

### 3次元形状処理システムの構想と実現

川越 恭二 篠原 克也 浜川 礼 真名垣昌夫

日本電気(株)C&Cシステム研究所

#### 1. はじめに

最近、CAD/CAMシステムの導入の本格化、3次元CADの実用化に伴いCAE(Computer Aided Engineering)概念の下での総合的設計活動の支援による設計生産性、品質向上の動きが活発化している。特に、CAEはCAEデータベースを中心に設計活動全般の支援、製造、検査、管理部門等への必要情報の伝達、計算機による試作、実験、評価等、広義の生産期間の短縮及び製品の品質向上の鍵として期待されている。[16]

CAEの基本システムとして、通常2次元図形処理システム、3次元形状処理システムが使用される。この内2次元図形処理システムは、製図をはじめとして2次元図形を対象に、図形操作のみならずNC、解析等の応用へ適用されており、数多くのシステムが既に使用されている。一方、3次元形状処理システムは、幾何モデリング技術の発展とともに、実用化への期待が高まり、先進的ユーザを中心に実業務への適用が進められている。

3次元ソリッド幾何モデラは製品形状の完全な表現を可能とするが、現在のシステムでは充分であるとはいえない。また、ワイアーフレームやサーフェス更にはソリッドモデル等の幾何モデラを持つ3次元形状処理システムの導入は時期尚早と考えるユーザが少なからず存在する。これは現在の3次元形状処理システムには、1) 機能 2) 性能 3) 応用の充足性 の何れに対しても問題が存在するためと考えられる。

筆者らは、このような3次元形状処理システムに存在する問題を解決するために、CAE概念下での製品・製造情報の中心である3次元形状情報を処理できる3次元形状処理システム(CAE-3D)の研究開発を進めてきた。

CAE-3Dシステムの目的は、1) 3次元形状設計の支援 と同時に2) 3次元形状を対象とした各種CAE応用システム実現のための中核の提供である。更にCAE-3Dシステムの開発で設定した具体的な目標は、1) 利用者に内部幾何モデルを意識させずに簡単に3次元形状の操作が可能なこと 2) 従来の3次元形状処理システムの持つ機能を全て含むこと 3) 応用システム構築する手段を提供しユーザが簡単に拡張していけること 4) 3次元形状処理システムの導入に必要な標準形状の登録を容易にできる手段を持つこと 等である。

このような利用者の立場から見た目標を実現するためには、従来の3次元形状処理システムで未解決の以下の技術を解決する必要がある。

- 1) マルチ幾何モデルを処理する技術
- 2) 幾何データを高速に操作する技術
- 3) 3次元形状をユーザが自由にモデリングできる技術

以上の技術課題に対して、以下の方式の提案、実現することにより解決を計った。

- 1) パラメトリックオブジェクトモデルの実現とスプライン自由曲面処理のCADへの適用
- 2) 高速作業用DBMSの実現
- 3) C3ML(CAE-3D操作言語)の提供

本論文では、まず第2章で3次元形状処理システムにおける問題点とそれを解決するための3次元形状処理システム構想、具体的には方針と基本方式について述べる。第3章では、上記構想の下で実現したCAE-3Dシステムの構成、方式を述べ、第4章で、CAE-3Dシステムの実用面からの考察を行なう。

## 2. 3次元形状処理システムの構築

### 2.1 従来のシステムの問題点

第1章で述べたように、これまでのシステムには、機能、性能、応用の面で問題が存在することが多く、技術的な問題も残されている[20]。したがって、3次元形状処理システムの構築、導入には、以下の点を充分に考慮する必要がある。

#### 1) 性能

ソリッドシステムでは、特に集合演算処理に膨大な計算処理を必要とし、対話処理を困難にしている。このため、集合演算処理の効率化やその回避策が必要である。また、データ量に制限を設けずにデータアクセスの効率を向上させることが不可欠である。

#### 2) 設計プロセスへの適用能力

現実の設計は、新規設計以外にも類似設計、組み合わせ設計、パラメトリック設計、自動設計の設計法があり、これらへの充分な適用能力が必要である。

#### 3) 応用システムとの結合

製図システムのみならずNC、解析等との標準インターフェースやユーザ専用の応用システム構築が容易な手段を持つ必要がある。

#### 4) 拡張性

CADシステムの導入後、運用を続けるうちに、機能的な拡張が必ず発生する。また、ユーザごとに異なる設計活動、対象に適用するためのカスタマイズ能力が必須である。

これまでの3次元形状処理システムは、以上のことよりもまず幾何モデルの表現能力を重視しているが、幾何モデリング技術が確立しつつある今日、上記の項目をより考慮する必要があるものと考えられる。

### 2-2 基本方針

このCAE-3Dシステムの構築にあたり、2-1の項目を考慮して、以下の方針を採用した。

#### 1) マルチ幾何モデルの提供

ユーザにシステム内部にもつ幾何モデルの制限に依存して設計方法を拘束させないことが望ましい。特に、ワイヤフレーム/サーフェス/ソリッドモデルは、ユーザが目的、対象、入力方法等に依存して利用決定できるべきものである。また、ソリッドモデルの表現方式である、CSGとB-REPSに関しても、これらはあくまでもシステムの内部幾何表現方式であり、ユーザにとっては設計対象の表現に充分であればよい。このため、ユーザによる設計対象の表現に支障のあるような内部モデルの制限は致命的であるといえる。

更に、上記に挙げた複数の幾何モデルを統合化したマルチ幾何モデルを構築したとしても性能の低下を招いては意味がなく、モデルの実現方式、構造の工夫を必要とする。この点に関して、次の高速DBMS上での格納形式、処理の最適化、特に、高速な自由曲面処理方式の開発を計る。

#### 2) CAD用データベース管理システムの実現

性能の向上には、ファイルハンドラーの高速化が必要である。しかし、ファイルハンドラーの専用高速化は、システムの独立性、拡張性、信頼性に問題を発生させやすいために、ファイル管理を独立化させ、CAD用のデータベース管理システムを構築する必要がある。従って、独立性、高性能性を兼ね備えたCAD用データベース管理システムを実用化する。性能目標として、従来の汎用データベース管理システムの1桁以上の性能の実現を設定する。また、独立性を保つために、論理アクセスの提供を目指す。

#### 3) パラメトリック図形処理機能の提供

設計プロセスへの適用能力の向上手段として、2次元図形処理システムで必要不可欠とされるパラメトリック図形処理機能の提供がある。この機能はパラメータ付き図形の定義機能と類似図形の生成図形の2つの大きな機能から構成され、標準、規格部品の管理、設計手順のカタログ化、更には自動設計へと適用できる機能である。

3次元形状処理システムに対してもこのパラメトリック図形処理機能が必要である。しかし、これまでのシステムは形状定義言語による方式や制約方程式を解く方式をもつものがあるが、操作上あるいは性能に問題があり、実用的なシステムは皆無であったといえる。本システムの構築には、この機能と幾何モデラーとの一体化を行なうこととする。

#### 4) 3次元図形処理言語の提供

ユーザによる応用システムの構築あるいは、CAE-3Dシステムを土台とした機能拡張を容易にするため、3次元図形処理言語(C3ML)を提供する。本言語は、上記応用システム構築以外にも形状定義言語としても利用できることを目的とし、FORTRANを親言語とする。

#### 5) 4次元図形処理への拡張性

2次元図形処理システムが3次元データを持つことにより、補助図作成、断面の生成等が容易になることと同様、3次元形状処理システムにおいても4次元すなわち時間をデータとして扱えることによって、動作シミュレーションが可能となり、3次元形状処理の応用が拡大し、より使いやすくなる。このため、本システムの構築には、3次元をベースに限られた範囲であるが時間軸を扱えるような幾何モデラーの実現を目指す。

### 2-3 基本方式

上記の基本方針の下でCAE-3Dシステムを構築する際の基本方式として以下の方式を採用した。

#### 1) パラメトリックオブジェクトモデルの実現及びBスプライン自由曲面の採用

2-2で述べた基本方針の内、マルチモデル化、パラメトリック図形処理の提供、4次元図形処理への拡張性を実現するために、既に提案しているパラメトリックオブジェクトモデルの実現を行なう。

パラメトリックオブジェクトモデルとは、図形を(寸法あるいは図形要素、トポロジー、操作、変数、関連、

制約)の各集合で表現し、従来のCSG/B-REPSの両者を表現することのできる幾何モデルの概念モデルである[13]。

本モデルを具体的に実現するため、寸法あるいは図形要素として点、線、面、ループ、シェル、図形を、トポロジーとしてウイングドエッジ方式の接続関係と図形の依存関係を、操作としてシステムで提供される全操作を、変数として寸法変数と操作変数とトポロジー変数を、関連として変数式、変数関係表、図形間の関係、変数と操作・寸法・トポロジーとの関係を、制約として変数の値域、変数式の値域等を設定する。

このようなモデル構成集合への値の設定方法により、a) B-REPS b) CSG c) B-REPS+CSG併用 d) サーフェスあるいはワイアが表現できるため、幾何モデルのマルチ化が可能となる。また、パラメトリック機能は、変数集合を持たない図形から変数集合、関連集合の附加やその逆操作によって実現できる。4次元に関しても操作集合への時刻スタンプにより拡張可能である[1]。

また、サーフェスモデルすなわち自由曲面に関しては、CAE-3DシステムではBスプライン関数を採用する。これまでに多くの自由曲線を表わす関数が提案され、またその有効性が研究されている[22]が、表現能力、局所制御性[22]等の点でBスプライン関数が優れていると判断した。また、自由曲面の基本表現には、自由曲線の直積を用いる。尚、自由曲面処理に関しては、CADシステムの操作性向上のためにBスプライン関数の性質を利用した大域および局所的な自由曲面形状修正方式を用いる。

更に、サーフェス(自由曲面)を面として持つソリッドの表現には、CSG形式では半空間法[19] B-REPSでは通常の面情報と面の境界曲線による方法[23]を用いる。

パラメトリックオブジェクトモデルの実現によるマルチモデル化は表示処理機能に応じてモデルを選択できる。

具体的には、高速シェーディング表示処理にはCSG形式へのレイトラシング法を適用する。尚、表示対象図形への制限をなくするためにCSGの葉には任意図形や自由曲面が可能であるようにする。また、隠線処理表示処理にはB-REPS形式を用いて、三面図、断面図等の生成に用いられるため制限のない標準的なワールド空間アルゴリズムの一種を用いる [18]。

## 2) CAD用データベース管理システムの実現

独立性と高性能なる矛盾する特性を満足するためには、適切なトレード・オフ点の決定が重要である。このため、論理アクセスの提供を少なくとも満たし更にどれだけの機能を盛り込むことができるかを性能を充分意識して考える必要がある。また、CADシステム内でのアクセスの分析および種々の文献により、以下の項目を満足する必要がある。

- 1) 可変長データ処理
- 2) ビュー機構の提供
- 3) シーケンシャル/ダイレクト/条件検索機能の提供
- 4) 図形要素へのサロゲートの附加

以上の要請を満たすためには、ポインターの管理を縮小する必要がある。このためデータモデルとしてネットワーク構造を特殊化したモデル(階層モデルの一種)を採用する。このモデルは、部品構成を充分に表現できること、および他の図形関係は属性内に埋めこむことから充分にCAD用の図形表現モデルとして有効であると考えられる。

## 3) C3ML (CAE-3D操作言語)

CAE-3Dシステムの提供外部機能と一対一に対応した命令を持ち、プリコンパイラ方式の言語とする。

第1図に、C3MLの記述例を示す。

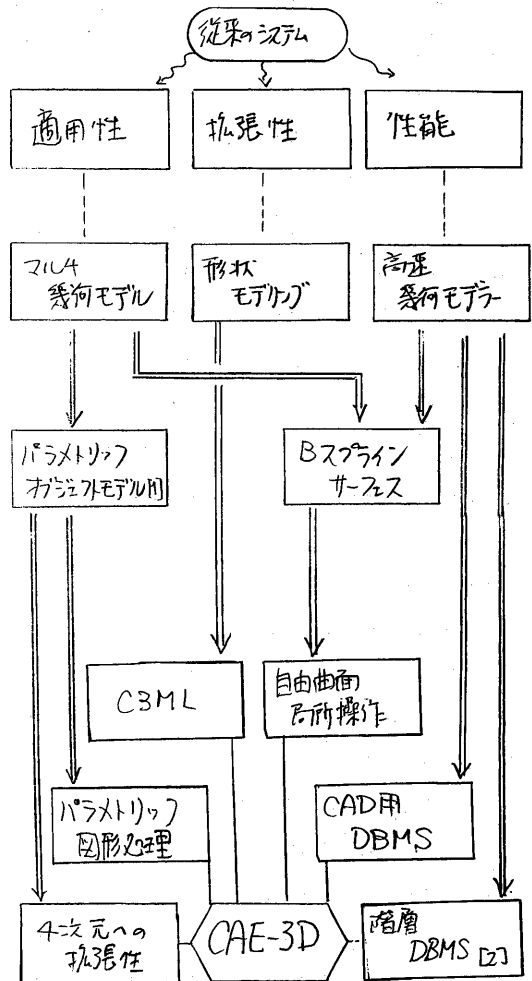
第2図に、CAE-3Dシステムの基本方式概念図を示す

```

XINT                               ;初期化
XDEF (XSH, SHAPE)
XDEF (XFIG, FIGURE)
XDEF (XSH1, XSH2, SHELL)          ;型定義
XDEF (XE1, POINT)
XDEF (XE2, POINT)
XDATA (XE1, (0.0, 0.0, 0.0, 0.0)) ;データ値設定
XSH (XNAME) = 'ケイジョウ1'      ;形状定義
XSHAPE-DEF (XSH)
IF XERROR THEN GOTO 100
XFIG (XNAME) = 'スケイ1'
XFIG-DEF (XFIG)
IF XERROR THEN GOTO 101
XSH1 (XR) = 10.0
XSH1 (XH) = 70.0
XSH1 (XBP) = XE1
XCONE (XSH1)
READ (5, 200) IZ
XE2 (XX) = IZ
XE2 (XY) = 10.0
XE2 (XZ) = XE1 (XZ) * 2.0 + 10.0 ;直方体作成
XBOX (XSH2, XE1, XE2)

```

第1図 C3ML 記述例



第2図 基本方式概念図

### 3. 3次元形状処理システムの実現

2章で述べた構想を実現したCAE-3Dシステムに関して、その構成、機能、データ構造、内部方式について以下に説明する。

#### 3-1 システム構成

第3図に、CAE-3Dシステムの全体構成を示す。この構成は、1) DB管理と対話管理の独立化 2) DB、DBMS、機能、言語等の複数インターフェースの提供等を考慮して決定された。

#### 3-2 機能

CAE-3Dシステムの機能は、表1に示す機能から構成される。

これらの機能は以下に示す考え方から決定した。

1) 種々の方法により形状生成ができるように、従来の形状処理システムを持つほとんどの機能を組み込むこととする。従って、プリミティブ組合せによる方法や2次元面上での図形作成後スイープによる形状生成法、局所修正による変形操作、等が可能である。

2) ワイヤー/隠線処理絵(簡易版/完全版)/シェーディング(端末機能利用/レイトレーシング処理)作成機能の種々の表示絵作成機能を組み込むことにより、端末機能、高速性、対象に応じて表示機能を選択できる。

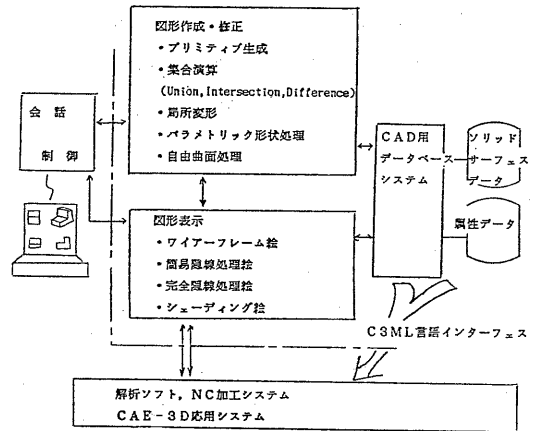
3) 各種応用システムの構築が容易なように、属性処理機能、データ交換機能をもたせる。

表に示す機能の内、自由曲面処理機能とパラメトリック図形処理機能について以下に説明する。

・自由曲面処理機能：Bスプライン関数を使用しても従来のシステムの持つ曲面生成法であるタブシル面、ワールド面、ガイドライン面、回転面、点列面等の生成機能は必要である。又、局所修正を行なうために、大域修正の他、通過点や導関数値等の拘束下での指定領域内の修正機能、及び制御パラメータによる修正機能を持つ。

・パラメトリック図形処理機能：3次元形状に対する変数設定、変数間関係(式、表)設定、拘束設定、パラメトリック図形への変数具体値の設定による図形再生成機

能等をもつ。また、同期した動作のシミュレーション機能を応用機能として持ち、動作量の変数化により繰り返しの条件をかえたシミュレーションが可能である。



第3図 システム構成  
表1 CAE3D 機能

#### 形状処理機能

形状定義機能	形状/図形(空間)設定 プリミティブ生成(直方体, 角柱, 角錐, 円柱, 円錐, 円錐台, 角錐台, 球, トラス) 点, 直線, ループ, 多角形, 面の生成 スイープ体の生成
形状変更機能	図形回転, 移動, 拡大・縮小(独立/依存変更, 行列/データ変更)
形状修正機能	局所修正(線切断, 面切断, 穴あけ, 隆起, 接続等) 鏡像, コピー, フィレット, カット等
集合演算機能	2次元集合演算(和, 差, 積) 3次元集合演算(和, 差, 積)

#### 表示処理機能

ワイヤ絵表示	ワイヤフレーム形式での図形表示(平行投影, 透視)
隠線処理絵表示	簡易隠線処理絵による図形表示(平行投影, 透視) 完全な隠線処理絵による図形表示(平行投影, 透視)
シェーディング絵表示	レイトレーシング法によるシェーディング絵による図形表示 図形処理端末機能による隠線処理絵による図形表示
その他	ビュー制御, ビューポート制御, 断面図, 三面図, 交線, カメラ等

#### 曲面処理機能

自由曲線処理機能	曲線定義機能(通過点, 制御点指定, 2次曲面近似等) 曲線修正機能(大域, 局所修正, 通過点, 制御点の座標値変更等)
自由曲面処理機能	曲面定義機能(通過点, 制御点指定, 回転面, 1-1面, 1/4面等) 曲面修正機能(大域, 局所修正, 通過点, 制御点の座標値変更等)

#### パラメトリック図形処理機能

パラメトリック図形定義機能	座標値型(指定点の座標値の変数化) 操作型(指定操作のパラメータの変数化) 寸法型(基準面からの平面間の距離, 面間の角度, 平行線の距離等)
パラメトリック図形再生成機能	変数値の設定 従属変数値の計算 図形の再生成(操作型の場合, 連続, 単一) 時刻による動作シミュレーション
その他	変数関係式定義, 変数関係式定義, 制約定義, 時刻定義 ユーティリティ, 各種問い合わせ等

#### 補助処理機能 その他

ユーティリティ	CAE応用システムデータインターフェース, DB管理ユーティリティ等
解析計算機能	体積, 断面積, モーメント計算等
属性処理機能	属性定義, 属性値設定, 更新, 属性検索等
その他	CSMLトランスレータ, コマンドカタログ, 各種問い合わせ

### 3-3 データ構造

2章で述べた様に、本システムはパラメトリックオブジェクトモデルを核としている。このモデルを具体化したデータ構造を第4図に示す。このデータ構造は、論理構造を示しており、CAD用データベース管理システムのデータモデルの形態に変換されて使用される。

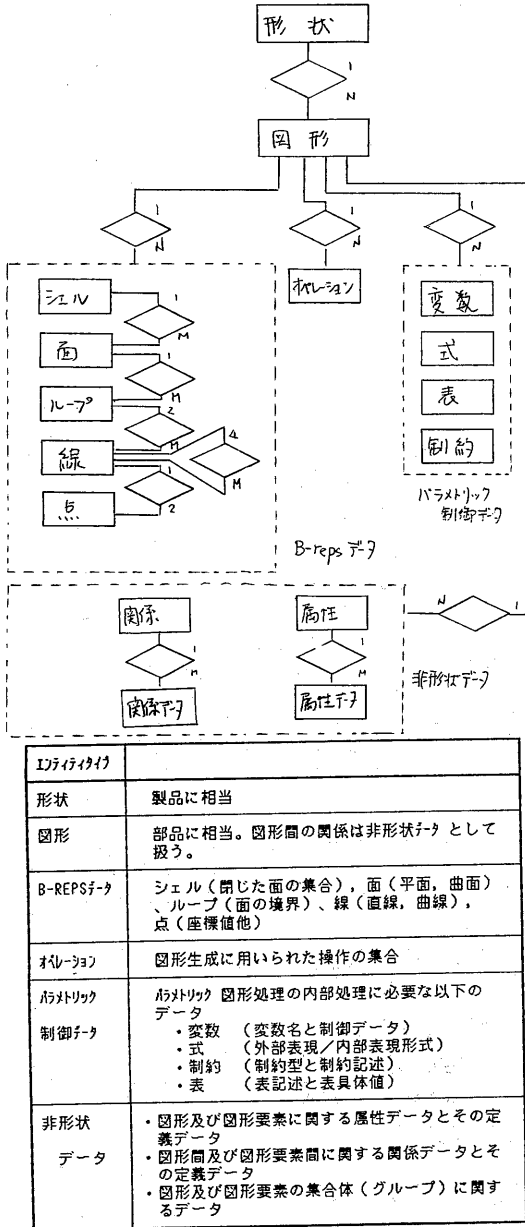


図4 データ構造

### 3-4 内部処理方式

以下にCAE-3Dシステム実現の際に用いた内部処理方式について述べる。

#### 1) CAD用データベース管理システム [6]

第2表に示す機能により形状データを管理する。

・ビュー機能としてデータ型とデータの並びの変換を行なう。

・各図形データ（エンティティタイプ）は固定データと複数の可変長データからなる。

・各図形データの具体値（エンティティ）は図形内で一意な論理識別子（サロゲート）をキーとして持つ。又、図形の状態等をしめす複数個のフラグを有する。

表2 CAD用DBMS機能

機能	説明
登録	固定データ 1個以上のIDタイプの固定データの登録（入力引数：IDタイプ、データ長、データ開始位置、データ、E1-）
	可変データ 指定IDタイプの可変データ長の登録とデータ領域の確保（入力引数：可変データ識別子、可変データ長）
参照	直接検索 予約指定によるIDタイプ及び固定データ出力（入力引数：IDタイプ、予約、固定データ長、固定データ開始位置、E1-, FROM, TO）
	連続検索 IDタイプのデータブロック及び固定データ順次出力（入力引数：同上）
検索	名称検索 IDタイプの名前指定によるIDタイプ予約データ（入力引数：IDタイプ、名前）
	条件検索 IDタイプ条件指定によるIDタイプ及び固定データ出力（入力引数：条件、IDタイプ、固定データ長、固定データ開始位置、E1-, FROM, TO）
修正	固定データ 固定データの更新（入力引数：予約、修正データ長、修正開始位置、データ、E1-）
	可変データ 可変データの更新（入力引数：可変データ識別子・・・）
削除	一括 指定IDタイプのIDタイプの一括削除（入力引数：IDタイプ）
	個別 指定IDタイプの固定/可変データの削除（入力引数：IDタイプ、予約、可変データ識別子）
他	データ定義機能、SAVE/RESTORE機能、論理/物理ダンプ機能等

#### 2) 自由曲面処理方式

自由曲面処理の効率化のためにセクタ管理また自由曲面修正操作性の向上のために局所制御機構をもたせる。

・セクタ管理：曲線/曲面を複数のセクタに分割し、修正時に影響を受けるセクタのみの計算・再表示を行なう。セクタは、複数の制御点によって制御される領域を指す。

・局所制御 [8]：設計者が局所制御範囲を指定し、その範囲内での形状修正を行なう。修正は、通過点の座標値・1次導関数・2次導関数値の変更で行なう。内部

的にはノットの挿入 制御点の変更を行なう。

### 3) パラメトリック図形処理方式

本処理は、主に定義と再生成の2つの処理からなる。

・定義時：データベース内に格納されたB-REPSと操作列データに対して変数データとの関係を設定する。定義の方法は、操作型、座標値型、寸法型の3種であり利用者が対象に応じて選択できる。尚、トポロジー変数は、操作型に含める。

・再生成時：定義された変数に値を設定し、従属変数値の計算の後、新図形の生成を行なう。この生成は、操作型の場合は、操作の再実行、その他の型の場合は、新図形への修正操作によって行なわれる。集合演算操作を持つ操作型の場合には内部図形制御機構を有し、内部的に集合演算操作の再実行が可能である。

## 4. 実用面からの考察

実現したCAE-3Dシステムの実用面からの考察としては性能、機能、操作性、適用性、拡張性等の観点から行なう必要があるが、ここでは、性能と機能の評価に関する考察を示す。

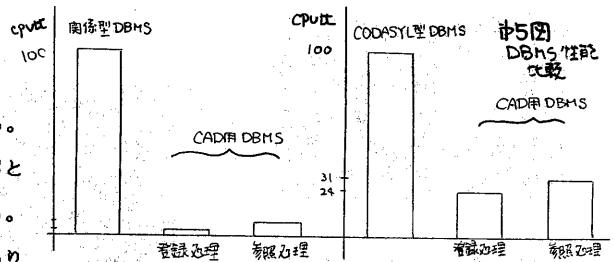
### 4-1 CAE3Dシステム性能評価

CAE-3Dシステムの性能の重要な要素はDBMSの性能である。以下に、CAD用DBMSの性能評価の結果について示す。

汎用データベース管理システムとして、関係型とCODASYL型をとりあげ、それらとCAD用データベース管理システムとを比較した結果を第5図に示す。尚、比較は基本的なデータ登録とキーによる検索処理に必要なCPU時間の相対比で行なう。

比較の結果、関係型の1/10以下であり目標の1桁以上の性能を実現している。このDBMSの高速化によって、CAE3Dの形状処理・表示処理の高速化が可能となった。特に、集合演算でのDBMSのCPU時間を4割以下にすることができた(比較[21])。

### 2) CAE-3Dシステム機能評価



CAE-3Dは、図6に示す様に従来のシステム同様、種々の方法による形状作成が可能である。又、CAE-3D特有の機能であるBスプライン局所変更機能とパラメトリック図形処理機能の評価を以下に示す。

### ・自由曲面処理機能評価

局所変更操作によって作成した形状例を図6に示す。局所変更機能の使用によって、従来のシステムで必要とした複数の曲面の作成と滑らかな接続の図形作成操作が不要となり、1枚の曲面の詳細化によってかなりの曲面が作成可能であることが得られた。

### ・パラメトリック図形処理機能評価

パラメトリック図形処理の使用例を図6に示す。ペンシル、ボルト等の図形のパラメトリック化の結果、何れも図形のパラメトリック化が可能であり、実用上十分な表現能力をもつことがうかがわれた。

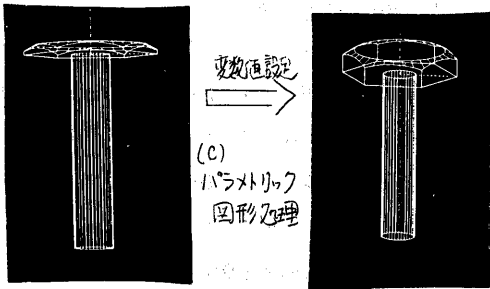
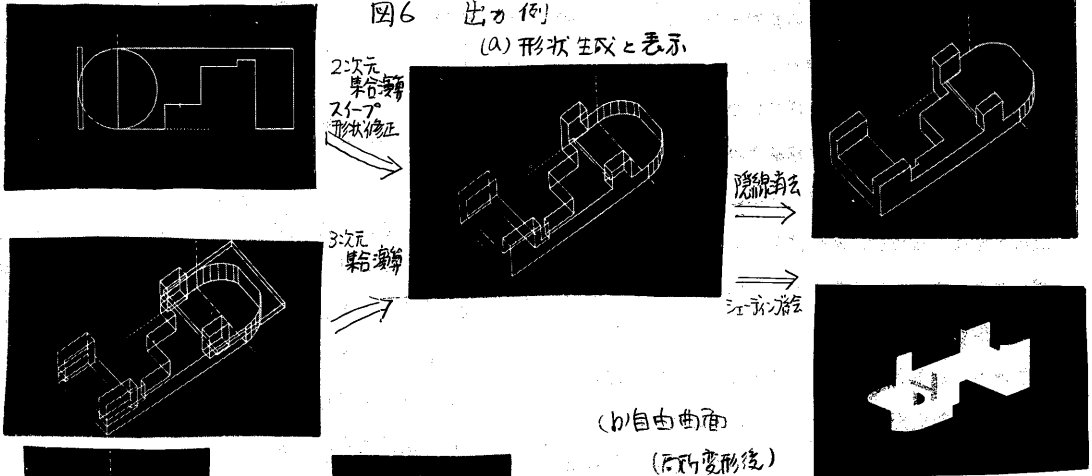
また、ソリッド検証機構と変数一括定義機構の必要性が認められた。しかし、操作型の集合演算再実行による処理時間の増加の問題に対しては3種の定義方法の提供により目的によって回避できることが有効であることが判明した。

## 5. おわりに

以上、実用的な3次元形状処理システムの実現を目指して、性能、機能面で十分に設計活動に適用可能なCAE-3Dシステムについて報告した。応用面でも充分利用できるようにすべくNC加工をはじめとして解析システム等のCAE応用システムの構築を進めている。本システムはCAEの中核システムとして種々の応用システムで利用される予定である。

最後に、本システムの研究開発にあたり社内関係部門の協力に感謝する。

図6 出力例  
(A) 形状生成と表示



参考文献

[1] K. Kawagoe AND M. Managaki, Parametric Object Model and its Application to Mechanical Product Design, Proc. of 1st Int. Conf. on Compt. Appl. in Prod. and Eng., pp353-370, North-Holland, 1983  
 [2] M. Managaki, Multi-Layered Database Architecture for CAD/CAM Systems, IFIP W. G. 5. 2, Working Conf. on CAD Database, 1981  
 [3] K. Kawagoe AND M. Managaki, Parametric Object Model: New Geometric Model for Computer-Aided-Engineering, Proc. of NEC R&D No. 72, PP23-32, Jan, 1984  
 [4] M. Managaki and K. Kawagoe, A Parametric Man/Machine Interaction with Semantic Data, Comp. and Graphics, Vol. 7, No. 3-4, pp233-242, 1983  
 [5] 川越、篠原、浜川、真名垣: 3次元形状処理におけるパラメトリック図形処理方式, 第28回情報処理学会全国大会(昭和59年前期), PP1541-1542, 1984  
 [6] 川越、真名垣、他: CAD用データベース管理システム, 第28回情報処理学会全国大会(昭和59年前期), PP 751-752, 1984  
 [7] 浜川、川越、真名垣: Bスプライン曲面の一考察, 第27回情報処理学会全国大会(昭和58年後期), PP1529-1530, 1983  
 [8] 浜川、川越、真名垣: 3次元形状処理システムにおける自由曲面処理方式, 第28回情報処理学会全国大会(昭和59年前期), PP, 1984  
 [9] 篠原、川越、真名垣: 同期した動作の処理機能を有する次元形状処理システム, 第2回設計自動化工学講演会, 1984(予定)  
 [10] 浜川、川越、真名垣: 局所修正を用いた自由曲面処理方式, 第2回設計自動化工学講演会, 1984(予定)  
 [11] K. Shinohara, R. Hamakawa, K. Kawagoe and M. Managaki, Parametric Object Modeler: Conceptual Geometric Modeler for Computer-Aided-Engineering, 1ST Conf. of ISDS, 1984, (予定)

[12] 篠原、川越、真名垣: 運動シミュレーションのための動作処理機能, 第29回情報処理学会全国大会59年度後期, 1984(予定)  
 [13] 浜川、川越、真名垣: 自由曲面を含むソリッド図形処理方式について, 第29回情報処理学会全国大会59年度後期, 1984(予定)  
 [14] 川越、浜川、真名垣: エンジニアリング・データベースのメタ情報構造, グラフィックスとCADシンポジウム論文集, PP215-222, 1983  
 [15] H. B. Voelker and A. A. G. Requicha, Geometric Modeling for Mechanical Parts, IEEE, Comp. J, 10, 1977  
 [16] CAEに関する調査研究報告, (財)日本情報処理開発協会, 1983  
 [17] A. A. G. Requicha, Representation for Rigid Solids, Computing Surveys, vol. 12, No. 4, pp 437-464, 1980  
 [18] I. E. Sutherland et al., A Characterization of Ten Hidden Surface Algorithm, Comp. J., 6, 1974  
 [19] N. Okino, TIPS-1, 北大工学部, 1978  
 [20] A. A. G. Requicha and H. B. Voelker, Solid Modeling, Current Status of Research Directions, IEEE CG & A, VOL. 3, NO7, 1983  
 [21] 藤井他: ソリッドCADシステムの研究開発, グラフィックスとCADシンポジウム論文集, PP21-28, 1983  
 [22] 山口, 形状処理工学(I)(II) 日刊工業新聞社, 1983  
 [24] 木村, 佐田, 穂坂, 幾何モデル処理パッケージ GEOMAP III, 第27回情報処理学会全国大会58年度後期, 1569-1570, 1984