

文房具メタファを用いた作図インタフェース における自動位置合わせについて

福田奈津子, 加藤直樹, 中川正樹
 (東京農工大学 工学研究科)

Automatic Adjustment of Stationery Metaphors for Drawing Interfaces with a Pen.

Natsuko FUKUDA, Naoki KATO, Masaki NAKAGAWA

Tokyo University of Agriculture and Technology
 Naka-cho, Koganei, Tokyo 184, JAPAN

Abstract: This paper describes a method to enhance computing support to a pen-based drawing environment which is an extension of the real one. A user can make a rough sketch with a pen on a display integrated tablet and then draw a neat copy with stationery metaphors (virtual stationery) such as compass, ruler and template metaphors. The system helps the user to place stationery metaphors by adjusting them to figures automatically, which saves the user a lot of time and labor. Consequently, the system provides users with more useful stationery than real one and supports drawing from at the creative stage of rough sketching to the final stage of neat drawing.

Keyword: Drawing Interfaces; Stationery Metaphors;

1. はじめに

我々が文書を作成する環境に、計算機は欠かせないものとなってきている。文書の中には文章、数式、図などを含むが、その中で我々は図に注目し、計算機上での作図のインタフェースについて研究している。

作図システムは今までもいくつか存在するが、従来の作図システムはマウスを用いており、作図の過程における消書を行うためのものであった。それに対し、我々の作図システムでは表示一体型タブレットとペンを用いることによって、作図の操作にとらわれることなく、発想の段階である下書きから計算機支援を利用できる環境の実現を目指している。

計算機上に描画した下書きの図形は、必要に応じて消書を行う。消書は文房具メタファ[1]を利用して行う。文房具メタファとは表示一体型タブレット上に表示した仮想の文房具である。今までに文房具メタファとしてコンパス、定規、テンプレート[2]を実現している。

文房具メタファを使用して消書するときに、すでに描画された図形と文房具メタファとの位置合わせなどの微調整が難しい。そこでこの位置合わせを計算機が支援する。ユーザによくない手間を与えず、かつユーザの意図に合った位置合わせをするための調整機能を提供する。本報告では、調整機能の一つである文房具メタファを用いた作図における位置合わせについて述べる。

2. 文房具メタファについて

文房具メタファは表示一体型タブレット上に表示した仮想の文房具で、直線や円弧などを描画する。文房具メタファにはコンパスメタファ(図1)、定規メタファ(図2)、テンプレートメタファ(図3)がある。円弧を描画するときはコンパスメタファを用い、直線を描画するときは定規メタファを用いる。また四角形や三角形などの図形はテンプレートメタファを用いて描画することができる。次に各文房具メタファの操作の方法について述べる。

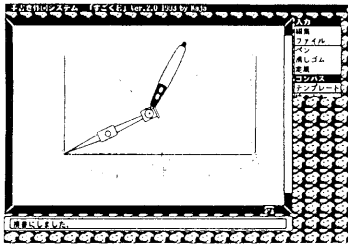


Fig.1 コンパスメタファ

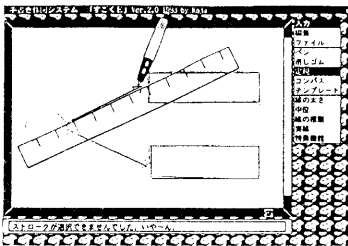


Fig.2 定規メタファ

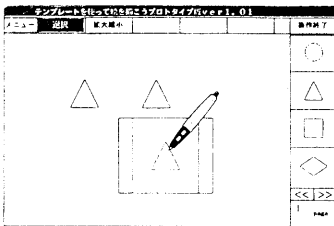


Fig.3 テンプレートメタファ

(1) コンパスメタファ

コンパスではまず始めに、円弧の中心、半径、始点を決める。コンパスメタファでは、円弧の中心はコンパスの針の部分（図4①）を、半径はコンパスの足の部分（図4②）をペンでドラッグして合わせる。同様に始点を合わせるときはコンパスの鉛筆の支えの部分（図4③）で行う。コンパスの鉛筆部分は自由に動かすことができるので、半径と始点を同時に合わせることができる。それだけでなく、半径を固定したままコンパスを回転させて、始点だけを合わせることもできる。これらの位置を合わせた後に、鉛筆の部分（図4④）をペンでドラッグして回転すると、円弧を描画することができる。

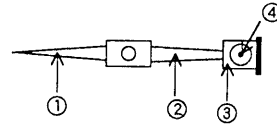


Fig.4 コンパスメタファの操作指示位置

(2) 定規メタファ

定規の移動は、平行移動と回転移動で行う。平行移動は定規の中心付近をペンでドラッグして行い、回転移動は定規の両端をペンでドラッグして行う（図5参照）。定規の位置を合わせた後、定規の目盛りのついた線（以後ここではただの線と書く）をペンでなぞって直線を描画する。

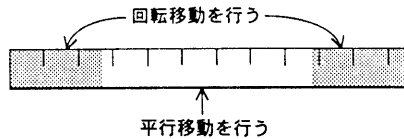


Fig.5 定規メタファの操作指示位置

(3) テンプレートメタファ

テンプレートの作図ではまず必要な図形をメニューから選択する。それから位置合わせや大きさ合わせを行う。位置合わせの方法は、平行移動と回転移動がある。平行移動するときには、テンプレート上の図形のまわり（図6①）をペンでポイントしドラッグする。同様に回転移動はテンプレートの両端（図6②）で行う。大きさの変更は、数値を入力する方法とテンプレートをペンでドラッグして引っ張って拡大縮小する方法がある。図形の大きさと描画する位置を合わせた後、描画を行う。テンプレートの図形部分をなぞるかまたはペンでポイントすると図形を描画することができる。

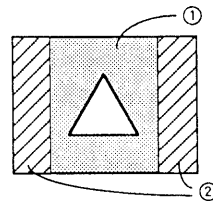


Fig.6 テンプレートメタファの操作指示位置

まり、ユーザが平行移動をしていたときの位置合わせでは、平行移動で位置を微調整し、回転移動をしていたときは、回転移動で微調整する。またテンプレートを拡大縮小していたときは、大きさを変更して位置合わせをすることになる。このようにユーザが直前に行っていた操作の方法と同じ方法で位置合わせを行うことは、ユーザの意図を反映したものになると期待できる。

(3)描画されている図形は変更しない

文房具メタファを位置合わせするとき、画面に描画されている図形には手を加えないようにする。文房具メタファの位置合わせでは、位置合わせを行なう対象の図形を別の図形に変更するといった設定の変更ができるが、その設定の変更でも、描画されている図形を動かしたり変形したりすることができないようにする。

文房具メタファの位置合わせは、前に述べた編集時の三つの事柄を次のように限定することができる。

- ①文房具メタファをその周辺のすでに描画された図形に対して位置合わせする
- ②移動または変形するのは文房具メタファだけとする
- ③ユーザが直前に行っていた操作の方法で文房具メタファを移動、変形する

このように限定できると、ユーザの意図を推測しやすくなるため、計算機で自動的に位置合わせを行なうことができる。

4.2 文房具メタファの位置合わせの内容

文房具メタファの位置合わせの内容は、文房具メタファや操作の内容によって異なる。ここではコンパス、定規、テンプレートそれぞれの文房具メタファを使用したときの位置合わせの内容について述べる。

(1)コンパスメタファにおける位置合わせ

コンパスにおける位置合わせには次の四つがある。

- ①中心（針の部分）を合わせる
- ②半径を合わせる
- ③始点（鉛筆の部分）を合わせる

④描画する円弧の始終点を合わせる

- ①と③はどちらも点である。そこで点を線上にのせる、または他の点と重ねるといった位置合わせを行う。
- ②は、半径の長さを合わせることである。半径と始点の両方を同時に合わせるときは、②と③の位置合わせを行なう。

(2)定規メタファにおける位置合わせ

定規は直線を描画する文房具である。定規の縁が直線を描画する位置になる。定規における位置合わせには次の二つがある。

①定規の縁の直線を合わせる

②描画する直線の始終点を合わせる

- ①はまだ描画する前なので、始点や終点は分らない。そこで①では、始点や終点のない直線の位置合わせを行う。具体的には「角度を合わせる」や「端点などに接しさせる」という位置合わせである。②は、描画する直線の始点や終点の位置を合わせる。終点は、描画されている線の端点などにつくように決めるとき、直線の長さによって決めるときがある。

(3)テンプレートメタファにおける位置合わせ

テンプレート上に表示されている図形は、直線や円弧の集合、そして長方形や三角形などがある。長方形や三角形などの図形を図形の階層表現における図形コンポーネント、また直線や円弧を図形プリミティブという[3]。テンプレートメタファにおける位置合わせには次の四つがある。

①テンプレート上の図形のコンポーネントを合わせる

②テンプレート上の図形のプリミティブの部分を合わせる

③テンプレート上の図形の特徴点を合わせる

④描画するときの始終点を合わせる

- ②は、テンプレート上の図形が長方形ならば、その直線部分だけに注目して、描画されている直線などに位置合わせを行うということである。①は、同様に長方形ならば、一部でなく長方形全体を見て位置合わせを行う場合のことである。③の特徴点とは、線の端点や線同士の交点などを指す。

これら文房具ごとの位置合わせを、ユーザが行お

文房具メタファは、実在の文房具と同様の操作方法をとっているために、計算機に不慣れな人でも容易に作図を行うことができる[1].

3. 位置合わせ機能

3.1 位置合わせ機能の必要性

作図する図形の中には、直線の端点同士をつけるなどの微調整を必要とするものがある。しかし、文房具メタファをきれいに合わせるように操作するのは難しい。

テンプレートメタファのプロトタイプ作成時に、テンプレートメタファの操作方法に関する簡単な予備実験を行った[2]。対象は学生 10 人である。その予備実験において、テンプレートメタファの微調整が難しいという意見が半数の 5 人の被験者からでた。

きれいな図を描画するには、作図の手間が大きく、時間をかけなくてはならない。逆に短い時間で作図を行おうとすると、端点が離れていたり、ずれていたりする図になる。そこで計算機がこのような微調整を支援することができれば、ユーザが短い時間で、しかもきれいな図を描ける環境を提供することができる。

これらから、ユーザが円滑に作図作業を行うためには正確に位置を合わせるための機能が必要であるといえる。

3.2 位置合わせ機能の分類

位置合わせは次の二つに分類できる。

(1) 編集の段階における位置合わせ

(2) 文房具メタファを用いた作図での位置合わせ
編集の段階における位置合わせは、すでに描画された図形同士の位置合わせである。文房具メタファの位置合わせは、すでに描画された図形に対して文房具メタファの位置を合わせるとした場合と文房具メタファで描画するときに始終点などの位置を合わせる場合がある。後者は例えば図 7 のように円弧を描画するとき、円弧の終点が直線との接点となるように合わせる位置合わせである。

編集段階での位置合わせは、ユーザが「位置合わせを行う」という指示を与えて始めて位置合わせが行われる。位置合わせを行うときは次に示す三つの事柄を決める。

① 描画面内に描かれたどの図形を対象として位置合わせを行うのか

② 位置合わせをする図形のどれを動かす（変形する）のか

③ どのように動かす（変形する）のか

計算機が位置関係などを見てこれらを決めると、図全体が崩れてしまうことがある。そこでこれらもユーザが指示する必要がある。

文房具メタファを用いた作図での位置合わせについては、次に章を改めて述べる。

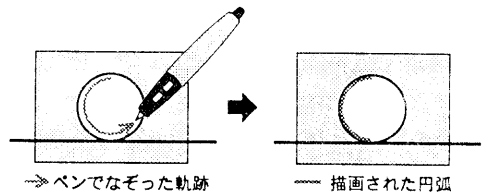


Fig.7 円弧の終点の位置合わせ

4. 文房具メタファにおける位置合わせ

4.1 位置合わせの方針

文房具メタファにおける位置合わせの方針を次に述べる。

(1) 位置合わせは自動的に行う

文房具メタファにおける位置合わせは、ユーザが文房具メタファを使って作図するときの位置の微調整を支援するものである。このとき、ユーザにいちいち微調整の指示を仰ぐのではなく、ユーザの意図を予測し、自動的に位置合わせを行う方式を実験してみることにした。自動的にということは、位置合わせを行うタイミングから実際に位置合わせするまで全部を自動で行うということである。ただし、ユーザはこの自動位置合わせを必要に応じて解除できるということは言うまでもない。

(2) ユーザが行っていた操作を継続する

ユーザが平行移動をした直後に、自動位置合わせによって回転移動することは、ユーザが予期していなかった動作を文房具メタファがしてしまうことであり、またユーザが合わせた文房具メタファの角度を勝手に変更してしまうことになる。そのため位置合わせの方法を直前の操作と同じ方法と決める。つ

この場合図 1 1 に示す長方形の候補領域に含まれている二つの直線 (l_1 , l_2) が位置合わせの図形候補となる。

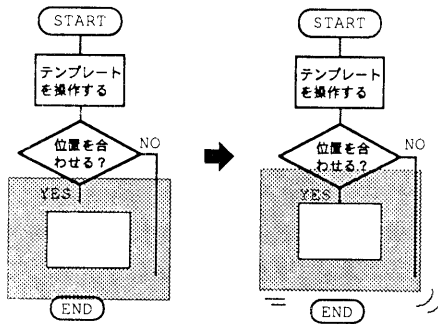


Fig.10 平行移動による位置合わせの例

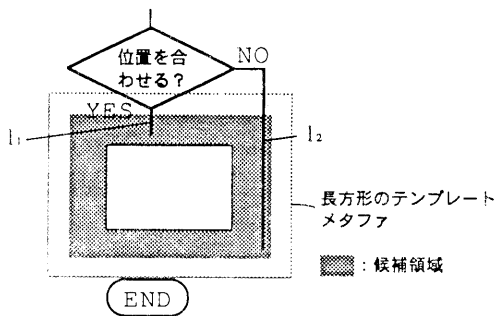


Fig.11 候補領域

(2) 文房具別, 操作別に分ける

文房具メタファにおける位置合わせの内容は、文房具によって異なる。さらにそれぞれの文房具メタファにおける位置合わせは、前に述べたようにユーザーが行おうとした操作によって変わってくる。そこで位置合わせは文房具と、ユーザーが直前に行っていた操作によって分類して行う。直前の操作で分けると、不可能な位置合わせの内容について調べる必要がなくなる。例えば図 1 0 では、テンプレートを平行移動している場合なので、角度についての位置合わせは考慮する必要がない。

テンプレートメタファにおける位置合わせでは、他の文房具メタファの位置合わせと違って、テンプレートメタファ上の図形によっても分類することが

できる。テンプレートメタファ上の図形での分類は、次に述べる(3)の既描画図形の種類で分ける場合と同じことがいえる。

このように、ユーザーが使用している文房具と行っている文房具メタファの操作で分類することは、ユーザーがどのような位置合わせを必要としているのかを知る手がかりとなる。

(3) 既描画図形の種類によって分ける

位置合わせの対象の候補として選ばれた既描画図形が、どのような図形かを調べる。ここで、どの対象図形に対して、どのような位置合わせを行うことができるかを整理する。

まず始めに既描画図形を直線、円弧のプリミティブで分ける。文房具メタファも、種類によって考えるべき部分が点、直線、円弧の場合がある。使用している文房具によって、点と直線、点と円弧、直線同士、直線と円弧、そして円弧同士の位置合わせを考えることになる。これらのどの場合の位置合わせかによって、位置合わせできる内容が異なる。例えば、直線と円弧には接しさせるという位置合わせがあるが、直線同士にはそのような位置合わせはない。

図形には、直線や円弧がある図形というだけでなく、その組合せで様々な図形を表現している。したがって、既描画図形が円弧や直線を含むかで分けて考えた位置合わせの内容だけでは不十分である。図形コンポーネントを表現できるテンプレートメタファもそうである。既描画図形が長方形であった場合、長方形の中心とテンプレート上の図形の円の中心とを合わせるというような、直線と円弧で分類していたときに考えられない位置合わせの内容がある。さらに図 1 0 のフローチャートの作図という場合、ただ長方形を上直線に合わせるというだけでなく、長方形の上辺の中点を直線につける位置合わせとなる。この場合は、長方形のどの部分を直線につけるかという位置まで限定されているので、ユーザーの意図をより正確に推測して、位置合わせを行うことができる。

このように既描画図形の種類で分けるとき、何を作図しているか、長方形などのコンポーネントであるかを調べることも、位置合わせ内容を得るために必要となる。できるだけこれらを調べ、直線か円弧

うとした操作方法で位置合わせする。ユーザが行っている文房具メタファの操作の方法は次のとおりである。

- ・平行移動する
- ・回転移動する
- ・拡大縮小する

最後の拡大縮小するという操作はテンプレートメタファだけにある操作である。コンパスメタファは、位置合わせを考える部分が針先や鉛筆の先という点なので、回転、平行という区別はないが、これらの点を移動するときは平行移動するというようにする。半径の長さを固定したまま鉛筆先を動かすときは、鉛筆先はコンパスの針先を中心とした円上を動くことしかできない。これは回転移動するというようにする。

同じ位置合わせの内容でも、操作方法によって結果が異なる。操作方法によっては、位置合わせをすることができない内容もある。例として直線にテンプレートメタファの正三角形を接しさせる位置合わせを考える。テンプレートメタファを平行移動、回転移動、拡大縮小で位置合わせした結果を図8に示す。図8は結果は異なるがどの方法でも位置合わせをすることができる例である。図9の場合は、他の直線に平行な位置にテンプレートメタファの長方形を合わせるという場合で、回転移動の方法でしかできない位置合わせになる。

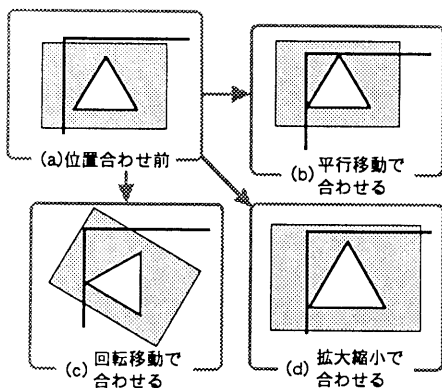


Fig.8 操作別による位置合わせの結果

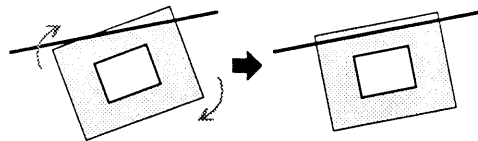


Fig.9 直線に平行に位置合わせをする場合

4.3 文房具メタファにおける位置合わせの方法

ここでは計算機が行う位置合わせの処理方法について述べる。位置合わせは次の流れで行う。

- (1)位置を合わせる既描画図形の候補を調べる
- (2)文房具別、操作別に分ける
- (3)既描画図形の種類によって分ける
- (4)位置合わせの対象となる既描画図形を決める
- (5)文房具の位置または大きさを変更する

文房具メタファで位置合わせを行う既描画図形とは、画面にすでに描画されている図形のことで、直線などのプリミティブと長方形などのコンポーネントを指す。基本的に、テンプレートメタファで描いた長方形は、コンポーネントとして扱い、定規を使って4本の直線で描いた長方形は、プリミティブとして扱う。位置合わせの流れにそって、それぞれの詳細について述べる。

(1)位置を合わせる既描画図形の候補を調べる

既描画図形の候補を調べるとは、既描画図形の中から、位置合わせの対象になる可能性のある図形を取り出すということである。多数の既描画図形の中で、文房具メタファから距離的に遠い図形に文房具メタファの位置合わせを行うことはほとんどない。したがって、文房具メタファにおける位置合わせでは、操作している文房具メタファの周辺だけの図形を位置合わせの対象の候補とすればよい。

図形の候補は文房具メタファからの距離を使って調べる。コンパスでは針先などの位置合わせをする部分、定規では直線を描画する縁の部分、テンプレートではテンプレート上の図形を基準として、一定距離外側の領域を候補領域とする。候補領域に入っている既描画図形をすべて候補に入れる。

例えば図10のようにユーザが長方形のテンプレートを平行移動して長方形を上の方の直線の端点にくっつけて描画しようとしている場合について考える。

かという分類と合わせて位置合わせの内容を考える。

(4)位置合わせの対象となる既描画図形を決める

上記で絞った既描画図形の候補の中から、実際に文房具メタファの位置を合わせる対象の図形を決める。平行移動で位置合わせをするときは、コンパスの針先などの位置合わせをする部分から既描画図形までの距離を求め、その距離が短いものを位置合わせする対象の図形と決める。ただし、距離だけで完全に決めてしまうのではなく、後述する優先順位も考慮に入れる。回転移動のときは、位置合わせをするために回転する角度が少ない図形を位置合わせの対象として選択する。拡大縮小の時は、拡大縮小のテンプレートの中心から既描画図形までの距離を使って対象となる図形を選択する。

距離や角度の小さいものを選択するとき、選択する対象図形の数は一つに限定しない。図8(a)において、平行移動で直線に正三角形を接しさせる位置合わせでは、左の直線に接しさせる位置合わせだけでなく、上の直線にも左の直線にも接しさせる位置合わせをすることができる。

同じ既描画図形に対して、複数の位置合わせ内容が考えられる場合は、位置合わせ内容の優先順位を考える。優先順位はリストを作成し、そのリストに優先順位の高いものから順に、位置合わせの内容を並べる。位置合わせを選択するときは、リストの先頭から順に見ていく。一つしか位置合わせができなければ先頭を選択し、二つ以上の位置合わせができる場合は、先頭から順に見て、同時に行なえる位置合わせを選択する。ただし条件を満たさなければその位置合わせを選択することができない。条件とはどういう時にこの位置合わせを行なうかを示したものである。

例えば図12に示すような、交点を持つ二つの直線に対してコンパスの針先を合わせるとき、一つの直線上に合わせる場合と、交点に合わせる場合がある。近くの直線までの距離 d_1 と交点までの距離 d_2 の差が十分小さいという条件を満たすとき、図のように優先順位の高い「交点に合わせる」という位置合わせを行なう。

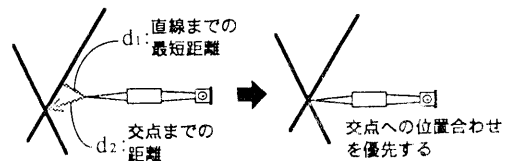


Fig.12 優先順位による交点への位置合わせ

(5)文房具メタファの位置を変更する

(4)で決めた位置合わせの対象図形に対して、ユーザが直前に行っていた操作の方法と同じ方法で位置合わせを行う。

移動距離または回転角度は、(4)の位置合わせの対象となる既描画図形を選択するときに求めたもの、またはその数値をもとに計算したものを使う。拡大縮小の倍率は、既描画図形の選択で求めた距離をもとに計算する。

4.4 自動位置合わせの解除と設定変更

文房具メタファにおける位置合わせは全て自動的に行う。しかし、計算機が全ての位置合わせを判断して行うとき、ユーザの考えと異なる結果になることがある。例えば、二つの直線の端点同士が非常に近い距離にあるときに、計算機は距離が近いことから一つの端点をもう一つの端点につけるという位置合わせをすればよいと判断する。ところが、ユーザはそれをわざと離して描画しようと考えていることもある。このように計算機はユーザの考えを全て正しく判断できるとは限らない。

前の例のようにユーザが計算機による自動位置合わせを必要としない場合は、自動位置合わせ機能の解除をすることができる。位置合わせは行ってほしいが、ユーザの意図にそわない位置合わせを行ってしまったというときは、設定を変更することができる。設定の変更には主に次の四つがある。

- ①位置合わせの対象の図形を変更する
 - ②位置合わせをする位置を変更する
 - ③位置合わせの候補領域の大きさを変更する
 - ④位置合わせの内容を変更する
- ①は、ユーザが文房具メタファを合わせたいと考えていた既描画図形に合わせられなかった場合に、既描画図形の変更をできるものである。正しい既描画

図形の指定はペンで囲むか、ポイントで行う。②は図13のように優先順位によって直線の端点に位置合わせした図形に対して、図に▼で示す位置に位置合わせするように変更するという場合である。位置の変更は、ペンで直接ポイントする。また図形の中心や、線分の中点などの位置の指定は、正確に行うことが難しいので、項目を表示したメニューから該当するものを選択できるようにする。③は図形候補を選択するときに候補領域の範囲を変更することである。範囲は数値を入力するか、領域を示す閉曲線をペンで入力して指定する。

自動位置合わせの機能が働いているかは、ユーザーが分かりやすいように画面上に表示する。

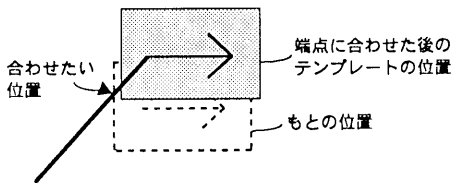


Fig.13 合わせる位置の変更

4.5 位置合わせ後の図形に対する制約

文房具メタファにおける位置合わせは、すでに描画された図形に対して文房具メタファを位置合わせするもので、描画は位置合わせした後に行う。しかし、位置合わせして描画した図形を編集すると、位置合わせした図形が崩れることがある。したがって、位置合わせして描画した図形に対しては、制約 (Constraints) をつける必要がある。

制約は、場合によって必要とされる条件の数が変わる。例えば図14のように端点同士がついた直線が描画されている場合、制約の付け方には次のようなものがある。

- ・片方の端点がもう片方の直線上にある
 - ・端点同士がついている
 - ・二つの直線の角度が 90 度である
 - ・端点同士がついていて、角度が 90 度である
- 端点同士をつける位置合わせを行った場合は、「端点同士がついている」という制約をつけることが自然である。しかし、ユーザーがもう少し緩い制約を付けたいと思ったときは条件を減らし、逆の場合は条

件を加えることができなければならない。また制約の解除も必要である。

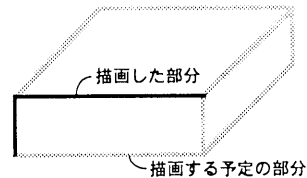


Fig.14 描画した直線の例

5. おわりに

ここでは文房具メタファにおける作図段階の位置合わせ機能について述べた。この位置合わせ機能は、ユーザーの意図を推測し、ユーザーに代わって正確な位置合わせを行うことを狙っている。そして今までに作成してきた作図システムに位置合わせ機能を加えることで、紙上と同様で分かりやすいだけでなく、紙上よりもさらに作図しやすい環境をユーザーに提供することができるようになる。

参考文献

- [1] 風間信也他：“文房具メタファを用いた手書き作図システム”，情報処理学会論文誌 第 35 巻 第 7 号，pp.1457-1468 (1994)。
- [2] 福田奈津子他：“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)。
- [3] 中川正樹他：“手書きインタフェースのための図形階層文法”，情報処理学会第 44 回全国大会論文集 7K-6，5，pp.379-380 (1992)。
- [4] 福田奈津子他：“文房具メタファを用いた手書き作図システムにおける調整機能について”，情報処理学会第 48 回全国大会論文集 2J-6，5，pp.227-228 (1994)。
- [5] 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”，情報処理学会第 34 回プログラミングシンポジウム報告集，pp.21-32 (1993)。
- [6] 風間信也他：“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)。