

第4章

教材開発にかかわる作図技法

1. 図形の登録～基準図形の作成法～

一般に、類似した図形をいくつか作成するとき、どれか一つを作図したのち、それを修正して残りの図形を完成させると、その手間からして便利ことが多い。逆に言えば、類似の図形が数多く必要とされる場合には、基準となるような図形をコンピュータに登録しておけばよい。特に教材にかかわる図形は、同じ領域の中であれば、上記があてはまることが多く、そこで、基準となる図形（以後、基準図形と呼ぶ）の設定の仕方を、教材開発の基本的な技法の一つとしてのべることにしたい³⁷⁾。

ここで提案する技法は、オーサリングシステムの設計から図形処理機能付ワードプロセッサによる作図にいたるまで幅広く応用することができる。尚、登録図形の有用性を評価する都合で、ここでは、特定の図形用ワードプロセッサを想定して話を進めることにしたい。簡単にいえば、作図の原点となるようなものを基準図形としていくつか用意しておき、その中から所望の図形に類似する基準図形を画面上に出したのち、適当な修正をほどこして完成させる。つまり、基準図形とは、ある図形範囲内の任意の作図を容易にするものである。

基準図形の作成法

本報告では、2種類の方法で基準図形を作成する。

(1) 補助型基準図形

これは、所定の複数個の図形を重畳したときに共通する要素（共通要素）と、それをもとにして各個の図形を復元するのに必要な要素（補助要素）を描写した図形である。たとえば、「円に内接する正多角形」の場合は、共通要素は円であり、補助要素はその中心点である²⁷⁾。

(2) 重畳型基準図形

これは、所定の複数個の図形を全て重畳して一つにまとめたものである。したがって、基本的には不要な要素の抹消操作のみで、所望の図形を得ることができる。「円に内接する正多角形（その図形範囲を正五角形、正六角形および正八角形の三つとする）」の場合は、図4.1のようになる²⁷⁾。

ここで、一般にコンピュータ図形処理では、「描写」より「抹消」の操作のほうが容易なので、(1)より(2)のほうが便利に感じられる。しかし、重畳型基準図形の場合

は、それがカバーする図形範囲が広すぎると、抹消すべき要素数が多すぎるためにかえって手間どることもある。なお、重畳型基準図形は、類似した図形を一つにまとめる²⁸⁾ という考え方に立つものといつてよい。

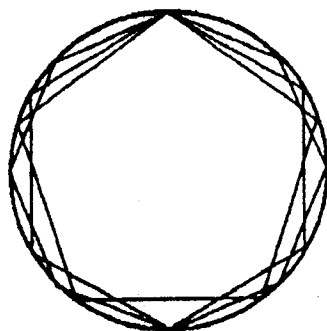


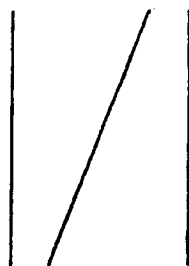
図4.1 「円に内接する正多角形（正5角形, 正6角形, 正8角形）」の重畳型基準図形の一例

図形処理コマンドと操作性

作図の容易さは、描写する図形の性質のほか、使用するソフトウェア・ハードウェアの操作性にも依存する。しかし、作図に要する負担を量的に考察しようとしても、「描写」に対する「抹消」の容易さなどは、厳密には規定しがたい。

そこで本報告では、ワードプロセッサの管理下で動く標準的な図形処理機能²⁹⁾ を想定し、作図の負担の目安として、とりあえずデータ入力回数 n を用いることにする。ここに、データとはカーソルによる座標指定またはテンキーによる数字指定を示す。ただし、座標指定では前回入力した座標と異なる場合のみ、カウントするものとする。たとえば、図4.2 (a)、(b) はいずれも3本の直線であるが (a) の描写では $n=6$ となり、(b) では $n=4$ となる。なお、(b) では $n=6$ とすることもできるが、ここでは極力一筆書きを心がけるものとする。これに対して、抹消の場合は (a)、(b) いずれも $n=3$ である³⁰⁾。

(a) 一筆書きが不可能な線群



(a) 一筆書きが可能な線群

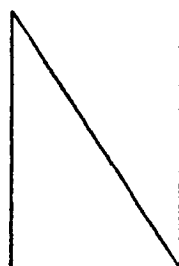


図4.2 三つの線分の描写

表 4. 1 図形処理機能

処理内容 (n)	入力データ (入力方法など)
点描写 (1)	1点 (カーソル入力)
直線描写 (2)	始点と終点 (同上)
円描写 (2)	中心点 (同上) 半径 (カーソル入力またはテンキー入力)
円弧描写 (4)	中心点 (カーソル入力) 半径 (カーソル入力またはテンキー入力) 始点と終点 (角度のテンキー入力)
扇形描写 (4)	円弧描写に同じ
点抹消 (1)	1点 (カーソル入力)
直線抹消 (1)	同上
円抹消 (1)	同上
円弧抹消 (1)	同上
扇形抹消 (1)	同上
拡大・縮小 (1)	拡大率 (テンキー入力)
直線分割 (1)	分割点 (カーソル入力)
線種指定 (0または1)	1. 実線, 2. 破線 (番号のテンキー入力, 1の場合入力不要)
線種変更 (2)	当該の要素上の1点 (カーソル入力) 1. 実線, 2. 破線 (番号のテンキー入力)

n: 入力データ回数

注: カーソルの座標はスクリーン上の一部に表示されているものとする。

さて、使用可能な図形処理コマンドは、以下の説明に必要なものを中心に表 4. 1 に示す 14 種類に限定した。同表では処理内容、データ入力回数 n などを示している。この中で直線分割とは、一本の直線を任意の一点で 2 分割するコマンドであり、線分を短くするなどの場合に用いる。

作成例 1

いま「いろいろな高さの正 4 角錐」の基準図形を作成するものとしよう。

図 4.3 (a) は重畳型基準図形であり、(b) は補助型基準図形である。このとき、(a) では 4 種の正 4 角錐の中から適当な一つを選択すれば、残りは全て不要になるので $n=12$ となる。一方、(b) は共通要素としての正方形と補助要素としての垂線を描写したものである。この場合は、補助要素上に適当な点 E を選び、 $A \rightarrow E \rightarrow C$ 、 $B \rightarrow E \rightarrow D$ と直線描写したのち補助要素を抹消すればよく、結局 $n=7$ となる。再び (a) で、正 4 角錐の数を減らせばもちろん n は減少するが、その選択の余地が少なくなってしまう。

つまりこの図形では、データ入力回数、選択範囲のいずれからみても、補助型基準図形のほうが優るといことができる。

(a) 重畳型基準図形

(b) 補助型基準図形

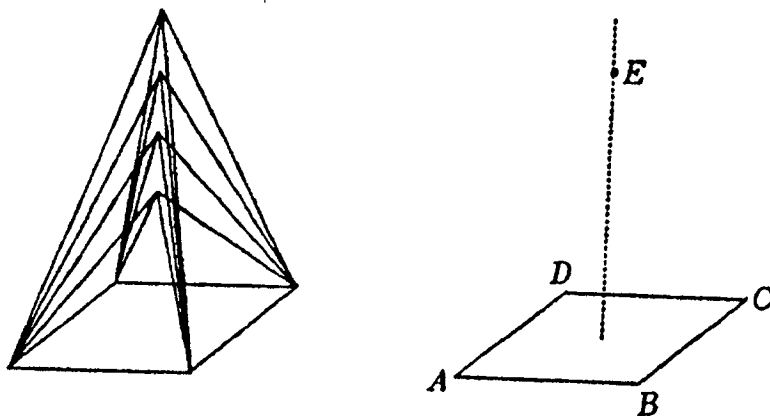


図4.3 「いろいろな高さの正4角錐」の基準図形

(b) 内の破線は補助要素である。

なお、補助型基準図形の作成の留意点は、所定の範囲内の任意の図形を復元するための補助要素を見落さないということである。

作成例2

いま「直方体または箱」の基準図形を作成するものとする。

この図形は、「木工」から「金属加工」の教材まで各所に見られる。とくに隠線の表示法に関してさまざまであるが、とりあえずここでは図形範囲を図4.4 (a) ~ (e) としてみる。

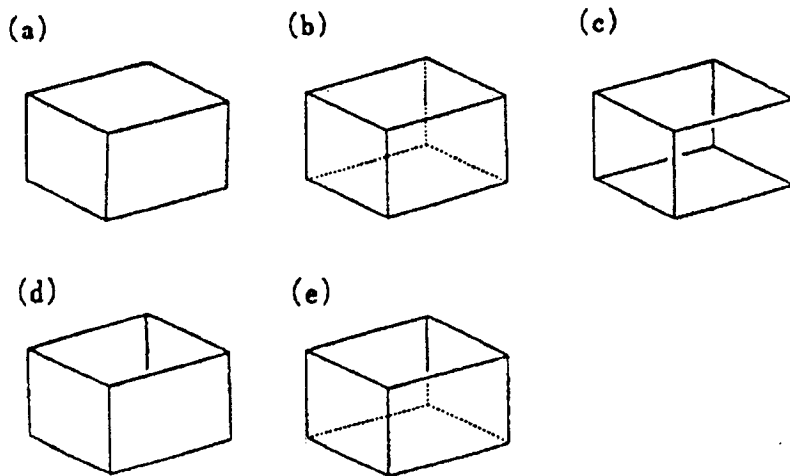


図4.4 「直方体または箱」の図形範囲

さて、図4.5 (a)、(b) にそれぞれ、重畳型基準図形と補助型基準図形を示す。このうち、(b) では点Hが補助要素となっている。なお、(a) の中の太線は一筆書きでその稜線の総数が最大となる組の一例を示している。

(a) 重畳型基準図形

(b) 補助型基準図形

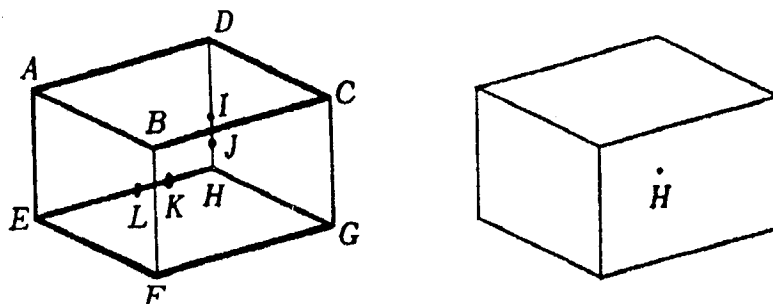


図4.5 「直方体または箱」の基準図形
(a) 内の太線は、一筆書きでその稜線の総数が最大となる組の一例を示す。

表 4.2 図形作成と入力データ回数 n

n	図4.4 (a)	(b)	(c)	(d)	(e)	総和
n_M	3	6	6	4	9	$\sum n_M = 28$
n_S	1	8	8	3	10	$\sum n_S = 30$
n_N	11	19	20	13	21	$\sum n_N = 84$
重畳型基準図形から作成したときの操作手順	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直線抹消 (DH) 2. 直線抹消 (EH) 3. 直線抹消 (GH) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要素の指示 (DH) 2. 線種変更 (破線) 3. 要素の指示 (EH) 4. 線種変更 (破線) 5. 要素の指示 (GH) 6. 線種変更 (破線) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直線分割 (I) 2. 直線分割 (J) 3. 直線抹消 (IJ) 4. 直線分割 (K) 5. 直線分割 (L) 6. 直線抹消 (KL) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直線抹消 (GH) 2. 直線抹消 (EH) 3. 直線分割 (I) 4. 直線抹消 (IH) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要素の指示 (GH) 2. 線種変更 (破線) 3. 要素の指示 (EH) 4. 線種変更 (破線) 5. 直線分割 (I) 6. 直線分割 (J) 7. 直線抹消 (IJ) 8. 要素の指示 (IH) 9. 線種変更 (破線) 	

n_M : 重畳型基準図形から作成したときの n , n_S : 補助型基準図形から作成したときの n , n_N : 基準図形を用いずに作成したときの n

次に、各基準図形からそれぞれの図形を完成させるのに必要な入力データ回数を表4.2に示す。同表には、基準図形を用いない場合のその回数 n_N もあわせて示している。また表の最右端に、作成方法ごとのデータ入力回数の総和を示す。この結果から、 $\Sigma n_M < \Sigma n_S \ll \Sigma n_N$ であることなどがわかる。とくに、重畳型基準図形から(a)～(e)を作成するのに必要な手順も同表にあわせて記しておく。

基準図形の作成の留意点など

ここで基準図形の作成の留意点などをまとめておく。

- (1) 図形が同一で、線の描写法がさまざまであるときは重畳型が適する。また図形が類似しており、補助線等の引き方がさまざまであるときも、補助線を除いた部分で重畳型を作成するとよい。
- (2) 形状が異なっても、図形的性質が同一であるときは、補助型が検討の対象になる。
- (3) 補助型の場合、基準図形からその図形範囲内の任意の図形を図学的に復元できるかどうかを常に考慮する必要がある。
- (4) 基準図形の登録総数に制限がなければ、重畳型と補助型を対にして登録しておくとう便利である。
- (5) 個々の基準図形の図形範囲は、一つの表にまとめておくと、その参照が容易になる。
- (6) とくに重畳型の場合では、多数の要素が重なり合うので、残しておくべき要素を誤って抹消することがある³¹⁾。そこで、基準図形はあらかじめハードコピーをとっておき、必要な要素だけを赤線などで辿り、それを参照しながら作業を進めると無難である。

2. 図形の修正～図形データの構造化～

コンピュータ画面上で作図を行う場合、完成したものを一つの図形単位として指定しておく、のちにそれを一括移動・回転などするとき便利である。また市販のCAD³²⁾システムも、一般にこの方法を用いている。

さて、本節では、図形修正の容易さの観点から、教材として用いる図形の性質を調べ、オーサリングシステムなどの設計に資するような作図の基本技術をまとめることにしたい。又ここでは、主に実験にかかわる作図を想定し、さらにある程度作図の正確さが要求されるものを対象とする。したがって、たとえば図4.6(a)に関しては、ゴム管、ガス管および炎の3つの部分を除いたものすなわち図(b)を作図の対象とする。また、これを完成図と呼ぶことにする。

(a) 化学実験の図例

(b) 完成図

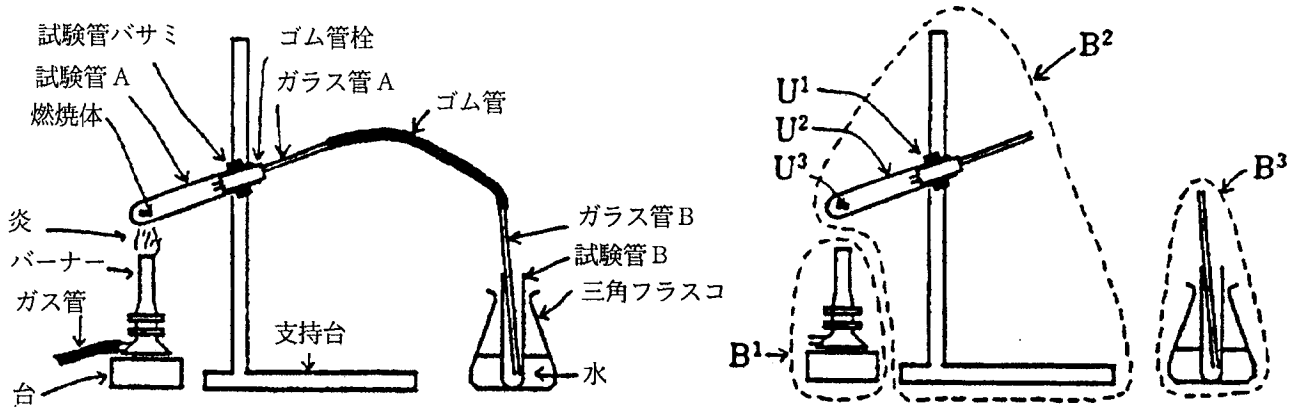
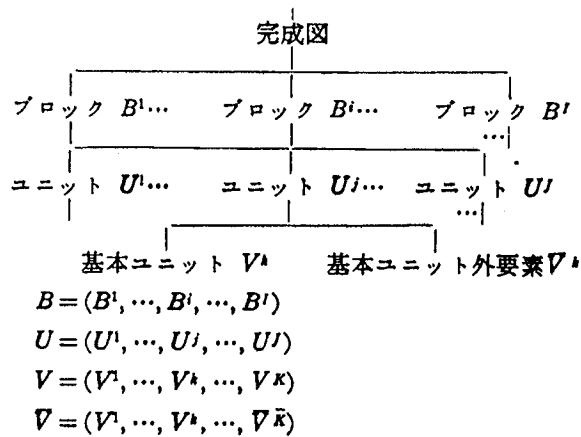


図4.6 描写図の分解

表4.3 完成図の分解



さて、完成図を表4.3のようにブロックB、ユニットU、基本ユニットVなどに分解する。分解の基準は、以下のとおりである。

まず、基本ユニットVとは、実験でよく用いる器具の一つ一つと考えてよい。つまり、化学実験では、モデル化された用具（または単純な図形）を組合わせることが多いのでVを論理的な1図形単位と考えることにする。一方、基本ユニット外要素 \bar{V} とは、個々の用具に附随した図形部分（あるいは、あまり頻繁には用いない用具など）で、図4.6の例では三角フラスコ内の水を表現する2本の水平線が、これに相当する。つまり、 \bar{V} は、用具の位置関係や指導内容によって描写方法が変化する部分で、一般性に乏しい図形部分と考えてよい。

次にユニットUは、一つ以下の基本ユニットまたは基本ユニット外要素から成り、やはり論理的な1図形単位である。

またブロックBは、一つまたは互いに“関連の深い”複数個のユニットから構成され、これも論理的な一図形単位である。ここに、二つのユニットで“関連が深い”とは次のようである。

その二つのユニットを U^j と U^l ($j \neq l$) とすると、 U^j を操作したときに、 U^l に対しても同じ操作をほどこす必要がある場合、あるいは、 U^l を操作したときに U^j に対しても同じ操作をほどこす必要がある場合の、いずれか一方または双方が成り立つことを意味する。たとえば、図4.6 (b) の完成図の中の支持台と試験管バサミの二つのユニットをあげると、支持台を左右に移動させれば、試験管バサミも同量だけ移動させる必要がある。つまり、これらは互いに“関連が深い”ことになり、同一のブロックの中にも含めるわけである。なお、ユニット U^j と U^l が同一ブロックか異ブロックかは、一つの基準として表4.4に示す用語で表現することもできる。一口には、互いに接触しているユニットを同一ブロックに含めるという見方もできる。

表 4.4 ユニット U^j と U^l ($j \neq l$) を関連づける用語

同一ブロックの場合	異ブロックの場合
支持する	暖める
はさむ	燃焼する
半固定する	風を送る
包む	光をあてる
引っかける	その他
乗せる	
引っばる	

図4.6 (b) 内の破線は、表4.4にしたがってブロックに分解したものである。たとえば B^2 では、支持台が試験管バサミを“半固定”し、試験管バサミが試験管Aを“はさみ”、その試験管が燃焼体を“包んでいる”などの関係があることがわかる。なお、表4.4の同一ブロックに示した用語について、「ユニット U^j が U^l を～する」の関係にあるとき、「 U^j は U^l に対して上位である」と呼ぶことにする。

本報告では、化学実験の例で図形の分解方法を示したが、職業訓練に関連するその他の領域の場合も完成図が表4.3のように分解され、共通したユニットをもつことが多い。

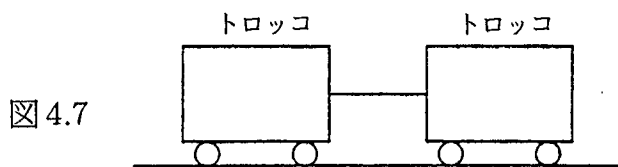


図 4.7

図4.7 「建築・土木」にかかわる図例

一方、領域間での相違点も見られる。まず、「建築・土木」では、“関連の深い”ユニット間の上位・下位の関係が明白でない場合がある。たとえば、図4.7は互いにひもで結ばれたトロッコであるが、それぞれが一つのユニットになりうる。しかしこれらは、互いに“関連が深い”が上位・下位の関係でなく、むしろ同位といえる。

以上、ユニット間の関連を中心に図形的特徴をのべたが、もう一つの特徴として、基本ユニット間の幾何学的類似性があげられる。実験モデルの描写では、各ユニットの大きさはほぼ実際の用具の大小関係にもとづくことが多い。このとき、異なる用具であっても、たとえば、同径で長さのみ異なるガラス管などのように、図形的には単一方向の伸縮によって一致してしまう場合がある。この点は、数学での正方形と長方形の関係についても同様である。

上記のことから、オーサリングシステムの設計にあたっては、次の検討事項が示唆される。

- (1) 図形操作コマンドを、ブロックコマンド、ユニットコマンド、そして最下レベルとしての基本ユニットコマンドとエレメントコマンドにレベル分けする。
- (2) ユニット間に上位・下位等の関係をもたせて、階層化を可能にする。
- (3) 実験器具としてよく用いる図形は、基本ユニットとしてファイル登録する。なお、単一方向の伸縮で図形的に一致する基本ユニットがある場合は、いずれか一つを代表させて登録する。
- (4) (3)に関連して、ユニットコマンドとして、移動、回転などの標準的なコマンドのほかに伸縮コマンドを加える。
- (5) 基本ユニットには、ユニット中心とユニット軸の属性を付与する。この属性は、用具としての役割をより明確にするもので、基本ユニットを画面上に呼び出し描写するときのパラメータとして用いる。

特に(5)に関し、基本ユニットは、同一の形状でも異なった属性を与えて別々に登録することがある。たとえば、図4.8(a)、(b)は同一の試験管であるが、いずれもファイル登録しておき、役割とか操作性に応じて選択するようにしている。これらを画面上に呼び出す際は、カーソルでユニット中心と軸方向を指定する。したがって、その操作性からすれば、(a)は試験管バサミにはさむなどのための試験管であり、(b)は他の器具の中に挿入するための試験管である。あるいは、図(c)で水槽の中の電極に試験管をかぶせる場合は、図(a)を用いるほうが位置設定がより容易といえる。

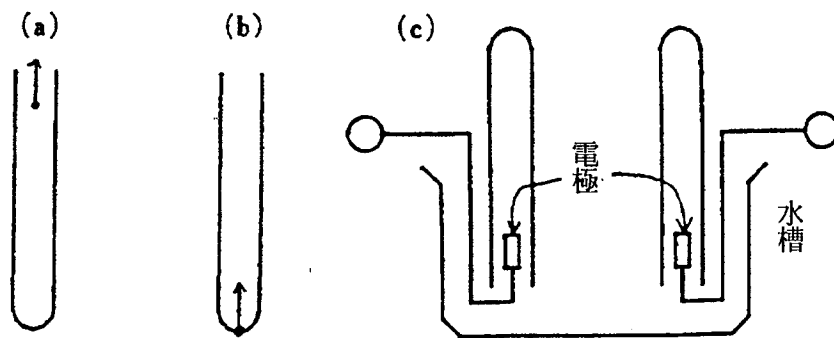


図4.8 基本ユニット「試験管」の属性とその利用例
黒丸と矢印はそれぞれユニット中心と軸方向を示す。

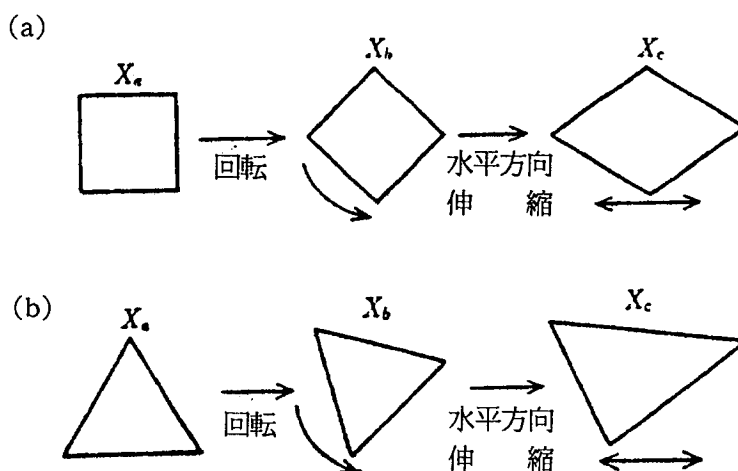


図4.9 ユニットの變形

また、(4) に関し、伸縮コマンドをうまく組合わせて用いると、図4.9のように一つの基本的な図形から種々の形状の図形を発生させることも可能になる。

3. 図形認識～フィル問題～

コンピュータ画面上で、ある特定の図形をコンピュータに認識させることは、塗りつぶしやハッチングなどのいわゆるフィル問題³⁹⁾にとって重要なことである。コンピュータアニメーションでは図形のフィル作業がよく行われる。ふつうは画面上で指定したいいわゆる質問点から、ドット単位で2次的にフィル作業を行うが、本報告での方法は、質問点をとり囲む図形領域のうち最小面積となるものの境界線を探索する。その意味において、これは閉ループ探索法ということもできる。すなわち、本報告では、フィル問題を閉じた図形の認識ととらえ直して問題解決を図るものである。

職業訓練にかかわる教材では、図形をとり入れたものが多く、又特にシミュレーショ

ンで、実物との対応を明確にしたり、動作を伴うものでわかりやすい作図を心がけるなどすることは、重要といえよう。その意味から、「図形の認識」は教材開発を間接的に補助するソフトウェア技法として欠かせない。

ここでのループ探索法と従来のドット探索法に関し、その技法上の優劣の比較などの詳細は末尾の資料3にまわすこととし、簡単な例題をもとにして、その基本的な考え方をのべておきたい。

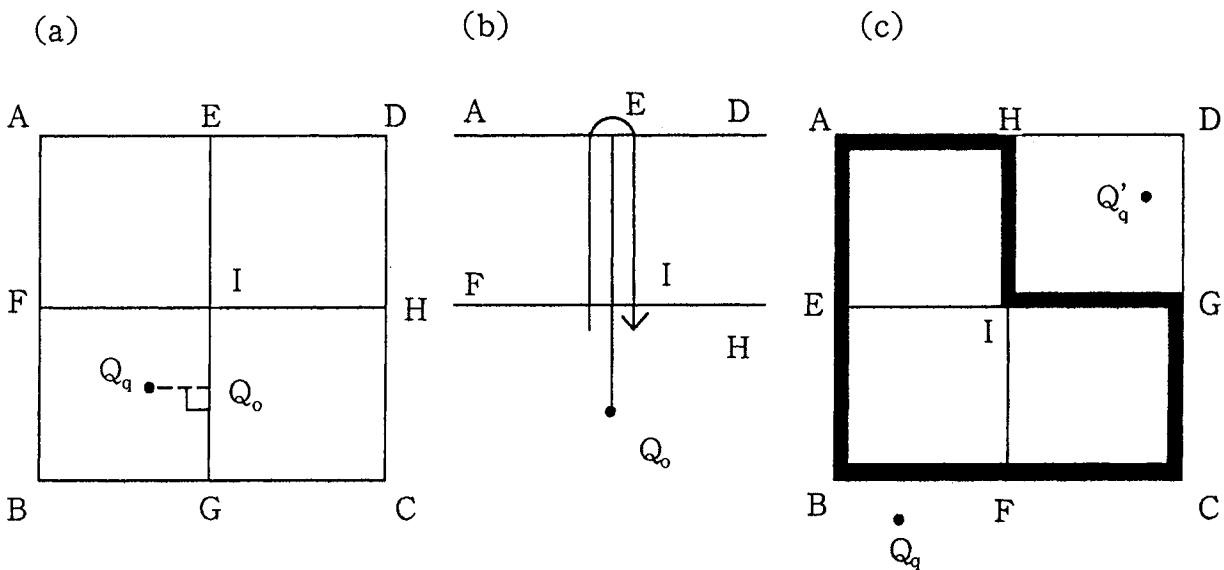


図4.10 図形の認識

図4.10 (a) に示す“田”の字の中で左下の四角形FBGIを認識するときは、その中の適当な一点 Q_a を質問点として入力する。そして、そこから最も近距離の直線（この場合は \overline{EG} ）を探索し、それを初期線とみなし、逐次境界線を探索してゆく。

すなわち、 \overline{EG} と交叉する直線を求め、その中の適当な一つを \overline{EG} に隣接する境界線とみなす。再び、その境界線と交叉する直線を求めて、順次境界線を探索してゆく。そして、元の初期線に到達したら、それまでに抽出された線群を全ての境界線と見なすわけである。このとき、探索方向は時計方向、反時計方向のどちらでもよいが、ここでは反時計方向と統一しておく。

まず、 Q_a から最も近距離の直線は素朴な算法で容易に \overline{EG} と判断される。次に、 \overline{EG} に対する交線のうち、 Q_a から \overline{EG} への垂線の足 Q_o よりもE側³⁴⁾で交点をもつ線分を探索する。その結果、 \overline{FI} 、 \overline{IH} 、 \overline{AE} 、 \overline{ED} の4つとなる³⁵⁾。

ここで、4つの交線に次のように優先順位をつける。大ざっぱに言えば、図 (b) のよ

うに元の線分 $\overline{Q_0E}$ を矢印のように左下→左上→右上→右下と辿ってゆき、その過程で4つの交線を交叉する順を、この優先順位とするわけである。この場合は、 \overline{FI} 、 \overline{AE} 、 \overline{ED} 、 \overline{IH} の順となる。そして、 \overline{EG} に隣接する境界線を、その中で最も優先順位の高いものすなわち \overline{FI} と定める。

\overline{FI} に対する交線も、ほぼ同様にして優先順位を定め、その結果 \overline{FB} がその次の境界線として定まる。このようにして、図形IFBGが認識されることになる。

さて、図(c)の太線内を認識する場合は、これが3つの領域に分割されているから、各領域を認識してこれらを合成すればよい。しかし、上記の算法からすれば、次のようにして質問点を2に減ずることができる。またこの点が、本方式の特長である。

まず、四角形ABCDの外側で、この近傍の適当な位置 Q_0 を定める。すると、この図形が認識される。つづいて、四角形GIHDの内側に Q'_0 を定めると、やはりこれが認識される。そこで、最初の認識で求められた直線群と2回目での直線群の和集合を求め、そのうち重複する線分を減ずれば、所望の境界線が定まる³⁶⁾。

注

- 27) ここでは、正 m 角形 ($m \geq 5$) は基準図形に含まれていないものとしている。もし、含まれているときは、所望の正多角形をスクリーン上に出しそれに外接する円を描いたほうが簡単である。
- 28) 北垣他 テスト問題の挿入図の効果について、日本教育工学雑誌, Vol.7, 1, pp.21~28, 1982
- 29) 現今のワードプロセッサの管理下での図形処理機能は、図形処理専用機に比べてかなり異なり、また個々によって設計思想も異なる。本報告では、日本デジタル研究所の文作IV世を想定したが、主にその基本的な機能を取りあげて図形処理の手法を論じている。周知のとおり、ワードプロセッサ自体年々高性能のものが市販されるなどのために、「標準的な図形処理機能」を一意的には決定しがたいが、同機は、昨今のその製作実績などから代表的な図形処理機能付ワードプロセッサの一つと思われる。
- 30) (b) の場合は、交点にカーソルを合わせて2回抹消操作を行えば、双方の線分共抹消される。しかし、いずれが先に抹消されるかの保障がなく、一般性の点でそのような抹消操作は行わないものとする。
- 31) ディスプレーの方式によっては、重畳型で要素数が多すぎると抹消操作が困難になる場合がある。いま、線分、A,Bが点Pで交叉しているものとする。このとき、線分Aだけを抹消しようとする、点Pのドットも含めて抹消されるために線分Bが2分割されることがある。これはRAMをそのままディスプレイする場合に起こり、そのようなコンピュータにあっては、残しておくべき要素も部分的に抹消されていき、徐々に見にくくなってしまう。その場合は、基準図形を作成する際にあらかじめ要素数を制限しておくとか、あるいは、見にくくなったらいったん座標表示形式の画像データを補助記憶装置に格納し再びそれをスクリーン上に映し出すなどの方法が考えられる。
- 32) コンピュータを用いて作図すること (Computer Aided Design)
- 33) 安居院他 コンピュータアニメーション、広済堂産報出版、1983
- 34) 両端点F、Gのうち、 $\overline{Q_1Q_2}$ を水平と見なしたときこれに対する Q_1E 、 Q_2G の傾きを求め、プラスとなる端点の方向と考えればよい。
- 35) \overline{EG} と両端以外で交叉する線分は、2つに分割して考える。たとえば、 \overline{AD} は \overline{AE} と \overline{ED} に分割するなど。
- 36) つまり、和集合の中の当該の要素が変更される。たとえば、和集合の中には、 \overline{AD} と \overline{ED} が含まれるが、 \overline{ED} が重なるので、これらは \overline{AE} のみに変更される。
- 37) 本章の「1.図形の登録」の詳細は下記を参照のこと。
- 北垣 ワードプロセッサを用いたテスト教材プールの制作手続きについて、日本教育工学雑誌, Vol. 8, 4, pp.177-187, 1984