表1 表示一体型タブレットの仕様  
Table 1 Specifications of display integrated tablet.

表示サイズ	縦 166 mm × 横 236 mm
表示解像度	約 5 line/mm
読取り解像度	約 10 line/mm
筆点採取レート	120 point/sec

のため薄く表示される (図 4)。

下書き画面と清書画面にはデータ構造の区別はない。どちらも 2.1 節で述べた 4 階層の図形表現の混在を許している。したがって、画面間でどんな図形でもコピーでき、また、清書画面を下書き画面に変更して下書きを追加したりすることもできる。

3.3.3 文房具メタファの実現

現在、本システムで使用している文房具メタファを次に挙げる。

(1) 定規メタファ：線分を描く際に使用する (図 5)。定規の中心付近をペンでポイントして動かすと定規が平行移動し、定規の端をペンでポイントして動かすと定規が回転する。定規の配置を決定した後、入力ペンを定規に沿って動かすと、入力ペンの座標を定規に投影した部分に線分が描かれる。

なお、このようにしても、視差の影響から、線分の始点と終点が、その直線上ではあるが、意図したところからずれることが起こるので、その対策を講じている\*。

(2) コンパスメタファ：円弧を描く際に使用する (図 6)。コンパスの中心の位置を変更するには、コン



図 4 下書きと清書  
Fig. 4 Rough sketch and final copy.

\* ペンを置いてから離すまで線を表示し、その線分が最長になるよう始点、終点を決定している。こうすれば、ペンをとりあえず線分の内側に置き、そして始点まで線を確認しながらペンを反対方向に動かし、そして終点に向けてペンを運び終点を確認しながらペンを離すことで、意図した始点から終点まで直線を引ける。もっとも、ペン先が離れていてもその位置をセンスできる表示一体型タブレットと OS では、ペン先の位置を表示することでこの問題を回避できる。一方、コンパスではわれわれの環境でもペン先がつねに表示されているのでこの問題はない。われわれの環境ではさらに、特徴点 (線分の交点や定規の目盛位置など) へペン先を微少な範囲で補正する手段も一部実現されている<sup>20)</sup>。

パスの針の部分 (図 6 ①) をペンでポイントして動かす。半径を変更するには、コンパスの先の部分 (図 6 ②) をペンでポイントして動かす。コンパスを回転させるには、作図画面内で上記以外の任意の場所をペンでポイントして動かすと、コンパスの針の部分を中心とするペン座標の回転角度を算出し、その角度分コンパスが回転する。コンパスの回転角度は数値で表示することができる。

(3) 消しゴムメタファ：描画したオブジェクトを部分的に消去する際に使用する (図 7)。図形の途中の部分に消しゴムをかけるとその図形は切断される。機能シンボル、図形コンポーネントは、部分的に変更されるので、その階層としての表現が失われ、それを構成していた図形プリミティブごとに管理される。図形プリミティブ、筆跡パターンは、分断されても、図形プリミティブ、または筆跡パターンとしての表現が変更さ

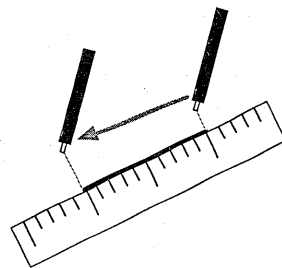


図 5 定規メタファ  
Fig. 5 Ruler metaphor.

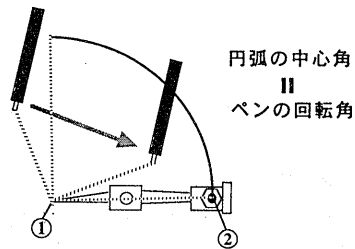


図 6 コンパスメタファ  
Fig. 6 Compass metaphor.

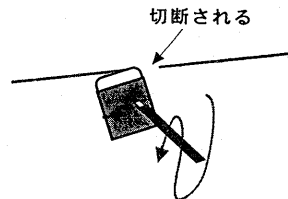


図 7 消しゴムメタファ  
Fig. 7 Eraser metaphor.

れるだけで、階層は変更されない。

(4) テンプレートメタファ：テンプレートに登録した図形コンポーネント、機能シンボルを描画する(図8)。実現は現段階では円、三角形、長方形などの基本的な図形コンポーネントに限られている。

### 3.3.4 図形の編集操作

本システムでは、フリーハンドや文房具メタファによって描かれた図形に編集操作を施す機能を用意した。編集はそのとき描画している画面に対して行う。

また、本システムでは、編集操作の際の図形の選択を、ペンを用いて行う。選択の方法は図形をペンでポイントする方法と、手書き特有の利点をいかした、図形をペンの筆跡で囲む方法がある。

現在、次の機能を実現している。機能の選択はメニューにより行う。

- (1) 移動
- (2) 複写

選択した図形を画面内または画面間で複写する。つまり、画面内で同じ図形を複数得るための複写と、下書きの図形を整形せずに清書で用いる際の、下書き画面から清書画面への複写である。

- (3) 削除

選択したストローク列について、ストローク全体を削除する。削除機能は、消しゴム同様、機能シンボルと図形コンポーネントの階層表現に影響を及ぼす。

- (4) 回転

- (5) 拡大縮小

拡大縮小操作には、縦または横方向のみと縦横等倍率の2種類がある。

### 3.3.5 筆跡パタンの補間表示

フリーハンドで入力された筆跡パターンを、スプラインで補間して表示したり、線分で筆点列を連結して表示したりできる。これらの表示方法は、入力モードとして指定するが、入力された筆跡パターンに対して、ストローク単位で、後から表示方法を変更することもできる。この操作は編集操作同様、表示方法の変更を選択してから、表示方法を変更したい筆跡パターンを指定



図8 テンプレートメタファ  
Fig. 8 Template metaphor.

することで実行される。

## 4. 手書きインタフェースの評価のための予備実験

1992年11月に本学で開催された展示会において、手書き作図システムのプロトタイプシステムを一般来場者約60人に使用してもらい、使用者の振舞いを観察した。また、そのうちの33人に使用後のアンケートに回答してもらった。この展示会は大学全体(工学部中心)の展示会で、15分野150件の展示があり、来場者は、計算機システムに興味を有する人たちだけではないと考えられる。

次に観察結果とアンケートの集計結果を示す。

### 4.1 本実験における被験者と実験環境

本実験の被験者は、幼児から成人にわたる、学内外の一般の来場者である。また、本実験は、展示ブースの一角に机と椅子を置き、机上に表示一体型タブレットを平坦に置いて行った。被験者は、立ったまま操作したり、座って操作した。

### 4.2 観察結果

使用者の振舞いの観察結果を次に示す。

#### (1) ペンの操作性に関する観察結果

- a. 観察の範囲では、すべての使用者が、自分の描きたいものを不自由なく表現していた。
- b. 対象の指定を円滑に行っていた。

#### (2) 文房具メタファのわかりやすさに関する観察結果

- a. 定規メタファの操作方法は、ほとんどの人が説明しなくても使うことができた。しかし、線分を描くのに始点と終点を指定した人が1人いた。
- b. コンパスメタファは操作方法の説明が必要だった。
- c. 消しゴムメタファの操作を説明なしで行った場合、マウスの使用経験の有無で、操作方法に違いがあった。経験がある人は図形をポイントしたり、対角座標を指定しようとするのが多かった。経験がない人は、こすって消そうとした。
- d. 幼児は、定規やコンパスのメタファはほとんど使わなかった。

#### (3) 文房具メタファの操作性に関する観察結果

- a. 文房具メタファの移動や描画の速度がペンに追従できず、ユーザが自分の指示したコマンドが正しく行われなかったと思い、再度コマンドを指示するという場面が数回見られた。例を示すと、定規を移動しよう

としたところ、定規が移動を開始するまでに時間を要したので、再度同じ操作を行ったユーザがいた。

(4) 文房具メタファの学習容易性に関する観察結果

a. 文房具メタファに関して上に述べる問題はあったが、使おうとしなかった幼児以外のすべての人が数回の試行錯誤ですぐ順応できていた。

b. 文房具メタファの操作では、メタファの位置合わせのためにペンを“手”の代わりに使う場合と、実際に描くためにペンを“ペン”として使う場合がある。ユーザは、場合に応じて入力ペンの役割を“手”と“ペン”に瞬時に切り替えて考えられることがわかった。

(5) 書き方と書いた内容に関する観察結果

a. 多くの人が、とにかく描きたいものを描いて、後から文房具メタファの使い方を試したり、尋ねるということを行った。

b. ほとんどの人は、簡単な図形や、概略的なイラストを描いた程度であり、精密な作図を行おうとした人はいなかった。

c. 文字だけ、または文字を含んだ図を書いた人が多かった。

d. 図形を描いたり、文字を書いたりしながら紙面を完成させていった。つまり、図形だけ、あるいは文字だけまとめて書く人はいなかった。

(6) 手書き作図システムのわかりやすさと学習容易性に関する観察結果

a. 大部分の人が、簡単な説明だけですぐ使えるようになった。

b. 使用に際してはマニュアルはほとんど不要だった。

(7) 手書き作図システムの楽しさに関する観察結果

a. 使用してくれた人の、約50%が5分以上、約20%が10分以上使用した。ある親子(小学校高学年くらいの女子とその母親)は20分以上にわたり使った。主に母親が絵を描いていた。

また、ある3歳の女兒は、母親が止めるまで十数分にわたって使った。

### 4.3 アンケート結果

展示会で本システムを使用した人のうち、33人にアンケートに回答してもらった。回答者の8割程度は成人である。このアンケートから質問の一部を抜粋し、回答結果の集計、およびコメントとそれを指摘した人数を次に示す。

アンケートの選択肢は、回答を大別できるよう4段

階とした。

(1) 質問: マウスを使う作図ツールを使ったことがありますか? (図9)

以後、使ったことのある人をAグループ、ない人をBグループとする。

(2) 質問: ペンの使いやすさはどうですか? (図10)

コメント

<使いやすい>

●マウスのように手がかかれない(3人)

●思ったように動かせる(4人)

<使いにくい>

●ポイント先がわかりづらい(2人)

●軽すぎる(ペン先がすべる)(1人)

(3) 質問: ペンによる選びやすさはどうですか?

(図11)



□ はい  
■ いいえ

図9 マウスを用いた作図ツールの使用経験についての回答の割合

Fig. 9 Percentage of people with experience in using drawing tools with mouse.

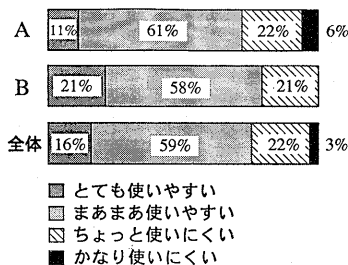


図10 ペンの使い勝手についての回答

Fig. 10 User views on the handling of pen.

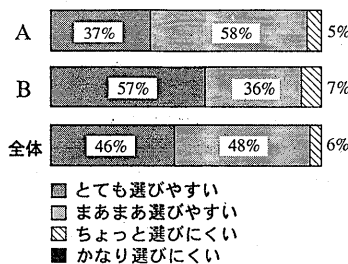


図11 ペンによる選びやすさについての回答

Fig. 11 Users' views on the ease of pointing with pen.



コメント

〈使いやすい〉

- 思った場所をすぐに指定できてよい (3人)

〈使いにくい〉

- 反応が鈍い (1人)

(4) 質問: 文房具メタファの操作方法是どうですか? (図 12)

コメント

〈使いやすい〉

- 慣れれば使いやすい (2人)

〈使いにくい〉

- 動くスピードが遅い (1人)

(5) 質問: 下書きができることについて (図 13)

コメント

〈有効である〉

- 複雑な図形には有効であると思う (3人)

(6) 質問: 手書き作図システムについて (図 14)

コメント

〈おもしろい〉

- マウスと比較すると詳細に書ける (1人)
- お絵描きしている気分で楽しい (1人)
- 手書きの方法で正確な図が描けると便利 (2人)
- 従来の作図システムよりわかりやすい (1人)

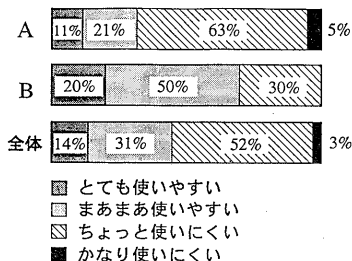


図 12 文房具メタファの使い勝手についての回答  
Fig. 12 Users views on the handling of the stationery metaphors.

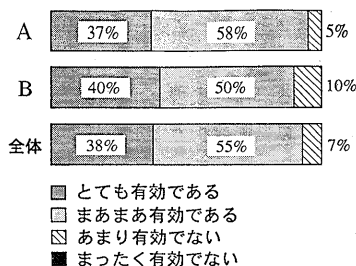


図 13 下書きの有効性についての回答  
Fig. 13 Users views on the effectiveness of the use of a rough sketch.

5. 考 察

観察とアンケートの結果をもとに考察する。

(1) 実際のペンと文房具に近い作図環境の、初心者にとってのわかりやすさについて

本作図環境は、使用に際しマニュアルがほとんど不要であり、容易に操作に慣れることができるといえる (4.2 節(6)). ペン操作のわかりやすさは、4.2 節(1)や、被験者が短時間で高い操作性の評価に至ったこと (4.3 節(2), (3)) から明らかであろう. 文房具メタファに関しては、使用者がその文房具を知っていれば同様のことがいえる (4.2 節(2) a). しかし、逆に、実際の文房具を知らない場合は問題がある (4.2 節(2) d).

(2) ペンと文房具メタファの表現しやすさについて

ペンでは、その操作に煩わされることなく自由に表現でき、それに後から文房具メタファによって整形を施すことができる (4.2 節(5) a, 4.3 節(5)). 言い換えれば、思考の表現と図形の整形が分離できている。

(3) ペンと文房具メタファの習得しやすさ、使いやすさについて

入力ペンは、通常のペンと異なり、ある程度の筆圧をかけて筆記する必要があるが、4.2 節(1) a および 4.3 節(2) から、その習得に問題はなく、使いやすさの評判もよいことがわかる。また、指示デバイスとしての評価も高い (4.2 節(1) b, 4.3 節(3)). 一方、文房具メタファについては、その動作速度の問題 (4.2 節(3)) 以外は、観察では問題はなさそう (4.2 節(4)) だったが、アンケート調査から、マウス経験者に対し問題があることが認識された (4.3 節(4)). この件については、下で改めて考察する。

(4) 文房具メタファの動作における即時性も見積も

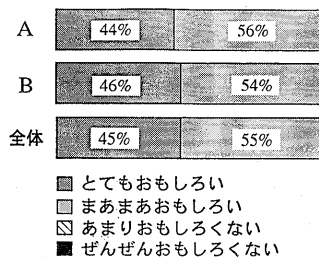


図 14 文房具メタファを用いた手書き作図システムの使用感についての回答

Fig. 14 Users impressions of hand-drawing system with stationery metaphors.

り

観察から、文房具メタファの動作に即時性が必要である(4.2節(3))。プロトタイプシステムの場合、ペンを動かす速さと文房具メタファの追従速度を比較した結果、平均して4倍程度の高速化が必要であると判断した。ただし、この程度の高速化は、より高速のCPUの採用、移動中のメタファの簡約な表示などで十分実現できる。

(5) 紙上では得られない計算機処理を活用する可能性と有効性について

従来の作図システムにおいても、図形の再利用、加工などの編集、図形データの管理、座標や長さを表示する機能などは実現されていて、その有効性は確認されている。本システムにおいても、3.3.4項に述べた編集機能は有効である。さらに、ペンでなら、複雑な位置関係にある対象群を筆跡で囲むことによって余計なものを除いて容易に指定できる。この囲む筆跡に対する、対象の高速な包含判定の実現によって、マウスなどで矩形で囲んで行う対象指定より効率がよいものが得られる<sup>21)</sup>。その他、ジェスチャ入力なども、十分な認識精度が得られれば有効であろう。

さらに今後の方向としては、「手書きの方法で正確な図が描けると便利」という指摘(4.3節(6))があるように、手書きパタンの認識や整形段階で正確な図に仕上げるための計算機支援が必要であると考え<sup>20)</sup>。

以上、3.2節との対応で述べた。これらに加えて次の考察を得た。

(6) ペン入力におけるモード

4.2節(4)bから、ユーザは目的に応じて、入力ペンの役割りを“手”と“ペン”に瞬時に切り替えて考えられることがわかった。一般に、モードはユーザを混乱させると考えられているが、特殊な場合は、モードの問題を解消できる可能性もあることがわかった。一層の実験が必要である。

(7) 文字と図形が混在した文書の作成を支援する環境の実現可能性について

4.2節(5)c, dで示したように、図を描きながら文字を書いた人がかなり多かった。文字と図形が混在する文書を容易に作成できるシステムのニーズは高いと考えられる。このような文書は、従来のシステムでは入力デバイスの持替えなどがあり、ユーザの思考を中断させる。この点、ペンではその必要がないので、この利点を生かした方式を追求する必要がある。

(8) マウスを用いた作図ツールの使用経験の有無による違い

A(経験あり)グループとB(経験なし)グループを分けてアンケートを集計した結果、AグループのほうがBグループより評価が厳しいことがわかる(4.3節(4))。これには、被験者が経験した作図ツールに比べて、プロトタイプが速度が遅い、機能が不十分であるなどの要因が考えられる。また、一度経験したシステムへの慣れが新しいシステムへの適応を疎外する要因もあるであろう。しかし、今回行ったアンケート調査では、被験者のプロフィール、使用条件などが一様ではないこと、人数が少ないこと、主観的評価であることから、現時点でグループ間の差を議論しても意味はない。今後、条件を整えた比較評価が必要である。

(9) 作図効率について

本論文で述べた作図方法は、他の方式に比較して、操作手数が多くなるという問題はある。しかし、本方式はもともと、熟練ユーザに対する効率を求めたものでなく、一般的なユーザの発想段階からの作図を念頭に、われわれの慣習に近い方法を作図方式のスペクトラムの一端として示し、従来の効率重視の設計と組み合わせる可能性を検討する材料として提示したものである。

## 6. おわりに

本論文では、表示一体型タブレット上で表示され、ペンで操作できる仮想的な文房具である文房具メタファを提案し、手書き入力による作図インタフェースの可能性について検討した。

また、文房具メタファを用いた手書き作図システムのプロトタイプを作成し、一般のユーザに使用してもらい、その振舞いの観察とアンケート調査を行った。その結果、次の考察を得た。

(1) 実際のペンと文房具に近い作図環境は、初心者にもわかりやすい

(2) ペンによる自由な表現と、文房具メタファによる整形により、思考の表現と図形としての整形が分離できる

(3) ペンと文房具メタファは、一部に技術的な問題が残るものの、習得しやすく、使いやすいといえる

(4) 文房具メタファを操作するためには、入力ペンの役割りを“手”と“ペン”に切り替えて考える必要があるが、この切替えに対するユーザの混乱は少な

った

一方、本プロトタイプは、文房具メタファの追従速度が遅い、品質の高い印刷出力が実現されていない、などの理由により実用評価にまでは至っていない。今後は、次の項目を実現して、われわれ自身による実用評価、および異なるユーザ層に対する手書き作図システムのわかりやすさ、習得しやすさ、使いやすさ、効率の定量的評価を課題とする。

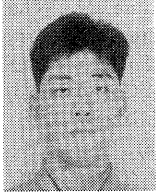
- (1) 各種の定規やテンプレートメタファの充実
- (2) 文房具メタファの速度向上
- (3) 高品質印刷出力
- (4) 計算機処理の利用の拡大
- (5) 文房具メタファの操作方法の検討

**謝辞** 高解像度表示一体型タブレットをご貸与頂いた(株)日立製作所日立研究所に深謝する。本研究は科学研究費補助金課題番号 05558027 の一部補助による。

### 参 考 文 献

- 1) Anderson, J. R.: *Cognitive Psychology and Its Implications*, 2nd ed., W. H. Freeman, New York (1985).
- 2) 中川正樹: 発想支援手書き環境の硬い技術と柔らかい技術, 第 34 回情報処理学会プログラミングシンポジウム報告集, pp. 21-32 (1993).
- 3) Wolf, C., Rhyne, J. and Ellozy, H.: *The Paper-like Interface, Designing and Using Human-Computer Interfaces and Knowledge Based Systems* (Salvendy, G. and Smith, M. J. ed.), Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, pp. 494-501 (1989).
- 4) Weiser, M.: *The Computer for the 21st Century*, *Scientific American*, pp. 94-104 (1991).
- 5) 守屋慎次, 森田利広, 稲井幸治, 清水 聰: ストロークエディタと直接指示・操作方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 8, pp. 1022-1029 (1991).
- 6) 正嶋 博, 横山孝典, 葛貫壮四郎, 福永 泰: 画数, 筆順, 回転, 区切りに依存しないオンライン手書き図形認識方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 5, pp. 492-498 (1986).
- 7) 村瀬 洋, 若原 徹, 梅田三千雄: 候補ラティス法による手書きフローチャートのオンライン認識, 電子通信学会論文誌, Vol. J66-D, No. 6, pp. 675-682 (1983).
- 8) 村瀬 洋, 若原 徹, 梅田三千雄: 接続ルールを導入した候補ラティス法によるオンライン手書き線図形認識, 電子通信学会論文誌, Vol. J67-D, No. 3, pp. 273-280 (1984).
- 9) 見島治彦, 戸井田徹: 隣接構造解析法によるオンライン手書き図形認識, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 8, pp. 863-869 (1987).
- 10) Endo, Y., Akimichi, S. and Milne, M.: *The Context-Based Graphic Input System: T-Board, Human-Computer Interaction: Software and Hardware Interfaces* (Salvendy, G. and Smith, M. J. ed.), Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, pp. 1004-1009 (1993).
- 11) Carr, R. and Shafer, D.: *Power of PenPoint*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. (1991).
- 12) ユーザインタフェースの新風ペン入力用 2 大 OS の姿, 日経バイト 1991 年 4 月号, pp. 232-249, 日経 BP 社 (1991).
- 13) 風間信也, 福島英洋, 中川正樹: 手書きユーザインタフェースの研究—その図形への応用—, 第 42 回情報処理学会全国大会論文集, 2 P-5, 2, pp. 309-310 (1991).
- 14) 中川正樹, 風間信也: 手書きインタフェースのための図形階層文法, 第 44 回情報処理学会全国大会論文集, 7 K-6, 5, pp. 379-380 (1992).
- 15) 風間信也, 待井君吉, 福島英洋, 中川正樹: 手書き図形入力インタフェースの試作, 第 44 回情報処理学会全国大会論文集, 7 K-5, 5, pp. 377-378 (1992).
- 16) 風間信也, 福島英洋, 中川正樹: 文房具メタファを用いた手書き作図インタフェース, 情報処理学会 HI 研究会報告, 43-3, pp. 17-24 (1992).
- 17) 福田奈津子, 中川正樹: 文房具メタファを用いた手書き作図システムにおけるテンプレートメタファ, 第 46 回情報処理学会全国大会論文集, 4 H-8, 5, pp. 133-134 (1993).
- 18) 風間信也, 福田奈津子, 中川正樹: 文房具メタファを用いた手書き作図システムとその評価のための予備実験, 第 46 回情報処理学会全国大会論文集, 4 H-9, 5, pp. 135-136 (1993).
- 19) Nakagawa, M., Kazama, S., Satou, T. and Fukuda, N.: Pen-based Interfaces for Drawing Figures with 'Stationery Metaphors', *Human-Computer Interaction: Software and Hardware Interfaces* (Salvendy, G. and Smith, M. J. ed.), Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, pp. 1046-1051 (1993).
- 20) 福田奈津子, 中川正樹: テンプレートメタファによる手書き作図インタフェースの試作, 情報処理学会 HI 研究会報告, 48-5, pp. 33-40 (1993).
- 21) 佐藤 俊, 村瀬敦史, 中川正樹: 手書きインタフェースのためのペンの囲みによる対象判定アルゴリズムの実現と評価, 信学技報, PRU 92-88 (1993).

(平成 5 年 8 月 27 日受付)  
(平成 6 年 3 月 17 日採録)

**風間 信也 (正会員)**

昭和 42 年生。平成 4 年東京農工大学工学部数理情報工学科卒業。平成 6 年同大学院博士前期課程（電子情報工学専攻）修了。同年富士ゼロックス(株)入社。ユーザインタフェース、特にペンインタフェースに興味をもつ。

**加藤 直樹 (学生会員)**

昭和 44 年生。平成 3 年東京農工大学工学部電子情報工学科卒業。同年同大学院博士前期課程（電子情報工学専攻）進学、現在に至る。ヒューマンインタフェース、パソコンコンピュータシステムに興味を持つ。

**中川 正樹 (正会員)**

昭和 52 年東京大学理学部物理卒業。昭和 54 年同大学院修士課程修了。同在学中、英国 Essex 大学留学 (M. Sc. in Computer Studies)。昭和 54 年東京農工大学工学部数理情報助手、平成元年 1 月数理情報助教授、同 4 月電子情報助教授。オンライン手書き文字認識、日本語計算機システム、文書処理の研究に従事。理学博士。