

三次元設計・製造支援システム“HICAD/W”の開発

Development of Computer Aided 3D Design and Manufacturing System

EWS(Engineering Workstation)形のCAD/CAMシステムのニーズの高まりにこたえて、三次元設計・製造支援システム“HICAD/W”(Hitachi Computer Aided Design System for Workstation)を開発した。設計の検討段階から一貫して使えること、二次元となじみのよいこと、カスタマイズしやすいこと、ホストコンピュータと関係ができることをシステム開発のねらいとした。

本システムは立体設計、組立構成、解析メッシュ作成など7個の主要サブシステムから成っており、試行錯誤に適したモデリング機能、三次元・二次元の融合機能、部品組み立て機能、ユーザーシステム構築機能、ホストコンピュータでのデータの集中管理機能などを提供している。

光田耕一* *Kōichi Mitsuda*
大木 尚* *Takashi Ōki*
仁尾 都** *Misato Nio*
西田圭介* *Keisuke Nishida*
中沢 優*** *Masaru Nakazawa*

1 緒 言

製造業の商品に対するニーズは年々変化し、多様化している。設計部署・開発部署は、このような市場ニーズと研究開発部署のシーズを融合して高付加価値商品を社会に送り出すという責務を負っている。また、生産活動の最上流に位置するため、原価の低減・開発期間の短縮に及ぼす影響も、他の部署に比べ最も大きい。

製造業でのこのような設計・開発部署を支援するためのシステムとして、従来、日立製作所はメインフレーム系のコンピュータを用いたCAD/CAM/CAEシステム「ホスト系GRADAS(Graphics system for Design and manufacturing Assistance)」と、そのソフトウェア群「HICAD(Hitachi Computer Aided Design System)シリーズ」を提供してきた。

しかし、高性能で小形のWS(Workstation)や、高速図形処理機能を持つEWS(Engineering Workstation)が安価に入手できるようになり、より小さなグループ単位が占有して使用できる「WS系CAD/CAM/CAEシステム」へのニーズが強まってきた。そこでこのたび、日立EWS「2050Gシリーズ」²⁾で稼動し、かつホストコンピュータとも関係のできる三次元HICAD/W(HICAD for Workstation)を開発した。

以下、2章では市場のニーズとシステムのねらいを、また3章ではシステムの概要と主な特長を、後の章では、いくつかの特長を詳述する。

2 市場のニーズとシステムのねらい

2.1 市場のニーズ

“GRADAS”を現在使用している顧客、および種々の製造業に携わる人々のニーズを聞き、これに一般的な市場動向を加えてシステムのねらいとする市場のニーズを把握した。その結果、特に顕著な5項目のニーズについて次に述べる。

(1) WS系システムであること。

ホスト系システムのユーザーからは次のニーズがあった。

- (a) ホストコンピュータをそのつど大きくすることなく図形端末を増設したい。
- (b) 使用端末の数に影響されない短い応答が欲しい。
- (c) 技術文書の作成なども同じ端末で行いたい。

これらにこたえられるものとして、WSが出現し、WS系システムへの期待が高まった。

また、一般の市場動向としても近い将来、WS系システムが大きな割合を占めると予測されている。

日立製作所では32ビットEWSとして、ネットワークを通じて他のWSやホストコンピュータに接続された資源も活用できる「2050Gシリーズ」²⁾を完成し、この上で稼動するシステムを開発することにした(図1参照)。

(2) 設計の上流工程からも一貫して使えること。

設計の上流に位置する構想・計画作業の段階では、通常、ユーザーの頭の中でもやややと考えられる部品や構造を、途中で絵に表示したり、検討を加えたり、議論したりすることが非常に多い。このような試行錯誤の段階から容易に使える

* 日立製作所 ソフトウェア工場 ** 日立製作所 日立研究所 *** 日立製作所 情報システム工場



図1 EWS(Engineering Workstation)で使えるCAD/CAM/CAEシステム 対話操作に優れたEWS系システムを、日立エンジニアリングワークステーション2050Gに稼働させることにした。

システムが強く求められている。このためには、例えば、思考を中断しない程度にシステムの応答がすばやいこと、構成管理をしながらいくつかの部品群あるいは組立構造物を扱えること、解析・シミュレーションもできることが望まれる。

また、図2に示すようにこのような設計の上流段階での作業結果やデータが、詳細設計、製図、解析、加工といった下流段階の作業にも、一貫して利用できることが重要な条件として挙げられた。

(3) 二次元製図システムにもなじみやすい三次元システムであること。

三次元の形状を直接操作しやすいことが第一の要求条件として挙げられたが、一方では、その三次元の世界を眺める二次元画面上で、三次元を設計したほうが操作しやすい場合が多いこともわかった。特に、長年慣れ親しんだ二次元製図システムと三次元操作が融合して使えることが、使い勝手・操作性を格段に良くする。さらには、早くから使ってきた二次元システムの財産・データなどが有効に活用できることも、多くのユーザーから望まれている。

(4) カスタマイズ機能があること。

設計・製造支援システムをエンドユーザーが自分の身に密着したツールとして使用できるためには、自分の商品、部署、企業に向けた考え方や技法を埋め込むことができることが必要と言われている。このカスタム化のニーズには、次のような種々のレベルが存在した³⁾。

- (a) レベル1：システムの標準値を直したい。
- (b) レベル2：連続してよく用いる複数のコマンドを一つのコマンドにまとめたい。
- (c) レベル3：自分のコマンドを新しく作りたい。
- (d) レベル4：自分の部品・情報を登録したい。
- (e) レベル5：自分のシステムを作るための中核となる、使いやすいシステムが欲しい。

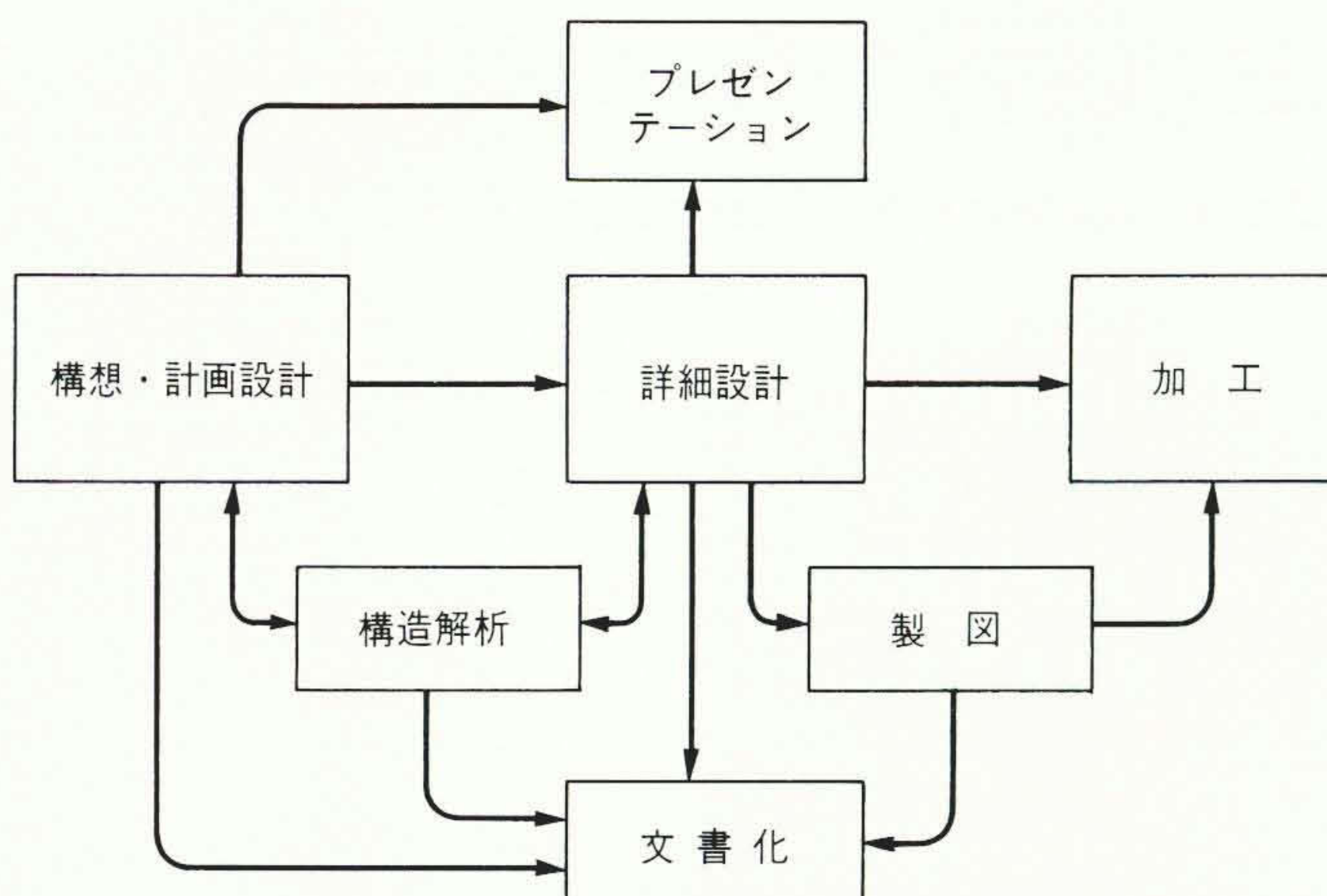


図2 設計の上流から下流まで一貫支援 設計の上流での作業結果が、詳細設計、製図、解析、加工といった下流段階まで一貫して利用できることが必要である。

(5) 大量の情報を集中管理できること。

完成した図面や検討途中のデータが増えてくると、個々のWSやネットワーク下の複数のWSで管理される分散データだけでは管理しにくくなる。そこで、メインフレームコンピュータで大量データの集中管理をしたいというニーズも強い。しかも、WSからそれらのデータを取り扱う場合に、どこのディスクに入っているかをユーザーが知る必要がないようにすることが、強く要望されている。

2.2 システムのねらい

以上のニーズにこたえるために、次の五つのシステムのねらいを設定し、統合形CAD/CAM/CAEシステム“HICAD/W”を開発した。

- (1) EWSで稼動するシステム
- (2) 設計の上流工程から一貫して使えるシステム
- (3) 二次元と融合して使える三次元システム
- (4) カスタマイズしやすいシステム
- (5) 垂直・水平分散システム

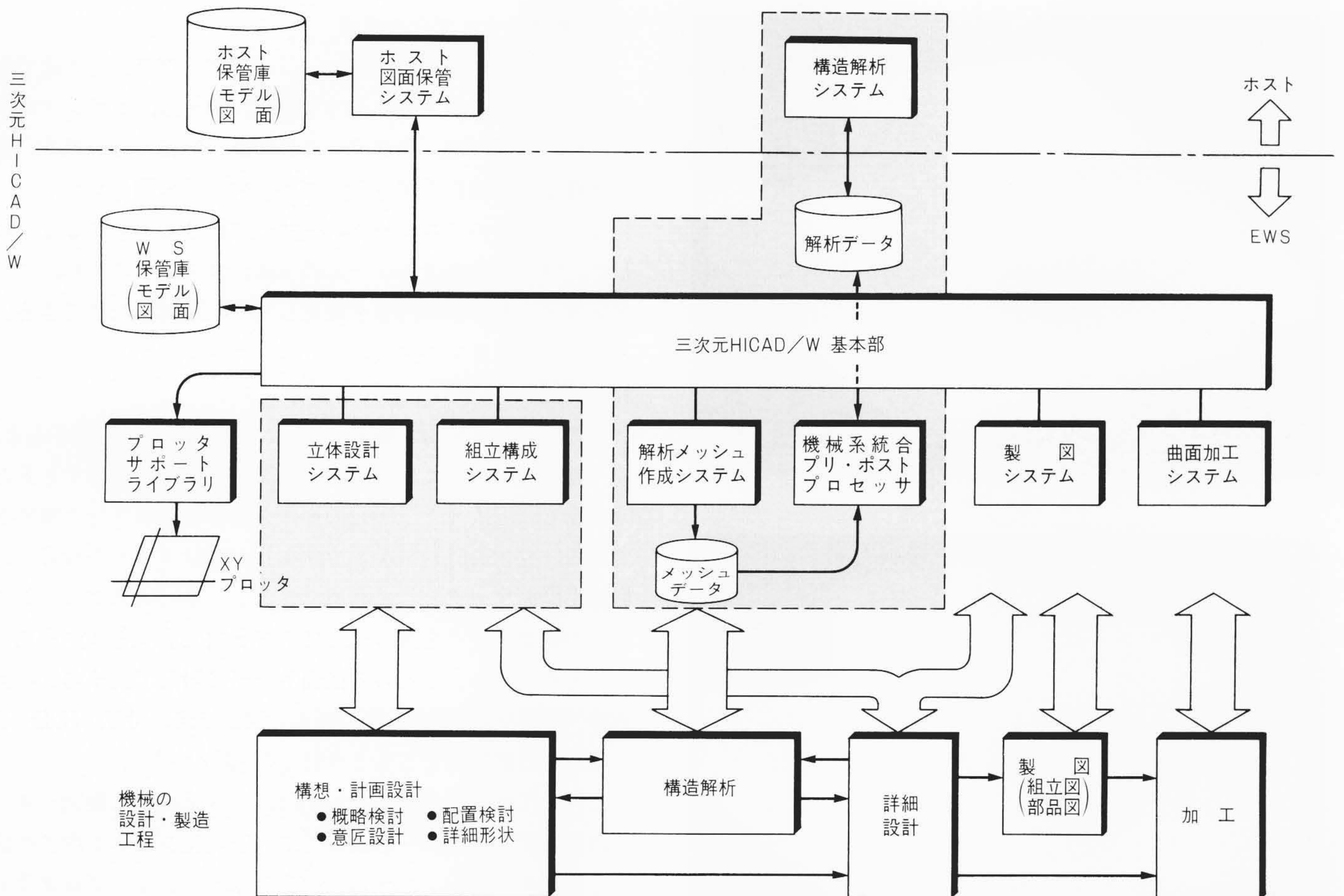
3 システムの概要と特長

3.1 全体構成

三次元HICAD/Wは基本部をベースに、立体設計システム、組立構成システム、解析メッシュ作成システム、機械統合プリ・ポストプロセッサ、製図システム、および曲面加工システムから成っており、設計の検討段階から、解析、詳細設計、加工までを一貫して支援する。その全体構成と、機械設計・製造工程の関係を図3に示す。

最初の概略検討および意匠設計は、設計者が頭の中で形状のイメージを描く段階である。立体設計システムを使うと、画面上でさまざまな方向から見て確認しながら形状の作成ができる。

配置検討や詳細形状設計の段階では、一つの製品を部品の



注：略語説明 HICAD/W (Hitachi Computer Aided Design System for Workstation), EWS (Engineering Workstation)

図3 三次元HICAD/Wのシステム構成と機械設計・製造工程 三次元HICAD/Wは、設計の検討段階から解析、詳細設計、加工までを一貫して支援するプログラム群から成っている。

組立物として構成し、一つ一つの部品形状の詳細を決め、それらの配置を決定する。組立構成システムは、この段階を支援するものである。

作成した形状は構造解析をして評価する。また、曲面加工システムでNC(数値制御)工作機械用のデータを、自動的に出力することができる。

製図システムは、入力した形状から部品図や組立図などの図面を作成するとき使用する。

3.2 計画段階の設計業務を支援する機能

本システムの特長の一つは、設計の計画段階からツールとして使えることである。具体的には次の機能を用意した。

(1) 試行錯誤に適した形状作成・編集機能

形状作成システムとしてソリッドベースのモデリングシステムを採用した。したがって、ワイヤフレームに面を定義するというめんどろな作業が不用で、切断や集合演算など中実体としての形状作成・編集が容易である。図4に示すような局所変形操作が高速に行える。また、形状の作成・編集の過程を保存しているので、任意の時点の形状に戻すことができる。試行錯誤を繰り返す検討に有効である。

(2) 三次元・二次元のデータおよび操作の融合

三次元形状データの投影図と二次元形状データとを混在して表示できるようにした。これによって、図5に示すように、ある部分は三次元で検討し、他の部分は二次元で設計することができる。二次元データを利用して三次元の形状を作成することもできる。三次元形状を修正すれば、当然投影した図面も変わる。逆に図面上で、二次元形状といっしょに三次元形状を伸縮させることも可能とした。

(3) 組立製品での部品操作

一つの製品や装置を、部品の組立物として作ることができる。例えば、形状の一部を部品化したり、一つの部品に他の部品を組み込むことができる。このような部品の階層構造が記憶されるので、任意のレベルの部分組立品単位で移動したり、取り替えたりという操作が容易にできる。また、部品を修正すれば、その部品を使用しているすべての製品に修正が反映される。このため、計画設計から組立設計、部品設計への展開が容易に行える。部品の組み合わせで作成した部分ユニットの例を図6に示す。

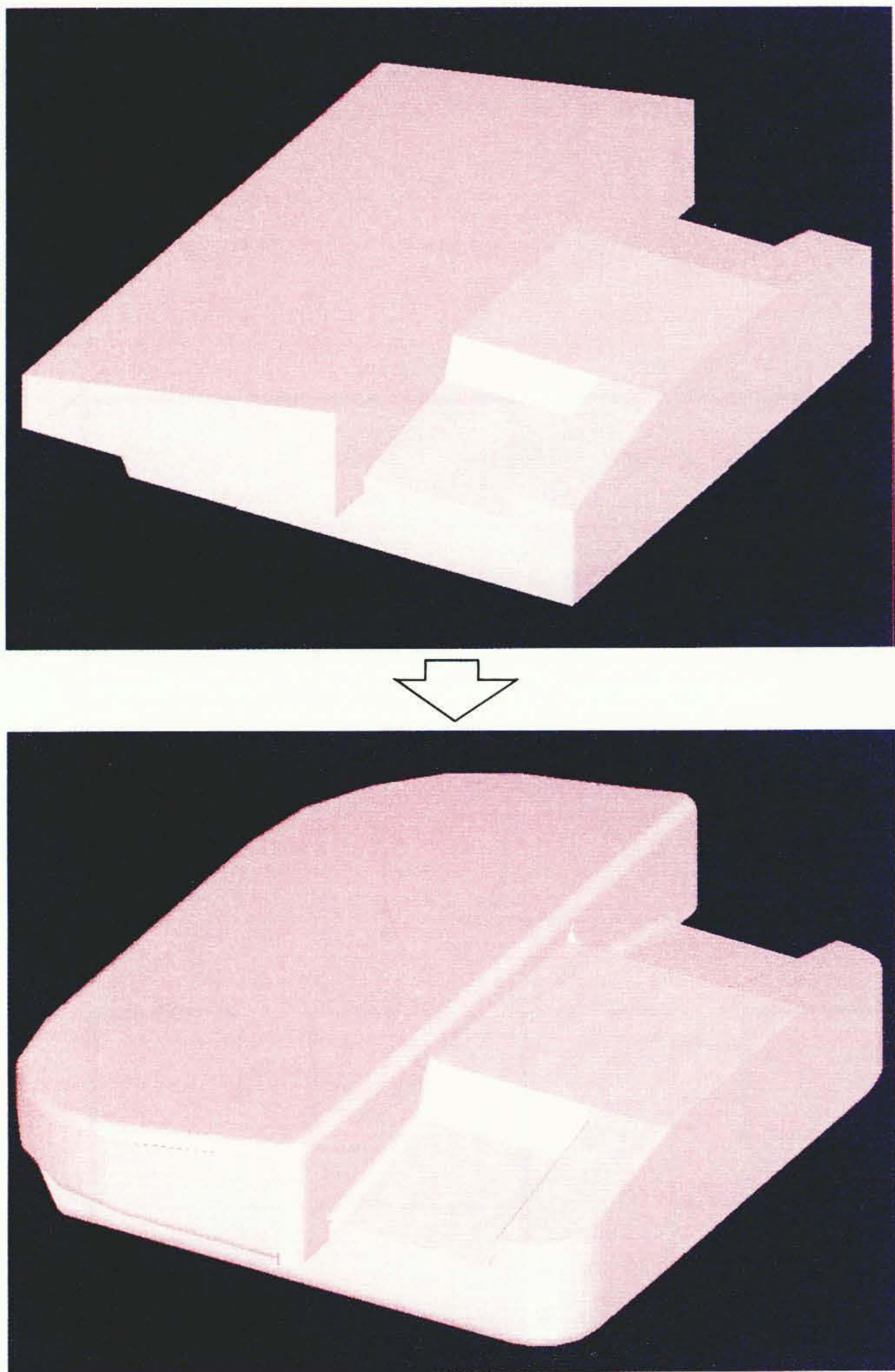


図4 局所変形操作の例 形状の変形は容易である。図は丸め変形操作の例であるが、他にも稜(りょう)線や頂点、面の移動が簡単にできる。

3.3 カスタマイズ化の考慮

ユーザーが専用のアプリケーションプログラムを作成できるように、システムの基本的な機能、例えば、コマンドの入力、ビューの設定、形状データの作成・修正、変形操作、幾何計算などの機能を関数ライブラリで公開した。

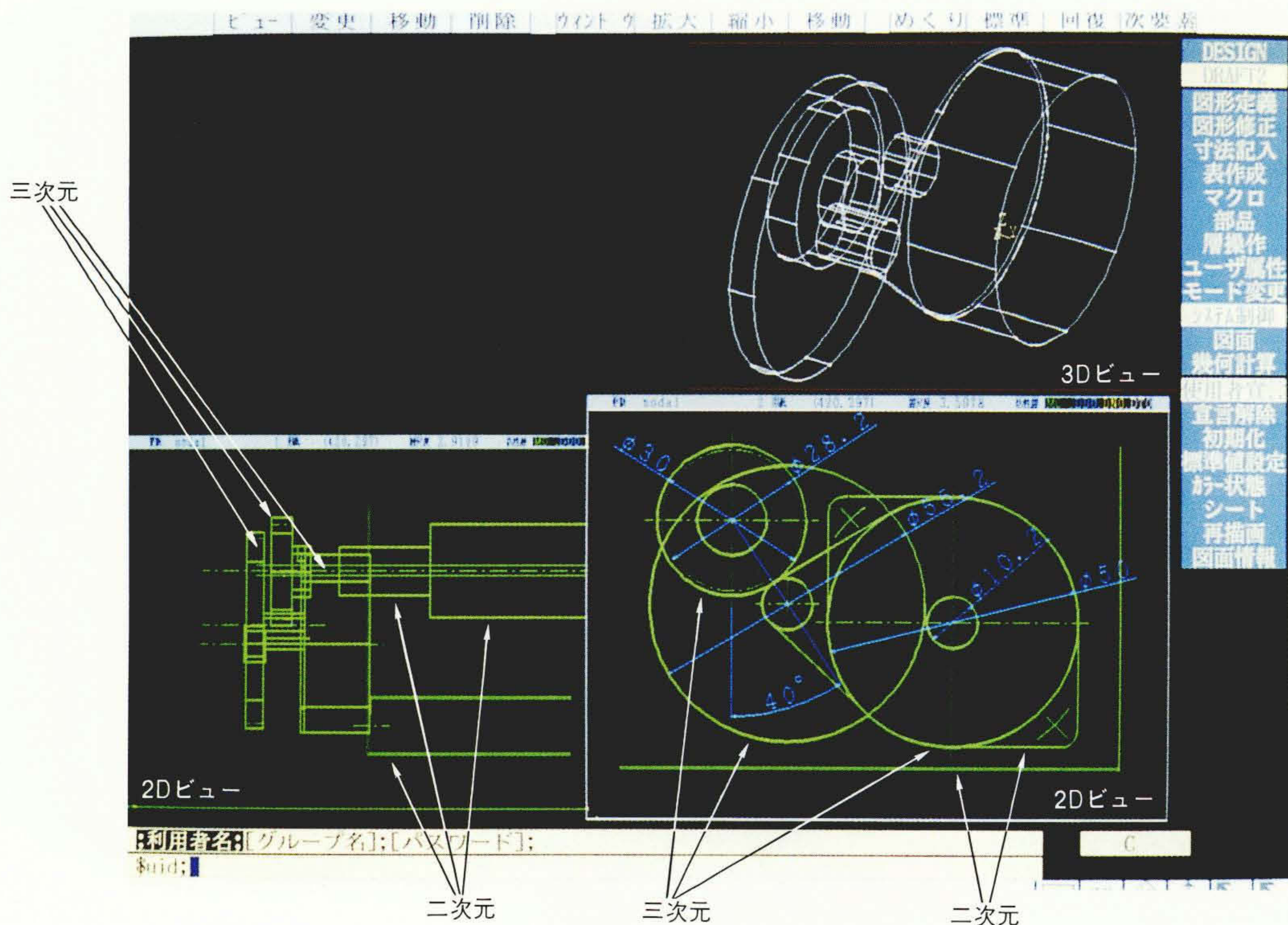
また、画面のメニューをユーザーが作り変えられるようにした。コマンドのメニュー上の位置、コマンドの名称、ガイダンスメッセージの内容を変更したり、追加したりできる。

詳しくは4章で述べる。

3.4 製図システムとの一体使用

立体設計システムと製図システムとを統合して使用すると、同一画面上で三次元形状作成と製図とが同時に実行できるだけでなく、三次元と二次元の操作を互いに融合させた操作ができる。立体設計システムで作成した形状モデルを投影した形状を図面データとして利用できるし、逆に従来の製図システムの図面データを読み込んできて三次元形状作成に利用することもできる。これらの図面データに対して従来の二次元設計・製図システム⁴⁾と同じ操作で図形定義、寸法・注記・表記入などの製図ができるようにした(図7参照)。

こうして作成した図面データは、二次元設計・製図システムの図面データと同一形式なので、三次元システム内で作成した図面を二次元システム内のアプリケーションプログラムで利用することができる。フライス・穴加工システム⁴⁾では図面データを基に、加工条件(工具仕様、送り速度など)、位置決めなどの工具動作を指定して工具経路を計算する。NC工作機用の入力データは、数値制御ポストプロセッサを用いて、



注：略語説明
2Dビュー
(二次元ビュー)
3Dビュー
(三次元ビュー)

図5 三次元・二次元のデータおよび操作の融合 三次元の投影図と二次元形状データを混在表示できる。ある部分は、三次元で、残りは二次元で設計検討をすることができる。

3.6 種々の評価を可能とする解析支援システム

立体設計システムで作成した形状データを基に、構造解析をするために機械系統合プリ・ポストプロセッサ(以下、単にプリ・ポストプロセッサと略す。)と解析メッシュ作成システムの二つのプログラムを開発した。プリ・ポストプロセッサは、有限要素法の解析データを対話形式で用意する機能と、解析結果を理解しやすいように表示する機能を持つ。解析メッシュ作成システムは、立体設計システムで作成した形状データをプリ・ポストプロセッサで使えるようにする製品である。これによって、意匠の評価やNC加工などに使える汎(はん)用的な形状データを、解析でも利用できるようになる。

プリ・ポストプロセッサの特長は次のとおりである。

- (1) 形状作成、メッシュ分割、拘束条件入力などの指示は任意の順に入力できる。
- (2) 解析結果は、等高線表示、主応力表示、ベクトル図表示、グラフ表示など多彩な表示で評価できる。
- (3) 途中結果を退避でき、障害に備えることができる。
- (4) 標準の解析プログラムのほか、ユーザーインターフェースを利用して種々の解析プログラムと接続することができる。

3.7 曲面加工システム

曲面加工システムは自由曲面の三軸NC加工を行うためのシステムであり、その特長は次のとおりである。

- (1) 複数の曲面作成手段を提供

立体設計システムまたは製図システムで作成した形状を利用することも、直接、点群、曲線、曲面データを入力して、サーフェスモデルを作成することもできる。曲面定義機能として、解析面、ルールド面、回転面、CL-GL(Character Line-Guide Line)面を用意した(図9参照)。

- (2) 正確な面モデルの作成が容易

必要な曲面を直接定義し、これらを組み合わせてモデルを作る方式を採用した。面の定義と、切断およびフィレットの基本操作で、正確な面モデルを作成することができる。

- (3) 高精度の加工データ

対話形でカットパスを定義し、その経路を画面に表示し、結果をAPTのCL(Cutter Location)データ形式で出力する。高精度の加工を可能とするための計算アルゴリズムを採用し、倍精度演算を行っている。

- (4) 荒加工から仕上げ加工まで対応

加工法として、荒加工、単曲面加工、複合曲面加工の3種類を用意した。工具タイプとしては、ボールエンドミルおよびフラットエンドミルをできるようにした。

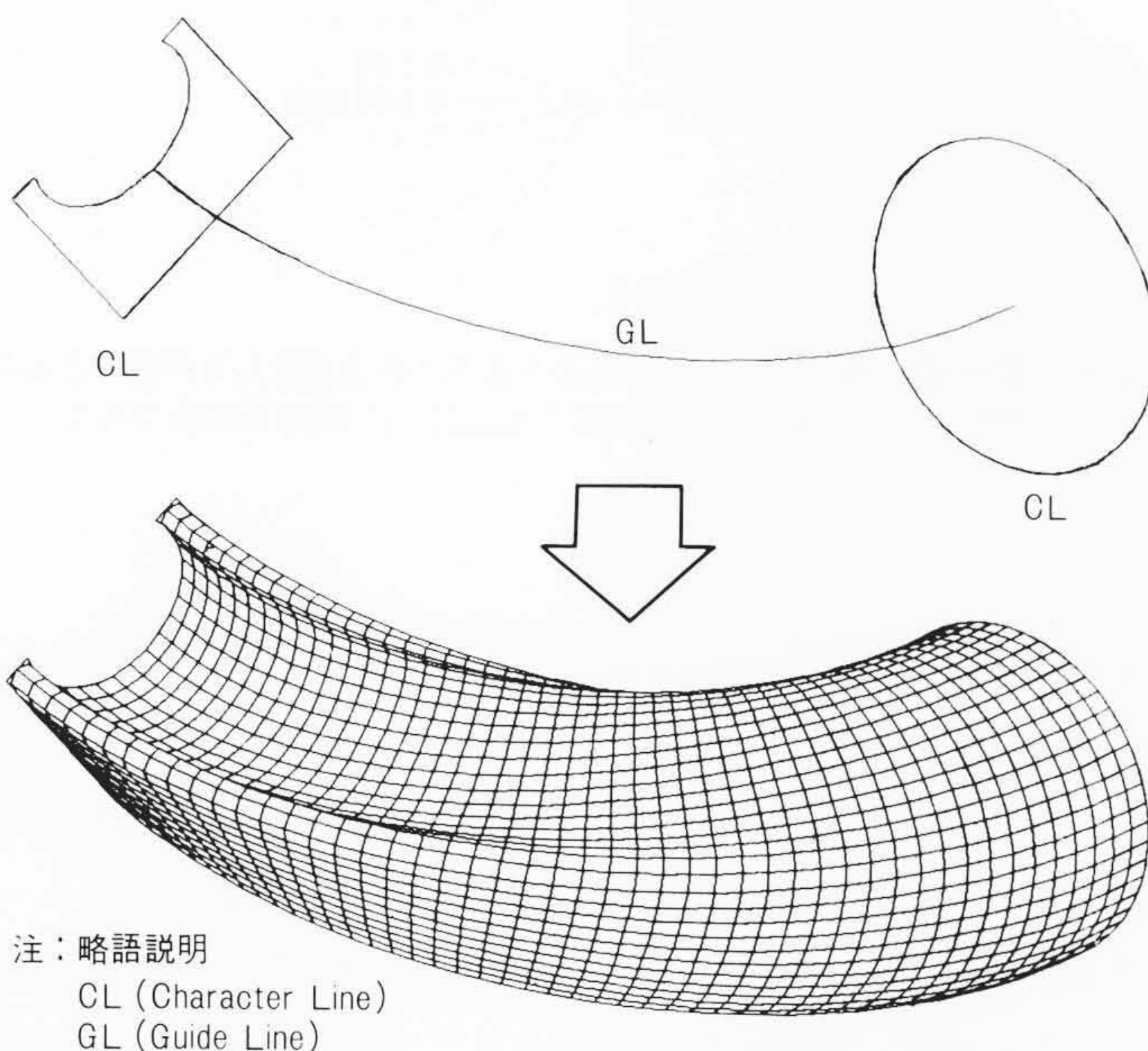
4 カスタマイズ機能

三次元HICAD/Wは、カスタマイズ機能として、(1)表示色、ビューの初期設定などの標準値の変更、(2)複数の製図コマンドを一つのコマンドにまとめる機能、(3)ユーザーコマンドお

よびメニューの作成、(4)ユーザーの標準部品の登録、(5)ユーザー専用システムの作成、を可能としている。以下、前述した(3)と(5)について説明する。

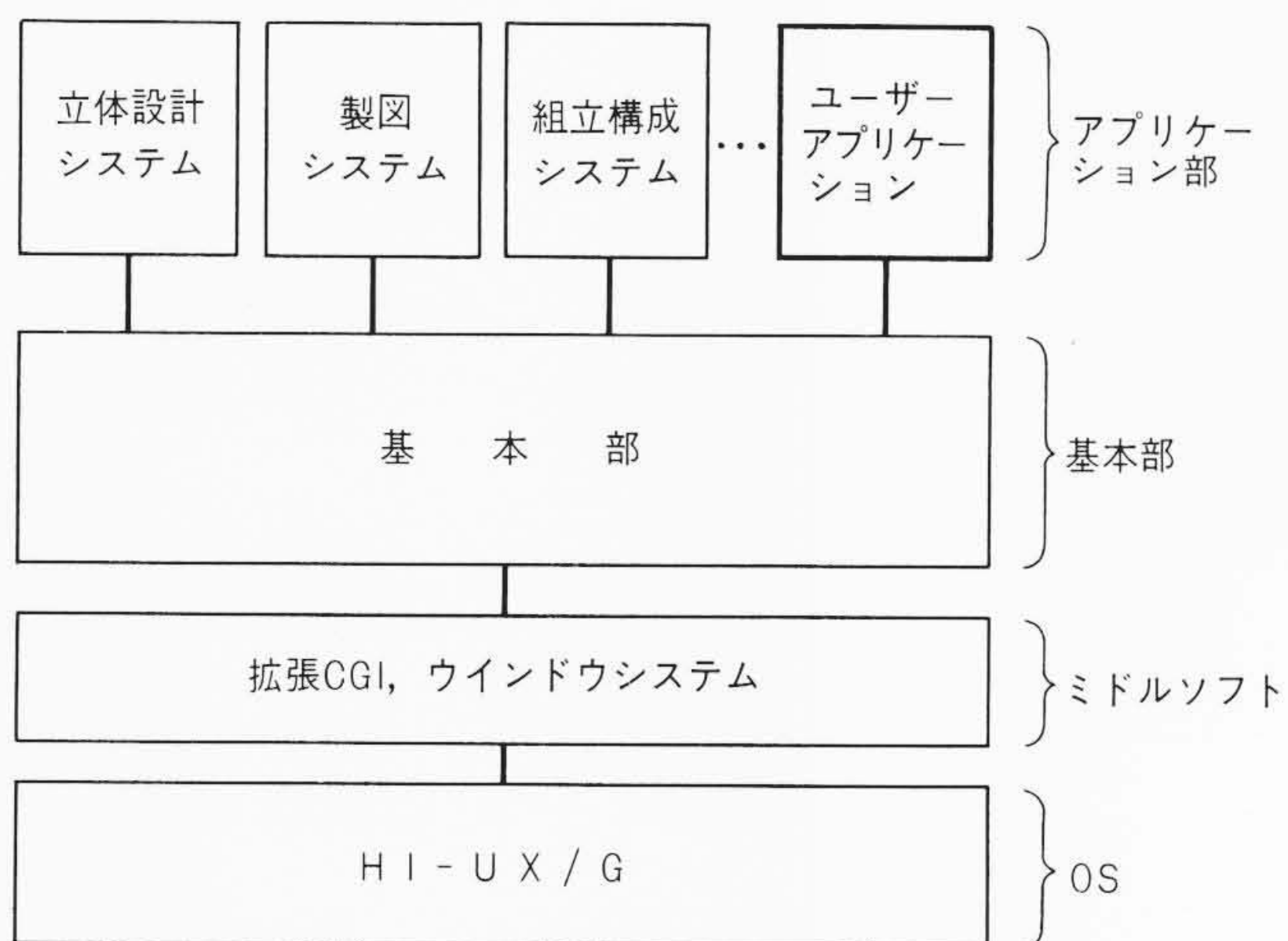
4.1 ユーザー専用システム作成機能

三次元HICAD/Wは、基本部とアプリケーション部に大きく2階層に機能分けをしてプログラムを提供している。そうして、基本部の機能をC言語の関数ライブラリの形でユーザーにも公開することにした。これを利用することによって、図10に示すように、メーカーが提供する標準アプリケーションと同じ位置づけで、ユーザーが独自のアプリケーションプログ



注：略語説明
CL (Character Line)
GL (Guide Line)

図9 CL-GL面の例 曲面形状を特徴づける曲線(CL曲線)をガイド線(GL曲線)に沿って動かすことによって曲面を作成する。設計者のイメージする曲面の作成に有効である。



注：略語説明 CGI (Computer Graphics Interface)

図10 システムの機能階層とユーザーアプリケーションの位置づけ ユーザーは基本部の機能を利用して、システムの標準アプリケーションプログラムと同じ位置づけでユーザーアプリケーションプログラムを作れる。

ラムを作成することができる。また、標準アプリケーションの中にユーザー独自のコマンドを作り込むこともできる。

基本部が提供する主な関数ライブラリには次のものがある。

(1) 入力制御

コマンドおよびコマンドのパラメータを入力する。

(2) 表示制御

ビューおよびビュー属性の定義、層・図形・要素の属性設定、幾何形状の表示などを行う。

(3) 形状操作

三次元形状の作成・修正、集合演算、丸め変形操作、逆操作・再操作、座標変換などの形状に関する操作を行う。

(4) 幾何計算

行列演算、方程式の解を求めること、直線・平面・曲線・曲面間の交点などの算出を行う。

以上の関数を利用してユーザーの望むコマンド処理プログラムを作ることができる。

また、立体設計システムおよび製図システムの中にユーザー独自のコマンドを組み込む場合に、コマンド処理ルーチンを作りやすいように、これらの標準アプリケーションが備えている表示などの共通ルーチンをユーザーに公開している。さらに、もっと簡単にコマンド処理ルーチンを作れるように、システムのコマンド処理ルーチンをそのままユーザープログラムから呼び出せるようにした。これによって、まとまった高度な機能レベルでシステムの機能を利用でき、ユーザーのコーディング量を減らすことができる。

このほか、製図システムでは、各種のユーザー出口ルーチンを組み込めるようにしてあり、システムの標準コマンド処理にユーザー独自の処理を追加することができる。これによって、(a)図面へのアクセスの可否をユーザーが判定すること、(b)図面にユーザー独自の検索情報を追加設定して、独自の図面検索を行うこと、(c)独自の図枠を設定することなどが可能である。

4.2 メニューの専用化機能

コマンドの入力手段である画面メニューは図11の例のように階層トリートメント構造をなしており、使い勝手に直接影響するところである。このメニューの構成を組み替えて、コマンドの位置を好きなところに変えたり、コマンド名を変更できるようにした。

メニューの位置、コマンド名、パラメータの種類と属性、出力するガイダンスメッセージなどを定義したメニュー定義ファイルの内容を公開しているので、これを自由に編集・修正すればよい。

5 データの集中管理

EWS単独では大量のデータを保管するにはディスク容量が不足するとか、大規模の構造解析をするにはCPU能力が不足

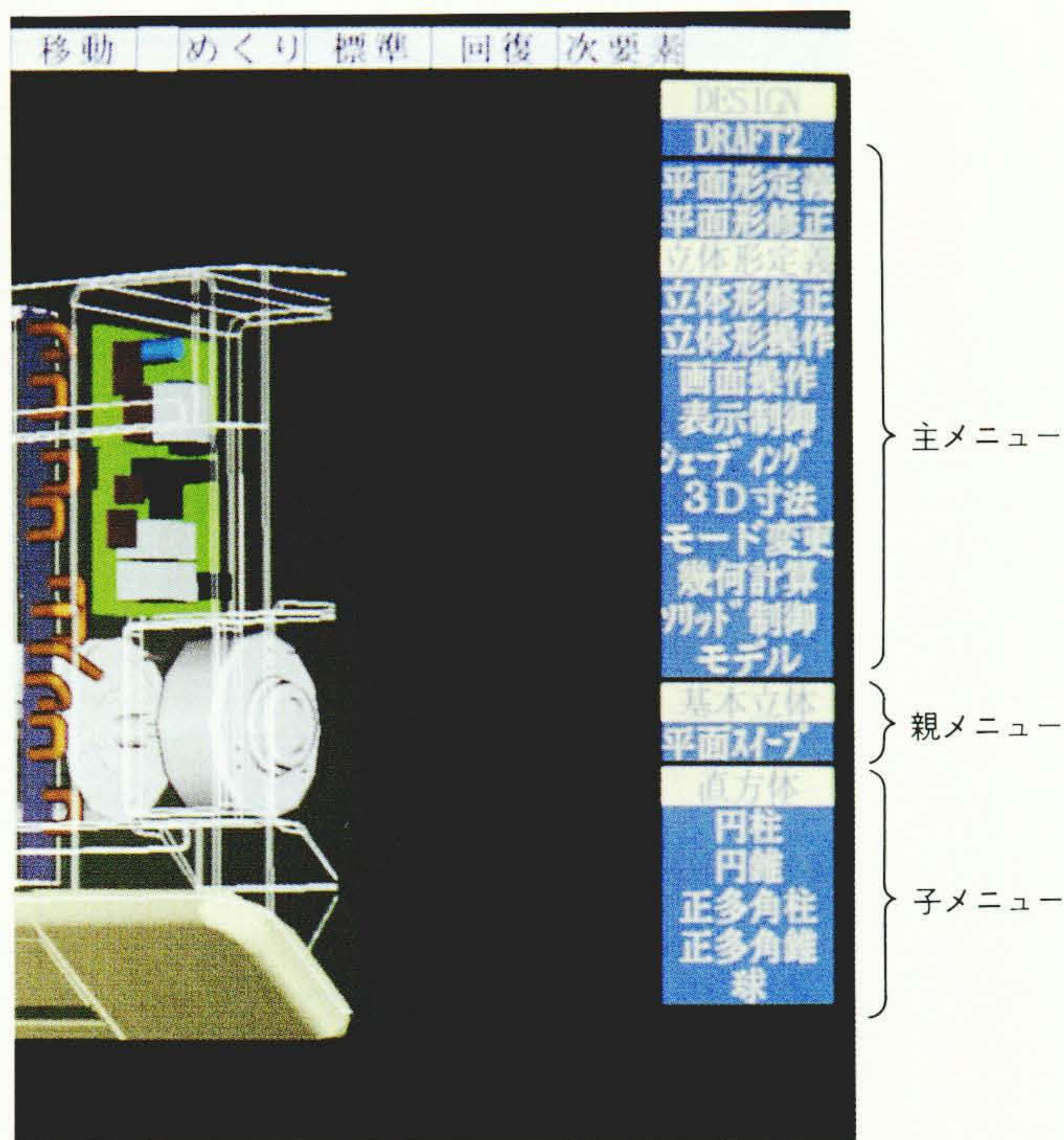


図11 画面メニューの例 コマンドの入力手段である画面メニューは、階層トリートメント構造をなしている。ユーザーがメニューを組み替えることができる。

するという問題がある。日立製作所は、大形汎用コンピュータおよびスーパーコンピュータを含めて、EWSをネットワークで結ぶことによってこの問題を解決している。

5.1 ネットワークの構成

2050Gはネットワークとして、クリエイティブワークステーション2050、2050/32と同様に、日立トークンリングネットワークTR4、WS-NETおよびIEEE802.3準拠の日立CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)ネットワークCD105をサポートした。

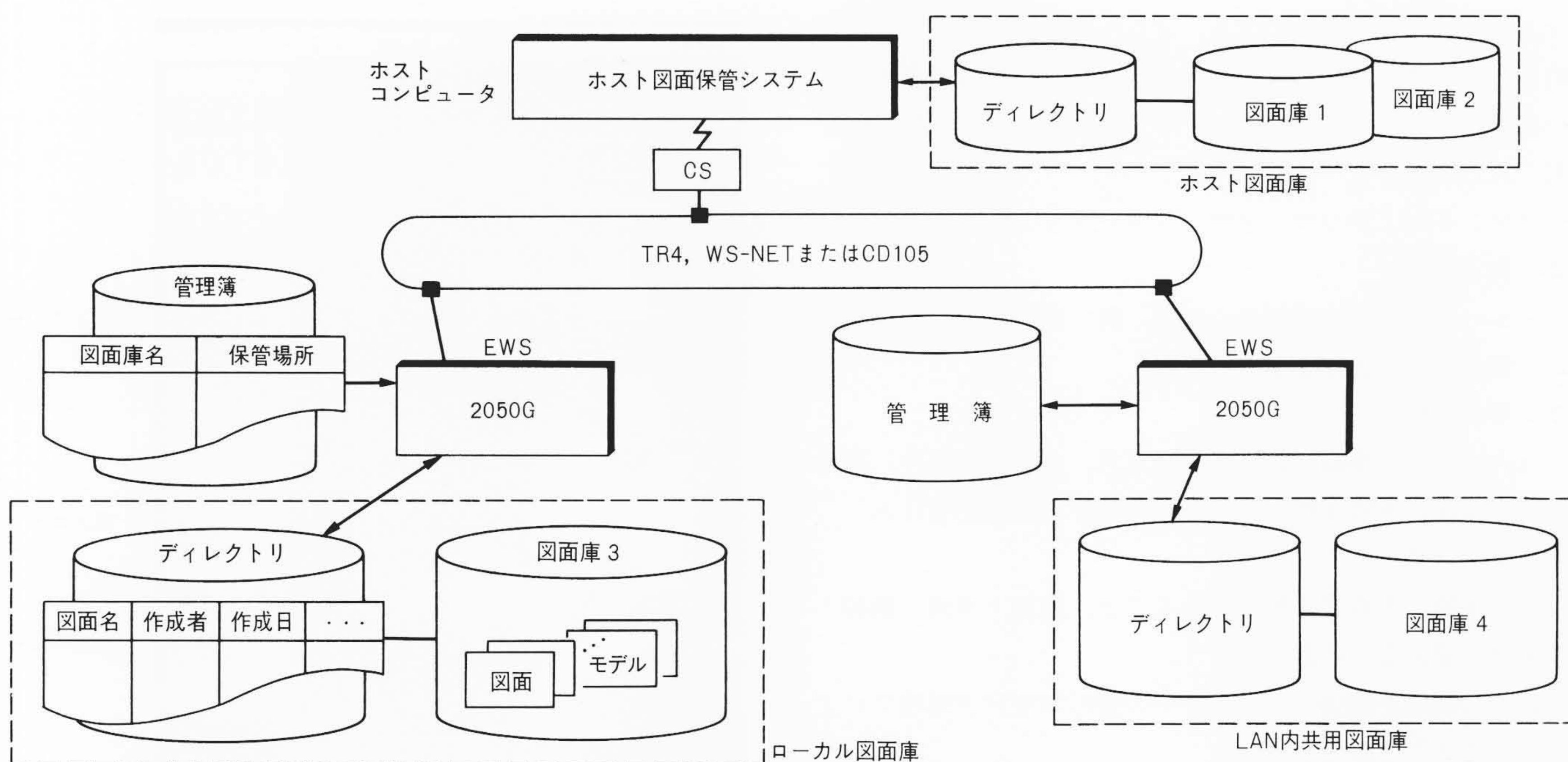
メインフレームコンピュータとEWSの垂直分散の接続方式は、日立製作所のシステムOAで採用しているマイクロメインフレーム結合(MMC)⁵⁾の処理形態に従い、AP(Application Process)間通信機能を利用してEWS側のアプリケーションプログラムとメインフレーム側のアプリケーションプログラム(サーバ)とでデータの受け渡しをしている。

このような構成で、メインフレームでのデータの集中管理、構造解析プログラムの実行、RFSによるネットワーク内でのプロッタの共用、図面庫の共用などを可能とした。

5.2 データの集中管理

(1) データの保管場所

図面およびモデルデータは同等に取り扱えるようにし、どちらも図面庫という入れ物に格納することにした。図面庫は実際の図面またはモデルデータの入った本体と、これらの登録台帳であるディレクトリから成る。このディレクトリには図面名またはモデル名と、作成者、作成日、更新日付などの



注：略語説明 CS (Communication Station), TR4 (日立トークンリングネットワーク), WS-NET (日立ワークステーションネットワーク)
CD105 (日立CSMA/CDネットワーク)

図12 図面、モデルデータの保管場所 図面、モデルデータは図面庫に格納され、図面庫はネットワーク内のどこに置いてよい。所在場所は、管理簿でシステムが管理するのでユーザーは意識しなくてよい。

属性データが記録される。

図面庫は図12に示すように、ネットワーク内のどこに置いてよく、複数の図面庫を分散して置いてよい。ある図面庫がどこに存在するかは、あらかじめ管理簿に登録しておく。

各設計者が利用するときには、図面庫名を指定するだけでよく、それがどこに存在するかは意識しないで済む。

(2) 図面・モデルデータのホストでの保管

メインフレームコンピュータで大量の図面・モデルデータを保管するために、ホスト図面保管システムを設けた。図面庫本体はHOAPMOLS(マルチメディア情報保管サービス)⁶⁾を利用し、ディレクトリにはRDB1(Relational Data Base1)を採用した。

ホスト図面保管システムによって、(a)ホスト図面庫のデータをEWSから検索、(b)EWS上のデータをホスト図面庫に登録、(c)図面庫間でのデータの移動や複写、(d)ホスト図面庫のデータのバックアップ、がEWS側からホストを意識しないで可能となる。

(3) データの条件検索

(1)で述べた図面庫のディレクトリに記録されている作成者名、作成日などの属性データを検索条件として図面またはモデルデータを絞り込み検索できるようにした。

(4) 機密保護

設計者がどの図面庫にアクセスしてよいかという機密保護については、設計者が属するグループ単位に図面庫に対するアクセス権限を登録できるようにした。

6 結 言

CADシステムに対するユーザーニーズに対応して開発したEWS形の本格的三次元システムの開発のねらいとシステムの概要および特長について述べた。設計の上流工程から適用できること、二次元と三次元の融合、カスタマイズしやすいことなどを目標として開発し、対応する機能を実現した。平成1年12月から出荷を開始したが、その後も機能の強化やプログラムコンポーネントの拡充に努めている。

今後さらに、拘束関係を考慮した部品組み立て機能や、より人間の感性に合った自由曲面の生成法など、設計者・技術者の負担を軽くする機能を追加していく予定である。そして、彼らがより創造的な仕事に専念できるようなCAD/CAMシステムにしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 渡谷, 外: CAD/CAM/CAEにおける最近の動向と日立製作所における展開, 日立評論, 69, 2, 89~94(昭62-2)
- 2) 高松, 外: エンジニアリングワークステーション2050Gシリーズ, 日立評論, 72, 3, 255~260(平2-3)
- 3) 特集 CADシステムのカスタム化, PIXEL, No.77, 106~132(1989-2)
- 4) 製品紹介 ワークステーション形2次元CAD/CAMシステム“HICAD/W”, 日立評論, 71, 6, 576(平1-6)
- 5) 大島, 外: システムOAの特長と製品体系, 日立評論, 69, 6, 503~510(昭62-6)
- 6) 木村, 外: システムOA基盤製品“HOAPSERV”, 日立評論, 69, 6, 525~530(昭62-6)