

対象指向アクセスを支援するデータベース管理システム： CAD への応用†

于 旭^{††} 大保 信 夫^{†††}
益 田 隆 司^{†††} 藤 原 讓^{†††}

CAD 応用を含む統合データベース・システムにおいては、定型データの管理機構とともに、設計対象の意味構造に応じた対象指向アクセスを支援する機構が重要である。後者では複数のレコード型に拡がったレコードの集まりを操作単位とすることが要求される。現在開発中の TIME データベース管理システムは、データベースを平たい表の集まりと見る視点と同時に、複数の表の間に拡がった組の集まりから成る対象分子構造の集まりと見る二重視点を有する。定型データに対しては関係演算を提供し、対象分子構造に対しては、対象指向アクセス機能に必要な演算を提供する。CAD における意味論的モデリングの核心となる汎化、統合、複合対象等の抽象化技法は、対象分子構造という1つの枠組みで実現される。本論文では、統合データベース・システムにおける二重視点の意味を明らかにするとともに、上記のデータ抽象化の対象分子構造による実現方式を述べ、対象の意味構造がどのようにしてシステムで支援可能となるかを明らかにする。また、ソリッド・モデルの表現、操作例を与えることにより、関係データベースへの対象分子構造の導入が、統合データベース・システム開発への1つの方向であることを示す。

1. ま え が き

近年、CAD の普及に伴い、それを支援する統合データベース・システムへの要求が高まりつつある。従来のデータベース・システムが、比較的定型的なデータを対象としてきたのに対して、CAD 応用では非定型的で複雑な設計対象を扱わなければならない。通常1つの設計対象は、複数のレコード型（あるいは関係）に属するレコードの集まりによって構成される。結果として、CAD では、対象指向的なアクセスと処理が基本となる¹⁾。言いかえると、複数のレコードの集まりである設計対象が格納および検索の基本単位となる。

その意味で対象指向アクセスに基づく設計対象の意味論的モデリングの手法が CAD の応用で有力である。これらの意味論的モデリングは、低次レベルの対象を高次レベルの対象に抽象化する汎化 (generalization)、低次レベルの関連を高次対象とする統合 (aggregation)、低次レベルの対象の集まりを高次レベルに抽象化する複合対象 (complex object) (あるいは分子対象) といった抽象化技法を基本としている^{4), 9), 10)}。

これらの手法は将来の統合データベース・システム設計にとってその基礎を与える有望な方向とみられるが、現在は応用プログラムの範囲内での問題の解決にとどまり、それらを支援するシステム設計という視点が少ない⁴⁾。

現在我々は、対象指向アクセスをシステムで支援することを目的とした TIME (Tsukuba Interactive Management System) と呼ぶデータベース管理システムを開発中である。TIME では、対象指向アクセスを支援するために対象分子構造と呼ぶ概念を導入している。対象分子構造は複数の関係に拡がる組の集まりで、システムがそれを1つの操作単位と認識するものである。TIME では、CAD 応用に現れる汎化、統合の階層、複合対象等を対象分子構造で表現し、対応する操作、アクセス機能を提供する。この対象分子構造が階層モデルにおける階層や、ネットワーク・モデルにおける親子集合と基本的に異なる点は、対象分子構造に関与するレコード型（関係）が実現値ごとに異なっても構わない点である。その結果設計対象に特徴的な 1) 実現値ごとに異なる意味論的構造、および 2) 設計時の意味論的構造の動的変化に柔軟に対応できる。

統合データベース・システムとしては、設計対象の格納、操作と同時に定型データの管理が必要である。このような2つの性質のデータを統合して扱うために、複数のデータ・モデルを用いるアプローチが実用的観点から有力であることが示唆されているが⁵⁾、

† Database Management System with Object Oriented Accessing Capabilities: Its Application to CAD by Xu Yu (Division of Scientific Technology, University of Tsukuba), NOBUO OHBO, TAKASHI MASUDA and YUZURU FUJIWARA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba).

†† 筑波大学理工学研究科

††† 筑波大学電子・情報工学系

TIME ではデータベースに対する二重視点の概念を導入した。この二重視点の下では、組は1つの関係の要素であると同時に(複数の)対象分子構造の要素でもある。すなわちこの概念は、データベースを関係の集まりとみる視点と、対象分子構造の集まりとみる二重視点をシステムが持ち、各々の視点に応じた演算(前者における関係演算、後者における対象分子構造演算)を提供することにより異なった2つの性質を持つデータを統合管理しようとするものである。

論文の残りは二重視点の概念に基づく対象分子構造により、TIME が CAD における対象指向アクセス、操作をどのように支援し、どのように統合データベース・システムの実現を計っているかに関して述べる。

2. TIME システム

2.1 複合参照フィールド

関係データベースの持つ高水準アクセス機構は明らかに統合データベースの実現に有利である。しかしながら、我々の要求である CAD 対象の意味構造のシステムによる直接支援を実現するためには、平たい表の集まりである関係データベース中に、意味構造の表現能力を付加しなければならない。このような目的では幾つかの提案がなされているが、一般に応用世界の意味構造を表現するため、関係名、代理(surrogate)の使用が有効であることがよく知られている^{2),9),10)}。特に CAD 対象の場合この点は顕著である^{3),4)}。TIME システム実現においては、このような目的で関係名と、代理としての組織別子を対とした複合参照フィールドを用いる ELF¹⁴⁾およびその拡張版である PICCOLO¹⁵⁾と類似のモデル ARC (Advanced Relational Model with Relationship between Categories)を用いる⁶⁾。ここでは ARC モデルに関し、以後の議論に必要な部分に関して簡単に述べる。

ARC における関係 R は、以下で定義される。

$$R \subseteq T \times T_1 \times R_1 \times \dots \times T_k \times R_k \times D_1 \times \dots \times D_m.$$

ここで、

T, T_i は組織別子定義域、

R_i は関係名を要素とする集合、

D_i は単純定義域

であり、組織別子はシステムにより制御される。関係の集合は $n+1$ 個のクラス C_0, C_1, \dots, C_n に分かれる。 $k=0$ の関係は C_0 に属する。 C_i クラスに属する関係中に現れる関係名はすべて C_j ($i-1 \geq j \geq 0$) に属しなければならない (PICCOLO においては、 C_j が $j=i$

-1 に限られている)。 $(t, t_1, r_1, \dots, t_k, r_k, d_1, \dots, d_m) \in R$ のとき t はこの組の組織別子である。また、 (t_i, r_i) は対で用いられ、他の関係 r_i 中の組 t_i を参照する。この意味で (T_i, R_i) の対を複合参照フィールドと呼ぶ。関係データベース中の値の照合による暗黙の参照関係ではない複合参照フィールドを用いた明示的な参照関係が次節で述べる対象分子構造の基礎となる。

2.2 対象分子構造

2.1 節の記述はデータベースを関係の集まりとして捕らえる関係データベース的視点の基礎を与えている。特に C_0 クラスの関係の集まりは通常の関係データベースを構成している。一方、データベースを複合参照フィールドにより明示的に表現された構造の集まりとして捕らえることも可能である。本節は後者の視点に基づく TIME データベースの記述を与える。

対象分子構造の視点はグラフ $G=(N, E)$ で表される。 G は以下のように構成される。データベース中の各組 i に対して、1つの節点 n_i が作られる。節点 n_i と n_j が与えられたとき、 n_i の表す組 i がその複合参照フィールドの1つの値として (t, r) を含み、 (t, r) が n_j の表す組 j を参照しているとき、 n_i から n_j への弧が存在する。いま n_i から n_j への道が存在するとする。このとき組 i の属する関係のクラス C_k と組 j の属する関係のクラス C_l の間には 2.1 節で述べた定義により $k > l$ の関係が存在する。したがって G は有向非巡回グラフとなる。すなわち、2節点 n_i と n_j が与えられたとき、 n_j が n_i であるか、あるいは n_i から到着可能であることを $n_i \geq n_j$ で表すと、 \geq は節点集合 N 上の半順序関係となる。 N とデータベースの組の集まりの間には 1:1 対応があるので、今後節点と組を同一視して扱う。 G 中の任意の節点 i が与えられたとき、 i から到着可能な節点の集合を i に付随する対象分子構造と呼び、 $\text{mol}(i)$ で表す。入力次数 0 の節点に付随する対象分子構造を純対象分子構造と呼ぶ。また i から弧を逆向きにたどって到着可能な集合を i に付随する対象参照構造と呼び、 $\text{ref}(i)$ で表す。以上の定義からわかるようにデータベース中のすべての組に対して、各々一意な対象分子構造と対象参照構造が付随する。図 1 に対象分子構造の例を示す。

対象分子構造の型を以下で与える。いま組 i が関係 R に属するとき i の対象分子構造 $\text{mol}(i)$ の型は R であるという。逆にいうと、 R に属する各組 i は R 型の対象分子構造を持つ。注意すべきことは、 R 型に

属する2つの対象分子構造 $mol(i)$ と $mol(j)$ において、各々に関与する組の属する関係群はそれぞれ異なる可能性があることである。これは従来のデータベースにおける関連表現、構造表現がそれに関与するレコード型をすべての実現値に対して同一なものに固定していた場合との大きな違いである。

2.3 データ操作

TIME におけるデータ操作は、システムの二重視点に基づく2つの機能に大別される。

1つは関係データベース操作機能であり、いま1つは対象分子構造操作機能である。前者の機能は、組を通常の関係の組として扱うもので、QUEL¹²⁾ と同一の表現で表され、後者は QUEL の拡張機能として実現されている。実現された言語を XQUEL と呼ぶ。XQUEL における対象分子構造の実現方式は、ADT-INGRES¹³⁾ が関係の列を抽象データ型とみなし、各抽象データ型に付随する演算を通じてデータ操作を行う方式に類似している。XQUEL では組が抽象データ型とみなされる。本節では XQUEL における対象分子構造操作の面についてのみ述べる。

XQUEL の特徴は range 文、例えば、“range of t is R ”，で定義される組変数 t が、関係 R 中の組を表すと同時に t に付随する R 型の対象分子構造を表すことである。 t が通常の意味の組（以降この節ではこれを関係の組と呼ぶ）を表すか、対象分子構造を表すかは、range 文以外での t の現れ方に依存する。range 文以外で t は $t[_{<A, B>*}][.C|_C]$ の形で用いられる。ただし、‘*’、‘|’、‘[’、‘]’ は正規表現によるメタ記号であり、 t は組変数、 A, B, C は属性である。ここで、 $<A, B>$ は複合参照フィールド、 C は単一の属性を表す。 $t[_{<A, B>*}]$ で組あるいは対象分子構造を参照する。例えば t 単独の場合は直接 range 文で指定された関係中の組を、 $t_{<A_1, B_1>}$ $<A_2, B_2>$ は t の複合参照フィールド (A_1, B_1) が明示的に参照する組の (A_2, B_2) の参照する組を示している。 $t[_{<A, B>*}]$ が関係の組と解釈されるか対象分子構造と解釈されるかは以下の規則に従う。

- 1) その後に $.C$ あるいは $..C$ のいずれも現れないときには対象分子構造を表す。
- 2) その後に $..C$ が現れる場合対象分子構造を表す。このとき C は対象分子構造中の属性と呼ぶ。
- 3) その後に $.C$ が現れるときには関係の組と解釈

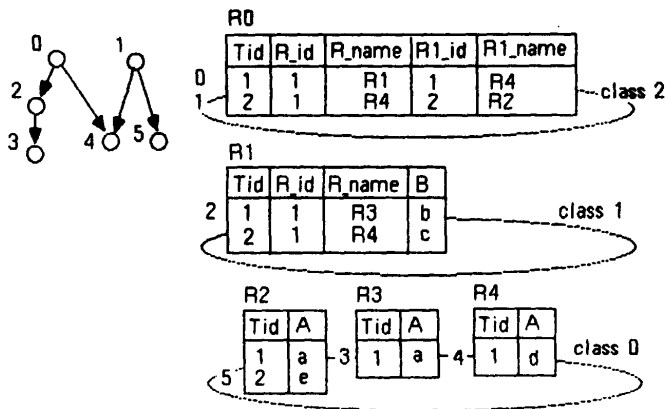


図1 対象分子構造のグラフ表現
Fig. 1 Graph representation for object molecular structure.

される。

CAD の意味論的モデリングが確立されていない現状では、対象分子構造に対する必要十分な演算の集まりは明確ではないが以下に TIME で試験的に採用している基本的演算を示す。

以下の記述で α は $t[_{<A, B>*}]$ を β は $t_1[_{<A_1, B_1>*}]$ を γ は $t_2[_{<A_2, B_2>*}]$ を表す。

- 1) 対象分子構造に対する単項演算
 - retrieve objects(α): $mol(\alpha)$ の出力
 - retrieve reference(α): $ref(\alpha)$ の出力
 - retrieve parent(α): α を明示的に参照している組の集合の出力
 - retrieve child(α): α が明示的に参照している組の集合の出力
- 2) 対象分子構造に対する二項演算 (retrieve 句に関するもの)
 - retrieve lca(β, γ): β と γ の上限となる組の集合
 - retrieve lcd(β, γ): β と γ の下限となる組の集合
- 3) 対象分子構造に対する二項演算 (where 句)
 - $\beta < \gamma$: $mol(\beta) \subset mol(\gamma)$ のとき真
 - $\beta \& \gamma$: $mol(\beta) \cap mol(\gamma) \neq \phi$ のとき真
 - $\beta ! \gamma$: $ref(\beta) \cap ref(\gamma) \neq \phi$ のとき真
- 4) 対象分子構造中の属性に関する演算
 - $t_1[_{<A_1, B_1>*}].C$ は $t_1[_{<A_1, B_1>*}]$ に付随する対象分子構造中の組で最初に C 属性を持つものの C 属性値を表す。ここで C 属性値は通常の関係データベースで許されるデータ型となり、したがってそれに伴う演算は通常の QUEL のものである。ここで1つの対象分子構造の組の集合に対する線形順序が仮定

されている。1つの対象分子構造は根付きの有向非巡回グラフであり、各節点から出る弧にはその組の複合参照フィールドの出現に従って左から右への順序が与えられることから、先行順走査で既に走査した節点を再びたどらないアルゴリズムを用いると、節点に対し一意の順序を与えることができる。

5) 関係の組に関する演算

$t1[<A1, B1> *].C$ は $t1[<A1, B1> *]$ の表す関係の組の C 属性値を示し、したがって演算は4)の場合と同様通常の関係データベースのものでよい。

XQUELにおける問合せに対する結果の値は、通常の関係データベースと同様の組の集合である場合と、対象分子構造の集まりの場合がある。後者の場合1つの対象分子構造を表すリスト((関係名, 組)⋯(関係名, 組))の集合が結果として返される。

以下に幾つかの代表的な操作例を示す。いずれの例も図1に対する操作である。

例 1]

```
range of t is R1
retrieve objects(t)
where t.A = "a"
```

R1型の対象分子構造でA属性を持つ組が存在し、その最初の値が"a"であるものを求める。

例 2]

```
range of t1 is R2
range of t2 is R1
retrieve (t1 . A)
where t1 . A = t2.A
```

これはR1関係とR2関係の等接合演算と射影の組合せであるが、通常の関係データベースと異なり、R1の組で接合対象となるのはR1を調べただけでは分からず各対象分子構造の中身を調べなければ決定できない。

この例で $t2.A$ の代りに、 $t2[<R_id, R_name> . A$ を用いても結果は変わらない。

3. 抽象化技法と対象分子構造

3.1 複合対象

低次の対象の集まりを高次の対象として捕らえる抽象化技法を関係データベースの環境下で実現する試みとしてLorie⁴⁾による複合対象の提案がある。この考えは関係データベース中に埋め込まれた階層構造データを1つの操作単位としてシステムで支援しようというものであり、VLSI¹⁾、グラフィクス等¹¹⁾の応用にお

いて有望な方向であることが認識されつつある。複合対象の実現においては3つの新しい列型 (IDENTIFIER, REF, COMP_OF) が導入され、この3つの型のいずれの値としても IDENTIFIER 型のデータを持たずことによりデータ間の階層構造を実現する。1つの組の COMP_OF 列の値が IDENTIFIER i であることは、その組が IDENTIFIER 列が i である組の表している複合対象に属することを示している。COMP_OF 列に入る IDENTIFIER の属する関係名は COMP_OF 列の宣言時に与えられる。REF 列は同じ複合対象中組間の関連、あるいは1つの複合対象中の組と、他の複合対象の根組との関連を表す目的で用いられる。結局複合対象は、複数の関係間に拡がる組の集まりを1操作単位として表現する手法であり、対象の構造表現のリンクは COMP_OF 列で実現され、その他の関連は REF 列で表現されている。

複合対象はCADの意味論的モデリングのシステム支援という点で有効なアプローチであるが Spooner¹¹⁾の指摘しているように重大な問題点を含んでいる。すなわち、複合対象中の組の親が複数存在し、CAD環境下では互いに異なった関係に属することが極めて自然に生ずる。ところがLorieの複合対象の実現では、COMP_OF 列に付随する関係は唯一であり、結果として複合対象で表される階層構造は、少なくとも関係に関しては、固定した関係の間の木構造しか支援していないため、上記の場合記述が困難となる。

この問題を解決するため Spooner は複数の親を持つ組の関係 R に対しては、その親となる可能性のあるすべての組に対する関係 R_1, \dots, R_k に対して特殊なリンク関係 $R-R_1, \dots, R-R_k$ を用いることを提案している。しかしながら、このアプローチでは例えば複数の親を持つ組に対する関係が n 個、その各々に m 個の親の可能性のある関係が存在するときには $n \times m$ 個のリンク関係を作らなければならないことになる。これはデータベースの透明性を極めて悪化させる。

いま1つのアプローチとして、汎化の概念を用い、上の R_1, \dots, R_k を1つの関係 R' へ抽象化することが考えられる。この考え方は必要とする人為的関係の数が少なく済むという点では上のアプローチよりも優れているが、以下の問題がある。第一に R' は本来全く本質的信息を持たない関係であり、結果としてデータベースの意味構造を複雑にする。第二に、複合対象にアクセスするごとに汎化の階層をたどらなければならないが、これは汎化階層に対する有効なシステ

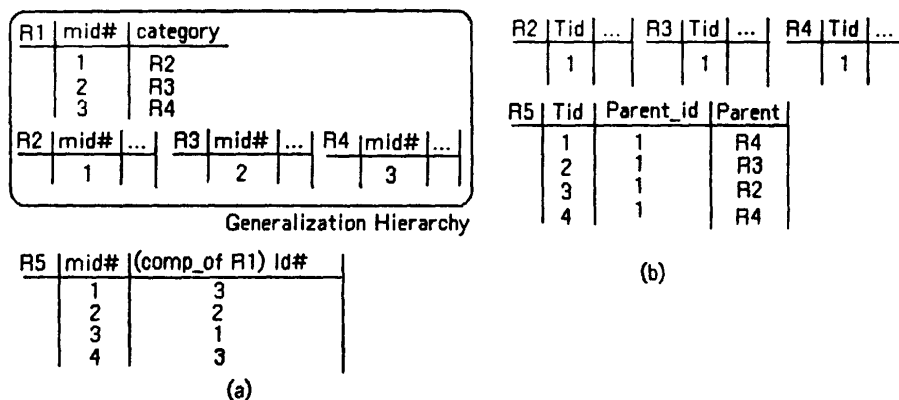


図 2 複合対象(a)と対象分子構造(b)
Fig. 2 Complex object (a) and object molecular structure (b).

ム支援の方法が用意されていないと、数多くの接合演算を伴う計算コストの高い処理となる。

対象分子構造表現は上に述べたような場合を含めて、複合対象を1つの対象分子構造として容易に表現することを可能とする。図2に簡単な複合対象とそれに対応する対象分子構造を示した。この例では複合対象の問題解決に2番目のアプローチが用いられている。

複合対象から対象分子構造への変換は極めて直接的であり、複合対象の COMP_OF 列、および REF 列を各々それに対応する複合参照フィールドで置き換えればよい。複合対象では COMP_OF 列に対応する関係を宣言することにより、階層構造のシステム支援を可能にしているが、対象分子構造では関係名をデータとして与えることによりシステム支援を実現している。関係名をデータとして許す結果、前述の問題が解決されるばかりではなく、階層構造の動的変化に柔軟に対応することが可能となる。例えば対象分子構造中の組に対する親になり得る関係が設計過程中に頻繁に変化しても、複合対象の場合のように COMP_OF の宣言の変化のようなスキーマの変更を伴わずに、単にデータ値の更新を行うだけで済み、結果として更新の効率が上がるだけでなく、応用プログラムを書き直す必要も生じない。

3.2 汎化、統合と対象分子構造

Smith ら^{9),10)}により提案された汎化、統合の概念に基づくデータベース抽象化は、その後のデータベースの意味論的モデリングの基礎を与えた。CAD 応用に

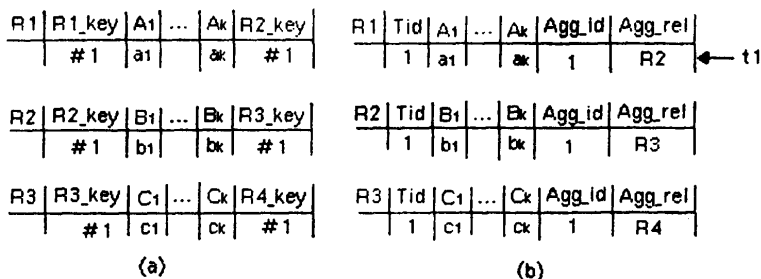


図 3 統合階層(a)と対象分子構造(b)
Fig. 3 Aggregation hierarchy (a) and object molecular structure (b).

においても、これらの概念が極めて有効に機能することが知られている¹⁾。機械系 CAD においては、Lee ら⁸⁾は代表的ソリッド・モデルの1つである CSG (Constructive Solid Geometry) 木⁹⁾を Smith に従いモデル化することを試み有効な結果を得ている。

統合概念は低次の関連をより高次の対象として認識することである。この概念は、関連、関連間の関連、さらにその間の関連等表現することにより、統合の階層を構築することにより実現される。データ・モデル ELF と PICCOLO はまさにこのような関連間の関連を操作するための形式化を与えたものであり、その実現である TIME (あるいは実現モデルとしての ARC) は、このような統合階層構造を直接システムが支援することが動機となっている。図3に Smith に基づく統合表現とそれに対応する対象分子構造表現を示した。変換は直接的で統合表現を表す関係のキー値に対する列を各々対応する複合参照フィールドで置き換えればよい。注意すべきことは、Smith による関係間の統合関係は TIME による関係間の統合関係に完全に含まれていることである(図4参照)。TIME に

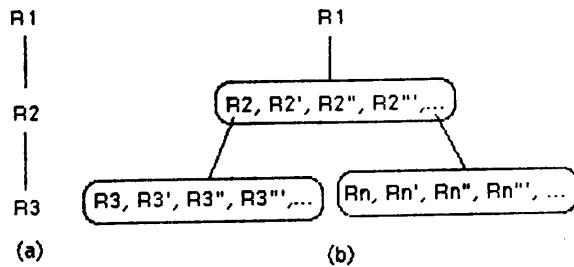


図 4 関係間の構造：(a)統合，(b)対象分子構造
Fig. 4 Structure among relations: (a) aggregation (b) object molecular structure.

よる統合階層では R1 中の組 (例えば t1) に対する対象分子構造が統合階層の実現値に対応する。したがって、

range of t is R1
retrieve objects(t)
where t. A1 = "a1"

で 1 つの統合階層の実現値を得ることができる。

CAD 応用では部品間の構成関連が最も重要な統合階層を構成する。その意味で Lorie の提案した複合対象およびそれに対応する 3.1 節の対象分子構造は CAD に典型的な統合階層をシステムで支援する試みといえることができる。

汎化概念は低次の対象を高次の対象に抽象化することから成る。汎化階層には属性値に対する遺伝という重要な性質がよく知られている。すなわち高次の対象の持つ属性値は、低次の同じ対象に受け継がれるという性質である。CAD 応用においてはこのような汎化

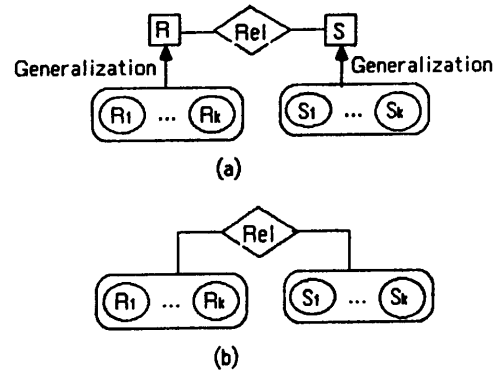


図 5 関係間の構造：(a)汎化，(b)対象分子構造
Fig. 5 Structure among relations: (a) generalization (b) object molecular structure.

概念が大きな役割を果たすが、その理由としては以下の 2 点が考えられる。

1) CAD で重要な関連が 2 つあるいはそれ以上の関係の集まりの間で定義される場合が多い (図 5 参照)。この例は 3.1 節の複合対象の項で述べた。

2) CAD では 1 つの対象に対する様々な抽象化レベルでの見方が存在する。(例えば、同じ正三角形に対する“対象”，“三角形”，“二等辺三角形”，“正三角形”等の見方)

1) の場合通常上位対象である R, S は人為的關係でそれ自身属性を持たないことが多い。

TIME システムにおける対象分子構造ではこのような人為的關係を避けられることは既に述べた。2) の場合汎化概念とそれに付随する属性遺伝が重要となる。以下に対象分子構造による汎化階層の表現方法と

Obj	gen_key	designer	...	category	Obj	Tid	gen_key	designer	...	low_id	low_rel
	1	Tanaka		Part		1	1	Tanaka		1	Part
	2	Yamada		Part		2	2	Yamada		2	Part
	3	Suzuki		Element		3	3	Suzuki		1	Element

← t1

Part	gen_key	stock	...	category	Part	Tid	gen_key	stock	...	low_id	low_rel
	1	100		Cam		1	1	100		1	Cam
	2	200		Screw		2	2	200		1	Screw

Cam	gen_key	...	Screw	gen_key	...
	1			2	

Cam	Tid	gen_key	...	Screw	Tid	gen_key	...
	1	1			1	2	

Element	gen_key	...	category	Element	Tid	gen_key	...	low_rel	low_id
	3		Cylinder		1	3		Cylinder	1

Cylinder	gen_key	...
	3	

Cylinder	Tid	gen_key	...
	1	3	

図 6 汎化階層(a)と対象分子構造(b)
Fig. 6 Generalization hierarchy (a) and object molecular structure (b).

操作に関して述べる。

TIME では汎化階層の実現値が1つの対象分子構造で表現される。図6にSmithによる汎化表現と対象分子構造が示されている。変換は直接的であり、Smithによる表現方法におけるカテゴリ名の列を複合参照フィールドで置き換えればよい。この複合参照フィールドの値は同じ対象を表す1つの低次の表現(組)を参照する。この結果、“Obj”型の対象分子構造、例えば t_1 に付随する対象分子構造は1つの対象に対する様々な抽象化レベルでの見方を集めたものとみることができる。例えば t_1 の対象分子構造は1つの対象の“Obj”としての見方、“Part”としての見方、“Cam”としての見方を表している。対象分子構造

表現は、Smithによる表現では、接合演算(しかも接合相手はユーザがデータベースからカテゴリを取り出さないと分からないか、あるいは可能な接合相手との接合演算結果の論理和を取るしかない)でしかたどることのできない階層を、システム支援により直接たどることを可能にしたアクセス機構とみることができる。対象分子構造表現では、サイクルのある明示的参照関係を許さない。例えば、

```
range of  $t$  is Obj
retrieve objects( $t$ )
where  $t$ .gen_key = 1
```

で“Obj”1のすべての性質が得られる。また、

```
range of  $t$  is Obj
retrieve objects( $t$ )
where  $t$ ._Stock > 50
```

で“Obj”1, “Obj”2に対する対象分子構造が得られる。ここで注意すべきことは、 t は t の表す対象分子構造を参照し、 t ._Stock はこの対象分子構造における stock 属性(この場合、この値は“Obj”の1つの低次の関係中にある)の値を参照している。すなわち t は対象分子構造中の組の集まりをあたかも1つの組のように扱う。

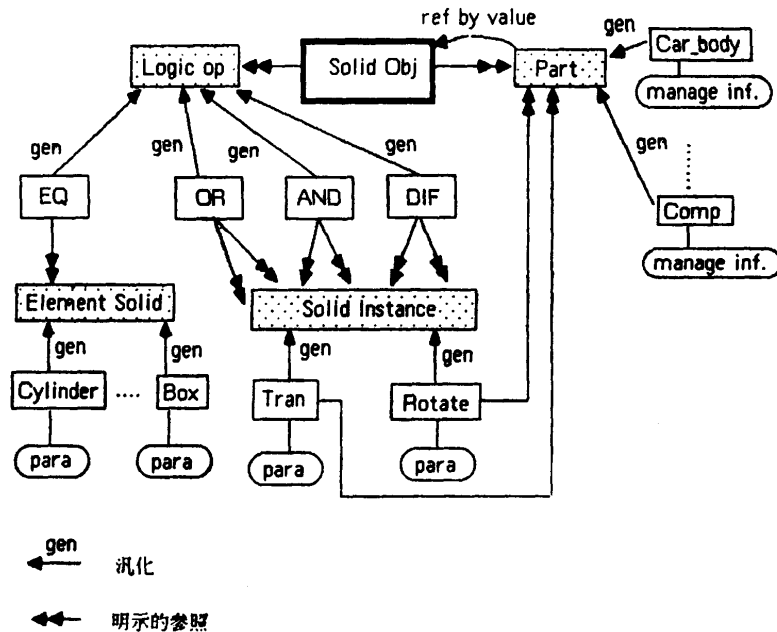


図7 ASMのE-Rグラフ表現
Fig. 7 Representation of E-R graph for ASM.

4. ソリッド・データベース例

機械系CADの核心となるソリッド・モデルとしてはCSG法がその抽象性の高さからデータベース向きである。Leeらの汎化概念によるCSG木の表現は代表的なものである。CSG法では、1つのソリッドを、基本ソリッド、論理演算、幾何演算の3つの基本要素を用いて定義する。結果は2進木で表される。CSG木はあくまでも1つのソリッドを操作するモデルであり、多くのソリッドをデータベース中に格納する際には、ソリッド間の関連、データベース中の他の対象との関連を記述したモデルが必要となる。ここではまず、CSG法をデータベース格納用に拡張したASM (ARC Solid Model)⁷⁾を概説し、その対象分子構造による表現を述べる。

ASMによるソリッドの世界は図7で与えられるE-R図で表される。ASMの特徴を以下に列挙する。

1) 論理演算に対しデータベース中の部品が対応し、ソリッドは形状型の純対象分子構造で表される。この純対象分子構造は、二重の矢印と汎化の逆向きの結合で連結されている実体集合全体を構成要素とする。

2) 論理演算型としてはEQ型、OR型、AND型、DIF型が存在する。EQ型は部品と基本ソリッド

を直接関連付けるものである。残りの型は2つのソリッド実現値間の二項演算を表す。

3) ソリッド実現値は部品の形状から、合同な幾何操作によって得られるソリッドである。幾何操作として平行移動、回転が許される。

4) 形状型の純対象分子構造で定義されたソリッドは複数のソリッド定義中で共有することが可能である。この場合、共有されるソリッド定義は部品を指定することにより間接的に参照される。

図7の E-R 図に対するデータベースの実現例を図8に示す。ここでは E-R 図に現れたすべての汎化は4.1-2節で述べたように、人為的情報を担わない関係で表現する代りに対応する複合参照フィールドで直接的に表現してある。各部品に対する非図形情報および基本図形は Co クラスの関係、すなわち通常の関係データベース中に格納されている。いまこの例に次の問合せを発行することにより、

```

range of t1 is Car_body
range of t2 is Solid_Obj
retrieve objects(t2)
where t1.designer="Tanaka"/*Car_body 1
の選択*/
and t1.Tid = t2.P_t
and t2.P_R = "Car_body"
    
```

Car_body 1 のソリッド定義 (Solid_Obj 1 の対象分子構造)

```

((Solid_Obj 1 1 Car_body 1 Dif)(Car_body 1
Tanaka ...)(Dif 1 5 Tran 6 Tran)(Tran 5 2
Car_body dx5 dy5 dz5)(Car_body 2 Suzuki ...)
(Tran 6 3 Comp dx6 dy6 dz6)(Comp 3 ...))
    
```

が得られる。この対象分子構造は Car_body 2, Comp 3 を構成要素として持っているが、このような部品の構成関連の階層は上記のような問合せを繰り返し適用することにより得られる。結果は Car_body 1 の生成過程そのものである (図9)。以上の例で分かるように TIME では、意味論的モデリング (ASM) 中の多くの汎化、統合階層を対象分子構造という1つの枠組みで支援することが可能である。

Car_body	Tid	designer	...	Comp	Tid	...	Box	Tid	...	Cylinder	Tid	...
	1	Tanaka			1			1			1	
	2	Suzuki			2			2				
	3	Yamada			3							

Solid_Obj	Tid	P_t	P_R	L_t	L_R
	1	1	Car_body	1	Dif
	2	2	Car_body	2	Dif
	3	3	Car_body	1	Or
	4	1	Comp	1	Eq
	5	2	Comp	2	Eq
	6	3	Comp	3	Eq

Tran	Tid	P_t	P_R	Dx	Dy	Dz
	1	1	Comp	dx1	dy1	dz1
	2	2	Comp	dx2	dy2	dz2
	3	3	Car_body	dx3	dy3	dz3
	4	3	Comp	dx4	dy4	dz4
	5	2	Car_body	dx5	dy5	dz5
	6	3	Comp	dx6	dy6	dz6

Or	Tid	SI_t	SI_IR	SI_rt	SI_rR
	1	1	Tran	2	Tran

Dif	Tid	SI_t	SI_IR	SI_rt	SI_rR
	1	5	Tran	6	Tran
	2	3	Tran	4	Tran

Eq	Tid	ES_t	ES_R
	1	1	Box
	2	2	Box
	3	1	Cylinder

図8 ASMのデータベース例
Fig. 8 Example of database for ASM.

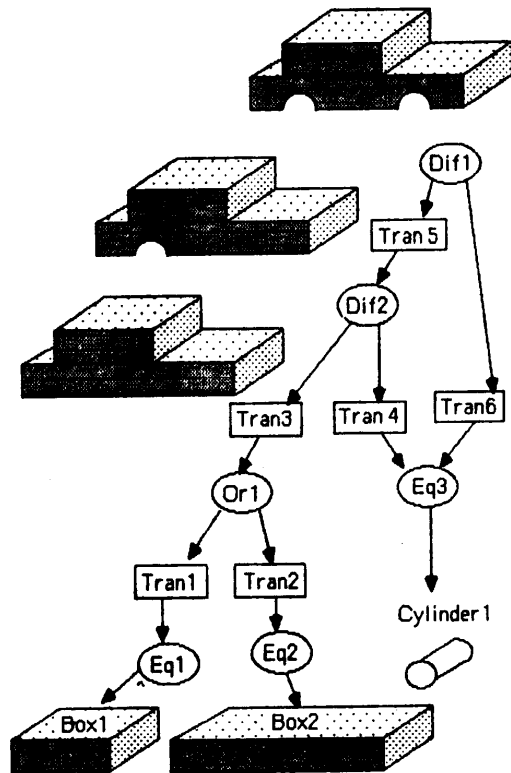


図9 ソリッド生成過程の出力例
Fig. 9 Illustrative example of solid generation process.

5. むすび

統合 CAD データベース・システムにおいては、関係データベースの持つ高水準アクセス機能と応用の意味論に基づく対象指向アクセスの両機能を有機的に結

合することが重要である。本論文では、関係データベースに、意味論的モデリングを表現するリンク構造を導入するアプローチに基づく統合 CAD データベース・システム開発に関して述べた。特に対象分子構造としてまとめられたリンク表現は、応用プログラムの負担軽減、アクセス効率の向上、データ構造の動的変化に対する柔軟性等の利点を有する。

ここまで述べられなかった重要な問題として挿入、削除、更新に対する参照一貫性の維持機能がある。現在 TIME システムでは複合参照フィールドに (t, R) という値を持つ組がデータベース中に存在するときには必ず関係 R 中に識別子 t の組が存在しなければならないという強い制約を置いている。TIME では、データベースのどの組に対しても、それを参照している組の集合をたどる被参照ポインタの環状構造を付随させている。組の挿入、更新に関してはこの環状構造の管理が必要になる。さらにある組 t を削除した場合環状構造を再帰的に上にたどり $\text{ref}(t)$ を求め、 $\text{ref}(t)$ 全体を削除することになる。この制約条件は試行錯誤を主体とする CAD トランザクションにおいてはやや強すぎると思われるので、TIME の CAD システムではこれを緩和するため以下の 2 つの方針が採用されている。

1) データベース管理システムを 2 つの階層に分け、確定データベースを管理する TIME のほかに主記憶上の試行錯誤的データベースを管理する副システムを設ける。副システムでは明示的参照関係に対する制約条件を設けず、設計確定後参照関係の一貫性を確保した後 TIME の確定データベースに書込む。

2) 対象分子操作では述べなかったが、対象分子構造に対する挿入、削除、分割、複写等の演算が用意され、部品の形状変更を行うとき他人の形状に影響が及ばないように、目的部品の複写等を行うことにより、ユーザは自分の権利を有する範囲内に明示的参照関係を限定する¹⁶⁾。

ここで述べた被参照ポインタの環状構造は対象分子構造操作の被参照関係をたどる必要のある操作のアクセス機構としても用いられている。

現在、我々は DEC VAX11/750 上 UNIX 4.2 BSD のもとで、TIME システムを開発中である。DBMS プロセスは問合せプロセスとデータ管理プロセス間の通信で実現されている。対象分子構造に関与するレコード型が実現値ごとに異なるため、データベースに対するアクセスの詳細をコンパイル時に決定できず、

問合せの解釈実行時に決定する方針を取っている。

さらに残された問題として並行制御がある。関係、ページというロック単位に加えて、対象分子構造を 1 つのロック単位として捕らえる必要がある。TIME は第一段階で単一ユーザのシステムとして開発されたが、現在、述語ロックに基づく同期制御機構を持つ第二段階のシステム開発を行っている。

謝辞 TIME システムの研究に当たり、開発に携わった木村裕、細井拓史、信川茂久、仁平明、木山稔、佐藤昭弘、小林聡、高橋裕子に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) Batory, D. S. and Won Kim: Modeling Concepts for VLSI CAD Objects, *ACM Trans. Database Syst.*, Vol. 10, No. 3, pp. 322-346 (1985).
- 2) Codd, E. F.: Extending the Database Relational Model to Capture More Meaning, *ACM Trans. Database Syst.*, Vol. 4, No. 4, pp. 397-434 (1979).
- 3) Lee, Y. C. and Fu, K. S.: Integration of Solid Modeling and Database Management for CAD/CAM, *20th Design Automation Conf.*, pp. 367-373 (1983).
- 4) Lorie, R.: Issues in Databases for Design Applications, Encarnacao, J. and Krause, F. L. (ed.), *File Structures and Data Bases for CAD*, pp. 213-222, North Holland, Amsterdam (1982).
- 5) Managaki, M., Kawagoe, K. and Naniwada, M.: A Model and Its Implementation in a Practical CAD/CAM Database, *Computers in an International Journal Industry*, Vol. 5, No. 4, pp. 305-313 (1984).
- 6) 大保信夫, 益田隆司, 木村 裕, 細井拓史: 柔構造データベース, 情報処理学会データベース管理システム研究会資料, 30, pp. 1-8 (1982).
- 7) 大保信夫: CAD/CAM のデータベース, 国井利泰 (編), CAD/CAM 技術 (bit 別冊), pp. 46-61, 共立出版, 東京 (1985).
- 8) Requicha, A. A. G.: Representations for Rigid Solids: Theory, Methods, and Systems, *Comput. Surv.*, Vol. 12, No. 4, pp. 437-464 (1980).
- 9) Smith, J. M. and Smith, D. C. P.: Database Abstractions, *Comm. ACM*, Vol. 20, No. 6, pp. 405-413 (1977).
- 10) Smith, J. M. and Smith, D. C. P.: Database Abstraction: Aggregation and Generalization, *ACM Trans. Database Syst.*, Vol. 2, No. 2, pp. 105-133 (1977).
- 11) Spooner, D. L.: Database Support for Interactive Computer Graphics, SIGMOD '84,

ACM SIGMOD RECORD, Vol. 14, No. 2, pp. 90-99 (1984).

- 12) Stonebraker, M., Wong, E. and Kreps, P.: The Design and Implementations of INGRES, *ASM Trans. Database Syst.*, Vol. 1, No. 3, pp. 189-222 (1976).
- 13) Stonebraker, M., Anderson, E., Hanson, E. and Rubenstein, B.: QUEL as a Data Type, SIGMOD'84, *ACM SIGMOD RECORD*, Vol. 14, No. 2, pp. 208-214 (1984).
- 14) Yamaguchi, K., Ohbo, N., Kunii, T.L., Kitagawa, H. and Harada, M.: ELF: Extended Relational Model for Large, Flexible Picture Database, *Proc. IEEE Workshop Picture Data Description Management (PDDM)*, pp. 95-100 (1980).
- 15) Yamaguchi, K. and Kunii, T.L.: PICCOLO Logic for a Picture Database Computer and Its Implementation, *IEEE Trans. Comput.*, Vol. C-31, No. 10, pp. 983-996 (1982).
- 16) Yu, X., Ohbo, N., Masuda, T. and Fujiwara, Y.: Database Support for Solid Modeling, *The Visual Computer*, Vol. 2, No. 6, pp. 358-366 (Feb. 1987).

(昭和61年7月9日受付)
(昭和62年3月25日採録)



于 旭 (正会員)

昭和33年生。昭和60年筑波大学第三学群情報学類卒業。昭和62年同大学院修士課程理工学研究科修了。現在同大学院博士課程理工学研究科に在学中。データベースシステム, CAD に興味を持つ。ACM, IEEE 各学生会員。



大保 信夫 (正会員)

昭和20年6月21日生。東京大学理学部卒業。理学博士。筑波大学電子・情報工学系勤務。研究テーマ: データベースシステム。



益田 隆司 (正会員)

昭和14年生。昭和38年東京大学工学部応用物理学科卒業。昭和40年同大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。中央研究所, システム開発研究所に勤務。昭和52年筑波大学に移り, 現在, 筑波大学電子・情報工学系教授。工学博士。オペレーティング・システムの研究開発を経て, その方式論, 計算機システムの性能評価, データベース管理システムの設計技法の研究に従事。



藤原 謙 (正会員)

昭和8年生。昭和32年東京大学工学部応用物理学科卒業。同年(株)クラレ入社。昭和51年筑波大学電子・情報工学系教授。理学博士。データベース構築, データベース-知識ベース統合システム, 情報構造解析, 学術用語解析, 化学および材料研究開発支援システムなどの研究に従事。1985年丹羽賞受賞。電子情報通信学会, 人工知能学会, 物理学会, 化学会, 高分子学会, 分析化学会, ACM, ACS, AAAI 各会員。