

図形間の幾何的および概念的関係を用いた作図支援

金原史和[†] 佐藤真一^{††} 濱田喬^{††}

計算機上で図を作成するための作図システムは、現在、あらゆる分野・場所で普及しており、これらは主に、精密な作図や編集に関する豊富な機能を取り揃えている。しかし、より柔軟な操作性の向上を実現するには、作図者の意図、思考を反映した操作を可能とする支援が望まれる。特にフローチャートやシステム構成図のような概念的な図にはこの支援が必要とされるが、従来の作図システムでの支援では不十分であった。そこで、われわれは、概念的な図を主な対象として、図形間の関係に着目した作図機能を持った汎用の作図システム DOGS を構築した。DOGS では作図者からの、図形間の位置関係などの幾何レベルの関係、ならびに、それらを基にした概念レベルの関係の、多様でかつ明示的な指示を可能にしており、作図者の意図を明確にシステムに伝えることを実現している。この概念レベルの関係は作図者によって定義されるものであり、作図者の指示の多様性を目指すとともに、概念を図式化するという作図プロセスを考慮したものである。DOGS では、作図者の意図を反映するための機能として、指示された関係の保存機能を提供しており、これにより視覚的に柔軟な操作が実現されている。また、DOGS では、これらの機能を基にした、概念的な図の作成に有効と考えられるボトムアップ的な作図スタイルを提供している。本論文では、この構築したプロトタイプシステム DOGS における支援方法とその機能について論じる。

A Drawing Support System with Geometric and Conceptual Relations among Objects

FUMIKAZU KANEHARA[†], SHIN'ICHI SATOH^{††} and TAKASHI HAMADA^{††}

Recently, application softwares to draw figures are used in many fields. These drawing systems have many functions that enable users to draw figures precisely and easily. However, it is desirable to provide users' intentions directly to systems in order to realize practical drawing systems, especially to realize systems for conceptual figures, e.g., flow chart figures, system architecture figures and so on. So, due to this viewpoint, we propose the drawing system DOGS focused on relations among objects in figures. Using DOGS, users can give graphical indications explicitly as relations among objects to the system. Thus, users can provide their intentions precisely to the system. Given relations reflecting users' intentions are preserved to offer flexible modifications of drawing. DOGS can deal with two kinds of relations, primitive and macro relations. The primitive relations represent geometric relations among objects. In our embodiment, seven primitive relations are implemented in DOGS. The macro relations are obtained as conceptual relations. They are defined by users as combinations of some geometric relations. The macro relations express highly structured relations, i. e., relations much closer to users' concepts, while the primitive relations provide only primitive geometric relations. DOGS provides bottom-up style of drawing process. First, users give some primitive graphical objects, then indicate relations between these objects and modify them preserving relations, which represent users' intentions. Therefore, DOGS realizes proper drawing process for conceptual figures.

1. はじめに

計算機上で図を作成するための作図システムは、現

[†] 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻
Department of Electronic Engineering, Faculty
of Engineering, University of Tokyo

^{††} 学術情報センター研究開発部
Research and Development Department, National
Center for Science Information Systems

在、あらゆる分野・場所で普及している。これらは主に、人手では描きづらい、または手間のかかる、精密な作図や編集に関する豊富な機能を取り揃えている。

一方、著者らの調査によると、仕様書や設計書および科学技術論文などにおいては、フローチャートやシステム構成図のような概念的な図が描かれる傾向が強く、それに対する支援が重要であることがわかった。概念的な図の作成の際には、作図者は、概念レベルの

対象を図式化しようとするため、これを支援する作図システムには、作図者の意図や思考が柔軟に指示でき、かつ、それを反映した操作を可能とする機能が望まれる。

しかし、市販の Mac Draw や Unix ワークステーション上で動作する idraw などの従来の作図システムにおいては、これらの点は特に考慮されておらず、主に精密な作図に重点が置かれているといえる。

このような人間の思考や概念の視覚化および視覚的な支援という視点に立った研究は種々あり^{6)~10)}、作図や描画に関しては、専用のものではインテリジェント CAD⁴⁾ の分野で盛んであり、汎用のものでは、Key 3¹¹⁾ や COOL¹²⁾ などがある。

インテリジェント CAD とは、設計者の思考過程をより直接的に支援することを目的としたシステムである。これに関しては、幾何制約という形で計算機上で表現するものや、部品を形状特徴で定義して、それを概念的に操作、保存する研究などがある^{4),5)}。しかし、これらは、一般的な図に対応していないため、そのままでは概念的な図のような汎用図を取り扱うことはできない。

この点、Key3 は主に概念的な図に焦点をあてた汎用の作図システムである。Key3 では図形間の接続包含関係を注目し、これを作図者の意図として作図プロセスから抽出し、保存する機能を持っている。また、keyfig という図形定義言語により、作図者が定義可能な図形の部品化機能を備えており、作図中の操作回数の減少を図っている。しかしながら、Key3 では図形間の関係を自動認識するようになっており、作図者が意図しない関係を結んでしまうことがある。また、概念的な図は複数の図形要素がさまざまな関係のもとに成る図であるので、keyfig による部品の再利用そのものは、作図者の概念や意図の図式化を支援するものではない。

一方、COOL では、作図者が図形間の相対関係を述語形式で柔軟に記述でき、その述語の集合から概念的な図を自動的に描画することができる。COOL は作図者からの詳細な指示を受けた作図を可能とするが、一つのプログラミング言語として提供されているものであり、実際に作図システムとして実践されたものではない。

以上のような背景から、われわれは、汎用の図、特に概念的な図を主な対象として、図形間の関係に着目した作図機能を持った作図プロトタイプシステム

DOGS を構築した^{11)~13)}。

DOGS では作図者からの詳細で明示的な指示を可能としている。その指示とは、図形間の基本的な幾何レベルの関係の指示と、それらを組み合わせてマクロとして表現される概念レベルの関係の指示である。この概念レベルの関係は、作図者によって定義され、作図者の指示の多様性を目指すと同時に、概念を図式化するという作図プロセスを考慮したものである。Key3 や COOL においても図形間の関係は取り扱われているが、DOGS では Key3 よりも多様な幾何レベルの関係を扱っており、また、自動認識ではなく明示的に指示が与えられるため、作図者の意図を正確に伝えることができる。また、Key3 も COOL も DOGS のような概念レベルの関係を扱っていない。

次に DOGS では、作図者の意図を反映する機能として、関係の保存機能を提供しており、これにより視覚的に柔軟な編集操作が実現されている。これは COOL にはなかった機能である。

また、DOGS では、図形間の関係の明示的な指示およびその保存という機能により、はじめは図形間の個々の関係を入力し順次編集操作を行うことにより全体のレイアウトを決定していくという、2.2 節で詳述するような、いわばボトムアップ的というべき作図スタイルを提供している。

本論文では、この構築した DOGS における支援方法とその機能について論じる。以下、2章では図形間の関係を用いた作図のコンセプトとその効用について述べ、3章では DOGS の機能について紹介する。そして、4章において DOGS の作図例を示し、5章で本論文の作図支援の評価を行い、最後の6章で、今後の展望について論じて、まとめとする。

2. 本システムにおける作図支援のコンセプト

2.1 作図支援の対象図

研究に先立ち、仕様書や設計書、科学分野の技術論文などで描かれるような図の傾向を、実際に幾つかの分野の論文誌各3冊をもとに調べた(表1)。

実物図は、実物の対象をそのままスケッチするタイプであり、機械の概観、断面図、装置の構造などを表現した図を指す。幾何図とは、立体図、ベクトル図、力学の解析図などのように、主に数学的内容の図である。シンボル図は、化学式、回路記号、図面記号等の実物の対象をシンボルにして表現した図である。概念

表 1 図の傾向
Table 1 The tendency of figures drawn.

番号	図のタイプ	機械	建築	土木	航空	電子	化学	情報	合計
(1)	実物図	95 (29)	15 (22)	9 (9)	18 (32)	4 (1)	10 (24)	0 (0)	151 (16)
(2)	幾何図	96 (29)	17 (25)	24 (24)	16 (29)	49 (19)	0 (0)	12 (9)	214 (22)
(3)	シンボル図	9 (3)	15 (22)	7 (7)	2 (4)	22 (9)	8 (19)	3 (3)	66 (7)
(4)	概念図	71 (21)	7 (10)	33 (33)	8 (15)	126 (50)	7 (17)	89 (77)	341 (35)
(5)	統計図	31 (9)	7 (10)	22 (22)	6 (11)	14 (6)	4 (9)	3 (3)	87 (9)
(6)	実物図の 関係図	20 (6)	1 (1)	0 (0)	5 (9)	12 (5)	6 (14)	0 (0)	44 (5)
(7)	その他	9 (3)	6 (10)	5 (5)	0 (0)	25 (10)	7 (17)	9 (8)	61 (6)
	合計	331 (100)	68 (100)	100 (100)	55 (100)	252 (100)	42 (100)	116 (100)	964 (100)

表中の数字は図の数を指す。ただし、一つの論文内の類似する図は一つと数える。
() 内は全体の%比率

図は、フローチャート図、結線図、構成図、組織図などのように、対象の概念や概念間の関係などを表現した図であり、シンボル図よりも一般的な図である。統計図はグラフや分布図を指し、実物の関係図は、全体としては概念図になっているが、その個々の要素が実物図になっているような図を指す。

この結果より、実物図や幾何図、そして概念図がよく描かれることがわかった。実物図や幾何図の作成においては、描画パターンの豊富さや幾何的な精密さを補助するような機能が求められ、これは従来の作図システムによって積極的に考慮されているといえる。一方、概念図(図1に例)は、実物図や幾何図と比べて、図

の概形やレイアウトが、実際の形状や幾何的な形状ではなく図形要素間の概念的な関係に制約を受ける点、論理的な関係が多く含まれている点、描画される線分などの図形要素一つ一つが意味を持つ点、が大きく異なる。そのため、作図者の意図や思考を反映し、図中に含まれる概念や概念間の関係にまで立ち入った支援が望まれるが、従来の作図システムでは、これに関しては不十分であるといえる。そこで、本システムでは、この概念図を主な対象とした支援について検討する。

2.2 ボトムアップ的な作図プロセス

スケッチ画を作成する場合などは概略やレイアウトから描くのが自然であるが、それは、その概略やレイ

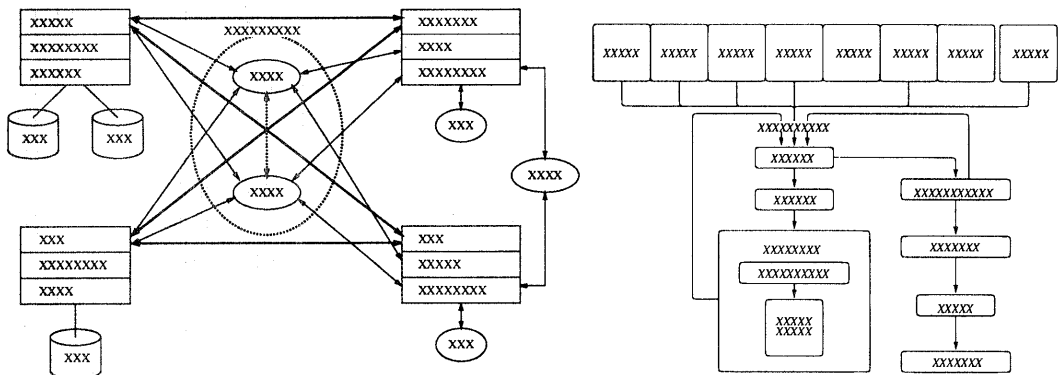


図 1 概念図の例
Fig. 1 Samples of conceptual figure.

アウトが作図者のイメージとして確実であるからである。ここではこのような作図プロセスをトップダウン的と呼ぶ。

しかし先に述べた概念図では、物理的な形状に直接制限を受けないために、作図者はその概形をイメージしにくくなる。このため、こういう図では必ずしもトップダウン的な作図が有効であるとはいえない。むしろ、とりあえず個々の細部の明確な部分から描いていき、それに伴って概形が決定される方が、効率よい作図が可能であり、作図者への負担も少ない。ここでは、このような作図プロセスをボトムアップ的と呼ぶ。人間の思考を整理、図式化することにより、発想を刺激する KJ 法^{13),14)}や KJ エディタ^{6),8)}においても、同様のボトムアップ的なアプローチがとられているが本研究ではこれを概念図の作図システムに応用しているといえる。

本作図支援における、ボトムアップ的な作図プロセスの例を図 2 に示す。この例は階層構造をもったグラフ描画の簡単な例である。ここでは、最終的にグラフの辺が極力交差しないような図が要求されていると仮

定する。しかし、作図者が最初から(4)のような図をイメージすることは一般に困難である。といて、従来の作図システムでは、(4)にたどりつくには、四角形の移動と線分の描画と削除の繰り返しの試行錯誤が多くなり、効率が非常に悪い。

そこで、本作図支援では図形間の関係を指示および保存することで作図を進めるボトムアップ的な作図プロセスのスタイルを提供する。図 2 では、(1)まず対象図の要素を描画し、(2)次に同じ階層の図形は等間隔で水平に並ぶ関係を与え、各図形間の接続関係を明示的に指示する。これにより、(3)概略が作成され、(4)あとは図形の移動やパターンの変更などで仕上げる。この際、指示された関係は保存されるので、(3)から(4)への操作が非常に簡便になり、最初からレイアウトを意識する必要のない作図が可能になる。

3. 作図支援システム DOGS

本研究では、2章で述べたコンセプトをもとに作図支援プロトタイプシステム DOGS (Drawing Object system with Geometric and Semantic relations) を

構築した。本章では、ボトムアップ的な作図プロセスを実現するために必要な、関係の指示・保存の機能について述べる。

3.1 概要

DOGS では、一度に移動可能な単位の図形をオブジェクトと呼ぶ。最も単純なオブジェクトは線分や四角形、円などの基本図形で、それらをグループ化したものもオブジェクトとなる。また、各オブジェクトに対する処理はすべて、その外接長方形の座標をもとに行われる。

DOGS では、ユーザは、概念要素を幾つかのオブジェクトとして描画し、各オブジェクト間の関係を指示していくことでボトムアップ的に作図を進めていく。DOGS における関係には、幾何レベルのプリミティブ関係と、概念レベルのマクロ関係がある。これらの関係の指示は、関係の種類と対象オブジェクトを選択することによって明示的に行われる。また、作図中は適宜、指示された関係が満たされる

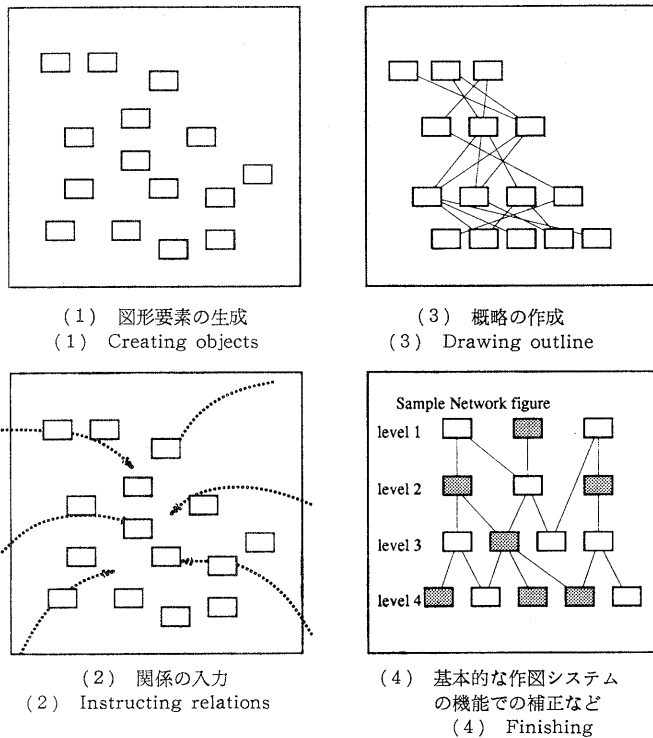


図 2 本作図支援のスタイル
Fig. 2 The style of the drawing process.

ようにシステムが整形処理を行う。これにより、指示された関係は保存されてユーザの意図が反映されることになり、柔軟な操作が提供される。

なお、DOGS は、SICStus Prolog を用い約 7,000 行の規模で記述され、SUN Sparc-Station 上にインプリメントされている。

3.2 プリミティブ関係

3.2.1 幾何レベルの関係とその指示

概念図の傾向としては、オブジェクト同士が、結線、包含、整列されているような図がよく描かれる。これらの関係を、ここでは幾何レベルの関係と呼ぶ。

このような幾何レベルの関係は作図プロセスの中で保存しておきたい場合が多い (図 2 参照)。そこで、DOGS では、よく描かれる傾向にある幾何レベルの関係について、ユーザが明示的に指示および保存できる機能を、プリミティブ関係として提供している。現在の実装では、図形の整列関係 (Align)、間隔関係 (Interval, Distance)、環状配置関係 (Circularity)、グループ関係 (Class)、接続関係 (Connect)、包含関係 (Include) の七つを扱うことができる。

3.2.2 プリミティブ関係の内容

プリミティブ関係が指示されると、その関係を満たすようにオブジェクトが再描画される。以後、この関係は、明示的に削除されない限り保存される。図 3 に各プリミティブ関係の概要を示す。

Align 関係: オブジェクト間の整列関係である。図 4 に示すオブジェクトの基準に従って bottom, top, horizontal, left, right, vertical, center に関する 7 種類のパターンがあり、オブジェクトの外接長方形の各辺の頂点および中点を基準として処理される。

Interval 関係: 対象オブジェクトを任意の順序で等間隔に配置する関係である。間隔とは二つのオブジェクトの外接長方形の x 方向または y 方向の最短距離を指す。Interval 関係には x 方向と y 方向の 2 種類のパターンがある。

Circularity 関係: 対象オブジェクトを環状に配置する関係である。Circularity 関係を結んでいる各オブジェクトはその環状の関係を保ったままで、順序の

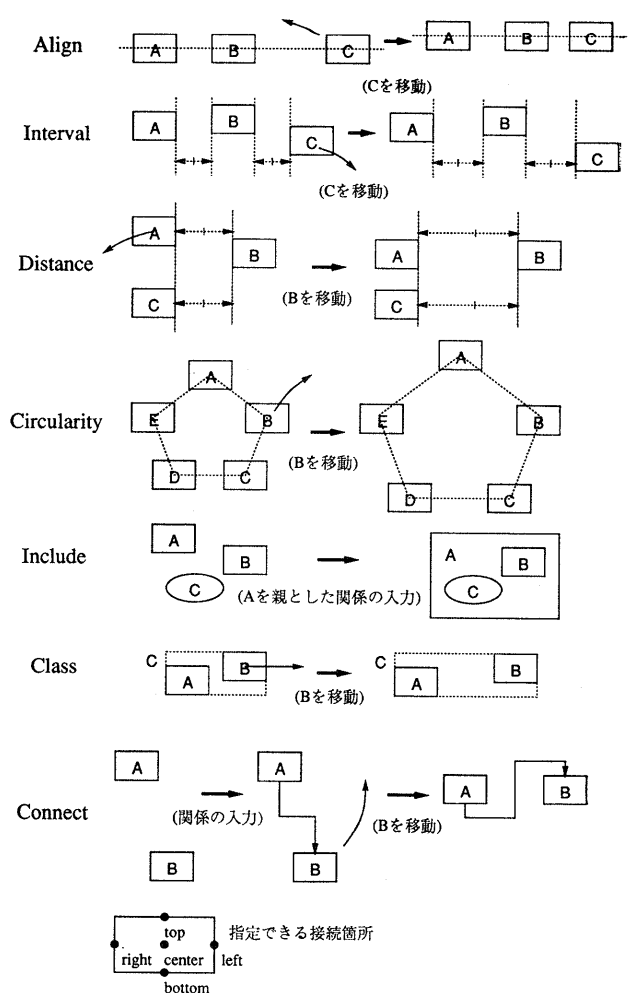


図 3 プリミティブ関係
Fig. 3 Primitive relations.

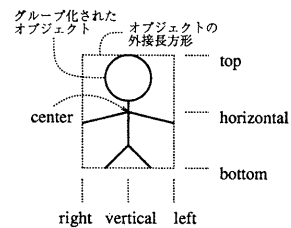


図 4 Align 関係におけるオブジェクトの基準
Fig. 4 The type of Align relation.

入れ換えや中心からの距離を変えられる。

Distance 関係: オブジェクト間の間隔に関する関係であり、対象オブジェクトの数が三つであることと、順序が選択順に保存されるところが Interval 関

係と異なる。x方向とy方向との2種類のパターンがある。

Class 関係: 複数のオブジェクトをグループ化する関係であり、グループ化後も個々のオブジェクトの操作が可能である。Class 関係が入力されると、対象オブジェクト(子)が一つにグループ化されたことを示すための破線模様の長方形オブジェクト(親)をシステムが生成する。

Include 関係: オブジェクト間の包含関係を表現する。Include 関係の対象オブジェクトはまず包含されるオブジェクトから選択し、最後に包含するオブジェクトを選択する。その結果、後者のオブジェクトは前者のオブジェクトをある一定の間隔をおいて囲むように再描画される。

Include 関係と Class 関係において、一つの子のオブジェクトは一つの親のオブジェクトしか持たない。

Connect 関係: オブジェクト間の接続関係を表現する。Connect 関係が指示されると、二つのオブジェクト間に、設定に従った線分が自動描画される。

Connect 関係には線種として直線分と、水平垂直方向の折れ線があり、一つのオブジェクトにつき5か所の接続点の位置が設定できる。例えば設定が bottom-top であれば一方のオブジェクトの下端ともう一方のオブジェクトの上端を端点とする線分が描かれる。orthogonal の場合は接続の線分が対象オブジェクトと交差しないように描かれる(図3)。

3.3 マクロ関係

3.3.1 概念レベルの関係

作図においては、作図者は、線分や四角形そのものを描こうとするのではなく、何らかの意図を、線分や四角形またはその配置関係などで表現しようとする場合が多い。例えば、同じ矢印を描くにも、図によってはデータの流れを示す場合、あるいは依存関係を示す場合がありうる。

このように、幾何レベルの関係の裏には多くの場合、概念レベルの関係があり、また概念レベルの関係は何らかの幾何的特徴をもった図に表される。

そこで、DOGS では、より多様な関係の指示と、よりユーザの意図に即した表現による関係の指示のために、幾何的關係の組合せを概念的な表現で置き換えて、この表現によって関係を指示するマクロ関係という仕組みを提供する。ユーザは幾何レベルの関係であるプリミティブ関係を任意に組み合わせ、再利用しやすいような名前前で定義する。

3.3.2 マクロ関係の指示

作図においては、複数のオブジェクトをひとまとまりにして、それらのまとまりの間に幾何的な関係を指示したい場合がある。そこで、マクロ関係の指示においては、こうしたまとまりを表すために群という仕組みを導入する。

群とは、ユーザがオブジェクトを選択する際に補助ボタン“&”を用いて分割選択されたオブジェクトのまとまりのことである。例えば、AからEのオブジェクトに対して r というマクロ関係を結びたい場合は「A, B, &, C, D, E, r」と選択する。この場合A, Bを一番目の群, C, D, Eを二番目の群と呼ぶ。

指示されたマクロ関係は、プリミティブ関係に展開されて、処理され、その関係はプリミティブ関係同様に保存される。上記の例では、一つのマクロ関係 r で、その定義に従い、一番目の群にはプリミティブ関係 p_1 、二番目の群にはプリミティブ関係 p_2 の関係を指示するといったことが可能になる。この群の仕組みにより、より多様なパターンの関係を定義できる。

3.3.3 マクロ関係の定義

ユーザによるマクロ関係の定義は、システムが指定するファイルに prolog の形式で、define() 述語の内容にプリミティブ関係と対象の群を記述することで行う。

マクロ関係が指示されると、選択されたマクロ関係のデータ(define 述語())が参照され、その解析が行われ、プリミティブ関係と対象オブジェクトの対応を解釈する。以下にマクロ関係の定義例を示す。define 述語の第一引数は、マクロ関係の指示の選択メニューに表示される名前であり、第二引数はマクロ関係の識別子である(これについては後述する)。第三引数は作図中の図に表示される関係名であり、DOGS ではすでに入力された関係を表示させることができる。第四引数は Window 上に表示されるコメントであり、主にそのマクロ関係の指示方法を記述する。第五引数にマクロ関係の内容が記される。例えば、[h-align, [2]] は2番目の群(3.3.2項の例ではC, D, Eに相当)を整理させることを意味する。

概念的な表現と、幾何的關係の内容は必ずしも実際において一対一にはならない。つまり、同じ概念を表す表現でも、場合に応じて、異なる幾何的な特徴で表される。また、実際の操作上においても、一つの名前が一つのパターンのマクロ関係の処理しか行わないのでは、実際的とはいえず、マクロ関係を定義するごと

に名前が増えていき、ユーザにとって扱い難くなる。そこで、DOGS では一つのマクロ関係の名前に複数の内容を対応させている。第二引数の識別子はこのためのものである。下記の例では、同じ Parent-Child という一つのマクロ関係名に対して3種類のパターンが定義されている。

- (1) define ("Parent-Child", 6-1, 'Parent-Child', "One Parent & Children", [[x-interval, [2]], [h-align, [2]], [include, [2, 1]]]).
- (2) define ("Parent-Child", 6-2, 'Parent-Child', "One Parent & Children", [[x-interval, [2]], [b-align, [2]], [connect, [1, 2], [0, 1, non, straight, bottom-top]]]).
- (3) define ("Parent-Child", 6-3, 'Parent-Child', "One Parent & Children", [[y-interval, [2]], [l-align, [2]], [connect, [1, 2], [0, 1, non, orthogonal, right-left]]]).

3.3.4 マクロ関係の例

実際に前節の定義例を使用した作図例を図5に示す。定義された(1)(2)(3)は、システムに登録され、ユーザに対しては同じ Parent-Child という一つのマクロメニュー名で表示される。今、A、B、C、Dの四つのモジュールを「A, &, B, C, D」と選択し、マクロ関係 Parent-Child をメニューから選択および指示したとする。最初は(1)の define 述語が参照され、四つのオブジェクトが再描画される。この描画結果が、要求する表現でなければ、“Next” ボタンを押すことで、次の(2)の define 述語の内容に遷移することができる。(3)の状態から“Next” ボタンを押した場合は再び(1)に戻る。

3.4 保存オペレーション

DOGS では、一度指示された関係は、常時、その関係が満たされるように整形処理が施される。これにより、関係の指示という形のユーザの意図に対して、視覚的に応え、柔軟な編集操作を提供する。

関係の保存は、変位（オブジェクトがその位置を変えること）したオブジェクトが関わる関係を順に探索するという制約伝搬による形で実現している。

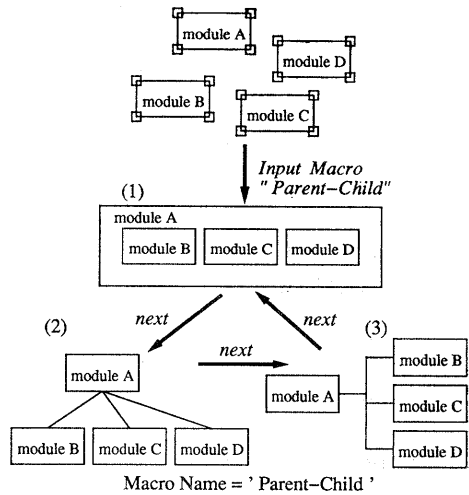


図5 マクロ関係の入力と Next イベント
Fig. 5 The way to use macro relation.

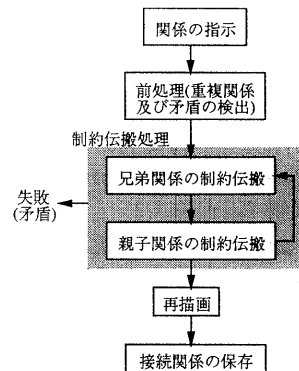


図6 関係保存処理の流れ
Fig. 6 The process of the preservation.

3.4.1 保存処理の流れ

図6に保存処理の概要を示す。関係が入力されると、まず、重複関係の入力および矛盾の検出が行われる。ここで、Connect を除くプリミティブ関係は、兄弟関係にないオブジェクト間では結ぶことはできない。兄弟関係とは、同じ親のオブジェクトを持つ子のオブジェクトの関係を目指す。

次に、その新たな関係入力により変位したオブジェクトに関わるプリミティブ関係を探索し、その関係を満たす処理が順に実行される。オブジェクトを移動させる場合はこの処理から始まる。この際の対象となる関係は Align, Interval, Distance, Circularity 関係である（兄弟関係の制約伝搬）。すべての関連する関係

が満たされたならば、Class 関係、Include 関係における親子間の制約伝搬に移る（親子関係の制約伝搬）。この二つのプリミティブ関係の保存処理によって、また別の兄弟関係を持つオブジェクト間でのプリミティブ関係が崩れることになるので、再度、その兄弟関係にあるオブジェクト間での制約伝搬が行われる。このように、これらの処理を繰り返すことによってすべての関係が保存されたならば、オブジェクトの再配置を行い、最後に接続関係を満たす処理が行われ、整形処理が終了する。

この際、前処理で検出できない矛盾がある場合は制約伝搬に失敗し、与えられた関係の指示はシステム側から拒否される。

3.4.2 DOGS の関係保存能力

制約伝搬によって制約問題を解くときに最も困難となるのは、関係が閉路をつくる場合である。閉路を作るとは、一度関係を満たすために変位し終えたオブジェクトが、再度他の関係を満たすための変位の対象となる場合をいう。

親子間関係においては、木構造しか許さない構造をとっているため、閉路を作ることはない。しかし、一つの兄弟関係にあるオブジェクト間では、Align, Interval, Distance, Circularity 関係により、閉路が生じることがある。

そこで、これらにおける DOGS での対応方法を以下に述べる。まず、明らかに同時に成立する見込みが薄い関係が同じオブジェクトに対して入力されることを前処理で排除する。例えば、ある複数のオブジェクトに対しては、 x 方向の Interval 関係と Vertical Align 関係は特殊な場合を除いて同時に成立することはない。

次に、一つのオブジェクトの変位に x, y 方向の二つの自由度を持たせる。これにより、例えば、 x 方向の Interval 関係が満たされるようにあるオブジェクトが変位しても、 x 座標を固定しておけば y 座標の変位は可能であるので、 y 方向の変位に対する関係に対しては対応できることになる。

また、一つのオブジェクトが複数の関係に関わっていた場合、それらの処理は、一つの自由度が一意に固定される Circularity 関係と Align 関係を優先して行う。Circularity 関係については、厳密には一意に決まらないが、実装の都合上、制約伝搬における整形処理では、Circularity 関係を結んでいるオブジェクト同士の間隔位置関係は全く不変であるようにしている。

しかし制約問題を解くことそのものは本研究の目的ではないので、DOGS では、上記のように、関係が閉路をつくる場合に対する考慮はなされてはいるが、完全なサポートはしていない。そのため、処理不可能な関係の入力は、すべて拒否されるようにした。ただし、閉路をつくらない場合には親子関係の制限のもとで完全に対応している。

4. DOGS による作図例

本章では実際の DOGS での作図例を挙げる。図 7 は、オブジェクトの描画後、それらにマクロ関係、プリミティブ関係を指示することでボトムアップ的に作成された図である。以下に図 7 に含まれる関係と使用されるマクロ関係の定義内容を記す。「関係名 (オブジェクト名, オブジェクト名, …)」の書式で記す。

- (a) Data flow (Dictionary, parsing, extract, ELLIPSE)
- (b) Data flow (input, extract, matching, select 1, select 2, decide order, append, decide range, output)
- (c) Equal (index, keyword, feature)
- (d) Multi-reference (matching, decide order, append, decide range, &, ELLIPSE)
- (e) Include (index, keyword, feature, ELLIPSE)
- (f) Top Align (Dictionary, input)

```
define ("Data flow", 2-1, 'data flow',
  "Select Flow Order without &",
  [[y-interval, [ 1 ]],
   [v-align, [ 1 ]],
   [connect, [1, acyclic],
    [0, 1, startend, orthogonal, bottom-top]]]),
define ("Equal level", 1-2, 'equal level',
  "No necessary using &",
  [[y-interval, [all]],
   [v-align, [all]]]),
define ("Multi-reference", 9-1,
  'multi-reference', "One Host & Clients",
  [[connect, [1, 2],
   [0, 2, both, straight, center-center]]]).
```

ここで ELLIPSE はオブジェクト “index”, “keyword”, “feature” を囲んでいる楕円図形のことである。上記の関係の中で、(a)~(d) はマクロ関係、(e), (f) はプリミティブ関係である。ここで、“index”, “feature”, “keyword” の三つのオブジェクト

は一つの兄弟関係にあり、その親が ELLIPSE になる。そして、他のオブジェクトはこの ELLIPSE と一つの兄弟関係を結んでいる。

今、オブジェクト “Dictionary” を左方向に移動させると、関係保存の整形処理が行われて、図 8 に示される通りになる。

5. 評価

DOGS の主張する機能は、多様な幾何レベルの関係、概念レベルの関係の導入、これらの関係の視覚的で明示的な指示、その関係の保存、およびこれらの機能による柔軟な作図のためのボトムアップ的な作図スタイルの提供である。本章では、これらの主張点についての評価を行う。

評価に先立ち、技術論文に掲載されている概念図を任意に 30 個取り上げて、DOGS が扱う関係を基準に、各図に含まれている関係の量を調べてみたところ、一つの図当たり平均、オブジェクト数 18.2、接続関係 16.9、整列関係 4.4、間隔関係 2.0、包含関係 1.7 という結果を得た。本章では、この値で表される概念図を平均的な規模の概念図と呼ぶことにする。例えば図 7 は、オブジェクト数 16、接続関係 15、整列関係 4、間隔関係 3、包含関係 1 であり、平均的な概念図に近いといえる。以後の評価では、主にこの平均的な規模の概念図を対象とする。

5.1 概念図に対する有効性

まず、DOGS の図形間の関係に関する機能の概念図に対する有効性を図 7、8 を例に用いて評価する。関係の指示および保存機能により、DOGS を用いた場合、図 7 から図 8 への編集操作は移動操作 1 回で行える。また、“input” から “output” までの要素間の間隔を広げたい場合も、1 回の操作で行える。従来の作図システムを用いた場合、関連する矢印の再描画や間隔などの再調整が必要になる。例えば Mac Draw を使用した場合、図 7 から 8 への編集のためには、少なくともグルーピング操作 1 回、移動操作 1 回、双方向線分の再描画 4 回かかる。なお、関係を保存したくない場合は、DOGS では、その関係を削除する指示を与えればよい。

また、マクロ関係を用いて、より少ない操作回数での作図が可能である。図 7 では、4 章で

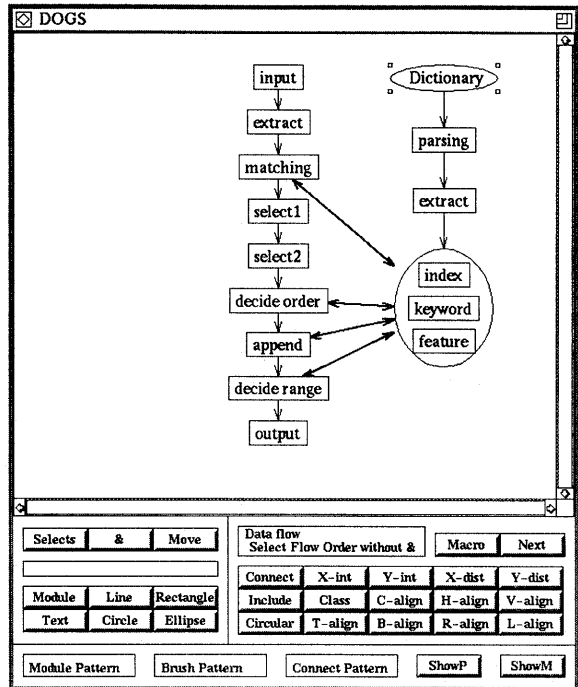


図 7 DOGS の作図例 (1)
Fig. 7 An example of drawing by DOGS (1).

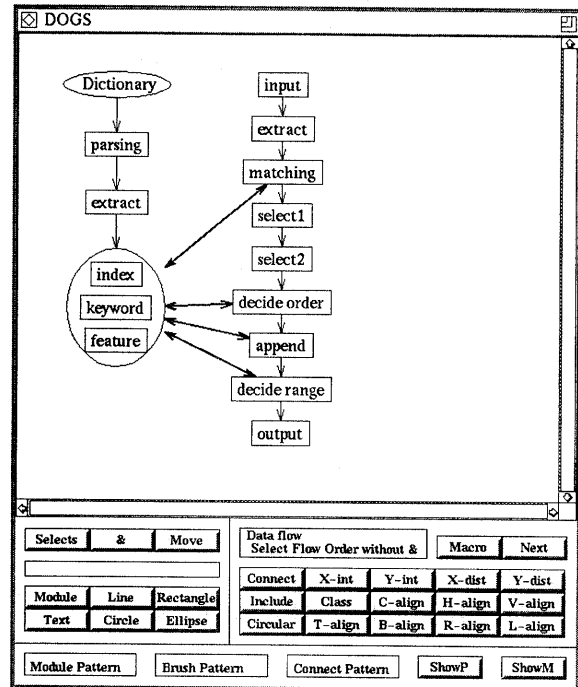


図 8 DOGS の作図例 (2)
Fig. 8 An example of drawing by DOGS (2).

述べたように、関係の指示回数は、Data flow 関係 2 回、Multi reference 関係 1 回、Equal 関係 1 回、プリミティブ関係 2 回である。例えば Data flow 関係により“input”から“output”までの配置と接続を一括して描画できる。これも、従来の作図ツールにはなかった機能である。これにより、DOGS の機能が、主に概念図の作成において、従来とは異なった。簡便で、概念レベルにまで立ち入った作図スタイルを提供することがわかる。

5.2 個々の機能および性能について

しかし、このような関係に関する機能は他の作図システムも実装されている。以下、それらとの比較を行う。

表 2 は DOGS と他の作図システムとの機能面における比較表である。比較の対象としては、研究レベルのものとして Key3、市販されているものとして Mac Draw II を取り上げた。以下表中の項目にそって説明する。

(1) 関係の種類：明らかに、他よりも DOGS が多様な関係を扱える。

(2) 関係の指示方法：自動認識は、操作を簡便にする反面、ユーザの意図に反する可能性がある。明示的指示は、ユーザの意図を忠実に伝達できる一方、操作が自動認識よりも複雑になる。Key3 では、接続・包含関係に関して自動認識を行うが、暫定的に描かれた図形が、偶然、他の図形の内部に位置した場合も包含関係が結ばれる。これに整列や間隔関係が加わると、このような誤認識の可能性が大きくなると考えられる。つまり、偶然にオブジェクト同士の下端が揃ったからといって、それを自動的に整列関係とみなすのは、ユーザに混乱を招く。また、DOGS では、関係の入力は、マウスでオブジェクトを選択することにより簡便に行え、さらに、マクロ関係により関係の指示操作の複雑さを解消することが可能である。これらのこ

表 2 比較表
Table 2 The comparison of functions.

項目	DOGS	Key3	Mac Draw
(1) 関係の種類	整列・間隔・接続 包含・概念等	接続・包含	整列・間隔
(2) 関係の指示方法	明示的指示	自動認識	明示的指示
(3) 関係の保存	複雑な関係の保存	接続包含関係の保存	なし
(4) 図形の部品化	なし	keyfig	なし
(5) 関係の部品化	マクロ関係	なし	なし
(6) 基本機能	△	○	◎
(7) パフォーマンス	△	○	○

とより、多様な関係を扱う上では、DOGS の明示的指示機能が適しているといえ、また、平均的な規模の概念図では、指示操作の複雑さも、問題にならないと考えている。

(3) 関係の保存：Key3 も DOGS も双方、関係の保存機能を持っている。Key3 では、自動認識された接続・包含関係を保存するが、DOGS では、明示的指示されたさらに多くの関係を保存する。これは、DOGS が Key3 よりも複雑な関係を保存できることを意味する。しかし、現在の DOGS の実装段階では関係が複雑に入り込むと、保存の仕方が何通りも存在し、必ずしもユーザが望む保存が行えるとは限らない。ただし、調査結果による平均的な規模の概念図では、これらの点がそれほど本質的な問題にはならないと考えている。

(4)(5) 図形の部品化および関係の部品化：Key3 の図形の部品化機能は描画のための操作回数を著しく軽減する効果があるが、概念図のように、概念や概念間の関係を図式化する図では、図形を定型的に部品化するよりも、DOGS のように、それらの関係を部品化して、概念的な表現で取り扱う方が有効であると考えられる。

(6) 基本機能：基本機能とは、実用化に際して必要な塗りつぶしやグリッド機能などの種々の機能を指す。DOGS はこの点で、まだ実用化のための機能が不足している。

(7) パフォーマンス：DOGS では、ほかのツールよりも関係保存のための余分な情報や処理が必要なので、メモリ使用量や処理速度に関する性能はほかよりも劣ると考えられる。また、Prolog で実装している点も不利である。しかし、平均的な規模の概念図の作成においては、保存オペレーションなどにおけるシステムの反応速度には特に問題はなかった。

これらを総合すると、概念図の作図を主な対象とした場合、DOGS の図形間の関係に関する機能は、従来の作図ツールよりも有用であるといえる。

6. おわりに

本論文では幾何レベルの関係および概念レベルの関係を用いた、ボトムアップ的な作図プロセスのインタラクティブな作図支援方法とその機能について述べた。構築したプロトタイプ作

図システム DOGS では、関係の明示的な指示と概念レベルまで立ち入った多様な関係の表現、そして、それらの保存機能により、ユーザの意図の柔軟な指示と、それを反映した作図を実現した。

概念的な図においては、このような DOGS の機能が効率的な作図工程を可能にすることを、他の作図システムとの比較で確認できた。また、このような「関係」に着目した機能は、CAD のような専用のアプリケーションにおいても、有用であると期待される。

DOGS の今後の作図システムとしての課題は、実用化を目指した場合の、パフォーマンスの向上や、細かい補正機能の付加などが挙げられる。

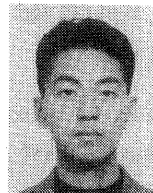
また、関係の入力の結果として、図に幾何的な制約情報と概念的な情報を内包させることができたので、これを作図過程のみならず、作成された図に対する検索や図の再利用などの際にも大きな利点を産み出すことが期待される。これも今後の課題とするところである。

参 考 文 献

- 1) 金原史和, 佐藤真一, 濱田 喬: 作図支援を例とした視覚的マンマシンインタフェース, 第 45 回情報処理学会全国大会論文集, 2T-6, pp. 205-206 (1992).
- 2) 金原史和, 佐藤真一, 濱田 喬: 図形間の幾何的及び意味的關係を考慮した作図支援, 第 46 回情報処理学会全国大会論文集, 6K-2, pp. 401-402 (1993).
- 3) 金原史和, 佐藤真一, 濱田 喬: 図形間の幾何的・意味的關係を用いた作図支援システム, 第 4 回機能図形情報システムシンポジウム講演論文集, pp. 1-6 (1993).
- 4) 吉川弘之, 富山哲男: インテリジェント CAD (下), p. 165, 朝倉書店 (1991).
- 5) 鈴木宏正: 機械設計 CAD と幾何推論, 人工知能学会誌, Vol. 7, No. 2, pp. 219-227 (1992).
- 6) 河合和久, 小山雅庸: 文書作成支援ツールとしての KJ エディタ, 情報処理学会研究会報告, HI-18-3, pp. 1-7 (1988).
- 7) 三末和男, 杉山公造: 図的思考支援を目的とした図の多視点遠近画法について, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 8, pp. 997-1005 (1991).
- 8) 小山雅庸, 河合和久, 大岩 元: カード操作ツール KJ エディタの実現と評価, コンピュータソフトウェア, Vol. 9, No. 5, pp. 38-53 (1992).
- 9) Maulsby, D. L., Witten, I. H., Kittlitz, K. A. and Franceschin, V. G.: Inferring Graphical Procedures: The Complete Metamouse, *Human Computer Interaction*, Vol. 7, No. 1, pp. 47-89 (1992).
- 10) 三輪道雄, 小山隆正: 人工現実感用シェル PLOTS の開発, 情報処理学会研究会報告, HI-42-12, pp. 79-86 (1992).
- 11) 松浦敏雄, 直田 創, 中村 眞: 図形の部品化および接続包含関係の保存機能をもつ作図ツール Key 3, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J73-D-I, No. 11, pp. 864-872 (1990).
- 12) Kamada, T. and Kawai, S.: A General Framework for Visualizing Abstract Object and Relations, *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-39 (1991).
- 13) 川喜田二郎: KJ 法, 中央公論社 (1986).
- 14) 杉山公造: 思考支援ツール, 電子情報通信学会誌, Vol. 74, No. 2, pp. 159-165 (1991).

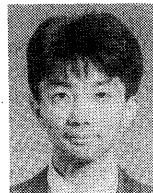
(平成 5 年 7 月 16 日受付)

(平成 6 年 1 月 13 日採録)



金原 史和 (正会員)

研究に従事。



佐藤 真一 (正会員)

に従事。工学博士。



濱田 喬 (正会員)

昭和 16 年生。昭和 39 年東京大学工学部電気工学科卒業。昭和 44 年同大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同年東京大学生産技術研究所助教授。昭和 48 年～49 年カリフォルニア工科大学客員助教授。昭和 61 年学術情報センター教授。昭和 62 年東京大学工学部教授 (併任)。道路交通管制, 計算機言語, 分散処理, オブジェクト指向データベース等の研究に従事。著書「道路交通管制」, 「Road Traffic Control」. 電気学会, 電子情報通信学会各会員。