

56-R004

# CAE (Computer Aided Engineering) に関する調査研究報告書

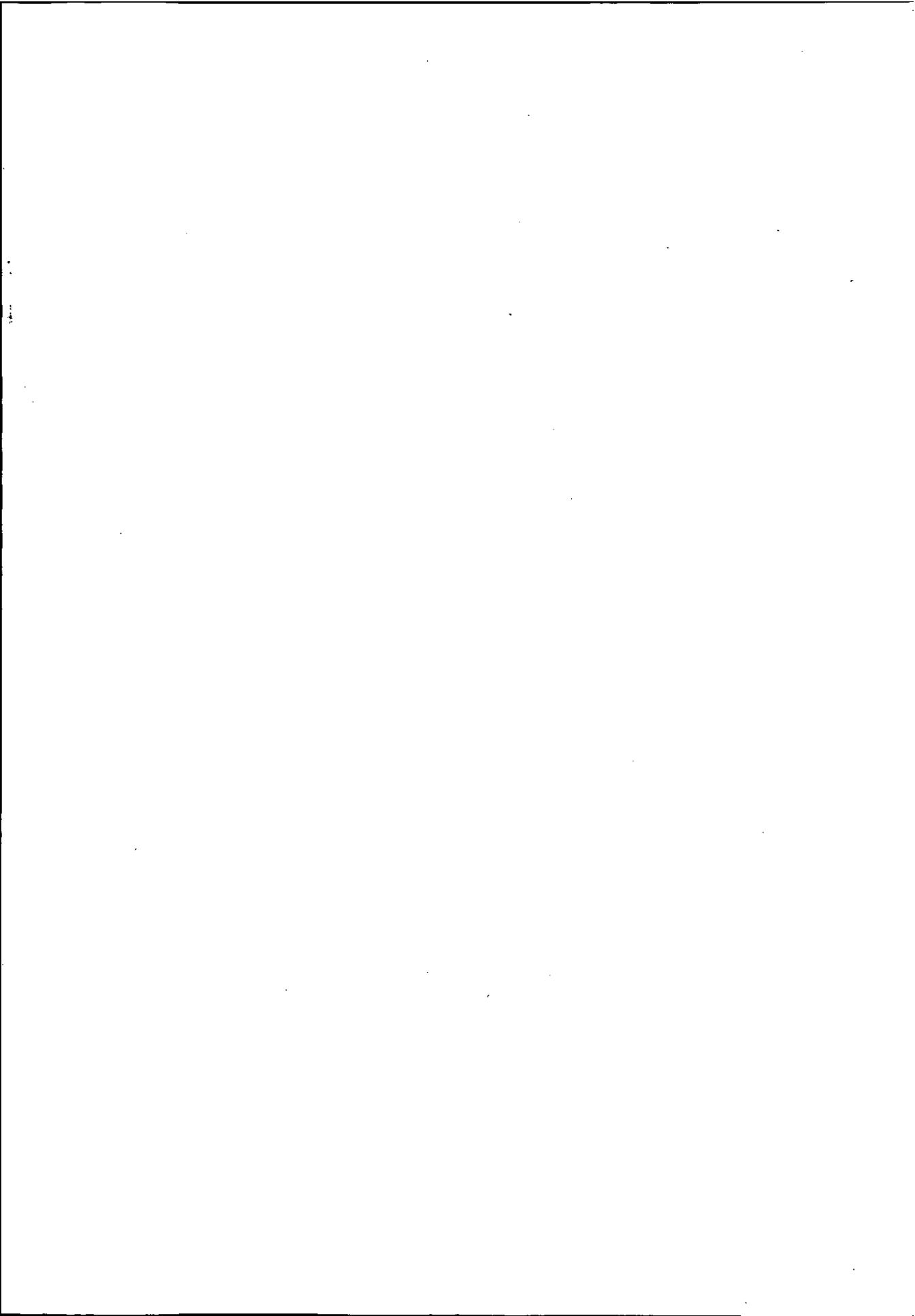
—CADの新しい方向を探る—

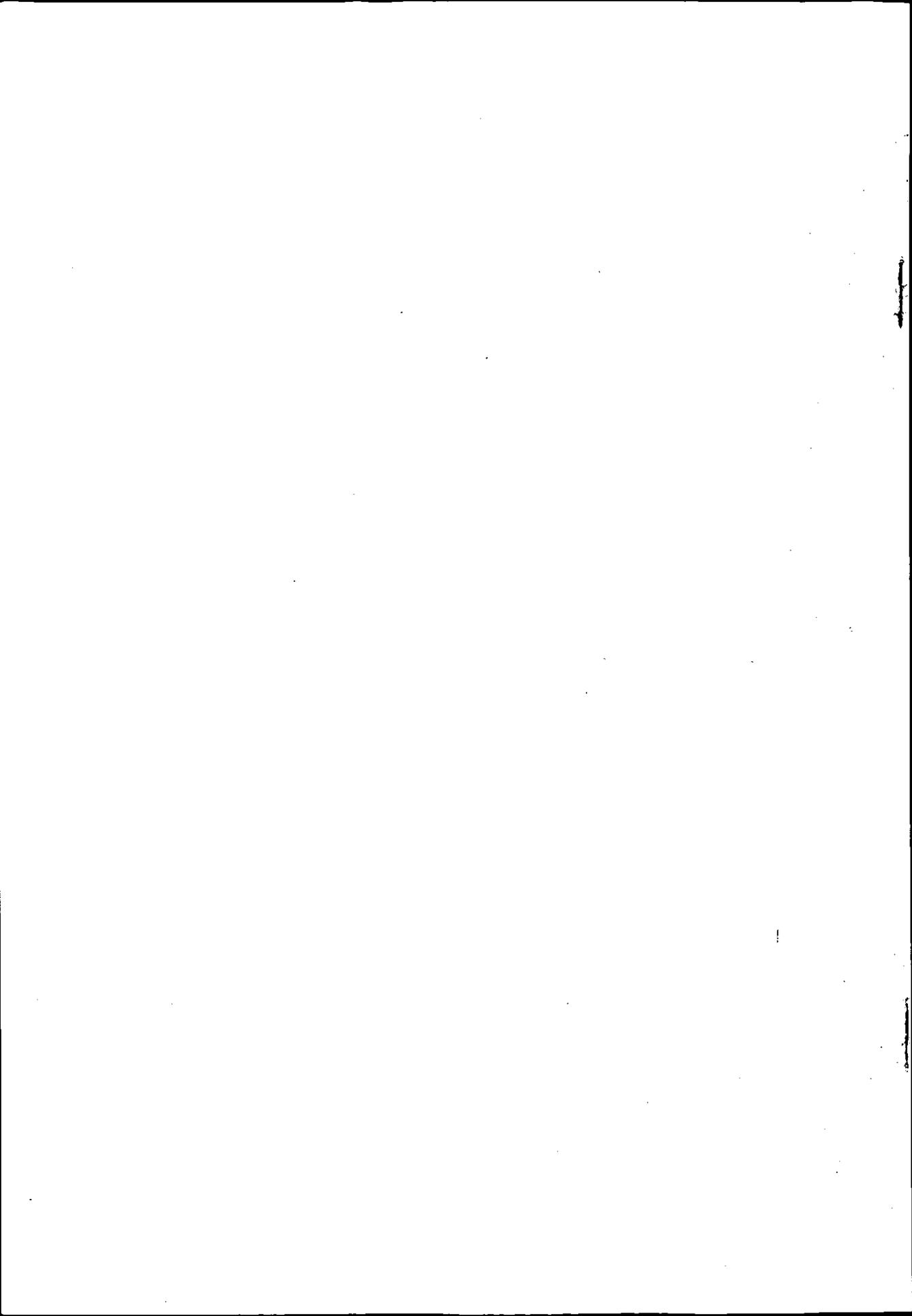
昭和57年 3月



財団法人 日本情報処理開発協会

この報告書は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて昭和56年度に実施した「わが国情報処理の動向に関する調査」の一環としてとりまとめたものであります。





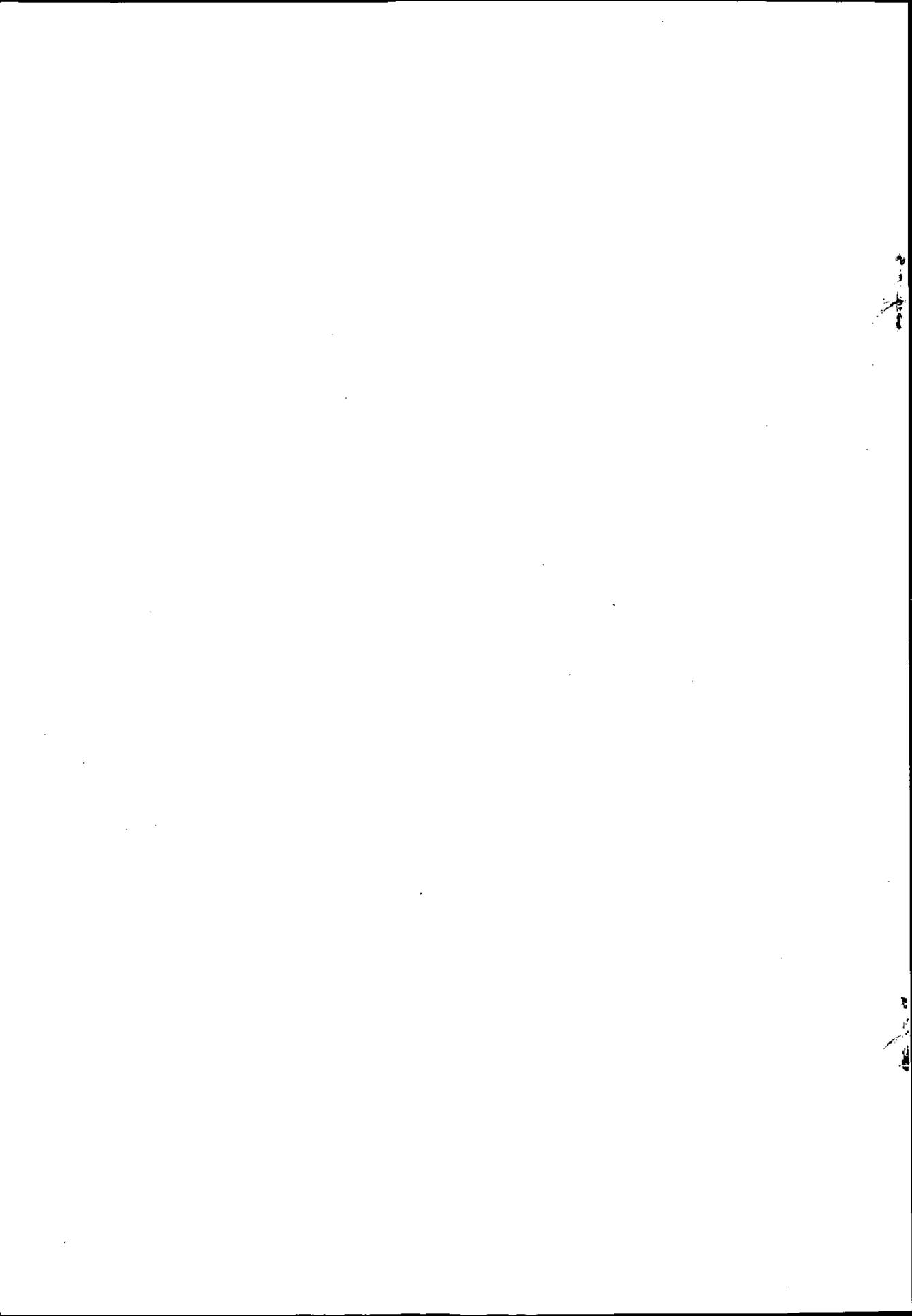
## はじめに

生産システムの合理化のなかで、コンピュータの支援による設計(CAD)及び製造(CAM)に対する関心と導入が著しい。その背景には、マイクロ・エレクトロニクスの発展、図形処理技術の進展などが挙げられる。しかしながら、今日の企業におけるCAD/CAMシステムの利用は製図の自動化とNCテープの作成に偏しているため、設計・製造業務全体を対象にこれらを統合化したCAE(Computer Aided Engineering)への発展について研究が行われている。

このような状況のもとに、当協会ではCAEの問題をとりあげ、特にその上流部分である製品の構想、設計、解析、実験等の各フェーズにおいて、統合的にコンピュータを利用するシステムを調査研究した。この中には、CAEのアプローチとして、3次元ソリッドモデリング、図形処理、有限要素法、ラボラトリ・オートメーション、エンジニアリング・データベース等を取りあげた。

本報告が広く各方面に利用され、わが国情報処理の発展の一助となれば幸いである。最後に、本調査研究にあたってご尽力いただいた委員各位に心より感謝の意を表します。

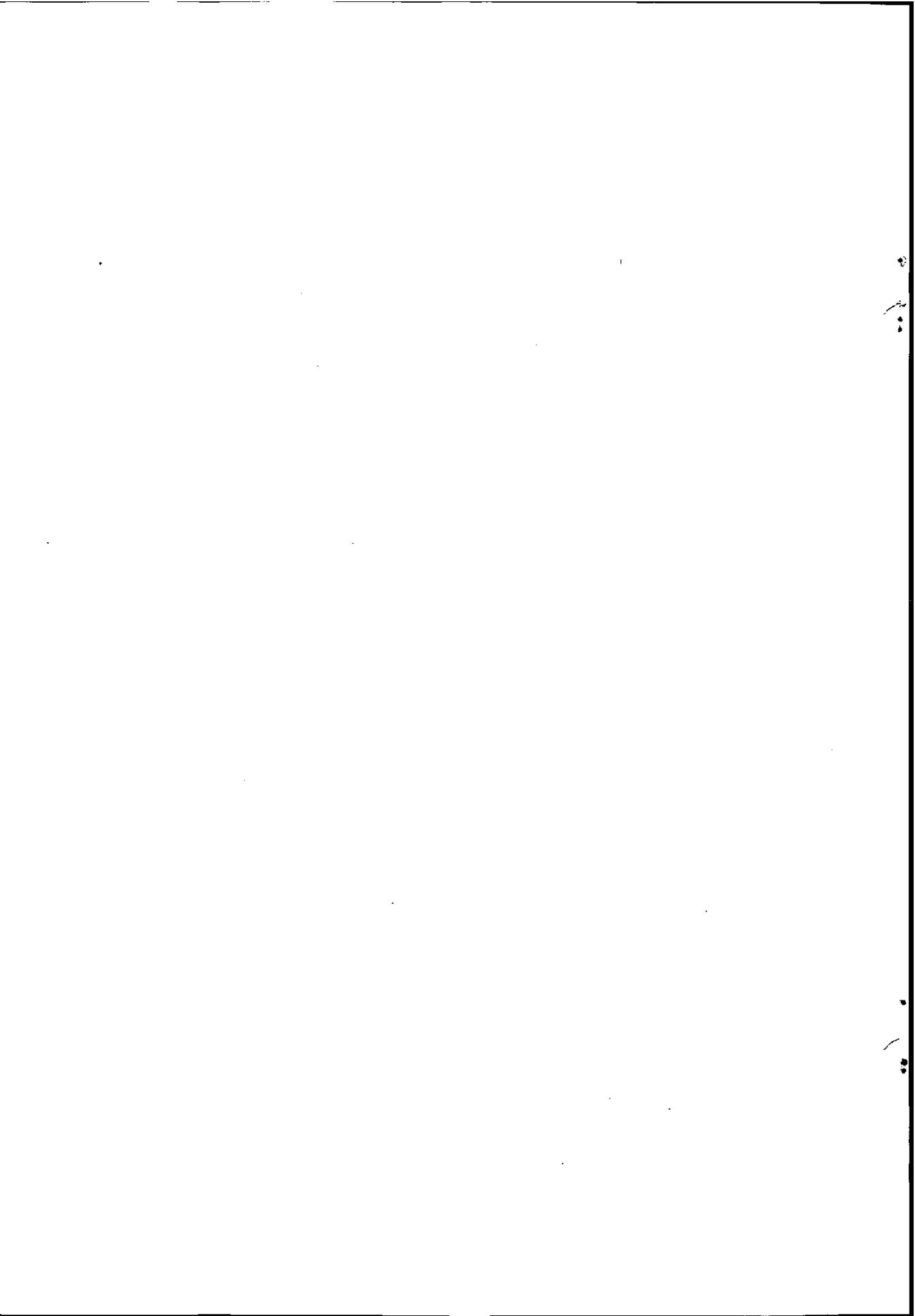
昭和57年3月



## 「C A E 調査研究委員会」構成

(敬称略)

委員長	沖野 教郎	北海道大学工学部精密工学科 教授
副委員長	綾日 天彦	三井造船(株) 電算室 室長
委員	清水 弘夫	日立製作所コンピュータ事業部技術本部第1技術部
	長岡 仁	新潟鉄工所機械技術本部 副本部長
	橋本 栄一	富士通(株) システム本部第2システム統轄部 メカトロニクスシステム部 部長代理
	藤原 祥三	三菱重工業(株) 技術本部技術管理部 主管
	松浦 卓丈	三菱電機(株) 情報システム部 部長代理
	松岡 進士郎	大林組電子計算センター 次長
	難波田 愈	日本電気(株) C&Cシステム研究所 応用システム部研究課 課長
	村田 弘	東京芝浦電気(株) 生産技術研究所 主研
	百々 一成	沖電気工業(株) 生産統括グループ
	山村 贊平	(財)日本情報処理開発協会 常務理事
	山本 順一	(財)日本情報処理開発協会 技術調査部 部長
事務局	(財)日本情報処理開発協会	技術調査部調査課



# 目 次

1. 総 論	1
1.1 CAEの概念	1
1.2 CAEの動向	2
1.3 調査の概要	8
1.4 CAEのニーズ	9
2. CAD/CAM利用の現状	16
2.1 CAD/CAMユーザーの現状	16
2.2 CAEの背景	20
2.3 CADビジネスの現状	32
2.3.1 CADのビジネス環境	32
2.3.2 商用CADシステムの現状	34
3. CAEを支える技術的環境	54
3.1 図形処理技術の現状	54
3.2 図形処理装置の現状	60
3.2.1 CADシステムとデバイス	60
3.2.2 グラフィック・ディスプレイ装置	62
3.2.3 図形入力装置	83
3.2.4 ハードコピー装置	87
3.3 解析, シミュレーション技術の現状	91
3.3.1 商用システム	91
3.3.2 FEMの実例	103
3.3.3 FEMの動向	126
3.4 ラボラトリ・オートメーションの現状	128
3.5 システムのインテグレーション	144
4. CAE実現のための課題	152
4.1 3Dソリッド・モデラー	152
4.2 エンジニアリング・データベース	168

5. 業種別ユーザーにおける展開と問題点	185
5.1 電子機器	185
5.1.1 はじめに	185
5.1.2 論理装置の設計プロセス	189
5.1.3 方式設計におけるC A D	192
5.1.4 論理設計におけるC A D	194
5.1.5 実装設計におけるC A D	199
5.1.6 論理装置におけるC A D	209
5.2 自動車工業、重工業	218
5.2.1 自動車工業	218
5.2.2 航空機関係	234
5.2.3 原子力発電プラント関係	243
5.2.4 造船関係	251
5.3 土木・建築・エンジニアリング	258
5.3.1 現状と問題点	258
5.3.2 建設設計でのC A D利用の進展	260
5.3.3 先進各社のシステム	263
5.3.4 建設分野での特殊利用領域	272
5.3.5 建設設計技術とC A D技術	272
5.3.6 今後の問題	274
5.3.7 建設業界におけるC A Eの展開	275
6. 今後の課題	282
6.1 企業戦略からみたC A E	282
6.2 基本的ニーズの分析	283
6.3 ユーザー・サイドに立った課題	284
6.4 人間、他システムとの親和性及びユーザー・システムの流通	287
6.5 エンジニアリング・データベースの拡がり課題	288
6.6 論理装置のC A Dにおける今後の課題	288
6.7 C A E受入れ側の問題	290
6.8 目標設定の問題	291
6.9 C A E開発の留意点	293

# 1. 総 論

## 1.1 CAEの概念

いわゆるターンキィCADシステムに始まるCADのブーム的展開は最近ますます盛んであるが、その一方でミニコンピュータ・ベースのターンキィ・システムの限界が見えて来たようである。代ってCAEなる概念が誕生し、広く設計技術者の関心をひいている。

CAEという言葉は以前からあるが、最近SDRC社がその商品との関連で盛んにキャンペーンを行い、IBMが同調したことによってCAD関係者の口の端に上るようになって来た。ただ、その内容はCADが本来目指していたものと変わるところはなく、目新しさを打ち出すための戦略的色彩が濃いともいえる。しかし、注意すべきことはCAEがクローズ・アップされる裏には、現在のCADが本来のCADになっていないことを意味しているのである。すなわち、ターンキィ・システムに代表される現在のCADはComputer - Aided Design ではなく、Computer - Aided Drawingに過ぎないという痛烈な批判がこめられているのである。換言すれば本来のCADは、Drawing は従であり、Engineering の部分が主である。したがって、この状態をCADを進める側からいえばCADは現在、Drawing の部分を卒業しその本来のDesign の部分に向って本格的な一歩を進めつつあると見ることができる。これがCAE Approach である。

SDRC社の刊行しているドキュメントによればCAEについて次のような記述がある。

「CAEは基本設計から詳細設計まで設計の全体を網羅する手法である。製品や部品の形状ばかりでなく、製品全体の騒音や振動などの動的特性の評価から、強度、効率、慣性などを考慮した個々の部品の詳細設計までの過程を、製品全体の性能が十分満足されるまでコンピュータ内のモデルの修正を繰り返すシミュレーションのためのシステムである。従来のCADが部品を中心に図形処理に焦点が置かれているのと比較すると、あたかも製品が実在するかのように、すべてコンピュータ内で数式モデルを使って試行錯誤を繰り返し、そのうえで設計の最終段階で自動作図、CAMシステムを利用する。」

ここに述べられた概念は設計のシミュレーション・プロセスをコンピュータ・エイデッドに行おうとする考え方であり、CADの祖ともいべきMITのCADプロジェクトにも、またその後のGeometric Modeling の構造の中でもはっきり謳われている概念である。しかし、今さら といっではならない。技術の発展過程とはこのようなものである。発想は古くからあっても実現までには長い期間を要するのが普通であり、環境が熟するまで待たねばならない。また名前を変えることによって新鮮味を与えることも、ブーム的展開を期待するための方策として有効なのである。

以上のようにCAEをCADのうちの設計シミュレーションのための技術と概念づける考え方に  
対して、エンジニアリングの部分をいわゆる工学と考え、CADを包含する広い概念として定義づ  
ける考え方もある。日本情報処理開発協会が昭和56年2月に、第5世代のコンピュータのための  
システム化技術研究分科会においてまとめた報告書には、CAD/CAMの概念を包含し、統合す  
るものとして、「創造的な開発型業種を対象とし、高度な複合化されたエンジニアリングおよび設  
計の分野で、人間のもつ創造力、直観力等の素晴らしい能力とコンピュータのもつ数値解析、大量  
データの蓄積らの優れた能力を調和させて活用することにより、創造的、知的業務の生産性を大幅  
に改善することを含む」と記述されている。ラボラトリ・オートメーションや、知識データベース  
はその萌芽であろう。

このような二種の定義のうち、本報告書ではまず前者の狭義のCAEをとりあげることにする。

## 1.2 CAEの動向

CAEの動向を述べるには、まずCADの原点MITのCADプロジェクトに触れねばならない。  
1959年にこの計画はスタートしているが、この計画の中で初めて提案されたCADの概念のうち、  
特に次の3点が重要である。

### 1) 設計者とコンピュータの対話

それまでの高級言語による一方的な入力ではなく、対話、特にコンピュータからの問いに答え  
る形での入力形式とすることによって、設計者のコンピュータ利用を容易にする。現在でもそう  
であるが、当時設計者にとってコンピュータは敷居の高いものであった。これを越え易いものに  
することは、CADにとって最初になすべきことであったのかも知れない。

### 2) 図を介する対話

製図板と鉛筆の代わりにCRTディスプレイとライトペン、そして当然背後にコンピュータがあ  
り、図を媒体にした対話形式はMIT、CAD計画の目玉であった。1963年にSJC Cで発表  
された有名なSketchpadは、この図を介しての対話に関する計画の具体化であり、図形の直接入  
力、修正、図形を含むコンピュータ出力の表示を行うことに成功している。

### 3) コンピュータ・エイデッド・シミュレーション

設計は過去の技術の集積を利用してシミュレーションを行い、最終結果を製造部門へ渡す図面

として作成していた。しかし、実際にはシミュレーションは容易でないで、過去の経験の蓄積がいわゆる設計式にまとめられ、設計者は設計式とデータ・テーブルを用いながら、経験による勘を最大限に発揮して最も妥当と思われる結果を得ていた。

コンピュータを利用することの利点はシミュレーションを納得ゆくまで行うことができる点にある筈である。その意味でCAD計画はコンピュータによるシミュレーションを前項の対話形式によって実施することを目玉としていた。図1-1にCAD計画の報告書中に見られるシミュレーションの一例を掲げる。

以上のうち1), 2)は現在のターンキィCADシステムとして実現し、3)がCAEとしてこれから本格化しようとしている。

すなわち、MITのCAD計画はSketchpadを生み出したものの、計画倒れに終り当時実現化することはなかった。逆になぜ実現しなかったかを考えることは、今後のCAEの展開に資することになるので次に触れてみよう。

MIT, CADプロジェクトの計画と実際のギャップをもたらした技術上の大きな要目は次の3点であった。

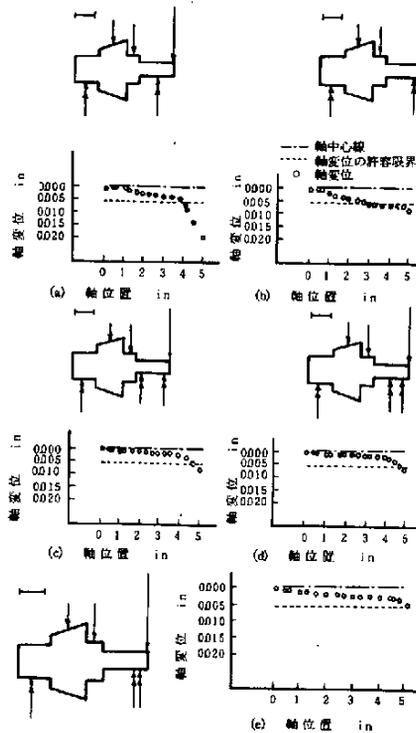


図1-1 CAD計画におけるシミュレーションの1例

① 3次元図形処理の困難性

図形処理の2次元問題に関しては Shetchpad においても、D. T. Ross の提案した Plex-structure を伴ってかなりの内容が取り扱われているが、3次元問題は当然のことながら著しく困難であった。これが一応の解決を見たのは漸く20年後の現在であり、CAD レベルではまだ解かれていないとさえいえる。

② モデリング概念の欠除

シミュレーションにモデリングは不可欠である。しかし、この計画にはコンピュータ向きのモデリングに関する一般概念が現われていない。したがってシミュレーションといっても、それはすべて問題向きの対応を必要とすることになり、CAD の効用は実際上現われるに至らなかった。

③ データベース技術の未熟

設計技術は本来過去の蓄積を利用する技術であるから、データベースは不可欠である。

しかし、この計画の時点でデータベース技術はまだ未熟であった。ましてCAD用のデータベースともなれば、それは短期間に作るにはあまりに大きな内容を含んでいた。現在漸くCADデータベースへの実際的アプローチがなされつつある段階である。

以上の3点を裏返しにすればCAEにとって少なくとも何が必要かがはっきりする。すなわち、

- (A) 3Dコンピュータ・グラフィックス技術
- (B) 3Dソリッド・モデラーによる形状モデリング技術
- (C) エンジニアリング・データベース

先述のSDRCも上の(B)および(C)をCAEを支える技術としてあげ、特に(B)についてはGEO MODと呼ばれるモデラーの開発さえもやっている。

まず(A)について考えると、歴史的にはCADAMに代表される2次元のドラフティング・システムが先ずあり、ワイヤー・フレームながら3次元を扱えるターンキィCADシステムが現われ、つづいてサーフェス・モデルと呼ばれる面を3次元で処理するシステムが最近実際化し、最後に完全3次元形状であるソリッド・モデルへのアプローチが進んでいる段階にある。

これを図示したものが図1-2であり、楕円で囲んだシステムがターンキィCADシステムである。現在はこのターンキィCADから矢印で示した二つの方向への発展がなされている時期と見ることができる。右下方への矢印の方向はマイコン・ベースのパーソナル図形処理システムであり、2次元図形処理が主体となる。左上方への矢印の方向はまずAD 2000に始まるサーフェス・モデルがあり、MCS社のANVIL 4000、GTC社のGMS 3200はその商用システムとして実際化している。

つづくソリッド・モデルは3Dコンピュータ・グラフィックス技術の行きつくゴールであり、図に示すよ

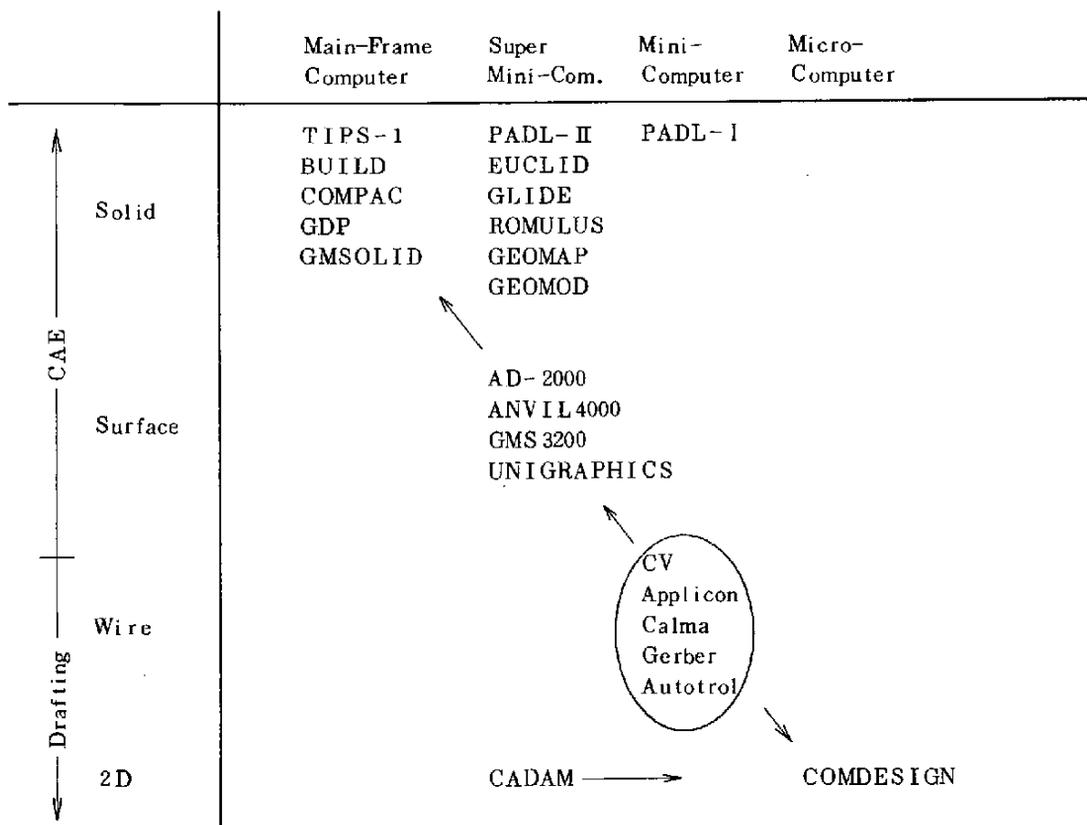


図 1-2 図形処理システムの動向

うに多数の実験システムが現れていることは研究の活発さを物語っている。しかも、これは(B)の3Dソリッド・モデラーによる形状モデリング技術 (Geometric Modeling) と一体化されて発展しているのである。Geometric Modeling は CAE の発展において核心となる重要な技術である。これもそのスタートは古い。図 1-3 は 1973 年の PROLAMAT に提出された Geometric Modeling に関する論文に記載のものであるが、これは CAE の目的とするシミュレーション・プロセス以外の何者でもない。これをもっとわかり易くするため書き直したのが図 1-4 であるが、これは CAE の基本となる考え方に一致する。

その後 CAM-I がそのプロジェクトとして Geometric Modeling を取り上げたことによって飛躍的發展を見、最近では商用システムもいくつか出現するようになっっている。

Geometric Modeling は図 1-4 に示すように多数のアプリケーションを伴うことによって CAE 用のシミュレーション・システムとして完成する。アプリケーションの種類は多岐にわたるが、このうち CAE として実用レベルで最も重要なのは FEM アプリケーションである。FEM (Finite Element Method = 有限要素法) は強力な研究開発の過程を経て、現在は設計のあ

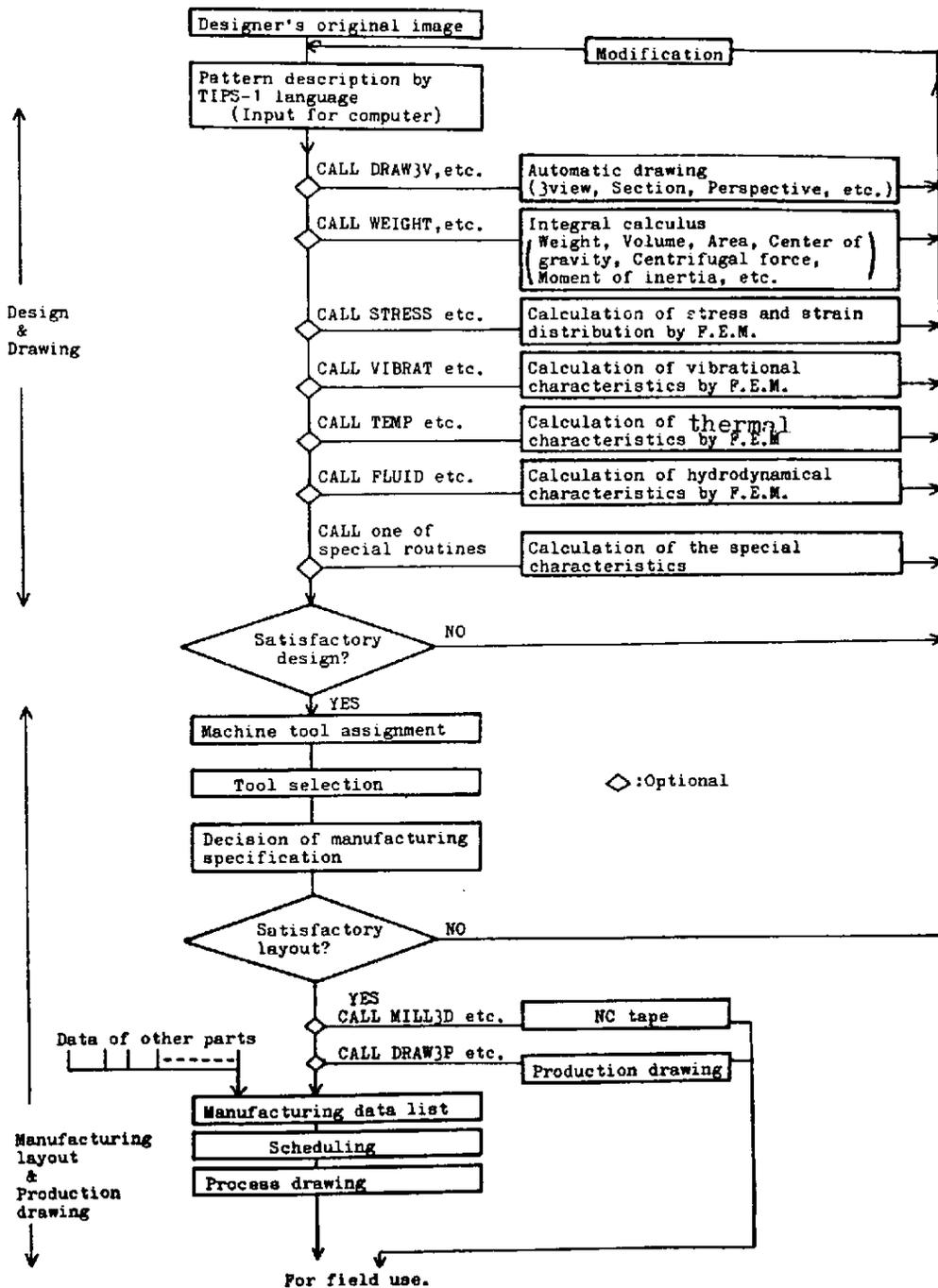


図1-3 Geometric Modeler とシミュレーションシステム  
(PROLAMAT73におけるTIPSの提案,1973)

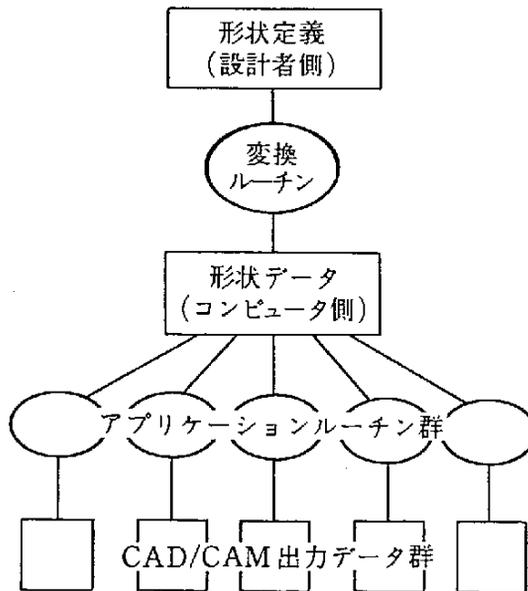


図1-4 Geometric Modelingで構成するCADシステム

らゆる分野で十分実用性のあることが認められている。応力や歪などの弾性解析ばかりでなく、流体、熱解析の分野でも実績を積み重ねており、CAEのシミュレーションには強力な武器となっている。CAEとしてFEM解析をスムーズに進めるための自動要素分割プログラムも多数開発されているが、その余りの多さはかえってこの問題の難しさを感じさせる。その意味から境界要素法(BEM=Boundary Element Method)が従来とは別の意味で浮上りつつある。

CAEにおけるシミュレーションは従来の設計の概念からすれば、モデルの特性解析の範囲にとどまるが総合的なコンピュータ・システムを考えると、CAM(Computer-Aided Manufacturing)やRoboticsのための情報処理も設計シミュレーションと同列にして考えることができる。これにエンジニアリング・データベースを付加すればCAEの全貌が浮び上がってくる。図1-5はこのようなCAEによる設計プロセスを図示したものである。同時にエンジニアリング・データベースの内容を示す。

以上はCAEをCADの別名あるいはCADのエンジニアリング部分としてとられる狭い意味での定義に従った場合であるが、CADをその中に含む広い意味のCAEについてもまだはっきりと姿を現わしてはいないが、エンジニアリングの広い分野に対してコンピュータ・エイデッド・システム化が進行しており、近い将来工学に大きな変革をもたらすCAEシステムの出現が期待される。

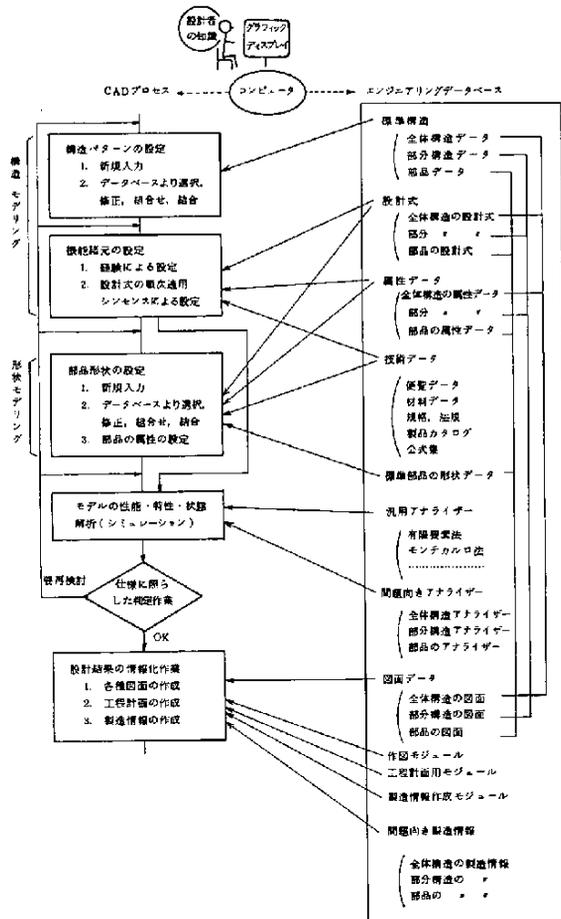


図1-5 エンジニアリング・データベースを伴うCAEによる設計プロセス

### 1.3 調査の概要

すでに述べてきたようにCAEはCADの歴史的展開の中で生れて来たものであるから、CADの発展の過程と関連した形で調査を行った。まずCAEの背景として現在のCADの現状をターンキCADシステム、ユーザーの状況、CADデバイス、業種別の展開に分けて調査した。次にCAEのニーズとして、胎動しているより高度なシステムへの動きを調べた。CAEの具体的な展開の状況については、CAEが完成されたものではなく発展途次にあるものとの認識から、CAEへのアプローチの現状を調査することとした。この観点から3Dソリッド・モデラー、図形処理、アプリケーション、エンジニアリング・データベース、ラボラトリ・オートメーションの各々について現状を調査した。

最後にCAEの将来を各委員が予想し、これをまとめて今後の展望とした。

## 1.4 CAEのニーズ

### 1) 企業的環境として

80年代を通して、日本の産業構造はますます先進国型へ発展して行くものと予想される。産業構造が、先進国型へ変化して行くということは、一般的には、第3次産業・第4次産業が発展して行くことであるといわれているが、国家の経済を支える基盤が、第2次産業にあることも十分に認識しておく必要がある。工業生産力は、先進国型の国家の富を生み出す主要な原動力であり、国家の経済と福祉は、その能力に依存している。

先進国型の社会構造の中で、国際競争力を保つ形で、工業生産力を維持しつつ行くことは、1990年代へ向っての、わが国の産業構造上の最も重要な課題の一つである。表1-1は80年代の製造工業の環境を示したものである。

表1-1 80年代の製造工業における企業環境

市場の要請	多品種/多仕様化 国際化への対応(貿易摩擦, 円レート) 競争の激化
技術革新に対応	輸入技術→自主開発技術 新製品の交替率が高い 複合・高度化する製品群
価値感/構造の変化	消費者の意識(画一的大量消費→細分化・個性化) 環境維持 省エネルギー(省エネルギー化の目標: 85年14.8%減, 90年17.1%減) 労働の質的变化(高齢化, 目的意識, 制度)

先進国型の社会構造の中で工業生産力の国際競争における活力を維持して行くために、必要と考えられる条件は

- 高度な技術力を必要とする製品の生産
- 自動化工場における生産コストの低減

の二つである。

企業としては、成熟型社会への対応策として

- 技術開発力の強化
- 国際水平分業体制の確立

・ホワイト・カラーの生産性の向上

を実現することが、戦略的な課題となる。

米国では、1980年をCAD元年と名付けたとの報道がある。先進国では、CADがビジネスとして、成立することを裏付けるものである。これまで、CADはコンピュータの利用分野としては極めて特殊な分野の一つであった。先進ユーザーがCADの開発に着手した10年前には、グラフィックス、ベーシック・ソフト、アプリケーション・プログラム等すべてが開発要素を含むものであった。米国のゼネラル・モーターズ、ロッキードあるいは我国の三井造船等でハードの開発を含むCADシステム開発は、平均して約8年の歳月が必要であったことが報告されている。しかし、時代は、今や変わりつつある。先進ユーザーが苦心して開発した技術的な成果は、ハードウェア・ソフトウェアとも、部品として商品化され提供される時代となった。現時点では、これらの部品を有効に活用することによって、一昔前8年かかった新システムの開発が、約2年で開発が可能となったことも報告されている。

現在のCADビジネスは、航空・宇宙産業および電子産業等で育まれた技術のテクノロジー・トランスファがベースとなっており、米国がその中心であり先導的な役割りを果している。近い将来、工業生産力において、極めて高い水準を保っている我国は、この分野においても世界的な水準に到達しそしてその水準を抜くと予想される。この新しい分野の産業としての育成等は、産業構造上の政策的課題としても重要な意義をもつものと考えられる。

現在、CADは、我国においても主要な製造工業の企業にとって、戦略的な重要課題としての地位を確立している。先進国型の社会構造の中で、企業としての競争力を持ちつづけるためには、ホワイト・カラーの生産性の向上が極めて重要な課題である。

超LSIの設計開発、航空宇宙、自動車等の企業にとって、CADは企業として優劣に関わる重要な課題となっており、その内容は現実に公開されなくなりつつある。そして、このような傾向は、他の産業界にもその範囲を拡大している状況にある。

すべての製造工業において、上流設計は、企業のあらゆる生産活動の原点であり、企業の存続をかけるバイタルな役割りを持っている。

- ・マーケティング機能との直結
- ・顧客のニーズを満足させるための基本計画の決定
- ・生産活動の基本要件（コスト・スケジュール等）の確定

等、経営的な見地からトップ・マネジメントの意思決定と密接な関連をもつ事項が多い。

このような業務の特性から考えると、上流設計へのコンピュータの利用は、工場の無人化・生産コストの低減を主目的とする、いわゆるCAD/CAMとは本質的に異なった性格をもっている。

企業の経営上の観点からみると、この上流設計の効率化のためのコンピュータの高度利用をC A E ( Computer Aided Engineering ) と定義するのが適当であると考えられる。

具体的な例として、個別受注生産型の産業における、上流設計の特徴とC A Eへのニーズを分析してみることにする。個別受注型の産業では、具体的には客先からの個別のオーダーに応じて、設計と製造を行うことが、基本的な企業の形態である。エンジニアリング・デザイン担当部門は、一般的には次の業務を遂行する。

- 客先との要求仕様の打合せ
- 機能とコストのバランスを考えた基本計画の策定
- 見積用仕様書および図面の作成
- 生産・コストの推定

単なる設計・製図の自動化だけでなく、上流設計部門の効率化は、オフィス・ワークのすべてを合理化することを目標とした、統合化したシステムの開発を必要とする。

上流設計部門の業務の本質的な特徴は、すぐれた性能をもった製品を生み出すことを要請されることである。すなわち、設計の質的な向上を実現することが、重要なチェック・ポイントとなる。

- 優秀なデザイナーがその能力を最大限に発揮出来るようにすること。
- 次の世代の優秀なデザイナーを育成することが可能であること。
- 企業としての持てるポテンシャル・リソース等を有効に活用し、有利な受注を獲得しうること。

を可能とするものでなければならない。特に、個別受注生産型の産業においては、多量生産型の産業に比べて、はるかに多種・多様で、時間的に変化率の高い情報を必要とする。しかも、情報の使用効率性は悪い。このため、コンピュータ・システムに対するコスト面での制約は、大変にきびしいことが、もう一つの重要な特徴である。技術の進歩によって、コンピュータの高性能・低価格化は、非常に迅速に進展している。これまで、大規模な生産をバックにした、超L S I、航空機、自動車等の産業でしか採算のとれなかったC A D / C A Mのシステムは、個別受注型の産業へも次第に適用が可能となりつつある。これらの企業の経営戦略上の課題として、自社型のC A Eシステムの構築は、急激にクローズ・アップされつつある。

上流設計では、製品の質的な向上が要請される。エンジニアリング・デザインを行うのは、あくまでも人間である。このためには、人間の能力とコンピュータの能力の両方の利点を最大限に活用出来るシステムが必要となる。すなわち、使い易く、人間を雑用から解放することが可能な技術開発を実施することが必要である。

問題解決にあたって、人間はゴールを設定し、ガイドラインを引き、アプローチの方法を選び、

直観をひらめかせて判断を下し結果を評価するという点ですぐれている。コンピュータは、大量のデータを高速に処理しうること、図形関連情報処理を迅速かつ低価格で可能とすることにすぐれている。特に、最近のコンピュータ関連技術のうち、図形による情報のやりとりの急速な発達は、人間とコンピュータの両方の機能を最大化するために重要な意義を持つものと考えられる。

一般的に、現在の優秀な設計技術者といわれる人達は、図面を書きながら考えをまとめて行くという思考方法をとる人が多いものと推定される。したがって、人間とコンピュータとの対話についても、基本的に次の二つのパターンについて考慮する必要がある。

- 設計者自身がグラフィックスを使って対話をする。
- アシスタントがグラフィックスを使って対話をする。

いずれのケースをとるにしても、C A Eを実現するために必要となる基本的な機能は、次の3項となる。

- 手書きの図面から、モデルをコンピュータの中に生成する。
- コンピュータの中のモデルに対応する実体モデルを見易い型で設計者につたえる。
- その形状を設計者が気に入ったように修正する。

特に上流設計においては、物体の形状が、コンピュータの中で利用可能なように生成されたら、その物体に対して

- 機械的・流体的・熱的な挙動に対する技術的な評価
- 切削・加工・組立工程の設計等の生産に対する準備

が可能でなければならない。このためには、三次元のモデリングとデータ構造およびその蓄積構想が関連性を持ち、これらが、コンピュータ・グラフィックスと効率よく連動することが必要である。このような観点からすると、データベース・ドリブン・コンピュータ・グラフィックスという新しいコンセプトがC A Eを実現するための重要なカギとなるものと思われる。表1-2に、C A Eシステムの実現に必要なコンピュータ・グラフィックスの要件の比較表を示す。

コンピュータの中に対象物のモデルが出来て、広範囲なアプリケーションが、このモデルを利用することが可能となると、図面は

- 人間の理解のため
- 付加データの入力のため

の手段としてのツールへ変貌して行く。人間とコンピュータの対話は、人間の思考方法にあわせて型のものへ発展させて行く必要がある。業種とか対象物によって、いくつかのバリエーションが出て来るものと思われる。

ユーザーとして、C A E用の対話型のグラフィックス・ターミナルを選択するポイントは

表1-2 CAEシステムにおけるコンピュータ・グラフィックスの要求仕様

	CADの要求	CAEの要求
要求仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデルの要素を定める計算</li> <li>図面の清書</li> <li>人間が図面を解釈したあとでのデータ処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人間とコンピュータの対話の円滑化</li> <li>人間の創造的・適応能力と協力が必要</li> <li>雑用・ルーチンワークから人間を解放する。</li> </ul>
前提	従来のコンピュータの利用	三次元設計モデル実用化後

- 何が出来るかではなく
- 如何にして図面がかけるか
- その方式がこれまでの設計のプラクティスに合致しているかどうか

へ移行して行く必要がある。

プロフェッショナルな設計技術者が利用するツールである。したがって、使用者が工夫することによって、オペレーションの方法が改善しうるような仕組みが組込まれていることが大切なチェック・ポイントとなる。

現在、実用化されているCADシステムは殆んどが、生産をサポートするいわゆる下流設計（Production Design）の段階の業務の効率化用に使用されている。このフェーズでは、個別の部品の詳細設計が主要な業務であるので、一人で一つの対象を設計すればよい性格をもち、データは個人用のファイルで十分である。しかし、上流設計では、複数のエンジニアが協同で作業をすることが必要となる。このため、CAEにおいては、

- 共通的に使用する技術データの統一的な管理
- 個々の設計者が自分用のデータを自由に利用しうるような管理

を、うまく解決することが必要な要件となる。したがって、CAEシステムにおいて利用するエンジニアリング・データ・ベースの形態は

- エンジニアリング・デザインの管理
- 図形処理の機能と性能
- 過去の設計データの参照

等が可能であるように設定されなければならない。

## 2) 技術的な環境

超LSIの実用化とマイクロ・プロセッサの普及によって、コンピュータ技術は、新しい局面をむかえている。新しい技術は、人間の知的な能力を増幅する可能性をもつことに最大の特徴がある。

コンピュータ利用の歴史的な変遷を振り返り、将来の展望を述べてみることにしたい。60年代、コンピュータの利用がスタートした。技術そのものは未成熟な時代であったが、この時代は高度成長の最盛期であった。企業は、生産を量的に拡大することが経営上のニーズであった。強いニーズに支えられて、設計計算の自動化・事務処理の自動化・生産管理のシステム化等の応用分野が確立して行った。計算処理の自動化は実現したが、完成したシステムは未成熟なものであり、当初のキャッチフレーズがすばらしかった割には、内容は高度なものではなく、いわゆる積み残しの多いものが多かった。「MIS」という標語にその典型をみることが出来る。70年代は、高度成長が終りを告げ、時代の要請が合理化から経済性の追求へと変化を遂げた。コンピュータの費用低減が重要な課題となり、コスト・パフォーマンスの概念が導入され、費用を増加することなしに、積み残した内容をステップ・バイ・ステップに充実して行った時代であった。オン・ラインの技術が実用化し、情報処理の内容は次第に高度化して行った。80年代を迎えて、超LSIの実用化によって、コンピュータ利用は、新しい局面を迎えた。

超LSIの技術は、コンピュータの高性能化と低価格を同時に実現し、多様化を促進させる。

- データ処理と文章・図形処理の結合
- コンピュータ処理とコピー・マシンの複合化
- コンピュータとデジタル通信の融合

等の新しい技術が実用化段階に入り、情報処理の質的な向上と同時に、新しい形の合理化の可能性が生まれ、新しいアプリケーションの分野が次々と誕生しつつある。

コンピュータ処理の質的な向上で、特に重要な意味をもつ事項は、文章・図形・画像・音声等の非計数データ処理が経済的に可能なコストで実現可能となったことである。いわゆる積み残し業務の主要な原因は、コンピュータの処理能力が計数処理に限定されていたことに大きな原因があったと推察される。この問題の解決によって、これまで不可能であったホワイト・カラーの生産性の向上が実現しうる可能性を増大させている。CAEは、このような技術的な進歩がもたらした、製造工業におけるホワイト・カラーの生産性の向上を実現するための、新しい企業経営の戦略的な課題となった。

CAEのニーズとして、もう一つ重要な課題は、超高速コンピュータの実用化である。現在、米国航空宇宙局のNAS ( Numerical Aerodynamic Simulator )をはじめ、わが国のコンピュータ関連の国家プロジェクトとして科学技術用高速計算システムや第5世代コンピュータの開発が実施

されようとしている。これらプロジェクトは、CAEシステムに大きなインパクトをあたえる可能性がある。現状の1,000倍以上の能力をもつ超高速計算が利用可能になれば、コンピュータを利用したモデルを使つての数値シミュレーションは実物実験に代るものとして実用期をむかえるものと予想される。航空機・船舶等の設計で必要とされる流体解析、原子力発電における熱分布および応力解析、核融合に用いられるプラズマの動作分析、大型構造物の構造強度解析および機械の振動解析等の広範囲な分野に新しい可能性がひらける。現在、これらの分野では、コンピュータの能力上の限界から、パラメータ数を減らした簡易モデルでの数値解析で工学上の問題解決を図っているのが現状である。そして、簡略化出来ないものは、風洞実験・水槽実験など大規模な実験設備を使つての実物のシミュレーションと併用で、エンジニアリング・デザインを行っている。これらの実験には、膨大な資金が投ぜられている。

超高速計算の実用化によって、コンピュータの中に製品のモデルを作成し、シミュレーションによって、品質・性能を向上させることが基本設計の時点で可能となることは夢ではなくなりつつある。設計・試作・実験を繰返す方式での従来の新製品の開発と比較して、CAEを利用した場合の新製品の開発は、設計コストと期間の面でも大幅な短縮が予想される。

現在、NASAで開発が実施されているIPADは開発の目標として、大型の航空宇宙産業における上流設計の合理化を目的としたもので、

- 設計期間を従来の1/3
- 設計工数を従来の1/5

を実現することを、システム設計の目標として設定していることは、注目すべき事項である。

## 2. CAD/CAM利用の現状

### 2.1 CAD/CAMユーザーの現況

CAEの背景を考える時、現状のCAD/CAMユーザーはある意味で“迷い”を持っていると見られる。将来に対する期待や、適用範囲を拡大し多様化する際に現状とのギャップが広がっており、安易にCAD/CAMシステムを導入して良いのか、将来に対する対処はどうあるべきかを見通せない等、大規模な投資を行おうとすればする程決断しにくい迷いが介在する。

我国の実情は各工場に1台から数台入っていれば良い方であり、部単位に入って有機的に機能させているシステムはある限られたユーザーのみと見られる。

併し今後CAD/CAMの利用や適用範囲の拡大を図れば図る程、多様化し、単品使用から複数台化、ネットワーク化、トータル化と進み、CAEシステムのような一貫化に向うことが当然起り得ると見られる。

ユーザー側からのニーズとして、CAD/CAMシステムを各種導入した結果、図形データの互換性も必要になろうし、大形機のデータベースにうまく乗るような整合性や階層構造によるアプリケーションの機能分散化を行いたい等、今後の望ましい形が現状からCAEの背景として浮び上がってくると見られる。

次に現状のユーザーの実態から市場動向、ユーザーの期待、不安、ニーズを明確化し、今後どうあるべきかを探ってみたい。

#### 1) 利用状況と市場動向

##### (1) CAD/CAM市場

米国に於けるCAD/CAM市場はメリルリンチ社の調査報告によると、1978年で330億円、1981年で1,530億円、1984年では予測として4,400億円を見込んでいる。このデータは1978年の需要予測を倍する程のもので、如何にCAD/CAMの成長性が高かったかを指している。

世界のCAD/CAM市場規模として、1980年約2,000億円、1986年で1兆2,800億円と見込んだ米国の調査データがある。我国の市場規模は米国の約1/5で、1980年で200億円市場と見てほぼ合っていると見られる。

米国での分野別の動向を見ると、機械設計、電気設計、土木、地図、その他の分野でその需要の変化を見ることが出来る。電気設計が30%、地図、土木で25%を占めているが、機械設計

は40%から次第に50%に比率を高めようとしている。比率として電気設計が10%落ち込む計算になるが、需要が減少するわけではなく、機械設計での伸び率が大きいいためといえる。我国でも機械設計は日経産業新聞の調査からも、大幅な伸び率を示しており、半導体、住宅建設、アパ

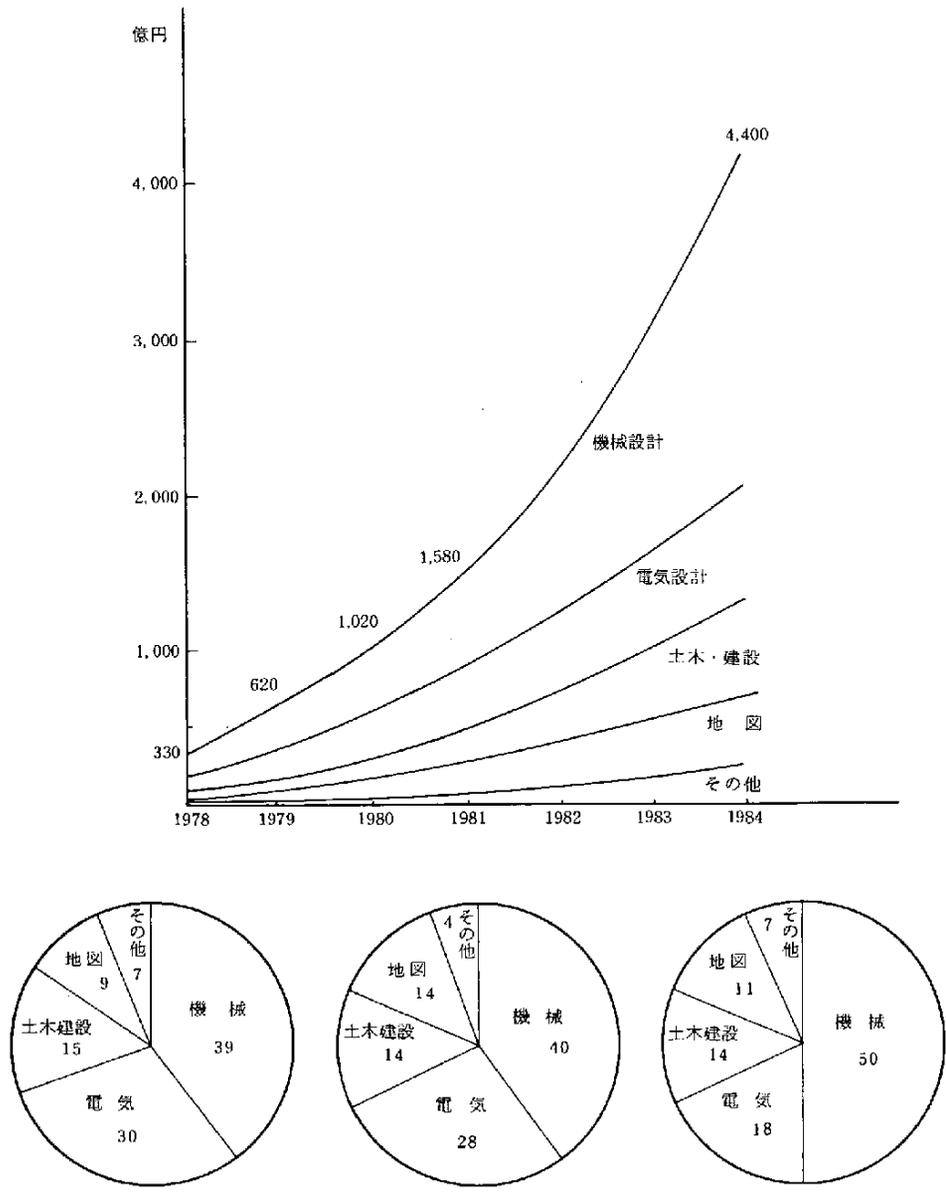


図 2.1 - 1 米国CAD/CAM市場動向〔メリルリンチ社予測資料による〕

レベルの比率が下がりつつあるのと対称的である。

我国の市場も1985年に向って年率46%の伸びを示し、1,000億市場になると見込まれている。

## (2) 適用分野

我国のCAD/CAM適用分野として、1975年頃は住宅建設、アパレル、半導体が主流であったが、1978年になり自動車、造船、一般電機的设计に用いられ始め、1980年では機械設計、プリント基板設計に用いられ、次第に適用の範囲が拡大されつつある。

自動車、造船関係でのコンピュータ利用は歴史も古く、コンピュータによる自動設計、DA (Design Automation) とも呼ばれる使い方はCAD/CAM以前から行われて来た。

DAは従来バッチ指向の技術計算主体の設計業務を定型化し、計算処理し、図表や図面出力を得てきた。しかしプログラムにより業務対応の専用システムになっているため、決められたことしか出来ず、図面を少し修正するようなニーズには小廻りが効かない面があった。

小廻り良く図面を作るために設計者の指示で対話の形で進める対話形CADが出現した。

歴史が物語っているように、設計業務には対話形CADとDAの両面が必要であり、場合によっては両者の協調が必要になる。それはより汎用的な図形の扱いが出来ることでもあり、今後CAEにつながる一本の糸でもある。

適用分野の分類として日本能率協会のCADに関する実態調査報告書の分類を引用すると業種としては、電気機器、精密機械、一般機械、輸送用機械、金属、総合工事、設備工事、その他製造と殆どが製造業となっている

### ○電気機器業界

CADの応用は、IC設計用としてかなり前から行われてきたが、今日ではLSIの設計においてCADは不可欠なものとなっている。さらに、最近では、プリント基板への適用が多いが、デジタル基板とアナログ基板に分けて使い分けしていることが多い。デジタル基板では論理図データから自動配置、自動結線を行い、中には未結線は出るものの人手作業を大幅に減少させることが出来た。

アナログ基板では、その特性上対話による編集設計が殆どである。プリント基板のフィルム原板作成、ボール盤用のNCテープ、インサート用NCテープ作成を行ってCAMまで展開しているケースが多い。デジタル基板の結線情報を利用すれば未結線の対話処理にも活用出来、NCマシンと連動することも容易になる。その結果、精度の向上、期間の短縮、容易な設計変更を実現している。

電気回路関係では、回路図、配線図、シーケンス図等接続情報を持った図形データ処理を可能にしている。シーケンスCADとしてパッケージ化されているものもある。

板金関係では板金展開、板取り、NC加工用テープとCAMに直結したのも用いられているが、ユーザー側で自分の業務に合わせて自分用のシステムにしているものが多い。

意匠設計関係ではデザイナーがクレイモデルを作らず直接計算機の中にモデルを作り、そのモデル情報からNCテープ出力して型を作って評価し、型加工に直結して行くものも実用化されている。

#### ○一般機械

機械設計の分野では図面作成(ドラフティング)が主体で、配置図、組立図、構造図、外観図、部品図、製作図、承認図等多種多様である。単に対話で図面を編集設計するのみでなく、プログラムと図形コマンドの結合により伸縮自在の図面作成が容易になったり、一部技術計算と組み合わせて解析処理結果を図面に反映させることもでき、対話処理と定形化処理をミックスした形で用いるようになってきた。

しかし設計業務は単に図面を作るドラフティング作業のみではない。シミュレーション、体積、重量、慣性モーメント、応用解析、熱拡散等設計者にとって必要なことは沢山ある。若しディスプレイを通じて、試作前に色々なシミュレーションが出来れば設計の開発期間を大幅に短縮することも出来るわけで、今後のCADの発展に期待するものが現実には多い。本格的な3次元処理は、モデラーの開発と共に実用面では今後の課題である。

#### ○精密機械

時計、カメラ、複写機、医療用計測器等部品図面を中心に適用され、特にメカトロニクスの発展と共に高密度実装と相俟って機械と電気の結合した設計に有用な道具になりつつある。

NCとの連動も行われ、更に利用範囲が広がって来ると見られる。ICの利用も盛んであり、製品に組込むLSIの設計も次第に自分の所で行うようになりつつあり、ここでもCADの活用は不可欠のものになっている。

#### ○輸送機器

自動車、船舶、航空機関係では古くからDAやCADを用い、これら道具なしにはやっ  
て行けない所まで来てしまっている。相当大規模の投資とソフト開発を行い、設計から生産に至る一貫化システムに進んできている。

自社内のCAD化に留まらず、協力会社等関連系列会社との図形データ交換も行われ、今後縦と横の拡がりを見せようとしている。

#### ○土木・建築設計、プラント工事

土木・建築設計、宅地造成、設備の施工、配管、配置等に広く用いられ、プラント工事

関係でもプロセスシート、フローシート、アイソメ図等CAD化によるメリットの大きい使い方をしている。

見積り積算まで運動することにより、設計工数の低減、ミス混入の防止が可能となり、次第に部分的な適用からトータル化して効果を上げて行くと思われる。

#### ○金属関係

アルミ建材、橋梁、金属加工関係に適用され、外観図、全体図、レイアウト図、構造図、製作図、承認図等に活用され、更に工作図に展開しNC加工に結びつけているものもある。

この分野での適用では、繰返しの多い旧図利用や規則正しい構造物図面の部分修正等、人手で初めから書いたのでは時間も掛りミスの入り易い図面を扱うことが多く、CAD化のメリットは大きい。

この他地図に関連した分野では、莫大な枚数の図面を扱うことから、図面管理の出来るシステムを必要としており、将来CAD化されることも予想される。ただし入力ネックを解決することが前提である。外国では地図情報を磁気テープで販売している国もあり、そのデータを活用して自分に合った図面に再編集することが容易になってきている。一つの方法として画像と図形の組合せも考えられよう。

アパレル分野では生地から自動裁断することはすでにCAD化されているが、デザイナーがデザインしてその人に合った服を作るとなると、自動的に型紙を作れる所までは至っていないと思われる。各メーカーが標準の型紙を保有しその部分修正が現状の方法と見られる。

意匠設計も同様であるが、デザイナーが頭に浮かべて書くものはラフ図であり、精度を確保しなければスマートで人の目に美しく見えるものにはならない。ここにファッション性が入った時のギャップがデザインと設計という形で浮び出て来る。CAEが物、製品を完成させるための設計手段とすれば、量産品に共通して起る型に関するデザイン性、ファッション性の包含は重要なテーマとなって行くと思われる。

## 2.2 CAEの背景

### 1) 発展過程

CAD/CAMの発展過程を見ると、初期の状態では自動製図機による機械製図から始まったといえる。大形コンピュータのDA出力で図面の形に出力することは古くから行われてきた。その後NCテープによる工作機械との運動となり、オンラインでAPT言語によるNCテープ

の作成を行うようになった。

前にも述べたように従来のやり方では図形表示や図面出力は出来るものの、その場で自由に図形を修正するわけにはいかなかった。

そこに芽生えたのが対話形CADシステムであり、ディスプレイを介して図形を自由に操つ

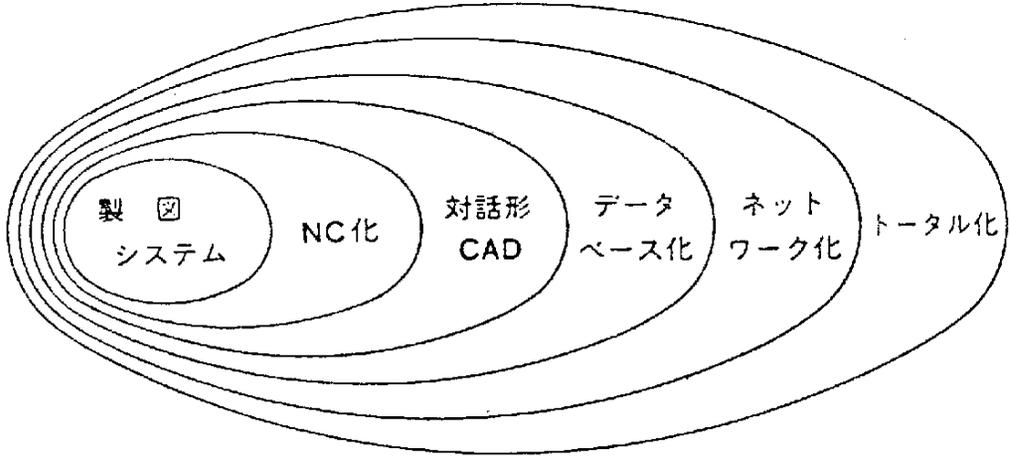


図 2.2-1 発展過程

れるようになった。そのため図形のデータベースという概念が生まれ、各種モデリング技術が誕生した。専用機としてターンキィ・システムが普及し始め、各種システムが設計業務に用いられるようになった。従来はアプリケーションに合ったシステムが専用機的にサポートされてきた経緯もあり、一社内でも色々なCADシステムが混在する形になり始めた。各事業所で1システム程度の活用ならば問題なくとも、全事業所で次第に使用台数が増えると無制限に何でも使って良いとは限らなくなってくる。出来る丈機種をしばって、技術のトランスファを行いたくなるのは必然ともいえるからである。

そこで図形データベースから始めて大形機のデータベースをうまく活用して行こうということになってきた。

異機種間での図形データの授受や、非数値化情報の登録や再読出しを行うことにより、ユーザー数の増加と共に横の拡がりを示すことになる。

これは同一企業内にとどまらず、親会社と系列会社とのネットワーク化や、協力会社と連携を取って図形データの授受を行いたい場合にも起り得る。

このネットワーク化の中には大形コンピュータ・センターの活用も含まれ、例えば同一企業

内の大形計算機のリソースを必要に応じシミュレーションや技術計算処理をさせる場合である。分散処理によって一般の図面作成は手元のCADシステムで行い、大形機でなければ処理出来ないものはネットワーク経由で処理すれば設計の処理効率を上げることも出来る。この過程が進んで来ると設計のみでなく管理情報も扱うようになりトータル化が行われる。

この発展過程は米国においては自動車、航空機関係のメーカーで進んでおり、ネットワーク化やトータル化の段階にまで進んで来ているといわれている。我国では一部の企業を除けば未だ対話形CADの段階で、データベース、ネットワーク、トータル化は今後の過程といえる。今後の過程こそCAEにつながったものといえよう。

## 2) 利用形態

利用台数について米国と我国と比較すれば非常に差異が大きいといえる。米国では設計者当りのビデオ端末、グラフィック端末の台数が、航空機関係で2人に1台、その他一般の製造業のメーカーで5人~20人に1台使っているといわれている。我国の場合30人~50人に1台あれば利用している方であり、各工場単位に入っている、部や課の単位に入っている所は非常に少ないのが実情である。

米国では増加率の点でも高いレベルにあり大手企業ではグラフィック端末が年100台以上の増加は珍しいことでなく、1社で数百台のCADシステムを保有している会社もあるといわれている。

このような横の拡がりは今後の我国の課題であるが、単に台数を増せば良いのかという問題に突当る。米国ではターンキィ・システムを専用機として個人用に用いることが出来るが、我国では一台のCADシステムを多目的に使おうとするので、当然運用に対する考え方も異なって来る。米国での使い方はCADシステムの機種は構わずに使えるものは何でも使ってしまうという実利主義のように見える。ネットワーク化、トータル化も馬力で何とか日常業務に支障来たさない程度にまとめあげてしまふ底力を持っているように思える。米国でのシステム構築は自力開発というより、専門会社に任せているケースが多く、アプリケーション付で発注しているようである。米国の保守は地域保守の出来る会社が各メーカーのものも扱うので、異機種間の接続もそれ程苦しなめでよい国情があるのかも知れない。

この点我国の保守は縦型のサービス網であり、メーカーのサービス体制に依存している。ネットワーク化、トータル化を図る際の迷いは国情の差にあるように思えてならない。

CAEのように大形機を前提としたシステムでは、単にターンキィ・システムのみで閉じるわけにも行かず、将来を見通してどうあらねばならないかということが迷いの一因であるよう

にも思える。

#### ○図形データの相互利用形態

大形機を中心としたD AシステムやターンキィC A Dシステムがユーザー間に普及すれば当然コンピュータに入っている図形データを相互に利用したくなる。

例えばプリント基板の発注では、C A Dシステムで設計したデータをプリント基板製造メーカーに対し図面でなく磁気テープやR J E伝送で行えるようになってきている。このためにはデータの互換性があるレベルで保証されねばならない。図形データを非数値化情報として大量に効率良く送らねばならないので、コード変換やフォーマット変換していたのでは処理時間を遅くするのみで、相互データ交換はムダの少ない方法が要求されて来る。

相互利用の点では大形機によるD Aシステムの結果を対話で修正することもニーズとして多いが、D A出力を図形データベースに乗り易い形で渡せれば使い易いシステムになるのであるが、現状ではユーザーのアプリケーション毎に個別対応していると見られる。

D A出力がプロッタ用データに変換されている場合に、逆変換して図形データベースに図形の形で取り込むことが多い。しかしプロッタ用データまで落さず、もっと高い図形データベース・レベルでのデータ交換が行えれば良いのであるが、そのためには何か標準的な手続きがあった方が良く見られる。ただC A D / C A M分野では我国の国情に合った標準ということになるので、外国機依存率の高い我国としては難しいことかも知れない。

一方我国専用である日本語ワード・プロセッサも次第にグラフィック処理が出来るようになると見られるが、そのデータ交換が今後起きて来る可能性も考えられる。逆に図形処理システムとしてのC A Dシステムにも日本語文章処理機能が付加されると見られますので、漢字を中心とした図形、画像での標準化はO Aを含めて今後の課題といえよう。

### 3) 利用状況の実態

日本能率協会が行ったC A Dに関する実態調査報告書(1981年6月)を参照して、アンケート調査結果の中からC A Eの背景となるような要因を探ってみよう。

この調査は333事業所の回答結果をまとめたものであるが、その回答事業所の分布は図2.2-2のように従業員数300人以上の企業でしかも売上高が50億円～100億円/年以上の所が大部分である。

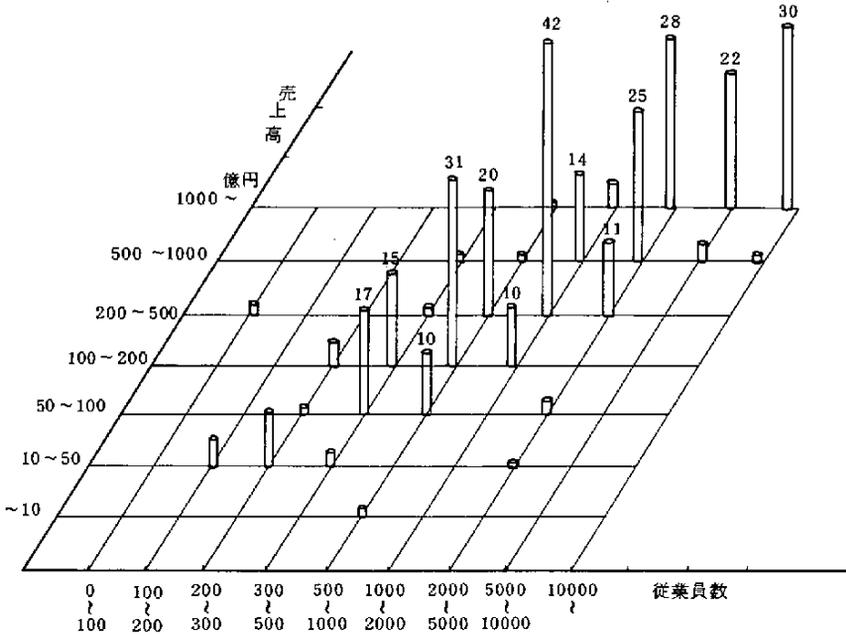


図 2.2-2 アンケート回答企業分布

(1) 導入状況

1981年2月のCAD導入段階では、実用中が38%、準備中が9%、検討中が28%と全体の75%が何らかの形で導入若しくは準備、検討していることになる。

実用中の業種では輸送用機械と総合工事の普及率が50%と高く、次に電気機器と精密機械が43、44%台となっている。普及率の高い業種は早くからCADを使い始めていた業種ということになっている。時間的経緯から見ると、図2.2-3に示すように技術計算からデザイン・オートメーション(DA)となり、やがて対話形CADに推移している。コンピュータ利用の面でも大形機中心で行われた技術計算もミニコンと混在した形やミニコン単独のものが少しずつ増えているのに対し、DAから対話形CADに進むにつれて、大形機単独よりミニコンとの混在、ミニコン単独のシステムが急に多くなって来ている。

従来のバッチ指向の技術計算やDAから最近では75%のユーザーが対話又は会話形を利用するようになってきており、特に、1979年頃から急激に伸びている。

ではグラフィック・ディスプレイが実用中のユーザー(104サイト)でどの程度の台数が使われているか。調査によれば30%のユーザーが1台、22%のユーザーが2台と半数のユーザー

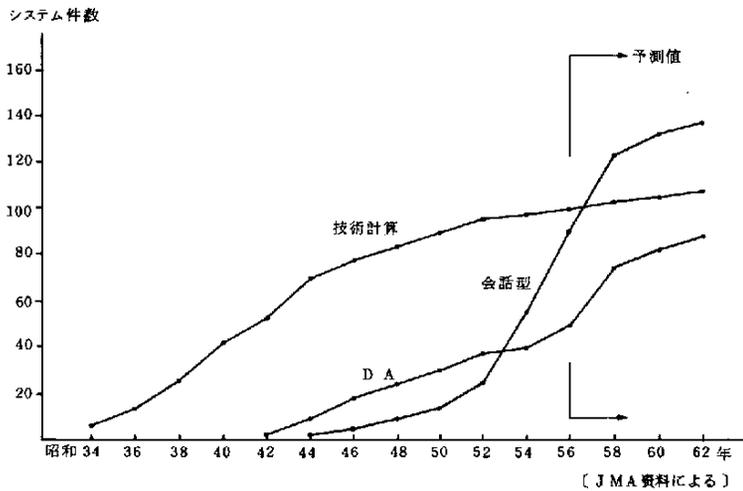


図 2.2-3 CAD利用経年変化

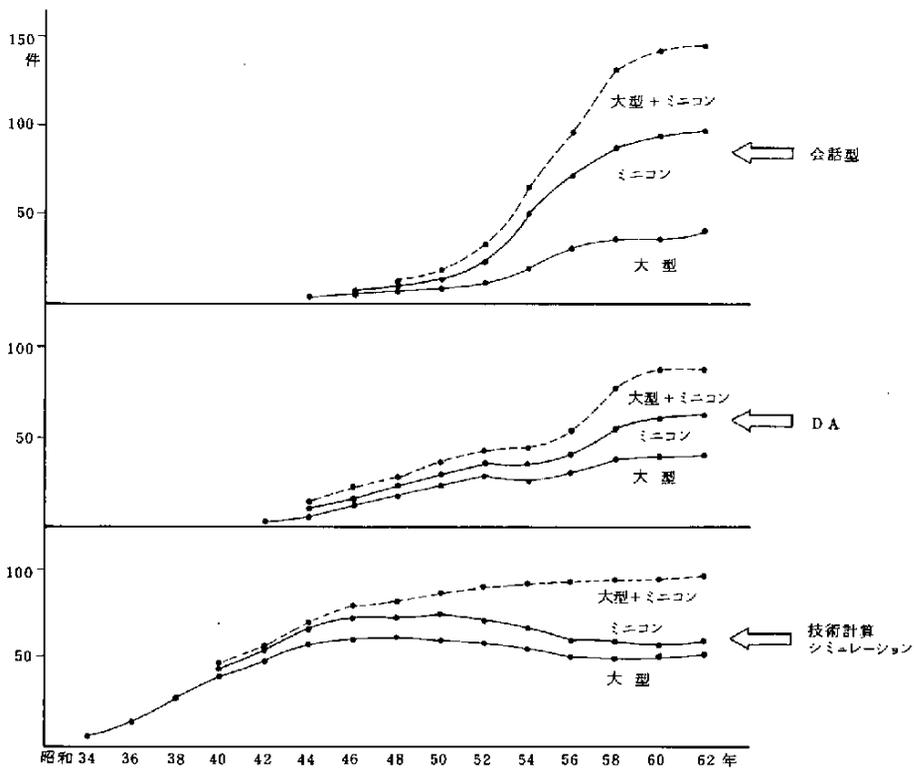


図 2.2-4 現在に至るまでのCADシステムの経緯〔JMA資料による〕

は2台しか保有していない。

その1台のグラフィック・ディスプレイを使っている利用者数は20人以下が55%、50人以上が29%と分極化している。いずれにしても1台のディスプレイを共同利用している実態がうかがわれる。

我国ではこのように稼動時間も高いが、大勢の人で使っていることになり、色々なアプリケーションを同時に働かせたいというニーズが強いと見られる。

現状では余りにもディスプレイ台数が少な過ぎるといって良く、今後低価格化と共に急激に増加して行くものと見られる。

CAD適用率から見ると、適用比率40%未満の合計が約80%を占めているのであるが、適用比率20%以下では約50%に近いユーザーになっている。CAD適用率は未だ低い状態といえよう。

ではその設計段階で現状どのような設計ステージに用いられているか。調査報告によると基本設計、詳細設計、生産設計の各ステージで246の回答事業所中75%の所が詳細設計に、60%が基本設計に、45%が生産設計に答えており、三者の比率は詳細設計41%、基本設計34%、生産設計が25%となっている。詳細設計が多いのは図面作成が多いためとも推定される。

電気機器は基本設計よりも生産設計に適用している比率が高く、プリント基板等のCAMへの展開を行っているためと見られる。

コンピュータの保有台数から見ると、事務処理用のホスト・コンピュータが69%、設計専用ホスト・コンピュータ32%、外部のホスト・コンピュータが13%となっている。

現状では事務用のコンピュータをCADにも使っている所が多いが、次第に設計専用機を保有するユーザーも増えて行くと思われる。

## (2) CAD導入の動機

設計作業の省力化、設計期間の短縮が高い比率を占め、単純作業から解放して、より創造的な作業に向うが第3位となっている。次に製品の品質向上、標準化の促進、設計と生産のシステム化、一貫化、図面品質の向上と安定を挙げている。

比率は低いが、承認用図面の作成、同業他社が使い始めた等、他メーカーに遅れまいとする別な要因も見逃せない。CAD導入はトップダウンのケースが多く、トップの決断時点で将来をどう見ているか、先行投資的な色彩が強いことも事実である。

CAD導入時の決め手になった項目として価格、拡張性、処理スピードを挙げている。更に今後の拡張計画では97%の実用中ユーザーが拡張の意向を持っていて、利用の拡大を指向している。その動機としては対象業務の拡大が中心で、設計業務のCAD処理を多くしたい、従来

のレベルをもっと高くしたいと、現状を更に充実させたいとしている。従って現状では他部門への展開は少ないと見られるが、拡張計画も進んだ後今度は横に拡がり出すと見られる。

### (3) 導入形態

実用中ユーザーの中でホスト・コンピュータと端末機での利用が40%、ミニコンと端末で38%、ホスト・コンピュータとミニコン、端末で22%となっており、ホスト・コンピュータ直結形とミニコン+端末タイプが40%台と双方同じ位に使われている。

導入形態として、買取り29%、レンタル49%、併用22%となっており、買取の約半分は1億円を越えた投資を行っている。レンタルを利用しているユーザーは10万円/月未満43%と端末指向を示しているが、レンタル費用100万円/月以上の所が、10%もあり、大きなシステムとして利用している。

### (4) 導入効果

導入効果として52%が「大いに効果あった」と答えており、42%が「やゝあった」と答えていることから実に94%のユーザーが効果あったとしている。その内容として省力効果、品質信頼性の向上、客先の評価向上、設計期間・納期短縮、迅速化等をあげている。

CADシステムが導入され、設計者に意識の変化を起させ、標準化に対する意識も向上させている。

アンケート調査では導入システムの稼働率は含まれていないが、CAD導入ユーザーは最低10時間は利用し、それ以上の時間では2シフト又は3シフトの体制を敷いて運用しているユーザーが多いと見られる。設計者もCADの味を覚えると使用時間が急に増えて行くためと見られる。しかしそれでも設計全体から見れば設計の一部にしか適用していないとしており、今後のCADによる業務の拡大と表裏の関係となっている。

米国でも同様のアンケート調査から効果として、製図の生産性向上、図面の高品質化、最終製品の品質向上、ターンアラウンド・タイムの減少、客先の評価向上、従業員の満足度向上、製品の低価格化、設計、エンジニアリングの生産性向上を挙げており、やや品質の向上に重きが置かれているように見受けられる。

### (5) ユーザーの不満

ユーザー側からメーカーに対する不満として、ソフトの言語統一、標準化をして欲しいとか、ソフトのポータビリティに対する要望が強く、次にソフトが少ない、ソフトを公開してほしいということで、自分の業務に合ったソフトは仲々有り得ないので、自分でソフトを作っても合わせたいという欲求が出ている。その他売込に誇大宣伝している、フォローアップ教育をもっと十分ということで、ユーザー側から見ると宣伝程には使い切っていないようにも見受けられ

る。アーサー・D・リトル社の米国におけるアンケート調査では、3次元ソフトの強化、コマンド言語構造、コンパイラやグラフィック言語等我国同様ソフトウェアの要望が強い。メーカーに対して保守、アプリケーション・サポート、データベースの能力、分散処理機能、ドキュメント、システム全体の応答性に不満を抱いている。特に応答性に強い要望を示しており、外国人は端末から全て入出力を行うために、必然的にトータル・スループットを優先するためと考えられる。

#### (6) ユーザーの不安

ここであえてユーザーの不安という言葉を使ったのは将来が現実の問題として仲々見通せないことから起る迷いや不安感を指して用いたものである。ハードウェア、ソフトウェアの進歩と共に現状のCAD/CAMシステムが常に新しいものへと移行して行く可能性、システムが大形化しネットワーク化、トータル化されればされる程開発費の大幅増によるベンダー数の減少、または吸収統合の危険性CAD/CAM利用の多様化に対する標準化、規格化の可能性等現状のままでは将来が見えない要素を多分に含んでいるからである。

一方では非常に低価格化された場合の汎用化と限定された専用機化の分極化も併せて起ることも予想される。丁度マイコンの出現と共にパソコン化の流れと、大形機集中化の流れに似ている。将来パソコン的なものが端末として結合された使い方になることも可能性として十分あり、CAD/CAM分野でも同様のことが起らないとはいいい切れないからである。

CAEの背景には対話で早く図面も作りたいが、シュミレーション等によって設計の完成度を高めたいとする二面性が入っており、ユーザーが将来をどう見て対処して行くかが論点になってしまう。現状はそれ程に投資が大きいともいえるわけで、普及のためには低価格化を推進して、多様化にも処して行かねばCAEやCAD/CAMのトータル化には仲々なっていけない。CADのソフトウェアは増々増大の一途をたどり、ソフトウェア資源の有効活用は今後の普及の鍵でありポータビリティの叫ばれる所でもある。

#### (7) ユーザーの期待

アンケート調査の中で導入後の拡張計画については97%の既導入ユーザーが拡張したいと回答している。その動機については75%が対象業務の拡大となっている。また62%が水準をより高度にしたいとしている。

対象業務の拡大には端末機を増設し、容量アップを図って対処したいと答えている。

又CAMへの展開については、実施中、計画中を含めると65%が計画を意図しており、CATに対しても約半数が展開を意図している。

コンピュータについては高速処理、低価格化の期待が高く、次にソフトウェアの充実、言語

の統一、ソフトの互換性を希望している。

ディスプレイ関係では圧倒的に低価格化を希望しており、少しでも端末を増やしたい現れと見られる。

今後のCAD利用による期待として図面管理や技術資料管理にコンピュータ活用を考えており、図面の格納方法、図面情報伝達方法についても技術課題は多いが次第に解決され実現して行くと思われる。アンケートからも設計技術者の期待としてCAD利用により、創造的で高密度な設計の促進と約半数が答えており、単なるドラフティングからより高度な設計を指向していることが解る。

#### 4) ユーザー・ニーズ

CAD/CAMユーザーの実態をアンケート調査の中から見て来たが、ユーザー・ニーズとして眺め直して見たい。

##### (1) 利用範囲の拡大

現状ではCADといっても単なる「ドラフティング」に終わっているユーザーが大半であり、そのドラフティングの普及も未だしであるから、利用範囲の拡大はその後である。

利用の拡大にも方向性があると考えられる。単に各部署に独立して入って台数が増えて行くもの、設計から現場、外注まで含めて一貫化した系列化、更に各工場、事業所間まで結んだネットワーク化、管理情報にまで結び付けるトータル化と他と関連を持たせるかで利用範囲が変ってくる。関連の持たせ方が図形を中心にしたデータベースで行うがために少しでも整合性の有る方法が要求されるようになる。

図形データベースを中心にそのデータよりシミュレーション、解析処理、部分展開、デザインチェック等が行えれば設計は非常に楽になるのであるが、何にでも使えるシステムがある訳ではない。CADのシステムにも色々有り長所、短所を持ち、入出力機器も同様に業務に合ったもの、例えばグラフィック・ディスプレイも使い分けて利用する等、自分の仕事に合った使い方にせざるを得ないのである。そのため図形データベースで色々なディスプレイ・サポートがなされ、業務に合ったソフトウェアも充実して行かねばならない。

そのため汎用性が高いが、自分の業務には専用的に出来るCADシステムが要求される。

##### (2) 拡張性と互換性

図形データを扱うCADシステムでは業務を拡大すればする程コンピュータや端末のメモリーを大きくして拡張して行けることが大切なのであるが、その時互換性があるかということにもなってくる。今後図形処理のデータでは数100Kから数メガバイトに亘るような情報を扱う

よくなって行くので、16ビット系のミニコンは32ビット系のスーパー・ミニコンに、更には大形機へと移って行くのは必然の流れである。ただLSIの進歩で、今のミニコンクラスに大形機がなってしまう、今の大形機はスーパー・コンピュータになってしまいかも知れない。

その場合ユーザーから見れば長い間蓄積して来たCADのデータやプログラムを失いたくはないので互換性を持ってメーカーが対処してくれるかが関心事になる。

### (3) 標準化とポータビリティ

各種メーカーのCADを導入して拡張を図る場合でもそのシステムの閉じた範囲内の拡張であれば良いが、その範囲を越えて他のシステムと関連した拡張では問題が出て来る。その場合標準化、規格化が行われていればその問題も対処し得る範囲に入るかも知れない。CADシステムを供給するメーカーがどこまで範囲を考えてハード、ソフトを提供するか、その中での互換性がユーザーにとっては一番解決容易な話になってくる。

次に各メーカー機器間での有機的な結合となると標準制御手順やデータ・フォーマットの標準と図形データでの互換性やインタフェースが重視されるようになる。

図形の分野では標準化といっても何種類も標準があっておかしくない程に多様化してくる。モデリングの標準化でも各種モデラーがあってその用途に応じた使い方をするので、つぶしの効くCADシステムであるためにはポータビリティは重視されなければならない。

### (4) 低価格化と普及

低価格化すれば普及すると当然思われるが、低価格化は単に端末を安くするのみで良いのだろうか。端末の低価格化の意味は、端末のインテリジェンスを上げて而も低価格化して行く二重性を持っていると見られる。端末にセグメント・バッファは沢山持たねばならないし、伝送は高速化しなければならないし、端末で可成りの所まで機能を持っている必要もある。グラフィック表示は勿論、ぬりつぶし機能、漢字表示、カラー階調表示等多目的に利用出来るものが低価格で実現しないと普及に結び付かない。

世の中に普及し始めれば価格も安くなって行く訳であるが、その条件としてメーカー側から見れば手離れの良い製品でなければならなくなる。その為にも汎用性が高く、ユーザーが容易に自分のシステムに合せられるインタフェースなり、言語が重要なポイントになって来る。

### (5) アプリケーション範囲の拡大とCAE

単に図形処理に留まらない使い方をCAD/CAMの延長上に求めるならば、試作なしにコンピュータ利用の高度化で評価が短期間で行えるCAEの方向であろう。

CAEの方向性は確かであっても実現する上では幾多の問題が介在している。アプリケーションの範囲が広がり過ぎてベンダーの守備範囲に入るか、メーカーの製品にし得るか、ノウハ

りまで入ったコンサルテーションが出来るものか、生産技術、ノウハウまで含めた設計方法まで含めると汎用性が失われ、専用アプリケーションとしてまとめなければならなくなってしまい、汎用売れるものが問題になる。このようにC A Eは販売上での留意点の方が重きをなすようになりユーザーとメーカーとのインタフェースは大変重要なものになる。

#### (6) C A D / C A M間の整合性とデータベース

C A D / C A Mシステムを販売する側から見れば手離れ良く、ユーザーに適合し易いシステム提供が出来るかが大命題となり、汎用の言語で、整合性の良いつぶしのきくシステムにせざるを得なくなる。

現場任せはユーザーに任せるしか方策がないようにも思える。そのためにも図形データベースに寄せる期待は大きい。図形入出力の標準化は次第にコア・インタフェースの形でメーカー側にも受け入れられ具体化や製品化もされるようになったのであるが、ユーザーから見れば本当は図形データベースの上に自分のシステムを構築出来るようにしたいのが切なる願いなのである。

#### (7) ソリッド・モデルの実用化と高速化

前述の通りモデリング技術にも色々あるために標準化して行けば良いということでは一言で済まされないのが現実である。2次元、3次元の対象によっても扱いは異なるのであるが、特に3次元では表示方法と用途の面で大きな違いが出て来る。

従来ターンキィ・システムでいう3次元はワイヤ・フレームやサーフェスを中心に扱って補間近似を多用して来たのであるが、実体を定義する所までは至らなかった。

それに対し最近ではソリッド・モデルという言葉が盛んにいわれるようになって、今後のロボティクスと関連してF Aと組にしていわれるようになって来た。ソリッド・モデルは古くから提案され、地味な研究の積重ねがあって次第に育って来たものであるが、従来のモデラーに較べれば複雑な構造で処理も複雑で処理時間も掛るものであった。併しL S Iの進歩と共にコンピュータも高速化しソリッド・モデルによるメリットも現実に評価出来る所まで来たのである。実用化という点では多くの努力が払われねばならないが、外国ではソリッド・モデルに対する開発が活発である。

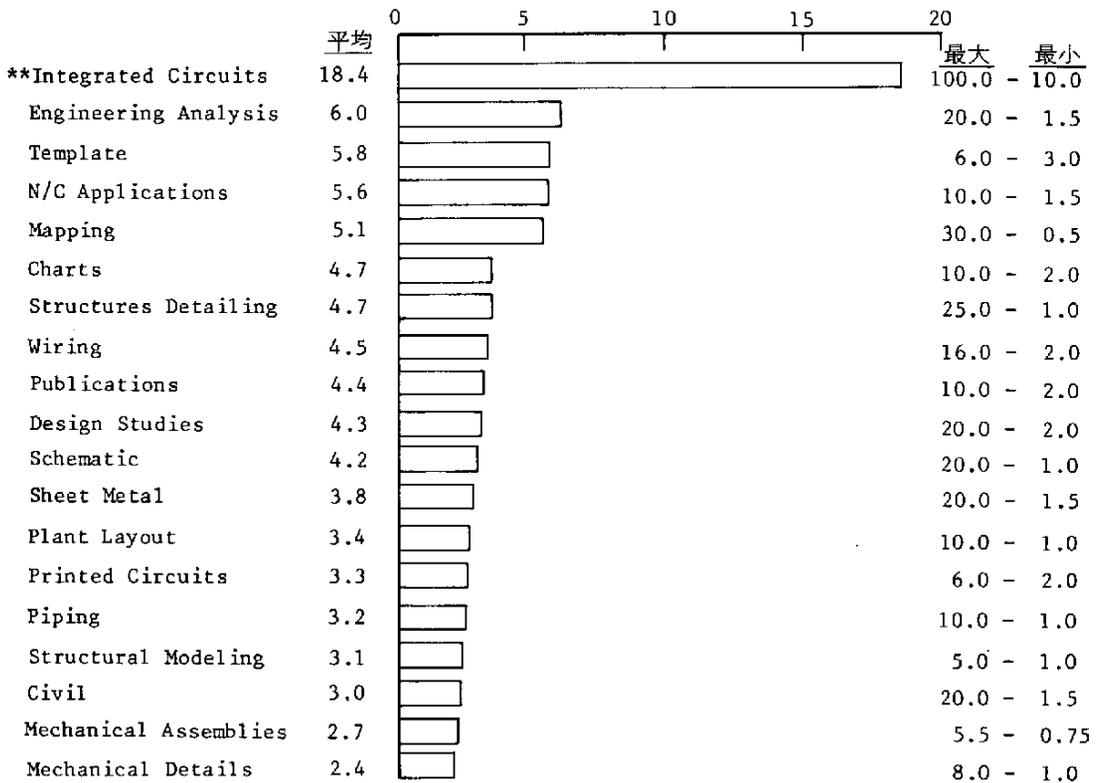
対話でダイナミック・シミュレーションや濃淡表示が出来れば非常に設計に役立つようになると思われるが、そのためにもスーパー・コンピュータやファイルの高速化はニーズとして残って行くと思われる。ただ経済性から見てそこまで投資が出来るかということにもなるので、スーパー・ミニコンによる高速化、専用機の活用、大形機によるソリッド・モデリング等用途に応じて使い分けるしかないのかも知れない。今後C A D / C A Mの分野では大きなプロジェ

クトでシステム開発するか、自社用に開発したものを世の中に役立てるかして永續きする方法で忍耐強くやっけて行くしかないように見られる。

## 2.3 CADビジネスの現状

### 2.3.1 CADのビジネス環境

CADは、現実のビジネスとしては、設計製図の自動化を対象とするものである。文章処理のワード・プロセッサと同様な性格をもつものと考えるのが妥当な判定である。現実には、対象によって異なるが、ベイスする分野としては5～100倍の生産性の改善が報告されている。図2.3-1に、昨年7月行われたArther D. Little社のアンケート調査の結果を示す。



注 \* 手作業との比較で計算

\*\* V L S I の設計で大きな効果が上る

図 2.3-1 設計・製図の生産性向上率\*

( A D L 社の1981年アンケート表より )

CADは、製造工業の設計部門の効率化のために必要な設備となりつつある。近い将来、製図板とT定規のみでは、競争力のある製品は開発出来なくなるものと予想される時代に入ってくる。ホワイト・カラーの生産性の向上に、設備投資が必要な時代が到来した。1980年がCAD元年といわれるのは、このような時代的背景に起因するものである。

このような背景から考えるとCADのマーケットは、現在大きな変化をとげつつあるとみるのが、妥当であろう。70年代には、実験的な色彩が強かった。したがって、機器の選択を行うのは担当の技術研究員であった。彼らの選択のポイントは機能とか新技術の要素におかれた。80年代に入って、経営上の戦略的な課題になるにつれて、機器の選択権はトップ・マネジメントへ移行している。生産性の向上に多額の資金が必要となる以上当然のなりゆきである。トップ・マネジメントの選択のポイントは、ハード/ソフトの信頼性、メーカーのサービスとサポート体制へと変化している。ユーザーは、すぐれた技術を売り込むメーカーではなく、そのシステムを実際の事業問題にどのように適用して行くべきかをコンサルテーションしてくれるメーカーを選定するという方針へ変身して行きつつある。

現在、CADビジネスのトップ企業は、米国のコンピュータ・ビジョン社である。同社の予測している、市場の予測を図2.3-2に示す。まず、電気のエンジニアリングで発展し、その次が

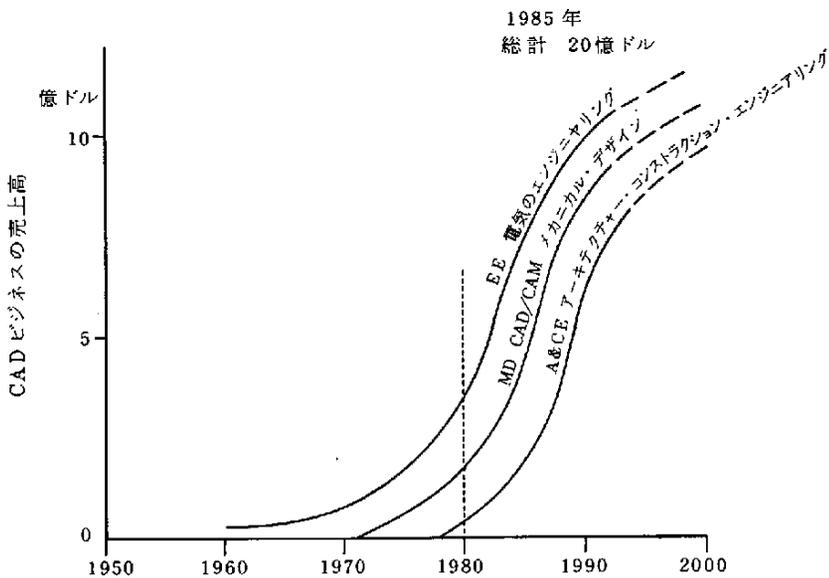


図 2.3-2 CV社のCADビジネスの予測

機械の設計をしてややおくれて建設型の設計へマーケットが拡大するとみているのは興味深い事項である。

いずれの市場予測をみても、CADの業界は年率40～50%の成長をするものと予想している。現時点では、ベンチャー型の企業が多数存在しているが、1985年頃までには、大手の数社しか残れないだろうと多くの証券界の専門家は市場構造を予測している。IBM、GE等の大手が、この分野に本格的に参入を始めたことも、80年代の特徴の一つである。

CADビジネスは、ますます競争が激化するものと予想される。一方では、グラフィックスのソフトウェアの標準化についても、CAM/SIGGRAPHのCOREシステム、ドイツ規格のGKSの二つの案が提案されている。しかし、グラフィックス・ビジネスの現実面では、下記のCALMA社のJim Lucas氏の言が、業界の本音を代表するものといえよう。

- ・スタンダードはサポートする。よいアイデアであり、健全な考えである。
- ・他社と同時にしか採用しない。最初にとり入れれば、競争相手に利益をあたえる。
- ・ライバルに対し、ドアをあけるのは欠点である。

標準化が、完全に実施されると、グラフィックスの価格は低下する。しかし、ビジネスとしては、電卓とかパソコンのようなパターンとなる可能性が大きい。

しかし、CAEの分野はビジネスとしては、CADとは全く異なった形態になって行くものと予想している。殆どの場合、ニーズそのものが、自社の機密に属する事項となる。したがって、自社型のシステムの構築が課題となる。そして、CAEの実現のカギは、エンジニアリング・データ・ベースの整備に依存するものと考えられる。CAEシステムのマーケティングは、価値ある業務をいかにして見出すか、その仕事の価値をいくらと推定し、客先と利益を折半する形のAdded Value Marketingを強力に展開することがベースとなって発展する。この場合、コンピュータの高度利用と融合して効果を発揮する。CADビジネスは、このための設備と技術を提供する役割をもっており、CAEの進展につれてますます発展して行くものと予想出来る。

### 2.3.2 商用CADシステムの現状

今日、商用CADシステムと言っても、パソコンによる簡易図形処理システムから、スーパーミニコン、汎用コンピュータを使用して、高度な3次元形状モデリングを取り扱うものまで千差万別である。

また、ソフトウェアのみのCADソフトウェアシステム、CAD用アプリケーション・ソフトウェア等を含めると数えきれないほど市販されている。

ここでは、機械設計用、建築・土木用を対象に、CAD専用メーカーのスタンドアロン型のタ

ンキシステム、汎用コンピュータメーカーあるいはミニコンメーカーの市販CADシステムを中心に述べる。

### (1) 商用システムの構成

現在、市販されているCADシステムの代表的なものを表2.3-1に上げる。その他、以外にあると思うが、割愛させていただく。

システム形態は、グラフィック・ディスプレイ・ターミナルとコンピュータ・システムの構成の仕方により、①汎用大型CPU直結型、②ミニコン(マイコン、スーパーミニコン)直結型、③ホスト・コンピュータとサテライトコンピュータ(ミニコン)による分散型システムの3つに分類される。各々の特徴は一般に表2.3-2のように考えられる。

1981年に入って、汎用メーカー、ミニコンメーカー、専門メーカーなどから新しいCADシステム製品の発表が相次いでいる。

これらは、従来のタンキシステム、汎用大型のCADシステムが、対話型の設計支援機能と図面作成機能(製図の自動化)が中心であったのが、主に設計/製造一貫システム及び解析シミュレーションの高度化(CAE)の必要性に対応するため、タンキCADメーカーでは、スーパーミニコンを使用して、CAE(ソリッドモデルが必要になる)、CAD/CAMの統合化、データベース機能を持った商品の開発を行なっている。また、これと逆に、低パフォーマンスであるがローコストの商品の発表を行なっている。

CADのニーズの高まりと、上記のような期に乗じてか、ミニコンメーカー、汎用大型CPUメーカーが、ここ1年に次々に参入してきている。

このような中で、従来の汎用大型CPUメーカーのCADシステムも同じような方向にあるが、タンキメーカーより、汎用大型CPUを使っている点で、アプローチしやすく、一早くソリッドモデルを扱えるシステムを発表し(IBM)、CAD業界に大きなインパクトを与えている。(図2.3-3参照)

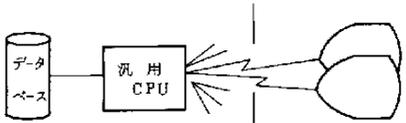
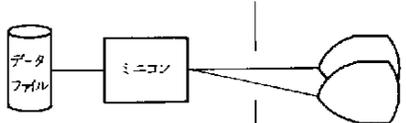
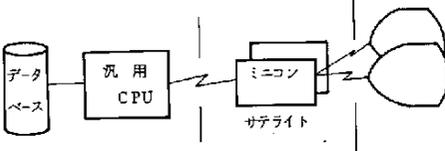
図2.3-4に、典型的な商用CADシステムのソフトウェア構成を例示している。この機能構成の中で、主として、マン・マシン・コミュニケーションに関する機能と、図形処理に関する機能について述べることにする。

表 2.3-1 市販CADシステム例

ベンダー 項目	APPLICON (丸紅ハイテック)	CALMA(GE) (伊藤忠データシステム)	COMPUTER VISION (コンピュータビジョン アジア)	MCS (DEC日本支社)	富士通	GERBER (横河電機製作所)
システム名称	AGS 880, AGS 870, AGS 860, AGS 890	CALMA	DESIGNER (M, W, V)	ANVIL 4000	CADAM ICAD	IDS-80
システムの分類	ミニコン直結型 (ミニコン or スーパーミニコン)	ミニコン直結型	ミニコン直結型	ミニコン直結型 (スーパーミニコン)	汎用大型直結型	ミニコン直結型
アプリケーション	・AGS 880: 土木・建築, 機械設計・製図, NCデータ作成 (3次元) その他 (プリント基板, IC用)	・DDM: 自動車・機械の設計・製図, NCデータ作成 (3次元)	・CADD3(4)/MD : 機械設計用 ・CADD3(4)/NC : NCデータ作成	・MCS社製AD-2000 : 機械設計・製図, NCデータ作成・情報管理	・CADAM : 機械設計・製図 ・ICAD : 機械設計・製図, NCデータ作成	: 機械設計・製図・NCデータ作成
ハードウェア構成	・PDP 11/34 (112KW) ・DISK (30M~200MB) ×最大4 ・MT	・ECLIPSES 230 (32~256 (32~256KW)) ・DISK (80/300MB) ×最大4台 ・MT ×最大4台	・CGP-200 (384~512KW) ・DISK (300MB) ×最大4 ・MT	・VAX-11/780 ・DISK (80/300/675MB) ×チャンネル×最大8台 ・MT	・M 140 F以上 ・DISK (200MB) ×4台以上 (CADAM) ×3台以上 (ICAD) ・MT	・YHP 2117 F (512KB~) ・DISK (120MB) ×最大5 ・MT
ベンダー 項目	日立製作所	IBM	GTC (住商エレクトロニクス)	日本コニパック (トヨタ車体)	三井造船	三菱電気
システム名称	HITAC G730	CADDM, CATIA	GT 3200	UNICAD 4000 2000	SCHEMA, XIOMA	MELCAD-MD (-MM, EM, ES, MA)
システムの分類	汎用大型直結型 分散型システム	汎用大型直結型	ミニコン直結型 (スーパーミニコン)	分散型システム	汎用大型直結型	分散型システム
アプリケーション	・G-730 : 機械設計・製図, NCデータ作成, 情報管理	・CADDM : 機械設計・製図, NCデータ作成	・GMS (AD-2000) : 機械設計・NCデータ作成	・UNICAD : 機械設計用・製図, NCデータ作成, 情報管理	・XIOMA : 機械設計, 建築設計等 ・SCHEMA : 機械設計・製図	・MELCAD-MD : 機械設計・製図, NCデータ作成, 情報管理, 土木・建築
ハードウェア構成	・HITAC (256~512KB) ・DISK ・MT ×最大4台	・IBM 4331以上 (1MB~) ・DISK ・MT	・SEL32/27 (1BM~16MB) ・DISK (80MB/300MB) ×最大8台 ・MT	・UNIVAC 1100 (768K~16MW) + V77/800 (512K~1MW) ・DISK ・MT	・IBM 4300, 富士通M等 ・DISK (256KB~) ・MT	・MELCOM70/150 or COSMO 700, 800, 900 ・DISK ・MT

ベンダー 項目	日本電気	内田洋行	第二精工舎	伯 東	プライム・コンピュータ・ジャパン	武 産 工 業
システム名称	ECAD	UDA	CREATE-2000	Auto-tral A D / 380	MEDUSA	MUTOH-INTERGRAPH IGDS 100, 300
システムの分類	汎用大型直結型	ミニコン直結型(パソコン)	汎用大型直結型	ミニコン直結型 (スーパーミニコン)	汎用大型直結型	ミニコン直結型
アプリケーション	: 機械設計用	: 図形地図情報 検索 ・土木・建築	: 機械設計・製図, NCテープ 作成  (回路設計, アナログ/デジタル) 多層基板設計 :	: 機械設計・NCテープ作成 ・土木, マッピング	: 機械設計用	: プラント・エンジニアリング, 建築, 機械, マッピング
ハードウェア 構成	・ACOS 350 / 450 / 550 / 750 ( 2MB以上) ・DISK ( 200MB ) × 2 台以上 ・MT	・SEIKO9500 ( 512KB ) ・DISK ( 10MB ), フロッピー ・DISK	・YHP 1000 ( 384KB~2MB ) ・DISK ( 50, 120, 400MB ) ×最大16台	・UNIVAC V77 / 800 or DEC VAX-11 / 780, 750 ・DISK ・MT ×最大4台	・PRIMEシリーズ ( 250KB~8MB ) ・DISK ・MT	・DECLS1-11 / 23 or VAX11 / 750 ・DISK ( 80 / 675MB ) ×最大8台 ・MT ( 1~4台 )
ベンダー 項目						

表 2.3-2 各システムの特徴

システム構成	メリ ッ ト	デ ィ メ リ ッ ト
<p>① 汎用大型CPU直結型</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システムの拡張が容易</li> <li>・多くのワークステーションが接続できる。</li> <li>・他のシステム（事務計算等）にもCPUが利用できる。</li> <li>・CAD/CAMのトータルシステムが構築できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専用システムでないので使い勝手が悪い。</li> <li>・TSSで応答時間が悪くなることがある。</li> <li>・価格が高い。</li> <li>・システム開発に費用がかかる。</li> </ul>
<p>② ミニコン（マイコン、スーパーミニコン）直結型</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専用システムにでき、使い勝手がよい。</li> <li>・応答時間が短い。</li> <li>・専用的用途としては、コストパフォーマンスがよい。</li> <li>・スーパーミニコンであれば汎用大型CPU直結型と同レベルに近い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CAD/CAMトータルシステムを構築するには限界がある。</li> </ul>
<p>③ 分散型システム</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・①と②の両方のメリットを持っている。</li> <li>・全社的、関連企業も含めたシステムが構築可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システム構築までに時間・コスト・労力がかかる。</li> <li>・運用が大変になる。</li> </ul>

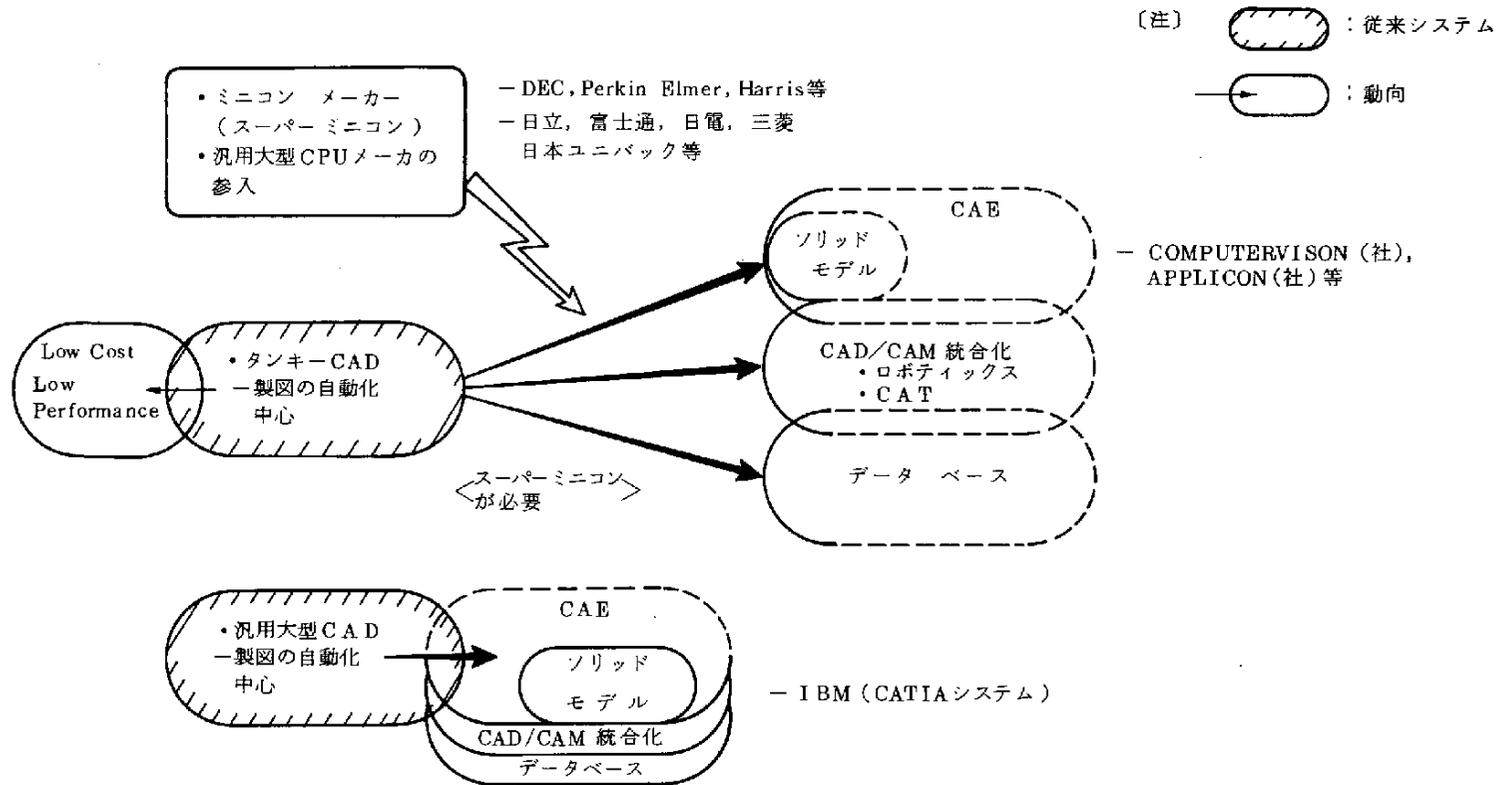
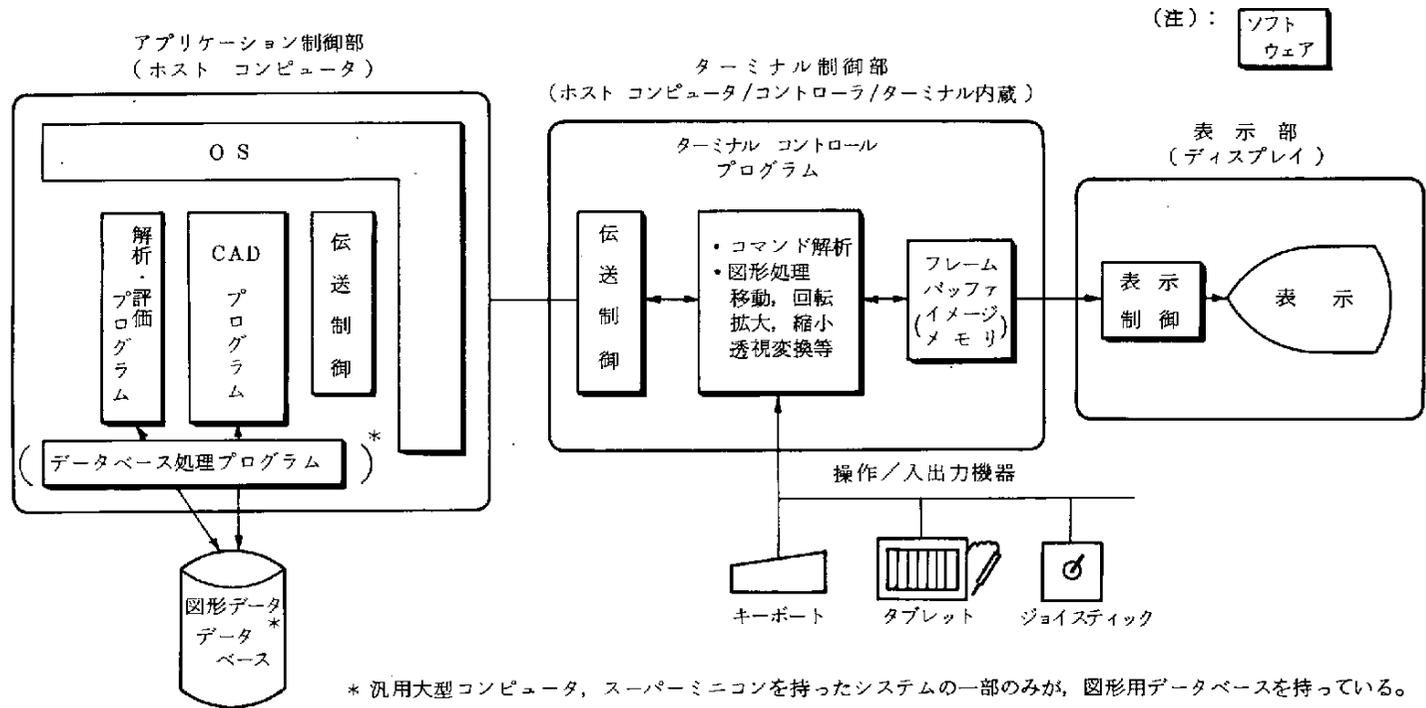


図 2.3-3 商用CADシステムの最近の動向



\* 汎用大型コンピュータ, スーパーミニコンを持ったシステムの一部のみが, 図形用データベースを持っている。

図 2.3-4 CADシステムのソフトウェア構成図(例)

## (2) 商用システムのマン・マシン機能

CADシステムは、従来行なっていた設計という行為の内の一部の情報処理を、計算機にやらせるのであるから、この計算機(マシン)と人のインタフェース(コミュニケーション)が、人にとって、簡単に抵抗感の無いことが重要となってくる。特に、設計者は、工場の直接員とは異なり、仕事から受け身的でないので、従来行なってきた設計のやり方を変えようとはなかなかしない。その意味で保守的であり、CADシステムの導入に当っては、使い易く、分り易く、抵抗感の無いマン・マシンインタフェースが重要なポイントとなる。

マン・マシン・コミュニケーションの手段として入出力機器のハード面が重要な要素をしめるが、ここでは概要にふれるにとどめる。(詳細はデバイスの章にゆずる。)また、CADのマン・マシン・コミュニケーションの代表的なメディアの図形の処理については、別途次項に詳細に述べることとする。

市販のCADシステムの現状は、ほぼ表2.3-1のようである。ほぼといったのは、最近新しいCADシステムの発表が急増しており、この報告書が出される頃には、また新しくなっているだろうからである。

さて、一般にコミュニケーション・メディアとして「言葉」と「図形」があるが、言葉は、思想を記号で表現する手段であり、聴覚的、記述的である。市販CADシステムでは、これを主にキーボードを使って、英数字、記号・カタカナを手で打って入力している。操作性を考えて、言葉をメニュー化して、ディスプレイあるいはタブレットを使用して入力しているのが現状である。最近では、漢字入力のタブレットがオプションで付くものが多い。キーボードもファンクション・キー付のが一般的になっている。しかし、あくまでも、言葉を記述的記号で表現されたものを、手で押すなり、指示することで行なっているにとどまっており、タイプライタになれていない日本人には特に抵抗感のあるものになっている。商用CADシステムとしては、聴覚によるものは、まだ出ていないが、入力として、一部音声入力ができるものが出始めた。

もう一つのコミュニケーション・メディアの図形は、概念を形や色で表現し、視覚的、描写的である。この最大のツールはもちろんグラフィックディスプレイである。現在市販のCADシステムで、方式は、ベクトルCRT、ラスタCRTを使い画面サイズは、19、21インチが一般的で、26インチのものが出ているが、設計の操作性から言えば、マルチ処理が出来るようにさらに大きな画面サイズがほしいものである。

画質は、2,048×2,048が一般的だが、4,096×4,096のものが出てきている。画面サイズとの見合いもあるが、今の画面サイズに対する画質(分解能)としては、ほぼ満足出来るものではないだろうか。

色は、8色ベースで4,096レベルまで出来るものがあり、これもほぼ満足できるものと思う。

図形には、幾何形状や色彩のデータ以外にパターン情報やトポロジカル情報を含んでいるのが普通であるため、図形の入力を自動に行なうのは容易でなく、市販のCADシステムでは、幾何形状の入力は、デジタイザ等でアナログ量をデジタル変換して入力したり、タブレットのメニューやキーボードで、これから入力する図形の幾何形状を指示してから、やはりタブレットのメニューやキーボードより数値情報を入力することにより行っている。音声入力かではじめたが、音声出力、光読取りはまだ実用的なものとして、商用CADシステムの中に取り入れられていない。

ところで市販のCADシステムを購入して、最初にぶつかるものの一つに、基本図形(標準図形)の入力である。2次元の平面図形でさえばり大な時間をかけて入力しているのが現状である。

また、ターミナルに向って、作業中に、心理的にイヤになったり、イライラしてくる原因を調べて見ると、一番多いのが応答性の問題で、応答速度3秒以下がよいが、作業する負荷にもよるが、5~10秒もかかることがある。現在のCADシステムでは、計算機処理スピード、主メモリー容量の関係で、図面情報検索には使用にたえないのが現状であろう。汎用コンピュータと運動の分散型システムでも、現在は、汎用コンピュータをデータ管理用(あるいは処理時間のかかるシミュレーション処理用)に使用しているのみである。

応答性のスピードアップは言うまでもないが、今後望まれる機能としては、次のものが挙げられる。

音声による入力、音声出力によるエラー及び次の処置のガイダンス等、手書き文字・図形の認識、さらには物体認識、一つのもの処理中に他の処理が可能な多重処理性、それを可能にする大画面化等、現在で経済性を考えると問題があるが、現在の市販CADシステムはCADとして使用するには、まだまだ多くの課題が山積されている。

### (3) 商用システムの図形処理機能

設計の入力及びフィード・バックにおいて、図形を取り扱うのは、直感的でわかりやすく自然である。この図形を取り扱うための技術が図形処理と呼ばれている分野で、CADシステムの中核となる部分である。

一般の市販CADシステムが持っている図形処理機能を調べて見ると、製図で必要とされる点、直線、曲線、それらに対する実線、破線、一点鎖線、二点鎖線と基本的な図形生成機能。この機能により生成した図形を加工(変換)編集する機能として、長さの調整、コーナー切り、移動(鏡像、回転、拡大、縮小、オフセット)、消去等。寸法や注記を入れる図形の属性処理。

表 2.3-3 市販CADシステムのマンマシンコミュニケーションの現状

ベンダー 項目	APPLICON (丸紅ハイテック)	CALMA(GE) (伊藤忠データシステム)	COMPUTERVISION [コンピュータビジョン アジア]	DEC (DEC日本支社)	富士通	GERBER (横河電機製作所)
<ul style="list-style-type: none"> <li>ディスプレイ (代表的なもののみ)</li> <li>-CRTサイズ(表示方式)</li> <li>-表示速度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>21インチ(ラスター)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>19インチ(ストレージ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>19インチ(ラスター)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>21インチ</li> <li>10,000ベクタ/sec</li> </ul>	(ICADの場合) <ul style="list-style-type: none"> <li>20インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>25インチ(ストレージ)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>その他操作/入出力装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タブレット(メニュー)</li> <li>キーボード</li> <li>プロッタ</li> <li>ハードコピー</li> <li>ディジタイザ</li> <li>プリンタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>ファンクショナル・キーパ ット</li> <li>タブレット</li> <li>キャラクター・ディスプレ イ</li> <li>プロッタ</li> <li>ディジタイザ</li> <li>ライン・プリンタ (音声入力)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ディジタイザ</li> <li>コマンドタブレット</li> <li>キーボード</li> <li>プリンタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>タブレット</li> <li>プロッタ</li> <li>ディジタイザ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>タブレット</li> <li>クロスヘア・カーソル</li> <li>キャラクター・ディスプレイ</li> <li>ハード・コピー</li> <li>プロッタ</li> <li>日本船ラインプリンタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラフィックプリンタ</li> <li>4色プロッタ・ディジタ イザ</li> </ul>
ベンダー 項目	日立製作所	I B M	日本電気	日本ユニパック (トヨタ車体)	三井造船	三菱電気
<ul style="list-style-type: none"> <li>ディスプレイ (代表的なもののみ)</li> <li>-CRTサイズ(表示方式)</li> <li>-表示速度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>20インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>21インチ (ランダム・スキャン)</li> <li>8,890 m/秒(ベクトル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>14インチ (ラスター・スキャン)</li> <li>26ms/画面</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>26インチ (ランダム・スキャン)</li> <li>5000 Kピクセル/秒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>21インチ (リフレッシュ・ランダム)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>21インチ (ランダム・スキャン)</li> <li>128 Kピクセル/秒</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>その他操作/入出力装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タブレット(メニュー)</li> <li>キーボード</li> <li>ファンクションキー</li> <li>プリンタ</li> <li>プロッタ</li> <li>ディジタイザ</li> <li>ハードコピー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>ライトペン</li> <li>タブレット</li> <li>プロッタ</li> <li>ディジタイザ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>クロスヘア・カーソル</li> <li>タブレット</li> <li>グラフィック用プリンタ</li> <li>プロッタ</li> <li>ハードコピー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>ライトペン</li> <li>タブレット</li> <li>コントロールダイヤル</li> <li>ジョイスティック</li> <li>ファンクションキー</li> <li>ディジタイザ(オプション)</li> <li>プロッタ( )</li> <li>ハードコピー( )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ライトペン</li> <li>タブレット</li> <li>ファンクション・キー</li> <li>キーボード</li> <li>コントロールダイヤル</li> <li>ハード・コピー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーボード</li> <li>プリンタ</li> <li>プロッタ</li> <li>タブレット</li> <li>ディジタイザ</li> <li>プリンタ</li> </ul>

メーカー・ベンダー 項目	住商エレクトロニクス	内田洋行	第二精工舎	伯 東	武 藤 工 業	ブライム・ コンピュータ・ジャパン
ディスプレイ (代表的なもののみ) ・CRTサイズ(表示方式) ・表示速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・21インチ (ラスター・スキャン)</li> <li>・19.2KB/sec</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・19インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・19インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・25インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・19インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・19インチ (ラスター・スキャン)</li> </ul>
その他操作・入出力装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キーボード (ファンクション・キー付)</li> <li>・タブレット</li> <li>・ハードコピー</li> <li>・プロッタ(オプション)</li> <li>・音声入力( )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キーボード (ファンクション・キー付)</li> <li>・シンボル・タブレット</li> <li>・プロッタ</li> <li>・プリンタ</li> <li>・ディジタイザ</li> <li>・ハードコピー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キーボード</li> <li>・ペンプロッタ</li> <li>・ハードコピー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キーボード</li> <li>・タブレット</li> <li>・プロッタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キーボード</li> <li>・タブレット(メニュー)</li> <li>・プロッタ</li> <li>・ハードコピー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キーボード</li> <li>・タブレット</li> <li>・プロッタ</li> <li>・ディジタイザ</li> </ul>

これらによって出きた図面をグルーピングしたり、コピーする図形編集機能。さらに、3次元データを生成し、曲面やら次元図形処理を行なう機能等を持っている。これら市販CADシステムの図形処理機能の例として一部のCADシステムのものを表2.3-4に上げる。

表 2.3-4 市販CADシステムの図形処理機能例

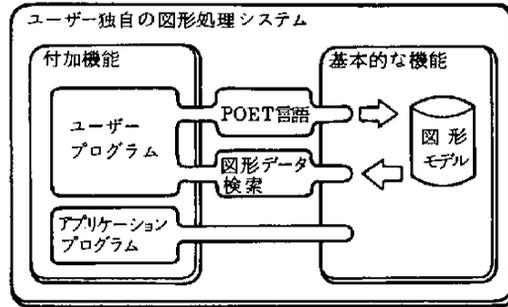
<MELCAD-MD>			
機能分類	機 能 内 容	機能分類	機 能 内 容
基本図形生成	点や直線等の図形要素を生成する。 ○点…点, 分割点, 端点, 中心点 ○直線…有限及び無限の水平線, 垂直線, 平行線, 垂線, 角度を持った直線, 水平線 ○円…円, 同心円, 内接円, 楕円 ○曲線…点列による近似曲線, コーニック曲線 ○線種…真線, 破線, 一点鎖線, 二点鎖線	属性処理	寸法や注記を入れる機能 ○寸法…水平, 垂直, 平行, 角度, 直径, 半径, 弧, 弦, 面取り, 公差, 非比例の寸法を入れる。(JISに準拠) ○注記…英字, 数字, カナ, 漢字の記入。 ○属性付加…図形要素及びグループ(補助図)に対し属性情報を付加する。
図形編集	基本図形生成機能で生成した図形を加工編集する。 ○長さ調整…長さ削除, 延長, 要素分割, 復元。 ○コーナー切り…角, R, 面取コーナーを作る。 ○トラップ…図形要素の集合を一時的に作成する。 ○移動…鏡像, 移動, 回転, 拡大, 縮小, オフセット。 ○消去…図形要素, 寸法, 注記の消去及び再表示 ○画面の制御…画面の移動, 拡大, 縮小, グリッドの設定 ○座標系の定義…1つの投影面で複数の座標系を定義できる。 ○投影面の定義…1つの図面で12の投影面を定義できる。	図面編集	グループ(補助図)の作成, 図面のコピーやシンボル, 標準図を配置する。 ○グループ生成…100枚のグループを生成できる。 ○コピー…図面へグループや標準図を配置する。 ○シンボル参照…シンボル図形を図面に配置する。
		図面ファイル	図面の作成, 呼出し, 追加, プロット出力指示を行う機能。 ○図面の作成…新規図面の作成, 追加修正図面の呼出しを行う。 ○プロット出力…図面のプロット出力指示。 ○レイヤの指定…100層までのレイヤ指示ができる。
パラメトリック図形処理	変化寸法値をパラメータ化した図面作成プログラムをMELCAD-MDから呼出し実行する。	3次元データ処理	3次元データを生成し曲面や3次元図形処理を行う。
図形定義言語	標準図やシンボル図をオフラインで図形定義し作り出す。		

<CADAM>	<ANVIL 4000>
<p>①図形作成機能：基本的な点，円弧，直線の定義，円錐曲線，スプライン曲線の作図，トリミング，角とり，図形の合成</p> <p>②解析機能：線長，面積，体積，重量計算，図心，モーメントなどの断面特性，ねじり・引っぱり強度のような図形解析</p> <p>③製図機能：ANSI/ISO規格，注記，ハッチング，寸法線，断面線の作図</p> <p>④表示制御機能：拡大，縮小，移動，回転，複写，鏡像，ウインドイング，一時表示/再表示，重ね合せ</p> <p>⑤ファイル制御：図形データの保存，検索，更新，自動バックアップ，ニラリカバリ，標準シンボルライブラリ登録と利用</p> <p>⑥3次元機能：3次元スプライン，回転面，ルールドサーフェス，曲面と平面の交線，3次元図形の2次元への投影機能</p>	<p>(1)図形定義：点，ライン，円弧，フィレット，スプライン，オフセット，放物線，双曲線，楕円，ストリング，正三角形，曲面端曲線，曲面交線，投影曲線，曲面断線，回転体，ルールド曲面，B・サーフェス，フィレット面，オフセット面，複合面，曲線駆動曲面，投影曲面，そのほか。</p> <p>(2)図形編集：トリム，削除，移動，回転，アレイ，グループ，鏡像，複製，引張り，そのほか。</p> <p>(3)ディスプレイ制御：32マルチビュー，ズーム，パニング，視点変更，深度変更，深度選択，表示レベル(層)選択，そのほか。</p> <p>(4)製図：水平・垂直・平行・角度・円・直径・厚み寸法，クロスハッチング，ノート，ラベル，局部拡大，吹き出し，文字フォントサイズ，傾き選択，プロットサイズ選択，そのほか。</p> <p>(5)その他：GRAPL-Ⅱ言語，レベル(層)管理，属性管理，部品データベース管理，パターンデータベース管理，ユーザーI/O，データ検証，パターン組合せ。</p>

< C A T I A >

ワイヤー・フレーム図形・処理機能	サーフェース図形処理機能
<p>ーワイヤー・フレームの要素</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・点</li> <li>・直線</li> <li>・単純な曲線(円, 楕円, 円錐曲線)</li> <li>・複雑な曲線(ベジェ-BEZIERの曲線およびスプライン)</li> <li>・テキスト</li> <li>・平面</li> </ul> <p>ー図形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・図形特性(例, スプラインの曲率)</li> <li>・関連性(例, 2直線間の角度)</li> </ul> <p>ー対話モニター・サービス</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・データ・ベース・アクセスと管理</li> <li>・プログラム管理(例, 動的モジュール・ロード)</li> <li>・3250および3278コンソール対話管理</li> <li>・画面機能 <ul style="list-style-type: none"> <li>・表示画面内に最高4個まで独立にユーザーが分割表示(ビュー)できる。</li> <li>・ウインドーイング</li> <li>・ズームング</li> <li>・回転</li> <li>・斜投影図, 透視図</li> </ul> </li> <li>・ユーザーによる図形要素の表示形式定義</li> <li>・2次元対話モード: ユーザーが一時的に選んだ平面内で対話形式で作業することができる。</li> </ul>	<p>ーサーフェース:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パッチ: ベジェ形式の曲面, 複数の点, 円弧を通るパッチ(フィッティング), もしくは点, 円弧の近傍を通るパッチ(最小法による平滑化。)</li> <li>・CATIAサーフェース: 矩形状に並んだパッチ例・これらの曲面はパッチの連結か, 次のような特別な場合には自動的にマルチ・パッチを作成することが出来る。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・単純な曲面(球, トーラス)</li> <li>・回転曲面</li> <li>・曲面間のフィレット(一定の半径または可変の半径)</li> <li>・線織面</li> <li>・ダクト曲面とパイプ</li> </ul> </li> </ul> <p>ーフェース:</p> <p>1つ以上の曲線で限定されたサーフェースの領域。平面のフェースも定義できる。</p> <p>ーボリューム:</p> <p>フェースによって囲まれ閉じた空間の領域。</p> <p>ー図形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・図形特性(曲面の曲率)</li> <li>・図形の論理関係(基本サーフェースとフェースの境界)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・線形変換: 単純なケース(例, 平行移動, 回転, 鏡像など)複雑なケース(例, マトリックス変換)</li> <li>・図形のグルーピングとグループ処理</li> <li>・複数個の座標系</li> <li>・CADAM インターフェース(CATIAとCADAMは同じ3250映像表示システムで使用することができる。)</li> </ul> <p>ーパッチ・サービス:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・データ管理ユーティリティ: データ・ベース・ファイル/復元/複写/初期設定/サマリー</li> <li>・ハードコピー機能: ペンおよび静電プロッター</li> <li>・図形インターフェース機能: CATIAモデルからの読み込みおよびCATIAモデルへの書き込み</li> <li>・アカウンティングおよび統計</li> </ul>	<p>多面体ソリッド図形処理機能</p> <p>このモジュールは, 基本モジュール(ワイヤー・フレーム図計)に加え, 平面または擬似小平面によって定められる単純ソリッドまたはボリュームを定義することができる。この近似方法によって対話形式で除線線を消去することができる。</p> <p>次の8つのソリッド形式を定義できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・立方体</li> <li>・球</li> <li>・平行六面体</li> <li>・円柱</li> <li>・プリズム</li> <li>・円錐</li> <li>・ピラミッド</li> <li>・トーラス</li> </ul>

前記の機能に加えて、ユーザー独自で、ユーザーが使いやすいCADシステムを構築しやすいように、各社とも同類の図形処理言語を持っている。この言語で図形の定義、操作、一部拡大、縮小などを、最少限のデータ指示で実現できるようにしている。(図2.3-5参照)



ユーザプログラム支援機能

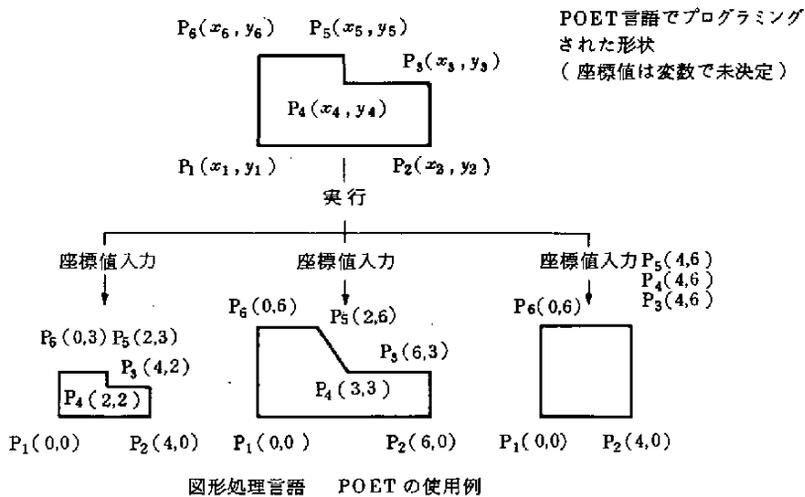


図 2.3-5 ユーザーによる図形処理支援機能の例

しかし、これら図形処理言語で作られたものは、一般的に言って、処理速度が遅いのと制御事項が多い。従って、導入当初は、設計者が設計者向けのソフトウェアを開発するときに使用しているが、その後、スピード、使い易さを考慮して、専任のプログラマが、FORTRANのような一般言語で書きなおしたりしているのが実態である。

表 2.3-5 形状モデルと次元

形状 次元モデル	ワイヤ・フレーム・モデル	サーフェイス・モデル	ソリッド・モデル
2 次元	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2次元座標データをもとに対象物体を2次元の平面体として捉えて、その頂点と稜線によって表現するモデル</li> <li>- 製図で使用する三角図法と同じ。コンピュータ処理は簡単であるが、表現が実体と異なるため、解析、製造用モデルには向かない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2次元ワイヤ・フレーム・モデルに面を張ったモデル</li> <li>- 2次元ワイヤ・フレームモデルで処理できるので、現実上意味をなさない。</li> </ul>	<hr style="width: 20%; margin: auto;"/>
3 次元	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3次元対象物体の頂点と稜線のみによって表現するモデル</li> <li>- 3次元物体を頂点と稜線のみで表現しているため、コンピュータ処理は簡単で処理も早いですが、実体と異なるため、最近高精度が要求されている解析、製造用モデルには、特に向かない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3次元ワイヤ・フレーム・モデルに面を張ったモデル</li> <li>- 断面検討や部品の干渉チェックは可能、中空で、対象物の内か外かを識別出来ないため、陰線消去などは完全には出来なく、モデルとして不備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 実物体と同じように、中実の3次元立体表現が出来るモデル</li> <li>- 部品の干渉チェックや体重・重心など計算が出来、陰線消去もしやすい。実体にかぎりなく近い解析が可能となるが、コンピュータ処理時間がかかる。表現として必要なデータは少ないが、コンピュータ内部データが、多量になる。</li> </ul>

表 2.3-6 商用CADシステムの図形処理の現状

ベンダー 項目	APPLICON (丸紅ハイテック)	CALMA(GE) (伊藤忠 データシステム)	COMPUTER VISION [コンピュータービジ ョンアジア]	DEC (DEC日本支社)	富士通	GERBER (横河電機製作所)
形状モデル	・ワイヤフレーム ・サーフェイス ・ソリッド	・ワイヤフレーム ・サーフェイス	・ワイヤフレーム ・サーフェイス	・ワイヤフレーム ・サーフェイス (・ソリッド)	・ワイヤフレーム ・サーフェイス (CADAM)	・ワイヤフレーム
次元(D)	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D
図形処理言語 (パラメトリック 図形処理含む)	パラメトリック 図形処理	DRC	PEP	GRAPL-II	パラメトリック図 形処理 (ICADのみ)	-
画面サイズ (最大級のもの)	21インチ	19インチ	19インチ	21インチ		25インチ
画質(分解能) (最大級のもの)		4096レベル	512×512	512×256	1024×1024 (CADAM) 1024×800 (ICAD)	
カラー	色あり	-	色あり	16色×16階調	7色(ICAD)	-
立体感 (・シャドウ) (・その他)	あり	-	-	あり	△バッチ処理 (ICAD)	-
陰線処理 (△:不完全) (○:完全)	○		△	(○)		
干渉チェック	○	-	-	(○)	-	-

ベンダー 項目	日立製作所	IBM	GTC (住商エレクトロ ニクス)	日本ユニパック (トヨタ車体)	三井造船	三菱電気	日本電気
形状モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム</li> <li>サーフェス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム (CADAM)</li> <li>サーフェス</li> <li>ソリッド (CATIA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム</li> <li>サーフェス</li> <li>ソリッド (予定)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム</li> <li>サーフェス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム</li> <li>サーフェス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム</li> <li>サーフェス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワイヤフレーム</li> <li>サーフェス</li> </ul>
次元	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D
図形処理言語 (パラメトリック 図形処理含む)	POET	—	AGILE	<ul style="list-style-type: none"> <li>変数, ポジショナ ル, リレーション</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメトリック 図形処理</li> <li>図形定義言語</li> </ul>	パラメトリック 機能
画面サイズ (最大級のもの)	20 インチ	21 インチ	21 インチ	26 インチ	21 インチ	21 インチ	19 インチ
画質 (分解能) (最大級のもの)	4,096 × 3,120	4,096 × 4,096	2,048 × 2,048	4,048 × 4,048	2,048 × 1,902	2,048 × 2,048	
カラー	色あり	—	8色	色あり	色あり	4,096 レベル	あり
立体感 (・シャドウ ・その他)	—	あり	あり	—	—	—	—
陰線処理 (△:不完全 ○:完全)		○	(○)				
干渉チェック	—	○	(○)	—	—	—	—

以上が、一般的な市販CADシステムの図形処理機能であるが、その内部で扱っている図形の形状モデルについて調べて見ると、ワイヤ・フレーム・モデル、サーフェス・モデルがほとんどで、最近一部にソリッド・モデルが出始めた所で、各社競って将来、ソリッド・モデルを扱えることを公表し出した。(形状モデルについては、表2.3-5の形状モデルと次元を参照)

これは、設計で、ワイヤ・フレーム・モデル、サーフェス・モデルを使用すること自体に根本的な問題があるのだが、今までは技術的な問題、経済的問題、処理速度の問題で使用せざるをえなかった。しかし、これらの問題もだんだん解決されて来ると同時に、より高精度な解析の要求・必要性が高まって来ており、従来のモデルでは対処しにくく、また非能率的であるので、各社ソリッド・モデルで対処することを考え出したのであろう。しかし、技術的、経済的な問題は解決の方向に向っているが、処理速度となると、まだまだ問題が大きく、実体としては、実際に使用するには、まだ問題があるようだ。

今後、計算機の処理速度を飛躍的に上げる必要がある。

(対象：機構設計，建築，土木)

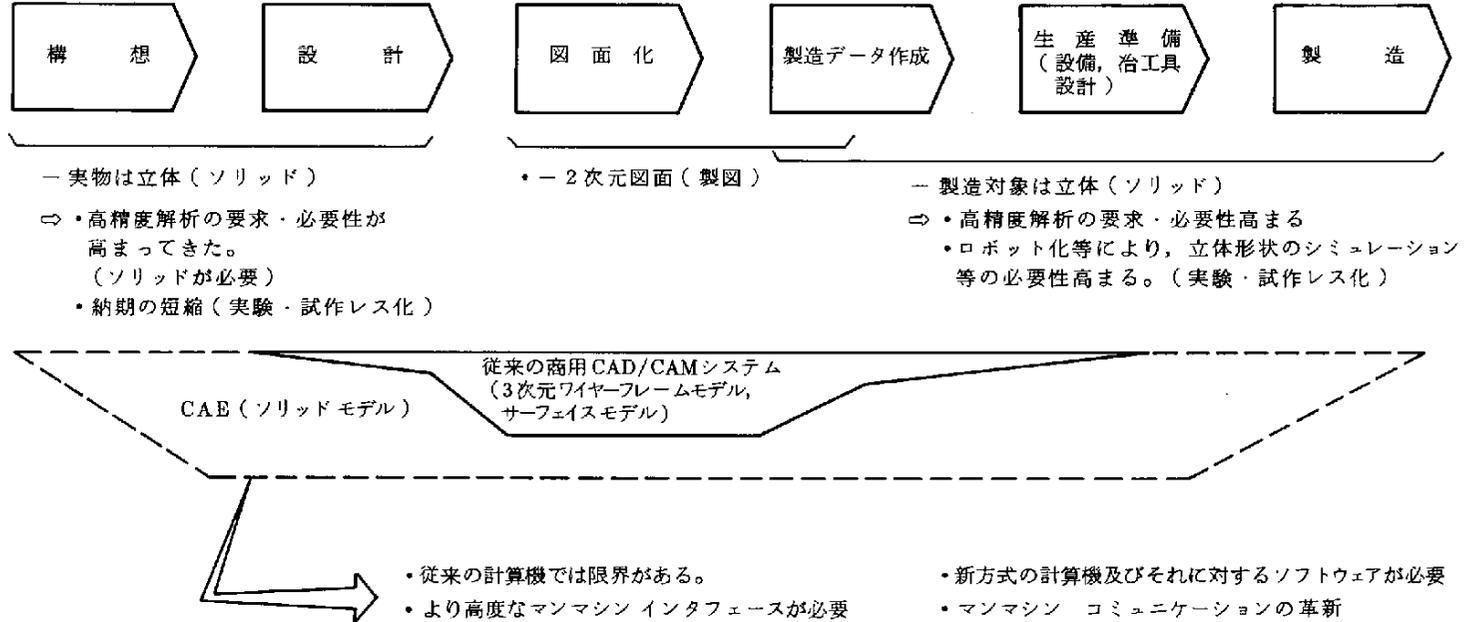


図 2.3-6 ソリッド・モデルの要求の高まり

### 3. CAEを支える技術的環境

#### 3.1 図形処理技術の現状

図形処理，中でもコンピュータ・グラフィックスに関する技術の発展と，多方面にわたる利用の普及は非常に目を見張るものがある。

表3.1-1は，1960年以降の図形処理に関する主要事項を整理したものである。大きな区分として，1960年-70年代初頭は，研究開発の時代であった。これは図形処理の理論，ハードウェア装置およびソフトウェアの全てについて言える事である。さらに他の分野，例えば構造解析の大型ソフトウェアの開発も同じ頃であった（NASAアポロ計画）。1970年代に入りミニコンを用いたターンキィCADシステムが開発され，実用システムとして70年代後半から本格的に普及しはじめた。またその間，グラフィック装置の低価格化，LSIやマイクロプロセッサの開発などのハードウェア技術の発展があった。一方ソフトウェアも，CAD/CAMをはじめとして，各種図形処理パッケージが開発されて来た。このように図形処理の広範囲な普及条件が整いはじめた状態で80年代を迎えた。

表3.1-2は，現在市場に出ている機械設計用ターンキィシステムの典型的な機能例である。幾可モデルとして，3次元ワイヤフレームモデルと部分的な曲面モデルが使用可能であり，製図に必要な正投影図をはじめ，エンジニアリング的な考察を加えるための任意方向からのビューが得られる。また曲面処理ではスカルプチャサーフェスなどAPTを意識した機能も用意されている。これら機能を見ると，設計の中でも，製図を中心とした業務や，NC処理については完全に実用化のレベルに達していると言える。

一方製図に基本をおくシステムの限界については，既に1960年代に認識されており，代替案となるソリッドモデルの研究が開始された。1970年代に幾つかの実験的なシステム，例えば東工大GEOMAP，北海道大TIPS，ロチェスター大PADLなどが開発され，70年代の終りころまでに，ソリッド・モデリングの理論的背景と計算技術の概要が確立したのであると言われている。<sup>1)</sup>

現在，商用CADシステムの多くは幾何モデルとして，ワイヤフレーム+サーフェスモデルを用いているが，この幾何モデルの違いによる問題点について触れておきたい。

なお，この内容は参考文献〔4〕によるものであり，機械系の各エンジニアリング業務に対して系統的に比較したものである。以下業務別に代表的なチェックポイントを取り上げ，その結果を表3.1-3に要約している。

表 3.1 - 1 図形処理の発展

年代	ソフトウェア		テクノロジー		ハードウェアテクノロジー		
	APT	CAD / CAM	理論	解析	実験システム	端末	コンピュータ ターンキー
1960		(1955 APT)					
61	APT-III	(1957 APT-II)					
62			Sketchpad				
63							IBM360
64		DAC-1				IBM2250	
65		GM	Lockheed CADAM		ICES STRUPL NASTRAN		PDP-8
66	EXAPT-1	CADANCE	McDonnell CADD		FEMプログラム開発開始		
67				Coon's Patch			
68					TIPS		ADAGE
69	EXAPT-2						VG
1970	APT-IV	IPAD	Bézier				Tektronix PDP-11 4010 IBM370
71		コンセプト					CV設立
72	EXAPT-3			陰線(面)アルゴリズム 消去			ターンキー メーカー設立 出荷開始
73							
74					FEM普及		
75				GSPC発足	TIPS-1 '74 PADL		Tektronix4014
76		CADAM販売					
77				GSPC77 (CORE)	TIPS-1 '77		IBM303X
78		CADAM(IUP)	IGES				VAX11/780
79				GSPC79	GKS79		
1980			ANSI Y14.26.X - 198X				
81							

表 3.1-2 CADシステムの機能例(機械設計用)

図形要点

- |           |            |             |
|-----------|------------|-------------|
| • 点       | • 3次式スプライン | • メッシュによる面  |
| • 直線      | • ベクトル     | • 双3次曲面     |
| • 円および円弧  | • 複合曲線     | • B-スプライン曲面 |
| • 円錐曲線    | • 曲面と曲面の交線 | • フィレット曲面   |
| • 楕円      | • 曲面のエッジ   | • オフセット曲面   |
| • 放物線     | • ドラフト曲線   | • 曲線に沿った移動面 |
| • 双曲線     | • 平面       | • スカルプチャ曲面  |
| • 多角形     | • 回転面      | • 複合面       |
| • ストリング   | • タブシル面    |             |
| • B-スプライン | • 線織面      |             |

図形操作

- |               |         |          |
|---------------|---------|----------|
| • 平行移動(2D/3D) | • グループ化 | • テンプレート |
| • 回転移動(2D/3D) | • パターン  | • 配列複写   |
| • 複写          | • シンボル  | • 鏡像     |

製図機能

- |                     |          |                 |
|---------------------|----------|-----------------|
| • 製図通則(JLS, ANSIなど) | • 角度     | • 線種            |
| • 図形の投影             | • 半径, 直径 | • バルーン          |
| • クロスハッチング          | • 厚み     | • 公差            |
| • 水平寸法線             | • ノート    | • 文字サイズ, 角度, 間隔 |
| • 垂直寸法線             | • ラベル    | • 小数点の位置        |
| • 平行線に対する寸法線        | • 中心線    | • 日本語           |

図形解析

- スプライン解析(線分長, 曲率半径など)
- 断面解析(面積, 重心, 一次モーメント, 慣性モーメントなど)
- 3次元解析(表面積, 体積, 重量, 重心, 一次モーメント, 慣性モーメントなど)

### ①設計業務に関する比較項目

#### ・寸法、位置の定義

機械装置の設計には、基本特性を与える形状寸法や機械要素の位置情報が多数必要である。しかしこれらの多くは他の寸法、位置と相関的な関係から正確に求められるものである。幾何モデルによる適用条件が比較の対象となる。

#### ・立体感(形状のリアリティ)

メカニカルなシステムの設計は3次元的な形状の定義を要し、多数の面で内部を囲むことによりリアルに設計対象を表現しなければならない。通常の図面は、必ずしもリアリティがあるとは言えず、未結合の面や内部領域を通過するような設計ミスがあり得る。

### ②解析業務に関する比較項目

#### ・はめあい(Fit Checking)

機械部品は許容範囲内のクリアランスで取付面で接合出来るよう設計されるが、一つの機械についてこのような接合部は数千ヶ所もある。このためシステムの完成には各境界でのチェックが必要となる。

#### ・干渉チェック

機械システムの任意の2つの部品が同じ空間を占めるとき干渉が生じる。全ての部品はまた干渉なく組立てられなければならない。複雑なシステムでは干渉の検討のためモックアップや、プロトタイプモデルが必要となる。また機構メカニズムの場合、関節部分の動く範囲もチェックされなければならない。

#### ・ボリュームプロパティ

設計対象の形状から導かれるもので、他の解析に用いられる。体積、重量、断面積、表面積、慣性モーメントなどがある。

#### ・解析モデルの生成

部品形状は多数の解析アプリケーションで用いられる。この中には構造解析、熱伝導・応用解析、振動解析および他の形状にもとづく解析が含まれる。

#### ・公差の累積

部品の特定部分の寸法公差は非常に厳密なものである。複雑な組立品の場合、公差の累積は重要である。また公差の相互作用を解析することは非常に困難である。結果として安全側に立った過剰な公差が指定されることがある。

### ③コントロールに関する比較

エンジニアリングのコントロールやマネジメントに関するもので、認可、レビュー、リリースの手

表 3.1-3 幾何モデルの比較

アプリケーション	比較の対象	WIRE-FRAME	SURFACE	VOLUME
設計	寸法置	既存の点、線分、曲線から幾何計算により、寸法、方向、新しい点の位置が求まる。曲面に関する厳密な情報は、ワイヤフレーム上でのみ得られる。	ワイヤフレームでは得られなかった曲面に関するデータが使え、寸法、位置決めが可能。	幾何情報に関して何ら制約はない。
	立体感	ワイヤフレームが形状をリアルに表現しているとは言えない。	ワイヤフレームに比べて著しい改善は得られていない。	リアルに形状を定義できる可能性がある。これはプリミティブのリアル性に基く。全てのソリッドモデルがこの要求を満たしているわけではない。
解析	Fit (はめあい)	接合部は2つの面の関係であるため、適合するかどうかは人間の判断。	接合部に面を作ることにより、自動的に計算評価される。	全ての境界面で自動的に評価される。
	干渉チェック	干渉チェックは視覚的に判断する。これはソリッドの対象を完全に定義できないため、可能性としては干渉近傍の外形をワイヤフレームで囲みチェックする。	必ずしも対象モデルの全てがサーフェスで与えられるわけではなく、干渉チェックは自動的に行なえない。	機械の全ての部品に対して、自動的に検討される。さらに関節メカニズムに対しても実行される。
	ボリューム解析	ワイヤフレームモデルから自動的に、また直接的にもボリュームプロパティを計算できない。	対象の全ての面が与えられない限り、ボリューム計算を自動的に行なえない。	ボリューム計算は完全に行なえる。
	解析モデル	3次元ワイヤフレームは解析モデル作成のインプットとなり得る。メッシュの作成は人間の判断による。	曲面上の点を正確に求めることが容易である。一つの面について自動メッシュを行うことが可能である。	解析モデルの作成が容易である。完全な自動化は、将来可能であり実用化され得る。
	公差累積	解析のためのデータの一部が得られる。組立の境界での自由度や許容度を入力する必要がある。	各インターフェイスで面が与えられるならば、自動的に解析可能である。インターフェイスの大部分は、平面と円筒面である。	インターフェイスの記述が可能であり、限界公差の入力により評価解析ができる。完全自動の解析も可能性はある。
ドキュメンテーション	製図イラスト	製図の基本データが得られる。線分を選択するのは人の判断による。円筒の線の輪郭線などは追加が必要。陰線消去はマニュアル処理。	図面作成に対し、ワイヤフレームに比べ著しい機能向上はない。面の線は計算され表示できる。陰線および陰影処理は可能である。	全てのビューが計算され、面の線の輪郭線や、陰線処理が行なわれて明確な表示が得られる。陰影処理も可能。
	寸法記入	線分の長さは、求められ、寸法値として図面の一部となる。ただし、曲面に関する寸法情報は不完全で、求められないものもある。	完全な寸法に必要な曲面に関する情報が追加されている。	モデル内に常に完全な寸法情報を持っている。完全自動のディメンジョンの可能性がある。
	断面図	断面の線は、対話オペレーションにより作らなければならない。断面が円の場合、指定が困難。曲線になる場合は非常に難しい。	断面形状を求めることが可能である。内部領域にクロスハッチングを行うには、マニュアル操作を要する。	任意の平面や曲面により断面が得られ、自動的にクロスハッチが入る。
製造	N C	N Cプログラミングに対する参照データとして使える。曲面データは不完全である。	定義された曲面に対して、自動的にN Cツールパスが生成される。	任意の面上でツールパスを自動的に作成できる。潜在的に完全自動の可能性はある。

順や標準品のライブラリーがその例である。形状データもこの中に含まれるが、幾何モデルに一意に依存するものは明らかでない。

#### ④ドキュメンテーションに関する比較項目

- 製図

製造のために図面が作られる。各図面はいくつかのビューを持っている。製図および他のドキュメント作成には、エンジニアリング部門の工数の大きな割合を占めている。

- 寸法記入

製造に必要な寸法は、図面に正確な数値として記入されていなければならない。

- 断面図

図面情報を追加するため断面図が作られる。典型的なものは平面による切断面である。

#### ⑤製造に関する比較項目

- NCプログラミング

データベース内の幾何データを用いて、NCプログラミングを行なう。

表 3.1-2 の比較で目につくことは、ソリッドモデルに対する評価の高さであろう。簡単に要約すると、

- 幾何形状表現に関して、ソリッドモデルは“完全”であり“正確”である。
- ソリッドモデルは多くの業務で、高度の処理自動化に最も適したモデルである。

と言えよう。勿論ソリッドモデルを用いたシステム全てに対して、上記の評価が与えられると言う事ではなく、機能上の可能性と捉えるべきであろう。ところで、一般論として、ソリッドモデルを使ったシステムは計算能力の非常に高いコンピュータを必要とされている。現在でもCAEに対する要件として応答性の良いことが必須条件であると指摘されている。このことはソリッドモデル処理コストが非常に高くなる可能性を意味している。しかし、この点に関して、次のような見解が述べられている。「CADおよびCAEシステムが単にエンジニアリングや製図の自動化のみを目的とするなら、ソリッドモデルの利点はコンピュータコストに見合わない。一例として、FEMのメッシュデータ作成に、人手で5人日かかるものが、ワイヤフレームCADで4人時に削減できる。更にソリッドモデルにより1人時に改善しても大幅な減少とはならない。しかし、ソリッドモデルを用いることは、多数の解析や機能チェックなどが、処理の自動化により普通の事として設計の全工程で行えることを意味している。この結果、設計工数削減以上の生産性向上が、設計の品質向上や製造コストの低減となって生じてくる。」この主張は、現状のエンジニアリング業務の役割が質的に変化することを意味し、CAEの方向を示しているものと考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) H. B. Voelcker, Solid Modeling, Siggraph '81 Seminar :  
Introduction to Computer Aided Design, 1981, 8, 3-4
- 2) Aristides A. G. Reguicha, Representation for Rigid Solids :  
Theory, Methods and Systems, Computing Surveys, Vol.12  
No.4, 1980, 12, PP 437-464
- 3) 沖野教郎他, TIPS-1 '77 Version, Technical Information  
Processing System By TIPS Working Group, 北海道大学, 1978
- 4) B. R. Borgerson, R. H. Johnson, Beyond CAD to Computer  
Aided Engineering, IFIP, 1980, PP 659-666
- 5) 川口博, CAD/CAMの動向について, 第7回造船学会夏季講座「新しい造船学」  
1981, 9
- 6) 服部幸英, 「やさしい CAD/CAM」, 図形と画像, Vol.1 No.1 - Vol.2  
No.3, 1981 連載
- 7) 池田嘉彦, 「形状モデリングの動向」, 図形と画像, Vol.2 No.2 - Vol.2  
No.4, 1981 連載

## 3.2 図形処理装置の現状

### 3.2.1 CADシステムとデバイス

会話型CADシステムは、マンマシン・インタラクションのための会話ワークステーション、作成した図面を作画するためのハードコピー装置、必要に応じて既存図面や地図などの入力を行うための図形入力装置、及びCADのプロセッサ(CPUと周辺装置)から構成される。(図3.2-1)

会話ワーク・ステーションは人間と機械との接点にあたる場所であり、図形を表示するグラフィック・ディスプレイ装置とキーボード、ライトペン、ファンクション・キー、タブレットなどの入力装置から構成される。(図3.2-2)エラー・メッセージなどの各種メッセージ出力のためにグラフィック・ディスプレイ装置とは別にキャラクタ・ディスプレイ装置を備えているものもある。

設計者(CADシステムの利用者)は会話ワーク・ステーションを通してCADシステムと会話することになり、会話ワーク・ステーションを構成するデバイスの選択にあたっては、操作性、

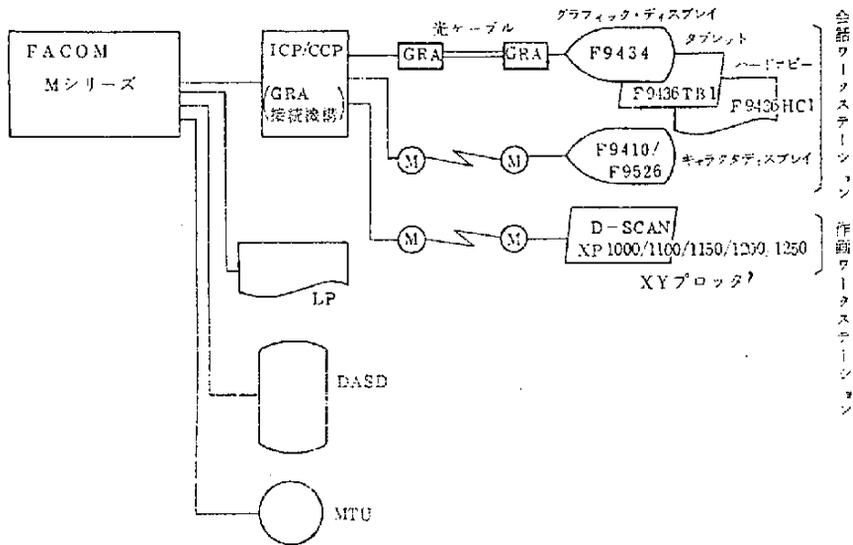


図 3.2-1 CADシステムの構成例  
(FACOM ICAD)

## 会話ワークステーション

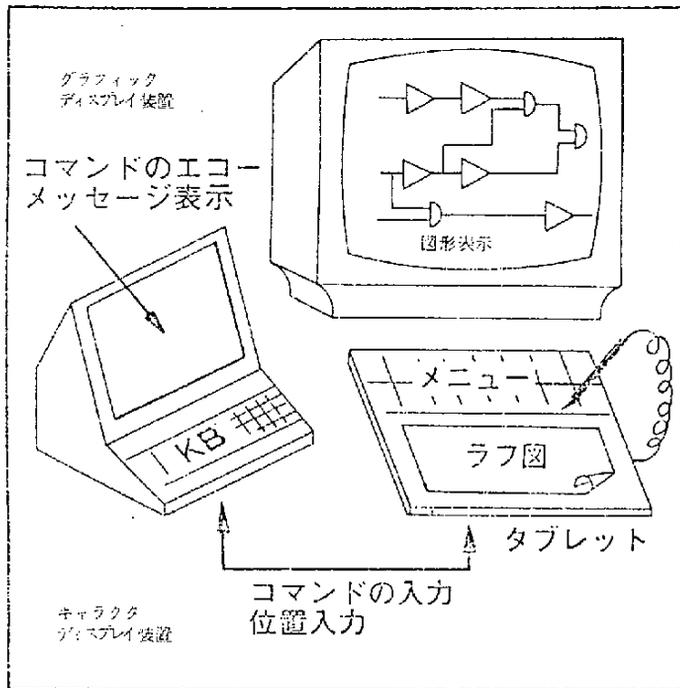


図 3.2-2 会話ワーク・ステーション

会話性といったマン・マシン・コミュニケーションの性能が重視される。特に、コンピュータの中に作られたモデルを設計者に見える形に表現するグラフィック・ディスプレイ装置の図形表示能力が問題となる。

ハードコピー装置としてはプロッタ（機械式インクリメンタル・プロッタ又は静電プロッタ）が最もよく使われ、まれにCOMが使われることもある。カラー・グラフィック・ディスプレイ装置の普及ともない、カラー・ハードコピー装置の需要が高まっており、研究、開発が急速に進んでいる。

図形入力装置としては入力データの種類に応じて各種のディジタイザが使われる。又3次元物体の入力のために3次元座標読取装置が使われることもある。大量図面の入力の省力化のため、自動読取装置の研究も行われている。

次章よりCADシステムを構成するデバイスについて、グラフィック・ディスプレイ装置を中心として現状と動向について述べる。

### 3.2.2 グラフィック・ディスプレイ装置

#### 1) グラフィック・ディスプレイ装置の種類と特徴

グラフィック・ディスプレイ装置は表示デバイスの種類で分類すると、CRT (Cathode Ray Tube) を使用したものと、それ以外に分けられる。更にCRT方式は、ランダム・スキャン型とラスタースキャン型及びストレージ型に分けることが出来る。(図3.2-3)

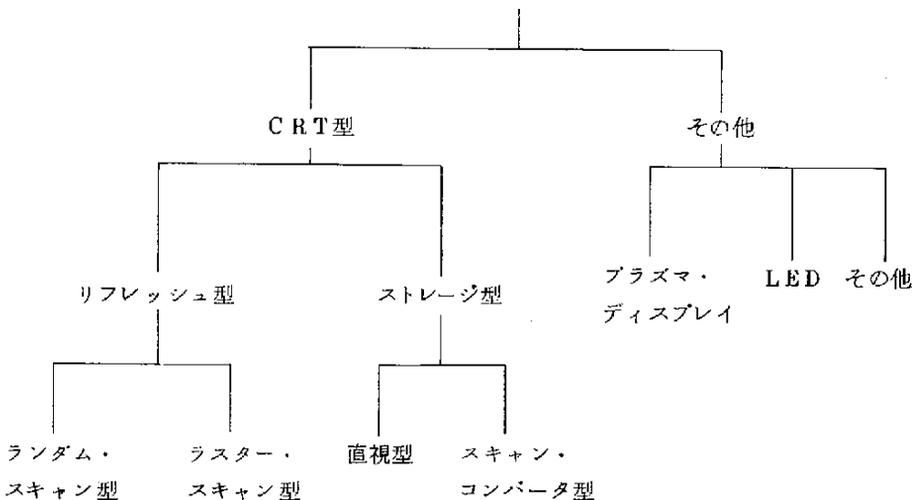


図3.2-3 グラフィック・ディスプレイ装置の種類

表 3.2-1 グラフィック・ディスプレイ 3 方式の特徴

	画 面 サ イ ズ	線 の 質 ( 代表的精度 )	表示 ベクトル数	カ ラ ー	塗 り つ ぶ し	表示の 明 る さ	動的 表 示	インテリ ジェンシイ	会 話 性	価 格
ランダム スキャン型	19 ~ 26 インチ	高精度 ( 4096 × 4096 )	5,000 ~ 95,000	白, 黒 ( ペネトレー ション・チュ ープ使用の 時 4 色 )	不可	明るい	可 ( 高速 )	中	高	高
ストレージ型	19 ~ 25 インチ	高精度 ( 4096 × 3120 )	制限なし	2 色	可	暗い	不可	低	低	中
ラスタ ースキャン型	14 ~ 26 インチ	中位 ( 1024 × 1024 ) 斜線が ギザギザになる	制限なし	多い 8 色 ~	可	明るい	可 ( 遅い )	高	中	安

ストレージ型のうち、スキャン・コンバータ型については、現在ほとんど使われていない。又、CRT型以外のものについて画面サイズや精度に制約があり、現在の所CADシステムにはほとんど使われていない。

ランダム・スキャン型、ラスタースキャン型、ストレージ型(直視型、以下同じ)のCAD用の代表的3方式について、それぞれの特徴を大まかに表わすと表3.2-1となる。

以下、各方式の特徴について、CAD用、特に、3次元CAD用としての視点から述べる。尚、各方式の構造や動作原理については、参考文献(1)、(2)、(3)、を参照されたい。

## 2) ランダム・スキャン型ディスプレイ

本方式は最も歴史が古く、現在のところ高精度CADシステムに使われている。本方式の特徴を次に述べる。

### (1) 部分消去が可能で連続的な動きが表示できる。

リフレッシュの合間にリフレッシュ・メモリの内容を書きかえることに依り、瞬時に表示内容を変えることができ、動的な図形の変更、移動、拡大、縮小、プリンキング、消去などが可能である。このことは、3次元物体の表示の様に複雑な図形の表示において、細部の拡大表示や異なる角度からの表示を高速に行うことができ、会話性の高いシステムの構築ができる。又、シミュレーション結果の動的表示や配置設計における干渉チェックや機器配置の決定等においても極めて有効なものである。

しかしながら、映画を見ているが如く動的に画面を変化させるためには、リフレッシュ・メモリの内容を連続して書き変える必要があり、表示データを作り出すホスト・コンピュータの能力とディスプレイとホスト・コンピュータを接続する線の太さ(データ転送速度)が問題となり、表示できるデータ量と変化させる速さに制限がある。これを解決するためディスプレイ側に座標変換等の図形処理機能を持たせたものもある。

(例 Evans & Sutherland P S 300)

### (2) ライトペンが使用できる

この機能は、ランダム・スキャン型の最大の特長と言える。ベクトルや点などの図形要素が、一つづつ時系列的に光って行くという原理を利用して、光をセンスするライトペンを使い、ライトペンで指し示した図形がどれであるかを直接的に知るものである。

会話処理を行うためには、CRT画面上に表示された図形要素のどれを人間が指示したか、即ち図形要素の名前をCPUに知らせることが必要となるが、ランダム・スキャン型に於てはライトペンで指示された図形要素と名前との対応が原理的に極めて容易であり、ディスプレイのコントローラでハードウェアにより高速に行え、ホスト・コンピュータに負荷が全くか

からないところに特長がある。

他の2方式に於ては、ライトペンが使用できない(ストレージ型)又は極めて困難(ラスター・スキャン型)であるため、ライトペンに代りタブレットが使われるが、指示された図形の名前の識別が直接的にできないため、ホスト・コンピュータの負荷が高くなってしまう。

ライトペンは画面に表示されている図形を直接的に指示するため、人間にとって直観的で分かり易いという特長もあるが、反面、垂直に位置したCRTの画面に対して腕を上げた中途半端な姿勢でライトペンを操作しなければならず、疲れ易いという意見もある。又、CRTの表示面のガラスの厚みや、面自体の湾曲のため、図形の指示が的確にできない場合がある。このため最近の製品ではランダム・スキャン型でもライトペンの代りにタブレットも使えるようにしているものもある。

(例、Vecter General 8250)

### (3) 表示の精度が良い

現在商品として出しているものはCRT上の表示精度が  $1024 \times 1024 \sim 8192 \times 8192$ 、特に  $4096 \times 4096$  のものが多い。

$1024 \times 1024$  では斜めの線に対してギザギザが目立つが、 $4096 \times 4096$  になると、画面の大きさにもよるが、実用上支障のない精度と言える。3次元物体の表示のように曲線の多い場合は最低でも  $2048 \times 2048$  は必要である。ランダム・スキャン型は精度の点では3次元CADの要求を満たしているが、次に述べるベクトルの表示量の制限から実際には精度の良さを生かしきれないことが多い。

### (4) 表示量に制限がある。

ランダム・スキャン型の最大の欠点は表示量を多くするとフリッカ(ちらつき)を起こしてしまふことである。例えば、リフレッシュ・レート 50回/秒 としベクトルの表示速度を  $2\mu s$ /本 とすると10,000本のベクトルしか表示できないことになる。この中にはビームをブランクのまま移動するブランク・ベクトルや、輝度のコントロール等の命令も含まれるので、実際に眼に見えるベクトル数としてはこの  $2/3 \sim 1/2$  となってしまう。簡単な構造解析のメッシュ分割図でも 3~5,000本のベクトルとなり、3次元の形状を線画表示しようとするたびに数万本となってしまう。現在市販されている製品では表示量の多いものでも95,000本(Evans & Sutherland PS 300, リフレッシュ・レート 30回/秒のショート・ベクトルの場合)、~であり、普通は10,000~20,000本のものが多い。そのためベクトル数の多い図形の全体を表示する時は、CRTの画面上あるベクトル長以下になるような細部の図形はソフトウェアで省略し、表示するベクトル数を減らして

表示しているシステムもある。(例 CADAM Inc., CADAM)

又、コントローラ、1台に対してCRTの表示部を4台位接続してコントローラや、リフレッシュ・メモリーを共用している方式が多いが、このような方式の場合、4台のうち1台がフリッカを起こすと表示量に関係なく他の3台もフリッカを起こしてしまうものもある。今後も表示速度向上の研究が進められて行くであろうが、ランダム・スキャン型を使用する時は表示量の制限を常に考慮してシステムを組まなければならない。

(5) 装置が高価である

ディスプレイのコントローラが複雑となり、他の2方式に比較して高価である。今後CADが普及し、設計者数人に1端末づつ配置される様になるためには、端末当りのコストが安くなければならない。ランダム・スキャン型の価格もメモリーやLSIの価格低下によりここ数年で著しく下って来ているが、ランダム・スキャン型はローコスト化が難しく、この点から今後は高級指向となると考えられる。

カラー化についても、ペネトレーション・チューブを用いた商品も一部発表されているが、色が限られるため、余り普及していない。

3) ストレージ型

ストレージ型は蓄積管の持つ蓄積能力を利用したもので、本方式の製品としてはテクトロニクス社の製品が代表的であるが、価格が安いこともあり現在図形表示のモニターとしては最も普及しているものである。後述するCAD用に開発されたラスタ・スキャン型が出るまでは、ローコストのCADシステムのディスプレイはほとんどストレージ型であったと言っても過言ではない。

(1) 表示量に制限がなく、ちらつきも皆無

本方式では表示される画像は管面に電荷パターンとして記録される。一度記録された電荷パターンは消さない限り、長時間消失しない。このためリフレッシュの操作が不要となり表示量に制限がない。又、画面がちらつくこともない。表示の時間を考えなければ画面全体に図を書くことも可能である。

(2) 表示精度が良い

他の2方式ではCRT画面上の同じところを電子ビームが何回もなぞる(リフレッシュ)必要があり、コントローラの精度を上げないと線がぼやけてしまう。ストレージ型では電子ビームは一度だけふらせれば良く、容易に線の質を良くすることができる。例えば、本方式の代表的製品であるテクトロニクス4016に於ては25インチ(有効面積454×340mm)のCRTを使い4096×3120の表示精度を得ており、管面上約0.1mmの分解能となっ

ている。

この表示精度が良いことと前述した表示量に制限のないことは、3次元物体の表示に有効なものである。

(3) 安価である

ストレージ型では電子ビームのコントロールが一度だけでよく、簡単になること。又リフレッシュのためのメモリーが不要であること等により、装置を安価にすることができる。この価格が安いということが本方式の急速な普及につながったと言える。しかしながら発売当初はストレージ型とランダム・スキャン型の価格比は、10倍以上あったが、ランダム・スキャン型がテクノロジーの進歩により、コストダウンを図ったことにより、現在では価格比は2倍以下となり低価格であるというストレージ型のメリットは少なくなって来ている。

(4) 部分消去や部分修正ができない

表示されている画像を部分的に消すことはできず全体を一度に消すことしかできない。一部分でも修正したい時は全体を消して、改めてコンピュータから変更した全画面を送り、表示し直さなければならない。そのため、動的なオペレーションには適さず、又、ホストコンピュータの負荷が他の2方式に比べて高くなる。

これを補うため、最近ではストレージ管のライトスルー機能を用いてストレージ型と、リフレッシュ型の2つのモードを持った製品も出ている。(テクトロニクス 4114) 本製品では、通常のストレージ型としての表示に加えて、リフレッシュ機能で部分消去の可能なベクトルを3,000本まで表示することができる。更に、ローカル・ピクチャ・セグメントの考えを取り入れており、ピクチャ・セグメント・メモリーとして最大800k byteを持ち、図形の部分的な修正、再表示を端末だけで高速に行うようになってきている。この方式はストレージ型の今後の方向を示すものと考えられる。

(5) コントラストが悪い、カラー化が難しい。

一般的に輝度が低く、コントラストが悪い。通常のストレージ型の場合はカラー表示は困難である。ライトスルーを用いたものでは、リフレッシュ・モードの時は灯色、ストレージ・モードの時は緑色と2色まではカラー化できる。

(6) ライトペンが使えない

動作原理からライトペンの使用は不可能であり、入力機能としてはクロスヘア・カーソルやタブレットが使われる。タブレットは、人間工学的にライトペンよりも優れていることもあり、ストレージ型とタブレットの組み合わせは標準的なものになっている。

タブレットのスタイラス・ペンの動きに連動して画面上にマーカーが表示され、そのマ-

カーにより図形要素を指示する。しかしながら入力情報としては、スタイラス・ペン、即ちマーカーの位置 ( X, Y座標 ) が分るだけで、マーカーがどの図形要素を指示しているかという事は分からない。そのためマーカーと図との対応はホストコンピュータのソフトウェアで行う必要があり、CPUの負荷を大きくしている。又、使い方によって ( 例えば表示量の多いとき ) 図形要素を指示した時のレスポンスがランダム・スキャン型に比べて悪くなる。これは後述するラスタ・スキャン型にも共通の問題である。

#### 4) ラスタ・スキャン型

ラスタ・スキャン型はTVの様にCRTを水平スキャンして光点の連続により、画像を表示するものである。表示する図形データをビット情報に変換して、CRT上の格子点 (これをピクセルと呼ぶ) に1対1に対応した中間メモリー (イメージ・メモリーとかピクセル・メモリーと呼ぶ) に蓄え、これを逐次読み出して表示するものである。

イメージ情報処理 (例えば、リモート・センス・データの処理) のディスプレイとして古くから使われていた。

ICメモリーの価格低下とCRT技術の進歩により、CAD用として使える精度の良いものが安価に製品化できるようになり、近年急激に普及したものである。

カラー化や高輝度表示等、ストレージ型に無い特長を持ち、又、量産によりコストダウンできる可能性があるため、精度等種々の問題があるが、今後の主流になると見られている。以下、CAD用ディスプレイとしての視点から、本方式の特徴について述べる。

##### (1) 表示ベクトル数に制限がない

リフレッシュは表示する図形の複雑さに関係なく、一定周期で行われるため、表示量が多くなってもフリッカを起すことはない。ストレージ型と同様CRT画面全体に表示することも可能である。

##### (2) カラー表示、濃淡表示ができる

ラスタ・スキャン型の表示の方法は基本的にはTVと同じであり、CRTとしてシャドウ・マスク形のカラーCRTも使用できる。イメージ・メモリーにカラー情報や濃淡情報のビットを追加することにより、カラー表示、濃淡表示を容易に行うことができる。カラー表示が簡単であることはラスタ・スキャン型の最大の特長の1つである。

ここでカラーの種類と濃淡の階調について考えてみると、表示精度  $1014 \times 1024$  とした場合、白黒表示の時  $1024 \times 1024 = 128 \text{ kbyte}$  のイメージ・メモリーを必要とするが、これをカラー化濃淡付とすると、カラー情報として4 bit (16色)、濃淡情報として4 bit (16階調) を格子点ごとに必要とし、 $128 \times (4 + 4) = 1024 \text{ kbyte}$  のイ

メージ・メモリーが必要となる。このようにカラー化濃淡付きとすると、イメージ・メモリーが $n$ 倍化で増加する。価格の問題からCAD用として市販されている製品では8色で濃淡8～16レベル位のものが多い。

カラー表示は温度分布や応力分布など表面状態を分り易く表現することに有効なものである。又、濃淡表示とカラー表示を組み合わせると3次元物体を分り易く、かつ自然に表現することが可能であるが、(写真3.2-1)そのためには8～16色、16～32階調程度の表示能力は必要であり、現状の性能では若干不足と言える。色の種類と階調を増やすことは価格に直接影響し、又、表示速度の低下も招く。

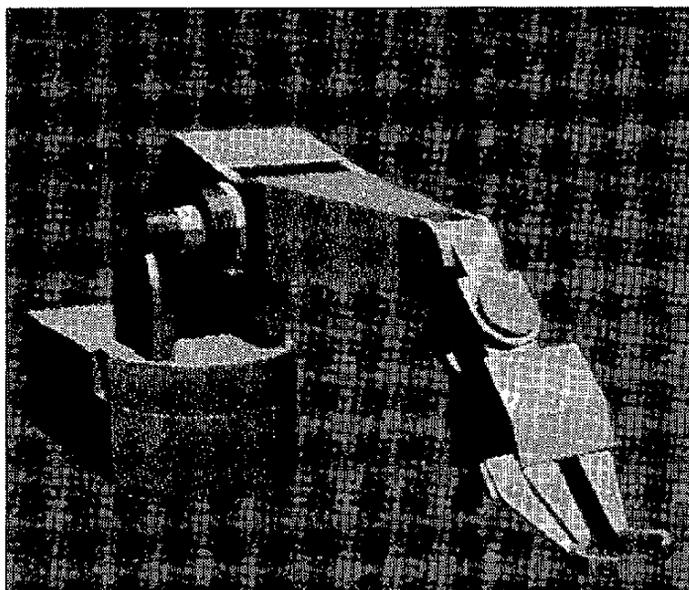


写真3.2-1 カラー・ディスプレイによる3次元物体の表示例  
(モノクロ表現)

CAD用ディスプレイとしては価格の安いことも必要であり、ソフトウェアの能力も含めて全体的バランスを考えて仕様を決める必要がある。

### (3) 塗りつぶしの面画表示が容易である

イメージメモリーはCRT上の格子点に1対1に対応したものであるので、面画表示が極めて容易である。

表示量に制限の無いこと、及びカラー、濃淡表示のできることを合わせて、ラスター・スキャン型は写真の様な面画情報(イメージ情報ともいう)の表示にも有効なものである。(本分

野はイメージ処理の範疇となるので詳細は割愛する)

(4) 部分消去ができる

イメージ・メモリーの任意の点をオンオフにすることにより、部分消去が可能である。しかしながら、ラスタ・スキャン型の部分消去はランダム・スキャン型と異なり、重なった図形の一方を消去すると交点の部分が途切れた線になってしまうという問題がある。(図3.2-4)

配置設計に於て、機器の配置を決める時、対象機器をCRT画面上で移動させながら決めて行くことが行われるが、このような場合移動した後に交点があると、線が皆途切れてしまうことになる。

イメージ・メモリーを複数枚持つと、ある程度は逃げられるが本質的解決にはならない。根本的解決のためには部分消去のたびに、ストレージ型と同様ホスト・コンピュータから全データを送り直して再表示する必要がある。再表示の際のホスト・コンピュータの負荷の低減のため、ディスプレイ側にイメージ・メモリーとは別に表示したい図形情報をベクトル情報として蓄えるメモリー(ピクチャ・セグメント・メモリーと呼ぶ)を持ち、部分消去の度にこのベクトル情報からイメージ情報を作り直して端末側だけで再表示するようにした方式も発表されている。

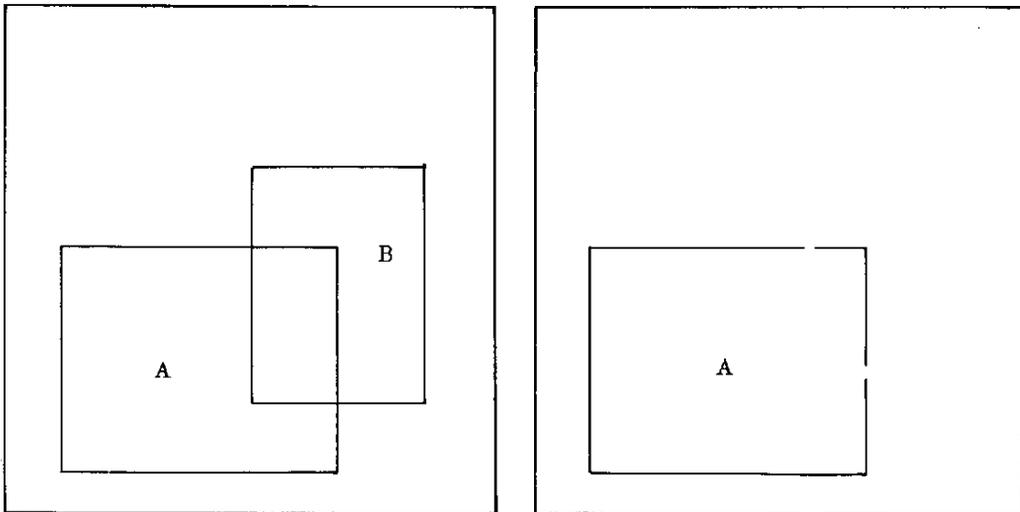


図3.2-4 ラスタ・スキャン型の部分消去

このピクチャ・セグメント・メモリーを持つ方式部分消去だけでなく、後述する図形の識別の際のレスポンスの向上とホスト・コンピュータの負荷の低減にも有効なものであり、今後のラスタ・スキャン型の有力な方法の一つである。しかしながらこの方式によると表示量に制限（ピクチャ・セグメント・メモリーの容量の制限）が生じ、使い方に依ってはラスタ・スキャン型のメリットが少なくなる。又、ピクチャ・セグメント・メモリーの考え方は、ストレージ型でも取り入れ始めており、この点ではストレージ型とラスタ型の差が少なくなっている。

(5) 精度が余り良くない

イメージ・メモリーの容量、コントローラの速度の制限から現状では表示精度が白黒で  $1024 \times 1024$ 、カラーで  $512 \times 512$  程度のもが多い。

最近になり、カラー表示で  $1024 \times 1024$  程度のもも市販（例えば、FACOM 9434、日本無線 NW 235/26、第二精工舎 GR 2401/3401）され始めた。 $1024 \times 1024$ であれば、プリント板設計のような斜線の少ないアプリケーションに対しては、ほぼ満足できる表示が可能であるが、機械図面の表示や3次元物体の表示にはやや不足である。この精度の悪さを補うため、近傍の点の輝度を調整して眼の錯覚を利用して滑らかな線に見える様に表示する方式を採用したものもある。（第二精工舎 CR 2401/3401）

現在の技術レベルでは  $1024 \times 1024$  が実用上安定に使用できる限界である。精度の向上はラスタ・スキャン型の将来の課題であるが、今後飛躍的に精度が向上することは期待できず、精度の悪さをカラー表示や濃淡、使い方でも補うことが必要である。

(6) 表示速度が遅い

ラスタ・スキャン型の表示速度は(a)ホスト・コンピュータとディスプレイを接続している線の太さ（データ転送速度）、(b)ベクトル—ラスタ変換の速度、(c)イメージ・メモリーの R/W 速度、(d) CRT の表示速度の4つの要因で決まる。

表示のためにはコンピュータから送られて来たベクトル情報をラスタ情報に分解してイメージ・メモリーに書き込み、更にこのメモリーの内容を読み出してビデオ信号に変換して CRT を駆動しなければならぬ（メモリーへの書き込みと読み出しは並行して行われる）。現在市販されているものはイメージ・メモリーの R/W 速度の制約から、この一連の処理に1格子点当り  $500 \text{ ns}$  程度の時間がかかっている。もし格子点に換算して、 $1024$  の長さのベクトルを表示しようとするると1本につき  $500 \mu s$  を要し、 $10,000$  本では5秒かかることになり、それ故、動的表示は難しく、大量データの表示の時は表示が

完了するまでかなり待たされることになる。ランダム・スキャン型並の速度を実現するためには、この一連の処理を20～50倍速く(格子点につき10～20 $\mu$ s)する必要がある。

現在の製品は回線接続が標準となっており、また回線速度がネックとなっているが、光接続やチャンネル接続により高速なデータ転送を行う場合は表示速度の高速化が必要である。

#### (7) 会話性が良くない

イメージ・メモリーに蓄えられた情報は格子点に1対1に対応した単なるドット情報であり、元の図形要素とは何の関係も無くなっている。そのため、画面からライトペンで直接的に図形を指示し、その名前を識別することはできない。普通はストレージ型と同じ様にダブルレットを使い、ホスト・コンピュータのソフトウェアにより名前を識別する方法がとられるが、CPUの負荷が大きく、又、データ量の多い時は図形識別に時間がかかりレスポンスが悪くなるという問題がある。CPUの負荷軽減のため、ディスプレイ側にピクチャ・セグメント・メモリーを持ち、ローカルで図形識別を行うようにした製品もでてくる。(例えば、日本無線NW/200シリーズ)しかしこの方式でも表示のデータ量が多い時、図形指示に対するレスポンスが悪くなるという問題は依然として残っている。ラスター・スキャン型にランダム・スキャン型並の会話性を期待することは本質的に無理である。

#### 5) 製品一覧

市販の製品一覧については、既に専門の調査機関が調査したものが多数発表されており、重複するので本調査からは割愛したが、その一例を表3.2-2に示す。詳細が必要な場合は参考文献3), 4), 5) 6), を参照して頂きたい。

参考のため、国内市販の代表的CADシステムで使用されているグラフィック・ディスプレイの方式を表2.3-2に示す。

表 3.2-2 グラフィック・ディスプレイ装置製品例

性能・機能一覽表

(日経データプロより引用)

製造・販売 ( )内は国内販売元	(米)Advanced Electronics Design (ASR*) AED 512	(米)Aydin Controls 〔入ってる電子〕 5216	(米)Data General 〔日本・データゼネラル〕 DASHER G300	(米)Digital Equipment 〔DEC日本支社*1〕 VK100
<b>装置名</b>  形態〔接続装置〕 使用内部プロセサ ディスプレイ部 構成 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画面変換 文字表示 輝度レベル、線種 特殊表示機能 操作/入出力装置  ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン  出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	端末 (PDP-11,NOVA) 6602A  14",ラスタ・スキャン,256色 512×512(1,024×1,024) 512×483 105K~4Mドット/秒 1~16倍 任意方向スクロール ASCII 96種 最大256レベル,各種 円,塗りつぶし キーボード,クロスヘア・カーソル, ジョイスティック,タブレット, ハード・コピー  FORTRAN AEDLIB  1980年3月 750万8000円  ▷256色から任意に256色を選択 するカラー・マルチアップ・チ ーム方式を採用 ▷Tektronix 4010/4014 型のエ ミュレーションが可能  **オートメーションシステムリ サーチ	スタンドアロン Intel 8086          256レベル,4種  キーボード,ジョイスティック, トラック・ボール,ライト・ペン, タブレット,ハード・コピー  FORTRAN,BASIC  1980年9月(1979年3月) 1100万円(512×512表示)	NOVA,ECLIPSE Z80  12",ラスタ・スキャン,緑 640×480 640×240 60または50フレーム/秒          ASCII 96種 16レベル *1 分離型キーボード  GCI,トレンド・ビュー  本体120万円,キーボード13万円  ▷非同期式通信インタフェース を備えたインテリジェント・ グラフィック・ディスプレイ イターミナル  *1極細線ベクトル表示,図形塗 りつぶし,円弧描画	端末(PDP-11,VAX)  14",カラー,8色 240×768          ASCII,その他  キーボード  FORTRAN,BASIC グラフィック・ユーティリティ  1980年10月 134万円  ▷教育,ビジネス向け  *1デジタル イタリップメン ト コーポレーション イン ターナショナル 日本支社

製造・販売 ( )内は国内販売元	(米)Digital Equipment 〔DEC日本支社〕 VS11	(米)Digital Equipment 〔DEC日本支社〕 VS70	(米)Digital Equipment 〔DEC日本支社〕 VT11	(米)Digital Equipment 〔DEC日本支社〕 VT30H
<b>装置名</b>  形態〔接続装置〕 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画面変換 文字表示 輝度レベル、線種 特殊表示機能 操作/入出力装置  ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン  出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	端末(PDP-11,VAX)  19",ラスタ・スキャン,16色 512×512          ユーザ定義可能 ジョイスティック,キーボード	周辺(VAX-11/780)  21"インチ 4,096×4,096 4,096×4,096 10,000ベクタ/秒 可 可 ASCII 16レベル,8種 可 タブレット入力(4個のボタ ン・カーソル)  FORTRAN SCI-CARD(プリント基板設計), AD-2000(機械設計)  1979年12月  ▷バスライン直結の高速DMA 転送 ▷VAXと組み合わせのみ可能	端末(PDP-11)  19",ストローク,白黒 1,024×1,024          ASCIIほか 8レベル,4線種  キーボード,ライト・ペン  FORTRAN,BASIC グラフィック・ユーティリティ  1978年1月 420万円  ▷CAD,ラボラトリ用	端末(PDP-11,VAX)  19",ラスタ・スキャン,8色 240×512          ユーザ定義可 キーボード  アセンブラ,FORTRAN ビタチ・編組プログラム, ユーティリティ・サブルーチン  1979年1月 180万円

性能・機能一覽表

製造・販売 ( )内は国内販売元 装置名	(米)Digital Equipment (DEC日本支社) VT55	(米)Digital Engineering (日経工業) RETRO GRAPHICS VT100	(米)Evans & Sutherland (遠経) Multi Picture System	(米) Evans & Sutherland (遠経) PS-300
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ,表示方式,カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル,機種 特殊表示機能 操作/入出力装置	端末(PDP-11,VAX)  12",ラスター・スクリーン  512×236  ASCII  キーボード	端末  12",モノクロ 640×480 640×480  96種,ASCII  キーボード,タロスヘア・カーソル, タブレット,ライト・ペン	PDP-11,VAX11/780 専用ハードウェア  21"モノクロ*1/25",カラー*1 X, Y, Z,各2",各2" 4,096×4,096×4,096 0.1"ベクタ21500本/30フレーム ズーム/ウィンドウ 回転,平行移動,拡大,縮小 64サイズ,128種ASCII 64レベル,9機種 256種ユーザ定義文字・記号 タブレット,ライト・ペン,30ジ ロイスティック,コントロール ・ダイヤル,K,B,ハード・コピ ー	RS-232C,RS-449 Motorola M68000  19",ランダム・スクリーン X, Y, Z各2"×2" 3,192×8,192 2,850,000ベクタ(0.1インチ)/秒 ズーム,ウィンドウ 回転,平行移動,拡大,縮小 ASCII 128種 64レベル,任意定義 コマンドにより定義 タブレット,キーボード,コント ロール・ダイヤル
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン	FORTRAN グラフィック・ユーティリテ ィ・サブルーチン	FORTRAN PLOT10, DISPLA, SIGGRAPH CORE	FORTRAN,MACRO Graphic Software Package 約80種,Hard Copy Package	ホスト側では特別なGSPを必要 としない
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1978年4月 120万円  ▷ラボラトリ用 *1オートメーションシステムリ サーチ	1981年3月 135万円	約3000万円以上  *1ランダム・スクリーン	1981年9月 約2600万円  ▷E&Sの第5世代機 ▷ローカルメモリを8MBま で拡張できる3次元グラフィ ック・ディスプレイ

製造・販売 ( )内は国内販売元 装置名	(米)Hewlett-Packard (横河・ ヒューレット・パッカー) HP2647A	(米)Hewlett-Packard (横河・ ヒューレット・パッカー) HP2648A	(米)IBM(日本アイ・ビー・エム) IBM 3250	(米)Lear Siegler (三陽インテリジェント) ADM-3AGH
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ,表示方式,カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル,機種 特殊表示機能 操作/入出力装置	端末(HP1000,HP3000など) Intel 8080  5×10インチ,ラスター・スクリーン 360×720 360×720  1~16倍ズーム,パニング ソフトで可 キャラクタ:9×15ドット 1レベル,9種(ユーザ定義可) 直線縮小 グラフィック・プリンタ,4色プ ロッタ・デジタルタイザ,プリン タ・プロッタ	端末(HP1000) Intel 8080  5×10インチ,ラスター・スクリーン 360×720 360×720  1~16倍ズーム,パニング ソフトで可 キャラクタ*1,グラフィック** 1レベル,9種(ユーザ定義可) 直線縮小 グラフィック・プリンタ	IBM 3258,3255,S/370,4300  305×305,ダイレクト・ビーム 1,024×1,024  8,830m/秒(ベクトル)*1  文字サイズ4種 8レベル,4種  ライト・ペン,英数字キーボード	端末装置(HITAC Mシリーズ など) Z-80A 12"ラスター・スクリーン,1色 1,024×780 512×250 19,200点/秒,2,400ベクタ/秒 ウィンドウ  7×9ドット*1,94種(ASCII) 連続可  キーボード,ライト・ペン,ディ ジタルタイザ,プロッタ ハード・コピー(オプション)
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン	BASIC,図形処理言語*1 ビジネス・グラフィックス(円標 リニア・グラフ)	BASIC,グラフィック*1 グラフィック・メモリ	GPS,GSP CADAM	BASIC,FORTRAN
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	▷12KBキャラクタ・メモリ,32 KBのグラフィック・メモリ, 11KBのベクタ・プロブ ラム・エリア  *1AGL	▷12KBのキャラクタ・メモリ, グラフィック・メモリ  *19×15ドット,128種 **7×9ドット,96種	1978年12月 約2960万円(3258,3255,3251各)  *1基本文字の平均は4.2um/字	1979年12月 79万円  ▷テクトロニクス社4006,4010, 4016ソフト完全コンパチブル であり,キャラクタ・ターミ ナルとしても使用できる。  *180字×24行

性能・機能一覧表

製造・販売、〔 〕内は国内販売元	(米)Megatek	(米)Megatek	(米)Sanders Associates	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス]
装置名	Whizard 5000	Whizard 7000	730~733, 740~743	4006-1型
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格字点 表示格字点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル、線種 特殊表示機能 操作/入出力装置	NOVA/ECLIPSE AMD2900A 21", ランダム・スキャン 4,096×4,096 4,096×4,096 170,000点/秒, 342,000ベクタ/秒 ソフトウェアにて可 ソフトウェアにて可 ASCII(64種)+カナ 16レベル, 4種 ユーザ指定可能 キーボード, ジョイスティック, ディジタイザ, ハード・コピー, プロッタ	NOVA/ECLIPSE, PDP-11 AMD2900A 21", ランダム・スキャン, 7色 4,096×4,096×4,096 4,096×4,096×4,096 1"ベクタ/330000本/秒 ズーム可, 2Dマルチウィンドウ 2 D, 3 D, 回転, 拡大, 縮小 ASCII(95種)+カナ 16レベル, ダッシュ・パターン可 ユーザROM指定可 キーボード, ジョイスティック, ディジタイザ, フライ・ペン, ハ ード・コピー, プロッタ	ローカルまたはリモート DEC PDP-11相当品 21", ストローク・リフレッシュ 2,048×2,048 1,024×1,024 120ms/cm, 2.1μs/字 ズーム, ウィンドウ(オプション) 2 D, 3 D, 回転, クリッピング カーン・ストローク, 3:2(比) 8レベル, 4種 円, 弧, 楕円 ホト・ペン(5781), ホー・ス・ス ティック(5787), トラック・ボー ル, キーボード, ハード・コピー	端末 11", 直視型蓄積ブラウン管 1,024×1,024 1,024×780 3.6ms/ベクタ 63種(ASCII), 72文字×35行 キーボード ホト・ペン(4662型/4663型) ハード・コピー(4631型)
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー	FORTRAN グラフィックおよび周辺サポ ートの標準パッケージ	FORTRAN グラフィックおよび周辺装置サ ポートの標準メニュー	FORTRAN 2D/3D, TEKTRONIX EMULATOR, CONIC	FORTRAN PLOT 10 TCS PLOT 10 IGL
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1972年10月 740万円 DP3-452-661 ▷Tektronix4014, エミュレート プログラムおよび拡張プロ グラムあり。	1978年8月 1480万円 DP3-452-661 ▷ユニバーサル・インタフェー スにて各種ミニコンに接続可 能(例 PANAFACOM U シ ーズ, PRIM, VARIAN)	1980年10月, (1977年) 750万円~1500万円予定 ▷カラー・ディスプレイ・ユニ ット(740,741,742,743), 21 イン チ, フル・カラー	1975年5月 125万4000円 DP3-452-781 ▷デスクトップ型低価格グラ フターミナル。画面は11イン チで鮮明な映像を表示。

製造・販売、〔 〕内は国内販売元	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス]	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス]	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス]	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス]
装置名	4010-1型	4012型/4013型	4014-1型/4015-1型	4016-1型
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格字点 表示格字点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル、線種 特殊表示機能 操作/入出力装置	端末 11", 直視型蓄積ブラウン管 1,024×1,024 1,024×780 2.6ms/ベクタ 63種(ASCII), 72文字×35行 キーボード, クロスヘア・カーソ ル, ジョイスティック, タブレッ ト, プロッタ, ハード・コピー	端末 11", 直視型蓄積ブラウン管 1,024×1,024 1,024×780 2.6ms/ベクタ ASCII94種, APL94種** キーボード, クロスヘア・カーソ ル, ジョイスティック, タブレッ ト, プロッタ, ハード・コピー	端末 19", 直視型蓄積ブラウン管 4,096×4,096 4,096×3,120 10,000cm/秒以上 ASCII94種, APL94種** 5種類の線種 キーボード, クロスヘア・カーソ ル, ジョイスティック, タブレッ ト, プロッタ, ハード・コピー	端末 25", 直視型蓄積ブラウン管 4,096×4,096 4,096×3,120 20,000cm/秒以上 ASCII94種, 72~178字/行 5種類の線種 キーボード, クロスヘア・カーソ ル, ジョイスティック, タブレッ ト, プロッタ, ハード・コピー
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー	FORTRAN PLOT 10 TCS PLOT 10 IGL	FORTRAN PLOT 10 TCS, PLOT 10 IGL, PLOT 10 APL	FORTRAN PLOT 10 TCS, PLOT 10 IGL, PLOT 10 APL	FORTRAN PLOT 10 TCS, PLOT 10 IGL
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1972年2月 209万円 DP3-452-781 ▷リソグラフィのない鮮明なグラ フィック映像を11インチCR Tに表示, ローコストのコン ピューター・ターミナル。	1972年9月 298万3000円** DP3-452-781 ▷高解像度のグラフィック, フ リッカのない明るい表示, フ ルASCIIキャラクタ・セット を装備。	1975年1月 579万7000円** DP3-452-781 ▷19インチ大型スクリーン医 用, 文字表示は4種類のサイ ズ, ベクタ・フォーマットは 5種の破壊が発生可能	1979年5月 838万5000円 DP3-452-781 ▷25インチ大型スクリーン採 用, 高解像度, キャラクタ表示 では最大15,000文字を一度に 表示可能

性能・機能一覽表

製造・販売 [ ]内は国内販売元	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス] 4025型	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス] 4027型	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス] 4112型	(米)Tektronix [ソニー・テクトロニクス] 4114型
<b>型名</b> 形態(接続装置) 使用内蔵プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画質改善 文字表示 輝度レベル、縦横 特殊表示機能 操作/入出力装置 ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー 出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	端末 8080 12",ビデオ・モニタ 640×742 640×462 ASCII94種,80文字×34行 各種ビジュアル特性,8機種 キーボード,プロッタ(4662型) カセットMT(4924型),ハード コピー(4631型) FORTRAN PLOT 10 IGL 1978年5月 149万9000円 DP3-452-781 ▷リフレッシュ式グラフィック 表示,マルチページ図形のスク ールアップ/ダウン,完備 された編集機能	端末装置 8080 13",高解像度ビデオ・モニタ 640×742 640×462 ASCII 94種,80文字×34行 文字と背景の色表示プリンタ 64色中より8色選択表示 キーボード,クロスヘア・カーソ ル,タブレット,プロッタ,フ ロッピー,プリンタ FORTRAN PLOT 10 IGL 1979年1月 332万7000円 DP3-452-781 ▷文字とベクトルの任意色づけ 可能,直線補間,円弧,円,楕円 入力機能で本格的なグラフィ ックが可能	端末 8086*1 15",CRT 4,096×4,096 640×480 あり 2-Dトランスフォーム** ASCII 94種(80字×34行) 8種類(オプション),8種 ** キーボード,クロスヘア・カーソ ル,タブレット,プロッタ,フ ロッピー,プリンタ FORTRAN PLOT10 IGL 1981年4月 336万円 *1ローカル・メモリは標準32K →最大672KB(オプション) **ローカル・ビジュアル・セグメン ト機能による図形の回転,移動, 拡大/縮小,および部分修 正が可能 **マルチビューポート(最大16) パターン表示,3階層表示ま たは3階層スケール(オプ ション)	端末 8086*1 19",直視型超精細ブラウン管 4,096×4,096 4,096×3,120 15,000点/秒以上** あり 2-Dトランスフォーム** ASCII 94種(大きさ16種) ベクタ・フォーマット8種 ストレージリフレッシュ表示 キーボード,クロスヘア・カーソ ル,タブレット,プロッタ,フ ロッピー,プリンタ ▷4014-1型と互換性あり ▷リフレッシュ部のオレンジ色 表示(オプション) *1ローカル・メモリは標準32K →最大800KB(オプション) **ローカル・メモリからの再表 示は26,000ベクタ/0.5秒 **ローカル・ビジュアル・セグメン ト機能による図形の回転,移動, 拡大/縮小,部分修正

製造・販売 [ ]内は国内販売元	(米)Terak [ASR*1] TERAK 8510/a	(米)Vector General [怡和*1] 3300シリーズ 3301,3302,3303	(米)Vector General [怡和*1] 3400シリーズ 3404,3405	池上通信機 IKEGAMI-RAMTEK 6212/6214
<b>型名</b> 形態(接続装置) 使用内蔵プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画質改善 文字表示 輝度レベル、縦横 特殊表示機能 操作/入出力装置 ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー 出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	スタンド・アロン LSE-11 12",ラスタ・スキャン 320ドット×240ドット 20ms/画面(リフレッシュ) ズーム、ウインドウ 8×10ドット**、256種(ASCII) 無段階 円、弧、多角形(三角形など) キーボード、フロッピー、グラフ イック・プリンタ、ライン・プリン タ、ハード・コピー、音響カプ ラ PASCAL(標準) グラフィック・エディタ、キャラ クタ、エディタ、TSS 1979年5月 363万4000円 DP1-120-921 *1オートメーションシステム リサーチ **80K×24行/画面	端末型、扇形型 不用 20.21,22",ランダム,4色 4,096×4,096×4,096 4,096×4,096×4,096 750,000インチ/秒 ズーム/ウインドウ 2/3Dの回転,拡大,縮小,移動 96 ASCII,イタリック 256レベル,6機種 円,円弧,記号 ライト・ペン、キーボード、コン トロール・ダイヤル、ファンク ション・スイッチ、タブレット FORTRAN FORTRAN Callable Subroutine Package 1978年4月 100万~2500万円 DP3-452-841 ▷IBM3350と完全互換,CADA M適用可能,ベクトル・スピード 可変,最大128KWパ ック・メモリ	端末型、扇形型 自社設計のマイクログロブセサ 21,22",ランダム・スキャン,4色 4,096×4,096×4,096 4,096×4,096×4,096 200,000インチ/秒 ズーム/ウインドウ 2/3Dの回転,拡大,縮小,移動 96/192 ASCII,イタリック 256レベル,6機種 円,円弧,記号,スムージング ライト・ペン、キーボード、コン トロール・ダイヤル、ファンク ション・スイッチ FORTRAN FORTRAN Callable Subroutine Package 1978年4月 320万円 DP3-452-841 ▷パッファ・メモリ(最大32K W)、ベクトル・スピード可変 1つの内部プロセサで、4つ のリフレッシュ・パッファを 制御,ライタブルコントロール 機能によるコーザ・インス トラクション	スタンド・アロン、RS-232C Z-80 20"714",ラスタ,16色 640×512/640×480 1us(最大)(オプション) 96種,24行×80文字表示 キーボード、グラフィック・タブ レット OGL*1 PASCAL (GRAFFRO) 1980年10月 800万~1400万円 DP3-452-841 ▷パスカルが使用できる本格的 なカラーグラフィック装置 *1Color Graphic Language

性能・機能一覧表

製造・販売、〔 〕内は国内販売元	池上通信機	池上通信機	池上通信機	岩崎通信機
装置名	IKEGAMI-RAMTEK RM-9000	IKEGAMI-RAMTEK RM-9050	IKEGAMI-RAMTEK RM-9400	DSP 310
形態〔接続装置〕 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル、緑種 特殊表示機能 操作/入出力装置	PDP-11、NOVAなど 9080 20"7/14"、ラスタ、16M色 512×640(最大) 512×640(最大) 15nm/ピクセル(最大) ズーム/ウインドウ 回転、拡大 5×7、64ASCII、128種 RGB各256レベル(最大) 円錐、長方形など ジョイスティック、トラック・ボ ール、キーボード	PDP-11、NOVAなど Z-80 20"7/14"、ラスタ、1M色 512×512 512×512 15nm/ピクセル(最大) ズーム/ウインドウ 回転、拡大 5×7、64種(ASCII)、128種 各16レベル(最大) 楕円、弧、長方形など ジョイスティック、キーボード	PDP-11、NOVAなど Z-80、Am2901 20"、ラスタ・スキャン、16M色 32K×32K 1280×1024 14,000ペクタ/秒 ズーム、ウインドウ 拡大、縮小、回転 64(標準)128×15セット RGB各256レベル(最大) 円、楕円、弧、記号、長方形など ライト・ペン、ジョイスティック 、キーボード、トラック・ボ ール、タブレットほか	端末(ミニコン) 8080A 20"、ラスタ・スキャン、14色 512×256 448×256 5×7、128種、64×32 2レベル、2種 表示色指定変更 ライト・ペン、キーボード、ハー ド・コピー(すべてオプション)
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー	アセンブラ FIP	アセンブラ FIP	アセンブラ FIP	
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1979年10月 1200万~2200万円 DP3-452-541 ▷豊富なビデオ・オプション、グ ラフィックおよびイメージン グ。	1979年10月 500万~1400万円 DP3-452-541 ▷低価格、グラフィック/イメー ジング。	1979年10月(1979年6月:米) 1500万~6000万円 DP3-452-541 ▷32K×32Kのパーソナル・ビ デオも扱えるカラー・グ ラフィックの最上位機種。	1978年10月 380万円 ▷プロセス・データをカラー表 示するためのものである。

製造・販売、〔 〕内は国内販売元	エデック	エデック	サン・エンジニアリング	三洋電機
装置名	ED-1200型	ED-1300型	SC512-9	DK-1型
形態〔接続装置〕 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル、緑種 特殊表示機能 操作/入出力装置	端末 8080A 12"、ラスタ・スキャン 512×480 512×480 文字ズーム*1、ドット・ズーム*2 6×7ドット、JIS*3 3機種 カメラ2直化画像表示 キーボード、クロスヘア・カーソ ル、ライト・ペン、フロッピー・ディ スク、カメラ、ハード・コピー	μPD 8080A(NEC) 18"、ラスタ・スキャン、8色 512×480(標準) 512×480 128ドット/秒、12ペクタ/秒 7×9ドット 1レベル、3種 円、弧、記号、カメラ入力、拡大 キーボード、クロスヘア・カーソ ル(std.)、カメラ・データ入力 (std.)	各種ミニコン FACOM 1610 20"、ラスタ・スキャン、512色 512×512 512×512 833,000点/秒、8,690文字/秒 ズーム2.48倍、ウインドウ可 座標移動可 158種(JIS) 512レベル テープ、円、円弧、記号 キーボード、ジョイスティック、 ディジタイザ、ハード・コピー	8085A-2 26"、カラー-CRT 512×240 文字の拡大/縮小 1,800文字 直線、カーソル/ブロック転送 ライト・ペン
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー	BASIC	BASIC グラフ・フォーマット	開発中	
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1978年4月 198万円 ▷リフレッシュ式グラフィック 表示、テレビ・カメラ入力可能 ▷円弧・直線補間、座標入力機能 *1 1~32倍、X・Y別*可変 *2 1~256倍、X・Y別*可変 *3 グラフィック画面では3,840 文字、コマンド画面では1,920 文字	1980年4月 395万円 DP3-452-451 ▷フロッピー・ディスク、高速演算 パッケージ、ITVカメラの接 続可能	1979年4月 800万円 DP3-452-751 ▷標準以外の特殊使用にも応 ず。	1981年3月 250万円 ▷画像をフロッピー・ディスクに 記録し、再生することができる

性能・機能一覽表

製造・販売、( )内は国内販売元	三洋電機	常人アドバンステクノロジー	東通エンジニアリング	日本コンピュータ工業
装置名	カラー・グラフィック・プロセサ	AG-2050, AG-1450	CD512, 320, 240GC	GT-500型
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部	8086A	端末(PDP-11, NOVA4) Z80	端末(PDP-11), 周辺(M) Intel 8085, AMD 2900	端末 Z80
CRTサイズ, 表示方式, カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画像変換 文字表示 輝度レベル, 緑機 特殊表示機能 操作/入出力装置	14"/26", カラー 512×480 512×480 250msec/画面 ズーム/ウインドウ 2D回転, 拡大, 縮小 7×9ドット, JISコード RGB各3ビット, 計9ビット	20", ラスタ・スキャン, 511色 512×512 512×512 250msec/画面 ズーム/ウインドウ 2D回転, 拡大, 縮小 7×9ドット, JISコード RGB各3ビット, 計9ビット 記号, 直線, 点線, 一点画線ほか	20", ラスタ・スキャン, 8色 512×512 (512GCタイプ) 512×512 (512GCタイプ)以上 1mm/ドット, 3.5mm/ピクセル ズーム オプション オプション 5×7ドット*, 127種(JIS) なし	12", ラスタ ±16,384×±16,384 560×468
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン	ライトペン IMBフロッピー・ディスク装置3台	BASICほか	アセンブラ, FORTRAN ビジネスグラフィック処理, 科学技術処理	拡大, 縮小, 平行移動 256種(JIS, 記号)  キーボード, プリンタ
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1981年3月 450万円  ▷CRT上にライトペンで文字, 図形を作成可能 ▷文字や図形を縮小し, 繰り返し転写可能 ▷画像をフロッピー・ディスクに記録し, 再生可能 ▷複製・放送・転写・複写機能あり	1978年10月 637万円  ▷ユーザー・メモリは最大64KB, フロッピー・ディスク, 磁気テープ装置接続可。	1977年3月 750万円 DP3-452-811 ▷ユーザーの希望により各種オプションの製作や, パックアップソフトの製作を行っている。  **512GCでは80列×51行/画面	1981年4月 85万円  ▷CGT-560型のモノクロ版で, 色指定コマンドを除いて, 同じコマンドを使用可能

製造・販売、( )内は国内販売元	日本コンピュータ工業	日本コンピュータ工業	日本電気	日本無線
装置名	CGT-320型	CGT-560型	N6352-63	NWX-220, 230
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部	端末 Z80	端末 Z80	端末(N6300モデル50N) Z80+GDC(グラフィック)	端末(各種ミニコン) M6800
CRTサイズ, 表示方式, カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画像変換 文字表示 輝度レベル, 緑機 特殊表示機能 操作/入出力装置	14", カラー-CRT*1 320×240 320×240 256種(JISおよび記号)	14", カラー-CRT ±16,384×±16,384 560×468  拡大, 縮小, 平行移動 256種(JISおよび記号)	14", ラスタ・スキャン, 7色 1,024×1,024 704×528 26ms/画面(リフレッシュ) ズーム/ウインドウ 4つの輝度値を持つ 1-16倍 8種 円, 弧, 多角形, 折れ線 キーボード, クロスヘア・カーソル, グラフィック用プリンタ, ハードコピー	20", ラスタ・スキャン** 4,096×4,096 1,024×960 800ms/ピクセル ズーム/スクロール  194種 16レベル, 4種 円, 円弧, 漢字(オプション) キーボード, タブレット, ハードコピー
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン	キーボード, プリンタ, ライトペン(オプション)	キーボード, プリンタ	COBOL, TOOLS ターミナル・グラフィック言語 TGL	FORTRAN GRAPAC
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1980年6月 145万円  ▷グラフィック用メモリとキャラクターメモリは分離独立しており, 別々にまたは重ね合わせて表示できる ▷グラフィックはドットごととキャラクターは文字ごとと8色の色指定が可能 ▷キャラクター表示は80字×24行または80字×30行 *1オプションとして20インチ・モニタあり	1980年10月 175万円  ▷グラフィック・メモリとキャラクター・メモリは分離独立 ▷グラフィック部はドットごとと, キャラクター部はキャラクタごとと8色の色が指定でき, 表示が重なった場合キャラクター部の色が優先して表示される ▷キャラクター部は80字×26行 *1オプションとして20インチ・モニタあり	1982年1月 177万円(W5のみ)  ▷コード画面メモリとグラフィック画面メモリを独立に持ち, ディスプレイへ重ね合わせて表示する。このため日本語を含むデータ処理プログラム(COBOL, TOOLS)でコード画面を, グラフ表示プログラム(TGL)でグラフィック画面をそれぞれ独立に作成できる	** 220は430万円, 230は530万円  *1220はモノクロ, 230は4,096色 *1220は1980年7月, 230は1981年4月

性能・機能一覽表

製造・販売、( )内は国内販売元	日本楽器	日本ユニバック	日本ユニバック	日本ユニバック
装置名	NW X-225,235	AGS2200	AGS2400	AGS4100
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画像交換 文字表示 輝度レベル、設定 特殊表示機能 操作/入出力装置	端末(各種ミニコン) M6800, M6809, GPU*1 20", ラスタ・スキャン** 32K×32K 1,024×960 800ms/ピクセル ズーム/スクロール 194種 16レベル、4種 円、円弧、漢字(オプション) キーボード、タブレット、ハード・コピー	RS-232C Z8000, Z80 20", ラスタ、モノクロ 23,768×32,768 4,096×4,096 5,000Kピクセル/秒 ズーム/ウインドウ 拡大、縮小、回転 JIS 157種 輝度レベルなし、設定8種類 キーボード、タブレット	RS-232C Z8000, Z80 26", ラスタ、7色 32,768×32,768 4,096×4,096 5,000Kピクセル/秒 ズーム/ウインドウ 拡大、縮小、回転 輝度レベルなし、設定8種類 キーボード、タブレット	ミニコンおよびシリーズ1100 21/23", ストローク、カラー 8,192×8,192 最大23,900本 ズーム/ウインドウ 3次元の拡大、縮小、回転、移動 傾斜95種、オプション128種 64段階、4種*1 走査線表示可 英数字キーボード、ライトペン、ファンクション・スイッチ、
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン	FORTRAN GRAPAC	FORTRAN (JIS 7000) GCSP-II	FORTRAN (JIS 7000) GCSP-II	FORTRAN IV GS4100-V, GASS3/4100
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1982年1月 225は520万円, 235は620万円 *1マイクロプログラム制御の32ビット専用プロセサ *2235はモノクロ, 235は4,096色	1980年12月	1980年12月	1979年9月 2000万~3000万円*4 *1実線、点線、破線、一点虚線 *2 Dシステムは2000万円、 3 Dシステムは3000万円

製造・販売、( )内は国内販売元	ハスタ技研	ハスタ技研	ハスタ技研	日立製作所
装置名	2010B型	2017-2	2017-16	HITAC G-710
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウインドウ 画像交換 文字表示 輝度レベル、設定 特殊表示機能 操作/入出力装置	端末、周辺 ザイログZ-80または相当品 14", ラスタ・スキャン、緑色 1,024×1,024 512×390 5×7ドット 円、記号(給パターン)、消去 キーボード、クロスヘア・カーソル、タブレット(オプション)、ハード・コピー(オプション)	端末、周辺 Z-80 20", ラスタ・スキャン、8色 1,024×1,024×3 512×390×3 74字×35行 円、記号、スクロール・モード キーボード、クロスヘア・カーソル(Sid.)、デザイナー、ハード・コピー	端末、周辺 Z-80 20", ラスタ・スキャン、4096色 1,024×1,024×4,096 512×390×4,096 74字×35行 16レベル、4種 円、記号、スクロール キーボード、クロスヘア・カーソル、デザイナー、ハード・コピー、プリンタ	端末(HITAC Mシリーズ) Z-80 19", 直視型密積ブラウン管 4,096×4,096 4,096×3,120 拡大、縮小など タブレット(メニュー)、キーボード、プロッタ、プリンタ
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン	FORTRAN, BASIC PLOT 10使用可	FORTRAN, BASIC PLOT 10使用可	FORTRAN, BASIC PLOT 10使用可	FORTRAN シーケンス設計、プリント装置 計、2次元編集設計
出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	1978年10月 85万8000円 ▷テクトロニクス社製4010型と互換性あり	1980年9月 270万円 ▷色指定コマンド系を除くと2010B、またはテクトロニクス社製4010型とソフト/コネクタ・コンパチブル	1980年10月 800万円 ▷色指定系のコマンドを除けば2010またはテクトロニクス社製4010型とソフト/コネクタ・コンパチブル	1977年12月 3300万円~

性能・機能一覽表

製造・販売、[ ]内は国内販売元	日立製作所	富士通	松下電器産業	三井造船
装置名	HITAC G-730	F9531B <sub>2</sub> /F6234B	TX-1601Gシリーズ	ARS80
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 画面交換 文字表示 解像レベル、縦横 特殊表示機能 操作/入出力装置	スタンドオン  19"、直視型薄型ブラウン管 4,096×4,096 4,096×3,120  ズーム/ウィンドウ  拡大、縮小など  タブレット(メニュー)、キーボード、ファンクション・キー、プリンタ、図気テープ装置など	回線型/周辺型(Mシリーズ PFU)  17"、ラスター・スキャン、緑色 1,024×1,024 1,024×1,024  7×9ドット、最大3,528字/画面 32レベル、3層 ドット・パターン キーボード、クロスヘア・カーソル、ライト・ペン、プロッタ(リコルム、ハード・コピー (F9584C/F6876C))	TSS端末*1 モトローラ6800系  17"、ラスター・スキャン、1色 560×420 560×420 10,000~15,000ドット/秒(図形) ズーム、ウィンドウ(ホスト側) 移動、回転、拡大、縮小(ホスト) 5×7ドット、127種(15)** 1レベル、3種 円、円弧、塗りつぶし、図形 キーボード、クロスヘア・カーソル、ライト・ペン、プロッタ(リコルム、ハード・コピー (TX-1601G))、PTR、PTP**3	リモート接続 ビット・スライス・プロセサ  21"、ランダム 2,048×1,902 2,048×1,902 55万ショート・ベクトル/秒 ソフトウェアによる ソフトウェアによる 160種、7サイズ、8方向 16段階、4種類 ユーザ指定可能 キーボード、ファンクション・キー、タブレット、ダイケル、プロッタ
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー	FORTRAN, POET 自動寸法表示、面積計算、図形データ検索、角処理など	GRASP, GSP	FORTRAN 基本図形処理サブルーチン、グラフ表示、プロッタ・サポート	FORTRAN 基本図形処理サブルーチン
出荷開始時期(カッコ内は外国)	1978年1月	1975年10月	1979年9月	1981年7月
基本構成価格	約6000万円	380万円より	約180万円以下	1055万円
製品レポート掲載ページ			DP3-452-631	DP3-452-631
コメント			▷ホスト・コンピュータとの接続実績は、IBM370/303X、富士通・日立Mシリーズ、東芝ACOSなどがある。  *1モデム・インタフェース *290文字×36行 *3キーボードを除いてすべてオプション	▷ホスト・インディペンデントなリフレッシュ・ランダム・タイプ ▷設計製図用アプリケーション・パッケージ「SCHEMA(スキーマ)設計製図システム」が使用できる

製造・販売、[ ]内は国内販売元	三井造船	三井造船	三井造船	三井造船
装置名	ARS90	YM9217	YM9221	YM9221E
形態(接続装置) 使用内部プロセサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 画面交換 文字表示 解像レベル、縦横 特殊表示機能 操作/入出力装置	リモート接続 ビット・スライス・プロセサ  21"、ランダム 18,432×18,432 2,048×1,902 55万ショート・ベクトル/秒 専用プロセサによる 専用プロセサによる 160種、7サイズ、8方向 16段階、4種類 ユーザ指定可能 キーボード、ファンクション・キー、タブレット、ダイケル、デジタルタイザ、プロッタ	周辺(ミニコン各種) 2プロセサ*1  17"、ランダム・スキャン 18,432×18,432 2,048×1,536  可(インテリジェント) 2DR ストローク、115字 16レベル、4種 シンボル ライト・ペン、タブレット ファンクション・キー ダイケル	周辺(ミニコン各種) 2プロセサ**  21"、リフレッシュ・ランダム 18,432×18,432 2,048×1,536  可(インテリジェント) 2DR ストローク、115字** 16レベル、4種 フレーム単位識別、シンボル ライト・ペン、タブレット、ファンクション・キー、ダイケル	端末型 2プロセサ**  21"、リフレッシュ・ランダム 18,432×18,432 2,048×1,536  2DR、スクロール、ズーム ストローク、115字** 16レベル、4種(実、点、虚、罫) フレーム単位表示、シンボル ライト・ペン、タブレット、ファンクション・キー、キーボード、ダイケル、ハード・コピー
ソフトウェア・サポート 使用言語 各種メニュー	FORTRAN 基本図形処理サブルーチン	FORTRAN IGP	FORTRAN IGP(対基型図形処理パッケージ)	FORTRAN IGP
出荷開始時期(カッコ内は外国)	1981年12月	1978年12月	1978年12月	1980年3月
基本構成価格	約2300万円	1500万円	1600万円	1700万円
製品レポート掲載ページ		DP3-452-691	DP3-452-691	DP3-452-691
コメント	▷ホスト・インディペンデントである。船体機種ARS80、YM9000と互換性あり	*1マイクロプログラム制御	▷別売アプリケーション・パッケージ *GIS。(汎用設計製図システム)が適用できる。  *1マイクロプログラム制御 *2EBCDIC, ASCII, JIS	▷別売アプリケーション・パッケージ *GIS。(汎用設計製図システム)が適用できる。  *1マイクロプログラム制御 *2EBCDIC

性能・機能一覽表

製造・販売、( )内は国内販売元	三菱電機			
装置名	GDS-70モデル I, II, III			
形態(接続装置) 使用内部プロセッサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル、線種 特殊表示機能 操作/入出力装置  ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン  出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント	端末/スタンドアロン MELCOM 70シリーズ  14", ラスタ, モノクロ 1,024×1,024 640×480 128Kピクセル/秒 ソフトウェアによる ソフトウェアによる ソフトウェアによる ボリュームによる輝度調節 8種 4種 キーボード、プリンタ、フロッピー、プロッタ、GP-IBインタフェース、通信制御装置  FORTRAN(2種類)*1 図形表示、数値データ処理、計測データ処理パッケージ  1981年3月 *1  *1その他にBASIC、アセンブラ *2700万円(モデルI)~920万円(モデルII)			

製造・販売、( )内は国内販売元				
装置名				
形態(接続装置) 使用内部プロセッサ ディスプレイ部 CRTサイズ、表示方式、カラー 指定格子点 表示格子点 表示速度 ズーム/ウィンドウ 座標変換 文字表示 輝度レベル、線種 特殊表示機能 操作/入出力装置  ソフトウェア・サポート 使用言語 各種ルーチン  出荷開始時期(カッコ内は外国) 基本構成価格 製品レポート掲載ページ コメント				

表 3.2-3 市販(国内)CADシステムのディスプレイの方式例

ディスプレイ の方式	CAD システム (アルファベット順)	
ラン ダ ス キ ャ ン 型	ANVIL 4000 CADAM GRAFTEK 3200 MELCAD NEWCAD-PWB SCHEMA UNICAD 4000 XIOMA	(MCS) (CADAM INC) (GTC) (三菱電気) (日本電気) (三井造船) (UNIVAC) (三井造船) (8システム)
ス ト レ ー ジ 型	AGS 860/960 ANVIL 4000 CALMA CREATE 2000 DESIGNER ECAD G 710 G 730 GRAFTEK 3200 ICAD IDS 80 SHARP-PWB SYNTHA VISION	(Applicon) (MCS) (CALMA) (第二精工舎) (Computer Vision) (日本電気) (日立) (日立) (GTC) (富士通) (GERBER) (シャープ) (MAGI) (13システム)
ラ ス タ ー ・ ス キ ャ ン 型	AD 380 AGS 860/960 ANVIL 4000 CALMA CREATE 2000 DESIGNER Easy Draft <sup>2</sup> ECAD GRAFTEK 3200 ICAD IGDS 100/300 IGS 300/400/500 IGT 700 MEDUSA MOVIE BYU SHARP-PWB SX 7000 SYNTHA VISION UDA UNICAD 2000	(Auto-trol) (Applicon) (MCS) (CALMA) (第二精工舎) (Computer Vision) (武藤工業) (日本電気) (GTC) (富士通) (武藤工業) (Calcomp) (新潟鉄工) (CIS) (BYU) (シャープ) (第二精工舎) (MAGI) (内田洋行) (UNIVAC) (19システム)

### 3.2.3 図形入力装置

マンマシンのための入力装置としては、グラフィック・ディスプレイに付属したキーボード、ライトペン、タブレット、ファンクション・キー、ジョイ・スティックやトラック・ボール等があるが、ここでは図形情報、特に地図や図面を直接入力する際に使用される入力装置について現状と研究動向を述べる。

#### 1) デジタイザ

デジタイザは既存図面の入力や地図情報、チャート図等の各種アナログ値の入力のための図形入力装置として最も普及しているものである。

使用目的に応じて各種の大きさ、形態があり、座標検出の方式も磁歪方式、磁界方式、電磁誘導方式等各種のものがある。座標の読み取り精度はいずれの方式でも 0.1 ~ 0.25 mm 程度である。

デジタイザの性能の基本は精度であるが、精度については人間が直接操作するものであるので人間の読み取り限界からみて、0.1 mm 以上の分解能は不要であると言える。最近の製品の動向としては、使い易さの向上とマイクロ・コンピュータによるインテリジェント機能の付加にある。特に後者については原点の設定、図面の伸び縮みや傾きの補正をローカルで処理してホスト・コンピュータの負荷を軽減しているものや、よく使用するシンボルや文字はファンクション・キーやメニューを使って一操作で入力できるようにして、マンマシン性能の向上を図ったもの等、マイクロ・コンピュータの普及と共にインテリジェント機能を持たせた製品が多くなっている。

具体的製品例を表 3.2 - 4 に示す。詳細については参考文献 3), 4), 5), 6), を参照して頂きたい。

表 3.2-4 デジタイザ製品例(日経データプロより引用)

製品名	メーカー	分解能 (mm)	絶対精度 (mm)	有効読取範囲 (mm)	原理	出力形式
SUMMAGRAPHICS**	読研工業	0.1	±1LSB	270×270 300×500 900×1200 1050×1500	磁歪	絶対座標 BCD BINARY
デジグラファード型**	読研工業	0.02 0.05 0.1	(x)0.2~0.3 (y)0.3~0.4	900×1500 1200×1500 1200×1800	メカ：レール式	絶対座標
ソリッドステートデジタイザ**	東京コンピュータ コントロール	0.025	0.070	280×280 500×500 750×900 900×1200 1050×1500	磁歪位相	相対座標 BCD BINARY
TABLE/DIGITIZER**	サンエンジニアリング	0.254	±0.254	270×270 350×350 550×550 900×1200 1050×1500	電圧誘導 (静電方式)	絶対座標 (オプション)
DATAGRID**	BENDIX(伊藤忠)	0.025	±0.125	750×900 900×1200 1050×1540	磁歪位相	相対座標 BCD BINARY
GRAPH SCAN**	BENDIX(伊藤忠)	0.25	±0.25	420×420 550×850 850×1100 1000×1500	磁歪位相	相対座標
D-SCAN**	第二精工舎	0.040	±0.150	280×380 420×650 850×1000 1000×1300	誘導電圧	絶対座標 BCD BINARY

- \*\* リフレッシュが容易(読っていると強化する)、メンテナンスが容易
- \*\* 機械式なので経年変化が大きい
- \*\* もっぱら金銭(時計、文庫、金貨等の事務用品)があると読み取りに支障をきたす
- \*\* ノイズマージンが悪い、読取速度のものは読み取れない、静電気の影響を受けやすい
- \*\* カールを打ち上げると精度が保持されない
- \*\* カールを打ち上げると精度が保持されない、精度が悪い
- \*\* 読み精度が高い、高価

©日経マクロミル社：無断転載・複製(コピーも含む)を禁じます

## 2) 手書図面の自動入力

手書図面の入力、ディスプレイとタブレットを用いたマンマシンの対話によって行われて居り、図面入力の省力化及び高速化が大きな課題になっている。この問題を解決するのが図面の自動入力であるが、これは未だ技術開発の途上にあり商用機器の出現はみていない。しかし、昨今の半導体デバイス、特にメモリ・素子の進歩、センサー技術の進歩、更には、2次元画像を高速で処理できる画像処理専用装置の開発は著しく<sup>7), 8), 9)</sup>これらの各種技術を使って実際の手書図面を対象とした入力/処理方式の開発が試みられている。

手書図面の自動入力の一例として富士通で開発されたプリント板のパターン図の自動入力装置について述べる<sup>10)</sup>。

図 3.2-5 は本装置で読み取られる手書きのプリント板パターン図である。各図形は予め、設定された用紙の格子点を基準として手書きされている。本装置ではシンボル 11 種、線の太さ 2 種類を識別することができ、これらを組み合わせてプリント板のスルーホールや配線を表現する。

図 3.2-6 に本装置の構成を示す。図面はファクシミリを使用して読み取られ(8本/mm)前処理を行って画像メモリーに入る。このデータは処理部で図 3.2-7 に示す処理が行われ、

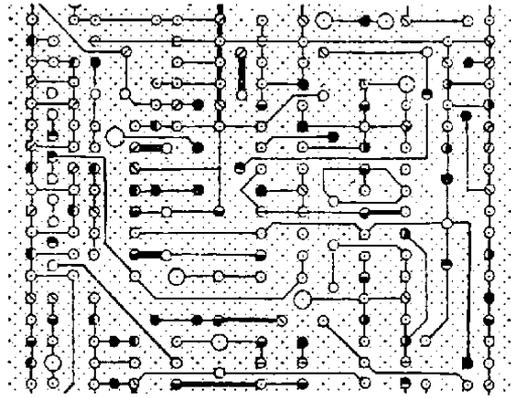


図 3.2-5 手書きパターン図の例

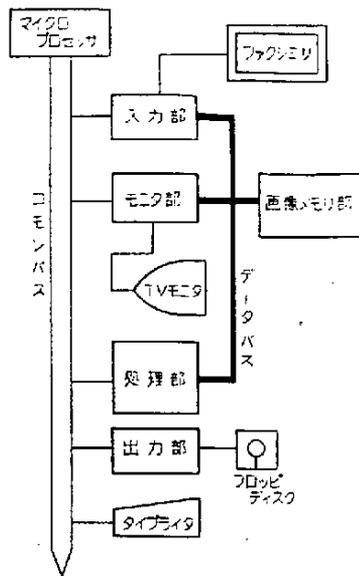


図 3.2-6 装置の基本構成

この結果図 3.2-8 に示すような座標データとなってフロッピー・ディスクに出力される。処理部は処理の高速化とシステムの柔軟性を図るため、専用のハードウェアとソフトウェアで構成されている。又、入力図形のモニターや基準点の入力のために TV モニターを持ち、全体はマイクロ・プロセッサでコントロールしている。

本装置の主要性能を表 3.2-5 に示す。本装置の実際の運用例として、これまでの手作業に

依る入力に比べて処理速度が10～30倍、又、認識率が手作業の場合95%に対して本装置では99%以上と報告されている。<sup>10)</sup>

この分野の研究は未だ開発途上にあり、今後方式並びにシステムの両面に渡り広範囲な技術開発が進められよう。

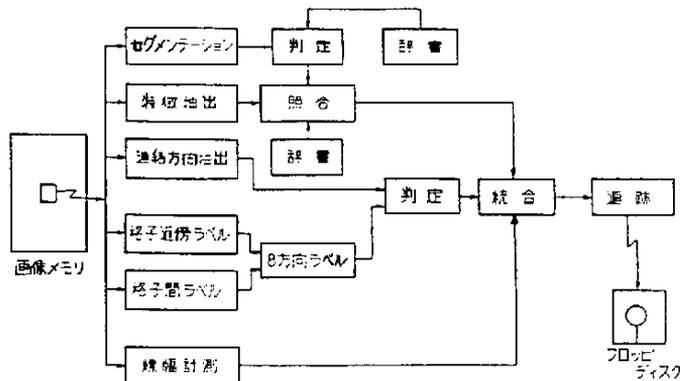


図 3.2-7 図形処理部の基本構成

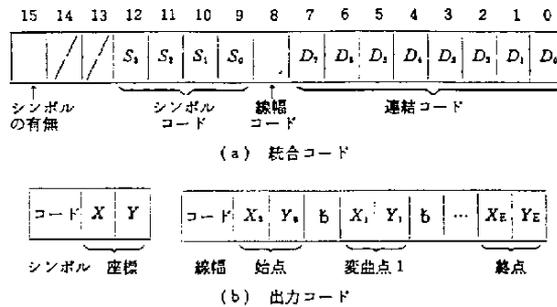


図 3.2-8 図形の表現

表 3.2-5 本装置の主な性能

項 目	性 能
図面の大きさ	最大 B-4版
入力時の傾き	±5度以内
処理時間	3～12分
シンボルの識別	11種類
太さの識別	2種類/1図面
線分の近似	45度間隔
認識率	99%以上

### 3.2.4 ハードコピー装置

#### 1) ハードコピー装置の種類

図形の出力機器としては、数年前まではXYプロッタと呼ばれる、いわゆるインクリメンタル・プロッタが大部分であったが、現在は静電プロッタを初めとして多種多様な製品が市場に出ている。

ハードコピー装置を作画の方式で分けると、一筆書きで作画するストローク型と、ディスプレイのラスタースキャン型と同じように点の連続として表現するラスタースキャン型とに分けることができる。前者の代表がXYプロッタであり、後者の代表が静電プロッタである。又、媒体への変換の方法で分けると機械式、CRT方式、静電記録方式、レーザービーム等各種のものが出ている。(表3.2-6)

表 3.2-6 ハードコピー装置の分類

作画方式	記録方式	用紙	備考 (製品例)
a) ストローク	機械式	普通紙	XYプロッタ
b) ストローク	CRT	写真フィルム	COM
c) ラスター	CRT	ドライジルバ 又は普通紙	ディスプレイの ハードコピー
d) ラスター	レーザービーム	普通紙	レーザープリンタ
e) ラスター	静電記録	静電記録紙	静電プロッタ
f) ラスター	インクジェット	普通紙	プリンタ
g) ラスター	放電破壊	感熱紙	プリンタ
h) ラスター	ドット・インシット	普通紙	プリンタ

CAD用のハードコピーとしては、まだ表3.2-6のa)のXYプロッタが主流であるが、作画速度の速いことから最近(e)の静電プロッタがよく使われるようになってきている。(d)のレーザー・プリンタはいわゆる日本語プリンタとして最近急速に普及したものであるが、原理的には静電プロッタと同じであるので、これを図形出力機器として兼用することも行われている。用紙サイズが限られるという問題はあるが、日本語の同時出力も容易であり、又、通常のラインプリンタとしても使用できるので、今後日本語処理の普及と共に急速に使用されるようになるものと考えられる。

ラスタースキャン型は、作画速度が図形の複雑さに関係なく一定であるという特長があるが、ベクトル情報とラスタースキャン情報に変換しなければならず、この計算に比較的大量のCPUパワーを必要とする。このためベクトルラスタースキャン変換のための専用プロセッサも開発されている。(例え

ば、Benson - Varian の Graph ware )

製品例を、表 3.2-7 に示す。詳細については参考文献 3), 4), 5), 6), を参照されたい。

## 2) カラー・ハードコピー

ラスター・スキャン型カラー・グラフィック・ディスプレイの普及に伴い、カラー表示のできるハードコピーの需要が高まってきている。特にディスプレイの表示内容を簡単かつ高速にハードコピーのできる装置が求められている。カラー・ハードコピーはまだ揺籃期にあり、装置価格、運用コスト、作画速度いづれをとってもまだ問題が多い。カラー・ハードコピーの方式には種々のものがあるが、現在製品化されている主なものを次に示す。

- 多色ペン・プロッタ方式
- 写真方式
- ゼログラフィー方式
- インパクト方式
- インク・ジェット方式

表 3.3-2 グラフィック・ディスプレイ装置製品例  
(日経データプロより引用)

名称(ノーク名)	CALCOMP	CALCOMP	DRASTEM	DRASTEM	XYNETICS	MUTOH	VERSATEC
モデル名	1055	960	9000	3600B	1100	SII	8236
形式	ドラム式	ベルト・ベッド式	ドラム・ベッド式	フラット・ベッド式	フラット・ベッド式	フラット・ベッド式	静電式
作画範囲	86cm×3,600cm	85.6cm×152cm	84cm×120cm	900cm×1,200cm	105cm×144cm	900cm×1,200cm	35.2インチ ×用紙長
作画速度							0.75インチ/秒
描画速度							
軸方向	76cm/秒	76cm/秒	102cm/秒	80cm/秒	70cm/秒	120cm/秒	—
対角方向	107cm/秒	107cm/秒	176cm/秒	110cm/秒	100cm/秒	170cm/秒	—
加速度							
軸方向	4G	4G	7.4G	1G		1.6G	—
対角方向	5.6G	5.6G	8.5G	1.4G	2.8G	2.3G	—
ペン上下回数	100回/秒	100回/秒	100回/秒	20回/秒	50回/秒	20回/秒	—
ペン数	4	2	4	4	4	4	—
装着作画器具	ボールペン、 インクペン	ボールペン、 インクペン	シャープペン、 インクペン、 ボールペン	シャープペン、 インクペン、 ボールペン	シャープペン、 インクペン、 ボールペン	鉛筆、 ボールペン、 インクペン	黒色トナー
解像度	0.0125mm	0.0125mm	0.01mm	0.01mm	0.01mm	0.02mm	200ドット/インチ
駆動方式	DCサーボ・ モータ	DCサーボ・ モータ	PWM駆動アン プ・サーボ・モータ	DCサーボ・ モータ、 ラック・ピニオン	リニア・モータ	DCサーボ・ モータ、 ベルト・ドライ ブ	サーボ・モータ

© 日経マグローヒル社：無断転載・複製(コピーも含む)を禁じます。

### (1) 多色ペン・プロッタ方式

ペン選択のできる通常のXYプロッタでカラー作画を行うもので、色の選択は4色程度。

速度はXYプロッタに同じである。CAD用としては最終の図面作画用であり、中間結果のハードコピーとしては適さない。最近パーソナル・コンピュータ用に小型、安価なものが開発されて居り、ビジネス・グラフ等、グラフ作成に良く使われている。

(2) 写真方式

本方式はカラー・ディスプレイの画面をそのまま写真にとる方法と、白黒のディスプレイと光学フィルタを組み合わせるカラー写真を得る方法とある。後者は最近製品化されたもので、図3.2-9に示す如くRGBの各単色について白黒CRTとフィルタの組み合わせで計3回の露光を行ない、カラー写真を得るものである。フィルムとしてボロロイド社の8×11インチのカラー・フィルムを使用する為、ランニング・コストが高い。入力信号としてはRGB信号で良く、ラスタ型ディスプレイとの相性は良い。

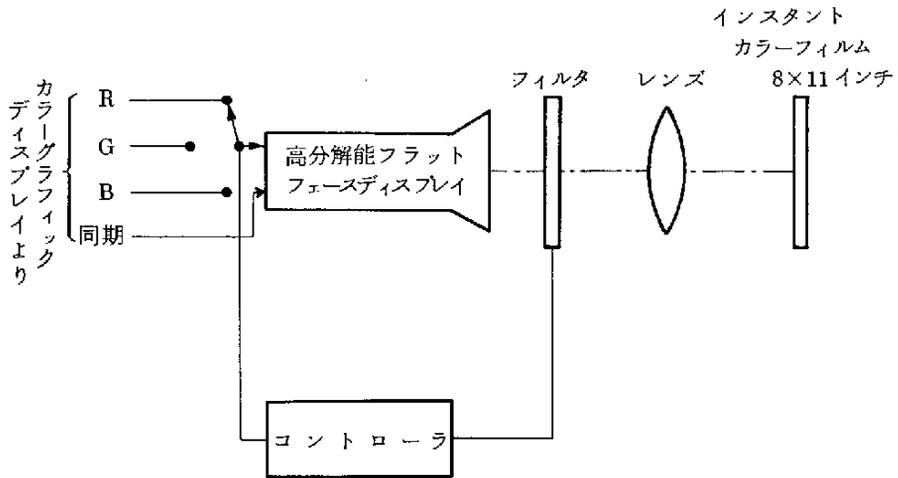


図3.2-9 写真方式

(3) ゼログラフィ方式

カラー・ゼロックスを使用するものであるが、コンピュータとのインタフェースが確立してなく、まだ余り使われていない。

(4) インパクト方式

従来のドット・マトリックス・インパクト方式のプリンタのリボンを多色にしたもので、ラスタ・マトリックス・インパクト方式とも言う。色の種類は3~4色程度である。速度はA4版1枚で4~5分程度。

(5) インク・ジェット方式

赤、黄、青の3色のインク・ジェット・ノズルを使用してカラー作画を行うもので、中間色の表現もできる。作画速度はインパクト方式並みである。作画例を写真3.2-2に示す。

ハードコピー装置の具体的製品例については参考文献 3), 4), 5), 6) を参照されたい。

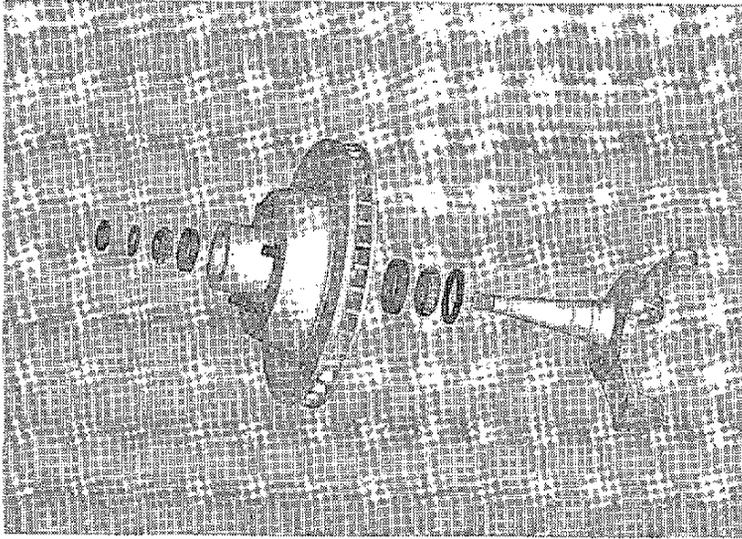


写真 3.2-2 インクジェット・ハードコピー作図例

#### 参 考 文 献

- 1) Hobbs: Computer Graphics Display Hardware, IEEE CC&A, January, 1981
- 2) 小室: グラフィックディスプレイの個性と使い方, 図形と画像, Vol. 2, No. 1 (1981)
- 3) Turnkey CAD/CAM Computer Graphics, A Survey and Buyer's Guide for Manufacturer's, Datatech Association (1981)
- 4) 図形処理システムと図形処理用装置の現状, 日経データプロ, DP3-450 (1981)
- 5) グラフィックスガイド '82, 図形と画像, 臨時増刊号 (1981)
- 6) CGW Graphics Systems Review, Computer Graphics World 12/80 (1980)
- 7) 木戸出: 画像処理ハードウェア, 情報処理, Vol. 21, No. 6, PP 620-625 (1980)
- 8) Shuto, T., Watanabe, Y. and Kikuch, Y.: Color Graphic Design for IC Mask, Proc. of Compeon Fall '79 PP. 280-286 (1979)

- 9) 長田, 吉田, 岩田: 線図形の記述方式, 電子通信学会研究資料, PRL 79-50, PP. 27-36 (1979)
- 10) 吉田, 井, 長田, 織田: 手書図面の自動入力/処理装置, 情報処理, Vol.22, No.4, PP. 300-306 (1981)

### 3.3 解析, シミュレーション技術の現状

#### 3.3.1 商用システム

コンピュータの出現, 実用化は, 科学工学の発展にはかりしれない貢献を及ぼしている。その数多くある成果の一つに, コンピュータによる構造解析法があり, この手法は有限要素法又は FEM (Finite Element Method) と呼ばれる。有限要素法の技術の母体となる新手法の開発に成功したのは1950年初頭である。当時航空機産業はジェットエンジン機へと大きく飛躍しようとしていた時期であり, “在来の手法では手に負えなくなり, 設計技術者より正確かつ応用範囲の広い構造解析手法の開発を試みざるを得なくなった”この時期に高度に改良された商用コンピュータが出現し構造技術者の注目するところとなり, コンピュータによる構造解析法が開発された。この手法はマトリクス法と呼ばれ, 次の, 1960年代宇宙開発に沸くアメリカ航空宇宙産業に引き継がれ有限要素法として確立した。現在この手法は構造工学に限定されず流体, 電気等他の分野にも本格的に応用されている。一般に構造解析の方法は解析的方法と数値的方法に2分される。(図3.3-1) Reyleigh - Ritz や Galerkin法をマトリクス代数で組織化した手法が有限要素法である。この手法は構造を有限の構造要素の集合体としてモデル化し, これらの要素の結合部での力のつりあいと変位の適合が満されるように変位もしくは応力分布を結合することにより全体の解を求める。この手法による構造解析プログラムが世界中で開発され, 実用化されている。その代表的なプログラムをあげるならば, NASTRAN, ICES/STRUDL, MARC, SAP, ASKA, ANSYS, ADINA, ASTRA, SUPERB等膨大な商用プログラムがある。これらのプログラム開発により, 構造解析の仕事は, ブラック・ボックス化されるようになった。一方技術者によって構造物の強度, あるいは安全性等を知るための構造解析は, 重要な事項であるが, 設計の立場から考えると, 真に必要なのは解析ではなく, 与えられた環境条件での最適設計であり, 与えられた設計目標を満たす構造を作り出すことである。この意味においてCAEにおける構造解析の期待は大である。CAEにおいては構造解析プログラムは1つのモジュールであり, CAEにおいていかに有効に活用するかであろう。すなわち, 構造解析, 形状モデリング, 図形処理, NC, データ・ベースなどの既製のプログラム

と形状データをいかにシステムとして統合化するかが課題と言える。このような各種の設計ルーチンを結合するという目的で開発されたシステムの1つとしてICESがある。しかし当初の目的とは別にICESはその1つのサブシステムである構造解析システムSTRUDLの適用に留まっている。データの一元化を考えた場合、従来のデータベースでは不十分であり、エンジニアリング・データベースの構築が重要な課題である。このようにCAEを実現するには技術的な問題が多くあるが、CAE構築の際1要素である構造解析プログラムに限定し、その概要と各システムの比較、NASTRAN・MARCの事例を記述する。

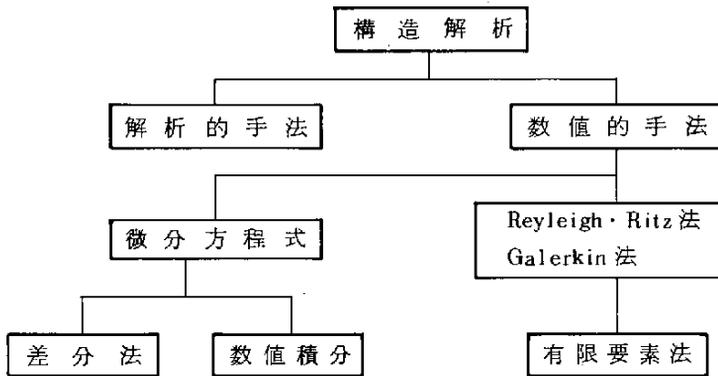


図 3.3 - 1 構造解析の方法

### 1) SAP

SAPは、米国カリフォルニア大学地震工学研究所のE.L. Wilson教授が中心で開発した線形構造解析プログラムである。また非線形解析用プログラムとしてはNON SAPがある。SAPは、ICESと同様に大学より非常に廉価で一般公開され、多くのユーザーをもつ。現在は、SUG(SAP Users Group)が設立され、この内で機能追加、Bug修正が行われている。

#### • SAPの機能

- ① 静的解析
- ② 振動(固有値)解析
- ③ 時刻歴応答解析
- ④ 応答スペクトル解析
- ⑤ 周波数応答解析
- ⑥ 座屈解析

SAPは大学での開発のためNASTRAN等 비해機能的には不十分であるが、斬新な数値解析（特に固有値解析）あるいは、精度の良い要素ライブラリ等すぐれた点も多くある。特にSAPは、中規模（～8000元）な問題の解析には他のプログラムに比べ高いパフォーマンスを示す。

また、プログラムは全てFORTRANで作成され、ステップ数も30,000 Step弱であり、エンドユーザが独自の業務にシステムを構築する際、基本機能として比較的容易に活用できる。

GSAPを用い構造図、変形図、モード図、応答図などをグラフィック・ディスプレイ装置に表示できる。またDSAPにより応力図、モード図、構造図、等高線図などを作成することができる。またメッシュ・ジェネレーションする機能、バンド幅最適化アルゴリズムも用意されている。

## 2) NASTRAN

NASTRANはアメリカ宇宙開発に関連する諸技術開発の一環としてNASA（航空宇宙局）の後援のもとに1964年より開発が進められ1969年に完成した大型汎用構造解析プログラムであり、現在も改良、機能追加が行われている。NASTRANの主な機能として次のものがある。

- ① 線型あるいは非線型の材質特性を持つ構造物の静的解析
- ② 座屈解析
- ③ 保存系あるいは減衰系に対する振動モード解析
- ④ 周波数応答解析・過渡応答解析
- ⑤ 自重および熱荷重を含めた種々の形の荷重の自動作成
- ⑥ データチェック図・結果の図示機能
- ⑦ 動解析におけるモード法か直接法かを選ぶことができ、また固有値計算において tridiagonalization 法、power 法および determinite 法等があり、任意に選ぶことができる。

一方NASTRANのもつ大きな特徴は16万ステップにおよぶ膨大なシステムであるにもかかわらず効率よく処理が行えるよう配慮がなされている。即ち、NASTRANは完全に分離独立したサブプログラムと、これを統合管理するExecutive Systemより構成されている。このようにプログラム部と制御部を分離することにより再計算（Restart）や計算手順の変更を容易にした。これは大次元の問題を解く場合解析時間の削減が行え非常に有効である。また標準的な解析の問題はExecutive Systemに固定フォーマット番号として登録されており、利用者はその番号を指定すれば良い。固定フォーマットの種類は次の12種類がある。

A. 静的解析

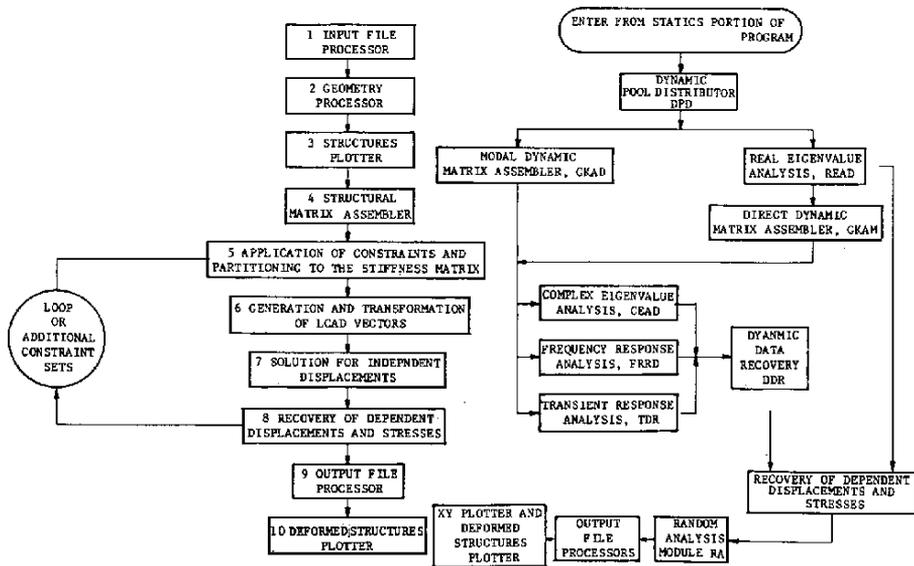
- ① 基本的な静的解析
- ② 慣性を考慮した静的解析
- ③ 微分剛性 ( Differential Stiffness ) を考慮した静的解析
- ④ 段階的線型解析 ( Piecewise linear analysis ) …荷重漸増法による塑性解析

B. 弾性安定解析

- ⑤ 座屈解析

C. 動的解析

- ⑥ 通常モード解析
- ⑦ 直接法による複素固有値解析
- ⑧ “ 周波数およびパルス応答解析
- ⑨ “ 過渡応答解析
- ⑩ モード法による複素固有値解析
- ⑪ “ 複素固有値解析
- ⑫ “ 周波数およびパルス応答解析



a. 静的解析

b. 動的解析

図 3.3-2 NASTRAN のフロー概略

図3.2-2に基本的なフローの概要を示す。各々のブロックは機能モジュールを表わしている。NASTRANのもう1つの特長は、DMAP (Direct Matrix Abstraction Program) と呼ばれる一種のマトリックス演算用言語をもち、利用者はこのDMAPを使用して自分のアルゴリズムを定義することができる。

この他、最近では熱伝導解析機能および制限付きではあるが非線形解析および非線形解析機能等が追加されている。NASTRANは他の最近の汎用プログラムに比べ要素ライブラリ、あるいは数値解析法に関しては若干見劣りがあるが、大規模問題には非常な能力を発揮する。

### 3) MARC

MARCは、米国MARC (Masarl Analysis Research Corporation) 社で開発された非線形解析のための汎用有限要素法プログラムである。

MARCは次のような多様な解析機能を備えている。

- ① 線形弾性解析
- ② 弾塑性解析
- ③ 粘弾性解析
- ④ 粘塑性解析
- ⑤ 大変形解析
- ⑥ 座屈解析 (弾性, 弾塑性, クリーブ)
- ⑦ クリーブ解析
- ⑧ 破壊解析
- ⑨ 接触, 摩擦問題解析
- ⑩ 動的応答解析
- ⑪ 流体と構造物の解析
- ⑫ 熱伝導解析 (定常, 非定常, 非線形)
- ⑬ スウェリング解析

特に、MARCは米国、西独、仏、カナダなどの原子力委員会で正式採用が決定され、その解析能力の高さが実証された。

非線形解析はすべて増分理論で統一されている。

- ・降伏条件としては、1) Von Mises, 2) Mohr - Colomb (線形, パラボリック) を用意している。
- ・クリープ歪みは塑性理論の流れ法則を用いている一般にはユーザー・ルーチンとして相当クリープ歪み増分を定義することが可能である。

- すべての要素について大変形，座屈解析が可能である。基礎理論はラグランジュの方法を用いている。
- 接触問題の解析用にギャップ要素，非線形弾性支承が用意されている。
- 温度依存材料は弾性および弾性塑性問題に対して材料の温度依存性を考慮できる。温度依存性を考慮できるものに降伏応力，ヤング率，ポアソン比，熱膨張係数，加工硬化係数がある。
- 動的解析に関しては，モーダル法または直接法が利用できる。固有値はインバース・パワー法であり，直接法の積分スキームにはニューマークP法，フーボルト法，中央差分法が選択できる。

このようにMARCは解析機能に関して非常に豊富であるが，本来，非線形解析は一種の数学的モデルであり，使用に関しては非弾性理論，流れ解析等に関する深い経験と知識を要する。従って原子力機器等の非線形解析を必要とする部門をのぞき通常の設計業務には演算時間が膨大あるいは入力データがはんざつであるなど不向きである。

#### 4) ICES/STRUDL

ICESは，MIT土木工学科のC. L. Miller教授の総括的な指導のもとに1964年から開発された土木工学全般にわたる総合システムである。ICESの開発思想は，設計技術者が工学的判断を行う上で必要とされる技術情報処理を行うことである。設計技術者は簡単なコマンドを用いて対話形式で必要とする設計解析を行うことができる。このためICES以下の機能をもつ。

##### (1) ICES言語

問題入力用コマンド定義言語CDL (Command Definition Language) およびサブシステムの開発を補助するためのICETRAN (Fortran拡張言語)の二言語をもつ。ユーザーは，この言語を用いてソフトウェアの開発およびICESのサブシステムとして統合が比較的容易に行える。

##### (2) ICES Basic System

ICESシステムは，特定のICESサブシステムの開発あるいは既存のサブシステムを有機的に結合し，統合管理する1つの中核となるシステム：ICES Basic Systemをもつ。

ICES BASIC SYSTEMはハードウェアに依存したシステムであり，既存のオペレーティング・システムの機能を拡張する役割をもつ。オペレーティング・システムのインターフェースに関しては汎用的な機能が提供される。一方，サブシステム間のインターフェ

ースは高いポータビリティを図るために、単に前述CDLおよびICETRANのみで定義される。

### (3) サブシステム

個々のICESサブシステムは、種々のコマンドより構成される分野別のユーザ言語で記述される。語彙は適用分野の専門用語を採用している。コマンドのシンタックスは、CDLプログラムで定義され、コマンドの実行に関する必要な処理はICETRANを用いてプログラミングされている。現在、ICESで用意されているサブシステムとしては次のものがある。

- STRUDL (構造設計システム)
- TOPOLOGY (構造幾何形状の作成)
- TABLE (表形式データ処理システム)
- STATS (数値解析システム)
- GRAPHIC (グラフィック表示システム)
- COGO (幾何学計算用システム)
- SEPOL (基礎構造物設計用システム)
- LEASE (斜面安定解析システム)
- BRIDGE (橋梁設計システム)
- ROAD (道路設計システム)
- TRAVOL (交通量調査データ分析システム)
- DODTRAN (多重輸送系解析の決定システム)
- OPTTECH (最適化システム)
- PROJECT (工程管理システム)
- UGH (都市計画システム)
- DGM (調査分析システム)
- INFO (科学技術データの管理処理システム)
- DATCOM (航空機の初期解析システム)
- PRAMAT (標準数値解析システム)
- SPEC (テキスト編集・作成システム)

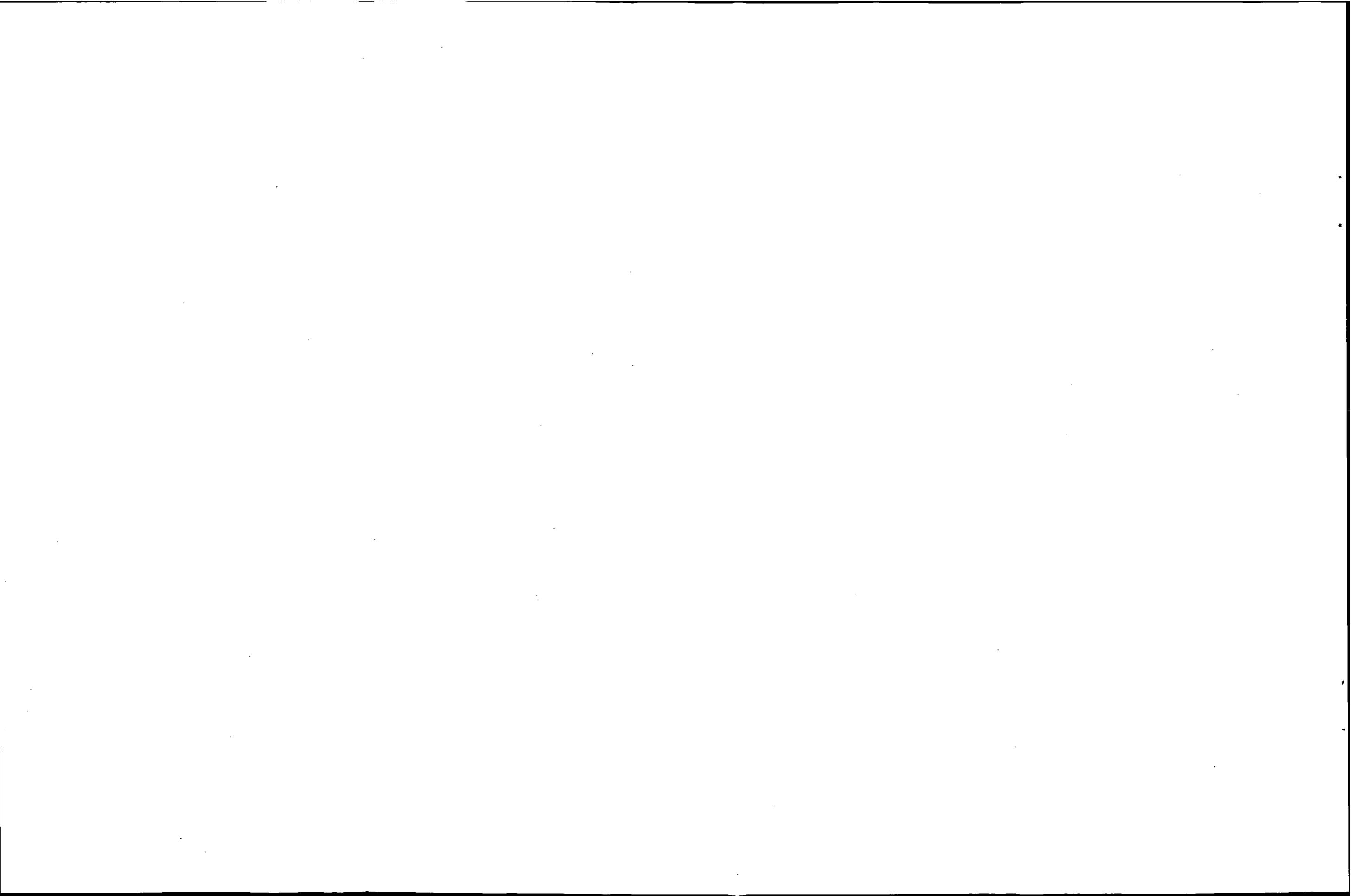
我国ではICESのサブシステムの1つであるSTRUDLが最も有名であり、ICESと同意語に取られることもある。STRUDLのもつ解析機能として次のものがある。

- Determinate Analysis

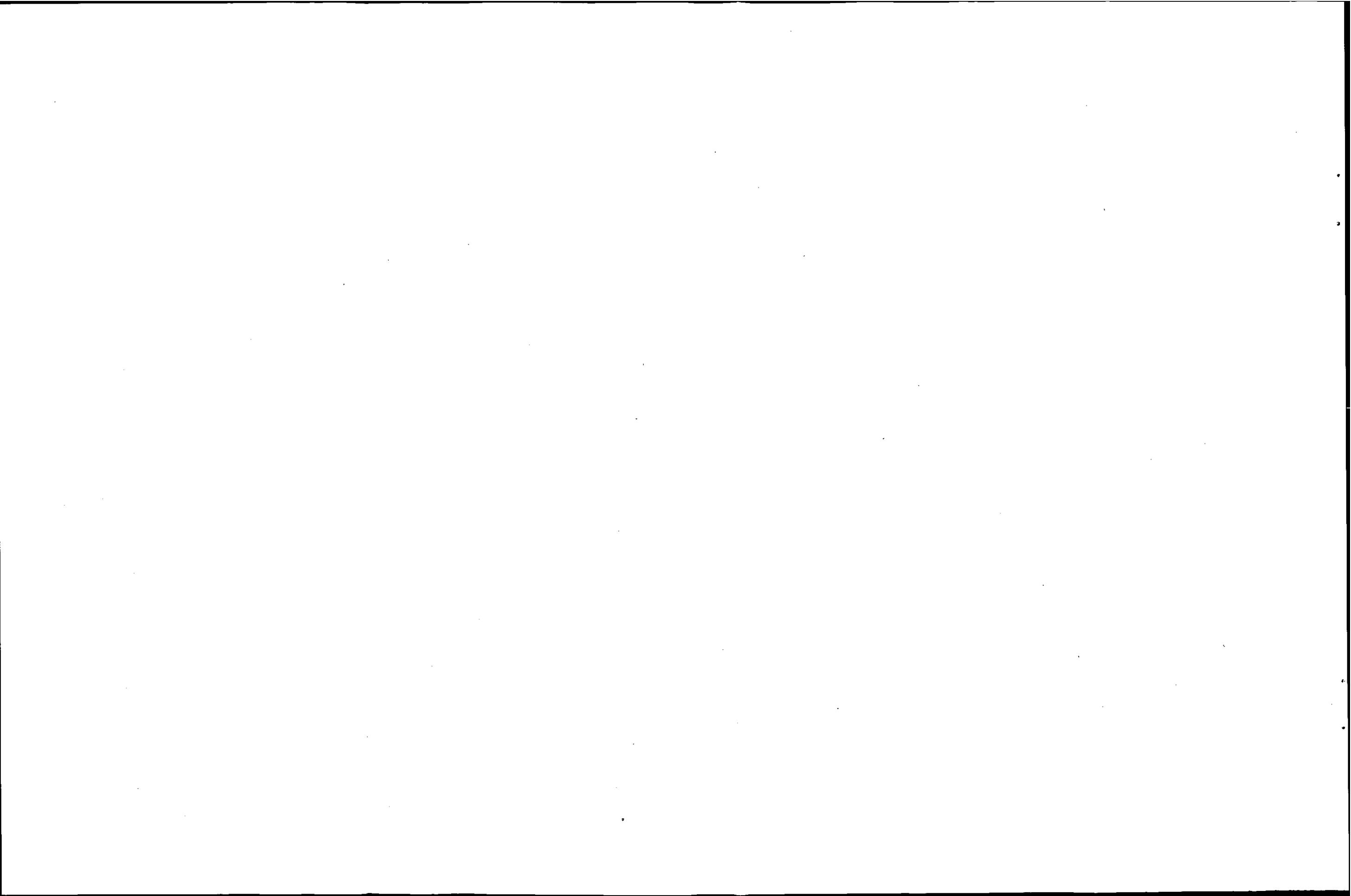
- Preliminary Analysis
- Stiffness Analysis
- Non linear Analysis
- Heat Transfer Analysis
- Dynamic Analysis
- Frame Optimization
- Member Selection Facility
- Reinforced Concrete Capability

これらに加えてSTRUDLではサブシステムの1つである。TABLEによるデータベース機能とリンクされている。例えばアメリカ、カナダ等におけるAISC(1969 American Institute of Steel Construction Code)、CSA(1969 Canadian Standards Association S 16 Code)、API(American Petroleum Institute Code)などの各種建築規格あるいは標準的な応答スペクトル、地震波などが既にTABLEに用意されており、STRUDLで任意にこれらのデータを活用できる。ICES/STRUDLの特長は、このように単なる構造解析に留まるのではなく、総合設計システムを志向している。このため他の汎用構造解析システム(例えばNASTRAN)に比して解析機能、処理速度は少々見おとりがするが、コマンドによる完全フリーフォーマットでの問題の定義あるいはTSO(Time Shearing Option)等での使用は非常に使い勝手が良い。また、ICES Basic Systemのもつ他サブシステムと統合するためのデータ構造あるいは記憶領域の動的管理機能は広義のCADシステムを実現する上で参考となろう。



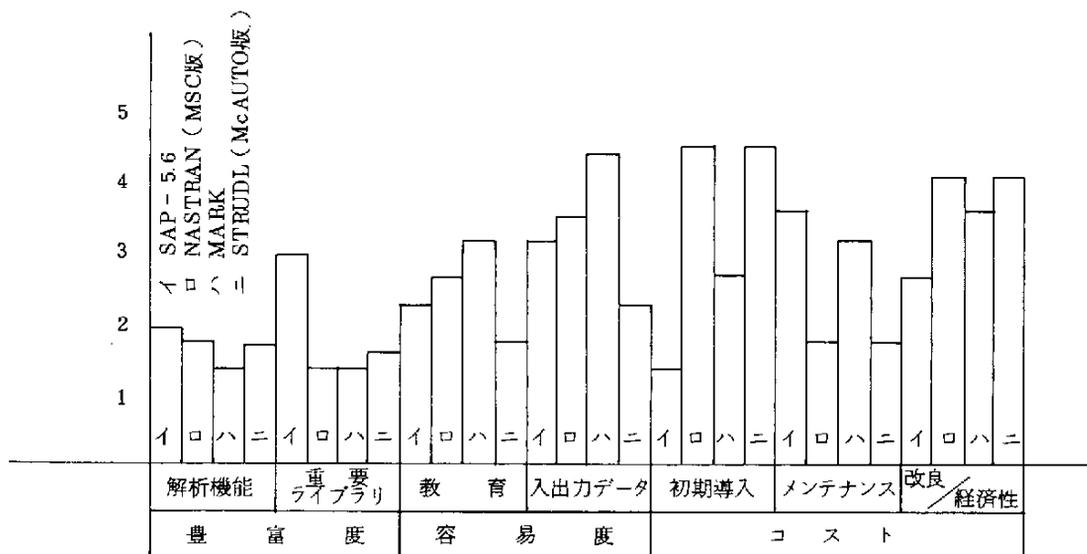






5) 汎用有限要素法システム比較表

(豊富度, 容易性, コスト別)



(米国4大航空会社の調査資料による)

(採点法 1 ; Strongly agree      2 ; agree  
3 ; Neutral                      4 ; disagree  
5 ; Strongly disagree)

3.3.2 FEMの実例

前節ではFEMのプログラムについてふれたが、これの内容を構成するFEMの詳細は既に数多く出版されている著書あるいは論文にゆずり、以下産業界におけるFEMの適用の実例をあげてみたい。産業界では航空機をはじめとして、船舶、原動機、原子力機器、産業用各種プラント、機械、各種鉄鋼構造物、自動車、建築、土木など、多数の分野における構造物の強度計算、振動計算、あるいは耐震設計計算などに適用例は枚挙にいとまがない。ここでは構造強度、振動、耐震設計に大別して、各分野の代表的事例を取りあげることとする。

(1) 構造強度

a) 船舶

いわゆるオイルショック以前に競って作られた油送船の巨大化にともなって、その構造解

析には従来と比べて一段と精度の高いものを要求されるようになったが、FEMはこれにこたえるものとして大いに活用された。FEMによるトランスバース・リングの応力解析はこの代表的なもので、図3.3-3に示すような要素分割を用いて、図3.3-4の変形状態、図3.3-5の応力分布がえられている。

二次元平板構造の弾性座屈解析を行うプログラムを開発し、これによってトランスバース

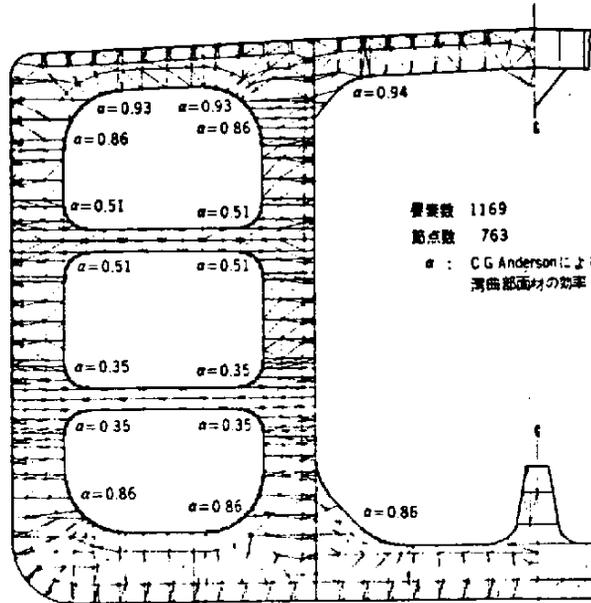


図 3.3-3 A船の要素分割

リングの座屈強度を検討した例がある。図3.3-6に中央断面図、図3.3-7に荷重および境界条件、図3.3-8に要素分割図、変形および面材の応力分布、図3.3-9にウェブの主応力分布、図3.3-10に座屈モードをそれぞれ示している。図9で明らかなようにストラットがオイラー座屈を起している。

パイプ敷設船(図3.2-11)のリール収納部の解析がMulti-level Substructure法を利用して行われている。サブストラクチャSS01~07の7個のSSでモデル構成し(図3.3-12)、そのツリー構造は図3.3-13に示す通りである。最大レベル数は7、ハイレベルを含むSS総数は13となっている。図3.3-14はレベル1の全SSのインプットした構造図を、図3.3-15は自動作成されたSS07の構造図をそれぞれ示している。

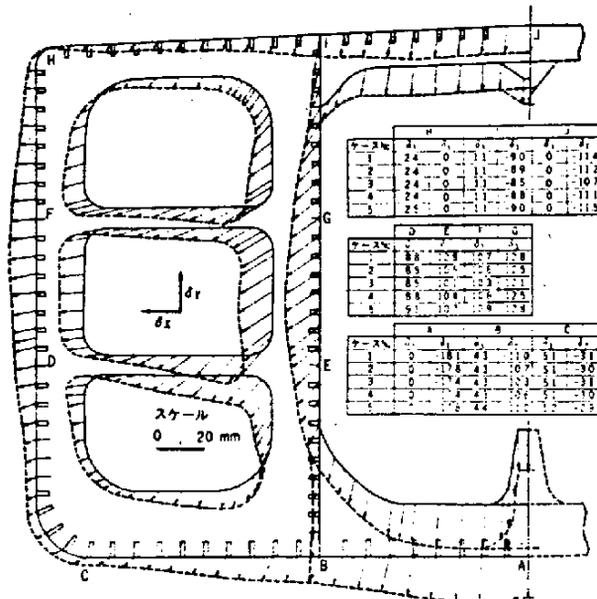


図 3.3-4 A 船トランスリングの変形状態

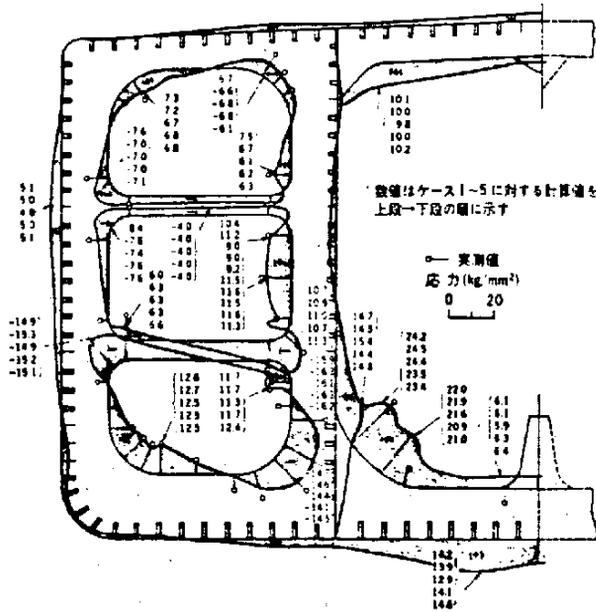


図 3.3-5 A 船トランスリングの面材および外板の応力分布

解析の結果の一例としてSS07の変形図を図3.3-16に示す。

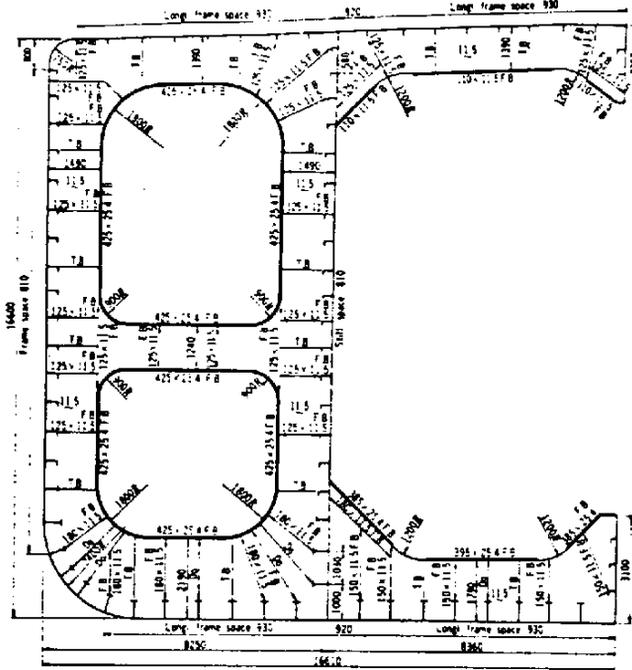


図 3.3-6 中央横断面

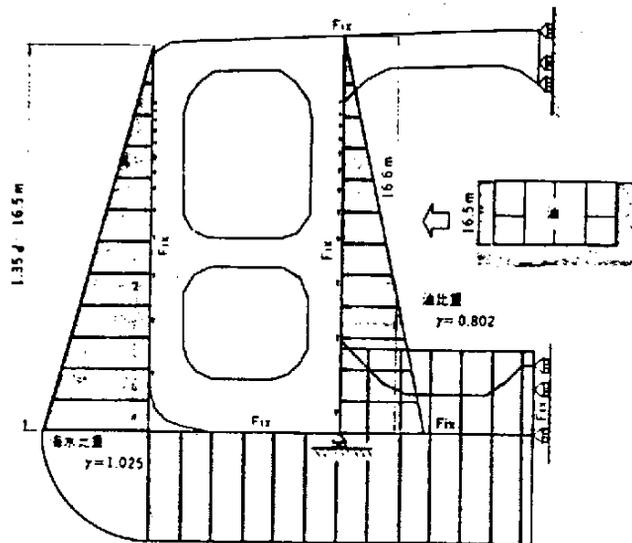


図 3.3-7 荷重条件および境界条件

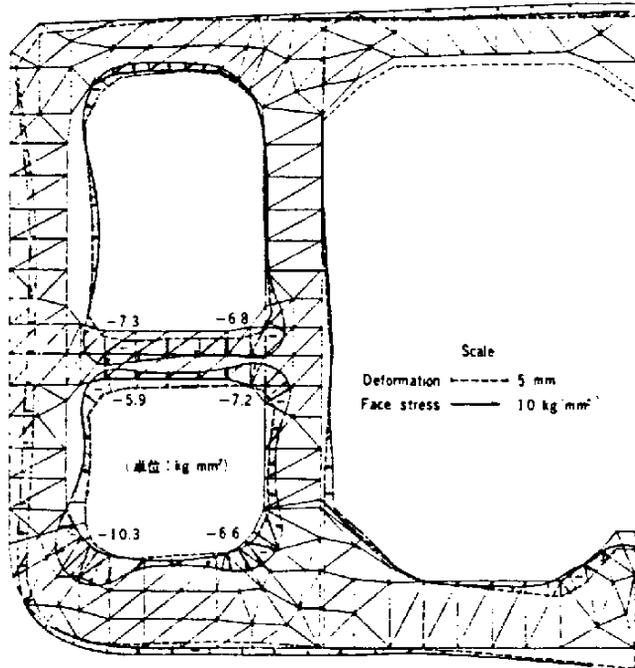


図 3.3—8 要素分割図, 変形および応力分布

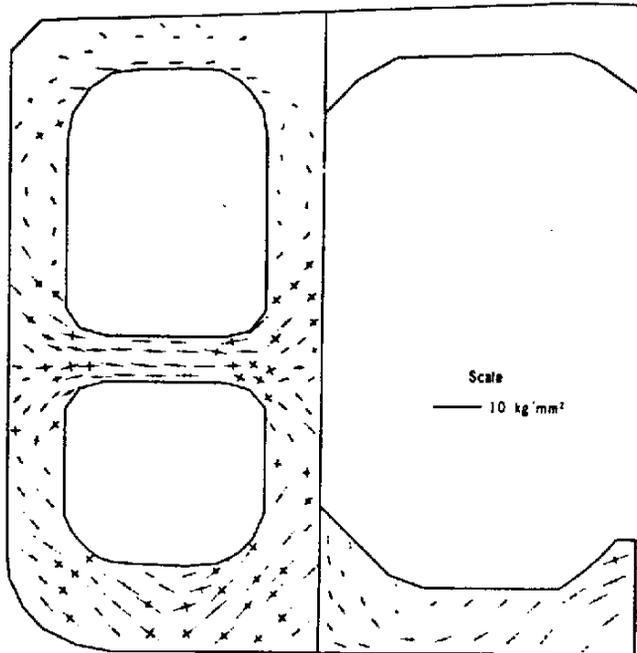


図 3.3—9 主応力分布

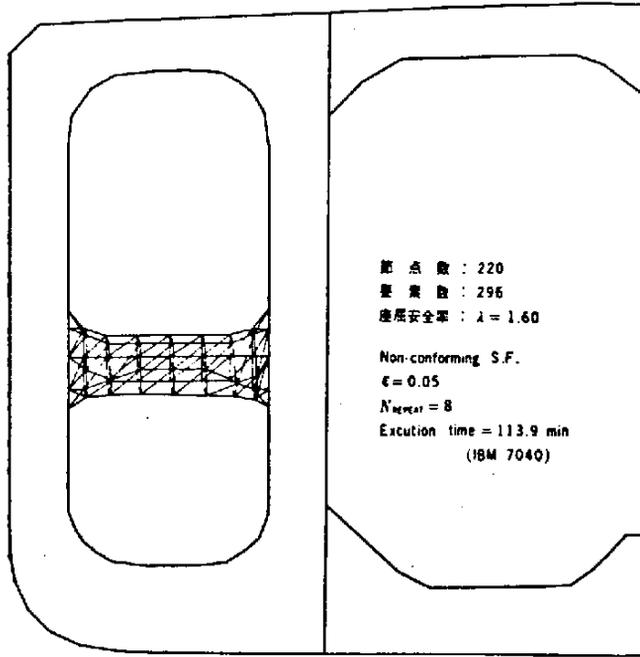


図 3.3-10 座屈モード

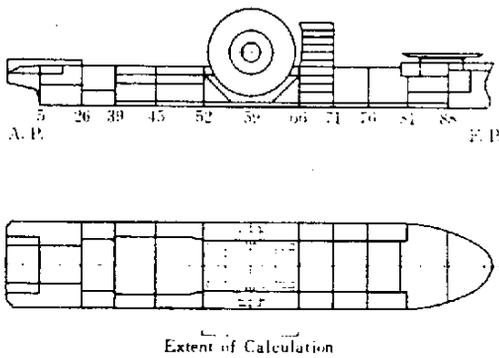


図 3.3-11 概略配置図と計算の範囲

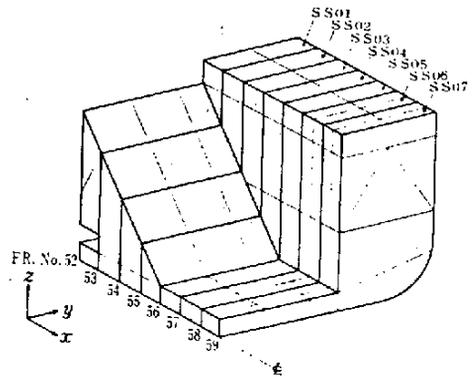


図 3.3-12 船体中央部のモデル

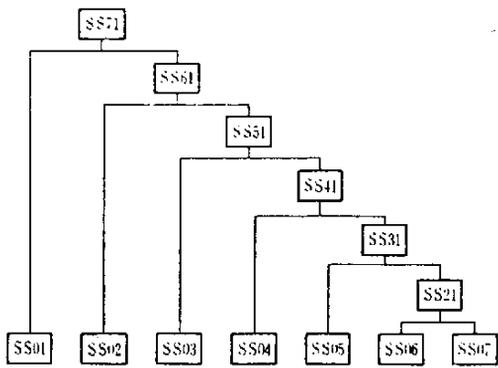


図 3.3-13 ツリー構造

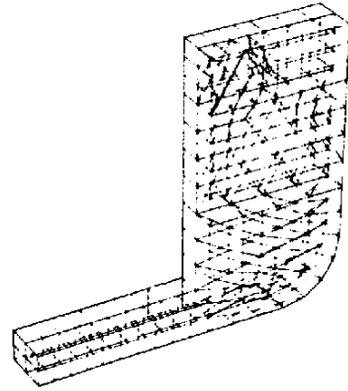


図 3.3-15 自動作成されたモデル SS07 の構造図

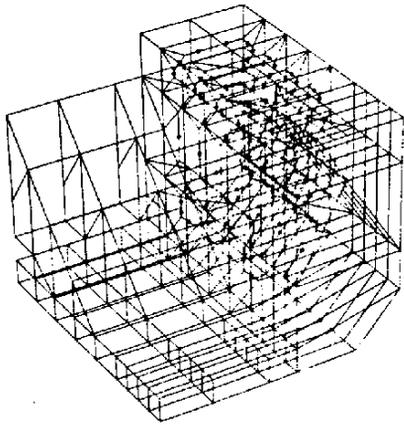


図 3.3-14 インプットしたモデルの構造図

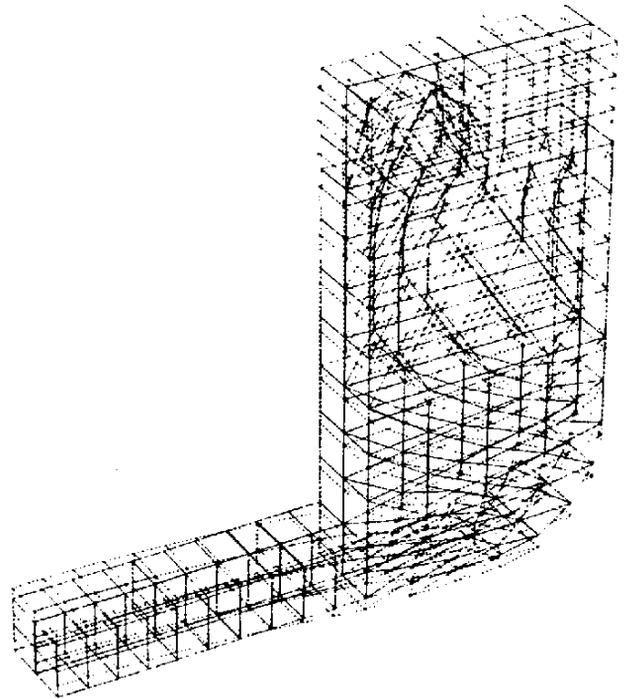


図 3.3-16 SS07 の変形図

b) 原動機，原子力機器

原子力発電プラントや，大容量・高性能の新鋭火力発電プラントの新設に伴って既設の発電プラントは中間負荷で運用するようになった。このためボイラ・タービンの負荷変動や発停ひん度が従来に比べて著しく多くなり，この結果ボイラ耐圧部の強度評価を新たな観点から行う必要が生じた。

ボイラについては，炉壁の大部分を構成しているウエルデッド・ウォールを等価な直交異方性板に置換えて，熱負荷，管内圧，ガス圧その他の外力条件に対するパネル各部の応力をFEMによって解析する手法が確立されている。図3.3-17は熱負荷の高いバーナ部（図3.3-18の・部）のFEMによる温度分布の計算例を示している。

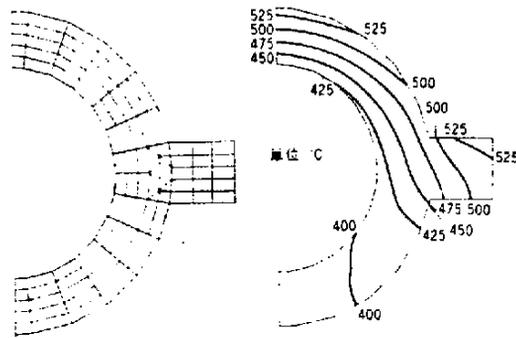


図 3.3-17 管横断面上の温度分布

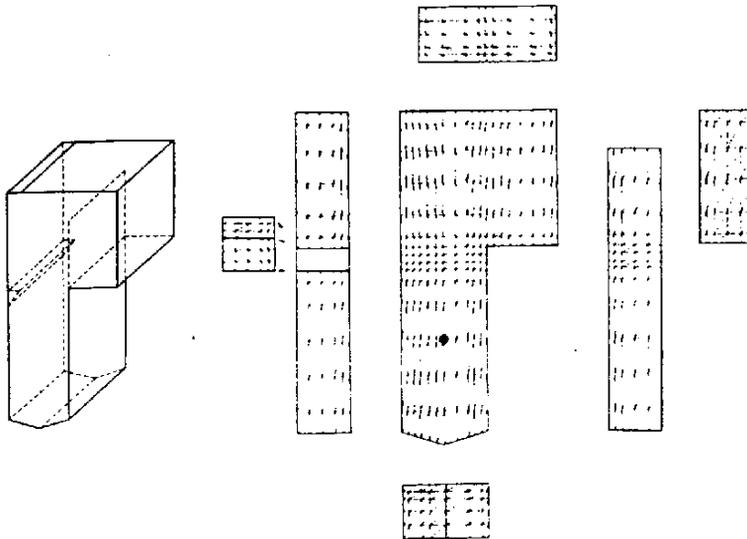


図 3.3-18 ボイラ炉壁の有限要素モデル

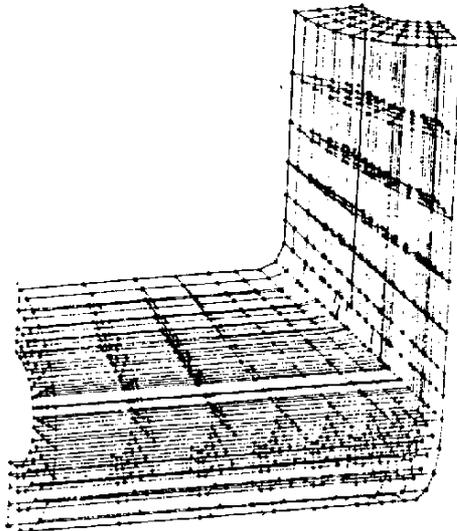


図 3.3-19 過熱器出口管寄せティーの有限要素モデル

またボイラ耐圧部の主要な要素に対して、FEMによる解析が行われているが、一例として過熱器管寄せティーをあげる。その有限要素モデルは図3.3-19に示すとおりであり、これを用いて過熱器出口管寄せティーの弾塑性クリープを解析したり、寿命評価を行っている。

原子炉容器の構造強度に関しては、安全性を考慮して厳しい制限が規格で定められているが、原子炉容器のフランジおよびボルト部を3次元体として、3次元FEMプログラムを開発して3次元応力挙動を解析している。この場合応力解析の精度がよいことで定評のある20節点アイソパラメトリック要素を使用しており、要素の原型は図3.3-20に示す正六面体であるが、座標変換によって図3.3-21のような曲面をもつ要素でモデル化している。入力データの簡略化のために要素分割は図3.3-22に示すようなブロック5種類を用いて、これによって指示する方法をとっている。図3.3-23にブロックの分割を、図3.3-24にFEM解析による外表面の応力分布と実験値の比較を、それぞれ示している。

#### c) 機械

船用ディーゼル機関の大形化・高過給化にともなって、燃焼室を構成する要素は過酷な機械的および熱的負荷にさらされる。これに耐える各要素の設計法を確立することは重要な課題であるが、特に放射状リブを有する非軸対称体ピストンについて、FEMを使い等価剛性

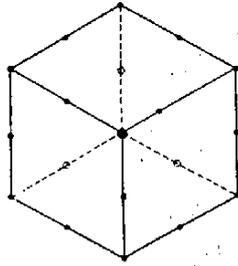


図 3.3-20 アイソパラメトリック要素  
(原型)

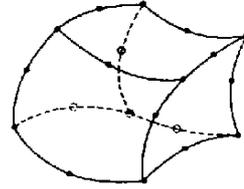


図 3.3-21 アイソパラメトリック要素  
(座標変換後)

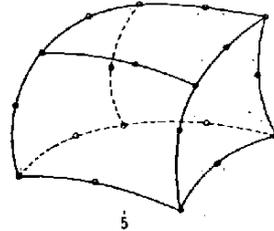
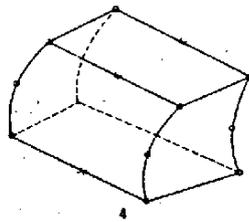
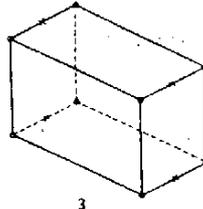
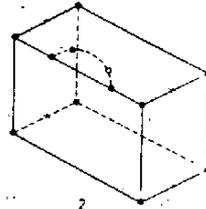
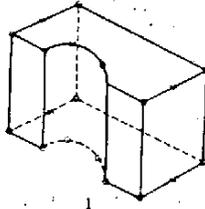


図 3.3-22 ブロック形状

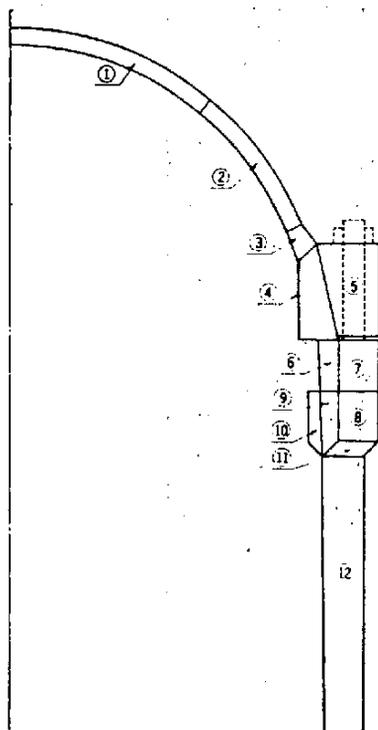


図 3.3-23 ブロック分割

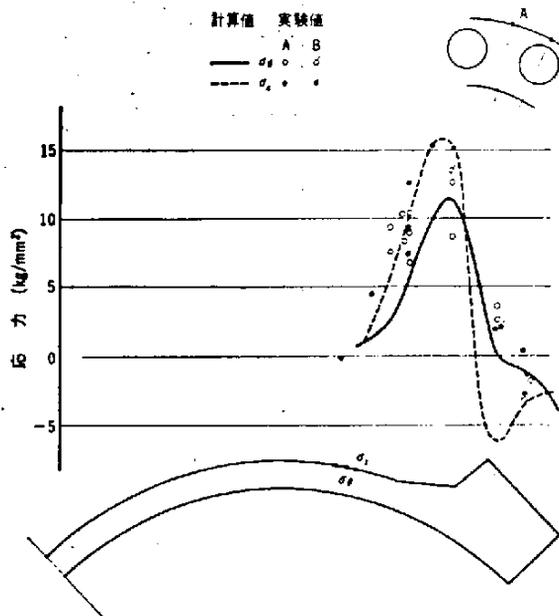


図 3.3-24 ボルト締付けによる  
上部鏡板部応力分布

法による応力解析が行われた。図 3.3-25 がピストン・クラウンの要素分割図、図 3.3-26 がその機械的応力分布の計算値と実験値の対比を示したものである。

遠心圧縮機・送風機、水車、ポンプ等に見られるふく流羽根車は、大形化ないし高速化の進展にともなって、強度上の安全性を短時日に精度よく確認するの必要が生じた。このために FEM を利用し、同時に羽根車の形状と変形の周期性を条件として使用することにより、1 ピッチだけを対象として全体と等価に、しかも 3 次元的に応力解析を行っている。図 3.3-27 に圧縮機羽根車の解析モデルを、図 3.3-28 にこの方法による解析結果と、軸対称モデルを使った場合の計算値との比較を、それぞれ示している。

#### d) 各種鉄鋼構造物

海洋石油掘削装置などの海洋構造物、煙突、起重機、橋梁その他各種鉄鋼構造物にも、FEM が広範囲に使用されている。海洋構造物の管部材と管、梁、隅角部などの接合部の構造、超高煙突の基部開口部のような局部構造を解析するために、高次の有限要素を使用したり、

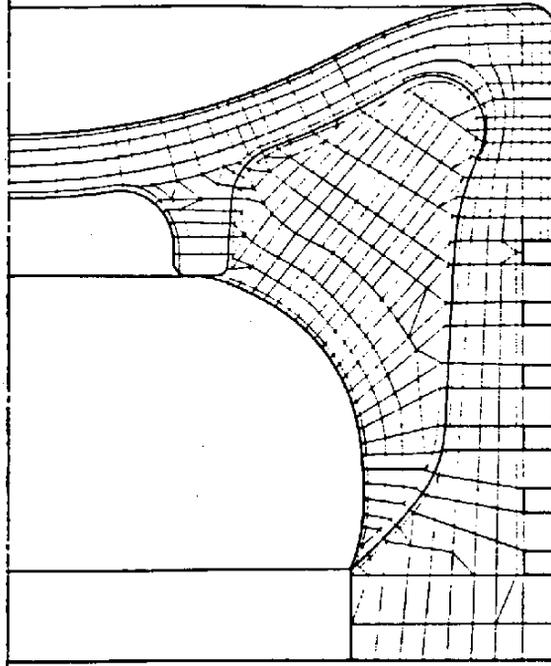


図 3.3-25 ピストン クラウン要素分割図

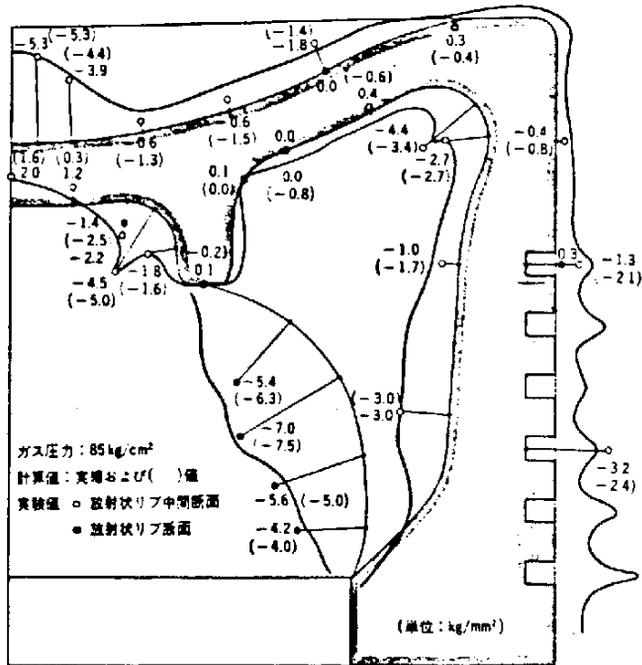


図 3.3-26 ピストン クラウンの機械的応力分布

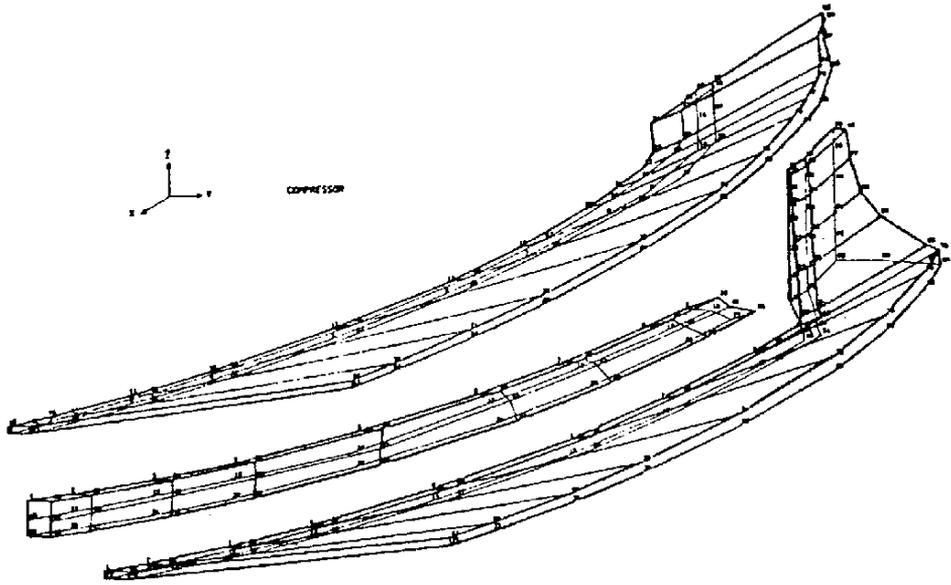


図 3.3-27 コンプレッサの解析モデル (プロット図)

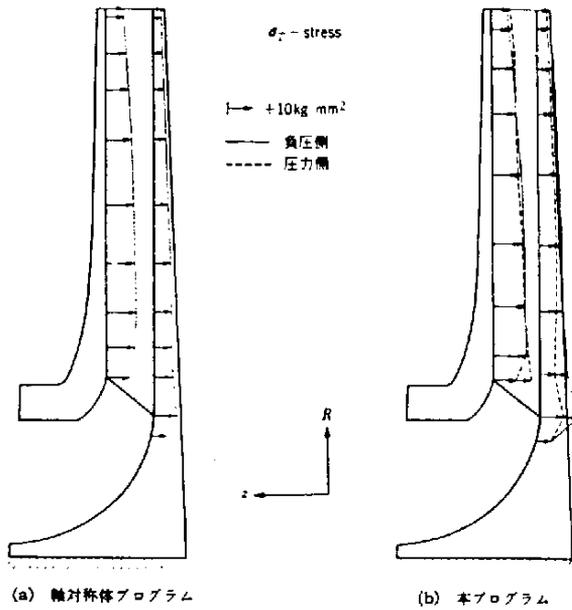


図 3.3-28 コンプレッサの計算結果

全体構造から局部構造へのズームアップ手法が開発されて、経済的かつ高精度の実用的解析手法が確立されている。図 3.3-29, 図 3.3-30 にズームアップの計算手順と FEM の適用をそれぞれ示している。

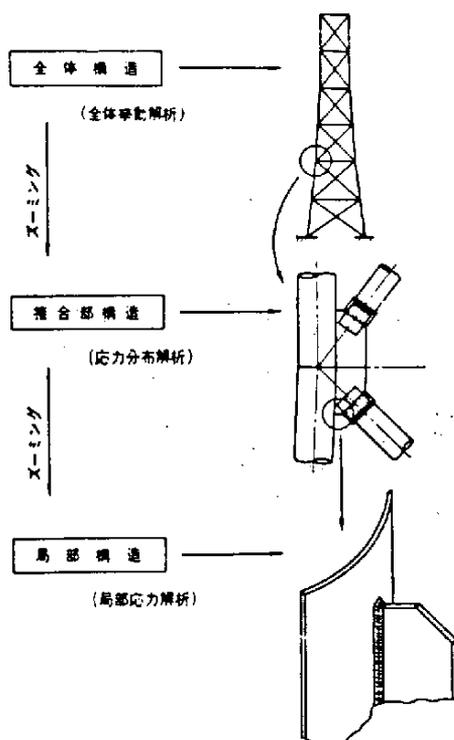


図 3.3-29 ズームアップ計算手順

c) 航空機

航空機に対しても FEM は構造強度の解析に活用されているが、幾何学的非線形解析を航空機の耐圧床と外殻の結合部に適用した例がある。図 3.3-31 は結合部のモデルで、その陰影部を図 3.3-32 に示すようなスティフナーで補強した平板でモデル化し、一様な内圧を負荷する。これにより図 3.3-33 に示す変形を生じ、板に生ずる応力と曲げ応力は、図 3.3-34 のようになる。また、薄板座屈を考慮した静的線形解析を図 3.3-35 に示す航空機の胴結合部構造に適用した例では、結合部周辺の胴体外板の座屈により、薄板座屈解析を行うと静的線形解析に比べ約 10% 胴体曲げ剛性が低下して実験とよく一致することが確かめられている。

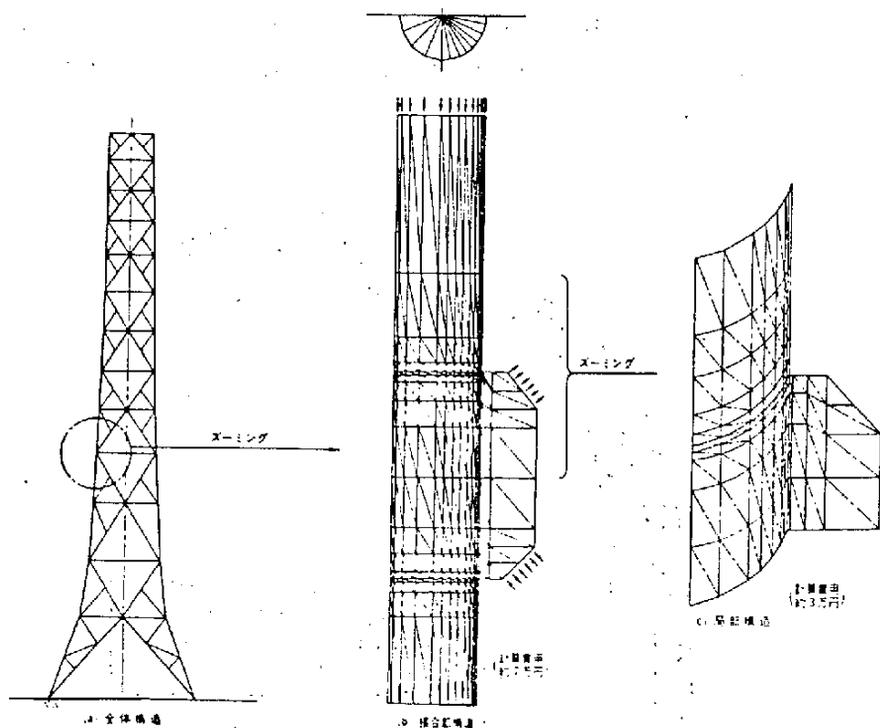


図 3.3-30 計算手順および理想化

## (2) 振 度

上述のとおり、FEMは航空機デルタ翼のフラッターという一種の振動現象への応用から始まったのであるが、たわみ性マトリックスが静的応力解析にも直接有効なことが認められた結果、その後の発展では静的応力解析に関心が集中し、より複雑な振動解析への関心は逆にうすらいってしまったのである。けれども、その後複雑な解析を始める以前に必要な静的解析の基礎的諸問題が解決されるに及んで、FEMによる振動解析が各分野で盛んに行われるようになってきた。以下幾つかの例を紹介する。

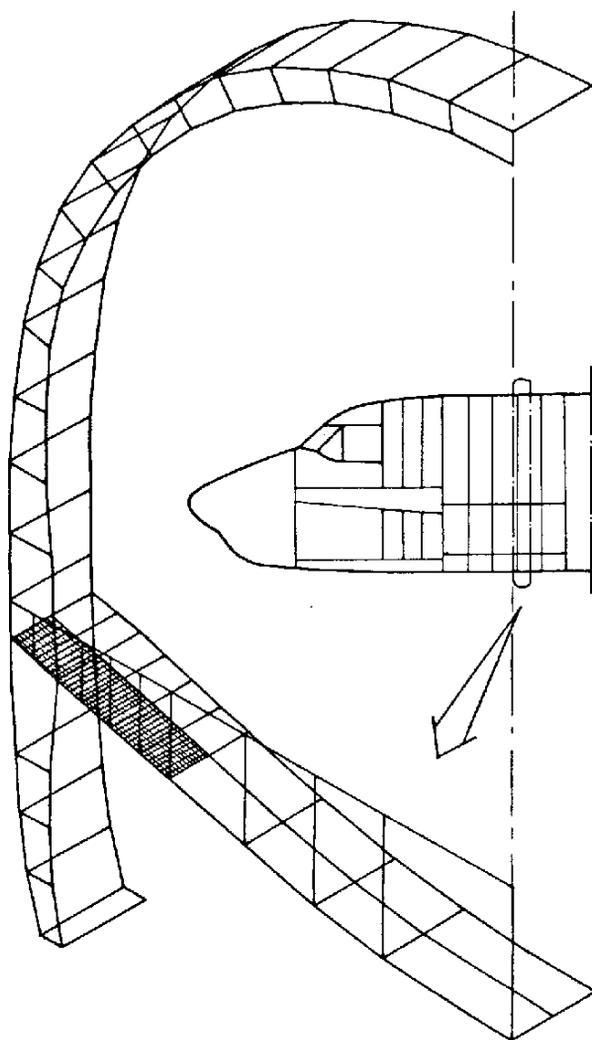
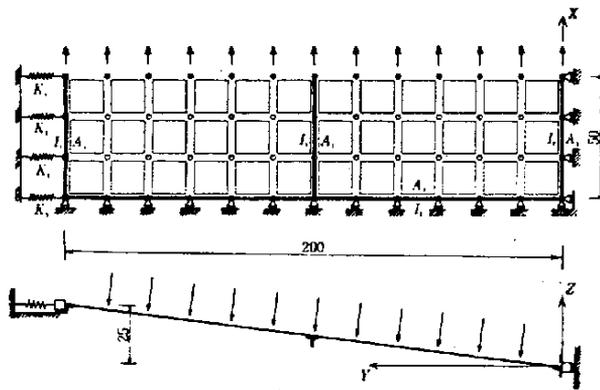


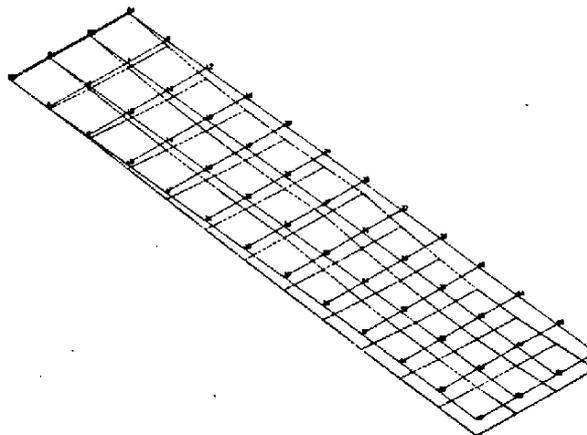
図 3.3-3 1 航空機の耐圧床と外殻結合部のモデル



DATA CHECK KASTAN CHECK RUN DATA OF GEOMETRICAL NONLINEAR \*760513  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 1.001 E0  $\rightarrow$  1.0 E1

図 3.3-3 2 スティフナと平板でモデル化された耐圧床

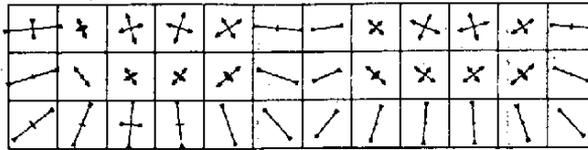
POSTPROCESSOR KASTAN CHECK RUN DATA OF GEOMETRICAL NONLINEAR \*760513  
 DISPLACEMENT  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 1.20 E0 1.0 E1  $\rightarrow$   
 LOAD CASE = 1 DISP. SCALE = 4.00 E0 1.0 E1  $\rightarrow$



POSTPROCESSOR KASTAN CHECK RUN DATA OF GEOMETRICAL NONLINEAR \*760513  
 DISPLACEMENT  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 1.20 E0 1.0 E1  $\rightarrow$   
 LOAD CASE = 1 DISP. SCALE = 2.00 E0 1.0 E1  $\rightarrow$

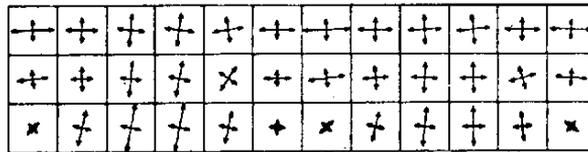
図 3.3-3 3 耐圧床の変形図

123 -- P.STRESS.B



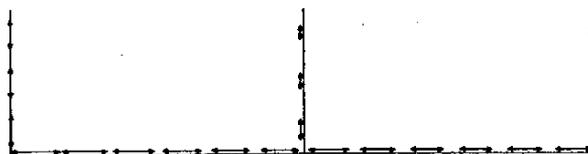
POSTPROCESSOR KRSTAN CHECK RUN DATA OF GEOMETRICAL NONLINEAR '760513  
 STRESS  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 1.20 E0 1.0 E1  
 LOAD CASE = 1 STRESS SCALE = 3.56 E0 1.0 E1

123 -- P.STRESS.H



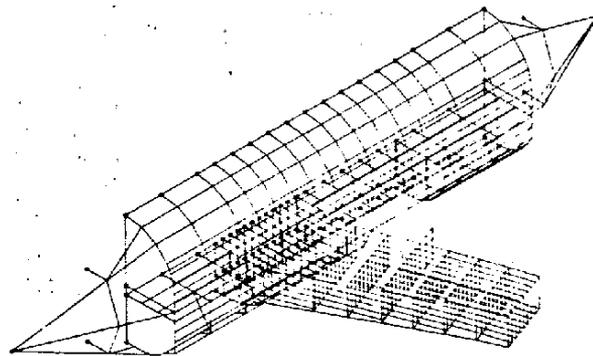
POSTPROCESSOR KRSTAN CHECK RUN DATA OF GEOMETRICAL NONLINEAR '760513  
 STRESS  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 1.20 E0 1.0 E1  
 LOAD CASE = 1 STRESS SCALE = 1.72 E0 1.0 E1

115 -- FORCE.X



POSTPROCESSOR KRSTAN CHECK RUN DATA OF GEOMETRICAL NONLINEAR '760513  
 STRESS  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 1.20 E0 1.0 E1  
 LOAD CASE = 1 FORCE SCALE = 1.63 E-1 1.0 E2

図 3.3-3 4 平板の曲げ応力, 膜応力およびスティフナーの軸力



DATA CHECK KRSTAN -- KING-4001 (110) (LONG MODEL) 08/17/13 12:28.0.11  
 BLOCK NO. = 1 MODEL SCALE = 8.71 E-2

図 3.3-3 5 翼胴結合部のモデル図

ふく流羽根車——前項でものべたく流羽根車は、羽根車の形状が複雑であるため、その振動解析を行う場合には、従来は羽根のみまたは主板のみを取出して簡便な検討を行っているのみで、精度は到底十分なものとはいえなかった。このような実情をふまえて、羽根と主板および側板で形成される一般的な形状をもつ羽根車について、FEMを適用した振動解析が行われた。この場合、羽根車が羽根の1ピッチに対して構造対称であることを利用したサイクリック・シンメトリー法を適用して解析を行っている。

図3.3-36に示す形状の羽根車の振動計算を、図3.3-37に示すように羽根車全体を要素分割して直接解いた結果と、羽根の1ピッチをとり出して上述の方法で行った結果とを、計測値と比較している。サイクリック法でえられた1ピッチ・モデルの振動形を羽根車全体に展開したものが図3.3-38である。この振動形は別途行ったホログラフィによる振動実験結果とよく一致していることが確認されている。

蒸気タービン——蒸気タービンの性能向上と信頼性向上への厳しい要求にこたえるために、タービン動翼にも新しい設計技術が必要となってきた。特に低圧タービン最終翼は長大化に伴って翼幅が広くなり、また性能上の要求から後縁が薄肉化する。この結果翼に板としての振動様相がはいつてきて、従来のはり理論による取扱いでは十分な精度が得られないので、FEMを用いた解析が要求された。

長くて、しかもねじれた形状の翼では、解析のための入力データの作成が著しく煩雑なのが通例であるが、この場合には設計図面から自動的に入力データを作成するシステムを作って、

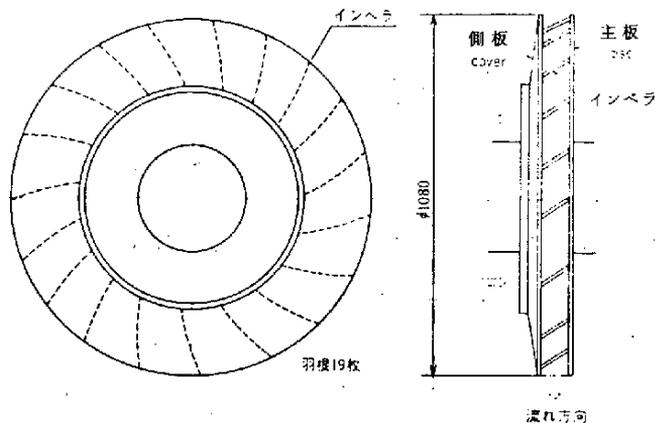


図 3.3-36 主板、側板を持つ輻流羽根車

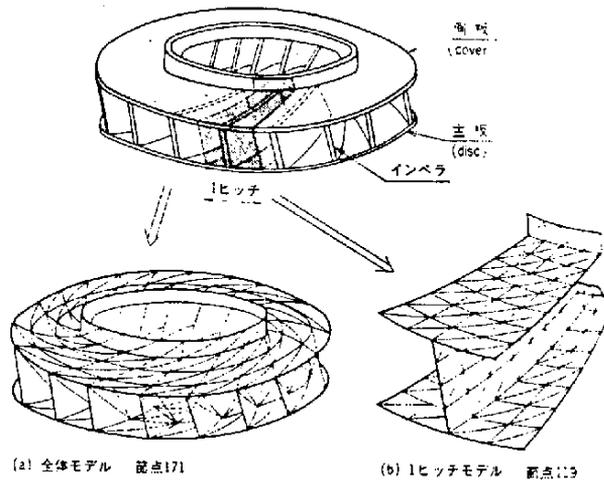


図 3.3-37 主板，側板を持つ輻流羽根車の分割

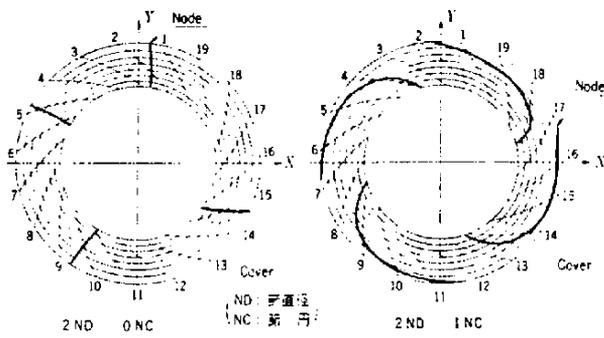


図 3.3-38 主板，側板を持つ輻流羽根車の Cyclic Symmetry 法による振動形

FEM計算を設計段階で容易にできる工夫をこらしている。FEMを利用することにより、回転中の翼のねじれもどり量を考慮した流体性能の向上、ラッシングワイヤや翼根部の局部応力軽減、高次固有振動数推定精度の向上を図れるようになった。図 3.3-39 に対象としたつづり翼の要素分割、図 3.3-40 に 6 枚つづり翼の遠心力による変形、図 3.3-41 につづり翼の振動形をそれぞれ示した。

自動車——モーダル解析装置の発達と、FEM解析や台上加振実験でえられた各コンポーネントの動特性を結合して、全体のシステムモデルを作ることが可能にしたビルディングブロック法の発展によって、自動車全体の動特性を解析的に求める試みが行われている。これは米国のGM、フォードでは既に実用化されているが、わが国でも実施されるようになってきた。

車体のFEMモデルとしては、車体をリアおよびフロント構造の2つに分割し、それぞれの動特性をモーダル表示して合成した結果えられた車体全体の固有振動数は、車体全体を分割せずにFEMでといた結果とよく一致している。

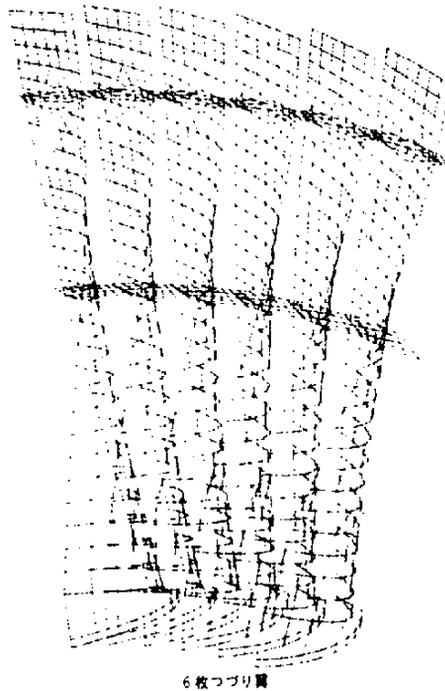


図 3.3-39 つづり翼のメッシュ分割

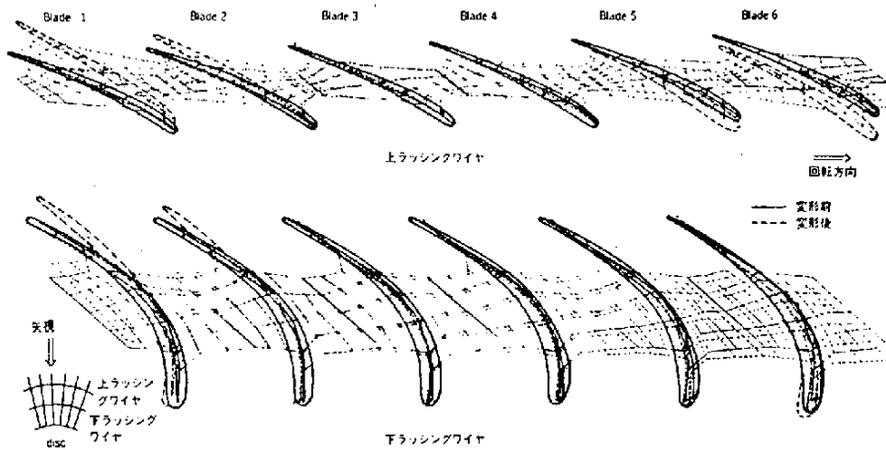


図 3.3-40 6枚つづり翼の遠心力による変形

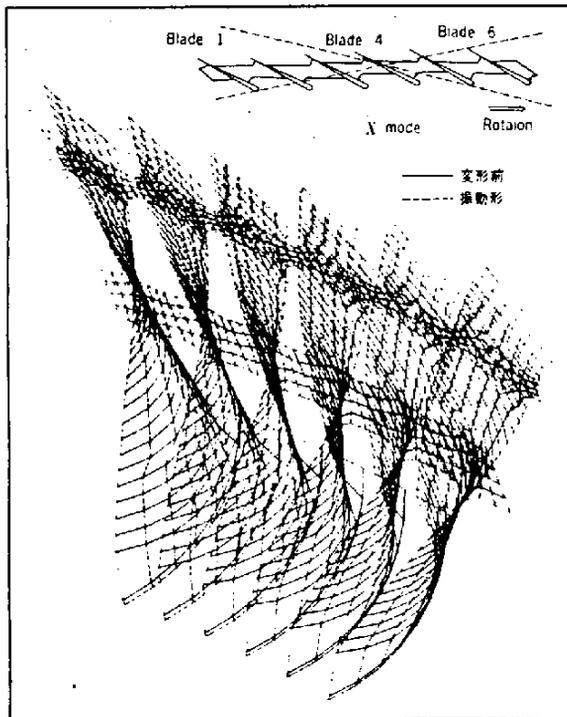


図 3.3-41 つづり翼の振動形

### (3) 耐震設計

日本は世界でも有数の地震国であるが、近年のめざましい産業、経済の発展にともなって、超大形プラント、超高層建造物、大容量原子力発電所、長大つり橋などが次々に建設される機運にあり、いつかは発生する可能性のある大地震に対して、これらの設計段階から十分な考慮と検討を行わねばならない。

原子力格納容器——この分野におけるFEM利用の例として原子力格納容器の耐震強度解析があげられる。図3.3-42に示すような格納容器の振動には、梁状の振動と、断面が花びら形に動くオーバル状の振動があり、容器に機器搬入口とかエアロック等の局部付加重量物がつくと、両者の連成で複雑な応答が生じる。

模型を用いた実験と現地の実物試験をふまえて、FEMを用いた理論応答解析法が確立されたが、それによる振動応答の一例を図3.3-43に示した。この図からみられるように、計算値と実験値はよく一致している。

コンクリート・アーチ・ダム——コンクリート・アーチ・ダムの地震応力解析にもFEMが利用され、汎用プログラムも開発されている。けれども、ダムと貯水池の相互作用を考慮するとき流体の圧縮性がとりいれられていないため、大地震時に生じうるキャピテーションによ

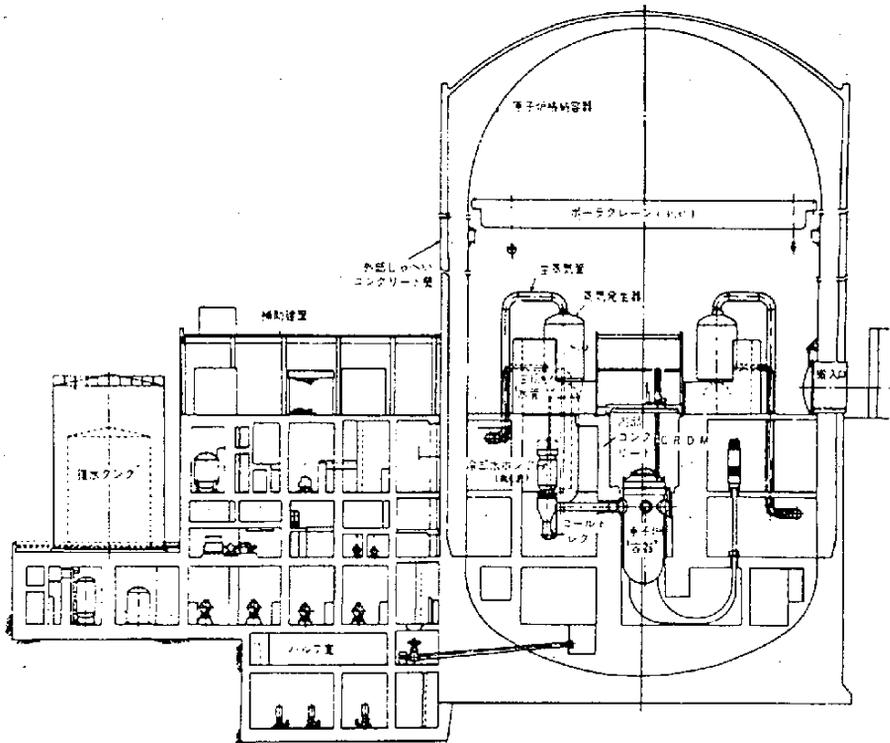


図3.3-42 代表的軽水炉原子力プラント断面図

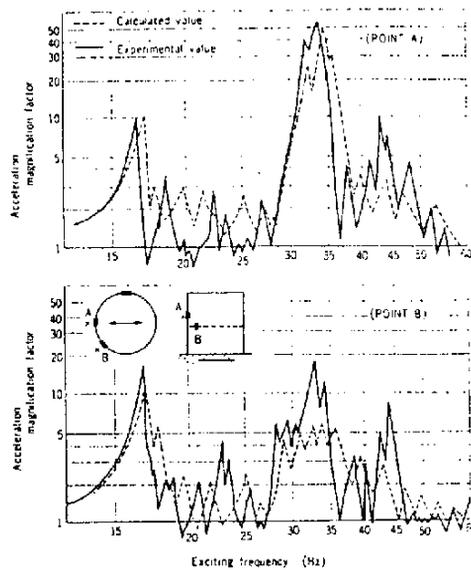


図 3.3-4.3 3点に付加質量をもつ薄肉円筒シェルの振動応答

る非線形相互作用を取扱った解析はまだ存在しない。また、ダムは通常の場合線形弾性システムと仮定しているが、これは静的設計条件としては許されても、地震応答を考える場合には構造的な非線形性を考慮しないと、実際のダムの挙動をあらわしえないのである。

以上のことはFEM解析にあたって大きな障害をなしており、実際の挙動について実験データがないと計算の妥当性が保証できないのである。とはいっても、実験を行うこと自体も、小さなモデルでは動的な相似性の要求は容易にみたされないで、実際上かなり困難を伴う。結局この種の問題については、今後における解析と実験を組合せたアプローチが必須とされるのである。

### 3.3.3 FEMの動向

以上実例を中心にFEMの現状をのべてみたが、これらはいわばFEMによる解析の成功例であって、耐震設計の項でふれたアーチダムの例にみるように、適用対象によっては強力な武器であるFEMといえども、未だ手の届かぬ範囲が種々存在する。これに対しては解析の必要性を見きわめながら、今後それに対する取組みが行われてゆくものと思われる。振動の分野でいえば、上述のような非線形の問題が対象になるのが、課題としてはかなり困難なものであり、適切な実

験との組合せによってその解決が図られねばならない。

自動車の振動に関連して上述したビルディング・ブロックの考え方の浸透にもなって、米国で行われているCAEの日本版が、既に試みられている自動車以外の他の種々の分野で出現することも予想される。その際CAEの中へ組込まれるFEMに対して、CAEという立場からの要求がでてくることも考えられるのであり、これを契機としてFEMの一層の展開がうながされることとなるろう。

〔追記〕 本文を執筆するに当り、以下に記した文献を参考にした。ここに記して感謝の意を表したい。

#### 参 考 文 献

- 1) R. W. Clough : The Finite Element Method After Twenty - Five Years ,  
Computers & Structures Vol. 12, PP. 361-370
- 2) 田中他 : 有限要素法による大型構造解析プログラム・システム (MISA)  
三井造船技報 第93号
- 3) 永元他 : 有限要素法によるトランスバースリングの応力解析  
三菱重工技報 Vol. 7, No. 5
- 4) 壺岐他 : 有限要素法による船体座屈強度の研究  
三菱重乙技報 Vol. 8 , No. 1
- 5) 瀬戸口他 : ボイラ耐圧部要素の強度評価  
三菱重工技報 Vol. 14, No. 2
- 6) 新井他 : 原子炉容器の設計における構造強度解析と評価システム  
三菱重工技報 Vol. 14 , No. 2
- 7) 小林他 : リブ付ピストンの構造解析  
三菱重工技報 Vol. 7 , No. 5
- 8) 今政他 : ふく流羽根車の有限要素法による応力解析プログラム  
三菱重工技報 Vol. 11 , No. 3
- 9) 中尾他 : 有限要素法によるトラス構造物接合部の応力解析に関する研究  
三菱重工技報 Vol. 10 , No. 3
- 10) 政枝他 : KASTAN—その機能と解析例  
川崎技報 62号

- 11) 梅村他：輻流羽根車の振動解析に関する研究  
三菱重工技報 Vol. 14, No. 2
- 12) 梅村他：有限要素法によるタービンつづり翼の振動  
三菱重工技報 Vol. 16, No. 1
- 13) 山口：当社における構造・強度・振動技術の展望  
三菱重工技報 Vol. 14, No. 2
- 14) 各社システム, ユーザ・マニュアル
- 15) アプリケーション・プログラム (Bit 7/1977)
- 16) I C E S Journal Japan
- 17) Structural Mechanics Finite Element Computer Programs (1970 ~ 1980)

### 3.4 ラボラトリ・オートメーションの現状

CAEは従来の製品構成要素に関する幾何学的図形処理, その作図や, 機械加工向けNCデータ作成にともすれば偏りがちであったCAD/CAMと異り, 製品の試作, 開発を, 試行錯誤の大きい初期の設計段階において試験, 解析, データベース, の組合わせとモデルをあたかも実機が存在するようにOFF-LINEでシミュレートし, これによって設計を確定させ, 製品の開発期間を短縮し, コストを低減させようとするものである。

このようなCAEに対するアプローチのモデルを, (図3.4-1)に示す<sup>1)</sup>。

この図において, 上記の解析部分の機能は, これから開発しようとする構成要素の解析が, 有限要素法などを用いてその形状強度などを決定し, 製作実績のあるものについては, データバンクから取り出すことになるが, これらのOFF-LINEで実行される一連の「試験-解析-データバンク」と, ①システムシミュレーション, ②③試作機, つまり実機との整合性の確認が必要となる。

この確認作業は, 実機にたいして研究室または, TEST-BENCHにおける実験, 性能試験という形で実施されるが, この結果としての諸元特性データの収集, 修正は, CAEの実証データとして, データバンクへのFEED-BACK LOOPとして欠くことができないと考えられる。

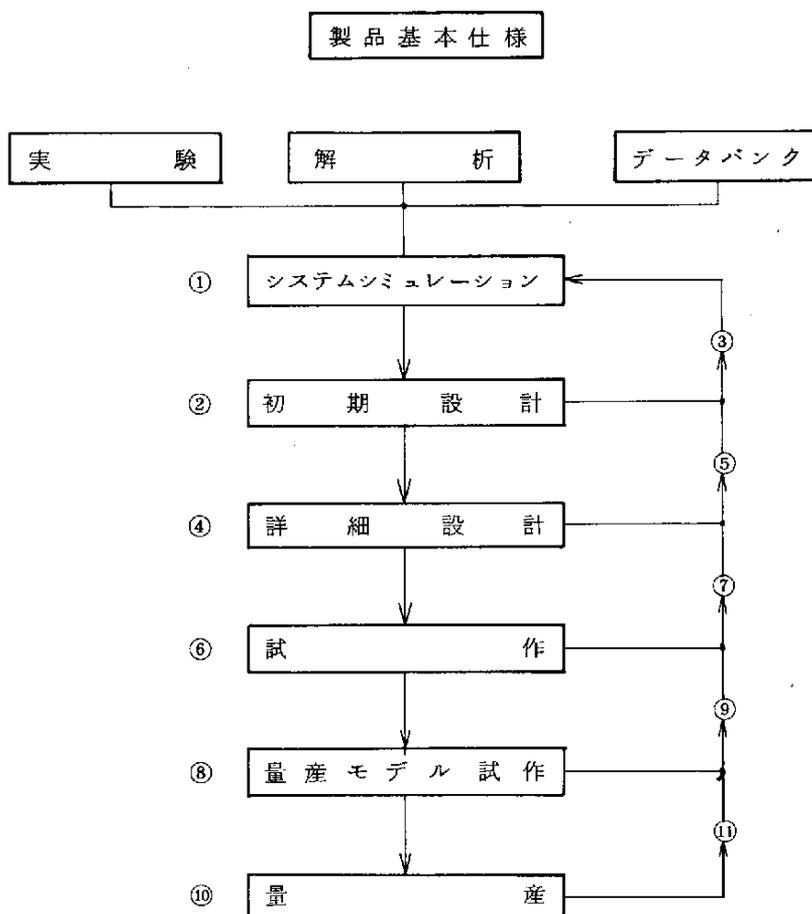
すなわち, CAEへのアプローチとして, モーダルな解析を含むシステム・シミュレーションと, プロトタイプのパフォーマンス, 特性の整合性を実証することは重要なことであるが, この実機のパフォーマンスまたは実験を行う現場として

- 精度、確度の高いデータ
- 高速でかつ連続性のある計測
- 計測パラメータを多くとる

ことが要求され、更に

- 熟練実験員の不足と人件費高騰に対する省力化
- データの作表、図表などの自動化
- 動力費、燃料費などの省エネルギー
- 実験、試験の安全性の向上

などの要求が重畳される。



〔図 3.4-1〕 機械製品に対する CAE のアプローチ 1)

このような要求に対応するものとして、多点の高精度センサーベースの高速自動計測システム

とデータ処理を結合させたコンピュータ利用の実験自動化システム、L. A. ( Laboratory Automation System ) が各種の分野において実用化されている現状である。

ここでは内燃機関としてディーゼルエンジン、ガソリンエンジンを、外燃機関としてタービンの L. A. の実例をあげる。

## 1) L.A. の実例 ( その 1 ) ディーゼルエンジン

### (1) システムの機能、要件

ディーゼルエンジンに対する研究室または工場の試験場での性能把握、特性解析の要件、機能をあげれば、

#### a) 対象機関要目

- 出力                    200 ~ 17,000 P S
- 回転数                200 ~ 2,400 r. p. m.
- シリンダ径            100 ~ 540 mm
- シリンダ数            1 ~ 18

など

#### b) 工場試験要目

- 燃料消費量
- 排気ガス温度
- シリンダ内最高圧力
- シリンダ出口温度    など 51 項目
- その他付属機器特性   " 27 "

#### c) 特性解析

- 燃焼解析
- 噴射系解析
- 吸排気系解析
- 燃焼平衡解析

このような多項目の試験を実行する現場サイドとして、設備上、人員上の制限要件はつぎのものがあリ、研究開発に必要なデータバンクへのデータの Feed-Back に制約を与えてきた。

- 測定点が最大 173 点の計測
- 出力軸の回転動歪、筒内圧力など高速現象の同時計測

- 燃料消費量計測のための予めスケジュール化された長時間パターン運転
- 並列に複数台実行されるこれらの膨大な試験，計測データのグラフ化，立合時の即時処理

これに対して，研究実験用または製造ラインの既存の機関を問わず，特性解析，性能試験のための機関運転条件をプログラマブルに自動的に変え，運転中は機関状態を監視することによって，無人でこれらの作業を実行するためのL.A.機能につぎのものを持たせている。

- a) 自動運転機能
- b) 自動計測 "
- c) 解析処理 "
- d) 機関監視 "

## (2) システムの概要

〔図3.4-2〕にシステムの概要を示す。

### a) 自動運転機能

燃料噴射時期(X)，機関回転数(Y)，負荷(Z)，をCNC装置によって駆動されるサーボモータでプログラマブルに変え，機関運転の所要パターンをつくり出す。

代表的な運転パターンにはつぎのものがある。

#### • 負荷運転パターン

機関に結合された負荷(Y)を所定時間について変化させるパターン(始動→Idling→25%→50%→75%→100%→110%→Idling→停止)，船用特性は各負荷で機関回転数を定格出力に対する出力比の3乗根に比例して変化させ，陸用特性は定回転を保持させる。

#### • 連続運転パターン

機関負荷，回転数，を所定の値に保持し長時間連続運転するパターン。

#### • 反復運転，特定負荷運転パターン

所定の負荷を反復繰り返し与えるパターン。

連続運転中に特殊波形の負荷を与えるパターン。

### b) 自動計測機能

エンジン本体，ターボチャージャー，負荷装置としてのブレーキ，発電機および付属機器などにそれぞれ取付けられたMAX，173点のセンサーは大別すると測温抵抗体，熱電対，抵抗線歪ゲージ，パルスエンコーダ，および特別に開発された物理量変換器からなっている。

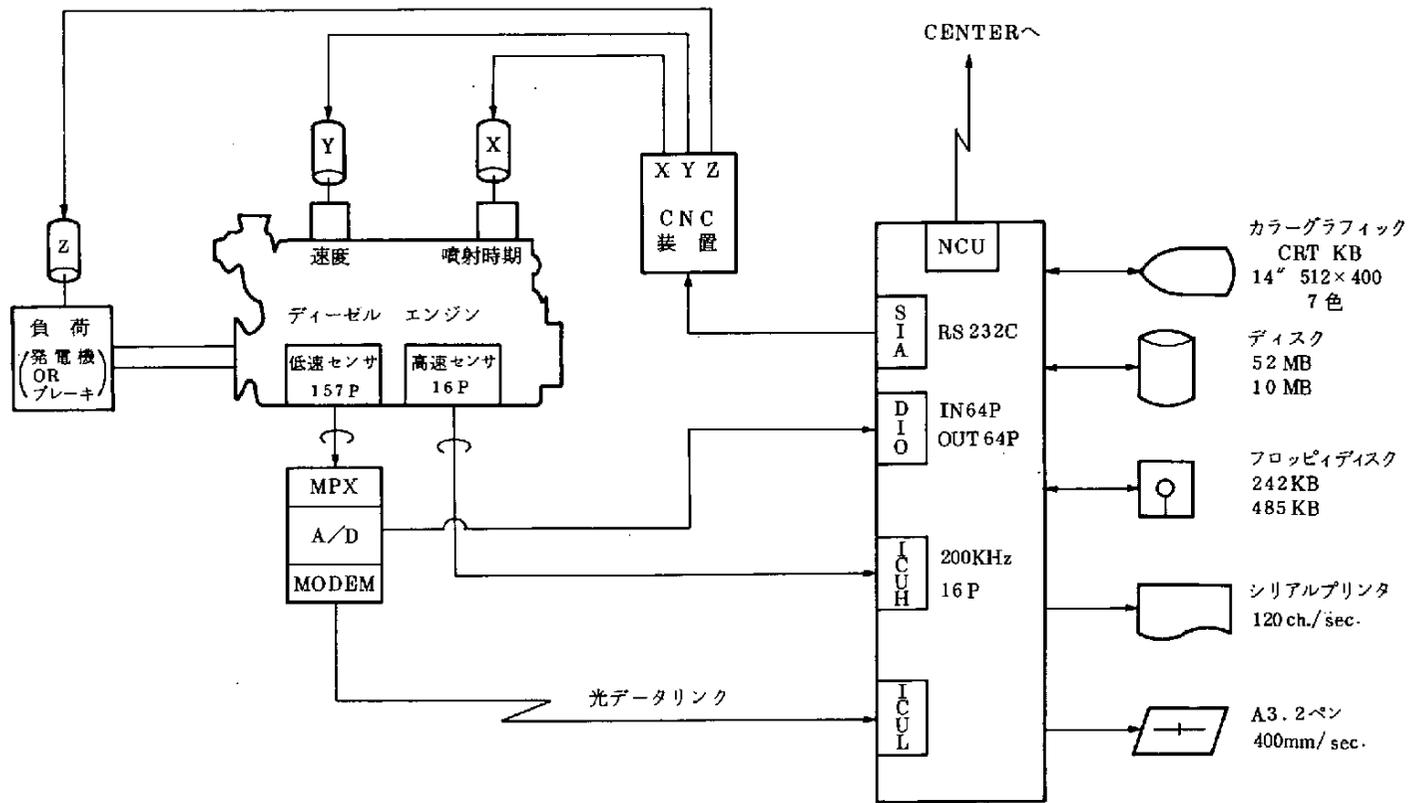


図 3.4 - 2 ディーゼル・エンジン L, A 構成

これらの内、比較的低速のアナログデータは、マルチプレクサ(MPX)、低速A/D変換器で量子化され、光データリンクによってシリアル転送される。高速アナログデータのサンプリングタイムは機関最高回転時における最小計測パラメータと、最大同時計測点数によってきまる。一方、サンプリングタイムを短くすると、機関低速回転域でのデータサイズが大きくなり、CPUのバッファレジスタのサイズもまた大きくなる。高速アナログデータ処理については、被計測機の計測領域とA/Dコンバータの経済性の相関を検討する必要がある。

c) 解析処理機能

b)項で計測された機関特性データはつぎの解析処理がなされる。

- 燃焼系解析
- 噴射系解析
- 吸排気系解析
- 熱平衡解析

解析結果は出力処理をして、プロッタには19項、カラーグラフィックディスプレイには28項、プリンタには8項、合計31項目の出力を行う。これらのうち、〔図3.4-3〕(a)に、筒内圧力=クランク角、(b)に、ブースト圧など3種の圧力=クランク角、(c)に、筒内圧力=筒内体積の関係の出力図例を示す。

d) 機関監視機能

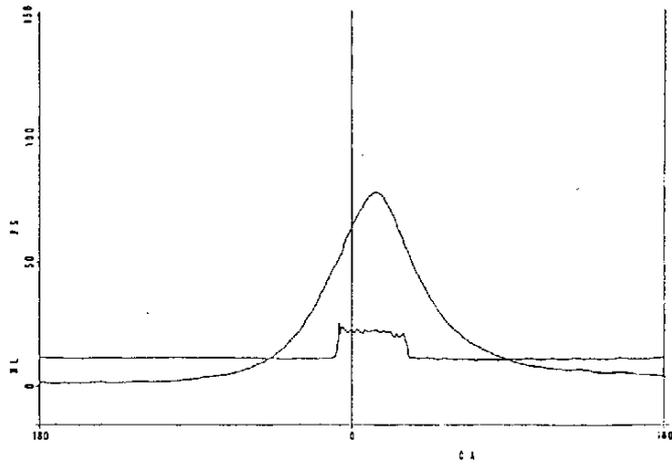
機関試験中、特に長時間連続試験などは無人で行われるため、主に下記の項目を監視し、機関が異常状態になった場合は警報又は緊急停止をかけ、その前後のデータを出力する。〔図3.4-4〕に8気筒機関のシリンダ出口温度の正常時(上)と、異常時(下)のカラーCRT表示例(モノクロ表現)を示す。

- 圧力 冷却水、潤滑油、停止用空気圧力
- 温度 冷却水、潤滑油、シリンダ出口
- 機関過走

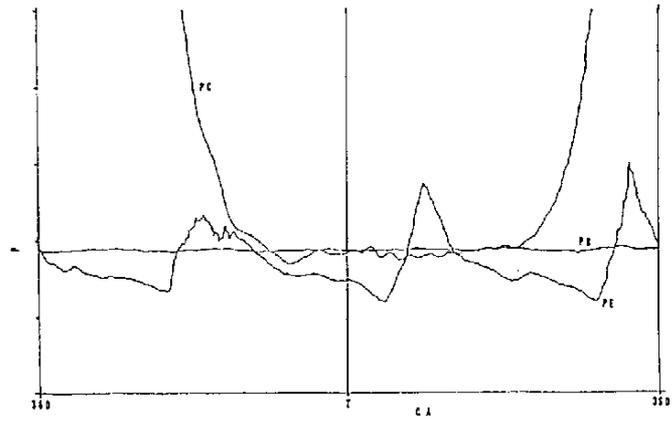
(3) 運用の効果

システム導入の効果として、

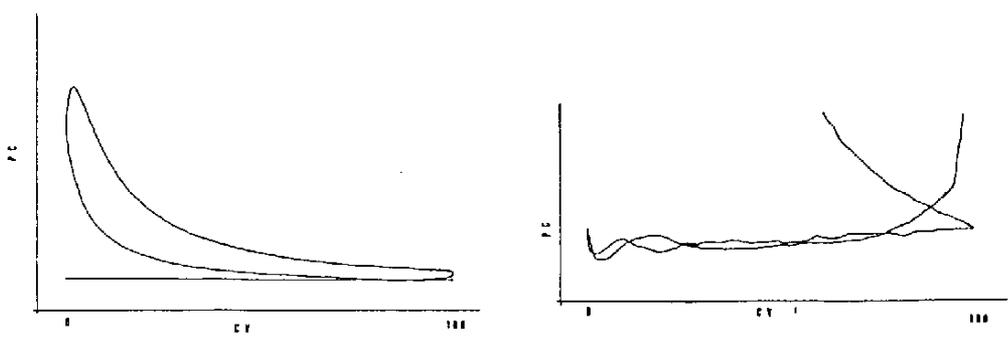
- a) 実験データの研究開発へのFEED-BACKがデータベースとして確定される。従って、ここでいうCAEの上流におけるモデルのシミュレートと実機の整合性の確認、これらの結果の特性データのデータバンクへのFEED-BACKがなされるのでCAEへのアプローチとなる。



(a)

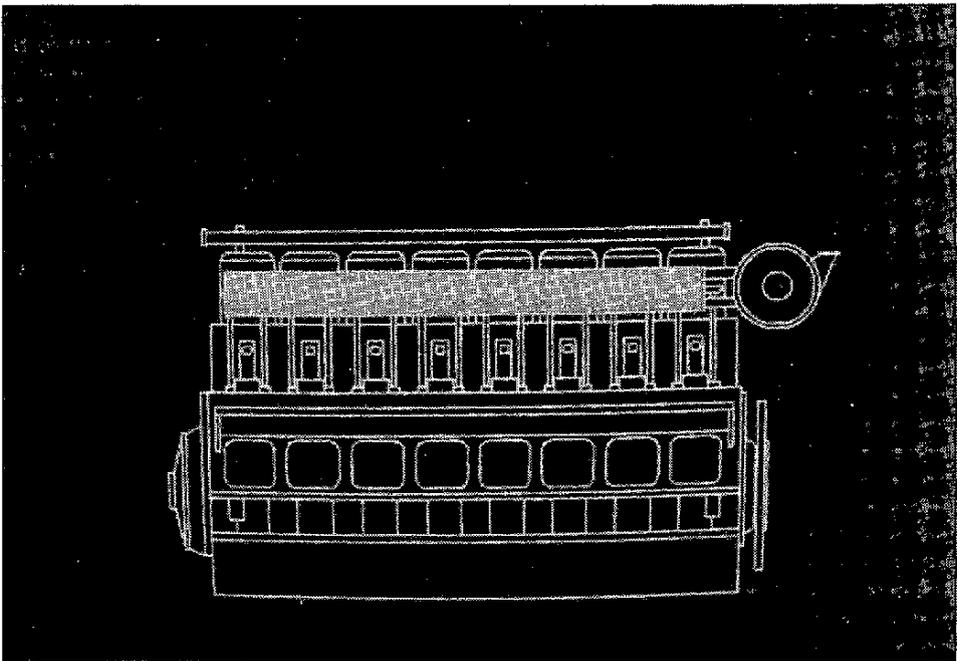
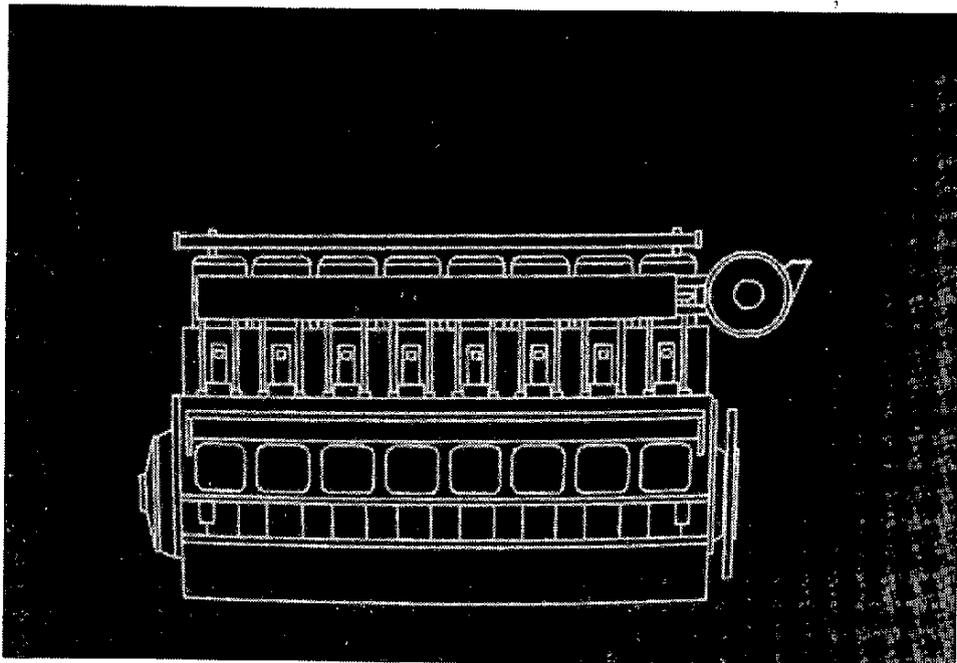


(b)



(c)

图 3.4—3 出力图例



正常時(上) シリンダ出口温度異常(下)

図 3.4-4 機関監視グラフィック出力

- b) 全試験、実験期間の短縮により、工場のテストスタンドが効率的に運用される。
- c) 研究開発要員の実験工数が大幅に低減される。
- d) 効率の高い性能試験により、試験燃料費用が節減される。

## 2) L.A.の実例(その2)ガソリンエンジン

### (1) システムの機能、要件

ガソリン・エンジンの開発(設計, 実験, 評価)業務においてエンジンの実験には本例においては下記のものについての報告がある。<sup>2)</sup>

- 部品単体実験
- エンジン単体での実験, (エンジン・ダイナモ実験)
- 車輻での実験
  - ・シャシー・ダイナモ実験
  - ・テストコースでの実験

この実験業務のうち、エンジン・ダイナモ実験およびシャシー・ダイナモ実験の L.A. 実施例をあげる。

#### a) エンジン・ダイナモ実験

エンジン・ダイナモ実験は、エンジン単体をベンチ上にのせ、エンジン・ダイナモとつないで各種データの計測をするものである。

これは更に定常、過渡、耐久実験に分けられる。

##### ・ 定常実験

定常実験は、エンジンを一定状態に設定して、出力、燃費、排気ガス濃度などのエンジン性能を計測し、評価するものであり、1~10 Hz 程度の低速の計測が中心である。

##### ・ 過渡実験

過渡実験は、たとえばシリンダ内圧力、吸排気脈動、アイドル回転変動のような過渡現象を解析するものと、スロットル急開閉時やパターン運転時のような過渡現象を解析するものがあり計測速度は10Hz~100Hzの高速となる。

##### ・ 耐久実験

耐久実験は、各種の運転パターンにしたがってエンジンを運転し、エンジンの耐久性、性能の劣化状態を調査するものである。

#### b) シャシー・ダイナモ実験

シャシー・ダイナモ実験は、エンジンを車輻に組み付け、シャシー・ダイナモ上で各種の運

転パターンに従って走行させ、排気ガス温度、燃費などを計測、評価を行うものである。計測の方式には、排気ガスをバッグに採集し、パターン走行後の総量を計測するものと、パターン走行中、連続的に計測するものがある。

c) システムの要件

- 実験者からの要求に対して柔軟に対応できる
- 利用レベルの拡大
- エンジン、計測器の制御による自動運転
- 高速現象の解析
- 実験室の集中管理
- 他のシステムへの結合、実験室の増設などへの拡張性を持つ

(2) システムの概要

〔図 3.4-5〕(a) にエンジン・ダイナモ、(b) にシャシ・ダイナモ実験室の構成を示す。コンピュータからの指示で、回転数、トルク、点火進角などのエンジン制御や排気ガス分析計などの計測器の操作が自動的にできるようになっている。

(3) 運用と出力例

a) 運用

システム運用の特徴をあげれば

- 実験プログラムの作成、変更はホストコンピュータの T S S 端末とデバックターミナルを用いて行い、これには実験設備をシミュレートする装置を備えていて、仮想実験室としてのプログラム・デバックが行えるようになっている
- 全実験室の稼動状況はホスト側で監視、集計、管理がなされている。
- フロントの電源はホスト側で制御できるため、フロント側のオペレーションが不要となっている。

b) 出力例

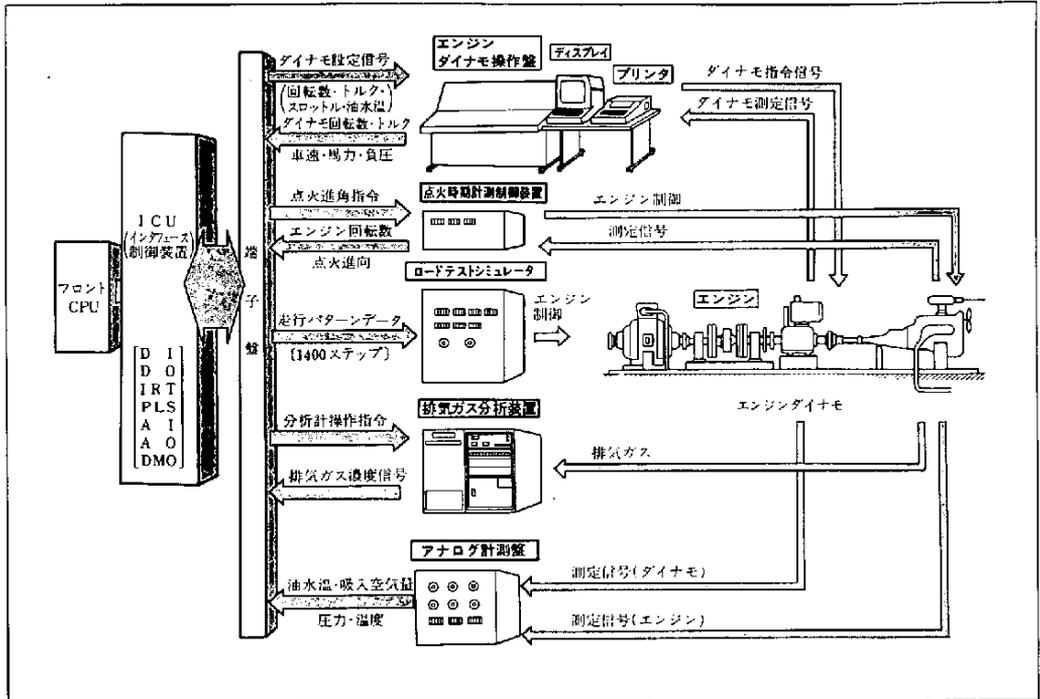
• エンジン性能試験

エンジン性能試験は、回転数とスロットル条件をパラメータとして各種のデータを計測するもので、出力は〔図 3.4-6〕(a) のようになっている。

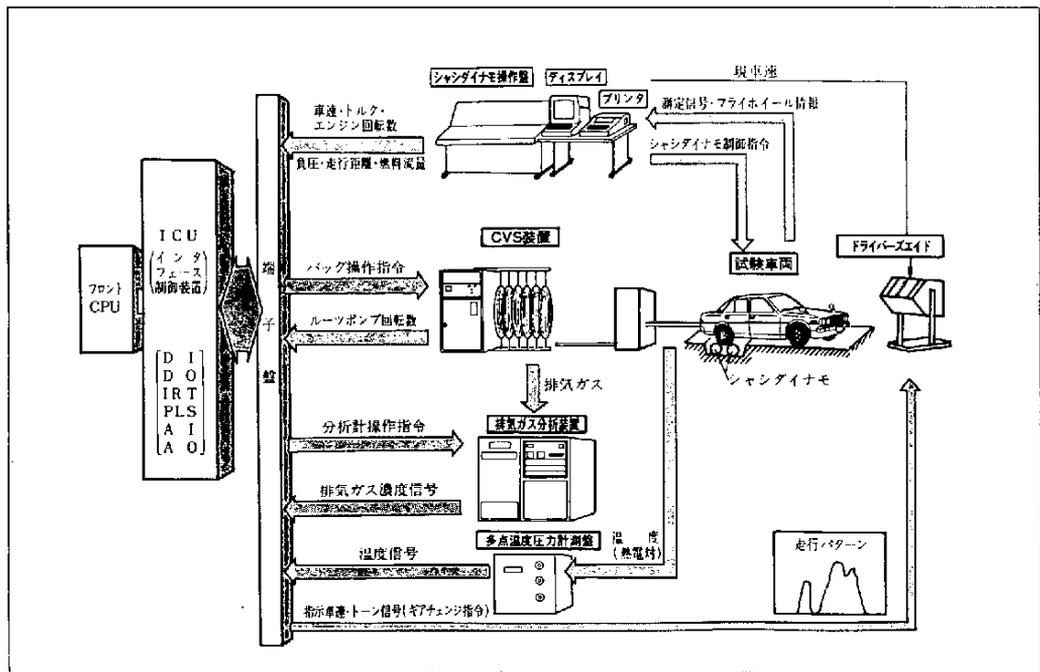
• 気筒内圧計測試験

気筒内圧計測試験は、エンジンの吸入、圧縮、爆発、排気の各工程における気筒内の圧力変化を一定のクランク角きざみに高速計測する。

このうち、クランク角=圧力線図、筒内体積=圧力線図の出力図はそれぞれ、〔図 3.4

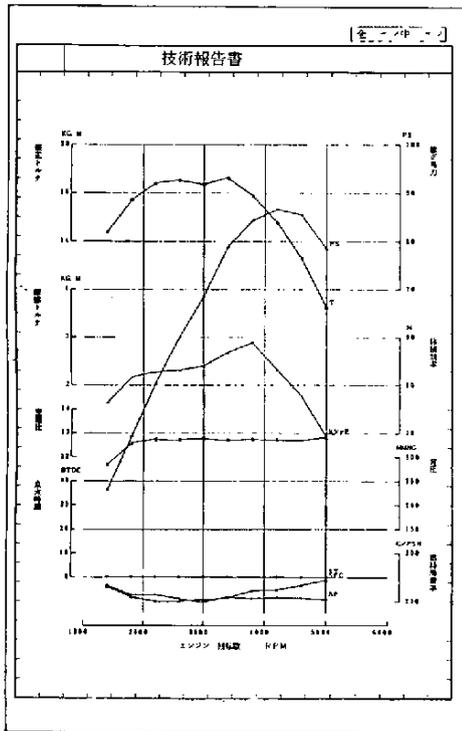


a) エンジンダイナモ実験室の構成

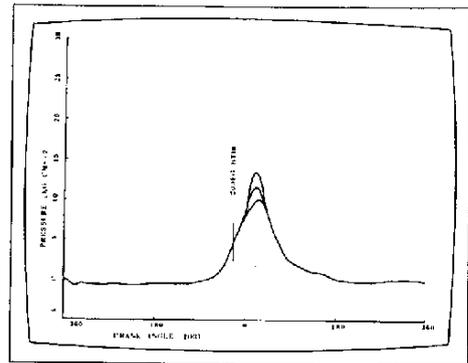


b) シャシダイナモ実験室の構成

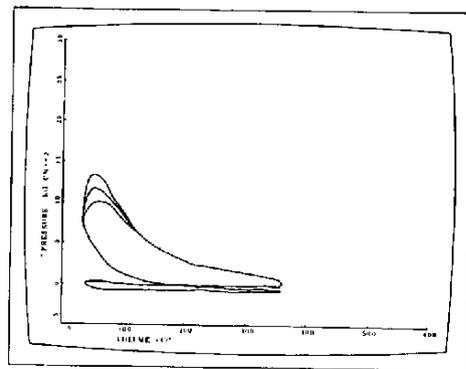
図 3.4-5 実験室の構成



a) エンジン性能試験結果の日本語 LP 出力例



b) 気筒内圧計測試験出力例  
(クランク角—圧力線図)



c) 気筒内圧計測試験出力例  
(体積—圧力線図)

図 3.4 - 6 出力図サンプル

- 6 ] (b), (c), となっている。

#### (4) 運用効果

このシステムの導入によって次のような効果が得られたとされている。

- a) 実験の自動化による実験者の工数低減
- b) 同時大量データ計測，高速データ計測の実現による実験の質的向上。
- c) 大量データの迅速な処理による解析の量的向上。
- d) 実験データ・ベースの有効利用による解析の質的向上。

### 3) L.A. の実例 ( その 3 ) タービン

#### (1) システムの機能，要件

タービン実験は，単段の模型空気タービンを用い，起動から無拘束状態までの広範囲の運転領域におけるタービンの段落特性および内部の流れを計測して，この両者の関連を明らかにするため実施されている例が報告されている。<sup>3)</sup> 実験製図の構成は〔図3.4-7〕となっており，模型タービンの動作流体である空気は，圧縮機で昇圧され，冷却器により所定の温度まで冷されてノズルに入る。

ノズルで膨張し，加速された流れは，動翼を通る間に翼車に仕事を与え，排気スクロール，ベンチュリ管を通して大気へ放出されている。

本例では，ノズル入口，ノズル動翼間，動翼出口における流れの状態，（圧力，温度，流れの方向など）およびベンチュリ管による流量，出力となる翼車のトルク，回転数が計測されている。

#### b) システムの要件と従来の方法の問題点

自動化以前では，各計測点の圧力は実験者がマノメータなどによって測定記録していたため下記の問題点があり，測定点数，測定回数を制限し，実験範囲を縮小せざるを得ないとされていた。

- 多点計測のため，測定，記録に多くの時間と労力を要する。
- 計測点が多く，圧縮性の考慮も必要となるので，計測後のデータの整理が複雑で時間がかかる。
- 模型の組み立て，整理が複雑で時間がかかるので，再組立を避けようとするれば，実験の適否が判明するまで，設備をそのままにしておく必要がある。



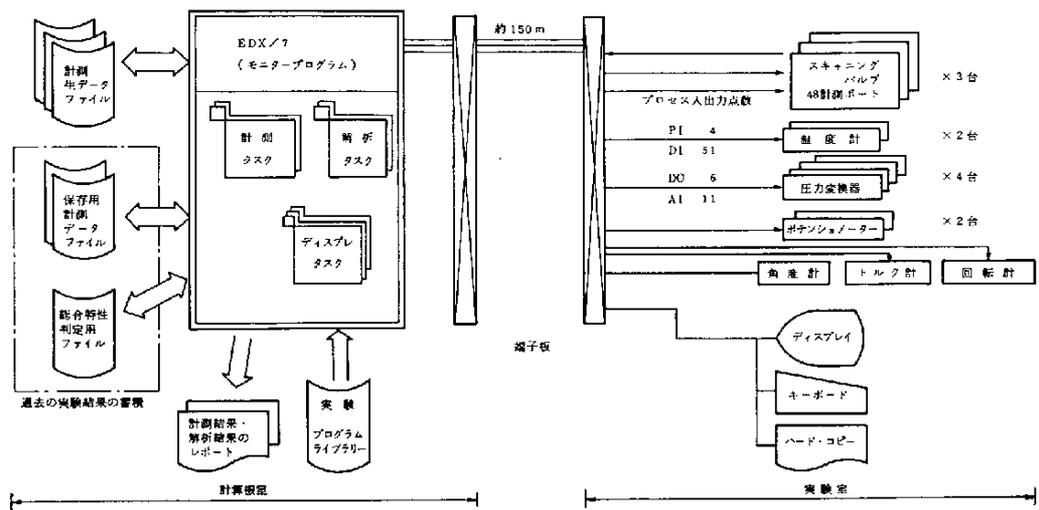
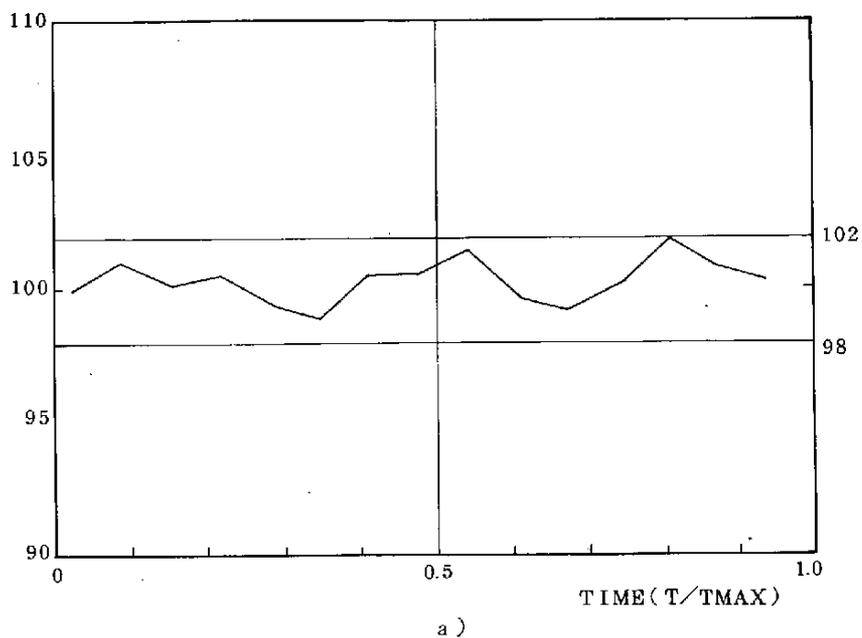
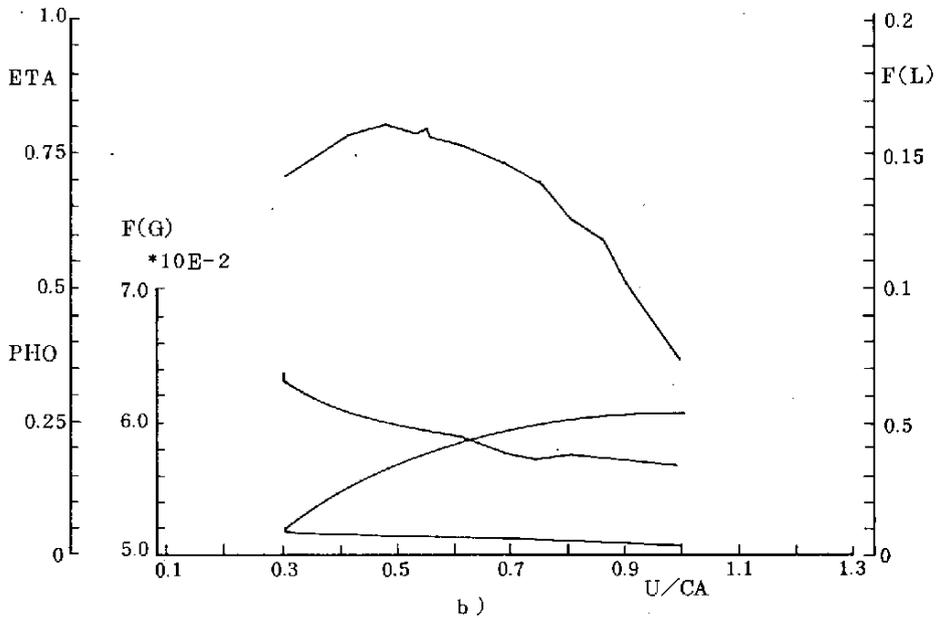


図 3.4-8 システムの構成





〔図 3.4-9〕 出力グラフの例

(3) 運用の効果

運用の効果として次のことがいわれている。

a) データ収集の自動化

- 従来、実験者が行っていた各種計器の「読み取り」と「記録」が、一部の項目を除いてほとんど不要となり、2名必要としていた計測作業が1名で実施されるようになった。
- 測定点数および測定回数は、必要に応じて十分余裕のある数が採用できるので、従来以上に詳細なデータが得られ、計測精度の向上ならびに実験の質の向上が期待できる。
- 人の介在が少ないので、計測における個人誤差や過失誤差が減少し、精度が向上する。
- 従来、半日ないし2日を要した処理が、3～30分に短縮され、データ処理に必要な

な工数は、1/4に低下する。

- 実験の結果が、実験場所の端末装置に直接出力されるので、進行状態の常時監視が可能となり、実験パラメータの変更など実験の進行に従ってタイミングのよい対応ができる。
- 追加して、確認、補足の実験が必要な場合には、継続した実験が行えるので、後日模型の組み換えを必要とする再実験の度合が著しく低下し、実験能率、設備の稼働率が向上する。

#### 参考文献

- 1) Integration and Implementation of Computer - Aided Engineering and Related Manufacturing Capabilities into Mechanical Product Development Process .

Jason R. Lemon, S D R C

S. K. Tolani, "

Albert L. Klosterman, "

- 2) エンジン実験電算システム—ECAM 6—FACOM ジャーナル Vol.7 No.5

- 3) Laboratory Automation System in the KHI Technical Institute,

川崎技報 69号

### 3.5 システムのインテグレーション

図面処理の発展をシステムのインテグレーションの立場から眺めることは、今後の展開つまり製品開発から設計・製造へ到る一貫したシステムを考える上で重要である。文献〔7〕に従い、6段階のレベルに分けて考察してみる（図3.5-1参照）

#### • 第1段階 — バッチ型製図システム

基本的には図形情報に相当する設計データを入力し、プロッタなどに図面出力を行うものである。現在では設計計算と結び付いた自動設計システムとして利用されているものが多く、適用業務および整備の状態によっては高効率の処理が可能である。対話処理でないこと、図形データベースがないことが問題である。

#### • 第2段階 — N C

本質的には第1段階と同じレベルである。図形処理言語としてA P Tが用いられ、工具経路図および加工用N Cテープが作成される。

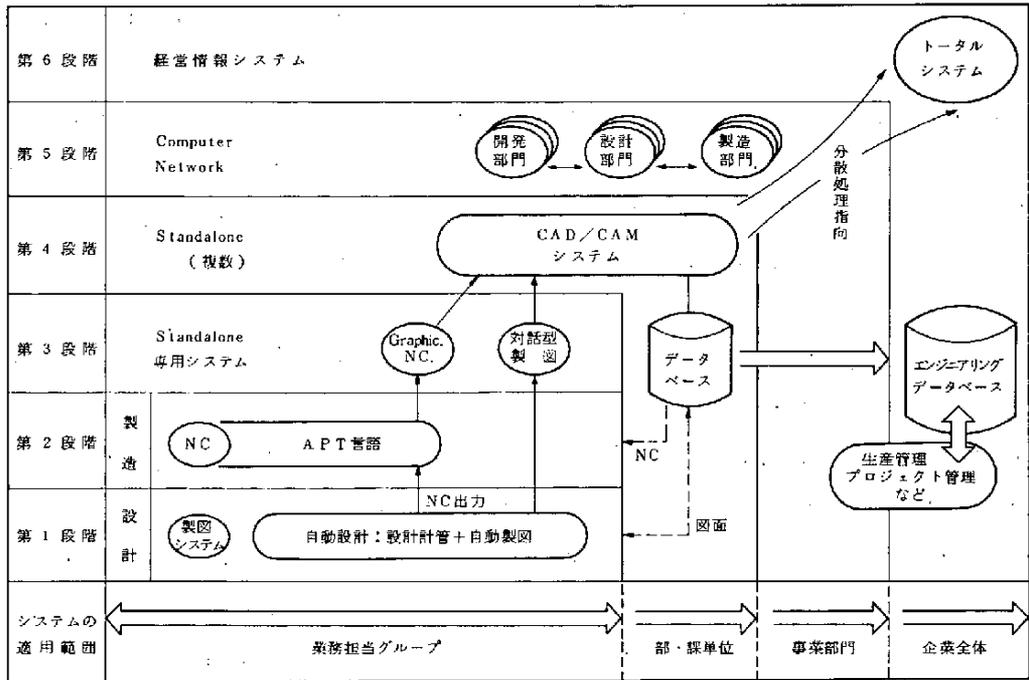


図 3.5-1 図形処理システムのインテグレーション

・第3段階 — 対話型システム

ミニコンピュータを用いた専用システムがほとんどであり、グラフィックNCなどはその典型と言える。図形を見ながらデータの追加、修正が可能であるため、正確で能率的な作業が行なえる。専用システムのため、データベースは機能が固定化されている。

・第4段階 — 現在のCAD/CAM

データベースを利用して、設計から製造まで一貫した処理が可能である。図形情報は3次元データも取り扱える。手軽なミニコン利用のターンキーシステムから、汎用機のシステムまで選択の幅がある。

・第5段階 — 分散処理

基本的には第4段階のシステムがネットワーク化されたものである。しかし3次元機能を要する部門がある一方、製図機能のみでよい部門もあるため、ソフトウェア的にもハードウェア的にも複合システムが形作られるものと思われる。その上での分散処理とネットワーク化が行なわれよう。

#### ・第6段階 — トータルシステム

生産管理やプロジェクト管理などを含めた総合的なエンジニアリング・データベースが基本となる。このような形態になると、企業活動全般に影響がおよぶものと思われる。

CAEを構築する上で、CADシステムの量および質的なインテグレートが必要となる。発展レベルの観点からは、第4・第5段階に相当し、この意味で現在のテーマと言える。

量的拡大を行うにはCPUの強化やシステムの単純増設などの方法があるが、基本は同一CADシステムによるコンピュータ・ネットワークの形成に他ならない。これは共通のデータベースを用いることが利用者の要請であり、実現のための技術的裏付けはコンピュータ間で通信プロトコルが設定されることである。CADシステムの機能は、単一のCADそのものに限定されるが、データベースの形式が同じであるため、分散処理に伴う問題点は少ない。

一方CAD適用業務が拡大するにつれて、質的な向上を図る必要性が生じる。ターンキー・システムやパッケージプログラムの利点は、開発することなく完成された特徴的な機能を利用出来ることである。そのため業務ごとにバラバラのCADシステムが選択される可能性がある。この場合、業務の流れに沿ってインテグレーションを行なおうとしても、単にコンピュータの接続だけでは問題が解決せず、アプリケーションレベルの問題としてデータベース間の互換性が焦点となる。CADシステムの基本データは幾何形状データとその属性データに分けられるが、これらが異なるCADシステム間で相互に利用可能であるならば、利用者にとってCADシステムの選択は非常に容易であり、また大きな利益となる。これらは米国のIPAD ( Integrated Program for Aerospace vehicle Design ) プロジェクトで、ピクチャー、コンピュータメーカー、ターンキー・ベンダー、ソフトウェアハウスが集まり検討され、IGES ( The Initial Graphics Exchange Specification ) として発表された。この結果、コンピュータ間の通信プロトコル ( 例えばX. 25 ) とアプリケーション間のデータプロトコル ( IGES ) により、ネットワーク構成上必要とする基本的な手掛りを得たと言えよう ( 図3.5-2 )。ただしこの種の標準化は一般に共通項をベースにしているため、各CADシステムを特長づけるユニークなアプリケーション機能については適用できないこと、また幾何モデルや図面と関連する属性データの多くが失なわれることなど問題点は残っている。しかしIGES自体、幾何形状の他、電気回路、パイピングなど、機能強化が計画されており、またターンキー・ベンダーの中には、すでにIGESインターフェースを備えていたり ( 例えばコンピュータビジョン )、開発計画を発表しているところもあり、今後定着する可能性は高いものと思われる。

IGESの動きとは別に、機能の異なるCADシステムの併用によるインテグレーション例がいくつか見られる。これらに共通していることは、2次元CADと3次元CADをアプリケーション

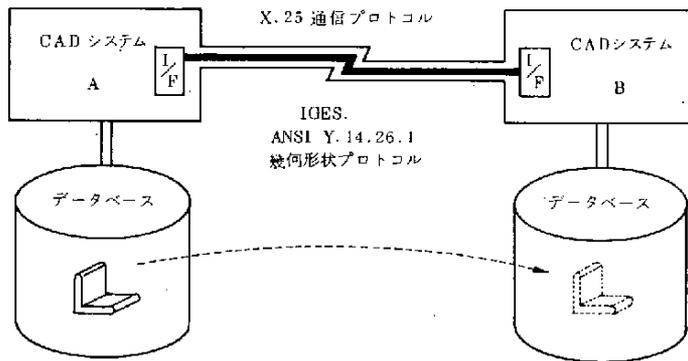


図 3.5-2 CADシステム・プロトコル

として分離し、明確な機能分けを行っていることであろう。代表例として、ノースロップ社とマクダネル・ダグラス社の例を見てみよう。

○ノースロップ社の例(文献3, 4, 5)

ノースロップ社における基本CADシステムは、3次元システムNCADと2次元システムCADAMにより構成されている。その他、これらのシステム周りに各業務別、

- ACAD 航空機ロフトデータ作成
- T-BEND 自動パイプ曲げ加工用
- AWL 自動ワイヤ集計
- APL 自動部品集計

などを配置した複合システムとなっている。特長的なことは、NCADとCADAMのデータベースがリンクしていることである。このため、開発や基本設計段階での複雑な空間的検討に要する3次元処理と、詳細設計段階での製図を中心とした2次元処理が一体化されている。2つのCADシステムの機能分担は、図3.5-3のような区分になっている。図3.5-4は、両システムのファンクションメニューであり、共に同一のグラフィック端末で使用可能である。また図3.5-5は3次元と2次元のコンビネーションによる図形処理例である。なお同様のシステム構成は、ダッソー社のCATIAとCADAMの組合せにも見られる。今後この種のシステム構成は注目を集めるものと思われる。

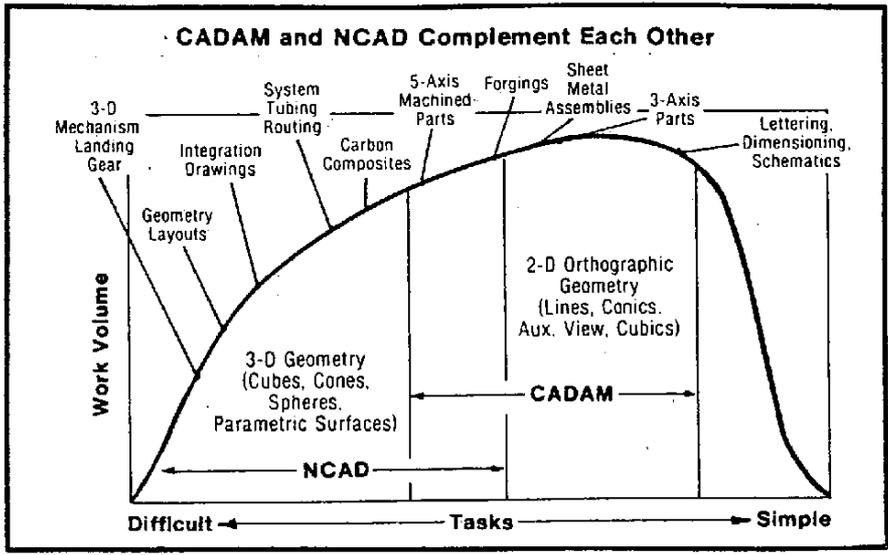


図 3.5-3 2次元と3次元システムの位置付け (文献〔10〕)

FUNCTIONAL KEYBOARD

	DELETE POINTS	LIMIT	OFFSET		
TRANSLATE ROTATE	DISPLAY POINTS	PROJECT	INTERSECT	DETAIL	
GROUP	FLIP	SPHERE	NET	NORLOFT	DELETE
GEOM PROP		BPL BOUNDED PLANE	PATCH		TEXT
REJECT	X-HAIR	PLANE	CONIC	CUBIC	INDICATE
	POINT	LINE	ARC	CIRCLE	

NCAD (3D)

	POINT	LINE	CIRCLE	SPLINE	
TYPE			RELIMIT	CORNER	OFFSET
GROUP	NORLOFT		DETAIL	DIM	MISC
N/C		ANAL	ANAL 2		MISC 2
FILES	SHOW	AUX VIEW	ORIGIN		INDICATE
	WINDOW			YES/NO	

CADAM (2D, Northrop 仕様)

図 3.5-4 FUNCTIONAL KEYBOARD (文献〔9〕)

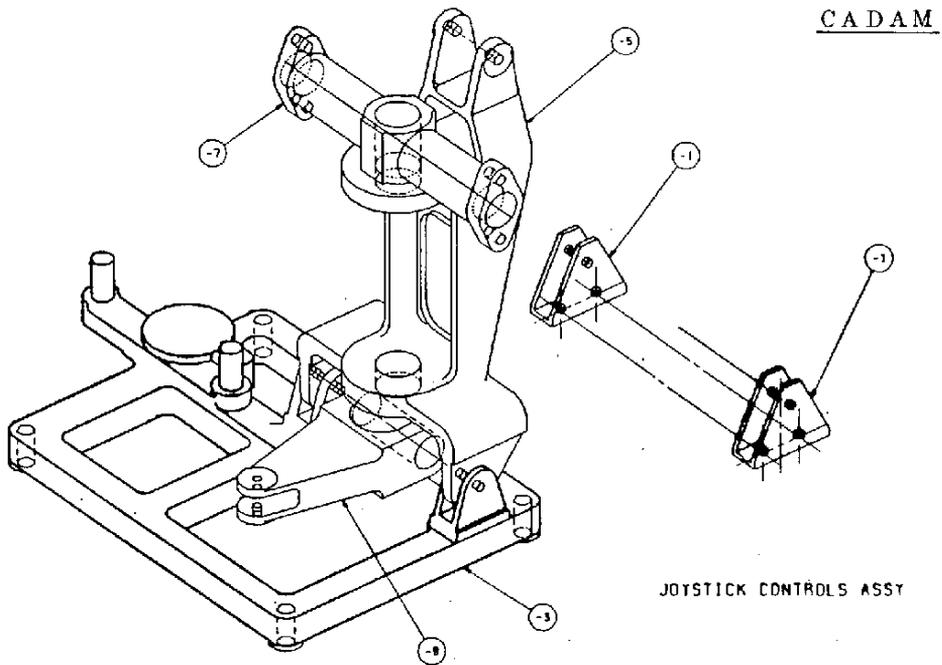
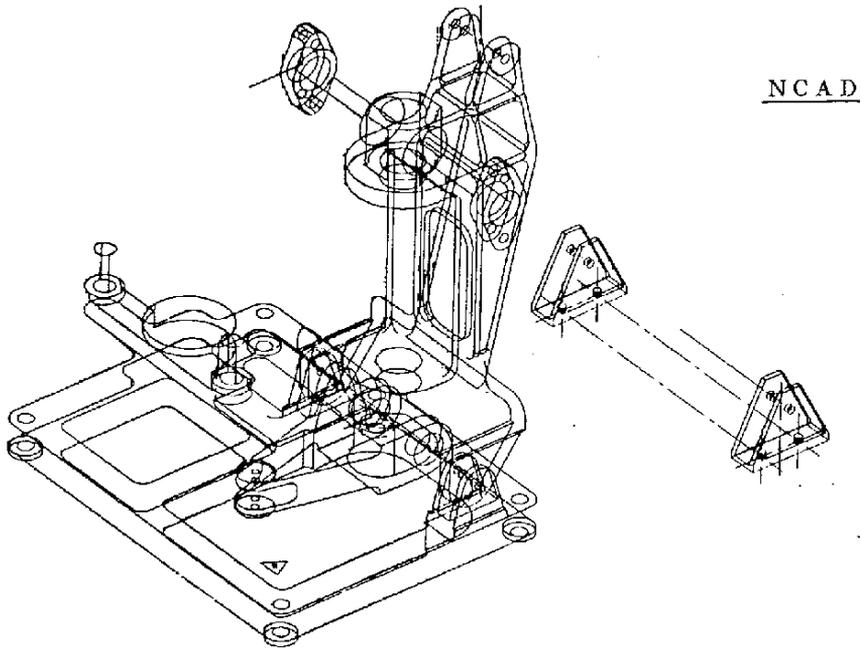


图3.5-5 3D SYSTEM AND 2D SYSTEM COMBINED

文献 [9]

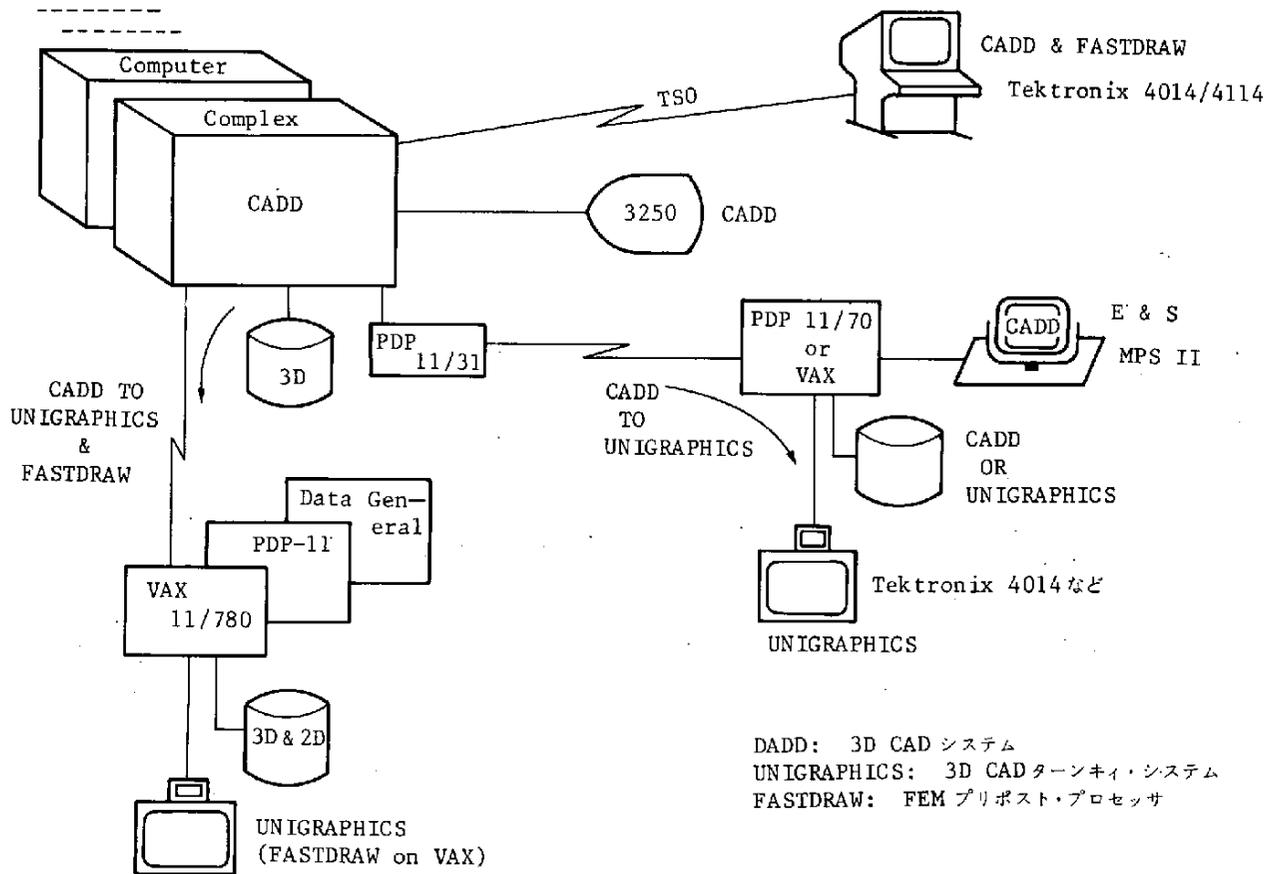


図 3.5-6 マグダネル・ダグラス社のCADシステム構成

### ○マクダネル・ダグラス社の例

マクダネル・ダグラス社における展開は、3次元システムCADDを核とし、周りにターンキーシステムを配置した例であり、従来のCADDを主体とした集中処理から分散処理に移行した例とも言えよう(図3.5-6参照)。使用されているターンキーシステムは、表3.1-2に掲げられているような機能を有する3次元CADシステム(UNI GRAPHICS)である。システム的に見ると注目すべき点がいくつかある。まず、CADDに接続するグラフィック端末は、インテリジェント端末(Multi-Picture System II)とランダムスキャン(3250)とストレージ(4114)の3種がある。本格的な3次元の図形操作にはインテリジェント機能の非常に高いものが不可欠であり、端末の使い分けが可能となっている。次に高級なCADシステムにはそれに応じた適用分野があり、一方ターンキーを用いたローカル処理でも十分な作業も、現実には沢山ある(例えば製図)。両方のシステムの間で不都合が生じなければ、データベースの分散化は応答性、処理効率などに好ましい結果をもたらす。現実には2つのシステムは相互にデータの転送が可能である。その他、FEM用ブリ・ポストプロセッサがCADデータベースとリンクしている事などは自然な機能分散の一例と言えよう。全体として、コンピュータシステムが複雑であるとの印象を受けるが、ソフト的にもハード的にも分散化を進めた時の事例となろう。

### 参 考 文 献

- 1) W.M. Newman, R.F. Sproull, Principles of Interactive Computer Graphics, 1979, McGraw - Hill, Inc.
- 2) J. Encarnacao 編, Computer - Aided Design Modeling, Systems Engineering, CAD - Systems, 1980, Springer-Verlag
- 3) MTM CAD-CAM Presentation, Northrop, 1981, 4.22
- 4) Aaron Feder, Computer Graphics Creat the New Wave of Design, Astronautics & Aeronautics, 1979, 6
- 5) R. Waterbury 編, 3-D Graphics System Aids Design Production, Assembly Engineering, 1981, 5
- 6) 川口博, CAD/CAMの動向について, 第7回造船学会夏季講座「新しい造船学」, 1981, 9
- 7) 佐々木昭, 山田二郎, 図形処理システムの技術動向, ビジネス・コミュニケーション, 1981, 7
- 8) 服部幸英, 「やさしいCAD/CAM」, 図形と画像 Vol.1 No.1 - Vol.2 No.3, 1981連載

## 4. CAE実現のための課題

### 4.1 3Dソリッド・モデラー

#### 4.1.1 3Dソリッド・モデラーの事例

総論の図1-2においてすでに代表的な3Dソリッド・モデラーを示した。この他にも十指に余るモデラーの開発が進んでおり、商用システムとして販売されているものもいくつかある。図4.1-1に改めて現在出現しているソリッド・モデラーの一覧表を示す。この図にもられた調査項目の各々をすべてのモデラーについて調査したわけではないので、未定の項目には丸印を付していない。また、これらのモデラーの中には必ずしも3次元ではなく $2\frac{1}{2}$ 次元に近いものも含まれている。上記のモデラーのうち重要なものについてまず簡単に紹介し、モデリングのしくみを調べることにする。

##### 1) PADL<sup>1)</sup>

ロッチェスター大学の Voelcker を中心とする研究グループによって1974年以来開発が進められてきたシステムで、最も特徴的な点は直方体と円筒（その軸が座標軸に平行な場合のみ）の単純な二つのプリミティブの組合せ結合によってモデリングを行うことである。プリミティブのセット・オペレーション（集合演算）による形状定義は多くのモデラーにおいて利用されているが、PADLはこれを極端に単純化したので分り易く、アメリカ、ヨーロッパのいくつかの大学で教育用に使われている。

図4.1-2を見ればプリミティブの和、差、積によるモデリングの原理を容易に理解できるであろう。僅か二つのプリミティブでも図4.1-3のようにかなり複雑な形状の記述が可能である。ゼロックス社の調査によれば、全部品の60%が多少の近似を許容すればPADLによって記述可能で、もし機能を変えることなく形状変化を行えば75%までが記述可能になるといわれる。また、プリミティブの単純さ故に処理も容易であり、PDP11/34程度の計算機でも一応処理可能である。特に興味ある応用として寸法および寸法線の自動作成がある（図4.1-4）。これなどはプリミティブの単純化によってはじめて可能になる。

しかし、結局二つのプリミティブでは形状記述能力に限界があり、実用にはならないとして、新しくPADL-2として、任意方向に傾いた円筒、円錐、球を追加したシステムが開発され、昨年10月完成している。

図 4.1 - 1 3Dソリッドモデラー一覽

モデラー名	開発機関と代表者名	発表年	データ構造											
			CSG	B-Reps	多面体近似	B-Spline近似	直交処理(線形解)	カーブ/スプライン/リット	CAE 要素 メッシュ	マスプロシミュ	FEM	NC		
*TIPS-1	Hokkaido Uni. (OKINO)	1973 (70)	○	△			○		○	○	○	○	○	○
*BUILD	Cambridge Uni. (Braid)	1973	△	○			○		○	○	○	○	○	○
*SHAPES	MIT (D.L.) (Laning)	1973	○				○		○	○				
EUKLID	(Engeli)	1973							○					
*PADL-1	Rochester Uni. (Voelker)	1974	○	○			○		○	○				
GEOMED	Stanford Uni. (Baumgard)	1974		○	○			○						
GEOMAP	Tokyo Uni. (HOSAKA)	1974		○		○			○	?	?	?		
*EUCLID	Data Vision (Bernascon)	1975			○				○	○	?	?		
*COMPAC	Berlin Tech (Spur)	1976		○			○		○	○	○	○	○	
*GDP	IBM (Grossman)	1976		○	○				○	○	?	?	?	
REGENT GIPSY	KFK (Schuster)	1976							○	?	?	?		
CIMSDEC	Kobe Uni. (Iwata)	1976												
*GLIDE	Canegie-Mellon U. (Eastman)	1977			○				○	○				
PARENT	(Parent)	1977				○		○						○
OLYKON	Olympia Co.	1977												
*SYNTHAVISION	MAGI Co.	1977	○	○					○					
*ROMULUS	Shape Data Co.	1977								?	?	?		
*PROREN 2	Bochum Uni. (SEIFERT)	1978		○	○				○	?	?	?		
YESSIOS	(Yessios)	1978												
BORKIN	(Borkin)	1978												
*GMSOLID	GM (Boyse)	1978	○	○			○		○	○	○	○	○	○
*GEOMCD	SDRC	1979		○		○			○	○	○			
DESIGN	MDSI	1979							○					
*CATIA	Dassault	1980			○				○	?	?	?		
PADL-2	Rochester (Voelker)	1981	○	○			○		○	?	?	?		

\*印 有力なシステム (現実に動いていることが実証されているシステム)

○ 主にサポート

△ 副サポート

? 不明

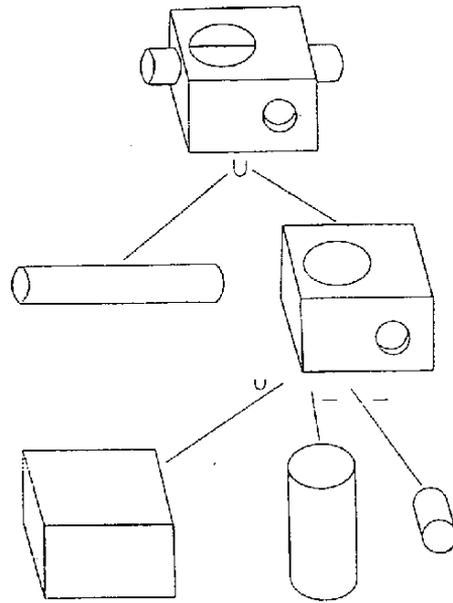


図 4.1 - 2 プリミティブによる形状定義の原理 (PADL)

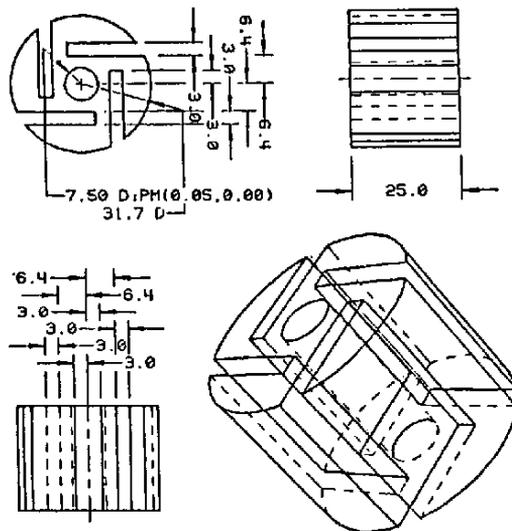


図 4.1 - 4 寸法の自動記入 (PADL)

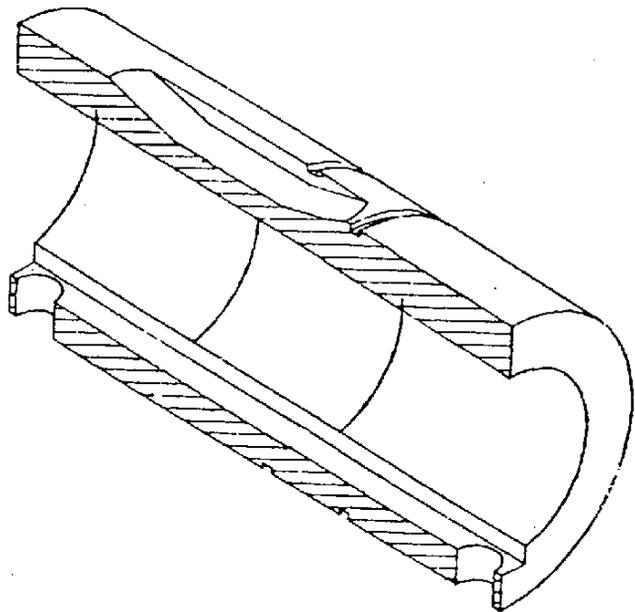
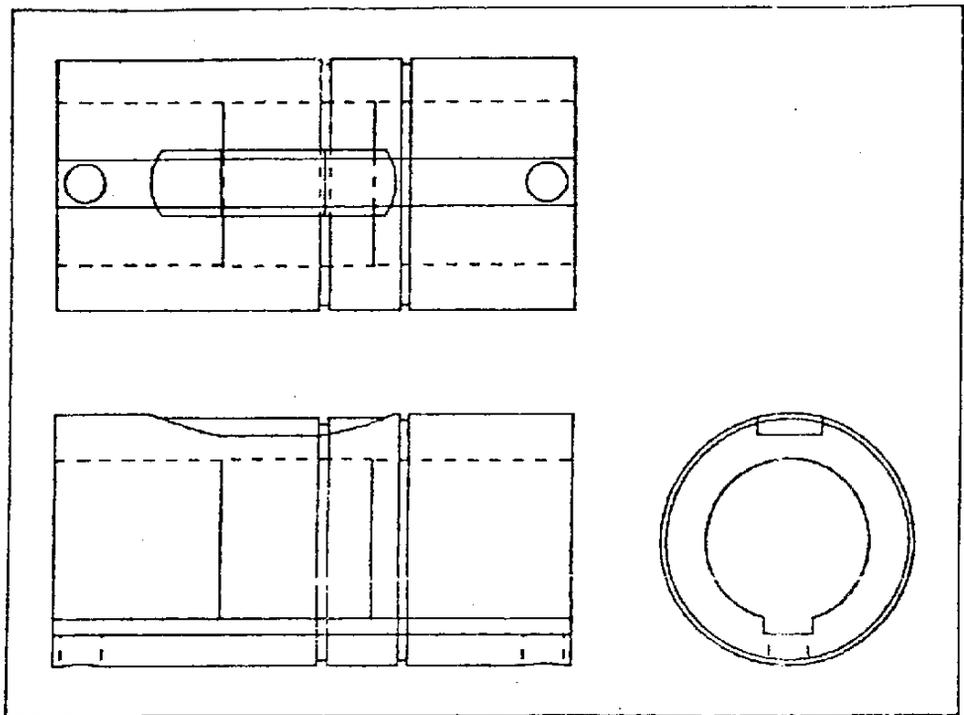


図 4.1 - 3 PADL-1 で定義できる形状例

## 2) BUILD<sup>2) 3)</sup>

ケンブリッジ大学のシステムで直方体、円筒、1/4円筒、三角柱、ウェッジおよびフィレットの6個のプリミティブを用いた初期のシステムは形成されたが、新しく作り直され、インタラクティブ入出力機能が強化された結果、面のトポロジカル・データ構造を直接扱うことが可能になり、スイープ、回転体、コーナー作成、鏡像、コーナーの丸めなどの機能が追加されている。データ構造は良くまとめられており、いわゆるウインド・エッジに基礎を置く。ALGOL68によって書かれたプログラムはコメントを除けば約4万ラインにおよび、IBM370/168程度の大型計算機で稼動する。

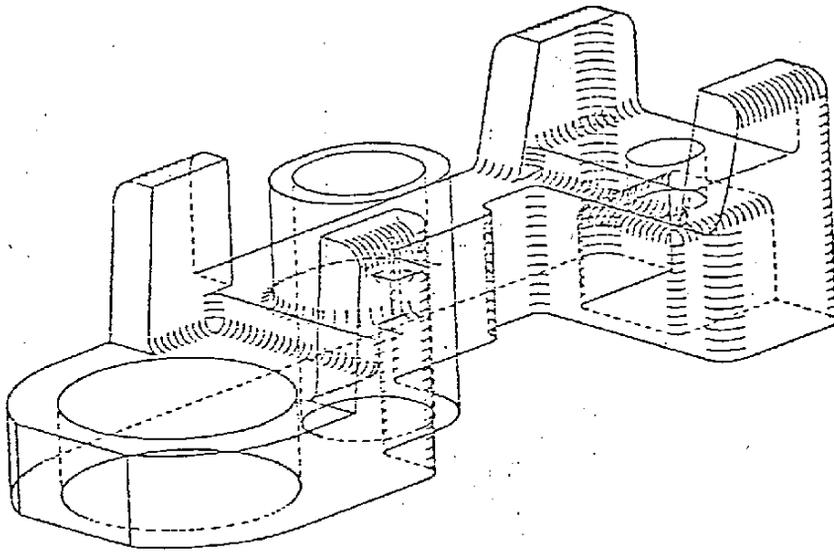


図 4.1-5 BUILDの図形出力例

図 4.1-5 に図形出力の一例を示す。

## 3) COMPAC<sup>4)</sup>

ベルリン工科大学、Spur 研究室の開発になるもので、BUILD、TIPS と同時に研究をスタートしている。

COMPACの特長は図 4.1-6 のように、二次元の輪かく断面を入力してこれを平行移動あるいは回転して三次元形状にする機能を持つことである。これはこのシステムがCAMからスタートしたという歴史的経過にもよるが、機械の製作図やAPT、EXAPTからの自然なGMシステムへの移行をはかるとともに、二次元、三次元の両者を共に扱えるシステムをねらったものである。図 4.1-7 に図形出力例を示す。

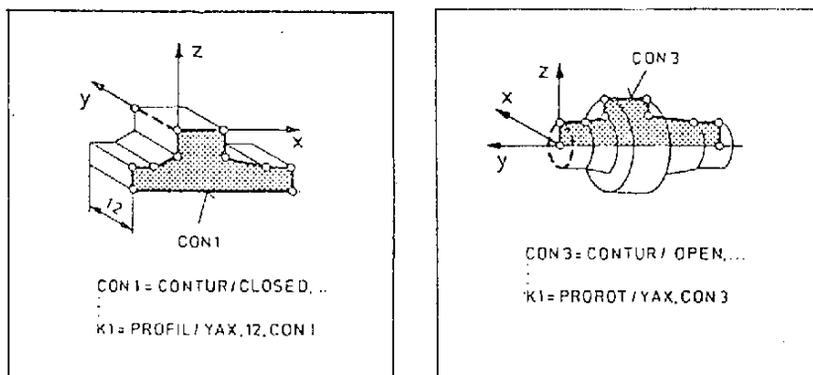


図 4.1 - 6 COMPACのプリミティブ構成法

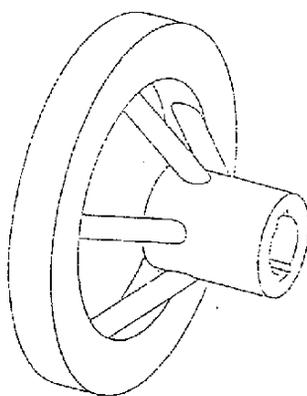
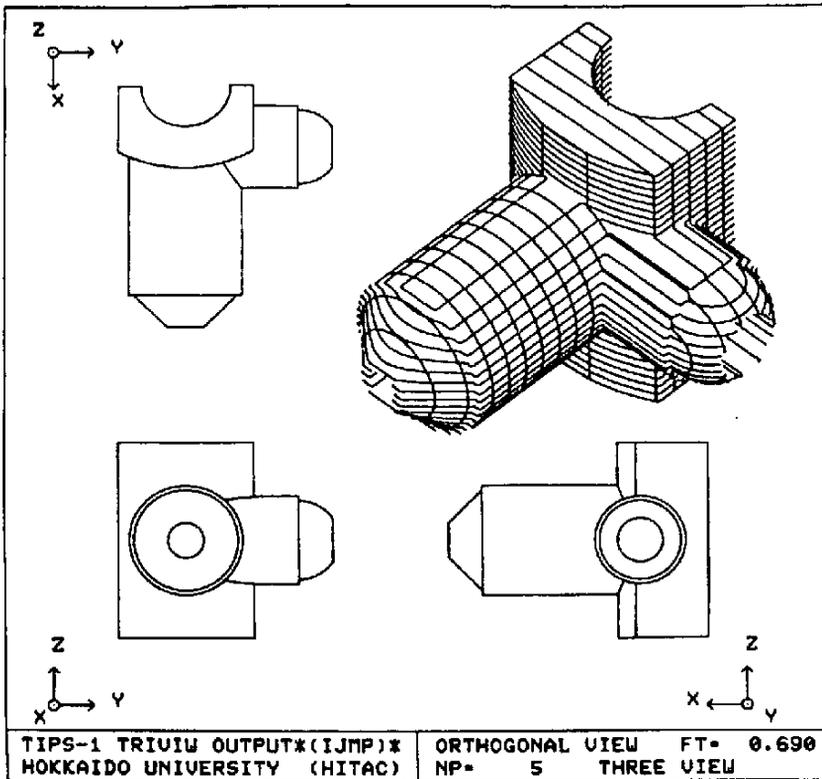


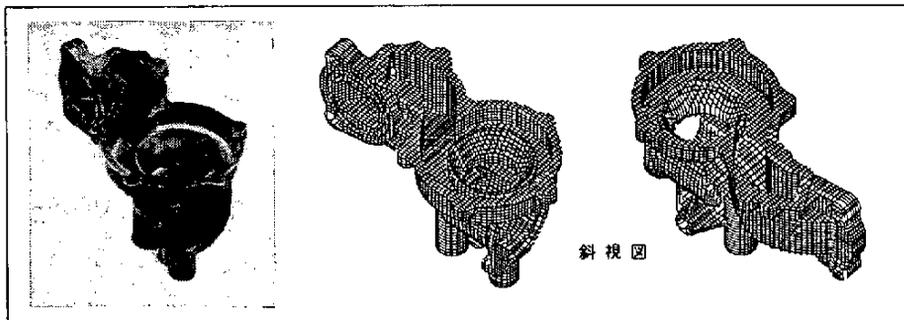
図 4.1 - 7 COMPACの図形出力例

4) TIPS-1<sup>5) 6)</sup>

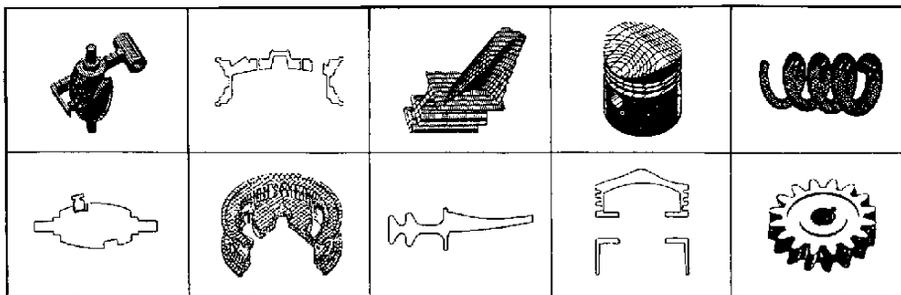
これは、当調査委員会の沖野委員長を中心に、北海道大学の研究グループによって開発されたシステムである。平面と二次曲面および自由曲面によって境界を区切られた半空間を直方体



三面図および斜視図(画面)出力例



フォルクスワーゲンのテストベース(左端写真)のモデリング例。



その他の例

図 4.1-8 TIPS-1 の図形出力例

領域によって切りとったフレキシブル・プリミティブを用いる形状定義法が特徴の一つである。記述の容易さと、形状定義能力の増大をねらったものである。形状定義能力が高ければ、反面、形状処理の困難を惹起する。そこでメッシュ法、ペナルティ法など他のシステムとは違った処理方式を用いている点も別の特徴である。図 4.1-8 に T.I.P.S-1 の図形出力の例を示す。

5) GDP<sup>7)</sup>

IBM社が開発中のもので別名 World Model とも呼んでいる。このシステムの特徴は形状の全曲面が多面体で近似される点にある。形状定義が近似になるので多少問題はあるが、形状処理に関しては、すべてが平面であるので単純な計算の繰り返しに帰着し、コンピュータ向きである。また、データ構造も簡明になる。

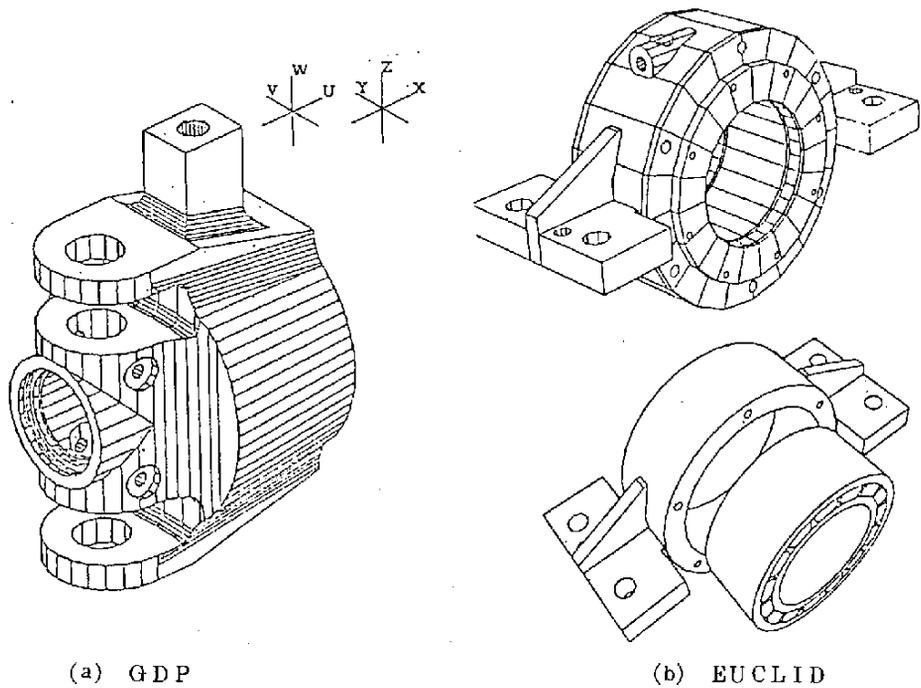


図 4.1-9 多面体モデルからの図形出力例

図 4.1-9 はこのシステムの図形出力例である。多面体近似を用いるシステムは多くあり、GLIDE,<sup>8)</sup> GEOMED,<sup>13)</sup> EUCLID<sup>14)</sup>(図 4.9 の(b)に出力例を示す), PARENT,<sup>15)</sup> YESS

IOS,<sup>10)</sup> 3 DFORM<sup>16)</sup>などがある。

この他、濃淡のついた画面を出力するSYNTHAVISION,<sup>17)</sup> BUILDの商用版であるROMULUS,<sup>11)</sup> 処理の高速性をうたうPROREN<sup>12)</sup>などがある。

ここで形状モデルの内部構造に触れよう。

Voelker はソリッド・モデルのデータ構造を二つに分けて、CSG(Constructive Solid Geometry)とB-Reps (Boundary Representation)と呼んだ。

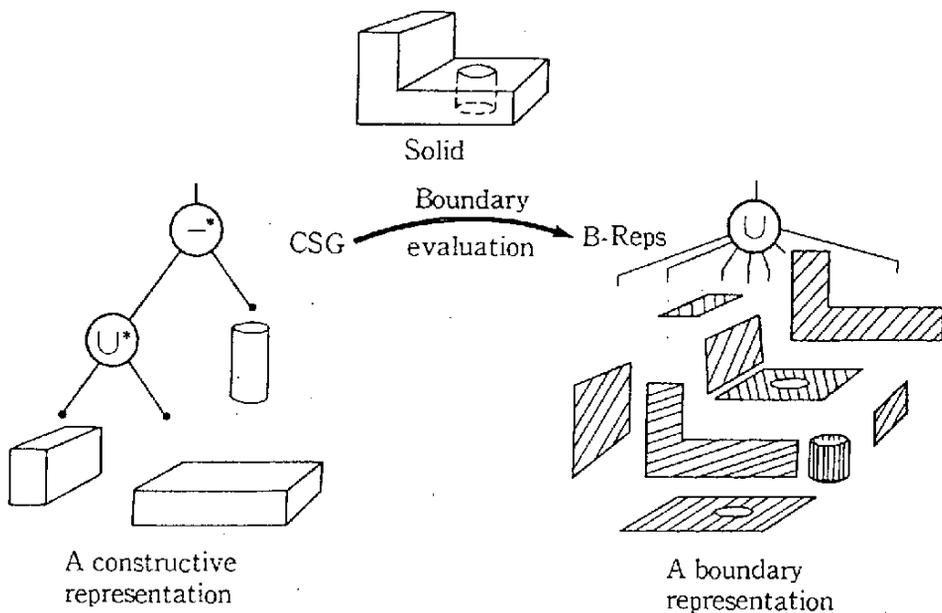


図 4.1 - 10 PADLのCSGとB-Reps

図 4.1 - 10 は二つの表現を図によって説明したものである。上記の各モデラーはその内部データ構造として、二つの構造のうちのいずれか一つ、または両者を共に持つ。

CSGはソリッド・モデルのセット・オペレーション(集合演算)による定義法を基礎にして構成される。すなわち形状Sを集合と見なすとき、これをいくつかのプリミティブの和、積、差によって組み合わせ構成することをすでに述べたが、セット・オペレータの適用に際しての制約によってトリー構造と二層構造の二種に分れる。

(1) トリー構造：図 4.1 - 10 の例がこれに当る。プリミティブの結合順序をトリーとして構成

するもので、図 4.1 - 11 の場合、 $P - P - P \dots$  で示される幹に  $P$  ,  $P$  ,  $P$  などの枝がついている。幹の先の方 (図では下の方) から順次枝を付加しながら、次第に形状を組みあげていくわけで対話的入力方式に適合した構造である。図の場合を式にすると

$$S = P_{12} \cup ((-P_{22}) \cup (P_{321} \cap P_{322})) \cup (-P_{42}) \cup (\dots)$$

括弧によって式に処理順序がもたらされている。PADL, SHAPES, SYNTHESISIONなどがこれを用いている。

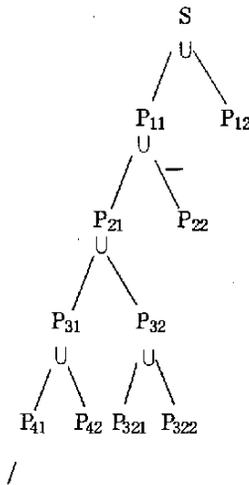


図 4.1 - 11 CSG のトリート構造

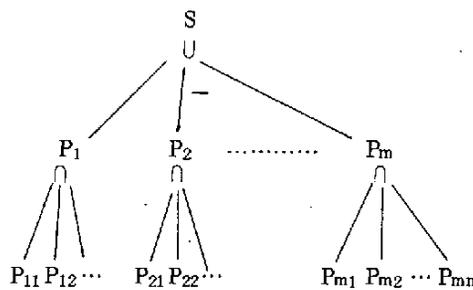


図 4.1 - 12 CSG の 2 層構造

(2) 二層構造：これはTIPS-1で採用した構造で、図4.1-12に示すような和集合オペレータによる結合と積集合オペレータするワイヤーを一順するように連結してデータ構造とする。ワイヤーの定義に方向性を持たせることによって、ワイヤーのいずれの側に面が存在するかを与えることができる。サーフェス・モデルとワイヤー・モデルの違い、それはデータを構造化するかしないかの違いである。

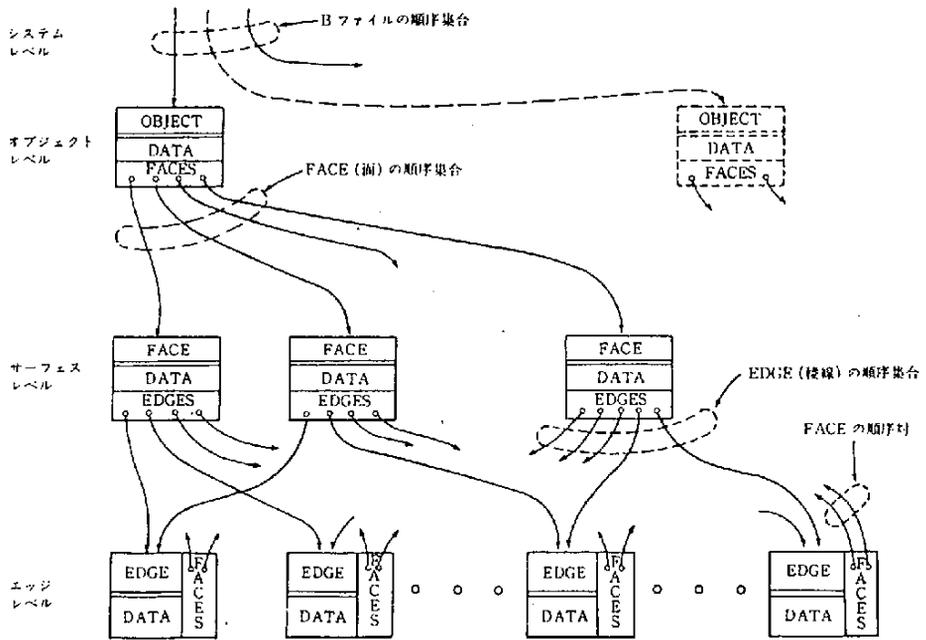


図 4.1-13 B-Reps の構造 (PADL)

同じことはソリッド・モデルとサーフェス・モデルの間にもいえる。サーフェス・モデルでは面は独立して定義できるが、ソリッド・モデルでは各面が構造化されることが必要で全体としては閉じた空間が定義されなければならない。

サーフェス・モデルでも三次元図形処理を陰線処理も含めて、ほとんど実行できるが、CAD/CAMへの応用はソリッド・モデルでなければ十分とはいえない。そしてそのためには、何倍も複雑なデータ構造と処理の困難に打ち勝たねばならないのである。

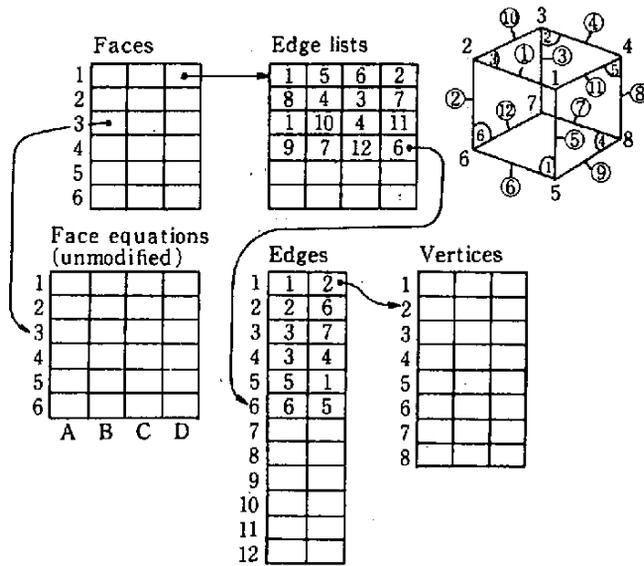


図 4.1 - 14 BUILDのデータ構造

#### 4.1.2 ソリッド・モデラーによるCAEへのアプローチ

すでに総論で述べたようにソリッド・モデラーは狭義CAEにおいて中心的役割を果たす技術である。

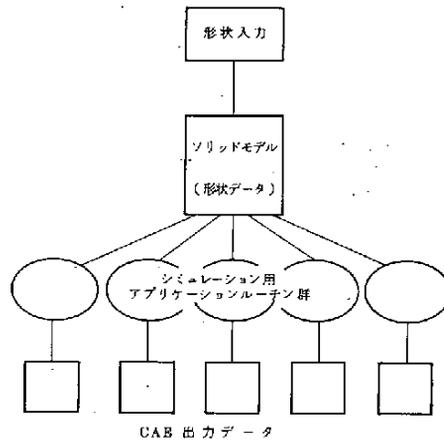


図 4.1 - 15 3DソリッドモデリングシステムによるCAEの構成

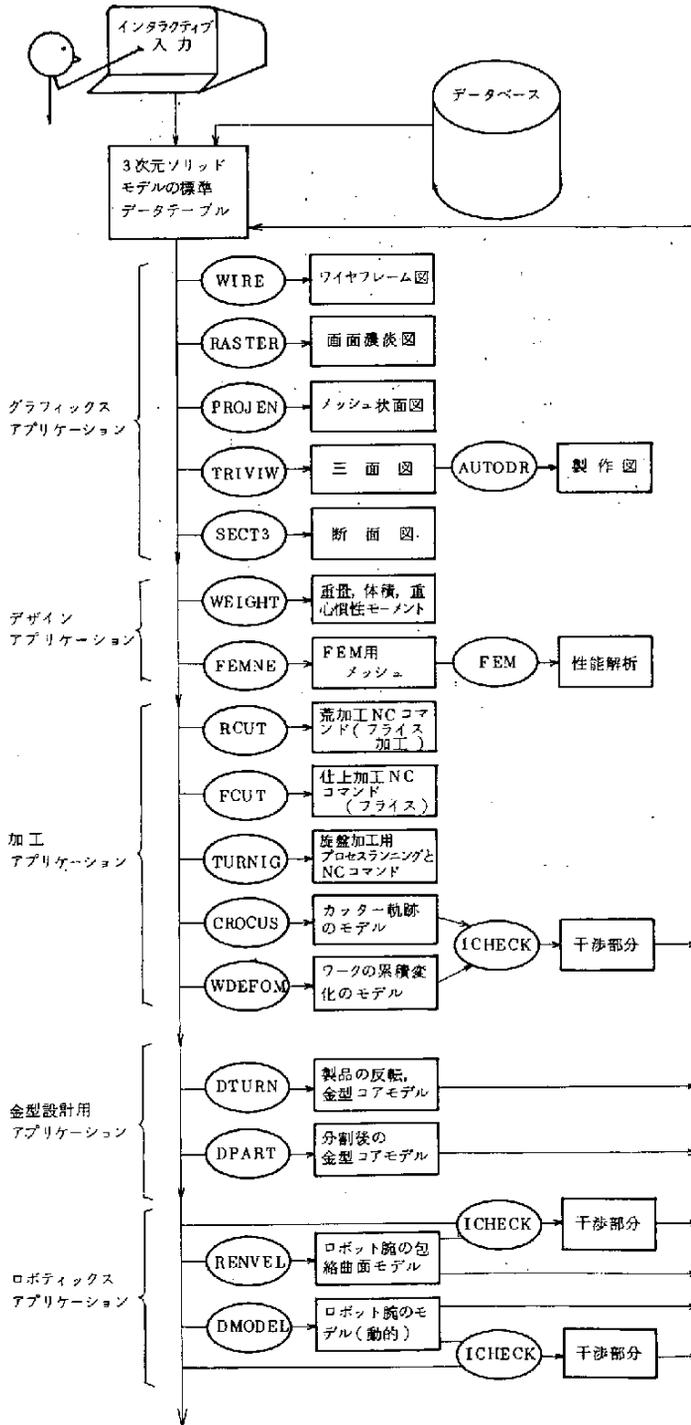
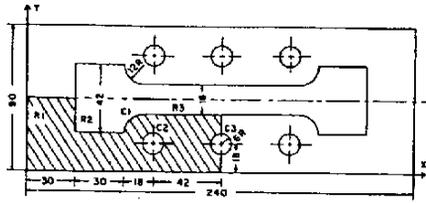
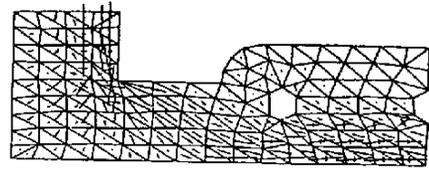


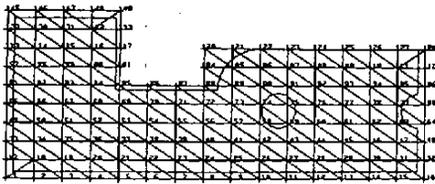
図 4.1-16 TIPS-1 のアプリケーション・ソフトウェア



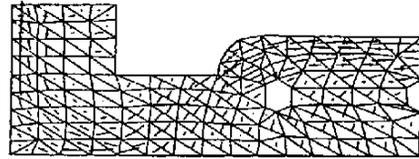
(1) 被シミュレーション対象モールドダイの断面



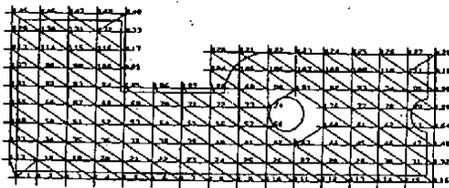
(6) 主引張応力の分布



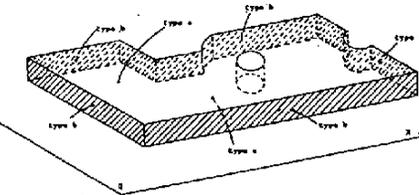
(2) オートメッシングプロセス 1



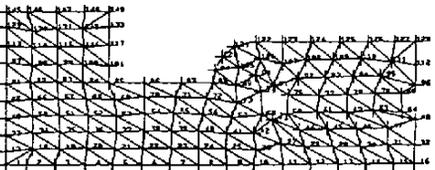
(7) 主圧縮応力の分布



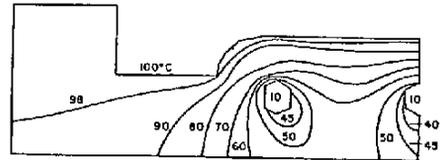
(3) オートメッシングプロセス 2



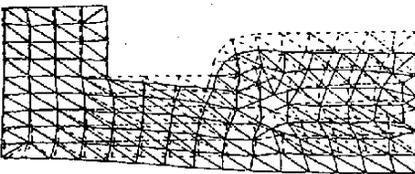
(8) 放熱条件の設定



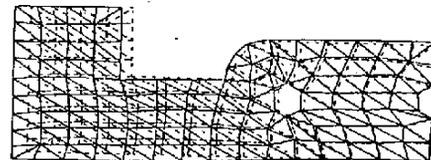
(4) オートメッシングプロセス 3



(9) 温度分布



(5) 内圧によるダイの変形



(10) 熱膨脹による変形

図 4.1-17 金型設計のためのシミュレーション (Cornell 大学, TIPS-1 利用)

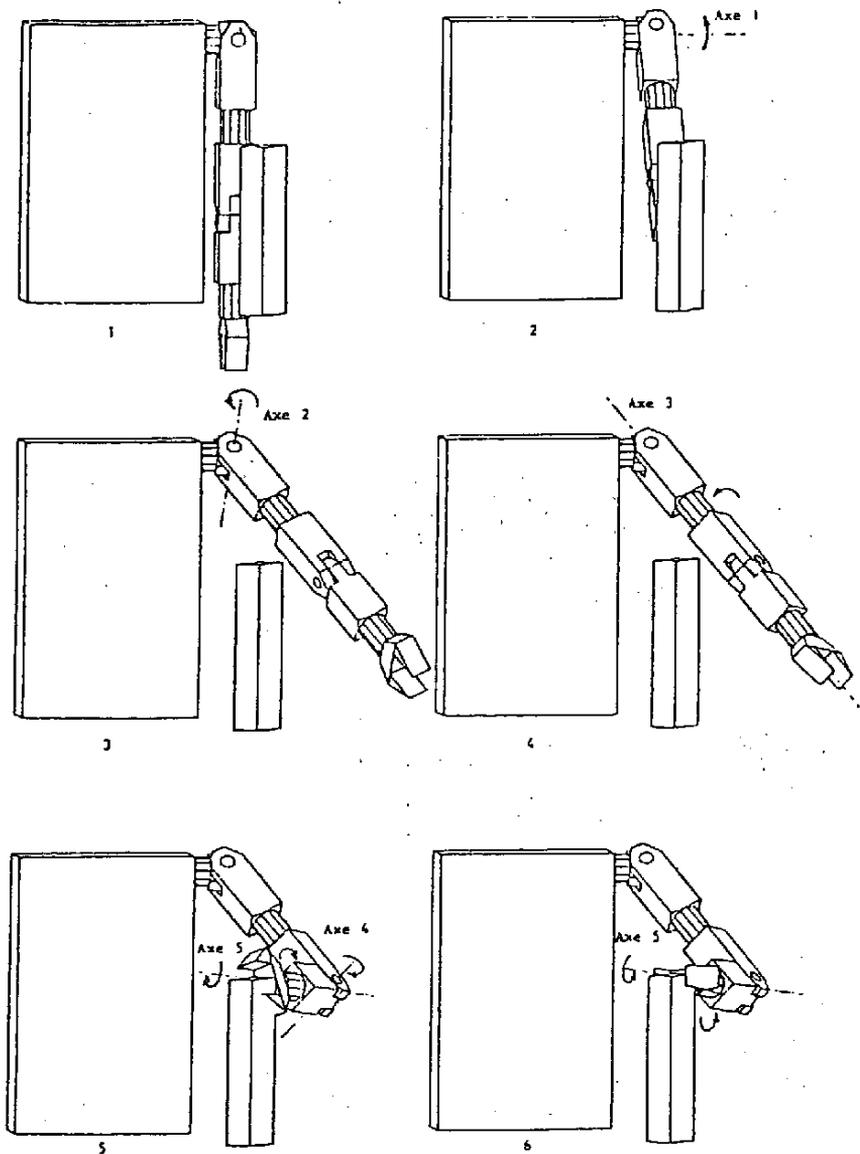


図 4.1-18 ロボットの腕の運動シミュレーション ( EUCLID )

その実際のプロセスは図 4.1 - 15 (図1-4の再掲)のように3次元のソリッド形状のすべての情報をコンピュータに入力し、これをアプリケーション・ルーチン群によって加工して、必要な情報を抽出し、ディスプレイ上に3面図、透視図あるいは面画などを出しながら、拡大、縮小、回転、平行移動を行ったり、適当な位置で断面を切ったり、展開図を得たりの図形処理のほかに、有限要素法を適用しての応力、歪計算、温度分布、熱膨張計算、流速分布、圧力分布などの計算、表面積、体積、重心、重量、慣性モーメント、断面2次モーメントなどの積分計算、プロセス・プランニングやNCテープの作成、作られたNCテープの検証、さらには金型設計と加工、組み立てやロボティクスへの応用などをシステムに付加することによって、CAEアプローチの最初の段階が完成する。図 4.1 - 16 は T I P S - 1 において計画されているアプリケーション・ルーチン群である。図 4.1 - 17 は Cornell 大学の Injection Molding Project の実施例であり、金型の圧力による変形、応力、温度による膨張をシミュレーションする際に用いられた T I P S - 1 モデラーの一連のプロセスを示す。図 4.1 - 18 は E U C L I D を用いたロボットの腕のシミュレーションの状態である。各モデラーとも同じ方向で開発が進められており、3DソリッドモデラーでのみCAEアプローチが可能であることについては大方の意見が一致している。

#### 参考文献

- 1) H. Voelcker, H. Requicha, et. al., The Padi-1 012, system for defining and displaying solid objects, ACM Comput. Gr., 12, 3, 1978, p. 257.
- 2) I.C. Braid, C.A. Lang : Computer-Aided Design of Mechanical Components with Volume Building Bricks Proc. of Prolamat 73, 1973.
- 3) I.C. Braid, R.C. Hollyard : Stopwise Construction of Polyhedra in Geometric Modelling, CAD Group Document No. 100, Univ. Cambridge, 1978.
- 4) G. Spur, F. Krauze : Status and Further Development of the Geometric Modeling Project Mtg., CAM-1, St. Louis, March 1978.
- 5) N. Okino, Y. Kakazu, H. Kubo : TIPS-1: Technical Information Processing System for Computer-Aided Design, Drawing and Manufacturing, Proc. of Prolamat '73, 19783.
- 6) N. Okino, et.al. : TIPS-1, Institute of Precisions Engg. Hokkaido Univ. 1978.
- 7) D. Grossman : Procedural Representation of Three-dimensional Objects, IBM J. Res. Dev. 20, 1976, p. 582.
- 8) C. Eastman, M. Henrion, Glide : A Language for Design Information Systems, ACM Compt. Gr. 11, 2, 1977, p. 24.

- 9) M. Hosaka, F. Kimura : An interactive geometrical design system with handwritting input, Information Processing '77, B. Gilchrist (Ed.), North-Holland, 1977, p. 167.
- 10) C.I. Yessios: A notation and system for 3-D constructions, Proc. 15th Design Automation Conf., 1978, p. 125.
- 11) Romulus User's Guide, Shape data ltd.
- 12) H. Seifert et. al. : Different Ways to Design Three-dimensional Representations of Engineering Parts with Proren 2, Proc. Conf. Interactive Techniques in Computer-Aided Design. 1978, p. 335.
- 13) B.G. Baumgart : Geometric modelling for computer vision, Rep. STAN-CS-74-463, Stanford Artificial Intelligence Lab., Stanford Univ. 1974.
- 14) Y.J. Bernascon et. al. : Automated aids for the design of mechanical parts, Tech. Paper MS 75-508, SME, 1975.
- 15) R.E. Parent, A. System for Sculpting 3D data, ACM Comput, Gr. 11, 2, 1977 p. 138.
- 16) T.C. Woo et. al. : A feature oriented design modification system, Proc. 1st Ann. Conf. Computer Graphics in CAD/CAM Systems, Cambridge, Mass., April 1979.
- 17) R.A. Goldsteins et. al. : 3D modelling with the Synthavision system, Cambridge, Mass., April 1979.

## 4.2 エンジニアリング・データベース

設計・製造分野にコンピュータが応用され始めて以来、それらは各個別の業務の自動化として進められてきた。この結果、各個別のCAD、CAMシステムが出来てしまい、それらが使用するデータ、ファイルの間には互換性が無い状態になっている。しかし、CAD/CAM化の本来の目的であるトータルな設計効率向上、また設計品質向上にとっては、これは極めて不都合な状態である。

これを解決するためには、データの管理を個々のアプリケーション・プログラムから独立させる、すなわちデータベース管理システム(DBMS)を利用することが必要と考えられている。ビジネス分野においては、同じような必要から多くのデータベース管理システムを利用したデータベース・システムが使用されてきている。このことによる利点は：

- (i) 大部分のソフトウェアに影響を与えずにデータないしはデータ間の関係を追加できること
- (ii) データ・アクセスを個々のアプリケーション・プログラムから分離できること
- (iii) データ間に複雑な関係を容易につけられること
- (iv) リカバー機能のあること
- (v) 同時実行制御がされていること

等である<sup>1)</sup>。これらの利点はエンジニアリング分野にとっても有用であるが、現在利用可能な商用のデータベース管理システムをそのまま使用しようとするとは、

- (i) 処理速度が遅い
- (ii) 使い難い(熟練を要する)
- (iii) DBMSの利点といっても、現実には十分自動的に解決できているわけではない。
- (iv) 使用に際して細かい約束事を守らねばならない。
- (v) 新たな組織を必要とする。

等の問題が生じる。表4.2-1にビジネス用のデータベースとエンジニアリング用のデータベースの性格の違いを示す。

また、C. M. Eastman<sup>2)</sup>によれば、既存のデータベース管理システムの欠点として

- (i) データベースの静的構造
- (ii) アクセススピード
- (iii) インテグリティ管理ツール不足
- (iv) 複数のオルタナティブの存在不可能

が指摘されている。

現在本格的なエンジニアリング・データベース、特に幾何モデルのみでなく各種の技術情報をも統一的に扱う実用システムは未だ存在していない。以下いくつかの試みの事例を紹介する。

表4.2-1 エンジニアリング用DBとビジネス用DBの比較<sup>1)</sup>

特 性	エ ン ジ ニ ア リ ン グ	ビ ジ ネ ス
典型的応用例	コンピュータ設計 大規模建造物設計 航空機設計	MIS, 図書館カタログ 予約システム, インベントリ
アプリケーションの傾向	大プログラム ランダムなデータアクセス/更新 主記憶内での複雑なモデル利用	小プログラム シーケンシャルデータアクセス
プログラミング言語	従来: FORTRAN, アセンブラ 最近: ALGOL, C, PASCAL PL/1, SIMULA	COBOL, PL/1
データの利用	検証, 修正設計, 詳細設計データ作成	現状の管理
一般的データベース構造	多数のレコードタイプ 複雑な関係	少数のレコードタイプ 簡単な関係

表 4.2-1 エンジニアリング用DBとビジネス用DBの比較(続き)

特 性	エ ン ジ ニ ア リ ン グ	ビ ジ ネ ス
データ内容	入力および計算されたもの (仮定, 設計をモデル化)	入力のみ (現実世界をモデル化)
データベース の大きさ	項目毎に, 初期入力, 修正, 消去のフ ェーズに分離される。	一定または漸増
更 新	頻度中, 局部的データの大部分に影響 時間大	頻度大, 少量のデータに影響 時間少
検 索	ローカルな範囲	グローバルな範囲
コンカレンシー	部分的使用, 矛盾小	広く使用, 矛盾大
データライブラリー の共通使用	可	不 可
アクティビティ のタイプ	時とともに変化 (設計/製作サイクル)	本質的には一定
データの ビューの変更	同一エントリーに対しても 個別設計活動に対応する異なる特性 (複数モデル)	プライバシー保護サポートを必 要とする。 (単一モデル)

#### 4.2.1 PHIDAS (事例1)<sup>3)</sup>

PHIDASはPHILIPS社で開発された統合CAD/CAMシステムPHILIKONの中で使用されている, アプリケーション・プログラムから独立したDBMSである。PHILIKONでは, このPHIDASを用いて, 機械部品の幾何形状が表現されていて, 部品の詳細図作成, ツール設計, NCテープ作成を共通のデータベースによって行える。すなわちある形状データ出力が他の入力にそのまま使用できる。DBMSを用いたことで, アプリケーション・プログラムがデータ構造等の変更に対して影響を受けないで済むようになっている。

幾何形状の入力は, 対話型グラフィックス(CDC1700 VISIGRAPHIC)の上で, 設計者が, デザイン・アルゴリズム, 図形要素ライブラリの助けをかりながら行う。詳細設計と同時に部品の形状データがデータベース中に蓄積されてゆき, 完成部品のデータはデータベース中の部品 archives に登録される。archives に対しての更新は一定の制限がつけられる。部品記述データはまたツール設計時の入力データとして使用される。ツール設計では①データベース中のツール・マクロ・ライブラリ中の標準ツール部品と②形状から自動生成されるカッターパスを考慮する際のデザイン・ルールが利用できる。ツール記述は, ツール部品, リストも含めてツール・アルキーフの中に登録されている。データベースの中の部品とツールのデータはNC言語で再記

述する必要はなく、NCプログラミングにそのまま利用可能である。

PHILIKONシステムの概要を図4.2-1に示す。また同システムで用いられている幾何モデルを図4.2-2に示す。(図中の○は関係レコード・タイプを示す)

PHILIKONとPHIDASとのインタフェースはCODASYL-FORTRAN-DMLCで討議されたデータ操作言語DMLCのアプリケーション独立なFORTRANサブルーチンサブセットになっている。PHIDASのアーキテクチャーを図4.4-3に示す。

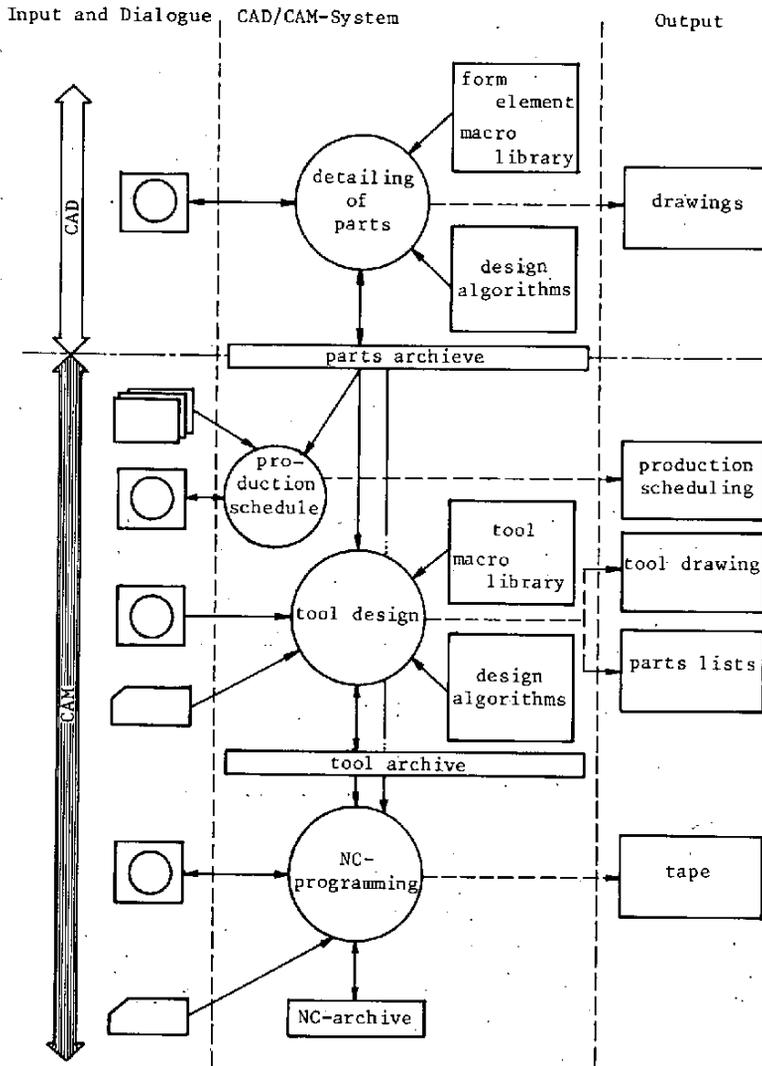


図 4.2-1 PHILIKONシステム<sup>3)</sup>

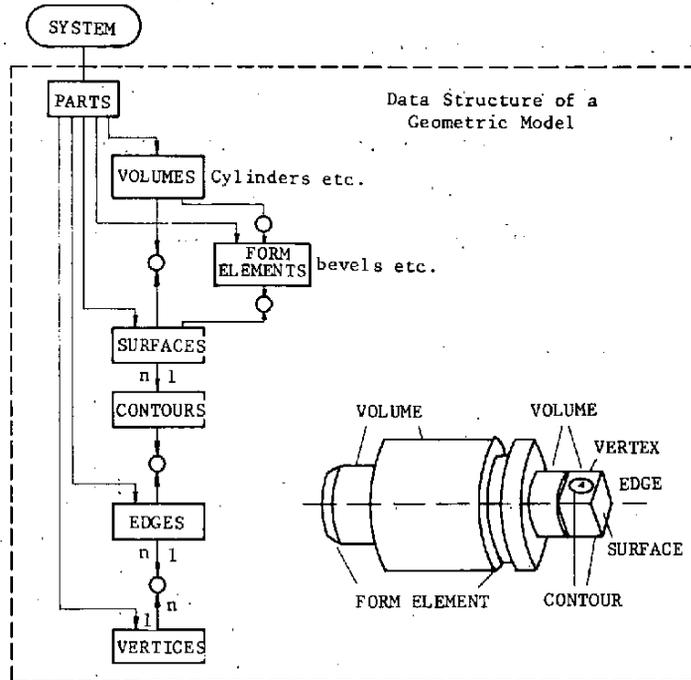


図 4.2 - 2 PHILIKONで用いられる幾何モデルのスキーマ<sup>3)</sup>

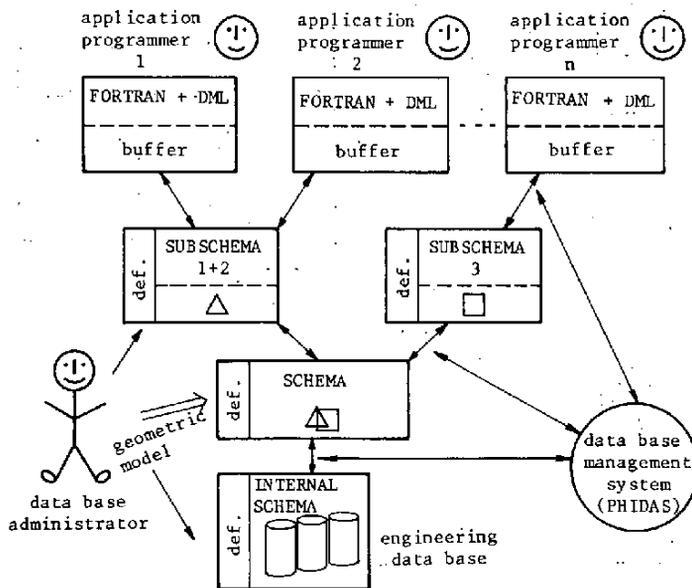


図 4.2 - 3 PHIDASのアーキテクチャ<sup>3)</sup>

#### 4.2.2 GLIDE (事例2)<sup>2)4)</sup>

GLIDE (Graphical Language for Interactive Design) はカーネギー・メロン大で開発された。エンジニアリング・データベース向けのインタプリティブ言語で、GLIDE1と1978年に改良されたGLIDE2がある。

GLIDE1はALGOL-likeな言語で属性を動的に追加することができる。PDP-10の上で開発されており、建築設計と化学プラント設計に応用されている。GLIDE1自身は特定アプリケーション向けのプログラムは持たず、データベース環境のもとでの対象物モデル化能力のある汎用言語として位置づけられる。特徴を以下に記述する。

- (i) 対象クラスの属性のスキーマ定義と同時に初期デフォルト値も定義することで、以後の指定を値の異なる部分だけで済むようにしている。
- (ii) コマンド言語でユーザーが自分の業務向けにプログラムを自由に組める。
- (iii) 3次元図形として多面体を扱う。図4.2-4にGLIDEにおける対象物定義の階層を示す。
- (iv) パラメトリック形状を扱える。
- (v) 複数対象を単一のエンティティとして扱える。
- (vi) 空間内のある位置に存在している対象物を検索できる。

GLIDE2はGLIDE1での経験を活かして、PASCALの拡張として作り直されたものである。改良点は、データベースを複数ユーザーが使用する際の管理の容易化として①変数名の管理②スキーマ拡張③インテグリティ管理である。その他、設計時にオルタナティブの存在を許すような処理方式として、更新データを時系列的に記録するチェック・ポイント・ファイルをユーザーに提供することを行っている。

#### 4.2.3 DICAD (事例3)<sup>5)</sup>

DICAD (Data Bank-Oriented Integrated CAD System) はカールスルーエ大で開発されたミニコン (PDP11) 上のデータベース指向CADシステムである。このシステムは、同一のコンピュータ上にある複数のCADシステム (ソフトウェア) を1つのデータベースを通じて結合するものである。図4.2-5にその構成を示す。図中のオペレーション・モジュール (OP) は例えば、形状入力、部品結合操作、グラフィック出力、解析計算等のプログラム・パッケージである。

このシステムにおける論理データ構造のスキーマを図4.2-6に示す。なお図中で、  
volume element: 例) 円筒, 円錐, 直角柱...

technical element : 例) 凹部, ねじ山, ...  
 macro element : 例) 歯車, ねじ込みスピンドル・ノーズ, ...  
 dimensioning : 寸法と公差  
 technology data : 面, 基本ユニットに関する記述  
 edge (2 D), point (2 D) : 基本ユニットの2次元図面用  
 object administration : 部分構造, 3 D-構造の管理用  
 である。

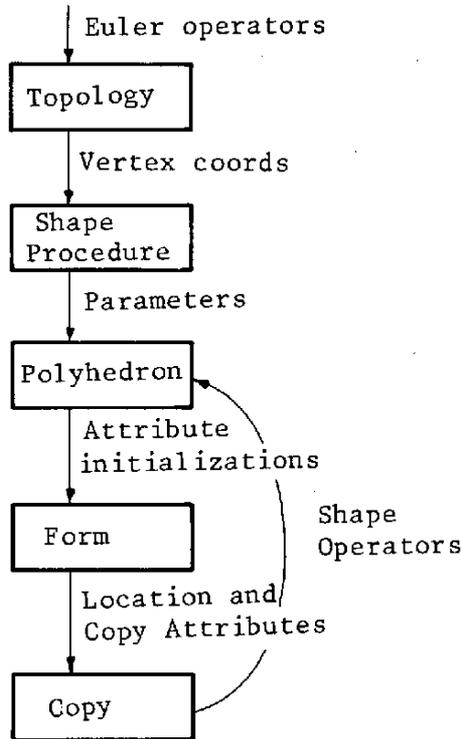


図 4.2-4 GLIDEにおける形状定義の階層<sup>4)</sup>

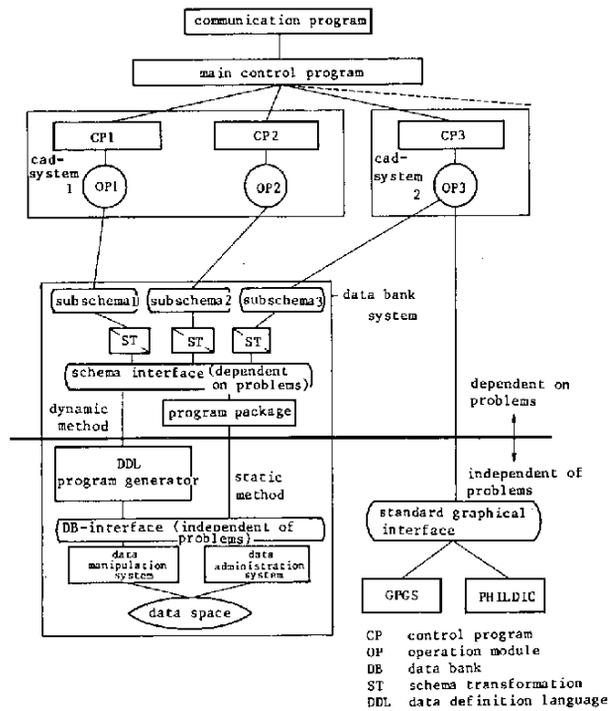


図 4.2 - 5 DICAD<sup>5)</sup>

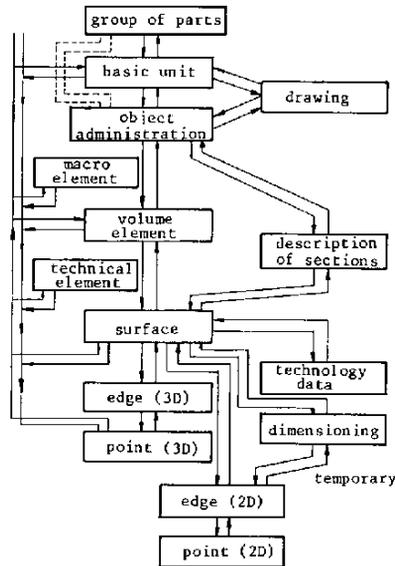


図 4.2 - 6 論理データ構造のスキーマ<sup>5)</sup>

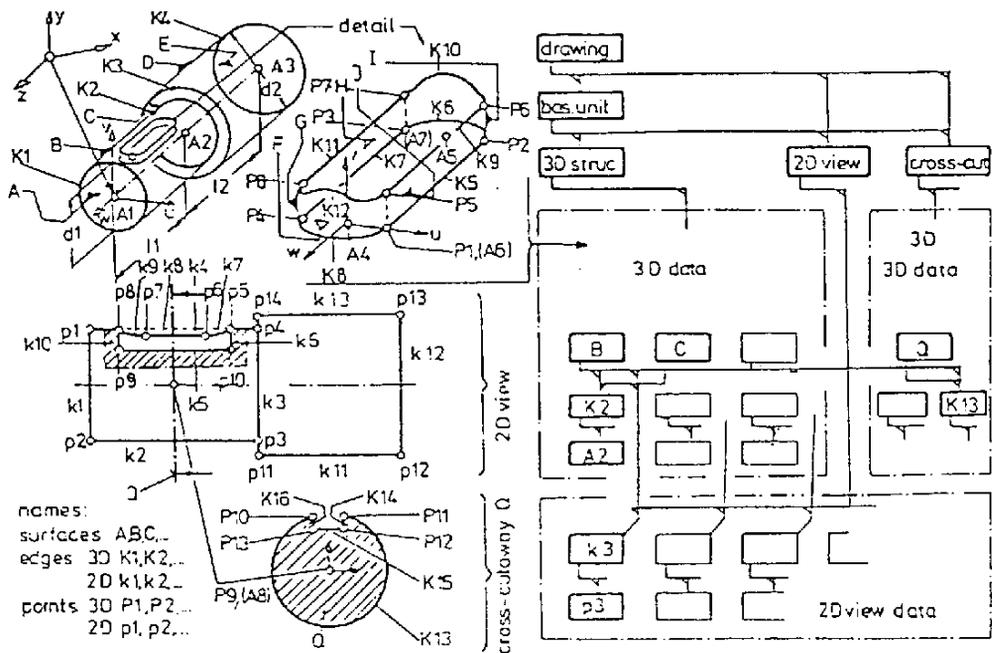


図 4.2-7 部分構造との結合とデータ構造の概略<sup>5)</sup>

#### 4.2.4 TORNADO (事例4)<sup>22)</sup>

TORNADOはノルウェーのCentral Institute for Industrial Researchで開発されたCAD/CAMシステム(幾何モデル)用のDBMSである。最初のバージョンは、船舶用CADシステムAUTOKONの新版であるINTERACTIVE AUTOKON用に1978年に開発された。第2バージョンは北欧CADプロジェクトGPN(Geometric Product Models)向けに1980年に開発された。

このシステムはネットワーク型のデータ構造向けのもので、標準FORTRAN 4で書かれたサブルーチン群(12 K step)である。最初は16ビットのコンピュータNORD10の上で開発され、現在はPRIME, DEC VAX, CDC CYBER, IBM 3033の上で稼動しており、高い移植性を持つ。

このDBMSの特徴はデータ構造の取扱い機能が高いことで、CODASYLより汎用性が高い。各特徴を次に示す。

- 可変長
- 動的レングス・テーブル・レコード
- 整数, 実数, 文字, 倍精度, 倍長整数, 複素数, 論理値の7タイプ
- 文字列によるアクセス
- アプリケーション・プログラム簡単化のためのカレンシー
- オブジェクト・クラスとセットタイプの組合せに制限がない。
- 複合オブジェクト・クラスを直接扱える。
- 多対多関係を直接扱える。
- トリー構造トレースのための特別機能
- 使い易いデータ記述言語
- 一貫性: どのようなコールの組合せに対してもデータベースの一貫性は保たれる
- 単一ユーザー(複数ユーザー向けバージョンは今後の開発)

図4.2-8にTORNADOで扱われた幾何モデルの例, 図4.2-9にシステム構成を示す。

このTORNADOと、他にVERBAL等(同所で開発された意味モデル向データ操作言語)を利用して、プロダクト・モデル・データベースすなわち製品の構成, 幾何, 設計論理/ルール, 設計/製品標準, 設計歴等も含んだデータベースの実験システムを、水タービン設計を事例に、1983年に終了する計画である。図4.2-10にその水タービンのCADプロセス概略を示す。



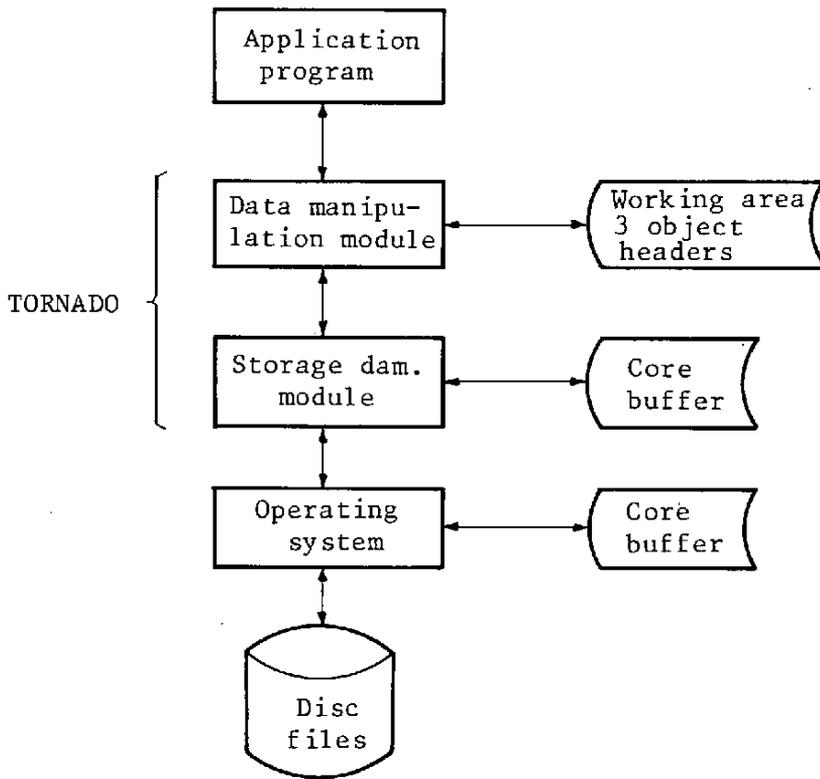


図 4.2 - 9 TORNADOの構成<sup>22)</sup>

#### 4.2.5 エンジニアリング・データベースの課題と今後の方向

エンジニアリング・データベースは事例でも見るとおり、現状では実験的段階に止まっている。特に幾何形状以外の関連技術データをデータベース中に組み込むことは、たとえそれが可能であると称していても、現実には行われていない。CAD/CAMあるいはCAE用のデータベースの課題については多くの指摘がなされているが、ここでは、1981年9月に西独ゼーハイムで開かれたIFIP W. G. 5.2のCADデータベース・コンファレンスでの討議を紹介する。同会議は参加20ヶ国約50名、発表論文は16件であった。

##### (1) CAD、幾何モデル用データモデル・セッション

Eberlein, Wedekind (エルランゲン-ニュールンベルグ大)は①技術設計方法論の欠如②

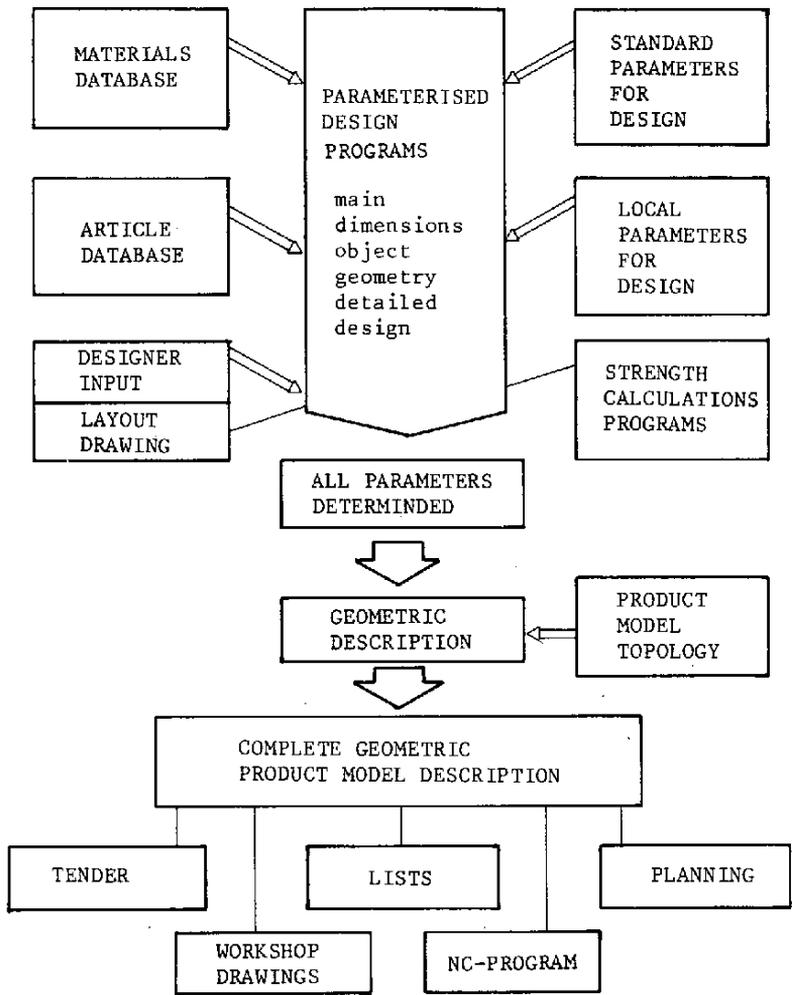


図 4.2-10 プロダクト・データベースを用いた CAD プロセスの例<sup>11)</sup>

技術的対象物の表現が不完全③不適切なマンマシンインタラクション方式④システム全体構成に現在の課題があると論じ、設計プロセスのモデルを提案している。また設計データベースに対して、意味データモデル、概念スキーマおよび意味的インテグリティが重要であることを指摘している。

Eastman, Lafue (カーネギーメロン大)は設計データベースにおける意味的インテグリティの問題を、その3要素である。①インテグリティ制約の表現②インテグリティ制約のチェック③そのメンテナンスについて各々論じ、インテグリティ・トランザクションの記述法を提案している。

Dokken, Lillehagenは船舶設計システムにおけるデータベースの考え方を論じ、VERBAL(意味モデル向)、TORNADO(幾何モデル向)関係データモデルを提案している。

木村(東大)、穂坂(電機大)等はCAD/CAMシステムにおけるデータベースの対象情報構造を論じ、幾何モデルGEOMAP-IIをコアにして、CAD/CAMアプリケーションとデータベース・モジュール(ADABAS)を配したシステムを提案している。

Eigner, Grabowski(カールスルーエ工大)は概念スキーマをインタフェースとする意味モデルを用いたCADデータベース・アーキテクチャを提案している。これはまたコンピュータからは独立した記述で、設計者が自らの仕事を行うに必要なデータを扱えるようなCADデータモデルを目指すものである。

## (2) 幾何モデル、CAD用データベース・セッション

Dewhirst等(シュランベルジャー社)は開発中のCAD/CAMシステムCOMCADについて発表している。

Dewhirst等(フラウンホーファー研究所)は3次元幾何モデルCOMPACにおけるデータベース、ユーザー・インタフェースを紹介し、またソリッド・モデルにとってvolumeとsurfaceの併用の有効性を論じている。

Lorie(IBM)はリレーショナル・データベース"System R"を電子回路設計に使用した経験を報告している。リレーショナル・データベースをエンジニアリングに利用する際のいくつかの欠点を指摘し、階層化の考え方をデータモデルに取入れること等の改良を提案している。

Baron等(ダルムシュタット工大)はビジネス用のデータベースとグラフィックス用のデータベースの相異を論じ、グラフィックス処理の高速性を保つためにtime-critical data structure, time-critical referenceの概念の導入を提案している。

## (3) CADデータベースにおける製作問題・セッション

Challis(CADセンター)は、現実の自然な関係を従来のデータベース管理システムでは

十分モデル化できないことを論じ、その欠点を除く2つのアプローチを提案している。

真名垣 (NEC) は CAD / CAM用のデータベースのアーキテクチャとして多層化データベースを提案している。これはデータベースをグローバルとローカルの2層に分割することによって、設計の試行錯誤プロセスをサポートすること、および動的にデータ構造を定義できる自己記述型データモデルを利用することを提案するものである。

#### (4) CADデータベースの応用と環境セッション

Czekalinski (ポーランド) は設計データベースの役割を設計プロセスの分析から論じ、機械工場におけるマイクロ・フィルム化された図面庫にランダム・アクセスを可能とするデータベース管理システム SWIRD を提案している。

Foisseau (フランス) は CAD用データベースとアドミニストレーション用データベースの比較を行って、CADデータベースの見えるべき要件を論じ、またそれにもとづいたDDL DMLである FLOREAL を提案している。

Meen Ulfshy 等 (ノルウェー) は造船用の CAD / CAMシステム用データベース管理システム TORNADO を紹介している。

Herrig (西ドイツ) は、設計プロセスのモデルを、機能と構造の解析、抽象化、具象化、プロセスのフェーズとして考え、CAD / CAMシステムのアーキテクチャを論じている。

#### (5) パネル・セッション

最後にパネル討論が行われ、以下の事項が確認された。

- a) CAD / CAMデータベースは今後の課題であり、CAEの鍵である。
- b) CAD / CAMデータベースにとって次の課題があることが明確化された。
  - (i) 主記憶上の大量データの管理
  - (ii) 外部記憶上の大量データ、データタイプの管理
  - (iii) リレーショナル・データベースにおける大量データ (数十～数百 G Byte) 処理能力
  - (iv) エンティティ間の複雑な関係の効果的処理
  - (v) 単なる図面のような非構造データの扱い
  - (vi) CODASYL型データベースでは適切でない動的なデータ構造のサポート
  - (vii) CADにおける Artificial Intelligence 機能
  - (viii) インスタンス・レベルのクラスタ制御
  - (ix) 分散データベースとアプリケーションの関係、分散における重複データの存在の問題
  - (x) CAD / CAM用に既存のデータベース管理システムを利用する際の、プリミティブなデータタイプの対応関係

## 参 考 文 献

- 1) T.W. Sidle : Weaknesses of Commercial Data Base Management Systems in Engineering Applications, Proc. DA '80, 1980.
  - 2) C.M. Eastman : System Facilities for CAD Databases, Proc. DA '80, 1980.
  - 3) W.E. Fischer : PHIDAS —a database management system for CAD/CAM application software, Computer-Aided Design 11, 3, 1979.
  - 4) C. Eastman & M. Henrion : GLIDE : A Language for Design Information Systems, Proc. ACM SIGGRAPH, 1978.
  - 5) H. Grabowski, M. Eigner & W. Rausch : CAD Data Structure for Minicomputers, Proc. "CAD 78", 1978.
  - 6) E.A. Warman : Computer Aided Design Problems for the 80's, EURO IFIP 79.
  - 7) T. Kunii & H. Kunii : Architecture of a Virtual Graphic Database System for Interactive CAD, Computer-Aided Design, 11, 3, 1979.
  - 8) 木村文彦 : エンジニアリング・データベース, 精密機械, 47. 11. 1981
- 以下 IFIP W.G. 52 - Working Conference on CAD Data Bases 1981 での論文 (Preprint) である。
- 9) W. Eberlein & H. Wedekind : A Methodology for Embedding Design Databases into Integrated Engineering Systems.
  - 10) C. Eastman & G.M.E. Lafue : Semantic Integrity Transactions in Design Databases.
  - 11) T. Dokken & F. Lillehagen : Towards a Methodology for Constructing Product Modelling Databases in CAD.
  - 12) M. Hosaka, F. Kimura, Y. Yamaguchi : Construction and Uses of an Engineering Data Base in Design and Manufacturing Environments.
  - 13) M. Eigner & H. Grabowski : A Data Model for a Design Data Base.
  - 14) D.L. Dewhirst & R.H. Johnson : The Product Structured Data Base : A Schema for Design for Mechanical Systems.
  - 15) R. Dassler, H.J. Germer, F.L. Kraus & G. Pohlmann : Data Base for Geometric Modelling and Their Application.
  - 16) R.A. Lorie : Issues in Databases for Design Applications
  - 17) N. Baron, E. Bornkessel, N. Cullman, W.F. Klos & L.P. Magalhaes : An Approach to the Integration of Geometrical Capabilities into a Data Base for CAD Applications.
  - 18) M.F. Challis : Typing in Data Base Models.

- 19) M. Managaki : Multi-layered Database Architecture for CAD CAM Systems.
- 20) L. Czekalinski & M. Zgorzelski : Design Data Base Organization and Access Problems in Large Scale Machine Manufacturing Industry.
- 21) J. Foisseau & F.R. Valette : A Computer Aided Design Data Model FLOREAL.
- 22) S. Meen, J. Oian & S. Ulfsby : TORNADO A DBMS for CAD/CAM Systems.
- 23) D. Herrig : Entwicklungstheorie für CAD-Systeme und CAD-Objekte.

## 5. 業種別ユーザーにおける展開と問題点

### 5.1 電子機器

#### 5.1.1 はじめに

一般に電子・通信関係の技術や製品といえばその範囲は広い。たとえば、材料、部品では導電、絶縁、誘電、磁性、半導体の各材料や電子管、半導体、回路、機構の各部品、電子回路では電源、増幅、発振、変復調、パルス、ディジタル・パルス変調等の各回路、通信網では電話、電信、専用通信、国際通信等、交換では手動、構内、クロスバ、電子等の各交換機、搬送では音声や搬送機器と搬送方式、無線では長波、中波、短波、超短波、マイクロ波、衛星通信等、データ伝送では回線、端末装置等、コンピュータではディジタル、アナログの各計算機やソフトウェア、さらに放送およびテレビジョン、計測制御、通信用電源等その分野は実に多様であり、それぞれが現代の社会生活に欠くことのできない重要な役割を担っている。そのため各技術分野、各製品分野において研究開発が進められており、又これとともに性能が良くて信頼性も高く、かつより安価な製品を生産するために活発な設計活動が日々展開されている。そしてこれらの設計活動を直接・間接に支援するCADシステムも種々のものが開発され、導入され、改良されて様々な効果を発揮しているが、しかし、技術や製品が多岐にわたるかつ日進月歩の速い進歩を続けていること、CADシステムの歴史がまだ浅く、しかもこれ自身が急速に成長していること等の理由から、これに関係するCADシステムの全体を体系的に整理して、その将来の展開について統一的に論ずることは現状では困難であろう。

そこでここでは、一つの技術分野ではあるが産業の多くの分野に知能化という大きな影響を与え、今後の戦略的技術分野の一つとして位置づけられているコンピュータを含む論理装置をとり上げ、そのCADシステムの現状と問題点について述べることにする。

コンピュータに代表されるディジタル論理装置は、最近著しい技術革新によりLSIはもちろんのことVLSIを採用したものが出現し、これとともにその能力は急速に向上している。コンピュータの処理能力の向上は、その利用分野の拡大を促進し、設計・製造の各分野では従来型の利用にとどまらず、より高度な活用（たとえばCAE）を求める声が大きくなってきた。特に、コンピュータの設計・製造では大規模化、高性能化、高集積化、多様化などの外的設計条件から、コンピュータ利用への依存度をますます高めつつある。そのため、各メーカーともコンピュータの設計・製造用に高度なコンピュータ設備を投資しているのが現状であり、より高性能化、より

多様化するコンピュータなどの論理装置の将来を考えると、今後はさらにこの傾向は拡大するものと思われる。

論理装置の設計・製造にコンピュータを用いる目的は、そこにおける各種の作業を部分的にしろ自動化 (Design Automation, DA と一般に称されている) し、最終的には次のような種々の効果をねらうものである。即ち、

- ①設計者から単純多量作業の負荷を軽減し創造性発揮を支援すること。
- ②設計・製造期間を短縮すること。
- ③多量データの自動処理により製品の信頼性を向上させること。
- ④設計、製造、検査の各過程で作成される多量な資料を自動的に作成し管理すること。
- ⑤設計、製造、検査、保守の製品ライフサイクルにおいてコストを低減すること。
- ⑥設計変更等にもなる関連処理を正確かつ迅速に行うとともに各種資料の統一をはかること。
- ⑦標準化を推進し維持すること。

等をあげることができる。

Design Automation という言葉が示す通り DA は設計の自動化をねらうものであるが、現実的には設計条件や最適化を考えると困難な問題が多く、しかも半導体をはじめとして関連技術が急速に進歩するため、自動化の目標は大きく拡大して一層高くなって行くのが現状である。そこでコンピュータと人間の高度な機能分担というコンピュータ援用設計 (Computer Aided Design, CAD) の原点が見直され、より高度な総合システムが求められている。

論理装置の設計自動化の目的を技術的側面から大別すると次の4点に集約される。

- ①論理回路図を含む詳細な設計データの生成
- ②設計変更に伴なり設計データの管理
- ③装置の論理的、電氣的、および構造的適合性の評価
- ④製造情報 (部品配置、配線、検査データ) の生成

設計自動化の範囲は、装置の仕様が決定してから製造用のデータを作成するまでの作業を支援することであると言える。つまり装置の仕様を論理回路に変換し、これを筐体内に実装し、さらに製造用の図面や検査データを作成するまでの各項目がその範囲である。

設計自動化の最終目的が達せられ設計作業がコンピュータによって完全に自動化されると、高レベル言語で記述された設計仕様データが直接、部品表、部品配置図、配線図、組立図などの製造データに展開されることになるが、これは今のところ現実的に困難なことである。そこで各段階における設計情報をデータベースに入れ、設計者は必要に応じて設計情報を選択して応用プログラムに入力し、新しく得られたデータをデータベースに戻すというCADシステムが考えられる

わけで、このようにすれば設計自動化の上記4項目の技術的課題に大きな進展が期待できると考えられている。

そこでここでは、DAもCADも設計の自動化という視点からは同一の目的を持ち同一目標を追求するものであるという認識に立ち、とりあえず両者の区別をせずに使用することにする。

先に述べたように設計自動化の目標は、各メーカー、各部門で共通であるが、自動化の思想についてはかなり異なる場合もある。たとえば、保守用ドキュメントの正確さに最も重点をおけば、集中データベースを使用し、同一ドキュメントで設計・製造を行うことになる。他方、CADの機能別プログラム(Application Program)の稼動に最も重点をおけば、機能プログラム別の分散データベースという形態になる場合もある。

したがって、設計自動化システムは、そのシステムを運用する部門の設計思想、使用している回路技術、使用するコンピュータなどの条件によって大きく左右される。特に、実験的には非常に優れたCADシステムでも費用対効果比が良くなかったり、設計者への教育が困難な場合には、そのCADシステムの採用は無理ということになる。そのためDAやCADシステムの他部門との共用化、共有化は必ずしも容易ではない。ただ設計自動化の前提ともいえるべき論理回路、実装方式、製造工程等における標準化が進んでいると、CADシステムの共有化は勿論のことCADの効果発揮に極めて有効である。

次に論理装置の設計・製造に最近大きな影響を与えているものとして、集積回路技術の急速な進歩にふれておかねばならない。LSIやVLSIの登場は製品仕様の面では高性能、多機能、小型、低価格、省電力型等の特徴を示すが、設計の面では主要な部分がLSIに替わるわけで、その結果LSIのCADがコンピュータのCADの大部分を占めるという状況になりつつある。そのため後で述べるBreuerらによるCADの現状報告<sup>1)</sup>でもLSIとプリント基板に重点が置かれている。

論理装置の構成部品が最近のように高集積度のLSIやVLSIに変ってきてても、トランジスタやコンデンサ、抵抗などの個別部品を用いる時の設計の原則が適用されるわけで、構成部品(組立レベルでの交換可能ユニット)が仮に減少したとしても、設計レベルでは全体の問題に変わりはない。むしろインタフェースの条件が厳しくなり、誤設計の影響、特にコストは高くなる。しかし一方では高集積度LSIの多量で安価を供給が一層装置の大規模化、高性能化を加速するので、設計の要求精度は一段と高くなり、設計の各ステップにおける自動処理の深さおよび広さの両面における高度化が求められることになる。さらに重要なことは、設計者の創造的活動がますます必要になるため、設計者の創造性を十分に活用できる対話型のCADシステムが望ましい。したがって、このようなCADシステムはどのようなものであるべきなのか、その具備すべき条件と

実現方法などについてさらに深い研究が必要である。

最近における論理装置を対象としたCADシステムの特徴として次のような点を挙げるができるであろう。

#### ①構造化設計(Structured Design)

設計対象の多様化、開発期間の短縮、保守・改良の容易化等のため設計方法を見直し、ソフトウェア開発におけるトップダウン設計や構造化設計の概念を取り入れ、設計対象を階層化して、最終的にはトリー構造をもつ設計データを作成するものである。構造化を指向した設計とそのCADシステムは、設計対象のハードウェアそのものの構造を明確にし、LSI化等の技術変化に対しても柔軟対応を容易にするため、最近その開発例が発表されるようになってきた。

#### ②データベース化

論理装置の大規模化、多機能化、多様化などにより、設計データの量は増加する一方である。元来、論理装置の設計では設計者が入力するデータ(たとえば論理回路の接続情報など)が多いが、設計技術の高度化により多種多様な設計用アプリケーション・プログラムが必要で、これらのアプリケーション・プログラムの出力する設計データも又多量であり、さらにこれらのデータが他のアプリケーション・プログラムの入力となる場合が多い。また、大きなCADシステムになるとそのCADシステムの運用に従事する人間の数は100人を超える場合もある。そこでどうしても運用効率の良いデータベースが必要になり、最近のCADシステムを情報システムの観点からみるとデータベースがその中心に位置していると言ってもよいであろう。

データベース化はその他いろいろな効果をもたらす。たとえば、アプリケーション・プログラムの開発や維持が容易になることなどその好例である。

#### ③トータル・システム化

CADシステムの導入によりさらに大きな効果をねらえば、当然CAD適用製品の拡大か、あるいは方式設計、論理設計、実装設計など各分野でのCAD適用の徹底と各サブシステムを総合する一貫したトータル・システムの構築であろう。トータルCADシステムは、すべての設計プロセスへのCADの適用を統一化された思想でねらうものであり、CADシステムの高度化という側面も強くもっている。そのため最近はCADシステムのトータル化への動きが活発である。もちろんこれには様々なレベルが存在する。

#### ④汎用化

論理装置の設計・製造における技術革新は、最近のVLSIにみられるように非常に速く、一方ニーズは多様化するばかりである。しかし、新しい外部要求に対してCADシステムを新たに開発したり、或は既存のCADシステムを改良するにはかなりの時間と労力が必要である。

そこでCADシステムに柔軟性をもたせると同時に、入力言語やデータベースなどを高度化して汎用化する努力がなされている。

論理装置のCAD（初期のころはDAという言葉がよく使われた）の初期の実用例が発表されたのは1950年後半であるが、これ以後急速に発展し、その技術分野も広がっている。そのため文献報告もCAD分野では最も多いものの1つであろう。

この方面の全般を扱った成書は少ないが、調査報告は1966年M. A. Breuerによるもの<sup>2) 3) 4)</sup>が最初のもので<sup>5)</sup>、1972年に同じBreuerによるもの、又最近では1981年に同じくBreuerによる現状調査報告<sup>6)</sup>がある。我国においても、1967年に電気学会に論理装置の設計製造自動化委員会が設けられ<sup>7)</sup>、また1971年には情報処理学会において計算機設計自動化研究委員会<sup>8) 9)</sup>が発足している。その他関連分野の学会誌などに基礎理論に関する研究成果や応用事例、さらにCADに関する総合的なシステムについての報告や解説<sup>10) 11)</sup>がみられる。

論理装置のCADに関する重要な学会活動として、米国のACM (Association of Computation Machinery 米国計算機協会) のSIGDA (Special Interest Group on Design Automation) と、同じく米国のIEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 米国電気電子学会) のComputer Society 共催によるDesign Automation Conferenceがある。1964年にDesign Automation Workshopとしてスタートしてから毎年開催されており、発表件数、参加者とも多く活発である。

論理装置の設計を考えるときは、方式設計や論理設計など論理装置固有の設計活動以外に、アナログ回路設計、機構設計、冷却設計などをその対象に入れねばならないが、これらの技術の中心は他の分野にあるわけで、ここでは取り扱わないことにする。

### 5.1.2 論理装置の設計プロセス

コンピュータを含む論理装置の設計プロセスを次に簡単に示す。

製品の使用者などから出される製品仕様や製品に使用する基本的な技術などの検討から設計作業は開始されるが、設計の第1段階は方式設計（アーキテクチャ設計）である。

方式設計は、設計の初期において論理装置の論理機能に関する概念的な構造を決定するもので、適用分野の分析、関連技術の現状把握、論理的機能、構成要素と構成方式、データの処理方式、ハードウェアとソフトウェアの機能分担などがその主な内容であるが、その他にアベイラビリティや生産・保守体制も検討する。以上のような使用者からみた論理装置のハードウェアの論理的属性をその論理装置のアーキテクチャと呼んでいる。

方式設計はその後に続く設計製造プロセスに大きな影響を与えるため、その設計者には技術動向、市場需要、生産体制など全般にわたって広い知識や洞察力、創造力が必要である。

方式設計が終ると論理設計の段階に入る。論理設計とは、方式設計を受けてさらに細部の検討と評価を進めて装置内の各論理回路（演算回路、レジスタ、制御回路など）の詳細仕様を定め、これにしたがって各回路に実際に使用する論理素子（IC、LSI、個別部品）を割付け、回路図面（論理図）またはこれと等価な情報を作成することである。

各論理回路は、AND、OR、NOTなどのゲートと呼ばれるものから構成されていると考えてよい。一方、最近の論理装置の大規模化傾向は著しく、マイクロ・プロセッサでも大型の16ビットのものになると数千ゲート、大型コンピュータでは数十万ゲートにも達する。このような場合論理設計を効率よく設計するためには設計者個々の手作業のみでは困難であって、当然コンピュータに支援された自動化が必要になる。それにはまず設計手法が確立し、それを支援する優秀なCADシステムが求められる。

論理設計の効率化のために、論理設計をレジスタ・レベルを取り扱う機能設計とゲートレベルを取り扱う論理設計との2階層にわけるともある。

この設計における階層化をさらに進めるものとして最近の構造化設計がある。構造化設計は、ソフトウェア開発におけるトップダウン・アプローチの思想をハードウェア設計にもち込んだものであり、論理設計からLSIマスクパターン設計などの実装設計までを階層的かつ統一的に設計が進められることを目標にしたものである。

構造化設計にはその目的やレベルにより種々のシステムが考えられるが、設計者が設計対象のハードウェアを正確に記述することのできるハードウェア記述言語（あるいは単に設計言語）がまず必要である。実際のCADシステムでは、論理設計者が高レベル言語の図形で入力し、図形エディタで編集する高水準の方式もあるが、最も低レベルのものとしては、特に設計言語という概念はなく、ただゲートレベルの論理図を人の指示に従って読み込むシステムもある。

最近では、論理装置の命令制御方式にマイクロ・プログラム方式を採用するものが増加している。マイクロ・プログラムを用いない論理回路で結線による制御をワイヤード・ロジックと呼び、マイクロ・プログラムを含む回路をファームウェアと呼ぶ。マイクロ・プログラム方式の論理装置は、構造が単純で安価であるが、一般に速度が遅くなる傾向がある。

マイクロ・プログラム方式ではそのプログラムがハードウェアとの密着性から特殊な形をしているが、一般のプログラム開発と類似の課題が存在する。

論理設計が終ると次に実装設計の段階に移る。実装設計とは、論理設計された設計データに従って、プリント基板やLSI内で回路を構成する素子や部品の配置や配線に関する物理的データを決定することである。プリント基板やLSIは大きさに制限があるため、論理回路をそれらに実装可能な単位に分割し、各部分回路をどのプリント基板やどのLSIで実現させるか割付けを

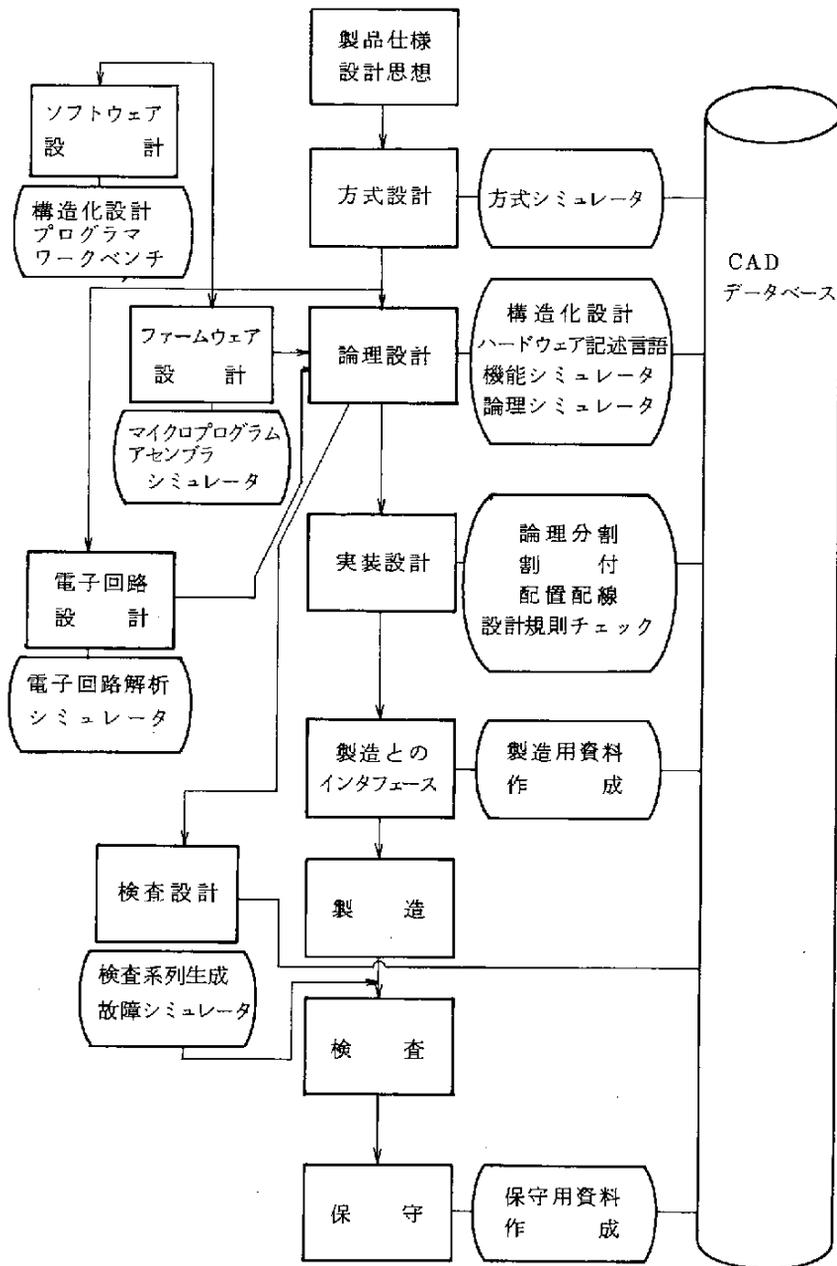


図 5.1 - 1 論理装置の設計プロセスと CAD

行い。

最近論理装置の大規模化にともない、実装設計段階の作業が非常に大量で複雑になっている。また、製造段階への情報を生成するプロセスでもある。そのため実装設計の自動化は影響する分野が広くて効果が大きく、かつ比較的自動化を進め易い。こうした技術的理由もあって、早くからこの方面の実用化が進められてきた。市販のCAD専用システムの多くが最初に商品化したのもこの分野であり、我国においてもこの分野には早期にCAD専用システムが多く導入された。

実装設計における重要な制約条件は、プリント基板やLSIにおいて、内部部品数に比較して外部接続端子の数が少ないことと、物理的な幅をもつ線に限られた面積内に指定された部品間の配線を行うことであろう。

CADとしては最も実用化が進んでいる実装設計分野であるが、最近の高集積化、VLSI化にともない配線密度が急速に増大しており、CADシステムとしては多くの課題をかかえている。

実装設計が終了すると設計データはもちろん製造に必要な情報はデータベースに保存される。またこれらから保守用資料が作成される。

実装設計と並行して検査(テスト)設計を行う。検査は、論理装置の大規模化に従って設計・製造データが莫大な量に達するため重要な問題である。

検査設計とは、論理装置の内部にもし故障があれば正常な回路の場合とは異なる出力を出すような入力データ群を求めることである。このような入力データ群を検査系列と呼ぶが、検査系列の自動生成にはコンピュータ使用時間がかなり長くなることと、複雑な回路に対する検査系列自動生成が困難であるという問題がある。そのため実際には、検査系列自動生成、故障シミュレータ、設計者自身によるパターン生成を総合的に活用して故障の検出率を向上させている。

従って、検査の重要性という問題を考えるとき、検査の容易化を前提にした設計が必要になる。このような検査容易化設計がかなりのレベルまで実用化されれば、任意の論理回路に対する故障検査は相当程度らくになり、論理装置の設計、製造、保守全般に対する影響は大きい。このような理由から従来は製造の一分野であった検査は、現在ではCADの中の重要な分野になってきている。

最後に以上述べてきた論理装置の設計プロセスの概要と関連するCADの重要な項目を図5.1-1に示す。

### 5.1.3 方式設計におけるCAD

現在のところこの分野におけるコンピュータの利用は、方式設計された論理装置のシミュレーションであろう。シミュレーションで得られたデータは、方式設計の評価に使用される。

方式設計レベルでは、装置の基本構成をまず検討し(図 5.1-2)、各部分を必要に応じてレジスタ・レベルに展開して図 5.1-3 に示す各項目を決定して行く。したがって、方式設計の自動化は現在のところ困難で、シミュレーションによる評価も性能予測が目的で、種々のレベルでシミュレーションが行われる。

まず各種の方式を比較検討するために大まかな性能予測を目的としたシミュレーションを行う。これには待ち合せ理論における公式や図表、それに種々の数式をとり入れた解析的モデルを用いる。

次に基本的な方式が決定されると、ある入力データ系列の処理完了時間、ある種の外部入力に対する応答時間、各装置部分の稼働率など、論理装置全体の性能評価を得るためにシミュレーションを行う。この時のモデルは多くの場合待ち行列型になるため、使用するシミュレーション言語としては SIMSCRIPT, GPSS, SIMULA, さらに FORTRAN を用いる GASP など汎用の待ち行列型シミュレーション言語を用いる。また乱数を使用するモンテカルロ型の統計的シミュレーションになるから、シミュレーションの結果得られる性能予測データの信頼性を高める必要上入力データ系列の構成が大きな問題である。

現在のところ、これらの方式設計評価用のシミュレーションモデルは、以下に続く設計の各プロセスとはデータベース内で接続されておらず独立になっていると言ってもよい。

論理装置の設計プロセスの中で最も高度な創造性を要求される方式設計においてその CAD システムの将来像を描き CAE システムとして実現することは今後の課題である。

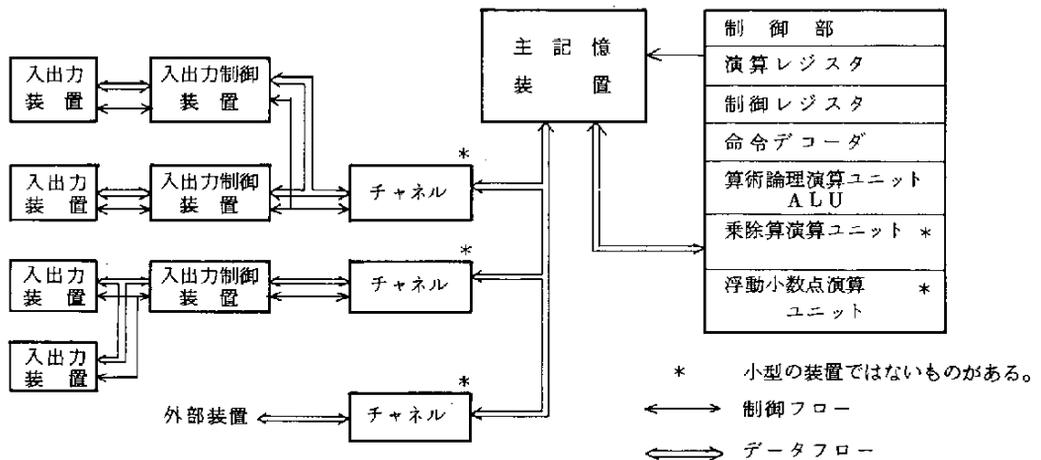


図 5.1-2 論理装置の基本構成

方 式 設 計	}	(1)装置の基本構成	
		(2)命令とデータの方式	{ データの方式(データのレベル, 長さ, 表現) 命令の方式(命令のレベル, 構成, 番地方式, 種類)
		(3)命令方式	{ 命令の実行, 逐次制御と先回り制御, 割込みマイクロプログラム, 多重プロセッシング
		(4)演算方式	{ 演算命令の種類, コンディションコード, 固定小数点演算(高速 乗除算), 浮動小数点演算, 10進演算, 並列演算, 特殊演算
		(5)記憶方式	{ 記憶位置, 番地方式, 階層制御(キャッシュ), 仮想記憶(パー ジ, セグメント), 実記憶の構成(バイト, バンク, インターリー ピング), 記憶保護
		(6)入出力方式	{ チャンネル制御(専用, 汎用), 入出力命令, 入出力インターフェー ス, 入出力制御装置と入出力機器の接続

図 5.1 - 3 論理装置の方式設計の内容

#### 5.1.4 論理設計におけるCAD

##### 1) ハードウェア記述言語

論理設計では方式設計が終了した論理装置を実装可能な部品によって論理図に記述する。したがって、ハードウェア設計者は設計対象を正確に表現しなければならない。そこで、ソフトウェアでプログラミング言語を用いるように論理装置を表現するためのハードウェア記述言語が必要になり、今までに多くの言語が開発されている。

先にも述べたように、現在のCADシステムは、多くの場合、方式設計と論理設計以後が独立で別々になっていて、CADに対する期待は論理設計以後の方が方式設計よりもはるかに大きい。そのため、実際には論理設計のCADが論理装置のCADシステム全体の出発点であり、ハードウェア記述言語の確立は論理設計におけるCADの重要問題である。

ハードウェア記述言語(HDL, Hardware Description Language)の目的としては次のようなものがある。

- ① 設計検証, 性能評価, 検査系列生成などのためのシミュレータへの入力記述
- ② 論理自動合成のための入力記述

- ③ 構造化設計における入力記述
- ④ マイクロ・プログラム自動生成のための入力記述
- ⑤ ドキュメンテーションの標準化

ハードウェア記述言語は、設計の進行にしたがって言語の記述レベルが次のように異なってくる。即ち、

- ① 方式レベル(アーキテクチャ・レベル)
 

プロセッサ・エレメント、メモリ、入出力ユニット等を記述単位とするもの。
- ② インストラクション・レベル
 

プロセッサの動作(機能と性能)を機械語命令レベルで記述するもの。
- ③ レジスタ・トランスファ・レベル(機能レベル)
 

レジスタ間のデータ転送とレジスタにおけるデータ変換により記述するもの。
- ④ ゲートレベル(論理レベル)
 

AND, OR, NOTなどのゲートとフリップ・フロップにより記述するもの。
- ⑤ トランジスタ・レベル(回路レベル)
 

トランジスタ、抵抗、容量などで記述するもの。

## 2) 論理シミュレーション

論理シミュレーションとは、コンピュータ内に論理回路のモデルを記憶させておき、それに入力信号系列を与えて実際の論理回路動作と等価な模擬動作をさせ、その論理回路モデルが出力する出力信号系列や任意の時刻における論理回路モデルの状態を求めることである。そして論理シミュレーションを行なうためのコンピュータ・プログラムを論理シミュレータと呼んでいる。

論理シミュレーションは、論理設計の検証即ち、設計ミスの検出や性能予測には有力な方法であり、論理シミュレーションはCADシステムの極めて重要な柱になっている。

論理シミュレータへの入力には普通ハードウェア記述言語が用いられ、設計作業の進行に対応してそれぞれ機能レベル・シミュレータ(ハードウェア記述言語②または③に対応)、ゲートレベル・シミュレータ(ハードウェア記述言語④に対応)があるが、論理回路をすべてゲートレベルで記述すると入力量が多くなり効率がわるくなるので、ゲートレベル・シミュレータに一部分機能レベルを加味したシミュレータも開発されている。一般に最も多く使われているのはゲートレベル・シミュレータであり、論理シミュレータと言えばゲートレベルを主体としたシミュレータを意味することが多い。

### (1) ゲートレベル・シミュレータ

シミュレーションのプログラム方式には、コンパイラ方式とインタプリタ方式がある。コンパイラ方式は、シミュレーション実行前に対象論理回路のモデルをシミュレーションを実行するコンピュータの命令群に変換しておき、それからこれらの命令群を直接実行するものであり、前処理が複雑になるがシミュレーション実行時間はインタプリタ方式より短くなる。一方、インタプリタ方式は、論理回路の接続状態やゲート動作時間などを表形式で記憶しておき、シミュレーション実行時には逐一その表を参照して解釈しながらシミュレーションを進めるものであって、コンパイラ方式に比べて前処理が簡単になるが実行時間が長くなる。

シミュレーションの精度や計算時間に直接大きな影響を与えたとともにシミュレータの使い易さに関係する重要な問題としてシミュレータの時間制御方式がある。論理装置に限らず一般に現実の現象は並列的に進行するものが多いが、現在のコンピュータ上の演算では逐次直列に処理が進む。そのため並列現象を直列処理に効率よく変換する手法が必要になり、これが一般にシミュレーションにおける時間制御方式と呼ばれるものである。論理シミュレーションにおける時間制御方式としては、簡単なレベルソート法、処理速度の向上をねらったイベント法、さらにそれを高速化したタイム・マッピング法などがある。

論理シミュレーションにも現在のところいろいろと課題が多い。

まず計算時間の短縮である。現在はシミュレーションにかなりの計算時間を必要としているためシミュレータの高速化が求められており、今までに、コンピュータの語長を利用する並列処理、論理積入力に0が出現したときの分岐命令挿入による演算量の減少、論理回路の階層ブロック化と検証済ブロックの直接プログラム化による実行時間の短縮など種々工夫がされてきた。しかし、論理装置の規模が大きくなり高速になってくると、実装情報（たとえば配線長など）を考慮したシミュレーションも必要になるので、シミュレータの高速化が望まれている。

第2の課題は操作性である。論理シミュレーションでは多量のデータを入出力するとともに記憶し、さらにそれらのデータをいろいろ組み合わせてコンピュータ上で実験をするのであるから、設計効率の向上のためにはシミュレータとしての総合的な操作性がますます高くなることが求められている。

第3の課題はデータベースとの関係である。これは先に述べた操作性とも関係が深いが、シミュレーションの対象を階層的に機能ブロック、IC、LSI、プリント基板、ユニット、装置全体などに別けて容易にシミュレーションできることが望ましい。回路規模が増大する現在、ハードウェア記述の高位言語から実装レベルまで、構造化設計に対応して統一的に処理できるシミュレータが必要になる。

## (2) 機能レベル・シミュレータ

機能レベル・シミュレータとは、ある程度まとまった機能、たとえばカウンタ、シフタ、加算器、さらにもっと複雑なマイクロ・プロセッサなどを含む論理回路をシミュレーションするコンピュータ・ソフトウェアである。

これらの機能素子を等価なゲート回路に展開すればゲートレベル・シミュレーションになってしまうが、実際の設計において機能素子レベルで取り扱い論理回路をゲートレベルに展開するとゲート数が多くなってシミュレーション的取り扱いが困難になる。そこで最近では、機能素子の動作を高位のハードウェア記述言語で記述しておき、これをゲートレベル・シミュレーションに適した形に階層展開してゲートと組み合わせてシミュレーションする方法が実用化されている。

## 3) 論理自動合成

ハードウェア記述言語より論理回路(論理図)を自動的に生成する問題は、実用的にも興味あるテーマで各種のシステムが提案されている。しかし、自動生成された論理回路が人手設計によるもの比べてゲート数が多くなるなど解決すべき課題が多い。

現在LSI化が急速な勢いで進んでいるが、多様化するニーズに対応して行くためには設計の自動化が是非必要で、その意味からは論理回路の自動合成の実用化が求められている。

## 4) 構造化設計

次に構造化設計について簡単に説明する。CADシステムを適用しようという論理装置は最大数十万以上のゲートから構成されている。実際にはこれらのゲートは、ICやLSI、それらを多数個搭載したプリント基板、さらに数枚のプリント基板から成るユニット、そして最後に複数のユニットが組み合わさった装置というように階層化分割されて設計されるが、設計作業を今述べた実装単位に分割するだけでなく、機能的にも独立した設計が可能な単位に適切に分割し階層化すれば、設計対象のハードウェアの構造とともに設計プロセスが明確になる。その結果、設計期間の短縮、設計工数の削減、分担設計の促進、設計変更への容易な対応などの効果が期待されている。しかし、階層化分割数の増加によってハードウェアが増大して、材料コストが上昇するとともに配線長増による電気的特性の劣化などの欠点が生じる。そのため論理装置の開発計画の立案時において装置に対する要求仕様、たとえば、性能、価格、開発期間、量産規模などをよく検討して、最適な階層構造を決定し、CADシステムを含めた設計プロセスの最適化をはかることが望ましい。

LSIの設計においてもVLSIのように集積度が増大すると、構造化設計への期待は極めて大きくなって来る。シリコン・チップ表面に数千ゲート以上の論理回路やメモリ回路を実装

する場合の設計工数は急激に増大することが予想されるため、論理構造はもちろんのこと設計プロセスにも適切な最適化が必要で、構造化設計を支援するCADシステムの責任は大きく、この方面の今後の発展が望まれている。

構造化設計用CADシステムとしては今までに、DDL<sup>12)</sup>(1968)、CDL<sup>13)</sup>(1972)、SDL<sup>14)</sup>(1977)、LCD<sup>16)</sup>(1977)、LOGAL<sup>17)</sup>(1977)、SCALD<sup>18)</sup>(1978)など数多く発表されており、それぞれ特徴をもっているが、いずれも機能レベルかゲートレベル、または両者の混在したレベルのシミュレータをもっている。入力を図形や状態遷移、タイム・チャートで行うものもあり、構造化設計用の言語にはハードウェア構造の記述に重点をおくものと論理構造の記述に重点をおくものがある。

## 5) マイクロ・プログラム

マイクロ・プログラム制御方式は、IBM 370シリーズに採用されて以来急速に注目されて来た。最近ビット・スライス型の高速度マイクロ・プロセッサのように制御方式にマイクロ・プログラム方式を用いる論理装置がますます増加しており、マイクロ・プログラムを効率よく開発するためのCADシステムもより高度なものが求められている。マイクロ・プログラムは、機械語よりさらに下位の細かいハードウェアの基本動作を用いて作成するため、ハードウェアとの関連性が深い。

マイクロ・プログラムに関するCADシステムの目的は、マイクロ・プログラムの設計を支援し、装置へ格納する前に設計されたマイクロ・プログラムが目標の動作と性能を発揮するかどうかを評価することである。そのためマイクロ・プログラムのCADシステムとしては、マイクロ・プログラム記述言語とマイクロ・プログラム・シミュレータが2本の柱になっている。

マイクロ・プログラムの応用には、論理装置の機械語命令をマイクロ・プログラムで実現することの他にシミュレータの構成がある。

### (1) マイクロ・プログラム記述言語

ハードウェアによりマイクロ・プログラムの形が大幅に変わることで、またマイクロ・プログラムの性能を上げることで、などのために現在はアセンブラが中心であるが、コンパイラ形式のものも提案されている。マイクロ・アセンブラは、マイクロ命令で記述されたマイクロ・プログラムをビットパターン(または中間コード)に変換するものであるが、マイクロ・プログラムの記述誤りの指摘設計、製造、検査用ドキュメントの自動生成を行い、マイクロ・プログラムの生産性を向上させるものである。

### (2) マイクロ・プログラム・シミュレータ

まずマイクロ・プログラム・アセンブラが出力した機械語対応のマイクロ・プログラムを

あらかじめシミュレータに入力しておく。そしてシミュレータに機械語で構成されたプログラムを入力して、それをマイクロ・プログラムによってシミュレーションする。こうしてマイクロ・プログラムによってコンピュータが目標通りの動作と性能を発揮するかどうかを製造前の段階で評価する。ここで正しい動作が得られなければ、マイクロ・プログラムを再検討するが、マイクロ命令やハードウェア自体を変更する場合もある。また、目標性能に達しないときにも、マイクロ命令やマイクロ・プログラムにおける演算アルゴリズムを再検討する。

### 5.1.5 実装設計における CAD

論理装置の設計におけるプリント基板や LSI の実装設計はますます高密度実装、大規模化の傾向の中にあつて、その設計は複雑の度を極めてきており、設計に多大な労力と時間を要している。もはや人手設計では不可能なものも多々生じている状況である。論理装置の設計では実装設計の CAD が最も研究および実用化が進んでいる分野なので、これについて設計作業の内容、CAD の現状と問題点および今後の課題について述べる。

#### 1) 設計内容

実装設計とは、通常論理回路設計終了後、製品を作り上げるために、機器、部品の配置設計、配線設計とその結果の図面作成および各種の製造用情報の作成までの生産設計の工程を言い、一般的には図 5.1-4 に示すような処理手順を踏んで行なわれている。CAD の場合もこの手順は基本的に変わることはない。初めにこれらの設計作業の内容を簡単に述べる。

#### (1) 論理の分割

論理設計結果を実装単位ごとに分割する作業で、バックパネル、プリント基板、LSI などへの分割がある。実装単位の決定は、コスト、

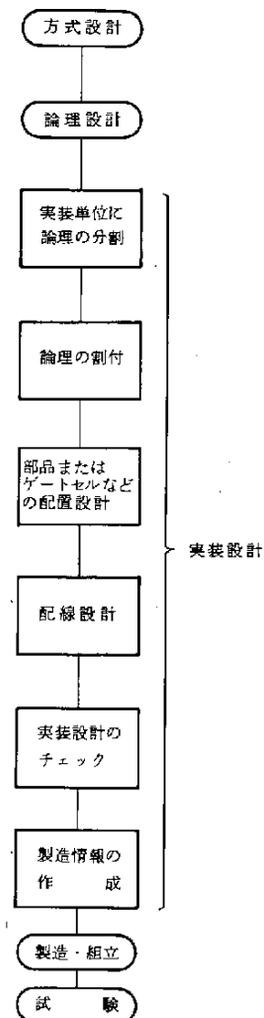


図 5.1-4 論理装置の設計製造の手順

量産性、信頼性、保全性、使用部品などの要因が複雑に関係し、基本的には製品の目的によって決まる実装上のポリシーの問題と言える。一般には次のことが分割上の設計基準や条件となっている。

- ① 実装効率が低いこと
- ② 機能単位であること
- ③ テストの容易性
- ④ 発熱量の制約
- ⑤ 回路設計条件
- ⑥ 使用部品数、パッケージ数の最小化
- ⑦ 保全性
- ⑧ リビータビリティ
- ⑨ 搭載数・外部端子数などの物理的制約

## (2) 論理の割付

プリント基板の設計では各論理をICやMSI, LSIに割付けることであり、LSI設計であれば各論理をゲートセルや機能ブロックセルに割付ける作業である。この作業は前述の論理分割と関係して行われるべき要因があり、論理分割の作業に前後して行われている。

設計上考慮すべき事項はプリント基板の設計では、

- ① IC中の未使用ゲートを最少にする。
- ② 使用部品数を最少にする。
- ③ 配線長が短くなるように割り付ける。
- ④ 配線率を高めるために外部端子に接続するゲートはグループ化して同一ICに割付ける、など。

## (3) 配置設計

プリント基板の場合は搭載部品の配置に次のことを考慮して適正配置する。

- ① 総配線長和が短くなるようにする。
- ② 最長配線信号を短かくする。
- ③ 配線不能が生じないように、配線密度を均一化する、など

また、熱分布、重力分布、実装時の冷却風の方向、試験・保守の容易性も同時に考えるべき事項となっている。

LSIのチップ・レイアウト設計では、ビルディング・ブロック方式とマスター・スライス方式の設計方式によって考慮すべき条件が違ってくる。ビルディング・ブロック方式とはラ

ンダム・ロジックセルのほか、RQM, PLA, 各種レジスタなどの機能ブロック・セルを1つのチップ上に混在配置させて作るLSIの設計方式で、フルカスタムLSIはこの方法によるものである。この場合の配置設計ではLSIの歩留りを向上させるため

- ① できるだけ正方形に近くすること
- ② チップサイズを小さくすること

が必要である。一方マスター・スライス方式では予めチップ上にランダム・ゲートセルが整然と配列しており、配置問題はどの論理をどのゲートセルに割付けるかという割付け問題である。セミカスタムLSIはこの方式で作られ、別名ゲートアレイLSIと呼ばれている。両方式に共通して次の点が配置設計上の考慮事項である。

- ① 配線不能(不能解とも言う)が絶対生じないように配置すること
- ② 配線長が長いとCやRが配線に付加され、回路特性の悪化(遅延時間の増大)が生じるので、プリント基板の設計以上に注意を必要とする。
- ③ 総配線長和の最小化
- ④ 配線密度の均一化  
など

#### (4) 配線設計

配線層の決定、論理的に等価なピンへの信号の割付けを行った後、ピン間の配線を行う。配線設計では配置設計時の考慮事項の他に、

- ① 分岐配線条件
- ② クロストーク等の電気的条件
- ③ スルーホールを最小化

などを考慮して配線経路を決定する。

#### (5) 次の2種の設計チェックを行う。

- ① 論理的チェック……接続が正しく行なわれているか、断線、短絡、ループはないかなど
- ② 物理的チェック……配線間隔、パターン幅、ピン接続部のパターン幅やスルーホール、ランド、パターンの近接具合など

#### (6) 製造情報の作成

プリント基板の場合は、

- ① フォト・ドラフタによる写真フィルム(パターン図、シルク・プリント図、ソルダ・レジスト図など)作作用データの作成、またはアートワークによる写真フィルムの作成。
- ② NCドリル用の基板穴あけ情報

③ 部品自動挿入機用の部品・位置情報

など

L S I の場合は、

④ プロセス別マスク図作成用情報

などの作成作業を行う。

## 2) 実装設計CADの現状

この分野のCADのうち最初に取り上げられたのはプリント基板の配置・配線設計の自動設計(DA; DESIGN AUTOMATION)で、米国では1960年代初めより研究が始められた。日本でも1960年代末には実用システムが出現した。LSIはその出現が1970年頃であったこともあり、DAが実用化し始めたのは1970年代中頃からであった。製造情報や試験情報作成ソフトウェアも相前後して開発され、この段階で実装設計用バッチ処理システムは一応の形態が出来上った。

自動化アプローチには後述するように運用上の問題が全くない訳ではなく、対話型のCADを望む声も高かった。廉価なミニコンの出現と共に、蓄積型グラフィック・ディスプレイを核とした対話形システム、いわゆるスタンドアローン・システムが出現してきた。このシステムでは配置・配線設計は基本的には人手によって行なう。その結果をディジタイザグラフィック・ディスプレイ等により入力し、また編集、修正などの図形処理を行い、図面出力や各種の製造情報を自動作成するものである。自動設計機能も具備されていたが、初期のものは機能・性能面で十分でない上、ミニコンの処理能力の低さから時間がかかり実用上は問題が多かった。現在では自動設計機能も改善されてきているが、今一步という感もある。とは言え大型コンピュータを用いた自動設計指向型のシステムと並んでこの分野のCADシステムを2分している。

実装設計の範囲ではないが、これらの経緯と並行して論理設計のCADも進歩を重ね、各種レベルのシミュレーション(機能レベル・シミュレーション、ゲートレベル・シミュレーション、トランジスタレベル・シミュレーション)、故障シミュレーション、論理設計記述言語、論理図入力および論理図自動作画、設計データベースなどの研究、試作。実用が繰返されて行われており、現在では図5.1-5に見られるような設計データベースを核として、各種のCADソフトウェアを配備した総合的なCADシステムが実現できている。

現存システムはその形態と自動設計の度合から次の3つのタイプに分けることができる。

- ① 大型コンピュータを用いたCADシステム
- ② ミニコンピュータを用いたスタンドアローン・タイプのCADシステム
- ③ ディジタイザ・システム

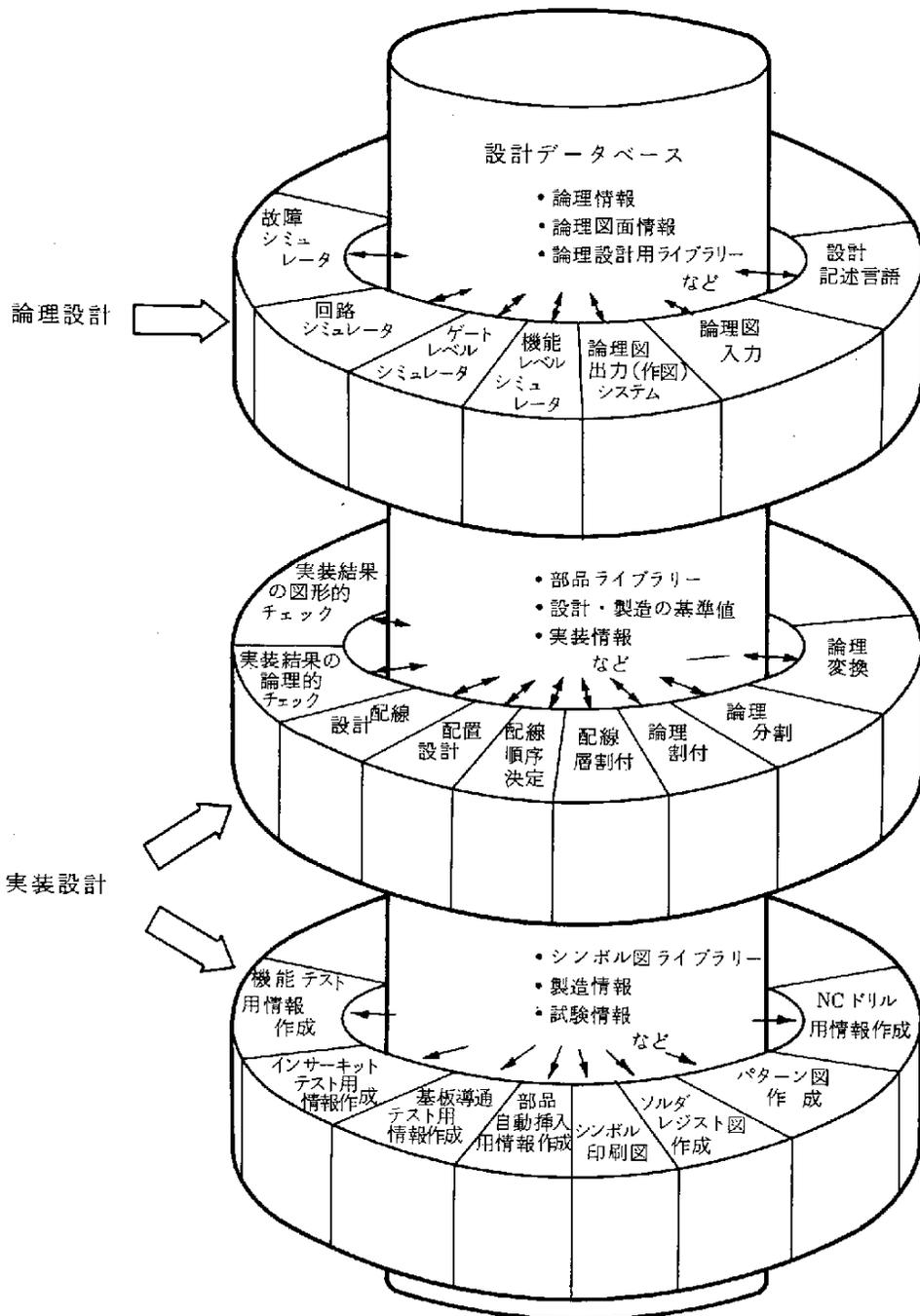


図 5.1 - 5 論理装置の総合 CAD システム

①のタイプのシステムでは論理設計のCADを含めトータル・システムに構築したもので、先進大企業に多く見られる。②のタイプのシステムは実装設計に対しては機能的にほぼ完成されたシステムで、コンピュータ能力のアップ（スーパーミニコン化など）で今後一層普及していくであろう。③のタイプのシステムは実装設計は人手で行い、その結果をディジタイザにより図形（座標）入力し、主として製造情報作成の自動化を狙ったもので、電気条件が厳しいもの、高密度実装基板などで自動設計が難しいもの、対話設計（CAD）では効率的でないものに対して用いられている。この方法はCAD技術が飛躍的に進歩しない限り、今後も残るものと思われる。引き出せる効果は勿論①、②、③の順であるが、システム導入のコストもこの順で高い。従って、設計量、対象、対投資効果などから、選択導入しているのが実情である。コンピュータやグラフィック・ディスプレイなどハードウェアの高性能化、低価格化およびCAD技術の進歩により、将来この3つのタイプのシステムは統合・分離の道をたどる。表5.1-1にスタンドアローン・システムの自動設計機能の比較を示す。

表 5.1-1 スタンドアローンタイプの自動設計機能

メーカー	販売	コンピュータ	自動設計対象基板	自動処理機能					
				配線層 自動決定	配線順 自動決定	ゲート 自動割付	ピン 自動割付	自動 配置	自動 配線
Computer Vision	東京エレクトロン	CGP-200	Y級基板 最大20層 浮動スルホール方式	×	○	○	○	○	○
APPLICON	丸紅エレクトロニクス	PDP-11	X, Y級基板 2, 4層 浮動スルホール方式	×	○	×	×	○	○
CALMA	伊藤忠データシステム	ECLIPSE	X, Y級基板 最大20層 固定・浮動スルホール方式	×	○	○	○	○	○
READAC	理 経	PDP-11	X, Y級基板 最大16層 浮動スルホール方式	×	×	×	○	×	○
シャープ	シャープ	PDP-11	2層X, Y級基板	×	○	○	×	○	○

CADシステムの主要なソフトウェア構成を図5.1-5に示す。

(1) 設計データベース

大別して次の2つのグループの情報が管理およびコンピュータ処理の面から見て効率的な構造（論理的構造・物理的構造）で構築される。設計データベース構成用の汎用的・実用的ソフトウェアはまだなく、コンピュータ・メーカー提供の汎用データベースを用いたり、C

(1)  
表 5.1-2 各社の特徴

会社 No	Dの Aラン システム	利用技術	製 品	生 産 量	設 計 目 標
1	—	—————	商用コンピュータ	多	コスト低減
2*	10	バイポーラ マスタスライス MOS カスタム	商用コンピュータ	多	コスト低減
3*	5	CMOS カスタム	宇宙航空電子機器	少	期間短縮 高信頼性
4	3	バイポーラ カスタム MOS ポリセル	商用コンピュータ	少	期間短縮
5*	3	TTL マイクロバック	高速CPU	—	コスト低減 高保守性
6	12	MOS 多種	LSI	—	
7	15	MOS カスタム	電子部品	—	高密度化 期間短縮
8*	2	バイポーラ マスタスライス	高速CPU	—	期間短縮
9	9	バイポーラ マスタスライス	宇宙航空電子機器	少	高密度化
10	17	MOS カスタム	LSI	多	コスト低減
11	—	—————	対話型グラフィック システム	—	—————
12A	16	MOS セミカスタム バイポーラ マスタスライス	LSI	—	コスト低減
* 12B	11	バイポーラ マスタスライス	CPU LSI	—	コスト低減 高性能化 高信頼性 期間短縮
13	13	CMOS ポリセル	LSI	—	コスト低減 期間短縮
14*	7	バイポーラ マスタスライス MOS カスタム	高速CPU	多	期間短縮
15	14	MOS カスタム バイポーラ マスタスライス	電子機器 (ミニコンピュータ 電話等)	少	期間短縮 高密度化 コスト低減
16*	1	バイポーラ マスタスライス	商用コンピュータ	多	高速化 高密度化 コスト低減
17*	7	バイポーラ マスタスライス NMOS カスタム	高速CPU LSI	多	コスト低減 保守性
18*	6	バイポーラ マスタスライス	高速CPU	多	コスト低減 信頼性 保守性

\*は大規模システムを生産している会社を示す

AD専用の特殊データベースを用いたりしているのが現状である。

① ライブラリ……設計や製造情報作成時に利用する情報

- a. 設計・製造の基準値
- b. 部品情報
- c. 論理図記号
- d. 製造情報作成用シンボル図

など

② 設計データ……設計結果とその製造・試験用の情報

- a. 論理図画情報
- b. 実装情報
- c. パターン情報
- d. 製造情報
- e. 試験情報

など

(2) 実装設計用ソフトウェア

① 論理分割……評価すべき条件・制約が多く実用できるものはまだない状況である。

② 配置設計……部品（プリント基板の場合）やゲートセル、機能ブロックセル（LSIの場合）を不能解が出ないように、総配線長が最小になるように、最長配線が短くなるようになど、目的に応じた評価値にしたがい最適化するように配置設計をする。対象によりいくつかのヒューリスティックな手法が選択使用されているが、一応実用に供されるレベルのものが出来ている。しかし複雑なものは人手介入や人手設計に頼らざるを得ない。

③ 論理割付……ICへのゲート割付を行うもので、条件となる項目が少ないため実用化のレベルにある。

④ 配線層割付……多層配線が可能な場合、各信号の配線層を決定するもので実用化レベルにある。

⑤ 配線順序……配線順序が配線結果、特に不能解の発生状況、に影響を与え、その後処理の難易に関係するので適正な配線順序を決める必要がある。通常、ネット長、コネクタへの接続の有無、などに重みや優先順序を付けて決めている。

⑥ 配線設計……2点間配線問題として解く線分探索法、迷路法などと、初めに全ネット（チャンネル）を決め、次に具体的な詳細ルートを決定するチャンネル法があり、部品やゲートセル等の配列状況、配線条件などから判断して、選択・併用、または一部改善修正などとして用いている。

- ⑦ 設計チェック……実装設計結果を2つの視点からチェックするものである。
- (i) 論理的チェック……接続のミス、断線、ループなどの有無のチェック
  - (ii) 図形的チェック……パターン幅、スルホールや部品取付穴などの近接チェック、クロストークなど
- ⑧ 各種製造・試験情報作成
- 製造・試験設備への入力情報を紙テープや磁気テープなどの媒体に自動生成する。
- 主なものに次のものがある。
- (i) プリント基板の穴明NCドリル用紙テープ
  - (ii) フォト・ドラフタによるパターン図、シンボル印刷図、ソルダー・レジスト図作画用磁気テープ
  - (iii) 部品自動挿入機用紙テープ
  - (iv) 基板導通テスト用磁気テープ
  - (v) インサーキット・テスト用磁気テープ
  - (vi) マスクパターン作画用磁気テープ
- など

### 3) CADの問題点および今後の課題

#### (1) CAD手法

##### a. 論理分割手法

前述のように設計の評価となる基準や制約条件が多い上、数量化しにくいファクタも多くモデル化が難しい問題である。現在の技術レベルで解けば膨大な組合せ問題を解くことになり、実際には不可能に近い。従って実際には経験ある設計者の手によって決定されているのが実情である。モデルの設定、最適解法の手法開発も必要だが、設計者による分割がどの程度に基準や条件を満たしているかという評価を自動計算して設計者に知らせるようなインタラクティブな方法が実現性のある方法と考えられる。

##### b. 配置手法

種々の方法が提案されているが、いずれもヒューリスティックな手法であるため、適、不適、一長一短がある。配置問題の多くは総仮想配線長最小、最長配線の最小などを評価基準とした配置問題に帰着させているが、不能解が生じない配置、配線密度や発熱分布の均一なども評価に加えた手法が望まれる。配置・配線問題は本来切り離して考えることができない問題であるが、手法が複雑になるため分離、独立させて考えているところからも多くの問題が生じている訳で、仮想配線経路や仮想配線長の予測精度の向上を含めて、配

置配線問題を同時に扱う手法が望まれる。現在の手法は実用に供しているとはいふものの設計対象や、仮想線長の評価基準によって解が大きくばらつく欠点もいぬめなし、複雑なものは設計者による配置に劣る場合が多い。ますます大規模化、高密度実装化、多様化の方向の中で、現状では人手では不可能に近いという理由で精度の悪い解を用いねばならない場合もある。手法開発に一層の研究が望まれる。

### c. 配線手法

現在実用されている線分模索法、迷路法は2点配線問題化していることと、配線順序を前もって何らかの基準で決めているために、

- ① 同一信号ネットに着目したとき冗長配線が生じやすい。
- ② 配線順によって結果が左右されやすい。

などの欠点がある。②の欠点を補う方法にチャンネル法がある。これはLSIのようなチップ内の各種セルの配列構造と配線可能領域を持つものには適しているが、プリント基板に適用するには不向きである。今後の配線手法として次のものが期待されている。

- ① ネット単位の配線手法
- ② 配線順序に結果が左右されないか、左右される度合の少ない手法

### (2) CAD用ハードウェアの問題

#### (i) 廉価な高性能コンピュータ

実装設計のCADは扱う情報量が多く、かつ最適化の要求も強いので、かなりの部分を自動設計手法に依存し、本当に人間の介入が必要な場合にのみ対話的に設計を進めていくという方法を取らないと効果が激減してしまう。そのためにはかなりのコンピュータ・パワーを使用するので廉価な高性能コンピュータが必要である。

#### (ii) グラフィック・ディスプレイの能力・性能の改善

インテリジェント性を強化し、図形処理能力・機能および対話操作性の優れたものが望まれている。

### (3) CADシステム

#### (i) 設計データベース構築用ソフトウェアの整備

コンピュータ・メーカーが提供しているデータベースはオーバーヘッドが多く効率的でないものが多い。また専用データベースの開発には多くの労力、コストがかかるなどの欠点がある。リレーショナル・データベース、分散型データベース等をも加味した設計データベース用ソフトウェアの整備が望まれている。

#### (ii) 分散処理システムの研究

現在は論理設計CADから実装設計CADに至るトータルCADを実現する時代に来ている。CADソフトウェアの中には図形処理をインタラクティブに行うものもあれば、シミュレーション・プログラムのようにバッチ処理で長時間の計算を必要とするものなど、各種のタイプのものであり、それに見合ったコンピュータの選択が重要な課題となっている。即ちCADのための効率的なコンピュータ階層システム、相互の接続方式、分散コンピュータの具備すべき機能・性能、設計データベースの持ち方などを研究し、CADシステムの理想像を明確にし、実現させることが待たれている。

(iii) ミニコン使用のスタンドアロン・システムはコンピュータ能力が低い。

どのメーカーもスーパー・ミニコンへの移行などにより、コンピュータ能力のアップを計画しているようで、近々この点は改善されるであろう。

(4) システム運用

実装設計のCADシステムには、かなりの部分に自動設計が使用されているので、システムの開発担当者以外の者は使用法のノウハウを修得・蓄積するのに時間がかかっている。CADシステムを効率よく運用するためには、システムの利用者にこのノウハウが蓄積・伝達できる体制を取ることが必要である。

## 5.1.6 論理装置におけるCAD

ここでは実際に産業界あるいは大学・研究機関で論理装置についてどのようなCADシステムが実用化されているかについて簡単に述べる。論理装置のCADの現状に関する調査は、今までに何回も行われ報告書がでていますが、新しいものでは、情報処理学会電子装置設計技術委員会(1978年、調査対象は製造業16部門、大学3部門計19部門)<sup>9)</sup>によるものとM. A. ブルーアらによるもの<sup>1)</sup>(1978～1979年、調査対象は米国12、日本3、欧州3で合計18の企業や研究機関)がある。ここでは調査対象が日本だけでなく欧米を含んでおり若干新しいという理由から後者を選びその調査報告概要を説明する。なおこの調査の技術対象がLSIとプリント基板におかれているが、これは論理装置におけるLSIとプリント基板の重要な位置付けを考えれば当然であろう。また、報告書原文ではDAという用語が使われているが、これは本文中で用いたCADと同じ意味で使用されている。

1) DAシステムの現状

(1) 洗練度

各社のDAシステムについて、その開発段階を調査したところによると、次のような結果になっている。

- ・特定問題を扱う独立のプログラム…………… 6.6%
  - ・一般的な問題を扱う汎用のプログラム …………… 12.1%
  - ・データ変換プログラムにより、互いに情報交換ができる汎用プログラム群…………… 19.4%
  - ・他のプログラムの出力を入力として、連続的に実行できるプログラム群…………… 18.8%
  - ・共通のデータベースを介して、互いに情報交換できる汎用プログラム群…………… 43.1%
- 後に挙げたプログラムほど洗練度の高いプログラムと見なすことができる。

(2) DAハードウェア

DAシステムのハードウェア構成については、以下のような結果になっている。

- ・大型コンピュータ(バッチ)…………… 52.3%
- ・大型コンピュータ(対話型)…………… 28.1%
- ・ミニコンピュータ(バッチ)…………… 7.3%
- ・ミニコンピュータ(対話型)…………… 10.9%
- ・分散処理 …………… 1.1%
- ・その他 …………… 0.3%

一社を除く全ての会社が大型コンピュータを使用しており、また、対話型グラフィックシステムが極めて広く用いられている。

(3) ソフトウェア開発

DAシステムを構成するソフトウェアを開発している部門は次の通りである。

- ・社外 …………… 22.8%
- ・全社共通のDA開発部門 …………… 51.6%
- ・各部門内のDA開発グループ…………… 25.6%

このソフトウェア開発に関するデータと、前に挙げたDAシステムの洗練度との間には、相関関係が認められ、外部で開発されたソフトウェアに依存しているDAシステムは洗練度が低く、一方、自社開発のソフトウェアによるDAシステムは、非常に洗練されたものになっている。

(4) 設計時間

設計の各段階における、人・時間(マンアワー)の調査結果を示す。まず、設計過程を次の3段階に分けた。すなわち、①論理設計段階(方式設計, 論理設計, 論理検証を含む), ②実装設計段階, ③検査系列生成段階。

表5.1-3に各段階に要する時間を示す。

ここで興味深いのは、最も完成されたDAシステムを持つ16の会社は、実装設計に必要な

な時間が他社よりも1オーダー低いという事実である。

ゲート当りの所要時間は中規模回路が最も少なく、また、各段階に要する時間の比率は、ゲート数に関係なくほぼ一様である。すなわち、論理設計にかかる時間が全体の50%であり、次いで実装設計、検査系列生成の順である。

(5) システムの能力

DAシステムの、現状における能力を次の9項目について調査している。

①方式設計、②システム設計、③論理設計、④論理検証、⑤回路設計、⑥実装設計、⑦検査系列生成、⑧ドキュメンテーション、⑨データベース

システムの能力に対する評価を次の4段階に分ける。・役に立たない(0点)、・部分的に利用できる(1点)、・完成している(2点)、と重みづけし、各項目に対して、各社のDAシステムの現状での能力評価値を合計し、評価の高い項目から順に並べると以下のようになる。(1位)データベース、(2位)実装設計、(3位)回路設計、(4-5位)論理検証、検査系列生成、(6位)論理設計、(7-8位)システム設計、ドキュメンテーション、(9位)方式設計

DAの対象とする製品の設計過程が、方式設計から論理設計、さらに実装設計へと進むにつれて自動化の度も大きくなっている。

また、開発活動の面から見て、その活発なものから順に並べると以下のようになる。

(1位)検査系列生成、(2-4位)実装設計、データベース、論理検証、(5-7位)ドキュメンテーション、方式設計、システム設計、(8位)論理設計、(9位)回路設計  
以上のような調査から、次の結論が導かれている。

- ① データベースはどの段階においても重要であり、現状の能力においても、開発活動においてもトップにランクされている。
- ② 実装設計の自動化は、その効果が論理設計の自動化よりも大きいため重要視されている。
- ③ 回路設計システムは、現状のソフトウェアでもごく小規模回路に対しては適用可能であり、また著しい開発効果も見られないため、現状維持の状態である。
- ④ 開発活動の最も活発な分野として、検査の分野、特に検査系列の自動生成と診断プログラム自動生成がある。
- ⑤ 方式設計の分野におけるDA開発活動が低調である理由は、一般にはそれがDAの分野と考えられていないことによる。
- ⑥ 論理設計の分野においては、高位言語またはレジスタ・トランスファ・レベル(RTL)のモデリングと、シミュレーションが行われている。これはLSI回路がますます複雑化

表 5.1-3 設計時間<sup>1)</sup> (カッコ内は各設計時間の総所要時間に占める割合)

会社名	ゲート数 / IC(PCB)	利用技術	論理設計	実装設計	検査系列生成	総所要 時間	1ゲート当り 所要時間
3	600	ポリセル	45 (78%)	3 (5%)	10 (17%)	58	0.1
7	500	セミカスタム	280 (63%)	80 (18%)	80 (18%)	440	0.88
8	500	マスタスライス	340 (82%)	60 (14%)	15 (4%)	415	0.83
12B	550	マスタスライス	150 (61%)	60 (24%)	25 (12%)	245	0.44
16	300	マスタスライス	170 (96%)	3 (2%)	3 (2%)	176	0.59
		平均	(76%)	(13%)	(10%)		
3	6,000	PCB	500 (51%)	240 (24%)	240 (24%)	980	0.16
5	6,000	PCB	330 (57%)	50 (9%)	200 (34%)	580	0.1
7	1,000	LSIメモリ	480 (50%)	320 (33%)	160 (16%)	960	0.1
12A	10,000トランジスタ	セミカスタムLSI	3,500 (47%)	3,000 (40%)	1,000 (13%)	7,500	0.075
		平均	(51%)	(26%)	(22%)		
3	240,000		22,800 (54%)	9,600 (23%)	9,600 (23%)	42,000	0.18
8	38,000		21,000 (57%)	6,800 (22%)	3,200 (10%)	31,000	0.82
12B	120,000		49,000 (64%)	22,000 (29%)	15,000 (20%)	76,000	0.63
16	120,000		22,000 (89%)	2,000 (8%)	500 (2%)	24,500	0.20
		平均	(66%)	(21%)	(14%)		

していることによる。

- ⑦ 論理検証の分野では各社ともゲートレベル・シミュレータを使っているが、そのほとんどの会社は対話型シミュレータを開発している。
- ⑧ 実装設計の分野では、部品の配置・配線と設計ルール・チェックのDAが豊富で強力である。
- ⑨ 論理分割のDAに対する関心が乏しいのは、その自動化による効果が少ないと考えられているからである。しかし、VLSIの発達に伴ってこの状況も変わるものと思われる。
- ⑩ ドキュメンテーションの自動化では論理回路図の自動化に関心が高い。
- ⑪ データベースのタイプには、特によく使われているタイプは無い。

実装設計の段階におけるDAシステムの現在の完成度は次の通りになっている。

(1-2位) 配置・配線 (3位) 形状記述言語 (4位) 論理図照合検査 (5位) 経路遅延解析 (6位) クロストーク・チェック (7位) 電力消費 (8位) 分割

また、検査設計の段階におけるDAシステムの完成度の順位を以下に示す。

(1位) 故障シミュレーション (2位) 診断プログラム (3位) 検査系列生成

## (6) その他の結果

60%の会社が、DAは設計に必要であると考えている。しかし、驚くべきことに、DAは設計のためのツールとしての位置づけしかされておらず、開発や生産のマネージメントを支援するツールとしては殆ど考えられていない。したがって、部品の設計状況を管理するための自動化ツールを持っている会社は非常に少ない。また、DAシステムの稼働状況に関する統計データを集めている会社もほとんどない。

## 2) DAシステムの詳細分析

この調査は、各社を実際に訪れて行ったものである。調査項目は以下の通りである。

DAハードウェア、設計プロセス、検証シミュレーション、製品保証方式、実装設計、設計変更の処理、ドキュメンテーションの方法。

以下でそれぞれの調査結果について述べる。

### (1) DAハードウェア

ほとんどのDAシステムは、大型コンピュータを用いており、さらにAplicon、Calma、Computer-Vision等の対話型グラフィック装置を大型機に接続している。また、いくつかの会社では自社製のグラフィック装置を用いている。グラフィック装置は、主にカスタムLSIの設計、設計変更の処理、プリント基板やLSIの自動配線の補完に利用されている。外部供給のソフトウェアを利用するために、商用のリモート・コンピュータ・サービスを利用しているところもある。

### (2) 設計プロセス

設計プロセスは各社ともよく似ている。主な相違点は、どの段階がDAツールによって自動化されているかである。そして、例えば高性能装置を開発する場合に特にシミュレーションを集中的に利用するように、DAシステム内部での負荷は異なっている。特記すべきことは、論理設計の分野におけるDAの技術が、極端に不足していることである。

### (3) 検証シミュレーション

表5.1-4は、各社のシミュレーションシステムの特徴をまとめたものである。

この表より、方式レベルのシミュレータが数社で実用化されていることがわかる。また、大規模システムを開発している会社では、20k~500kゲードのシミュレーションが可能のようである。

LSI設計には、4値以上の多値論理シミュレータも用いられている。殆どの会社は自社製のシミュレータを持っているが、数社はTegas製のシミュレータを使っている。

一般的な傾向として、装置の高性能化にともないタイミングが問題となるため、シミュレー

表 5.1-4 シミュレーションによる設計検証の形態<sup>1)</sup>

(△は開発中であることを示す。)

会社 No	方 式 レベル	RTL レベル	ゲートレベル			回 路 レベル (電圧-電流)
			論理値	機能素子	ゲート数	
1						
2	○	○	23	○		○
3	○	△	2	○		○
4			3	○		○
5	○	○	2		40 k	
6			3			○
7			4または8	○		○
8	○	○	3		50 k	○
9			3	○	500 k	○
10			3			○
11			3	○		○
12A			3			○
12B	○	△	3	○		○
13						
14		△	5			
15			4-5		1 k	○
16		○	3	○	20 k	○
17		△	4	○	200 k	○
18	○	○	3		10 k	

シミュレーションの必要性は益々高まりつつある。また、部品の高性能化、多機能化にともない、高レベル素子を扱うことのできるシミュレータが増加しつつある。

(4) 製品保証

製品保証としては、プリント基板やLSIに対する設計ルール・チェック、専用装置による検査、品質管理グループによる信頼性分析等が行われている。プリント基板に対して行われるプロトタイプによる検証は、LSIに対しては行われず、もっぱらシミュレーションによる検証が行われている。

(5) 実装設計

表 5.1-5 は、プリント基板における分割、ICの論理割当、配置、配線、ルール・チェックの各問題について、DAシステムの処理形態をまとめたものである。

一般に、実装設計は自動システムによって行われているが、プリント基板への論理分割は

人手により行われている。また、対話型システムは、主として配置・配線に使われている。

#### (6) 設計変更の処理

設計変更の処理方法は、多くのDAシステムについて共通である。

LSIの設計変更の場合は、シミュレーション等、DAシステムの一部を再実行しなければならない。プリント基板の設計変更の場合は、DAシステムによって自動的に処理する場合と、人手で処理する場合がある。

設計変更柔軟に対応できるシステムはわずかであり、多くは設計変更のための特別な機能を持っていない。DAシステムを用いて構造化設計を行えば、設計変更への対応が容易になり、かつその発生を減少させることが期待されている。

表 5.1-5 実装設計における自動化の割合<sup>1)</sup>

	自 動	対話型	人 手
基板分割	0 %	0 %	100 %
論理割当	50 %	10 %	40 %
配置	45 %	30 %	25 %
配線	55 %	30 %	15 %
ルールチェック	90 %	0 %	10 %

#### (7) ドキュメンテーション

論理装置設計におけるドキュメンテーションには、各種の論理回路図、タイミング・チャート、マイクロ・プログラム、フローチャート、組立て図等がある。これらのドキュメンテーションを自動化すれば、設計コストの低減、品質の向上、保守管理の容易化等で効果が大きい。

### 3) 要約および結論

調査で得られた事実を以下に要約する。

- ① DAシステムは、一般に共通のデータベースを介した汎用プログラム群によって構成されている。
- ② DAシステムのハードウェアは、汎用コンピュータから成り、これに市販の対話型グラフィック・システムを接続し、システムの機能を強化している。
- ③ DAシステムの50%は、社内のDA開発担当部門で開発されたものである。
- ④ 論理設計は、全設計過程の50%の人工が必要であるが、この分野の自動化ツールはほとん

ど使われていないのが現状である。

- ⑤ 方式レベルおよびRTLシミュレーションは、大規模システム的设计者によってよく利用されているが、方式レベル・シミュレーションはDAシステムの一部として取り扱われていない。
- ⑥ プリント基板やマスター・スライスLSIにおける自動レイアウト・システムは、よく使われており、実績を上げている。
- ⑦ 検査系列生成、故障診断システムは、まだ低レベルにあるが最も活発に開発の進められている分野である。
- ⑧ 論理設計における設計検証、論理証明にはほとんど努力が払われておらず、もっぱら、シミュレーション実行、プロトタイプまたは“一号機”の製作が行われている。

## 参 考 文 献

- 1) M.A. Breuer, A.D. Friedman, A. Iosupovicz : A Survey of the State of the Art of Design Automation, IEEE Computer, Vol. 14, No. 10, 1981.
- 2) M.A. Breuer : Design Automation of Digital Systems, Vol. 1, Theory and Techniques, Prentice-Hall, 1972.
- 3) M.A. Breuer : Digital System. Design Automation : Languages, Simulation and Data Base, Computer Science Press, 1975.
- 4) 樹下行三編 : 論理装置のCAD, 情報処理, 1981.
- 5) M.A. Breuer : General Survey of Design Automation of Digital Computers, Proc. IEEE, Vol. 54, No. 12, 1966.
- 6) M.A. Breuer : Recent Developments in the Automated Design and Analysis of Digital Systems, Proc. IEEE, Vol. 60, No. 1, 1972.
- 7) 論理装置の設計自動化 — 論理装置の設計  
自動化専門委員会報告, 電気学会, 1970.
- 8) 計算機設計自動化研究委員会報告 46, 47年度, 情報処理学会研究会報告, 1973.
- 9) 電子装置設計技術研究委員会 : 電子装置のCAD (1)~(4), 情報処理, Vol.20, No 11 ~ Vol.21, No 2, 1979~1980.
- 10) 倉地 正 : コンピュータの設計自動化(1)~(4), 情報処理, Vol.18, No 6 ~ No9, 1977.
- 11) 電子通信学会編 : 電子装置のCAD
- 12) J.R. Duley and D.L. Dietmeyer : A Digital System Design Language (DDL), IEEE Trans. on Computers, Vol. C-17, No. 9, 1968.
- 13) Y. Chu : Introducing CDL, IEEE Computer, Vol. 7, No. 12, 1972.
- 14) J.R. Heath, T.T. Cwik : CDL-A Tool for Concurrent Hardware and Software Development?, Proc. 14th DA Conf., 1977.
- 15) W.M. VanCleave : An Hierarchical Language for the Structural Description of Digital Systems, Proc. 14th DA Conf., 1977.
- 16) C.J. Evangelisti, G. Goertzel, H. Ofek : Designing with LCD, Language for Computer Design, Proc. of 14th DA Conf., 1977.
- 17) J.H. Stewart : LOGAL. A CHDL for Logic Design and Synthesis of Computers, IEEE Computer, 1977.
- 18) T.M. Williams, L.C. Widdoes : SCALD, Structured Computer Aided Logic Design, Proc. 15th DA Conf., 1978.

## 5.2 自動車工業・重工業

工業におけるコンピュータの技術分野での利用は既に20年余を経過して、その適用分野も製品の開発、基本計画・設計の段階から製造、検査などにいたるまで、極めて広い範囲に及んでおり、今や必要不可欠の道具として盛んに活用されている。

コンピュータの利用は、初期の極めて単純な技術計算から始まって、順次高度、複雑なものへ進むとともに、いわゆるシステム化が行われ、ファイル（あるいはデータベース）を中心としてそこに収納したデータを駆使する形の利用も行われるようになった。それも最初はプログラムの中でファイルのデータをよびだして使い形式から、キャラクタ・ディスプレイその他キーボードつき端末機から対話形式で使用する形態へ発展した。更にグラフィック・ディスプレイを用いてコンピュータと対話しながら図形に処理をほどこし、必要な場合には関連する技術計算もあわせ行って製品の設計を進めることも行われるようになった。

しかしながら、このいわゆるCAD、あるいはNC（数値制御）機械加工と結びついたCAMも、実際に活用されている例は現状ではそれほど多くはない。その理由としてコンピュータ技術面から言えば、ハードウェアとソフトウェアで使用者側のきびしい、高度な要求にこたえられ、かつコスト的にも使用にたえうるものがなかなか得られなかったことがあげられる。また、CADあるいはCAMの対象となる業務が、コンピュータ化するのに必要な標準化その他のいわゆる土壌の整備が不十分で、そのままコンピュータ化したのでは効果が期待できない、といった事情もあった。コンピュータのハードウェアならびにソフトウェアのめざましい進歩は、最近になって漸く使用者側の要望をかなりの程度までみたすものを提供できるようになり、国内のみならず国際的にも激化している競争を勝ちぬくための強力な手段として、CADないしCAMはこれから急速な普及がはかれるものと思われる。

以下にて業におけるCADないしCAMの実例として、自動車、航空機、原子力発電プラント、および造船の各分野における代表的なものを取り上げて説明したい。

### 5.2.1 自動車工業

#### 1) CAD先駆者としての自動車工業

“DAC-1”，CAD関係者にとってはあまりにも有名なシステムである。GM（General Motors）によって開発され、SketchpadとともにCADの先駆者としての役割を果たしている。総論で述べたCAD Projectの一翼を担う形でこのシステムの開発はスタートした。図5.2-1はCRTディスプレイ上に現れたDAC-1の出力例であるが、当時の文献<sup>1)</sup>によれば現

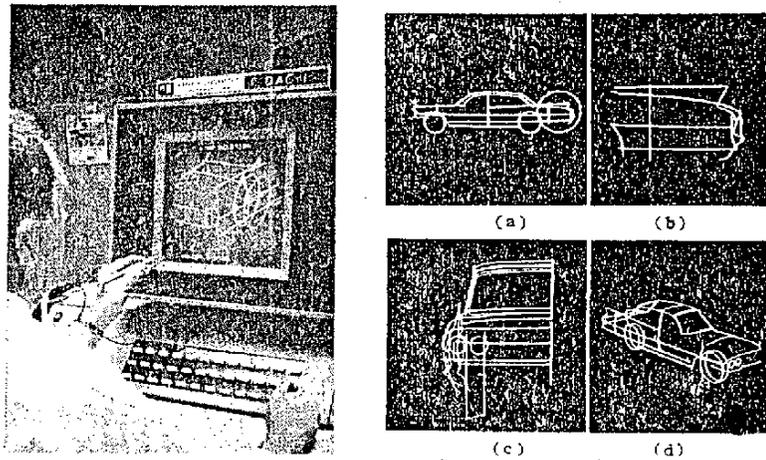


図 5.2-1 DAC-1 システムの操作

在のターンキィCADシステムのほとんど概念が盛り込まれていることに驚かされる。

自動車工業のCAD先駆者としてのもう一つの特筆すべき事項は、Fairing など自由曲面処理に果たした役割である。Coons パッチは自動車工業にいち早く取り入れられ、長い間ボディ設計に活用されている。その後 Bezier 曲面が現れると、仏国ルノー社は早速 Bezier を迎え入れ、大がかりな自動車ボディのCADシステムを開発した。

CAE的アプローチに関しても、車体の応力、歪解析やモーダル解析、エンジン関係のラボラトリ・オートメーションの開発なども早くから行われている。

## 2) 自動車ボディにおけるCAD/CAMシステムの現状とCAE

前項に述べたように自動車工業のCAD/CAMはボディ開発からスタートし、現在それがサーフェス・モデルのレベルで一応完成に近い段階になっているといえる。

最初に自動車ボディのCAD/CAMの全行程をトヨタ自動車㈱のシステムを例にとって示すと図 5.2-2 (トヨタ自動車発表2)~4) から引用。以下トヨタとして示した図面も同様に公開印刷物からの引用である)のごとくである。アイディア・スケッチからクレイモデルの製作、計測、ボディ線図の自動作図……、そしてブレイ金型の製作に至るまでの行程の中で図に示されるように種々を形でコンピュータ・ソフトウェアの援助が行われている。まず、クレイモデルからの測定値をもとにフェアリング、スムージング、ハイライト処理(ハイライト・ラインといわれる反射線がデザインにとり入れられている場合、予想通りハイライト・ラインが浮き出るかどうかをチェックし、もし、それが不十分な場合にはデータを修理する)などを行って、これをボディ外板図として自動作図する(図 5.2-3)。これはいかなればスタイル・デザイ

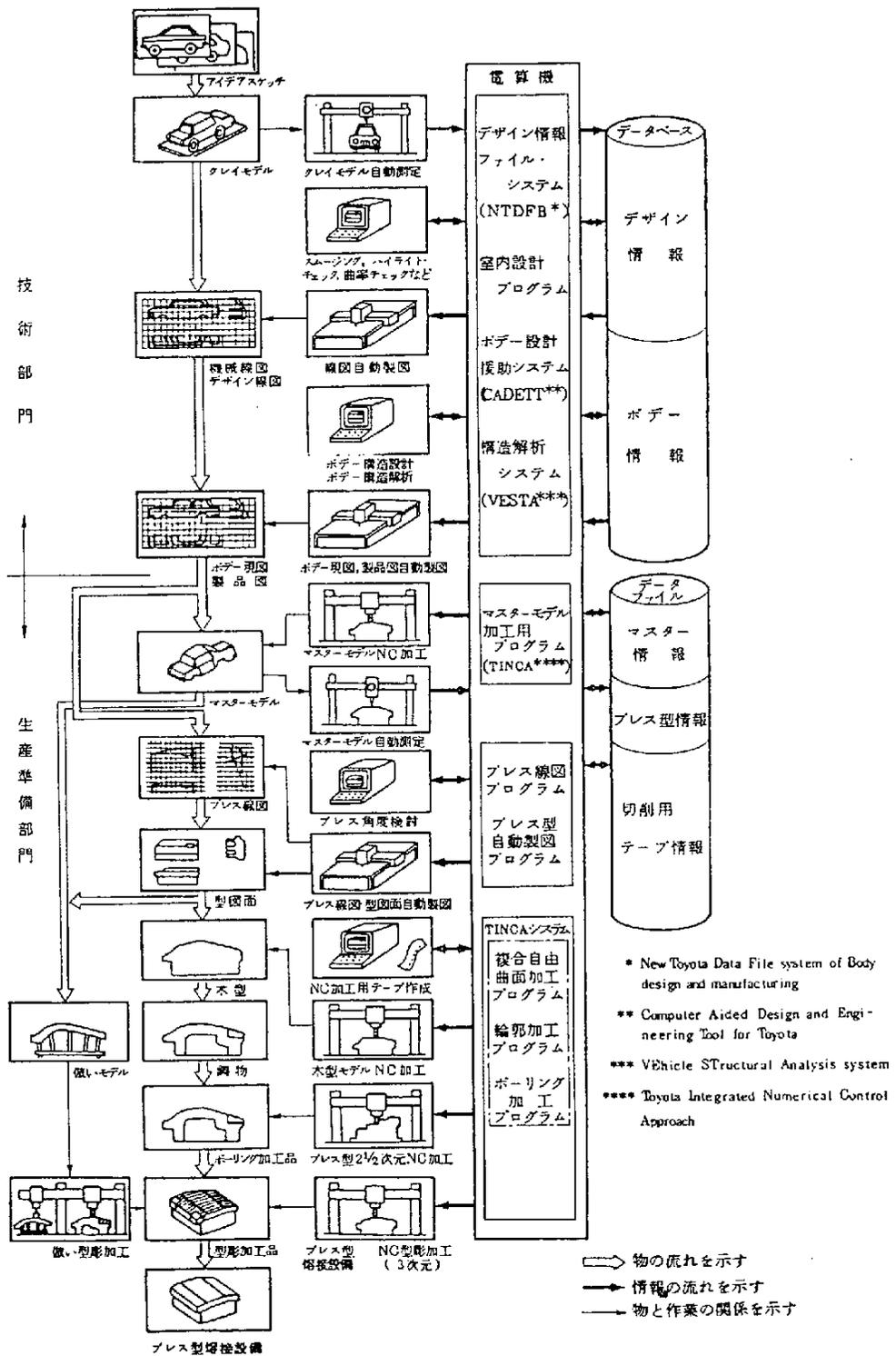


図 5.2-2 ボディ開発のためのCAD/CAMシステム(トヨタ)

ンの部分であり、ボディ設計の基礎データを与える。スタイル・デザイン・データはこれを分割して、ドア、ボンネット、トランクなどボディ部品の外板曲面の直接データとなる。設計者がこれに手を加えて曲面の境界などを与え、部品として切り出して後、内板曲面を外板データを参照しながら作り出す。図5.2-4には日産自動車のCAD/CAMシステム(文献5)から引用)の流れを示すがクレイモデルから1次、2次が作られ、これより構造線図、外板図面、内

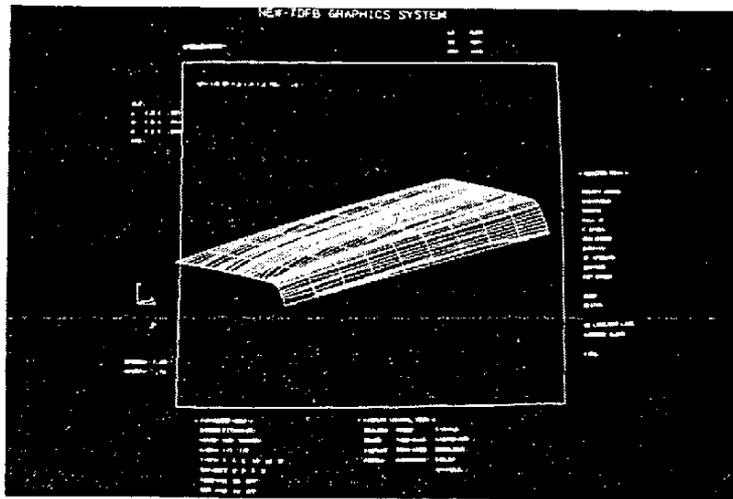
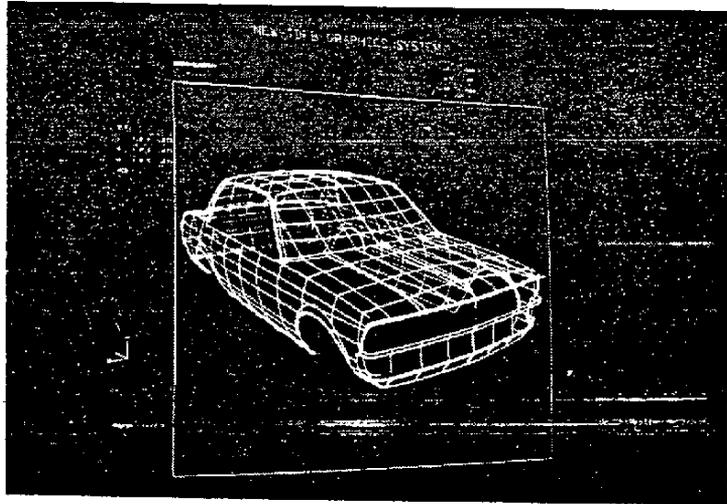


図5.2-3 ボディ外形作図とハイライト処理(トヨタ)

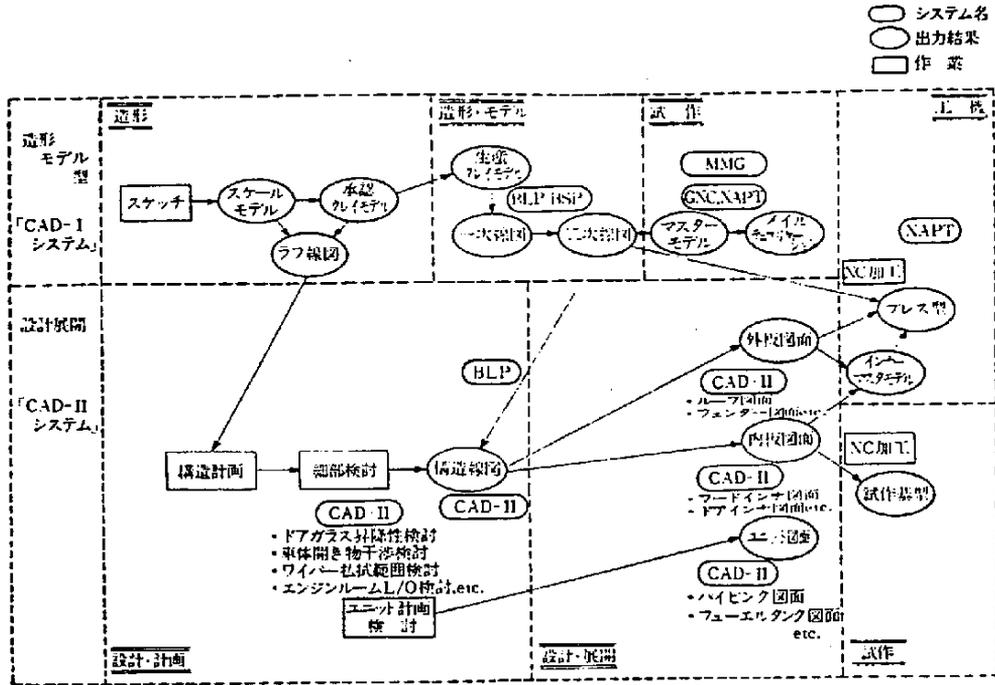


図 5.2-4 ボディ開発用 CAD/CAM 構造図 (日産)

板図面の描かれる過程が互いの関連を伴って示されている。図 5.2-5 にはドアの斜視図と製作図が示されているが、これらの基礎データにはスタイル曲面のデータが用いられている。このように一つの基礎データをもとにしてコンピュータ・エイデッドに次のデータを生み出すことは CAD の特徴の一つで能率の点ばかりでなく、誤りを防ぐ上で効果的である。以上は幾何学データの処理のみによってインタラクティブに図面を作るシステムであるが、単純な Computer - Aided Drawing システムではない。高度にデータ処理が行われている。例えば、ドアについていえば窓ガラスの昇降性の検討、ドア開閉時の干渉検討などのチェックがシミュレーション的になされるのである。この後、データはさらにマスターモデル製作あるいはプレス金型の製作に利用されることになる。図 5.2-6 ~ 8 はプレス金型の設計のための情報製作過程の一部を示している。

このような自動車ボディの CAD/CAM システムは分類的にいえば、自由曲面と線織面 (円筒面, 平面を含む) をサポートするワイヤ・フレーム型の CAD を基調としている。図 5.2-9 に示すようにその機能はかなり高いことがうかがえる。ここで図 5.2-2 を改めて見ると、CAE への萌芽が随所に見られる。まず最も CAE らしい部分は構造解析ルーチンである。図



5.2-10がその例でありFEMによって応力や歪解析を対象としたシミュレーションを行っている。次にデータベースがある。ここに種々の情報が詰めこまれている。もちろんボディ・スタイルの情報もあれば室内設計のそれもある。これらを駆使して設計を進めることはCAEへの一歩となるに違いない。さらにトータル・システムへの方向がはっきりと現れているが、これはまたCAEシステムを構成するための条件である。

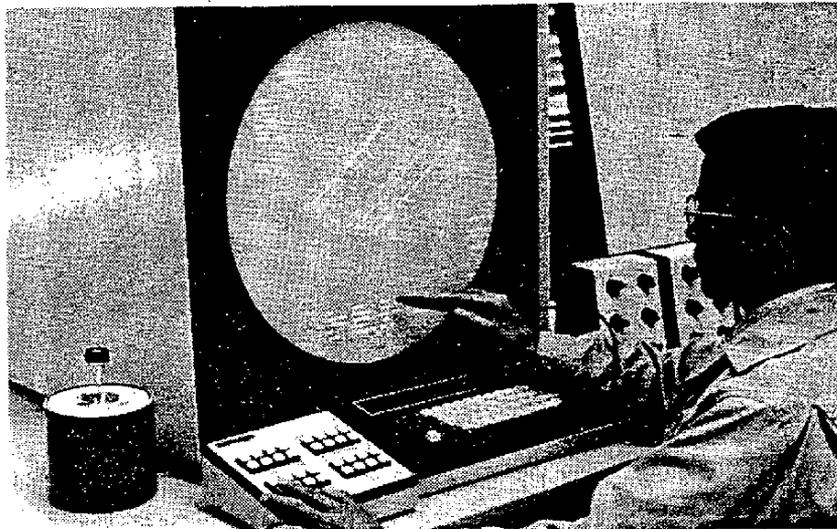


図5.2-6 グラフィックディスプレイ上での  
プレス型設計(トヨタ)

以上トヨタ、日産の場合を例にとりて説明したが、我国の他の自動車会社もそれぞれ同種のシステムを開発している。

CAEのキャンペーンを行っているSDRC社ではすでに自動車CAEに関して次のような経験を挙げている。

- 自動車用解析モデルの作成、これによって振動、乗り心地などを調べる。
- 車輛の抗力の解析
- 車輛の音響モデル(室内空間と内装パネルの結合モデル)による音響解析
- 部品の最適配置場所の設計
- 重量計算による軽量化設計

近い将来これらは統合されCAEシステムを構成することになる。

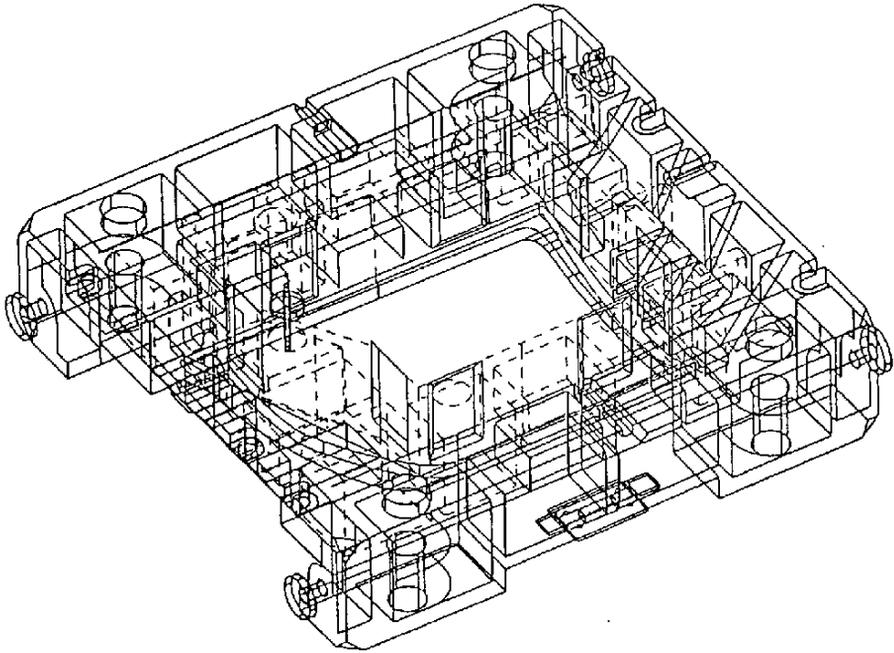
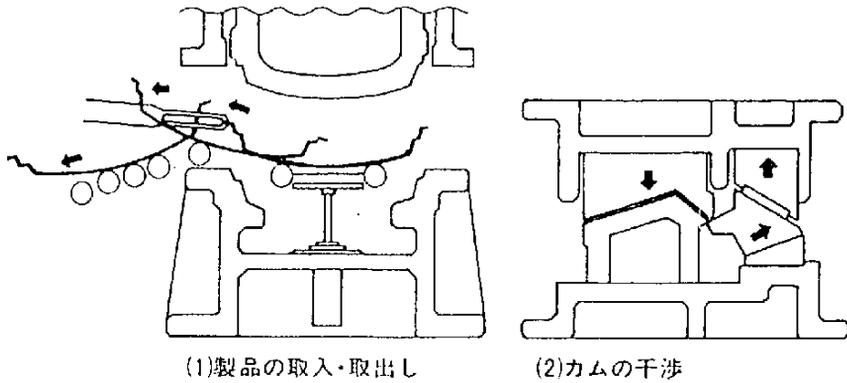


図 5.2-7 プレス絞型のワイヤフレーム斜視図(トヨタ)

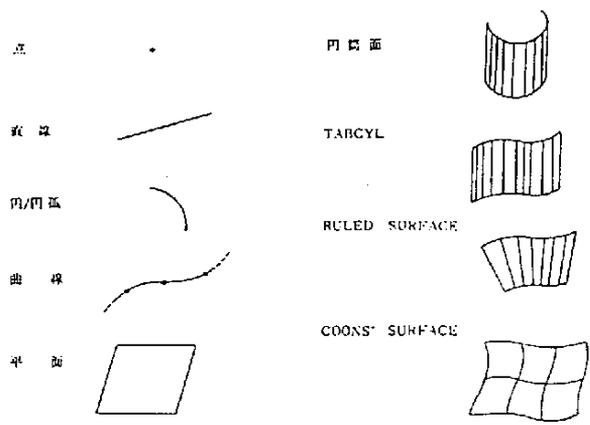
型作動時の干渉チェック(ブロック配置の応用)



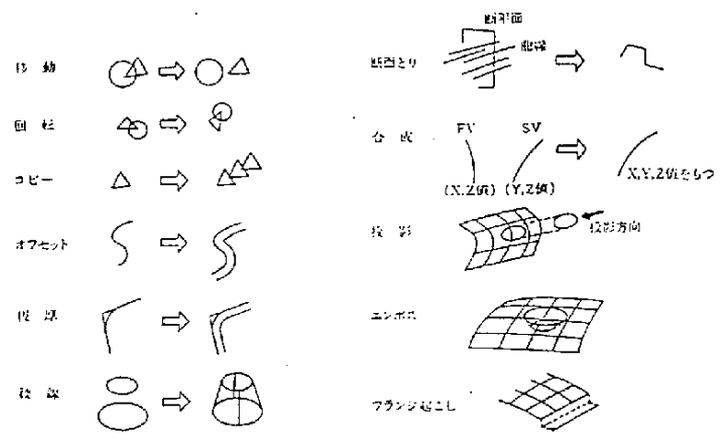
(1)製品の取入・取出し

(2)カムの干渉

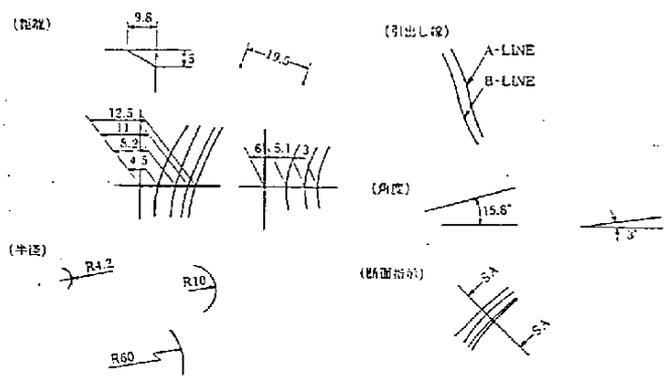
図 5.2-8 プレス型作動状態の検討(トヨタ)



図形要素

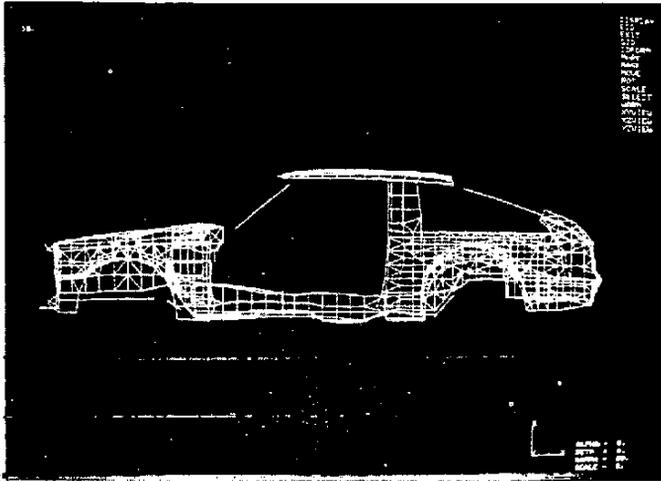


図形定義機能

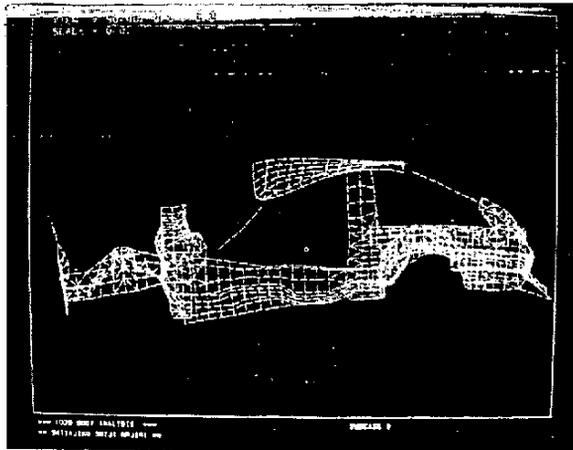


寸法線

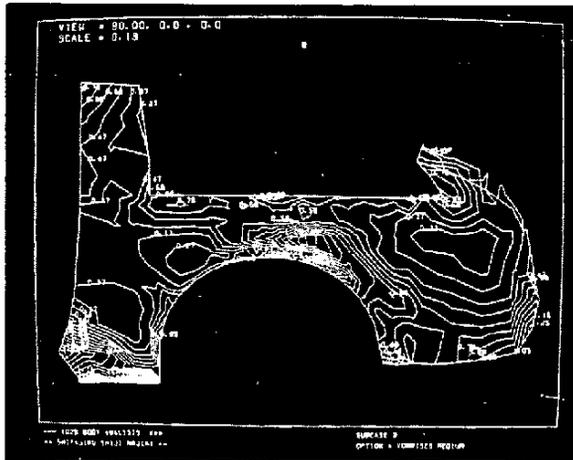
図 5.2-9 自動車CAD/CAMシステムの図形処理機能



構造解析モデル  
の例



モード変形の表示例



応力の表示例  
(クォーター・パネル)

図 5.2 - 10 自動車車体の構造解析

### 3) GMに見る3Dソリッド・モデラー-GMSOLID利用のCAE

先に述べたようにGMはCADの開祖の一つであり、CAEにおいても先進的な試みがなされているようである。すでにCADANCEと呼ばれるボディ開発のシステムがあり、トヨタ、日産の場合同様ボディ外板設計、内部のインテリアデザイン、金型設計に利用しているほか、NASTRANに結合して、ボディ外板の強度解析、変形解析が行われている。ここで特に取り上げたいのは3次元ソリッドモデラー-GMSOLIDとその利用である。すでに総論で触れたように本格的CAEは完全モデルによって行われねばならないので、ソリッド・モデラーの開発と活用がキイになっている。General Motorsは世界に先がけてソリッド・モデラー利用のCAEに取り組んでいる点で各方面から注目されている。GMSOLIDはPADL開発者の一人であるJ.W. Boyseを中心とする十数人のチームによって開発されつつあり、すでに1981年秋各工場設計員に訓練を開始し、実用設計に利用を始めている。図5.2-11のようにプリミティブのセット・オペレーションによって形状を定義することを基礎に図5.2-12のようにインタラクティブにトリー型ボトムアップ式組立プロセスを経て部品形状を記述する。図5.2-13のようなクランク・シャフトの記述にはほぼ20時間を要したとのことである。この入力データはインタラクティブ入力の過程で直ちにBoundary Representationと呼ばれる面構造に置き換えられ、形状データを構成する。各面はその境界をエッジと頂点によって構成するデータ構造としてストアされる。面は平面と2次曲面だけであるが境界線は厳密解として与えられる。プリミティブとしては直方体、円筒、円すい、円すい台、球、スィープ形状の6種がある。入力のためのきめの細かい命令群が極めて親切なメニュー方式で用意されている。図5.2-14~16を見れば、いかにインタラクティブ入力方式が工夫されているかを知ることができる。またこれらの図はGMSOLIDが図5.2-14のようにプレス金型を設計したり、図5.2-15に見るように重量、体積、重心、表面積、慣性モーメントなどを求め得ることを示している。これを使ってのCAEシミュレーションの一例を図5.2-17, 18に示す。これはエンジン燃焼室の特性シミュレーションである。

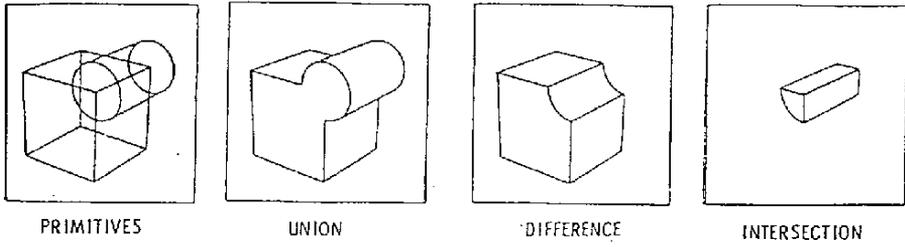


図 5.2-11 プリミティブのセットオペレーション (GM)

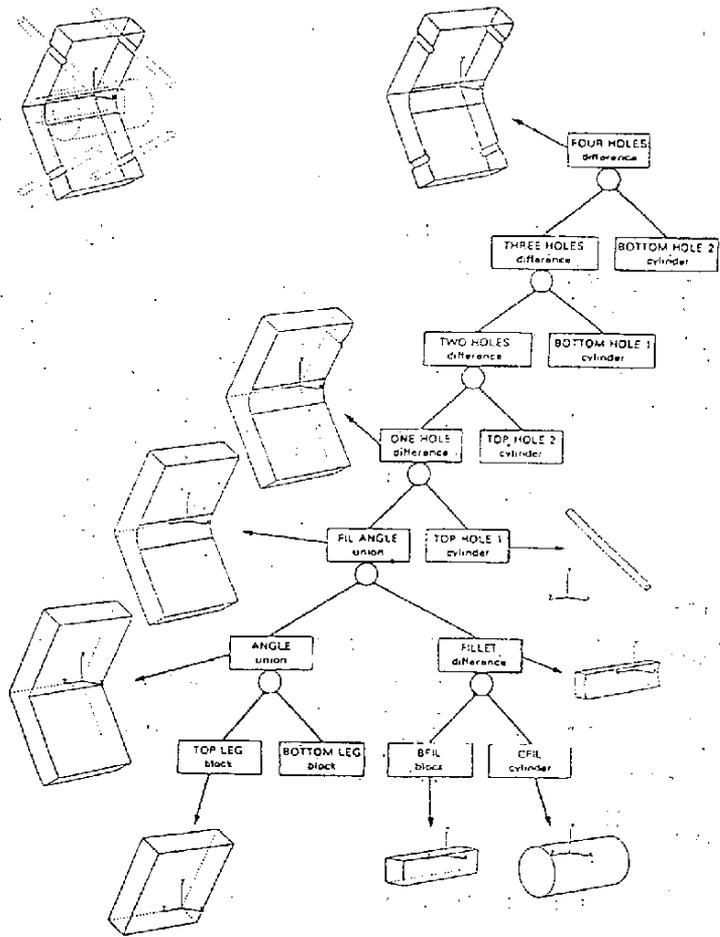


図 5.2-12 トリー型インタラクティブ形状記述 (GM)

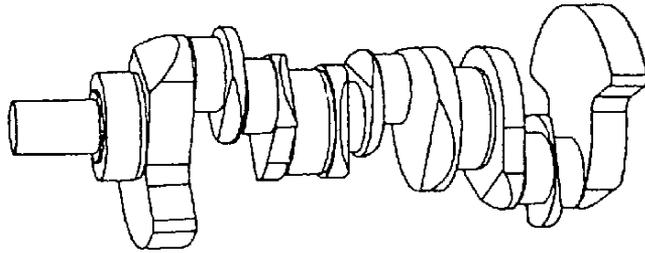
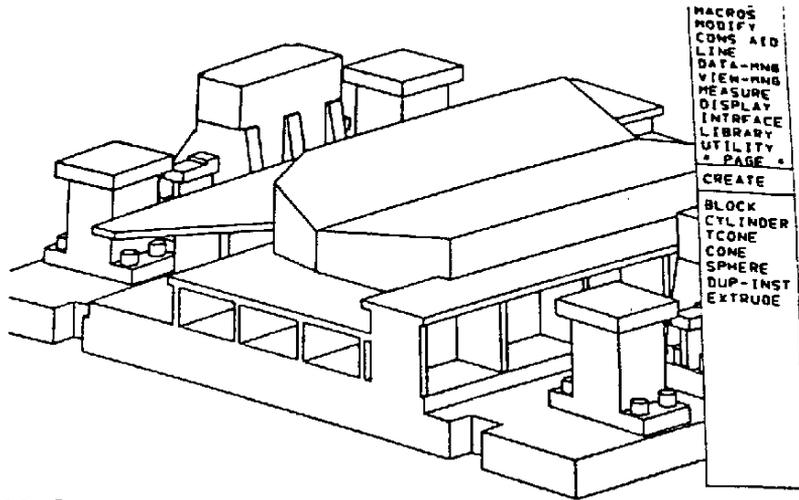


図 5.2-1 3 GMSOLIDの扱う対象例—クランクシャフト (GM)



- MACROS
- MODIFY
- CDMS AID
- LINE
- DATA-RMB
- VIEW-RMB
- MEASURE
- DISPLAY
- INTRFACE
- LIBRARY
- UTILITY
- \* PAGE \*
- CREATE
- BLOCK
- CYLINDER
- TCONE
- COMB
- SPHERE
- DUP-INST
- EXTRUDE

READY

PROCEED OUT RESTART VIEW SCALE P M SH F D A S1 D1 S2 D2 S3 S4 RECORD		<b>CUT SOLIDS</b> (+) PICK SOLIDS -PLANAR HALFSPACE- NORM VECTOR WITH DIST. (SC) -OPT- BASE POINT & KEEP SAME DIR	-OUTPUT SOLIDS- NEW * MODIFY
---	--	---	------------------------------------

図 5.2-1 4 GMSOLIDのコンストラクティブ入力のためのグラフィックスクリーン (GM)

```

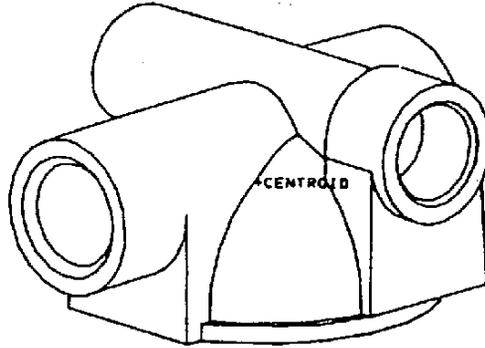
MACROS
MODIFY
CONS AID
LINE
DATA-HND
VIEW-HND
MEASURE
DISPLAY
INTRFACE
LIBRARY
UTILITY
PAGE
MEASURE
MASSPROP
ANGLE
PT-DIST
PT-ID
RADIUS

```

```

DENSITY= 1.000E+00 CUBIC MILLIMETERS
MASS: 4.004E-05 GRAMS
VOLUME: 4.004E-05 CUBIC MILLIMETERS
CENTROID: LC= 4.069E+00,MC= 3.455E+00,NC= 3.055E+01

```



READY

PROCEED

OUT

RESTART

VIEW

SCALE P M S M F D A

S1 D1 S2

S3 S4

RECORD



MASS PROPERTIES

(+) PICK SOLID(S)  
 -(STO) MASS,CENTROID,VOLUME-

OPT-  
 MOMENTS OF INERTIA  
 PRODUCTS OF INERTIA  
 SURFACE AREA

REL QUALITY(1-9)= 0 5  
 (1=BEST,9=WORST)

-MATERIAL DENSITY-

STEEL @ .00783 G/MM<sup>3</sup>  
 ALUM @ .00270 G/MM<sup>3</sup>  
 \* OTHER @ (1)

-MOMENT OF INERTIA-  
 -ABOUT ANY AXIS-

VECTOR -OPTIONAL-  
 L N M -ORIGIN-  
 PT1 PT2 PT

図 5.2 - 1 5 マスプロパティ計算コマンドの例 (GM)

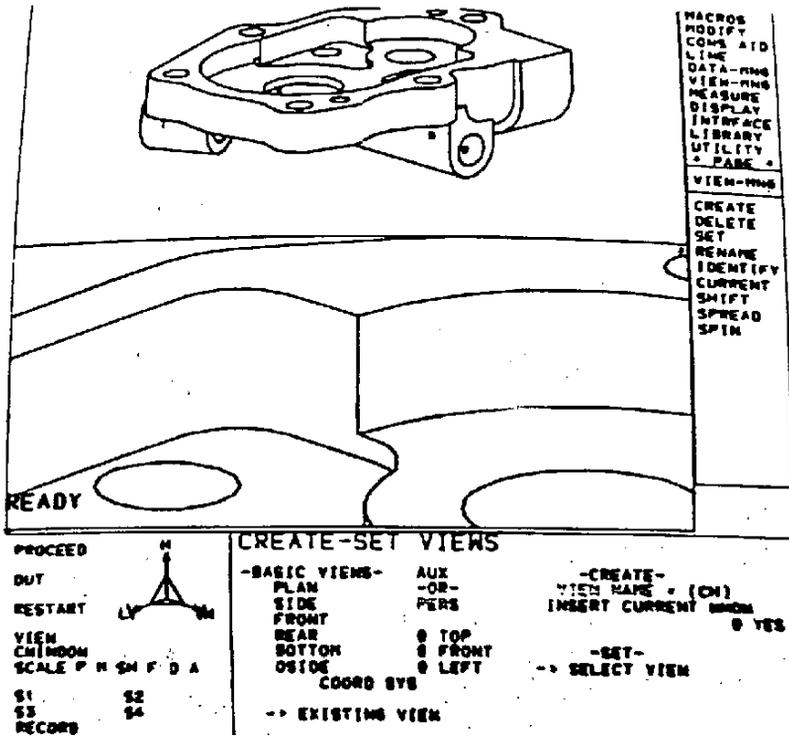


図 5.2-16 マルティプルウインドウ (GM)

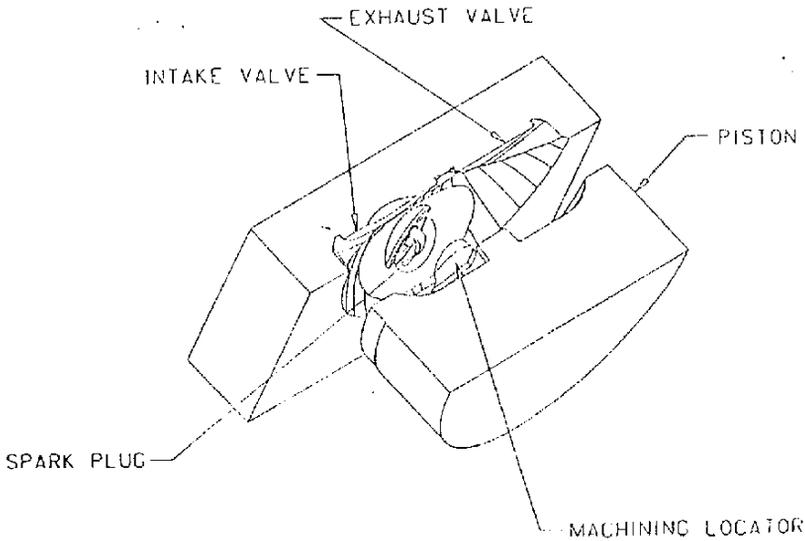


図 5.2-17 エンジン燃焼室のモデル

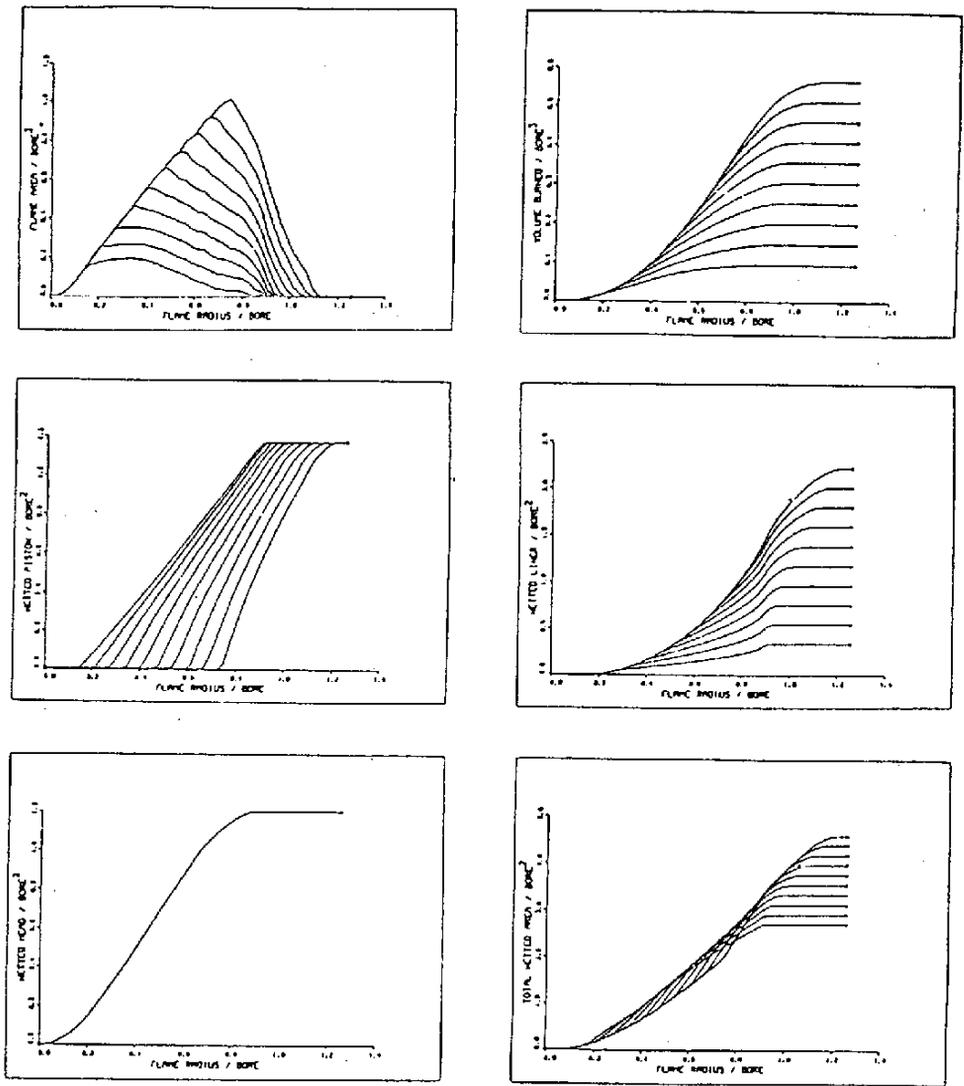


図 5.2-18 エンジン燃焼室の体積/表面積の計算

参 考 文 献 ( 5.2.1 節 )

- 1) G.S. Dever, The DAC-1 System, Datamation, Vol.12, 1966, P37
- 2) 水谷, トヨタ自動車工業におけるCAD/CAMシステム, UNIVAC, IZU EXECUTIV SEMINAR資料, 1981-11

- 3) 蔵永 他 対話型ボデー設計援助システムの開発, トヨタ技術, 31巻1号(1981) P.84
- 4) 水谷, 自動車工業におけるCAD/CAM, 情報処理 Vol.21 No.2 (1980) P.154
- 5) 中村 他 設計電算化システムCAD-II, 日産技術, 14号(1979) P.175

## 5.2.2 航空機関係

第2次世界大戦終了後約10年たって日本の航空機産業が再開されて以来, この業界は米国の強い影響の下で発展してきた。米国でも航空宇宙産業界は, あらゆる分野での最新技術を総合した製品を生みだしてきたのであるが, 技術提携などを通じてそれらの技術が我国にも導入されて, 技術的に最先端をゆくものが作られてきた。それを支えるものとしてコンピュータの適用においても, この業界は産業界をリードしてきたのであった。以下我国の航空機産業におけるCAD/CAMの代表例として, 三菱重工の場合を主体にして説明する。

CAD/CAMは元来米国の航空宇宙産業界を中心に発展したシステムである。これはコンピュータ技術を設計と製造の種々の分野に活用するものであるが, 設計から生産までの一連の業務の流れを考へて, 種々の分野のシステムを有機的に結合し, いわゆるトータル・システムとして取り扱うことによって, より大きな効果を生み出すことを目的としたものである。

三菱重工の場合にCAD/CAMシステムの導入が開始されたのは約8年前であるが, その時点で既に次にのべるシステムが開発されて実用化が進められていて, これらが背景となってCAD/CAMの発展がうながされたのであった。

**MDシステム** MD (Master Dimension) システムとは, 航空機の機体外形々状と基本構造形状を数式を用いて定義し, これを形状の原器 (マスター・ディメンション) として設計から製造までの形状を扱う業務に使用するシステムである。数式はさらにコンピュータ処理を行って, 所要断面形状を密な点列データ (MDI = Master Dimension Identifier) にして, これを共通データベースにたくわえる。そしてこれを線図の自動製図システムや治具モデルの製作に利用するのであるが, このシステムの導入により, 従来使用していた手書き線図が不要になって, 精度の向上や新機種の開発期間の短縮もたらされた。

**UDDの自動製図とテンプレートのNC加工** UDD (Un-Dimensional Drawing) とは板金加工部品の展開形状 (現図) を原寸で直接マイラー用紙にかいた図面をいうが, 寸法が図面上に指示されていないのでこの名称がつけられた。UDDをつくるのにはMDシステムを用いて必要な形状線, オフセット線, 基準線などをコンピュータ処理で作出し, 自動製図機で作図し, 部品形状の残りを手書きで追加して図面を完成させるシステムが開発された。

UDDからテンプレートを作るには、従来はマイラー用紙からアルミ板に写真転写で形状を写し取って手仕上げで製作していた。これに代って自動読取機(ディジタイザ)とNCテンプレート加工機を導入し、前者のあわせもっているNCテープ作成機能を利用してNCテープを作って、それをテンプレート加工機に使用してテンプレートを製作するようになった。これにより工数の低減と精度の向上がはかられたのである。

機械加工のNC化 航空機部品の複雑な形状を加工するのに、約20年前に初めてNC工作機械を導入して以来NC工作機械を活用している。部品を加工するNCテープを作るためには、コンピュータを利用したNCプログラミング・システムが必要不可欠であるが、このためのソフトウェアとしてはAPT(Auto-matically Programmed Tool)が使用されている。

これはNCテープ作成のための自動プログラミング・システムで、高度な図形処理機能をもっている。

(1) CAD/CAMの導入と展開 上記のような背景のもとで、CAD/CAMシステムの導入がはかられたが、導入に当っては、

- ① 対話形式による部品・組立品の設計製図
- ② 対話形式による治工具設計・製図とNCプログラミング
- ③ NC工作機械の信頼性と能率の向上
- ④ 既存システムの充実、拡大

などがその目標としてえられたのである(図5.2-19参照)。

(2) 技術計算 航空機向けの技術計算用プログラムは多数開発され実用に供せられていたが、全体的見直しを行って、既存のプログラムを体系的に整備するとともに、体系化に伴って必要性が明確になった未開発プログラムや、新技術の導入に伴って必要の生じたプログラムが新たに開発された。またキャラクタ・ディスプレイを導入して対話形式のコンピュータ処理も可能となったが、さらに図形処理を伴う技術計算のためにはグラフィック・ディスプレイが導入されたことによって、グラフィック・ディスプレイ上の図形をみながら対話形式で作業が行えるようになった。この結果、解析面での技術力の向上、計算所要時間の短縮などの効果が得られている。

(3) 設計・製図とCADAMの導入 航空機の設計図面は通常1機種で約1万点、設計変更をふくめるとその2倍となり、図面の作成・維持には膨大な手間がかかる。この合理化をはかるために設計・製図の自動化が企てられたが、それは図面情報の数値化、コンピュータ・ファイルによるデータの一元化、後工程におけるCAMへの直結化、図面作成維持の効率化などをその内容としている。

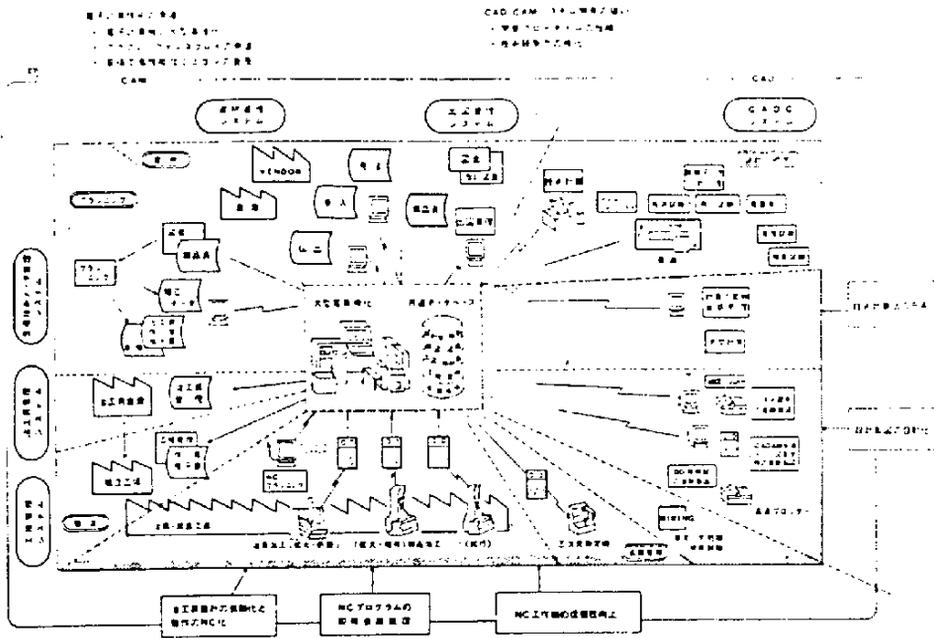


図 5.2 - 1 9 CAD/CAM導入展開

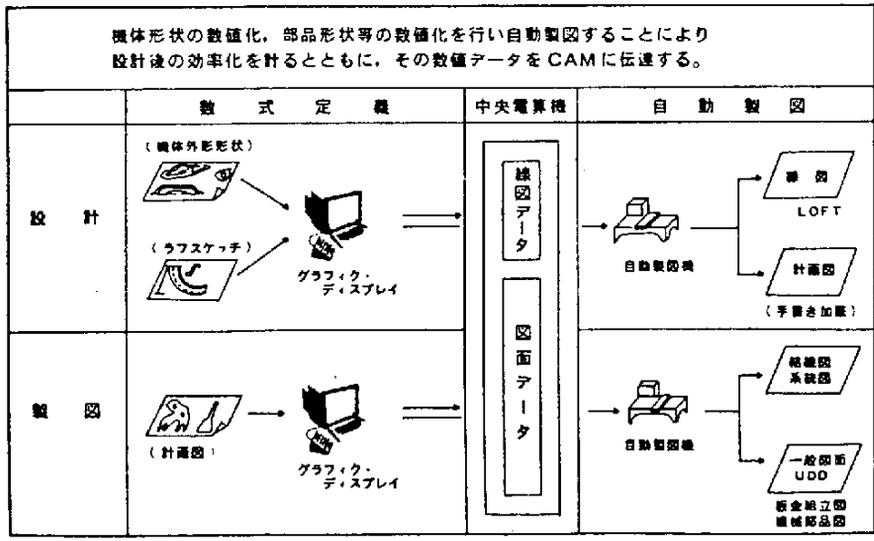


図 5.2 - 2 0 設計製図フロー

自動製図には、入力データをパンチカードを介してコンピュータに入れて一括処理を行うバッチ方式と、グラフィック・ディスプレイにライトペンで図形をかきコンピュータに入力する対話形方式とがあり、通常は後者を主に、前者は補助システムとして運用するようにした。コンピュータにファイルしたデータは、XYプロッター、ドラフター、静電プロッター、COMなどを使用して、それぞれの用途にあわせて目に見える形に出力して図面を得るのである（図5.2-20参照）。

上述のグラフィック・ディスプレイを使用するシステムには、対話形の図形処理ソフトウェアが必要になるが、検討の結果自社開発はさせて、米国ロッキード社のCADAM（Computer graphics Augmented Design And Manufacturing system）を導入した。

このシステムは必要な図形処理機能を備えていて、操作性・応答性に優れ、CAD/CAMシステムの共通データベースとなる大容量の情報が処理できる、他システムとの結合が容易である、NCプログラミング機能をもっている等の理由から選ばれたのであった。図5.2-21はこのシステムを利用して得られた組立UDDのサンプルである。

(4) 治工具設計・製作へのCAD/CAMの適用 CADAMの導入により、データベースにはいつているMDシステムでつくられた機体外部形状データや、設計部門でつくられた図面データをよびだしてグラフィック・ディスプレイ上に表示し、それをもとに治具形状を設計できるようになった。さらにCADAMのNCプログラミング機能を使って、設計した治具を加工するNCテープがつくられるようになった。図5.2-22に設計部門の設計データを治工具設計からNCプログラミングへ連続的にオンライン処理で一貫作業をする流れを示している。これによって、治具設計の効率化、製作の精度向上、設計製作の期間短縮に大きな効果をもたらされた。

(5) 部品加工へのCAD/CAMの適用 機械加工部品をNC工作機械で加工するために、NCテープが作成されるが、これはほとんどがAPTを用いてコンピュータで処理していたが、部品1点あたりのプログラム・カードは約24枚に達することもある。この処理を従来のバッチ形式から、キャラクタ・ディスプレイを導入して対話形式で行えるように改善して、プログラムの修正等が即時にできるようにした。さらに、CADAMの導入にともない、そのNCプログラミング機能を用いて、グラフィック・ディスプレイによる対話形のNCプログラムの作成が可能となった。

図5.2-23はCADAMによるNCプログラミングの手順を示したものである。

CADAMを使って設計した部品の図面データをよびだしてグラフィック・ディスプレイ上に表示し、これを加工するための工具軌跡や切削条件を対話形で指示してNCテープがつく

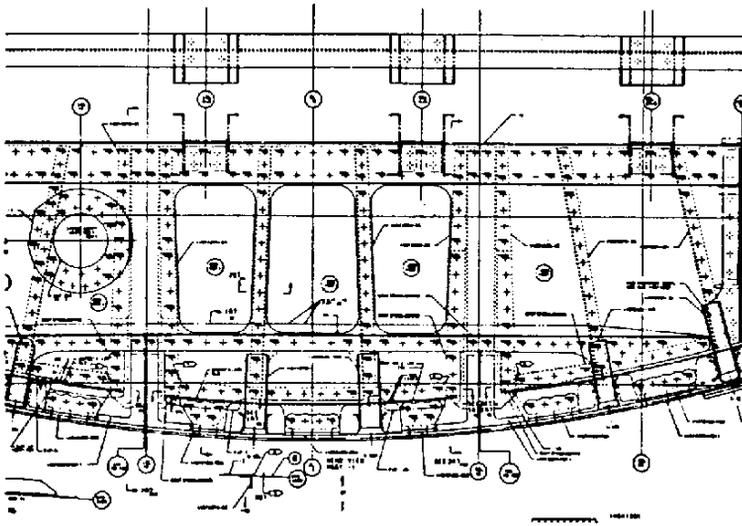


図 5.2 - 2 1 組立UDDサンプル

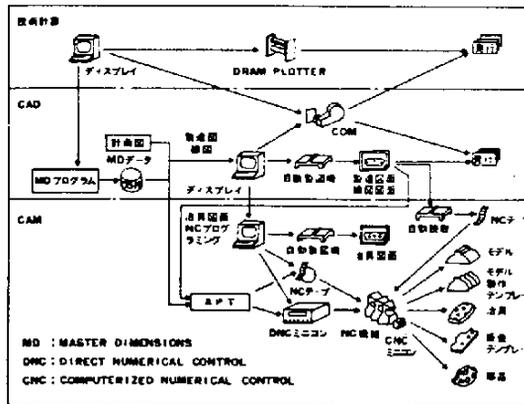


図 5.2 - 2 2 航空機ツーリング, CAD/CAMの適用

れる。この方式によれば、APT処理の場合に必要な部品形状の図形定義が不要となって、エラーの減少とテープ作成のフロータイム短縮に大きな効果が得られた。

- (6) NC工作機械の信頼性と能率の向上 航空機の部品や治具の製作に必要なNCテープは長いものでは1,000mにもなる。このように長いNCテープを使う加工が多いと、NC

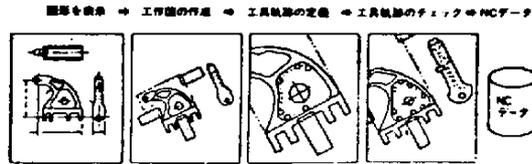


図 5.2 - 2 3 CADAMによるNCプログラミング

制御装置がテープの読取りミスを引き起こしたり、サーボ系に不具合を生じたりして、NC工作機械が誤動作を行って加工中の部品をスクラップにしてしまう。

これを改善するには、テープを使わない制御、すなわちテーブルレス制御の開発が行われて、DNC (Direct Numerical Control) として実用されている (図 5.2 - 2 4 参照)。大型コンピュータでつくられるNCテープにふくまれるNCデータを、コンピュータからNC制御装置へミニコンを中継して伝送することによって、NCテープという物理的媒体を使用せずにNC工作機械を動かせるのである。これによりNCテープの取扱いが不要となり、NC工作機械の加工の信頼性が向上した。

またNC工作機械が誤動作で暴走した場合に、これを検知して瞬時に機械を停止させ、高価な材料費の機械加工部品のスクラップ化をふせぐためIRS (Improved Reliability System) とよばれる装置が開発された。ここではミニコンをNC工作機械に取りつけて、

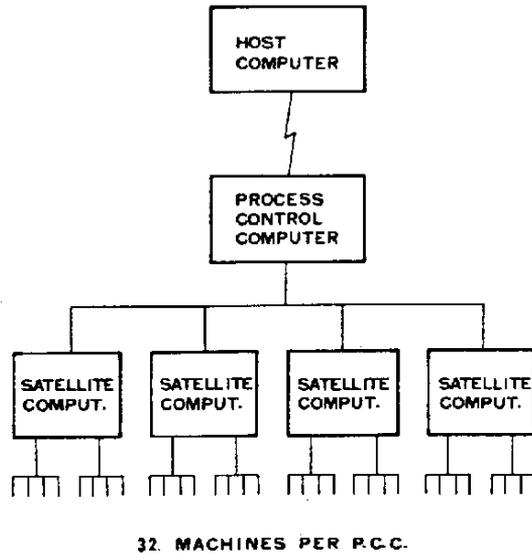
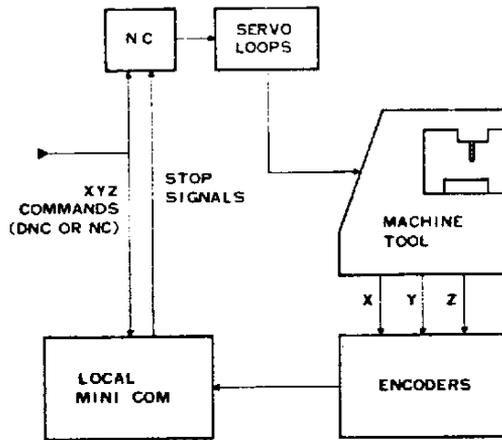


図 5.2 - 2 4 A社のDNC

機械の動きを常時モニターするようになっている（図 5.2-25 参照）。

さらに、航空機部品の材料として難削性のチタン合金を使用するものがふえ、形状も複雑になり、プログラミング時に最適な切削条件を設定するのが困難になってきた。これに対して適応制御装置（AC=Adaptive Control）が使用されるようになった。これはスピンドルにセンサーを取りつけて切削応力を検出して、NC装置に送り速度のオーバーライド信号を送って送り速度を制御することで切削条件を最適化するものである。これによってチタンの荒加工で40%の切削率の向上が期待できるといわれている（図 5.2-26、図 5.2-27 参照）。



1. MINI GETS MOTION COMMANDS. AND
2. COMPUTES TOOL PATH+TOLERANCE
3. STOPS MACHINE IF TOL. EXCEEDED

図 5.2-25 IMPROVED RELIABILITY SYSTEM

(7) CAD/CAMシステムに対する品質保証 CAD/CAMシステムの適用によって、新機種の開発期間の短縮、生産性の向上が期待できる反面では、設計データ、加工データの信頼性によっては、大きな損失や障害を招くおそれもある。このような背景からCAD/CAMシステムで加工される製品の品質保証が注目されてきている。この分野における米国での状況をあげれば、図 5.2-28 に示すような設計データの品質保証例がある。ここではコンピュータにストアした設計データのレビュー、定期的および設計変更時の設計データのレビュー、外部に支給されるデータのチェックが行われている。

また図 5.2-29 にはNC加工品の品質保証の例を示している。グラフィック・ディスプレイ

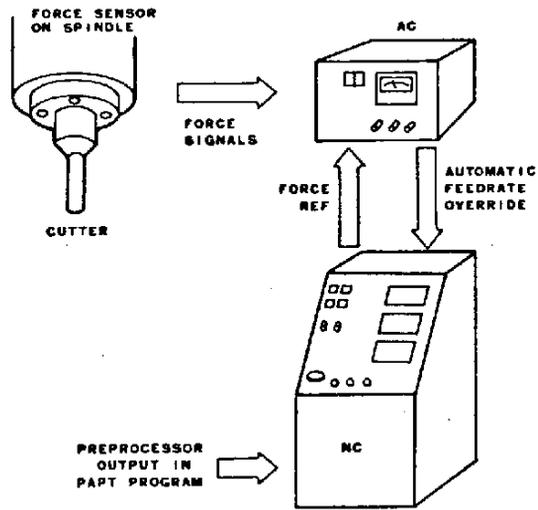


図 5.2-26 ADAPTIVE CONTROL

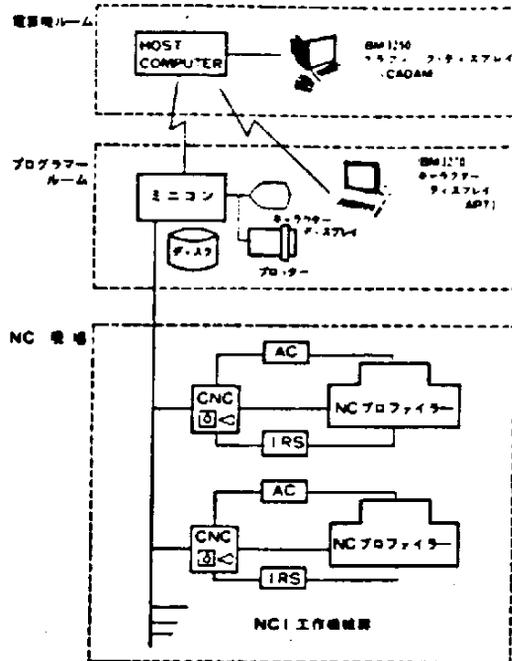


図 5.2-27 DNCシステム

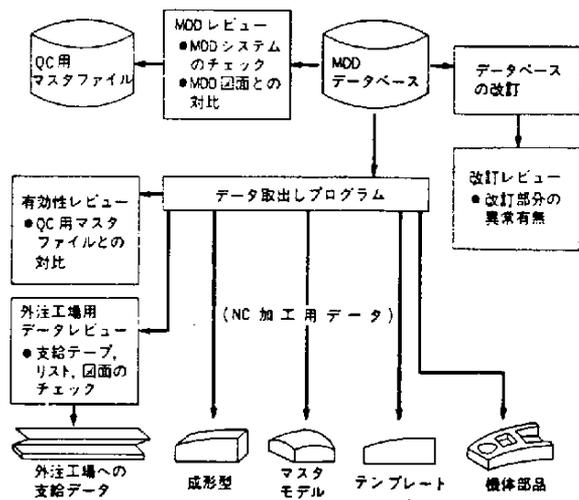


図 5.2 - 2 8 設計データの品質保証方法例

The sample of quality assurance method  
for CAD data

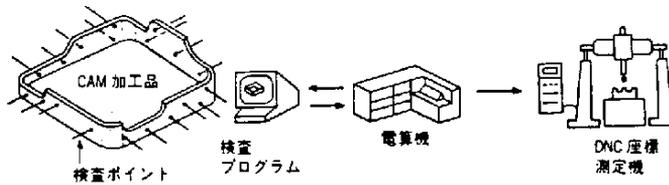


図 5.2 - 2 9 CAM加工品の品質保証システム

Improve inspection system for NC parts

レイ上に部品の立体図を表示して、検査したいポイントを指示するとDNC座標測定機を動かすプログラムが作りだされて、その測定機によりNC加工部品の検査が可能となっている。我国でも主としてNC加工に関連して、NCテープの保証システム、NC加工機体部品の検査方法に米国のやり方を参考に工夫をこらし、品質保証活動が行われている。

(8) むすび

以上航空機製造におけるCAD/CAMシステムの現状についてのべたが、これは実際の新

しい航空機の開発に適用されて、適用した分野で効果をあげるとともに、トータル・システムとしてのCAD/CAMシステムの有効性も確認できた。この結果をふまえて、ディスプレイ、自動製図機など関連設備が増設され、製造現場ではDNCシステムが拡大され、またCADAMを中心としたソフトウェアの整備も進められ、設計から製造までを結ぶ一連のシステムが確立された。このシステムは現在米国ボーイング航空機会社と共同開発をしているボーイング767プロジェクトなどの設計、製造にも活用されて成果をあげている。今やCAD/CAMシステムは航空機の新機種開発に欠くことのできない道具として定着しており、今後さらにシステムの改良、拡張がつけられて、より大きな成果をあげてゆくものと思われる。

### 5.2.3 原子力発電プラント関係

発電プラントは重工業において、古くから手がけてきたが、ことに戦後の産業、経済の発展とともにプラントの規模も飛躍的に増大した。それに伴って、プラントの設計図面で大きな部分を占めている配管設計で作成する図面の枚数も膨大になり、またその変更修正も多数にのぼり、図面の作成維持に要する手間も急増した。これに加えて配管設計の熟練技術者の不足も表面化してきた。

これに対処するため、三菱重工では昭和40年代初めから当時のコンピュータ利用分野急拡大の一環として、火力発電プラント配管設計の自動化に着手した。これはコンピュータの利用形態としてはいわゆるバッチ形式によるもので、開発に数年かけた後、昭和40年から実際の設計に適用された。

ここで蓄積された技術はついで原子力発電プラント1次系の配管詳細設計に転用され、キーボードつき端末機とストレージ形グラフィック・ディスプレイを使用する対話形システムが開発された。このシステムは昭和49年から実用に供されて、設計図面の質の向上、均質化、省力化に大きく貢献した。

上記システムをさらに高度の機能をもたせるべく、引続いて昭和49年から、建屋コンクリート形状、電線トレイ・ルート、サポート形状などのデータを処理して、相互干渉のチェックやルートの調整を対話形式で行うシステムの開発が行われた。このシステムはNUPIMASとよばれているが、実際のプラントの配管設計業務にフルに活用されて、その設計、製図業務の90%以上をカバーして業務の効率化に大きな寄与を果している。以下このNUPIMASにつき概要を説明する。

(1) NUPIMAS 配管設計業務の流れは、図5.2-30に示すとおりで、系統計画、機器配置

計画、建屋形状計画にもとづいて、配管、空調ダクト、電線トレイの概略計画図が作成される。次にこれらの図面を総合して基本設計的検討が加えられ、配管・ダクト・トレイ全体図が作成される。この全体図にもとづいてプラント情報がコンピュータに入力されて詳細検討がここから開始される。これ以降の業務（図 5.2-30 の 2 点鎖線でかこまれた部分）を対話形で行うシステムが NUPIMAS であり、このシステムの流れを図 5.2-31 に示している。

まず建屋形状、機器形状、配管ルート、ダクトルート、トレイルートなどに関する一連のデータを、カード、ディジタイザ、キーボード端末、ストレージ型グラフィック・ディスプレイを適宜使いわけて入力する。このデータにもとづいてコンピュータ内に 3 次元のプラント・モデルが仮想的に構築され、これを使って相互干渉のチェックや任意断面の作図を行うとともに、種々の改善変更、追加修正も行われる。これらの作業にはリフレッシュ型グラフィック・ディスプレイを用いて対話形式でなされる。そして結果は各種の図面、管理資料として、プロッターまたはプリンターから出力される。それには、①機器配置図、系統別配管組立図その他の総合調整図・計画図、②製作用図面・組立図面、③材料管理資料、④検査資料、各種生産管理帳票類がふくまれる。

NUPIMAS は、多種多様で大量のデータが処理でき、設計者のあらゆる検索要求に即座に応じられること、多数の設計者が同時にシステムを使用できること、すなわちデータベースが破壊されずに迅速な対話形処理が行えることをめざして作られた。この目的を達成するためには、コンピュータとして大容量の外部記憶装置をもち、必要な設計者用端末が接続できる超大型のものが要求され、社内の計算センターに設置してある IBM 3033 プロセッサをホスト・コンピュータとして使用した。プログラムとデータはすべてコンピュータ側に格納され、設計室におかれた端末を通じてオンラインでこれらを使用して各種設計作業が行われている。システムを構成するプログラムは FORTRAN 言語で記述されていて、総数約 50 本である。データとしては 1 プラントあたり約 200 MB を取り扱っている。

NUPIMAS ではデータベースを中心において、そこに格納したデータを活用しているが、データベースは次の 3 種類からなっている。すなわち、

- ① コンポーネント単位設計情報データベース
- ② プラント情報データベース
- ③ 設計作業用データベース

ここで①は入力情報を格納するもので、直接入力されたデータと、それを使って生成されたデータとからなる。これらのデータは、ストレージ型グラフィック・ディスプレイ上で十分チェックされてから使用される。内容はすべて 3 次元設計情報で、設計で発生するあらゆる情報



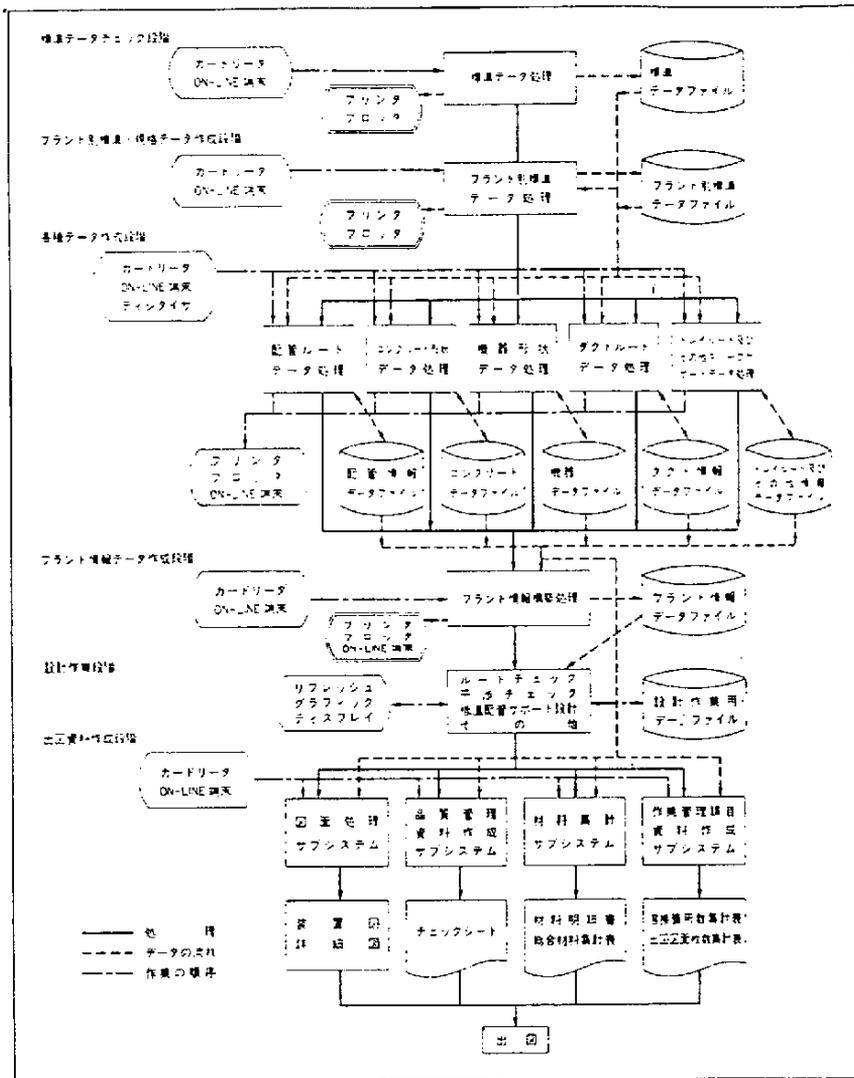


図 5.2 - 3 1 NUPIMAS 設計作業の流れ

Flow of design work by NUPIMAS

と、後工程で必要な情報が格納される。

②は①の情報とプラント建屋形状を相互に関連づけて集大成したもので、データ検索の主要業はこのデータベース上で行われる。データの修正は①で行って②に再格納するようにして、他設計者による誤ったデータの検索や流用の危険を防いでいる。

③は②の必要部分のみを抽出したもので、リフレッシュ型グラフィック・ディスプレイで対話形設計を行うために一時的に使用するもので、②と独立して設計が自由に作業できるようになっている。

これらのうち、①と③は自社開発したソフトウェアを、②にはIBM社のIMSにFOR-TRANプログラムと関係がとれるよう改良を施したものを、管理システムとしてそれぞれ使用している。

NUPIMASに使用しているデータ処理用機器の構成を図5.2-32に示す。入力処理用機

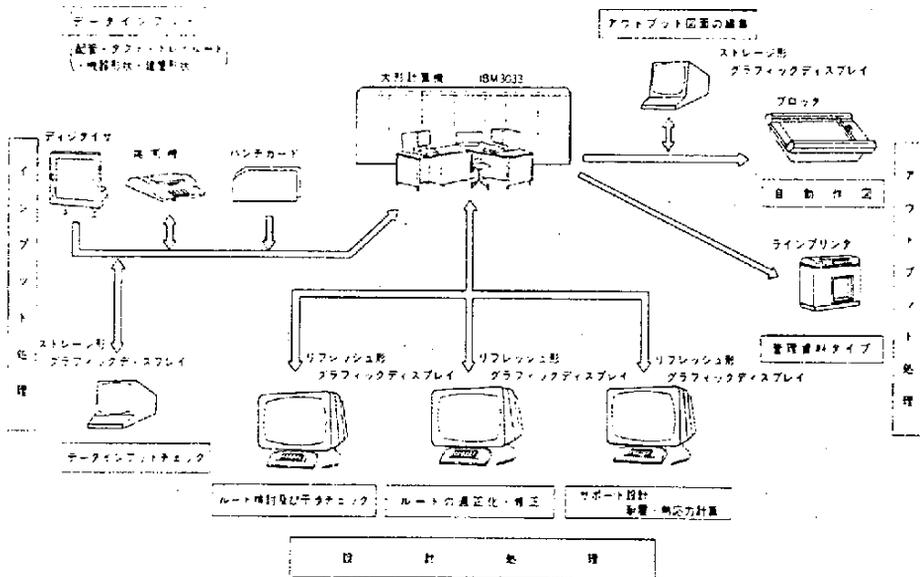


図 5.2-32 NUPIMAS の構成

Organization of NUPIMAS

器には、①カードせん孔機、カードリーダー、②ディジタイザ、③キーボード端末、④ストレージ型グラフィック・ディスプレイがあり、データの入力、追加その他、目的に応じて使

わけられる。設計処理用機器としてはストレージ型グラフィック・ディスプレイが使用され、ルート検討、相互干渉のチェック、貫通チェック、サポート設計、配管ルート変更などがホストコンピュータと対話形式で行われる。また出力処理用機器としては、プロッター、ラインプリンター、ストレージ型グラフィック・ディスプレイ用ハードコピー機をもっていて、図面、計算書、各種集計リスト類がこれから出力される。これら諸機器とその適用業務を図5.2-33に示す。

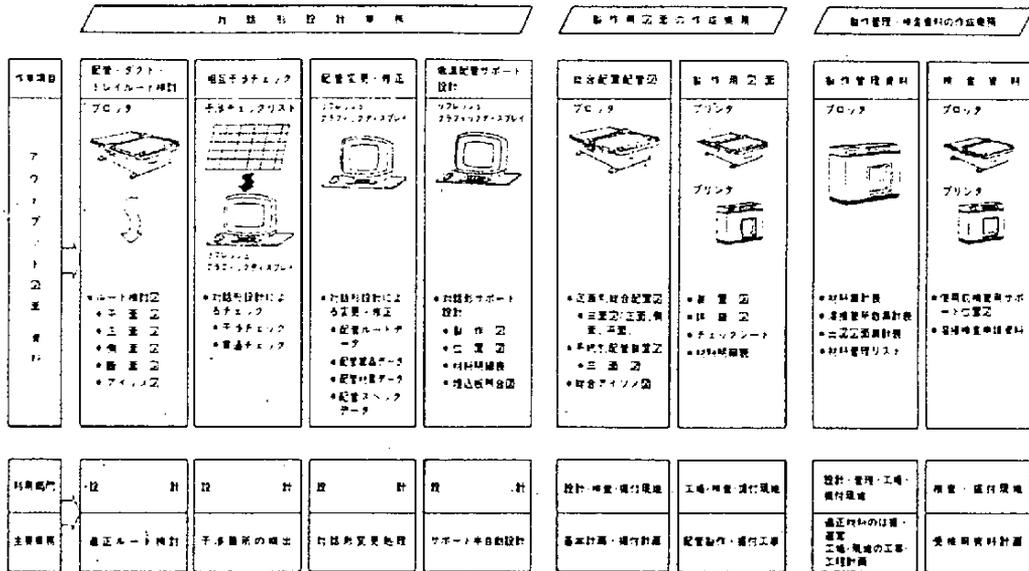


図5.2-33 NUPIMAS 適用業務

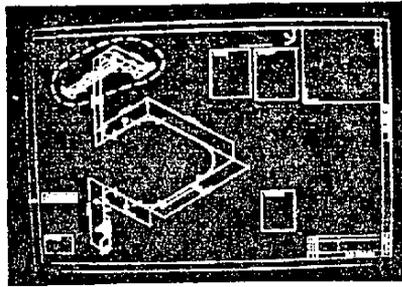
Application work of NUPIMAS

NUPIMAS の出力例として、製作用配管装置図を図5.2-34に、また配管詳細図を図5.2-35にそれぞれ示した。さらに、製作用配管図の編集作業の実施例を図5.2-36に示した。

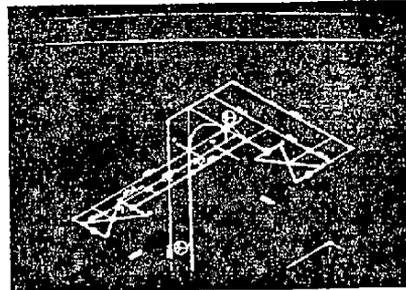
原子力発電プラントの配管設計用に開発したNUPIMAS を実用に供することによって、配管、ダクト、トレイの各ルートに適正化、材料手配の的確化、干渉チェックによる不具合の事前防止にもとづく現地掘付け工事の変更作業の大幅な減少、画法の統一化、図面品質の向上と均質化、設計工程管理の向上、設計作業の省力化がはかられた。この結果、設計の効率化、現地手直しの低減、材料の節減、加工組立費の低減等で多大な効果がえられた。

このシステムの開発に際して、利用部門の設計者と、技術計算担当部門の開発担当者とが密

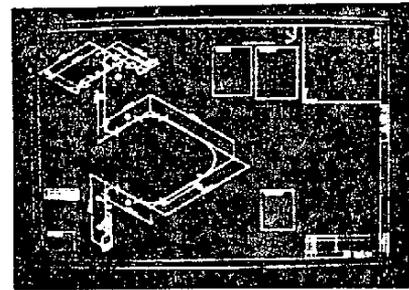




(A) 編集設計用の配管製作図  
— 一部の編集設計作業を開始する



(B) まい(A)の— 部範囲と部分拡大する



(C) 寸法変更・寸法増し(削し)位置などを  
見やすい形に変更し、編集作業終了

図 5.2 - 3 6 製作用配管図編集作業実施例

### Process of drawing editing

接な協力のもとに一体となって推進したことが、開発を成功に導いた大きな要因であった。今後はシステムの実施経験をつみ重ねてゆき、機能面を充実して適用範囲の拡大をはかってゆくことになろう。

- (2) 配管設計の他の事例 以上NUPIMAS について概説したが、配管設計に関する類似のシステムとして、石川島播磨重工で開発された S-BOPPS がある。これは対象が原子力発電プラントではなく、陸用ボイラ・プラントまたは化学プラントの配管設計用である。配管設計業務における物量の手配図から製作・据付図面の作成までを担当する、生産設計の省力化を目的として開発された対話形システムで、設計工数の大幅な低減に効果を発揮している。

## 5.2.4 造船関係

造船関係業務へのコンピュータの適用は、造船業をとりまく環境のはげしい変化に対応して変遷をたどってきた。すなわち、1973年のいわゆるオイル・ショックを境として、造船業のあり方自体に大きな変化を生じ、コンピュータの適用に関するニーズも大いに異なってきた。そして適用業務に対する見直しが行われ、重点のおき方にも変化がもたらされたのである。とはいえ、鉄鋼業、自動車産業とともにコンピュータの適用に先駆者的役割を果たしていた、20年にわたる適用の歴史の中でその価値を認められたものは、現在では定常的業務としてくみこまれて定着しているし、また過去の経験の反省の上になら、さらには最近のめざましいコンピュータ技術の発展をベースにした、再検討あるいは適用範囲の拡大も行われている現状にある。ここでは造船業における新製品の開発からはじまって、受注船の基本計画、基本設計、詳細設計、生産設計からNC加工にいたるまでの一連の業務に対しての、CADないしCAMの適用の現状を主体に概況をのべる。

### (1) 基本計画、基本設計

#### ① 基本計画の対話形一貫システム(図5.2-37)

船型の設定、推進性能、船舶算法等の一連の基本計画計算をキャラクタ・ディスプレイを使って対話形で一貫処理を行うシステムである。大量の過去のデータを蓄積したデータベースを活用して、オンライン処理により設計者の的確な判断をいれながら、短時間で最適解に到達できる点が評価されている。

なお日本鋼管で最近開発したFUNDAシステムも類似のシステムであるが、グラフィック・ディスプレイの活用がはかられており、対象とする範囲も上記のものより広い。また同社では基本計画・設計段階の線図の創成にもグラフィック・ディスプレイを使用している(図5.2-38参照)。

#### ② 構造設計

この分野ではFEM(有限要素法)による解析が、汎用の大型構造解析プログラムを活用して盛んに行われている。FEMにおいては解析対象を有限要素に分割したモデルを作らねばならないが、大型構造を取扱う場合には、それも含めてインプット・データの作成に大きな工数を必要とする。このため汎用プログラムに付属させて高度のインプット処理を行って、その作成工数を極力少なくする工夫をこらしたものが作られている。この一環として、形状に関するデータのチェック用としてグラフィック・ディスプレイを使用する例がある。またアウトプットについても、インプットと同様に図形的に評価できるようグラフィック・ディスプレイを使うシステムをそなえたものがある。これの例としては、造船専用ではないが、

東洋情報システムのFEMIS, FEMOS, ロッキードのCADAM-FEMなどがあげられる。なおFEMについては、本報告3.3.2「FEMの実例」の項を参照されたい。

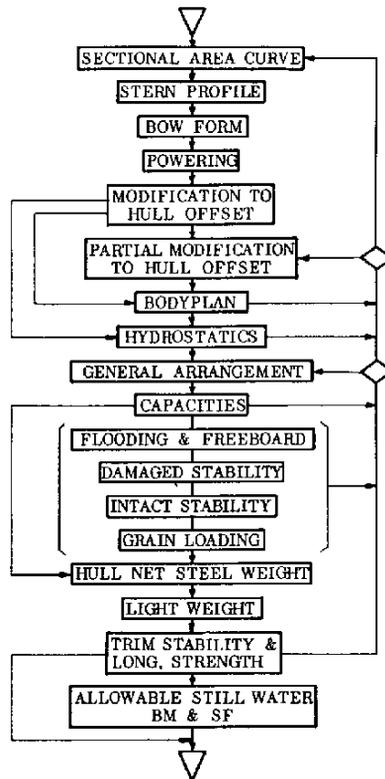


図 5.2-37 基本計画の会話型一貫システム

### ③ タンカー荷役の対話形シミュレーション

タンカーの積油、揚油などの荷役作業は長時間を要しかつ危険な作業なので、タンカーの就航以前に標準的な作業手順の検討、荷役時間の推定を行う必要がある。また目標とする荷役作業を満足する最適のパイピング・ダイヤグラムの設定も要求される。このためにグラフィック・ディスプレイを使用する対話形のシミュレーション・システムを開発して、実際に作業を行うのと類似の状況下で、作業手順を一つずつ試行錯誤的に検討しながらシミュレーションを実施することが試みられている(図5.2-39参照)。



図 5.2-38 線図作成システム (NKK)

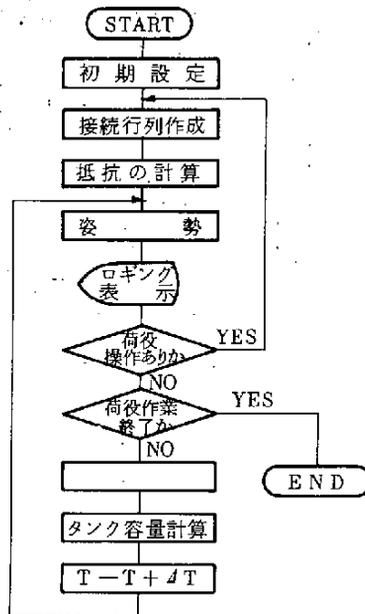


図 5.2-39 シミュレーション計算の概要フロー

#### ④ 機関部配管の自動設計

船舶機関室の配管装置設計では、限られた空間に主機関をはじめとして必要な補機器類を配置し、種々の障害物や管同士の干渉をさけて最短経路を通るような配管を行う必要がある。このためには熟練技術者の豊富な知識と経験を必要とする一方では単純作業的な要素も多い。熟練技術者の不足などと背景にこの分野の改善をはかるため、配管計画図の出力を目標とした、主要配管経路を自動的に決定するシステムが開発されている(図 5.2-40 参照)。

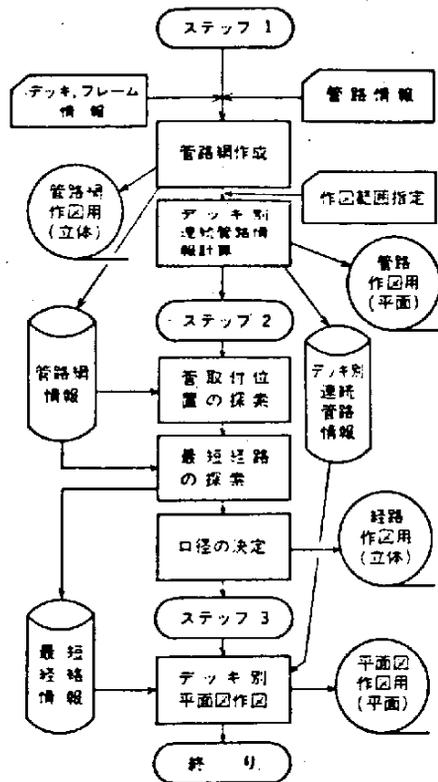


図 5.2 - 40 概略流れ図

Flow chart

グラフ理論とダイナミック・プログラミングを応用した最短経路探索法を導入しており、また管口径の自動決定、管の曲点での管どうしの干渉と極力小さくした管の並びが行えるようになっている。なおこれは広い意味での CAD の例で、設計の論理が定形化されている、いわゆる DA (Design Automation, 自動設計) に属するものといえる。

(2) 船殻設計生産一貫システム

基本設計で船体構造の基本がきまると、ひきつづいて線図のフェアリングからはじまって、船殻の詳細設計、生産設計が行われて、現図、NC 切断データ作成とつながってゆくが、この分野を一貫して取り扱うシステムが造船各社でいくつか開発された例があり、一貫システムあるいは総合システムの名称を与えられている。これは概念的には図 5.2 - 41 のように表わすこ

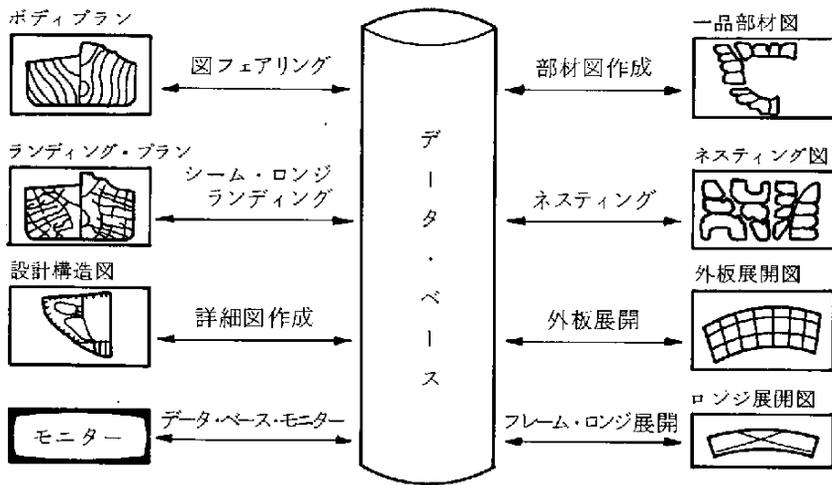


図 5.2-41 船殻総合システム

とができるが、システムの中核としてデータベースがあって、各種のアプリケーション・プログラムはデータベースの必要なデータを取り出してそれぞれの処理を行う。また処理の結果としてえられるデータで、後に他のアプリケーションに利用されるものはデータベースにかきこまれる。このようにして詳細な設計データが蓄積されてゆくが、その大部分は図形情報である。しかもアプリケーションも図形処理に関連するものが多いので、上述の航空機あるいは原子力発電プラントにおけるようなグラフィック・ディスプレイの利用も検討された。しかし画面の大きさ、精度などから使用の範囲は限られていて実施例はごく少数である。

その中でも設計図面を作成するのにグラフィック・ディスプレイと使って対話的に行っている例として、日本鋼管が同社の部材処理システム SCOPE を流用している例、名村造船所が米国ロッキード社の CADAM を適用している例がある。

- (3) 部材処理システムは造船用構造部材を NC 切断機で切断するための NC テープ作成システムである。製造上のニーズからこのシステムがまず開発され効果的に実用化された後、それをベースにして部材処理に必要なデータを、源流である設計段階までさかのぼって、効率よくかつ精度よく求めるようトータル化したのが一貫システムなのである。部材処理システムは造船各社でそれぞれ工夫をこらしたものを開発し利用しているが、それぞれのシステムに独自の図形または構造記述言語を使って部材形状を記述し、これをコンピュータで処理して NC テープを得ている。

コンピュータ処理の段階で、各社システムが採用している方法にもそれぞれ特徴があるが、

グラフィック・ディスプレイを利用して対話形式で行っているものとしては、三井造船のGNCと日本鋼管のSCOPEがある。GNCではミニコンを中心としたスタンドアロン構成のハードウェアで、リング形状の定義、部材データの生成、ネスティング（板どり作業）、NC切断テープ作成などを行う。（図5.2-42参照）。SCOPEはリフレッシュ型グラフィック・ディスプレイを大型ホストコンピュータに直結したシステムで、上述の設計図面の作成と部材形状の定義までを行っている。また名村造船所ではCADAMを一品部材の定義にも活用している。

- (4) ネスティングは生成された部材形状をもとに、造船用鋼板から極力スクラップなしに部材を切り出すために行われる。これには一旦作画機で形状をえがき、それを使って人手で行っている場合も多いが、グラフィック・ディスプレイを使って対話形で行っている例もある。上述の

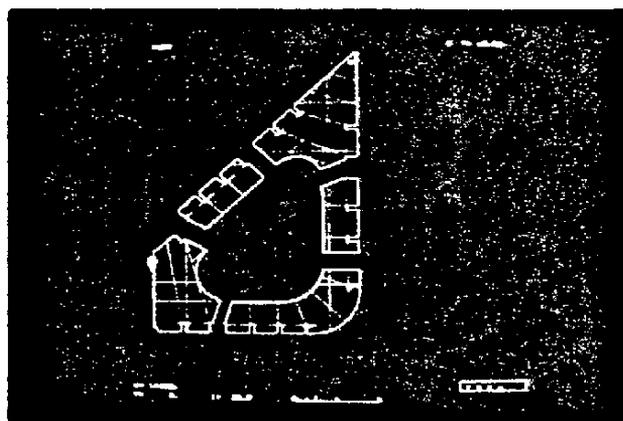


図 5.2-42 GNCによるリング図から部材図へのスプリット（三井）

三井造船のGNC、名村造船所のCADAM、日本鋼管のPANSYなどが後者の例としてあげられる。

船殻一貫システムは、オイルショック以前に造船各社がきそって開発した時期があり、それぞれ大きな構想の下でCADの概念をベースにして開発が進められた。しかしながらオイルショック以後の環境の激変により、開発したものの実用化されなかったり、中止になったりして、現在では部分的な使用にとどまっているのが実情である。

- (5) その他 上記以外では配管設計における適用例もあるが、三井造船のMAPSシステム

はその代表的なものといえよう。

以上造船業におけるCADの現状を主体に概観した。前にものべたようにオイルショックを境にして、それ以降の業界の不況から漸く立ち直りかけた現在、1968年頃にあったCAD/CAM高揚期を第1次とすれば、第2次のそれを迎えようとしている。NC切断につながる生産設計部門のCAD/CAMはすっかり定着しているが、その上流にあたる詳細設計段階のCAD化が、コンピュータ技術が第1次当時と比べて格段の進歩をとげた現在での、新しいトータル・システムへの一つの課題となっている。また多様なニーズに対応できるよう、基本計画、基本設計段階での取組みも必要とされよう。さらに、予想される造船現場での自動化の拡大への対応も今後の大きな課題であろう。

これからのCAD/CAMの造船業での展開は、このような時代の要請に応じた課題の下で行われてゆくことになるだろうが、その導入に際しては狙いとゴールを明確にして、計画的、体系的に推進することが必要不可欠であり、また航空機産業における例にみられるように、その道は遠く、厳しいものがあることを覚悟しなければならない。

〔追記〕 本文を執筆するに当たり、以下に記した文献を参考にした。ここに記して感謝の意を表したい。

#### 参 考 文 献 ( 5.2.2節～5.2.4節)

- 1) 伊奈：航空機生産におけるCAD/CAM実用展開  
日本IBMエンジニアリング・シンポジウム資料(1980年)
- 2) 芦谷他：航空機のCAD/CAMシステムに対する品質保証の現状  
三菱重工技報 Vol. 18, №5
- 3) 松本他：原子力発電プラント設計対話形システム“NUPIMAS”  
三菱重工技報 Vol. 17, №4
- 4) 永井他：コンピュータを利用した配管設計システム：S-BOPPS  
石川島播磨技報 第19巻第5号
- 5) 綾 他：造船の上流設計におけるコンピュータの適用について  
日本造船学会誌 第585号
- 6) 池田：造船におけるコンピュータ・グラフィックスの利用  
第7回造船学会夏季講座資料(昭和56年)

## 5.3 土木・建築・エンジニアリング

### 5.3.1 現況と問題点

#### 1) 建設の設計

建設-建築・土木等の設計は他産業とその背景を大きく異にする。建設の設計は個別受注-個別設計であり、設計の受託そのものが営業の対象であり、他産業においては設計のみを営業することは極めて少ない。これに対し建設の場合は、工業（製作・製造）に直結する設計施工に比し、設計事務所あるいはコンサルタント事務所が設計行為の中心を占める。即ち設計を受注し、設計図書（図面、仕様書、工事金額見積書等）を製品として納入する。従って図面および図書一式は他産業での自社での製造・工作用を主体とするとは異なり、それ自体が商品である。更に設計事務所、コンサルタントでは、設計図書に基づく工事の監理を請負うことも多い。

ちなみに、設計事務所は規模のかなり大きいものでも数百名～百名程度であり、年間売上げは数十億程度、1人当りの売上げは1千数百万～1千万円と考えられる。このような事務所は全国規模(100名以上)から、地域単位の数名のものまであり、いわばホワイトカラーの知的労働集約型であり、ソフトウェア産業と比肩されるものといわれよう。ちなみに大学卒2年後、国家試験制度により取得しうる1級建築士の数は全国約13万名であり、取得外の者を加え、かつ工事監理等の業務者を差引いたとしても、非常に多数の設計者が、全国的に設計事務所、コンサルタント、総合請負業の設計部門、官公庁の設計分野に散在し設計業務に従事している。

このような建設業分野の産業構造抜きに建設設計のCADを論ずることは不可能であろう。

#### 2) 建設設計でのCADの対象領域

建築分野に関して、更に建築分野のみをとりあげる場合、幾つかの視点がある。

組織から見る場合

##### ① 官公庁の建築分野

学校、病院、庁舎等の公共建築の設計、発注、工事監理、保全および建築の法的許認可。なお、計画策定、予算計上のうえ、競技設計、設計事務所等への外注および自主設計を行っている。

##### ② 建築設計事務所

官公庁、民間企業から設計を受託し、設計図書、見積図書、仕様書等を作成、許認可業務および施工監理業務を請負う。意匠、構造、設備設計および積算見積の全機能を有する場合と単機能専門の場合があり、保有しない機能に関しては外注を行う。

### ③ 建設業の設計部門

主に民間企業から設計（意匠，構造，設備）を含め設計・施工という型で受注し，見積，施工計画および工事を一貫として行い，設計監理も行う。

設備工事業者では，設備設計を行う部門を有する社も多い。

### ④ ハウジング専門社の設計部門

一戸建住宅，マンション等の設計施工専門社の場合，工業生産化，標準化を進め，一方これらの上にたつた多様化が進められた。結果，ハウジング業界では営業設計から客先対応の個別設計，製図，見積のCADシステム利用が進みつつある。

職種から見る場合，建築物の設計ではプランナー，デザイナー等の意匠設計に従事する設計者，構造計画，構造設計者および空調，給排水，衛生設備ならびに強電，弱電の設備設計技術者が，同一建物と共同しつ設計する。意匠設計者はいはゆるアーキテクトあるいはデザイナーと製図作業から構成され，建築計画，設計のベースとなり，意匠詳細設計，構造計画・構造設計，設備計画・設備設計へと整合をとりつつ進み，製図作業が進められる。

設計対象物から見る場合，建築設計の対象として，一言では建築物のすべてとなるが，一般事務所ビル，ホテル，病院，学校，オーデトリウム，ホール等あるいは各種工場建築，研究所等および一戸建住宅，アパート，マンション等多岐多様に渡る。原子力発電所建家，浄水施設など建築土木の中間領域にあるものもある。

住宅等については専門設計者もあるが，規模の大きな設計組織では，得意とするところと，全分野をカバーする必要がある，それぞれの分野に設計経験，技術資料・設計資料の蓄積が要求される。空港ビル，百貨店店舗，銀行の支店など特殊性を有するものも多い。

構造設計，設備設計においても，設計要求，空間形成要求の多様性があり，画一的な設計方法，生産方法が乏しい。

以上の如く，設計組織，設計技術者，設計対象物などの多様さにふれたが，建築物が敷地条件，法制約の中で計画され設計される一方，計画の自由度，工法，材料の選択の自由度が極めて高い。コスト条件と要求機能を満足し，美観上の問題，特異性の中で建物としての使いよさと美しさ，維持コスト，メンテナンス問題などを有する。

資産として長期の生命を必要とすると共に対象物の全コストが大きいため，一件一件が入念に設計され，現場で建設されるので，当然のことながら，多様であり個別となる。

この様の中で，工業生産化を目指した住宅等がプレファブリケーションあるいは部材部品の標準仕様をとり入れ，標準化と組合せによる多様化の中でCADシステムが採用されて来た。

一方，官庁，学会等の環境規準（建築面積，道路制限，日照等）および安全規準（耐震安全

規準，設計法規準）をらびにエネルギー関連の技術的検討（空調，照明等）など，コンピュータの利用が進み，検討作業レベルでのCADの利用，製図作業の省力化を目指しての検討と着手が進みつつある。

### 3) 土木設計分野でのCAD対象領域

官公庁発注を主体とする土木設計分野では官公庁に属する土木設計技術者，土木設計コンサルタントおよび民間企業発注を対象とする建設業土木関係設計部門，重工，造船，製鉄等の土木設計部門などがある。国鉄などの鉄道交通などでの各種構造物，建設省，地方公共団体の道路，橋梁関連設計などの分野では標準化が進められ，短スパン，小規模な構造物については，大幅な標準化が進み，個別の詳細設計を不要とする標準図，標準仕様等が準備されている例も出ている。

土木設計においても，標準化の進め難い立地性に依存し，個別設計による，トンネル，ダム，宅地造成，長大橋梁，埋立や護岸などあるいはエネルギー備蓄関連などについては標準化は施工工法，施工機械などに止まり，CADシステムの利用には到っていない。しかしコンサルタント事務所の専門化の方向もあり，測量コンサルタントが宅地造成のCADシステムの導入を図るなどの動向がある。

また若干領域を異にするが環境問題領域も土木関連分野に登場し，河川，海域，大気等の汚染の問題のシミュレーション等の必要があり，騒音問題も道路，鉄道あるいは工事騒音に対して要求される。

## 5.3.2 建設設計でのCAD利用の進展

### 1) コンピュータの利用

建設設計でのコンピュータ利用は昭和40年代，大手建設業のコンピュータ導入，コンサルタント事務所の計算センター利用，建築設計事務所，土木設計コンサルタントでの電電公社DEMOSの利用などで大幅に進展した。特に建築設計での耐震壁を含む骨組構造物の設計，地震力を受けた構造物の挙動解析などについては，建設省，建築学会の動き，地方行政体での建築許認可において，（財）建築センターでの建築構造設計プログラムの評定などに電電公社の建築設計技術領域での技術が生かされたといえる。

同時に高層ビルの耐震解析，地震波に対する建物挙動のシミュレーション等から，かなりの設計事務所において，地上45Mを越える高層ビル設計を可能にさせた。

また昭和40年代に入るとプロッタ等作図機の導入が進み，建築・土木領域でのDesign Automationが進んだ。後半には（財）情報処理振興事業協会より，自動作図を含む宅地造成

システム（土木設計）、鉄筋コンクリート構造物の設計図作製システム、設備設計図作図システムが委託され、完成に到っている。

建築、土木構造物の構造安全解析にFEMが不可欠になり、FEM解析およびその入出力のプロッタ作図が常識化して来た。

一方、昭和40年代半ばより環境アセスメント問題がコンピュータ利用の対象となった。この中できわ立って建築設計の計画段階で必要となったものが、日照時間、日影の検討で、法規制と相俟ってプランナー、デザイナーにとって、計画検討や変更が対話型で出来るCADシステムが対象に出て来た。企画設計者にとっては、在来行い必要のなかった作業であり、建物が複雑な形状や多棟となった場合、簡易作図法では検討しきれない領域である。騒音問題などもCADシステム化された。また、土木分野では河川、海域の汚染問題など、更に土木構造物では地下水流問題や温度応力問題がFEM領域に登場した。

タブレットによる図形入力、対話型処理、カット&トライによる検討が、グラフィック・ディスプレイ、TSSの普及と共に進んだ。

建築企画設計では容積制限、道路斜線制限、日照日影、風害等を含む対話型設計システムが作成され、有用に使われ始めるかに見える。更にまた平面計画（建物内の部屋のレイアウト）、構造計画等、更に設計計画の領域に向かって進んだかに見える。

昭和50年代前半の焦点は、電算機採用建築設計システムはデザイナー、プランナーのツールになりうるか否かであり、対話型建築設計システムが模索されつつあった。しかし対話型設計システムによる平面レイアウト（部屋割）、構造計画など、設計技術者による計画部分は、日照、日影チェック等の設計者の新領域に比し、設計者が製図版等に向かってスケッチし、検討し修正、再スケッチする設計者自身の経験、創造活動の局面であり、製図作業や構造計算作業などの作業レベルと異なる。建築CADシステムの開発が進みつつあったものの、またシステム開発に工数、費用を投じたものの設計者の受入れは進まなかった。

一方、ハウジング業では、営業、設計、見積を一貫した1戸建て住宅のCADシステムが開発され、営業戦略、設計、見積業務の省力化、生産性向上に寄与し始めた。

## 2) 建築設計者のCADシステムの受入れと問題点

工業生産、部品生産をベースとする1戸建住宅、標準化、購買発注を目指すマンション設計システム等以外の一般建築物は、他産業比較し難い無数に近い設計組織が、建築設計を業として存在する。本来的に設計と建設工事が分離して存在し、他産業の如く設計と生産が一貫してあり、例えばNCの如く、設計から生産への合理化策の結合等が期待出来ない。また多くの設計組織が、自社の標準や規準を有し、専門領域（例えば事務所ビル、病院等）を有する訳ではな

い。工業製品と異なり、発注者の要求仕様、建設対象敷地も個別個有であり、建設素材から（鋼材、コンクリート、仕上材等）からの建築物の構成には極めて自由度が高い。近年、ブリック・プレキャスト材料（サッシュ、間仕切等）が多く出て来ているものの、建築業界の中で規格化、標準比例は極めて少なく、設計の自由度は高い。従って、個人個人あるいは各設計組織体の中での部分標準を整備するに止まり、発注者の要求、敷地条件に合せ、独創性、経験を生かして、自由に発想し、スケッチから計画へ、計画から図面へまとめあげられる。建築設計者は一種の自由業あるいは、頭脳、知識、技能を背景にした一種の職人（ホワイトカラー）的要素をもっている。

教育制度からも、設計教育、製図版に向っての製図教育の中で育ち、一種徒弟的あり方で設計能力を向上させる中で、CAD等の新たな道具が用いられる必然性は極めて少ない。

また、情報という面から見ても、単純な部品や参考図あるいは、設計上の情報に止まらず、個人や組織の経験の中で蓄積される情報は、コンピュータ・システムを生かしての整備や検索あるいは組合せ等の成立する世界ではないと考えられて来た。

一棟一棟、試案、スケッチから図面へ、思考を進めて行く中で、CADシステムに、設計作業の生産性においても、情報システムの活用においても、有用性が見出なかった。

しかし、計画案が作成された以降の、構造設計、設備設計分野では、解析、計算書作成、図面作製等の一連の作業がある。これらの分野では、解析法、設計計算法等の開発整備が進むにつれ、コンピュータ利用、部分業務でのCADの利用が着目されて来た。

個別設計ではあるものの、構造、設備設計上の共通情報、共通の解析法等が整備されて来ている。一方、共通の目的物をデザイン、構造、設備という分野の設計者、技術者が設計を行うので、基本図からの情報が共通に活用出来る。しかも、図形情報が基本である点から、CADへ向って進んだ。

しかし、基本図を作るプランナー、デザイナー領域は、構造、設備といった設計下流の向っての一方的な基本情報作成に終止すると見られ、在来の製図版上でのスケッチと設計からCADに向う効果は極めて少ない。設計組織として、デザイン、構造、設備設計など部分分野でのCADを形成した結果とそれぞれの製図分野での図面の整合と生産性の向上を模索した製図システムに着目した結果、部分分野のCADが、共通化部分、独立部分、結果としての設計図書の整合性が目指されつつある。

一方、設計と生産（工事）を分離し、個別に設計活動を受注する組織にあって、建設業界では、部分分野のCADシステム（アプリケーション・システム）の開発活動を推進出来たのは、大規模な設計組織とCADシステムの開発能力を有するDP組織を有する限られた社に限定さ

れた。

海外においても、設計と工事の分離は同一事情にあり、建築、土木設計でのCADシステムの実用化は事例も乏しい。

製図のターンキー・システムについても、他産業の如く、その効果と採算の見通しが困難であったが、ここ2、3年の間に、デザイン、構造、設備を横断し、建物用途目的に限定されない製図作業の合理化、図面の整合化、基礎入力情報の共通利用面から着目されて来ている。しかし、一方製図作業のみでは、効果採算、生産性の向上への寄与は困難であり、統合した設計システムの模索が始まる動向にある。

### 5.3.3 先進各社のシステム

#### 1) ハウジング会社のシステム

この数年の間に住宅産業分野において、部品工業生産が進んだ。木材を素材とする木質系、コンクリート、パネルを組立てる、コンクリート系、軽量型鋼骨組の鉄骨系等である。年間、数万戸を建設する大手ハウジング業では、部品やユニットの標準化、量産化など工業化と顧客の要求に、標準部品、標準ユニットを組合せ、多様なバラエティをもたすと共に、部分的には、特注を図っている。

標準化が進められているとはいえ、住宅は個別受注、個別設計、個別工事となる。この分野では、営業活動と設計、見積活動が重要で迅速な対応が要求される。また、部品の工業生産化が進んでいる一方、建築の申請と許認可が、地方自治体に必要で、許可なく建設出来ず、電力、ガス、水道等の敷地条件にまつわる工事を要する。

営業設計や打合せは、標準図、ユニット図、標準仕様に基づいて進められ、スケッチと仕様概要がファックス等を利用してCADを利用した設計部門に送られる。ディジタイザ等を利用しスケッチを入力、仕様をインプットし、敷地内配置図、平面、立面、断面図、仕上表、概略見積書が各社特有の標準部材、ユニット、個別の仕様に基づいて作られる。

顧客の要求を反映した、設計図面、仕様書、見積書を如何に迅速かつ、顧客の満足の行く図面の姿で作図、作製しうるかが焦点となる。住宅設計は素人なりにし得る面もある。従って、間取り、仕上げ、台所備品、器具やスイッチの位置など、多様な要求に対して営業設計段階、申請図書作製、社内生産品、外注購入品の準備、現場での施工指示図面および社内での事務処理、発注者への請求、領収事務、下請外注処理などとの統合したシステムが要求される。

宅地を入手し、住宅を建設する個人にとっては、自動車等と比し大きな投資であるので工業化が進んでいるとはいえ、個別設計の色彩が強く、また敷地条件などからも、多様性が必須に

なる。

部材、部品、ユニットなどの図形データベース、数量、仕様、単価などの材量、仕様データベースが基本となり、発注者や申請用設計図書作成、工場向図面、仕様、各種資料作成、外注および下請向の資料、図面が作成される。

発注者の要求に応じるには、画一的な標準では応じられず、標準部分と特注との組合せ設計の中で、設計者が対話的に修正、変更などを加えられるシステムが作られている。

住宅においても、自動車同様に2～3年毎に新製品、新標準、新ユニットを開発し商品群に加えることも見落せない。

## 2) マンション設計システム

一戸建住宅から更に一步、一般建築設計の世界に近づいたものとして、集合住宅、いわゆるマンションのCADシステムがある。

昭和31年住宅公団が発足して以来、鉄筋コンクリート集合住宅が多数建設された。都市近辺において用地が容易に入手出来る時代は、標準戸、標準戸を組合せ1階数戸、数階の標準棟の設計図面、仕様書、数量見積を準備し、団地の敷地に合せて、棟の配置計画を行うことにより、設計作業が進められた。標準設計と量産化であったといえる。

しかし、都市内、都市近傍での住宅地事情、個人購入の進展などと共に、集合住宅建設の状況が変り、現在のマンション時代に入った。住宅という点では、間取りの標準化、バス、台所部品のユニット化が進められた。しかし、敷地条件に合せてのレイアウト、構造体の設計、全体としての設備系の設計では、一戸建住宅とは様相を異にする。

マンションの建設は、敷地条件に左右され、また販売方策等から多様化、個別設計、生産として一般建築同様に進んでいた。この中で、量産的発想で設計がとらえられないか、マンション建築の標準化が計れないかとの発想から、間取り、設備仕様、内装材、構造体までの標準化を、マンション建設大手会社で進められた。

- 1) 一戸一戸をユニットとして標準化、シリーズ化する。
- 2) ユニット又はタイプとして標準図面を作り標準図面をコピー利用する。
- 3) 部材や機器ユニットと標準化、大量発注を可能にしコストダウンを図る。
- 4) 設計の標準化による省力化と共に、建設現場での作業の標準化、精度品質の向上をねらう。

マンション建設専門企業として、特に設計量の増大に対し、設計部門での生産性向上をめざしての方策として進められた。

この様な設計生産性向上策の中で、CADシステムが検討導入された。

### ① 標準図の組合せと組立作業の省力化

- ② 設計者の単純な設計製図作業からの開数
- ③ 標準住戸ユニット、タイプ、シリーズの開発をより生産性高く。新製品開発。
- ④ 設計、施工、保守への凶面の一貫性。施工技術、施工精度の向上、アフタケア
- ⑤ 敷地に対し、企画段階から実施設計まで一貫したシステム

が狙われた。

この設計、製図システムで大きな位置を占めるものは製図システムであり、標準設計システムの中にCAD製図システムをとり入れ採用されている。

タイプあるいはユニット住宅の標準階での組合せで、基準階外形が決まり、敷地条件と照合され、基準階以外（下層階一玄関ホール等を含んだ1階等、セットバックを含む上層階等）が計画される。住宅において、一戸建てであれば、ほとんど所要室→1戸で終了するものを、所要室→1戸から複数戸（異なった戸の複合）→階へと組合せが進められ、更に標準階から複数階へ進む。

余り思考を要さないで、組合せにより単純な設計製図作業となる凶面を第一ステップにおき、思考を要するあるいは試行錯誤を要する設計部分へ進み、設計を進めている。

設計後の作製凶面としては

- 意匠凶
- 構造凶
- 給排水衛生設備凶
- 電気設備凶
- 施工凶

が作成される。

この社では、集合住宅に多い片廊下型、中廊下型、低層コア型等多くのシリーズを準備し、構成凶として構造、水廻り（台所、バス、トイレ等ダクト系）、居室、コア（階段、エレベータ等）をパターン化し、パターンの中に部品凶を収容したデータ・ベースを準備しCADの設計システムおよび製図システムを形成している。

設計作業、製図作業はグラフィック・ディスプレイを用い対話型に進められる。データ・ベースからのデータを組合せ、凶面を作製する部分と対話型で設計そのものを行い、出凶する部分を有している。

特に、マンションにおいても、時代の趨勢と共に、新製品を開発する必要があり、一方で標準化、規格化したものに加え、年々、新シリーズ、新タイプと計画、設計し、標準として登録する作業を行っている。

### 3) 病院設計のシステムからの発展

建築設計分野のCADアプリケーションとして商品化され、国内での販売活動が行われているので紹介する。英国CADセンターより独立したARC (Applied Research of Cambridge 社) は約10年前より、オクスフォード州の公共病院を対象として、企画から設計、積算見積、工事計画まで一貫としたシステムの開発を行った。このシステムは低層(3階まで)の鉄骨ブリファブリケイテッド骨組と床、外壁等のプリキャスト、コンクリート部材から構成する病院建築を対象として開発された。建築設計技術者が参画し開発された、建築CADシステムとして汎用化を目指して販売されている数少ないものの一つである。

これは二つのシステムからなっている。

建築物を企画し要求仕様をまとめ、レイアウト部屋の割付けから、計画設計、内装、構造、設備面からのディテールの検討、透視図的にデザインの検討、コスト分析、構造、設備面の諸解析、設計計算を行う建築設計システム(BDS—Building Design System)と、これを補完し、設計図書を作成する汎用製図システム(GDS—General Drafting System)からなっている。

BDSは建築設計でのモデリング・システムでありデザイン・プロセスの統合を行っていくものである。

#### 建築設計仕様の作成、室データの処理

大規模な建築設計プロジェクトでは、発注者の各種の室空間や必要条件、具備すべき要件に対し、面積的、近接性、機器等調整を要する。一般に要求条件を整理し、レイアウトをスケッチし調整を行っている。レイアウト空間デザイン面、構造面、環境面、設備面等多岐な調整が必要になる。

BDSのモデルでは、要求室面積、容積、仕様などの情報、部屋、機能空間のまとめ、環境調整のゾーンなど空間要求および、その設計で使用される部品コンポーネントやディテールを、文字データ、図形データで作成した二つのデータベース、共通部品部材のコンポーネント・データベースと建物の空間の仕様、備品、空間の相互関係、構成や配置情報をビルディング・ファイルに登録するようになっている。

下記の10ケのモジュールから構成されており、モジュールの呼出順序など、論理性を失わねば、設計プロセスとして自由である。

- ① 設計データ作成
- ② 関係データ作成
- ③ 設計仕様作成

- ④ 3次元スケッチ・デザイン
- ⑤ コスト見積
- ⑥ 環境分析（エネルギー、温度、照明等）
- ⑦ 3次元ディテール・デザイン
- ⑧ ドロウイング（コンポーネント、レイアウト等）
- ⑨ 3次元パースペクティブ
- ⑩ 目録作成（各種仕様等のアウトプット）

現在はスーパーミニコンとディジタイザおよびストレージ型ディスプレイおよびプロッター構成のシステムで稼働している。

設計例から見の場合、一般計画図から詳細平面図、断面図、機器配置、部品の取合せチェック、環境分析、室空間の展開図まで、建築設計プロセスを追って設計作業がディスプレイ上で進められ、設計図としてプロッター作図される。

BDSで基本計画、機能分析等を進め、建築計画図、仕様等を作成し、GDSで詳細図面を作成するシステムになっている。

このシステムは病院建築の計画と設計に端を発し、一般建築設計への拡張をはたして来ている。

しかし、構造設計、環境分析など、日本での設計方法での適合、仕様やアウトプットでの日本語処理など今後の発展が期待される。

#### 4) 建築計画設計システム

3例を紹介したが、住宅、集合住宅、病院等、ユニット、パターン、標準などに着目して、標準化、規格化とバラエティ、組合せなどに着目あるいは端を発し形成されたシステムであった。

一方、わが国では、敷地条件、周辺条件に関連した法規制の中での建設の可能検討から端を発し、室空間の総合という内部要求の組上げに対し、外形として可能な形状、各階の面積として可能性、延面積（延容積）としての可能性など、外形を設定し、その中で計画を行うもの、あるいはこれに類するものが、企画設計段階あるいは計画設計でのCADとして開発されて来ている。これは諸外国と異なる法制限に対するチェックシステムといえよう。

わが国では地区制限—商業、住居等に対し高さ制限、容積制限（敷地面積に対し）、建築面積制限（敷地面積に対し）および、周辺道路に対する斜線制限ならびに、周辺敷地に対する日照制約など、建築規準法、地方条例などで定められた制約条件が都市防災、環境保全、近隣問題に対し設けられている。この点は諸外国と異なり、設計計画を進める初段階でチェックを要

する。このため

- 1) 斜線、容積制限チェックCADシステム
- 2) 日照、日影チェックCADシステム

が多くの会社で開発され実用されている。

しかも、敷地と条件が与えられ、発注者の要求があり、プランナーあるいはデザイナーは敷地に対する建物のイメージ(外形、規模等)を敷地に対しあるいは周辺建物とのバランスにおいて、固定しようとするもので、透視図的を検討を含め試行錯誤的に、ディスプレイに向かって進めるものである。

建物外形を設定すると共に、事務所ビル等でのコア(エレベータ、階段室、ホール、便所等)部分を、標準化しレイアウトする機能、高層ビルの風害問題を解析する機能、あるいは、柱、梁、壁の構造計画を行う機能をもつもの、標準構造および標準仕上に基づいて概算数量、概算工事費を算出しチェックする機能、概算工程計画、投資、採算性を検討する収支目論見など、企画設計段階での機能をCADシステムとして統合することの試みがなされ、実用化されているものがある。

#### 5) 建築設備設計領域のCAD

建築設備設計領域でも、対話型CADシステムの幾つかの試みと実用化が図られている。

- ① 照明器具配置、照度計算および結線計画システム
- ② 電力幹線系統計画システム
- ③ 空調ダクト計画システム
- ④ エネルギー消費検討システム

設備計画、設備設計分野では、空調・冷暖房設計が建物のエネルギー消費に大きく関係する。また照明等の電力消費も大きい。この分野では、既に述べたARC社のBDSにおいても環境分析機能が含まれている如く、英国、米国共に太陽光、熱の利用と建物内エネルギーの保存活用などの分野でCADによる試行錯誤および解析、評価をあわせ、研究された。

照明の領域では昼光利用がビル、工場建物での設計検討の中で進められて、CADシステム化が図られている。照明機器の選定、スラッチ数や線路の設計から、照明機具の作図、材料リスト等を作成するものが作られた。

一方エネルギー検討は、照明、暖冷房に関連し電力、燃料消費に関連する一方、年間の外気温度と建物内の設定温度条件の分析、計画検討、ボイラーや蓄熱関係の機器の初期投資とランニング、コスト分析などに用いられ、各段での空調機器配置、機械室内に設置する機器選定と配置、コスト算出などが行われている。

ダクト系統図、ダクト設計等が含まれているものや、電源系統図、分電盤設計などに使われている例もある。

建設業の中には、設備設計あるいは設備工事を業とする社があり、一般設計図を基に設計検討を行い計算書、設計図、仕様書、見積を行っており、これらの社でも試行がなされている。

#### 6) 構造設計分野のCAD—建築

建築構造設計でのコンピュータ利用は約20年の歴史があり、昭和46年電電公社DEMOSサービスの開始以降、設計事務所でも広く用いられている。

鉄筋コンクリート、鉄骨鉄筋コンクリート、鉄骨など通常構造物は骨組系を主とする。一方、構造計算書は許認可の添付資料として要求される。建築学会が計算規準等の設計解析ルールを、作成改訂しており、設計方法としての標準化が進んでいる。

一方、地方自治体等、許認可団体では、チェックの承認の役割があり、コンピュータ利用が進むと共に、日常使用する構造設計用プログラムを建設省の管轄下で評定する制度をとり、評定を受けたプログラムは、インプット条件とアウトプットと設計図面の関連を精査するシステムをとった。(手計算のものは全体精査)

更に昨年来、新耐震設計法——保有耐力のチェック——に移り、通常のビル等においてもコンピュータ利用が必須になって来た。

計算書において解析的記述は文字数字であるが、骨組形状のスケッチ要素、計算書の中での断面のスケッチ要素など、図形表示部分を含むので、数年来、CADシステム化が図られている。

当然の帰結として、構造製図との結合の向っており、標準的な図面を、構造設計書のアウトプットと共に、自動作図するものも多くなっている。

しかし、敷地条件に立脚して設計される点から、詳細構造図面を自動的に作図するものは、規格化された対象物に止まる。

従って、CADシステムにおいても、自動作図可能段階とこれを受けて、製図システムで修正、追加し、完全な構造図面を完成する動きになっている。完全な自動化の試みもなされたが、成功裏に活用されなかったと思われる。

#### 7) 構造設計分野でのCAD—土木等

土木構造物、原子力構造物は、骨組構造物と異なり、筒体、版等が多い。鉄筋コンクリートで厚さ数メートルに及ぶ場合があり、安全解析の上で、地震力、地盤との関連、温度応力、コンクリート特有のクリープ等の問題など、多くの試行解析が行われ、計画が進められる。

有限要素法等が広く用いられており、入力作業、出力にプリプロセサ、ポストプロセサの形

でCADが活用されている。

原子力構造物については、通産省の安全審査があり、LNG地下備蓄タンク等では、電力、ガス会社の検討等が加えられる。FEM解析は他産業においても広く解析システムとして用いられているが、異なる面は、地震力—地震波解析、地盤と構造物の複合系の解析法であり、また、安全審査面から、電力業界、学会等の認知するあるいは試行を示唆するアプリケーションの利用により解析することと、新たな解析手法、プログラムの作成にある。米国等で開発されたプログラムが標準的に使用される一方、これらに日本の状況を踏まえた機能の追加検討、試解析が要求される。

地震条件、地盤条件、同一地盤上に複合して建家がある場合など、塑性領域、破壊領域等を含め更に解析方法の向上が求められている。

また、コンクリートは打設時に発熱し乾燥し収縮するなど材料の時間経過変化を含んだ問題などであり、解析システムとしての高度化と共に入出力問題、試行錯誤、解析結果の表現技術、計算書、解析報告書の作成などCADシステムとしても、今後の問題を多く有している。

岩盤内石油備蓄など、施工工法技術と解析技術、岩盤やコンクリートなど物性面の計測と工法との関連など、今後の問題として、総合的な技術開発の場におかれているものも多い。

建設業の新製品開発ともいえよう。

## 8) 土地造成システム

土地あるいは宅地造成システムは数年来コンピュータ利用をベースにシステム化されて来ている。広くいえば航空測量から、造成計画、運土計画、街区道路設計、排水設計等を含んでいる。

初期段階では、運土計画を中心としたバッチ処理、自動製図の領域でシステム開発が行われた。しかし自然環境に対する配慮、快適な居住環境を目指しての開発計画の作成が求められると共に、開発地と周辺との環境調整や、用地境界周辺での、高さ、排水などの取合せの調整など、画一的な処理ではすまず、対話型に計画調整を行いつつ、計画設計を行うシステムに向っている。

土地造成計画では作図作業量がほゞ大であり、同時に計算作表量もある。このため、自動製図方式により進められたものの、修正が出ると再作図の要があり、工夫がいった。

一般的に土地造成システムでは、

- ① メッシュ・データ作成システム
- ② 土地利用計画システム
- ③ 粗造成計画システム

#### ④ 道路計画システム

#### ⑤ 排水計画システム

よりなっているものが多い。

現在状況の等高線図よりディジタイザでメッシュ・データを作成し、データ・ファイルに保存すると共に、現行の鳥瞰図を各視点より作成し、計画地盤をブロック毎にモデル化した上、粗造成土量等を計画する。運土量、道路傾斜、排水を検討しつつ粗造成案をたてる。計画地形鳥瞰図を見て調整を行う。

ブロック計画をベースに、道路計画を行う。道路平面図、断面図、勾配等のチェックを行う。雨水排水、汚水排水を計画し、マンホール、管の敷設を計画する。

データ量が多いこと、部分拡大等の問題など計画を進める上で、対話型CADシステムによって合理化された面が多い。

### 9) 建築設計での製図システム

建築一般の設計では、プランニング、デザインの領域、いわゆる意匠設計が先行し計画設計図が作られる。平面図、立面図、断面図、仕上表等であり、エンジニアの領域ではなく、アーキテクトの領域といえる。スケッチでアイデア、イメージを固め、一般図面としてまとめる。構造設計、設備設計等のエンジニアの設計、計算は、この一般図を受けて、設計作業が始まる。意匠設計は総合設計であり、構造設計も、設備設計も同一対象物の分野を異にした総合設計である。他産業の全体部品、機器等の設計とは様相を異にし、製図工や製図下請の形態がとれず、一体組織の中であるいはプロジェクトチームの中で役割を分担(意匠、構造、設備)する形である。また対象一件ごとに、内容が異なり、過去の図面が役立つことも少ない。一件一件全く新規の設計製図である。

この結果、他産業の如く、製図システムを導入し、製図の生産性を高めることは極めて困難で、製図動作(線を引く、寸法を記入する等)毎に生産性が高く、同時に設計者が製図版をCADシステムにとりかえ、投資効果が合うか、スケッチを製図工が受けとりCADシステムで製図をして効果がありうる等検討点であった。特に図面内の日本語記述部分、建築設計での表現法等にも問題がある。

一方、一般図から構造、設備技術者がそれぞれの図面を作る、ベースを一つにして表現を変える等、製図情報の共用化による効率向上も考えられた。

これらの問題に対して、試みがなされつつあるのが現状であり、一部の企業において、部分標準図、作図用熟語文書パターン、建築製図方式などの検討が行われている。

一品図、組立図、複合図等まだ十分な効果ある方法には到っていない。米国での設計者とド

ラフトマンの分離の中での設計製図の組織的ありかたなどが参考とされている。

#### 10) 土木設計等での製図システム

官公庁、専業コンサルタントでは、土質に応じた、幅員、高さに応じた道路、橋梁、土留壁の標準化、標準図書等が準備されている。このように標準化、部分標準化が進められ、自動作図方式で、図面の組合せを行う設計組織での活用は図られている。

一方、LNG等大型構造物、原子力建家等では、鉄筋配筋の多量の線を引く作業、寸法記入等、計画を作成、計算図書完成後の大量製図には、CAD製図システムの採用に期待される面があり、特に原子力建家の製図についての導入を策している会社がある。

また、プラント系の図面情報をテープで受領し、建家構造体系との干渉チェックに使い等が策されている。

### 5.3.4 建設分野での特殊利用領域

#### 1) 地図作成

航空測量等、測量データに基づき、地図を作成する分野は国土地理院、測量コンサルタント等で既にCADシステムが利用されている。電力、ガス会社等のケーブル、管の敷設地図等にも活用されている。

ターンキシステム等にもマッピング・アプリケーションを用意している。

#### 2) 景観問題等

電力の送電鉄塔、超高煙突等、景観破壊や都市環境との調整、市民との計画を示しての対話を対象としたシステムが話題としてある。

極めて特殊とも考えられるが、環境問題での合意形成のためのシステムとして、TV、写真等の映像と計画図との合成、多角的検討や進展過程の動的表示、合成など、印刷物、静止画で得られないもので、進められているものがある。

### 5.3.5 建設設計技術とCAD技術

既に述べた如く、あるいは様々な利用例、開発例を紹介したが、建設産業では、開発、設計、生産の中でCADシステムの実用化が試み始めて日が浅い。

また一方、一計画、一計画毎の個別設計であり、敷地条件、規制条件等に対応し、企画し、計画を進め個別設計をする慣習であること、設計事務所、コンサルタント等の設計組織が小規模であり、設計者、技術者の経験、知識等に依存している点などを述べた。

コンピュータ、CADシステム等を保有し、アプリケーション開発投資をなす企業は数少

い。

一方、人的、知的資源依存から、経営体質の変革、経営効率化、生産性向上などCADシステムへの関心は高まっている。

また、CAD機器、システムのメーカー、ベンダーの関心、あるいは需要動向調査も、設計業務、設計作業量、製図量から見て大きなポテンシャル・マーケットと見ている。

建設設計でのCADシステム、需要に着目したメーカー、ベンダーも、建設設計分野が他の製造業での、製品開発、設計領域とマーケットの体質を異にするとして、建設設計特有のアプリケーション・システムの開発を企画する向きもある。

ある調査によれば、システム機能として

- ① ソリッド・モデル
- ② ダイナミックな表現
- ③ FEMメッシュ・ジェネレーション
- ④ 材料表の作成
- ⑤ 統計データ/レポート作成機能
- ⑥ 企画管理やPERT計画へのデータ提供
- ⑦ 多種少量生産のための製品形状、加工情報に結びつける機能 ( Group Technology )
- ⑧ コスト見積

が建築、土木、プラント設計のCADにおいて望まれる機能との報告がある。

昭和40年代後半において、電電公社DEMOS 端末が、多くの設計事務所、コンサルタントに導入、活用され、一方他計算センターがゆっくりとした伸びしか示さなかったのは以下の問題点によると考えられる。

- ① 電電公社の建築設計技術を背景にした既実用化可能アプリケーションの整備  
(土木分野に関しては若干おくれ、土木学会等が受託し調査、その後開発進展)
- ② 設計事務所、コンサルタント等の採択出来るコスト領域
- ③ 建築学会、土木学会等の技術動向と必要性、効果見通し
- ④ 利用社数からの共通技術化
- ⑤ 専門者、開発専任者を必要としない利用技術習得の容易さ

一方、この2、3年、DEMOS 端末利用の伸びが悪化している理由として、

- ① 新規アプリケーションの供給不足
- ② CAD端末、CADアプリケーション不足
- ③ コンピュータ施設面での問題

(利用記憶量, ファイル量, 利用コスト等)

最初にのべた如く, 建築土木分野は設計者, 技術者数, 事務所, コンサルタント, 設計組織数, 耐震安全等を背景にした建築学会, 土木学会の活動等に支えられた, 国内産業であり, 他製造業に比肩すれば, 中小企業, あるいは自由業的色彩がある。

建設設計技術とCADシステムの融合を考える場合, CADシステム, 技術への課題以前の課題が大きい。

大手建設会社の設計組織や大設計事務所を対象としての, CADシステムでは, まだ需要は単に興味を有する領域以上には育たないであろう。

### 5.3.6 今後の問題

以上の如く述べて来ると, 建設設計産業の問題であり, その中でのCAD, CAEシステムの発展とメーカー・ベンダー等との関連は稀薄であるように見える。

しかし, 建築学会, 土木学会を中心とし, 各種協会等をそれぞれの立場において, コンピュータ利用技術, アプリケーション流通の情報の交流が進められつつある。

メーカー, ベンダー, 計算センターへの建設設計CAD, CAEシステム進展への基盤整備にあると考えられる。

各種のCADアプリケーションの流通の可能性が開かれたとしても, まだ極めて少部分であると共に, ハードウェア, ソフトウェア, 端末などの複合の中で, コンパティビリティ, ポータビリティに欠けている。

DEMOSの例にのべた如く, 建設設計技術では共通技術の側面が必要であり, 建設省, 建築学会, 土木学会, 協会等では, 設計目的に対する共通基盤の整備(設計方法, 設計規準等)は進むが, 手段としてのコンピュータ, ハードウェア, ソフトウェア, 端末利用, 計算センター, ソフト業界の問題は枠外にある。

新耐震設計法をめぐって, 静岡県庁, (財)防災協会に大学研究機関関係者が共同しアプリケーションを完成, 公開すると共に電電公社DEMOSサービスに収容されている例もある。

一部企業ベースで, CADシステム等進むと考えられるが, 方式等共通性をもたせ, 計算センターサービス, メーカー・ベンダー等のサプライ体制とユーザーとして設計組織の選択の必要と考えられる。

### 5.3.7 建設業界におけるCAEの展開

#### 1) 建設分野でのCAEのあり方

##### (1) 用語と概念の検討と設計の背景

建設分野でのCADあるいはCAEという用語とその概念を検討して見る。

CADを製品の構成要素に関する図形処理についてのコンピュータ利用形態とする狭義の定義とすれば、例えば建築での企画時の法制限チェックの図形処理、日照日影の図形処理、構造解析、設計での図形処理など部分業務のCADシステムを指すことになろう。NCデータ作成等、工場製作との関連性がほぼ皆無であり、常に敷地あるいは用地に対し調査検討、企画、計画から出発し、完成品として図面、設計図書を商品として、設計の発注者へ納入すること、部分業務より企画計画など総合プロセス、整合などは重視し業務が成立する建設分野の設計では常に部分業務のCADから、設計全業務などの関連が意識されて来ている。

また、部分業務の中にある共通分野は、構造解析、設計、設備機能解析、設計あるいは製図など、既にCADシステムが使われているものの、投資に対する効果が乏しく、進展が望み難い。

部品、ユニット、等の標準化が困難であり個別設計性および、知識、経験が要求されるため、設計業務中での分担分化が極めて困難な点から、ほとんどの計画作業をおえた後の解析、設計作業部分、ほとんどスケッチを完了しての製図作業部分が、経験の乏しい設計作業員の業務、外注作業の業務になしうるに止まっている。

一方また、標準化をふまえて集合住宅、ビジネス・ホテル、等の専門分野専門設計、あるいは、宅地造成、橋梁設計専門のコンサルタントでは、経営規模から、CADシステムを開発すること、導入することが極めて困難である。

しからは、基本調査、企画、基本設計から詳細設計に到る設計の全体をシステム化することを目指すCAEシステムにしてはどうかと考える。

明らかに建設の設計業務、人間と組織の活動を総合し調整し、設計試行錯誤を可能にし対象全体を洞察し、設計図面、図書を完成する意味においては、建設の設計そのものともとらえられる。

これは設計の目的と設計組織の議論において概念として定義される。

しかし、人間・組織系では成立する議論であるが、コンピュータ、グラフィックス装置、エンジニアリング・データベース、モデリング等の手段議論が入って来る時、CAEシステムの開発が目的となる。

## (2) 概念から具体システムへの問題

建設分野のCADで既述した如く、集合住宅、一戸建住宅など規準化、標準化、ユニット化の容易な設計領域においては、設計方法論、設計手順論、設計プロセスと参照データなどの設計情報論の整理が容易であり、CAE概念、CAE手段、CAEアプリケーション・システム開発がかなり検討可能な領域に近づいていると考えられる。

また一方、原子力建家設計、宅地造成設計、鉄道交通設計あるいは、規準型ビジネス・ホテル設計、工場事務所や規準型倉庫設計など、対象分野、設計方法、設計情報を固定化した場合においては、自動車、造船、電子機器など機能設計や機構設計を目的とし、同一ジャンルにまとをしぼったCADあるいはCAEシステムと同一の議論になるとも考えられる。

しかし、設計事務所、コンサルタント、総合建設業の設計部門を考える場合、単一対象領域との設計売上額と、システム化のための開発、機器投資額等から、現行の企業規模、業務領域、設計技術者の構成からは、その開発、実用化は極めて悲観的と考えられる。

## (3) 具体的想定と業界問題

プランナー、デザイナー、構造技術者、設備技術者など専門業者約100名程度の全国規模の中規模事務所(総員150~200名)と想定する。設計料売上額は年間15~20億程度と考えられ、人件費、経費が大半を占める。コンピュータ利用は、計算センター利用がほとんどであり、年間数千万程度であり、コンピュータ専門要員は2~3名内であろう。

設計料は工事費によるが、工事費の2~3%(工事監理料はのぞく)、20億程度の工事費で4~5千万円であり、年間20~30の設計プロジェクトを消化する要がある。

設計事務所、コンサルタント等で電電公社DEMOSシステムあるいは計算センターが多く用いられたのは、この様を業界の経営体質とコンピュータ利用の必要との対応関係にある。

従って、他産業と異なり、建設業界を大きくとらえる場合、アプリケーション・システムの開発、実用化は個々の企業の問題であるが、共同開発の問題であるか、如何なる方策が考えうるかが大きな前提としてある。

## (4) メーカー、ベンダー問題

建設設計の世界は、事務所、コンサルタント、設計組織および設計者、技術者数から見てあるいは、設計プロジェクト数、作業量、製図枚数等より見て、メーカー、ベンダーの予測ではCADシステム需要の10~15%を占めると予測されているものが多い。

国内、海外のメーカー、ベンダー等、今後の動向に着目し、建築設計、土木設計等の分野でのシステム開発、販売に向おうとする傾向も見られる。

建設産業界でも、設計の生産性向上、設計の質の向上を目指し、ニーズが高まっている。

しかし、他産業に比較し、1企業で高額の開発投資が可能な産業形態にない点に問題があり、一方、対象分野、設計方法、設計情報等について、CADシステムを背景にした研究開発が乏しい。

一方、他産業同様に、大学等の研究と組織的な実務世界での設計者、技術者の育成にはギャップがあり、解析技術等と異なり、一般的にCADの研究は、大学、研究機関では、多くはない。

さらに、メーカー、ベンダーは機器、ベーシックなシステムは提供に到っても、建築、土木分野での組織内での設計経験を有し、CAD、CAEシステム開発にたずさわる技術者は極めて少ない。

メーカー、ベンダーから提供され、実用化されたものは皆無という訳ではなく、CADの部分的アプリケーション、マンション、ハウジング等の特殊システムの企業との共同開発は若干進められている傾向にある。

しかし、また、図面そのものが商品である点も他産業と異なる点であり、製図システムにおいても、表現上の問題、等問題点が多い。

既に述べた如く、電電公社、DEMOSシステムは、即実用化可能なアプリケーションを、電電公社の建築、土木設計者および建築学会、土木学会等の場の活用により、提供したため、建設設計組織に多く導入された。

一方、CAD製図システムを有し、製図のみを受託する企業は、国内、米国等に出現しつつある。

また、計算センターが、設計事務所、コンサルタント等とアプリケーションの共同開発を行い、提供しているものも、増加しつつある。

建設でのCAD、CAEシステムは、建設業界、メーカー、ベンダー共に、他産業と異なった発展をとるものと思われる。

さらに、建設設計は海外工事対象があるというものの、極めて微々たるものであり、国内産業といえる。また各国によって、法規面設計方法面で異なる点が多く、海外のアプリケーションやCAD、CAEシステムが既に導入実用化可能であるとは考え難い。

この点、CAD、CAE研究開発、建設設計業界での実用化、模索され出している経営体質改善の中では次の如く考えられる。

過去、電電公社がDEMOSにおいて、実現した如き、計算処理サービス、あるいはメーカー、ベンダー等での広く実用されるCAD-CAEシステムの開発、販売が求められる。

この場合においても、既に、先進的事務所、組織体で開発された所産を、評価し、総合化

を進めることが望まれ、ハードウェア、ソフトウェア面でのコンパティビリティと広域利用に対する着目が必要と考えられる。

## 2) 建設設計業界でのCAEニーズ

建設設計では、部分業務のCADシステムでは、生産性向上への投資効果が乏しいとのべた。

建築の設計においても、土木、原子力等の設計においても、敷地、用地の確定、建設物の規模、用途、機能の確定、投資計画などの一連の企画設計段階あるいは、計画設計の段階にウェートの一面がある。

計画の立案フェーズ(Preliminary planning phase)は、複数の試案の検討、発注者の要求仕様の確定、および計画の評価分析(Schematic Planning Phase)、実施設計(Detail Design)へつづくが、計画の変更、設計変更は常時であり、確定的な実施設計以前の段階の比重が大きい。

また設計組織では、数多くのプロジェクトが様々なフェーズで進められている。

さらに建築の設計を例にとれば、意匠設計、構造設計、設備設計者が、共同討議、検討を要する局面、並行して作業を進める局面、調整、整合を要する局面がある。

分業、分担、専門化が進んでいる面と、複合体として整合をとる面があり、終局的には一つの建設物の設計図書であり、常に整合が要求される。

例えば、平面計画時には構造計画、構造体寸法が必要であり、設備ダクト等の寸法が意識される。設備設計時には、構造体との相互干渉、貫通が意識され、構造設計ではダクト等貫通による断面欠損が問題となる。

従って、分業、分担の中での情報交換や、情報の共有が必要であり、新分野のCADからむしろ、設計組織・設計手順を総合したCAE志向が望まれる。

また基本計画時の諸データは、スケッチ上に展開されているが、構造計画、構造設計へ設備計画、設備設計のベースであり、設計でロジックの情報伝達、情報管理が必要となる。これはプロジェクト・データベースと呼ばれるべき、情報共有化であり、現行のCADシステムでは、意匠設計、構造設計、設備設計と分野を分けているためおよび、設計データの量が多いため、共通データ作成、共通利用、修正の他分野へのフィード・バック等に分野、分担別では問題が多い。

シミュレーション分野は分野別の面が多いが、建物モデルは、意匠、構造、設備共通のものとして、かつ、共通情報と分野別情報があり、分野別情報が他分野でリファレンスされることが多い。

共有参照情報としてリファレンス・データベースが考えられるが、他産業分野に比し、確定

的なものより、限界域、可能域を示すものが多い。例えば、建物の便所、階段等をとっても、限界域以外、様々な組合せ、決定があり、最適設計値は個々個有となる。しかし共有するリファレンスがあり、あるプロジェクトでの採択がある。リファレンスの蓄積、検索、あるいはリファレンスする技術情報の重要な点は、設計の検討、質、コストなどに影響を与え、現在では、知識、経験に基づくべく設計経験の中に求められている。

また、平面計画の修正や変更は、構造、設備の変更になり、設計途中での変更情報伝達が必要であり、先行者から後続者への関係のみでなく、構造設計中、設備設計中、平面上の変更が要求されることもある。

工事途中の設計変更も往々にしてあり、設計図書は、竣工時、竣工図書として整備される。

また、竣工後のトラブル、フレーム情報の設計へのフィードバックも重要な点としてある。更に、数年後、改造や用途変更などへの対策も必要となる。

以上の如く、構造設計、設備設計、製図などのCADシステムを実用化した社にあっては、業務の部分分野に止ること、設計図書作製業務の中での部分有効性とその効果の検討から、情報の共通化策、共通モデル、情報交流、情報管理等、設計組織活動、分担分業、設計過程、設計情報、などの見直しの結果、CAE概念での再検討へ向うと考えられる。

### 3) ユーザーの要望と期待

建設設計分野の特殊性を産業、組織活動面で若干ふれて来た。また、需要の潜在的ポテンシャルとCADニーズの高まりにもふれたが、必要とされる今後の問題解決法は次の如くではないかと思われる。

#### (1) 建築設計、土木設計等の分野でのCAE概念の整備。

自動車産業等でのCAEは規模の大きな開発、設計、生産型の企業における設計組織のツールとしての議論であると考えられる。

建築、土木の設計は、設計業務が主業であり、調査、企画は他産業での開発に類似する面がある。一方、現行のCADは部分業務に止っており、設計技術者のツールであっても、設計組織全体の問題とはとらえられていない。また、設計組織の効率化の中での投資効果は大きく期待出来ない現状にある。

一方、調査、企画から実施設計完了まで、あるいは、工事施工用図面、竣工図面まで含め、設計組織活動全体を通じて、情報システム、設計システム、設計プロセス、プロジェクト別および参照情報等を含めての概念が確立された場合、CADを設計技術者のツールの問題としてとらえらるゝとらえ方から、設計組織のシステム、ツールの問題へ転換する可能性を有する。

この場合、そのような、システムあるいはツールを導入活用するか否かは、設計事務所、

コンサルタント、設計組織の活動の質的变化、生産性問題など経営効率化の問題としてとらえられるであろう。

しかし一方、このような概念が設計組織の対象とする目的に合致し、組織の再編成を含め適合しうるか否かの問題を有する。既に、一戸建、集合住宅、地図作製、など業務目的分野を限定した設計組織でのあり方と、建築のあらゆる分野、土木の広い分野を対象とする設計組織での適合性、導入の可能性について充分検討を要する。

しかも、建築、土木の設計の他産業の設計との特異性から見て、建設産業での、建築設計、土木設計、原子力建家設計でのC A E概念が必要と考えられる。ベースとなる概念と個別分野（オフィス、ホテル、病院、宅地造成、道路設計等）での概念との兼ね合いが必要。

## (2) 個別組織への適用の可能性に関して、

各種の設計組織が、設計方法、プロセス、特有技術、参考資料など異にするであろう。

システム形成、データベース整備等、組織適用のチューニングおよび、個別開発、個別準備と共通のものの導入が検討点となろう。

例えば、建築設計事務所と総合建設業の設計部門での適用および適応のための準備は同日には論じ難い。

## (3) 技術面の問題

### ○モデリングに関して：

原子力建家、土木構造物、建築物など、モデリングに関しても異なる場合が多い。

### ○入力に関して：

スケッチ、図面などからの入力、特に、企画段階から、計画設計、実施設計へと進むプロセスでの入力、既存図面からの入力等、文字数字、図形、テキスト等問題がある。

### ○シミュレーター

企業個有のもの、業界共通のもの等があり、各社で多く完成しているもの、調査統合すべきものと、学会等の指針、指導下にあるもの、企業ベースのものがある。区分と共通化が必須となろう。

### ○テキスト処理

建設が主に国内対象であり、設計図書が発注者へ納入する商品である点、日本文テキストは、設計製図上、設計図書作成上必須となる。

### ○データベース

文章、図形、数値等に関して、プロジェクト毎とリファレンスのものが必須、共通のものとなるのが、効率上、個別的なものも必要か。

英国、日本で建築材料のデータ、バンクが作られている。あるいは、設備機器（受電、冷暖房、空調、その他）のデータ、バンク、公共的な情報（市街地の人口、住居数等、都市計画等）の共通化が建築学会、土木学会で論議されたことがある。

これら、共通整備の可能性を利用。

○製図システム、表現技術

企画書、設計計画図書、設計製図図書など建設関係の図面、図書類は商品なので、日本語での表記を含めて。

○使いよい、判りよいシステム

建築設計者（プランナー、デザイナー）、構造技術者、設備技術者等、常時は、設計内容の討議や打合、検討を主業とする人達が使いものとしてのあり方。

(4) 機器、アプリケーション、導入問題

100名前後の設計組織—独立経営体が、採算ベースにのって採用、導入出来るシステム。コンピュータの専門者をあらず、設計者自身が運用出来るシステム。

現存するCADシステムは、専門部門が導入検討、アプリケーション開発あるいはチューニングにタッチするケースが多く、導入可能な企業は、大手に限定される。

計算センター等のホストとリンクし、ローカル・プロセッサ、データベース、グラフィック装置より構成されることが望ましい。

アプリケーションの整備、データバンクの整備などと共に、利用者の教育活動、導入相談などをセンター要点がはたせれば、と考えられる。

電電公社DEMOSの歩んだ道は建設関係事務所に対して、一つの方策を示したもの。

（現在、建築設計事務所、土木コンサルタントで、数百台の端末利用があると考え。）

## 6. 今後の課題

### 6.1 企業戦略からみたCAE

( 綾 )

CAEシステムの構築は、これからの10年の間、製造工業の企業戦略の重要な課題の一つとなる。新しいテクノロジーとその応用という新しい分野での挑戦である。

CADは、現時点では単なる製図の自動化にすぎないとの説もあるが、本来コンピュータは、人間を雑用から開放する方向で利用するのが正しい使い方であろう。CADがビジネスとして成立しはじめてきたので、企業としての戦略的な課題は、CAEシステムの構築へと移行して行く。

超LSIの実用化によって、コンピュータ利用技術はますます進展して行く。とくに、ハードウェアは、高性能化・低価格化して行くものと予想される。ハードウェアは変化して行くことを前提として、自社型のソフトウェアのアーキテクチャーを決定しておくことが重要な事項となる。

これからのシステムの開発においては

- ・ 自社のノウハウ／技術ポテンシャルを組み込んだ、自社専用のアプリケーション・プログラムの開発
- ・ 部品としてのソフトウェア製品の購入利用
- ・ 有効なCAD(ターンキー)システムの利用の三つの方式を、バランスよく使いわけることが必要となろう。

ハードウェアには、経済性とレスポンス・タイムの間に相関性がある。この2つの相反する要求を調和させるためには、ネットワーク方式のアーキテクチャの標準を設定しておく必要がある。

企業の戦略的な課題として成功させるためには、何よりも大切なものは価値ある課題の選定である。そして、CAEシステムを成功に導くためには、組織・制度・運営方式の変更、業務の標準化の推進、エンジニアの再教育等経営のトップの意思によって決定される前提条件を整備することが必要となる。

ツールからシステムへと成長させて、より大きな価値を創造するためには、単なる能率の向上ではなく、大きな効果を生み出す効率化を目標として、戦略的なアプローチをして行くことが必要である。

80年代の前半、超LSIの実用化でCAD関連機器は急速に進歩する。質と量の両面での具体的なマイル・ストーンを設定して、現実にもリットをあげながら着実に目標にむかって前進して行くことが企業の中では要請される。

人間は変化に抵抗する特質をもっている。コンピュータとグラフィックスもトータル・システム

として販売されているソフトウェアも充分高度なものではない。このことを確実に認識して、新しいオペレーションを成功させなければならない。

## 6.2 基本的ニーズの分析

(長岡)

CADを対象とした機器、システムの提供を行っているのは現在70社、ソフトウェアで形状モデリングとして発表されているものでも16システムに及んでいる。

このような現状で、今後の展望を行うことは予測も含めて、困難である。従ってここでは現在のユーザー側のニーズとして現在のものと将来顕在化すると考えられる項目を羅列する。

また、CADからCAMへの展開として、最近、Factory Automationへのアプローチ、FMS (Flexible Manufacturing System)が試みられているので、このシステムにおけるニーズもあげる。

### 1) 基本的ニーズ

- (1) コンピュータ、周辺および端末、データ伝送についての費用対効果をあげ、とくに、図形処理、構造強度計算に要する計算時間の短縮、費用の低減。
- (2) マンマシン・インタフェースをより一層人間サイド近付け、使い易くするためのマンマシン・インタフェース。
- (3) 図形処理または形状表現用語などの統一。

### 2) ユーザー側のニーズ

#### (1) デバイス

- 部分設計から加工に至る図面を媒体としない情報伝送デバイスの確立。
- 部品加工から組立に至る図面を媒体としない情報伝送デバイスの確立。
- ディスプレイ、プロッタなど端末機、周辺機のローカル処理機能を付加、向上させて、ホスト、回線の負担を少なくする。
- 3次元画像表示が可能なカラーCRT。
- カラーCRTのハードコピー。
- カラーCRTのjaggieの解消、分解能の向上、回転、拡大、縮小などの図形操作機能と処理時間の短縮。
- プロッタのスタンドアロン機能。

- プロッタのサイズ(A0以上)の拡大描画速度(9600 mm/min)の高速化, ペン数(多色), 画質の向上(かすれ, インクの飛散, ボタ落の解消)。
- 図面上の曲線, 直線, 交点停止, などの機能を持ったディジタイザ。
- 自由に置かれた部品を計量確認できるディジタイザ。

## (2) ソフトウェア

- 形状に制限されない3次元の加工物の表現を簡単に表現する。
- 組立を目的とする設計のシミュレータに利用するための部品形状, 姿勢, 干渉チェックが可能な形状定義, マンマシンデバイス。
- 組立を目的とする非線形要素を含む強度解析。
- 実用的3次元形状強度解析。

## 3) FMSからのニーズ

### (1) 設 計

- 3次元形状の表現と入力モデルの簡素化。
- 部品の重量, 慣性, 体積の計算。
- 繰返し図面の寸法変更。
- 3次元形状の把握のためのディスプレイ。

### (2) 機 械 加 工

- 自由曲加工と加工精度, 特に刃具の形状が再研磨された場合の形状データの複製。
- 自由曲面, ポケット加工における刃具干渉チェック。
- CNC個別機械のための自動プログラム言語用ポストプロセッサの対話形作成機能。

### (3) 組 立

- 組立図の干渉チェック。
- 組立用ロボットの軌跡, アームの干渉チェック。
- 組立嵌合チェック。

## 6.3 ユーザー・サイドに立った課題

(清水)

### 1) マン・マシン性の改善

図形処理を対話で行うには更に改善されたマン・マシン性の良いものがほしくなるのは当然の

ことである。

- システムの応答性を高めたい。
- 3次の入力を容易にしたい。
- デザイナの判断をモデリングの上に容易に反映させたい。
- 音声入出力で応答させられないか。
- 三次元ディスプレイ等による立体視は出来るようにしたい。
- ダイナミック・シミュレーションにも使いたい。
- 処理結果に応じて点分けしたい。

等頭の中で考えたのみでも多くの事が思いつく。

CAEのようにCAD/CAMの拡張解釈したものでは必ずしも対話中心の話しとならずパッチ指向のシミュレーションもかなり重要なファクタとなるが、人間の指示の所は対話で行いたいのではないか、そのためにも対話出来るように改善の努力はして行かねばならない。ハード、ソフトに亘ったリアルタイム処理性の改善はCAE実現に重要なニーズとして取り上げるべき問題といえる。

## 2) データベース

図形データベースでは単に図形を格納出来るのみでは用をなさない。修正が対話で行える等入出力機器とからまって閉じたシステムとしての要素を持っていなければならない。

図形データの汎用性も今後の普及と合わせて何らかの形で横との整合性も必要となろう。図形データの構造もモデラー毎に特有なものであるかも知れないがお互いにデータ交換の可能性を見出し、手順さえ守れば使えるようなインタフェースはほしいものといえる。

そのためにも伝送コードや浮動小数点データ形式もコード変換しなくても良いようになっていた方が良く、漢字コードも同じコードで扱える方が良く、データベース以外の点でも整合性はこれからの課題ともいえる。

今後ワード・プロセッサがグラフィック化されるようになってくると、CAD/CAMシステムと図形データ上での整合性も気になる時が来るようにも思われる。現状では流動的な発展段階であるから統合や整合性は無理かも知れないが、意識的に今後計画する必要性は十分有ると見られる。

## 3) ソフトウェア資源の有効活用

CAD/CAM分野で多様化すればする程ソフトウェア開発の量は増々増大し、最低でも100

kステップにもなるソフトウェアをいくらかでもアプリケーション対応に開発するようでは到底一社の開発の手に負えるものではない。

そのためにも各社で開発したソフトウェアが出来る丈利用し合えて、お互いにソフトウェアの価値を認め合った利用方法を確立しなければならない。ソフトウェアのポータビリティと相互利用は国内はもとより国外にまで広く求めて行き、ソフトウェアの売買で商売出来、更にソフトウェアが充実して行くように協調して行かなければ生きて行けなくなるのではあるまいか。

CAD/CAMの世界はもうこれで完成ということにはならない無限の可能性を秘めており、曖昧さの中に解を求めるといふ限界を常に持った分野である。そのために単にメーカー同士が協調するのみでなく、メーカーとユーザーの協調も非常に重要なことになる。

CAEの分野に入れば入る程、設計者は設計の正解が解らないが色々な条件で自分に都合の良いものに収束させて行き、ある条件で妥協することになる。解はいくつもあるのかも知れない。単に方程式を解けば済むわけでもなく対話で条件を色々変えて最適解を見い出すことにもなる。

又、ファッション性、見映えの有る製品設計にするための変更にも対処しその応力解析も行わなければならないかも知れない。

従来の設計方法とは違って、デザイナーが直接コンピュータの中にモデリングして評価をすることも今後行うようになるだろうし、単に設計者が基本設計をするのみでなく、製品化できるまでの道具になり得るCADとそれが本当の意味でのCAEのねらいなのではあるまいか。

#### 4) わが国向けのCAD/CAMとCAE

設計に用いるCAD/CAMシステムはその国情に応じ図面レベルではかなり異なることになる。その国の文字、表記法、規格等と色々なことがからまってくるからである。そのため海外で作られたソフトウェアでもわが国で活用するためには、それ相応の変更や合せをやる必要が出て来るかも知れない。そのため修正のし易い形でソフトウェアが作られておりソースレベルでの追加、修正が容易に行えるものが望ましい。

CAD/CAMからCAEの分野でわが国の国情に合わせたシステムにすればする程外国のシステムは日本ナイズ出来てもその逆は難しく、外国のユーザーに使ってもらえる形は簡単ではない。ハードの部品、装置レベルは共用出来る筈であり、ソフトウェアやファームウェアで国情の差をカバー出来ることも今後の課題なのかも知れない。

CAD/CAMの利用が多様化しCAEまで進んだ形態では、ソフトウェアの開発量が相当のものになるので、その汎用性とポータビリティは重要な課題である。

多くのユーザーに使ってもらわないと普及しないので安価にもなって行かない。導入し易く、

適合性の良いソフトウェアの供給により効果を出せるシステムで、メーカーにとっては商売になる程度の市場規模になることが花を咲かせるための前提条件でもある。

ただCAEシステムまで進むと各種ノウハウまで含んだものになるので、生産技術やデザイン技術まで広範囲なものを要求されよう。普及と高度化、多様化は相反する要素をもっている。曖昧さを少なくして、個々のユーザーの個性に容易に合せられるシステムを供給することが理想であるが、CAD/CAM、CAEでは仲々曖昧さを少なくすることが難しい。又ユーザー個々の設計業務が千差万別であるので、如何に標準化して、汎用性があり、ユーザー業務に合わせ易い形でソフトが余り要らないようにしなければならないと考えられる。

今後、メーカー間、メーカー、ユーザー間のインタフェース整合性は普及段階に入る前に検討されるべき事項として今後の課題といえないかと思われる。

#### 6.4 人間、他システムとの親和性及びユーザー・システムの流通 (橋本)

1) CADシステムを構築するにあたっては、①人間とシステムとの親和性、②従来人間が思考していたことをどのようにシステムに組み込むかの2点について特に留意する必要がある。具体的には①については会話ワークステーションの操作性、会話性が一番問題となる。CAEシステム実現のためには、3次元物体の表示に適したグラフィック・ディスプレイ装置の開発が課題と言える。設計対象の全体を直観的に把握するには、カラー、濃淡付表示が適しているが、現状のラスタースキャン型では3次元物体表示には性能が十分でない。表示精度の向上、表示速度の向上、CPU負荷の軽減のためのインテリジェンシ機能の付加が今後望まれる。

②の人間の思考の組み込みについては、通常ユーザー個有の業務アプリケーションとしてシステムに組み込む。システムがこれら業務アプリケーションを受け入れやすい構造になっていることは当然必要であるが、ユーザー個有の業務アプリケーションを開発するための各種ツールを整えることも必要である。特に図形ハンドリングや図形データベースの扱いが容易にでき、かつ効率の良いCAD言語の開発が課題と言える。

2) CADとOAは現在あまり関係なく開発、導入が行われているが、両者はもっと近づき互に有機的に結合するべきものと言える。図面と文章が混在するような文書の作成に適したシステムは現在まだない。日本語ワード・プロセッサや日本語情報処理システムとCADシステムと組み合わせて使えるようにすべきであろう。

3) CADシステムだけでなく、ソフトウェア全般について言えることであるが、ソフトウェアの流通を促進すべきと考える。時にCADシステムは1システムが20～30万ステップの規模になることは普通であり、ソフトウェア資源の有効利用という点からも真剣に考える課題と言える。

欧米においてはロックード社のCADAM、ダッソー社のCATIA、ダグラス社のCADD、ノースロップ社のNCADなど本来ユーザー・プログラムとして開発されたものが外販されている。我国においても大手ユーザーでは、これら欧米のシステムに優るとも劣らぬものが開発されているはずであり、ぜひこれらシステムの外販を推進していただきたいと考える。

## 6.5 エンジニアリング・データベースの拡がり と 課題 ( 難波田 )

4.2節で述べたように、CAD/CAMあるいはCAEデータベース自身が今後の大きな課題であると認識されている。これは、CADによる製品設計とCAMの製造設計とをデータの結びつけるためのデータベースに留まらず、関連する治具、取付具、工具に始まり、部品表、設計計算、テストデータ、フィールドデータ等に至るまでを一貫して取扱えるようなデータベース、さらには生産管理、販売情報等とのインターフェースも考慮されたデータベースが必要であると認識されているからである。

またCAEデータベースには、4.2節での記述の他に長期的問題として①ユーザーである設計者が自分の仕事のために必要なデータ、データ間の関係づけを自由に扱えるような概念スキーマレベルでのデータモデル②データベース中の意味的インテグリティ、すなわち各データ間の意味上での整合性の確保③設計上のノウハウを扱うためのArtificial Intelligence等が課題である。

## 6.6 論理装置のCADにおける今後の課題 ( 松 浦 )

コンピュータをはじめとする論理装置は、半導体技術の急速な発展と旺盛な社会的ニーズにさらされて驚くべき進歩を続けている。特に最近ではコンピュータについても最先端技術を駆使する大規模高性能製品の分野とマイクロ・プロセッサを含めて社会の各方面各層に浸透する多様化製品の分野という二つの大きな特徴が見られる。

このような状況変化を受けている論理装置の設計・製造のCADについて、その努力目標、あるべき姿、あるいは将来像というべきものについて、今日再検討する価値があるといつてよいであろう。しかし急速に進歩しているこの分野においてそのCADに関する指導的技術を明確に指摘することは、いわば2段階的なむずかしさがある。そこで次に論理装置のCADの今後の課題について

私見を含めて述べる。

- ① 新しい最先端の設計・製造技術を充分支援できることが必要であろう。LSIの集積度は現在論理回路で20kゲート/チップ程度であるが、1990年ごろには100kゲート/チップ以上になることが予想されており、これを設計者の生産性からみると年率数十パーセントの向上が必要ということになる。この事実からも新しい技術を支援できるCADの必要性は論ずるまでもないであろう。
- ② 設計者の蓄積した設計技術を必要なときに必要な形で利用できるシステムが広く求められている。これは上記第①項とも関連するが、設計対象が急速に変化したり、あるいは設計自動化が困難な分野では、どうしても人間の創造力や判断力が主力になる。したがって、設計時における設計者の判断力の他に、過去の創造力の積み重ねである蓄積技術を有効に活用できるCADシステムが望ましい。このようなシステムは、第5世代コンピュータ開発計画に述べられている知的CADシステムとも深い関係があると考えられる。過去の技術蓄積を充分活用できるCADシステムということになれば、それは当然指導したり、ヒントや誘導を与えるCADシステムにも発展するであろう。知的CADシステムでは、データベースが大きな問題であって、そこでは論理データと図形データが知的なライブラリをアクセスする知的データベースとなることが必要である。
- ③ 論理回路の正しさに関する形式的証明(formal verification)は解決困難な問題であろうが、制限付の部分的解決でも知的CADシステムの内でも位置づければ、その実用的効果は大きいであろう。論理回路の検証は現在のところ論理シミュレーションによるものが中心であるが、これによって論理回路の正しさを完全には証明することはできない。
- ④ 設計者とコンピュータのインタフェースとしてグラフィック・ディスプレイが用いられているが、図形をととも情報入出力には大幅な革新が必要であろう。現在市販されているCRT方式のグラフィック・ディスプレイで20インチ程度の大きさでは大変使いづらい。平板型で1m<sup>2</sup>平方、もちろん8色程度のカラーに加えて3次元取扱いのできるものが望まれている。  
インタフェースに関してインテリジェント機能の高度化は当然であるが、具体的実現に関することとは言えハードウェアやソフトウェアの基本的な問題点についてはCAD側からの要求をよく検討しておく必要があろう。
- ⑤ 論理装置に対する社会的ニーズはこれからも多様化すると考えられる。これまで主としてメインフレームコンピュータの担当部門のように最先端技術の内部を直接アクセスする場合の課題について述べてきたが、これからは産業の多くの分野で知能化した機械による自動化が促進されるといわれており、このような状況では多種多様な論理装置が必要になり、それらを生産する技術者の数も非常に増加することが考えられる。したがって、これらの一般には高度のスキルを期待し難い多くの論理装置設計者に対して彼らの設計活動を支援するCADシステムが広く求められ

るようになるであろう。先端技術が急速に普及する傾向にある状況ではこのようなCADシステムは重要であり、またよいCADシステムがあれば先端技術の普及が促進され、産業の国際競争力の強化に貢献すると思われる。

- ⑥ CADシステムの開発整備が継続的であることが望ましい。パイロット・システムとして開発されたCADシステムが、システムの各部分や全体について再構成や大幅な改修をすることなく実用化システムへと発展できるようになることを期待したい。データベースについても同様の要望が多いと思われる。
- ⑦ CADシステムを導入・運用する側の問題点としては、CADシステムをToolとしてとらえるのではなく自分達自身のSystemと考えるべきであろう。この問題はかなり改善されてきていると思われるものの、現実のレベルではまだまだ努力すべきことが多いようである。
- ⑧ CADシステムの開発努力をさらに促進させるべきであろう。上記第①項から第⑥項まで長期的で解決に大きな努力を必要と思われるものばかりを取り上げたが、これらの難問が解決されなければCADの状態が現状のままよいという理由はないはずであり、多くの部門でCADシステムの技術開発を促進させるべきであろう。ただ実用化の問題を考えるとコンピュータや端末機器の大幅なコスト低下をまず期待したい。実用化レベルではソフトウェアの開発整備が、ハードウェアの開発よりかなり遅くれるため、ソフトウェアの開発整備に刺激を与えるためにも優秀なハードウェアがどんどん登場することを期待したい。

## 6.7 CAE受入れ側の問題

(百・々)

本文でも述べたが、つい最近、市販CADシステムでソリッド・モデルの発表及び予告があいついでいるが、現在の大型CPUを使ったワイヤ・フレーム・モデルのCADシステムでも、図形検索を行おうとすると、通信制御及び計算機処理速度ネックで、インタラクティブに行うには実用に絶えず、大型CPUがデータ管理用の仕事しかしていないのが実情であろう。今後、増々要求される高精度な解析計算、動的シミュレーション、データ検索・管理を行うには、光通信及び高速の新し方式の高々速処理の計算機(処理速度約 $10^3$ オーダ倍、メモリ容量約 $10^2$ オーダ倍)の出現が望まれる。

これも本文でも述べたが、マンマシン・コミュニケーションのマンマン・コミュニケーション化が必要で、音声入力、音声出力はいうにおよばず、光学読取り、ホログラフを利用したり、すでに特許にもなっている3次元レーザーディスプレイ等による3次元のディスプレイ等の実用化が望まれる。

以上の機器、システムに対するもの以外に、それを使用者に対する問題があると思う。設計者というのは保守的で、なかなか従来のやり方を変えようとしなないものである。曲りくどくいえば、設計者が保守的というより、人は一般に保守的な面を持っていて、従来のやり方をなかなか変えないものであって、工場現場の労働者のように指示されて作業を変える環境にあるのとは違う。昔の工場現場の高度な技術を持った技能者と同様で、現在の設計者は頭脳労働者で、やり方を変える必要を認めないだけのほこりを持ってられるからであろう。

現在、電子機器メーカーでCADシステムを導入して成功しているのは、大雑把に言って、設計者がいやがっていて、アシスタント的な人が行っていた作業の自動化あるいは、人手では時間がかり過ぎる技術計算等であろう。このように現在取られているアプローチは、従来のやり方を出来るだけ尊重して、設計者が便利になるように段階的に行っていく方法である。これは、もちろんよい方法であると思うが、しかし、もっと別の方法があり、それが出来るような時代になってきたのではなからうか。その方法は、初めから設計作業そのものを、CADシステムを使って行うよう教育して、従来方法で行う設計部隊とは別の新しい組織の中で実行する方法である。この方が、やり方によっては早く戦力になるし、短いフレッシュな時代にスピーディに、高い技術を極められるのではなからうか。

大学でも、まだ図学あるいは製図の時間があつて、旧態依然とした教育を行っている所が多いと思うが、基本的な考え方のみ教えるに止めて、CADシステムを使った教育（たんなる使い方ではなく、CADシステムを使った設計手法）を行ってはどうか。そのような時代に入っているのではなからうか。

いつの時代でも、すべてに新しいものが取って変わることはないが、前記の技術が実用化されると同時に、図面レス、文書レス時代がくると思う。（現在でも、文書はA4で2KB（2千字）のメモリ容量で、これはディスク・メモリのレンタル料で約1円／月であり、紙より安い時代である。）

また、そのような図面レス、文書レスの計算機で業務の大半を行うような時代になる前に、すでに米国では大きな問題になっている計算機を使った犯罪問題を、物心両面で解決する方法を早期に見出すことも今後の重要な課題であると思う。

## 6.8 目標設定の問題

（藤原）

もう15年も前のことになってしまったが、当時のいわゆるMISブームのさ中に、米国からEDPのコンサルタントを招いて、会社のEDP分野における活動状況の診断を仰いだことがあった。ほんの短期間の彼の滞在中に、関係者としてほとんどつききりできて、その間に多くのことを学ん

だ。その中でも一番強烈な印象をうけ、鮮かに記憶に残っているのは、彼が“Objective(目標)”しかも会社のトップが与えるそれを、機会あるごとに強調していた点である。

日本流のりん議制度の中で、下の方でつくった目標がすんなり通ってしまふ一勿論例外もある—のような環境になれていた人間にとって、これは誇張して言えば、一つの革命であった。“目標は明確か”は、その後の自分の行動の指針として陰に陽にたえず意識していたように思う。

コンピュータの適用が成功するか、失敗するかのわかれ道も、極言すれば、はじめに明確な目標がかかげられていて、それにかかわったすべての人々がそれを常に意識しながらお互いに協力をしたかどうにかかっているように思える。航空機関係でCAD/CAMの導入に成功した例をみても、基本的なところではこれにあてはまる。

勿論、物事はそれほど単純ではなからう。たとえ目標が明確であったとしても、それを達成するために必要な資源に問題がある場合もしばしば生じよう。資源を人、物、金にわけたとき、コンピュータではその歴史の浅さから人の不足がさげられない。業務を通じて実力をつけた人が方々で育ててきているのもたしかではあるが、これからやらねばならない会社全体からみた業務量からすれば、絶対数は不足している。

物をコンピュータおよび通信もふくめてその関連機器とする場合、最近ではかなりの程度までユーザー側の要望が満たせるものができてきている。ことに最近では、はやりのOAとかCAD/CAMを意識するとき、使いやすく価格もほどほどといえるものが汎市場に出廻っている。

金の方はよくわからないが、これも人的資源と同様に決してじゅん沢ではないけれども、傾斜配分すれば何とかなるだろう。

こうした中でCAD/CAMあるいはCAEにおける今後の課題を考えてみる。道具の方のおせん立てはある程度まで整い、人材も不足ながら何とかいる、お金もほどほどにはだせる、このような状況の下で、最大の問題はやはり目標の選定であり、具体的に何を対象として取り上げるかであろう。それがきまり、それを対象としてCAD/CAMないしCAEのシステムを開発しようとするとき、対象物を構成している複雑な、お互いにかみあった全体と個々について、十分な認識があり、知識をもっていて、新しいシステムでどこをどのように変えて効率化をはかってゆこうとするか、という点になると、対象物が大きければ大きいほど、これは生易しい作業ではないということが判る。そのような場合でも、明確にかかげた目標の下で、強い改革の意志をもって計画・体系的に一步一步前進することは可能であろう。

日本の航空機産業界が範とした米国の航空宇宙産業界は、この面ではっきりした認識の下に、継続した開発の努力を長年にわたって行ってきた。我々の今後の課題も、これを他山の石として、明確な目標の下に、長い時間をかけて、一步一步ふみしめながら着実に歩いてゆく努力をつづける

ことにあるのではなからうか。

## 6.9 CAE開発の留意点

(松岡)

### ○企業経営、組織運営から

現在までのCADの問題の単一部門の業績の効率化、質の向上、生産性の向上等を目指し、ややローカルな、部門問題としてとらえられ、システム開発、CAD機器等の投資も個々のものについては、過大ではないとの認識でその開発を進め得た。

CAEの対象領域を考える場合、複数部門で広域にその開発の成果が利用されよう。このことは、単一部門の問題ではなく、複数部門の問題となろう。同時に、組織体質、経営問題にまで波及することが考えられる。

一方、その開発は、技術的問題に見通しがついたとしても、相当の規模となり、開発投資と施設投資の将来見通し長期見通しが、効用効果と共に必須になろう。

トータル・システムやMIS論がまき起った時点と時代を異にし、内容と異にするものの計画策定方策、システム開発方策、実施計画と実行についての十分な検討を要する。

先行しCAEアプローチを行っている企業について、公開しうる基本技術、実現の方法論等についての発展、参考とすべきところを参考としての計画未定が、近い時点での課題といえる。

部分業務のCAD建設設計でも急速に進むとも考えられる。複数組織がからみ、経営上の課題の一環ともなるCAEアプローチが、更に効果あるものとしてあるとしても、多分にそのギャップは大きい。技術論のみでなく組織、経営両視点からの裏打ちが課題である。

### ○技術面から

2つの面がある。CAE概念を適用する業務システム等、設計システムの技術的見直し、設計方法、組織および、設計情報論が1面にある。

1面に、コンピュータ技術、即ちCAE設計方法論等を実現する基盤技術がある。

今回、多くの調査、討議が行われ、若干の見通しを得るに到ったと思われる。

しかし、コンピュータ技術面においても、ハードウェア、ソフトウェア技術両面において、CAEシステムを計画し実現するための基盤整備が必須と思われる。

### ○共通基盤と産業別システム基盤

ハードウェア、ソフトウェア技術、CAEの基本概念など共通基盤となるものと、産業別、設計分野、CAE概念の適用分野など、業種別に調査研究を要するものがある。

今回の調査をきっかけに、共通基盤は共通基盤として産業別の調査研究産業はそれとしての整備

が必要と考える。

○開発体制等について

CAEシステムのパイロットの開発，試行が進展すると思われる。多分に企業もコンピュータ・メーカー，ソフト会社等の協力を得る必要があろう。特にソフト技術，プログラム開発に関して支援しうる体制が望まれる。

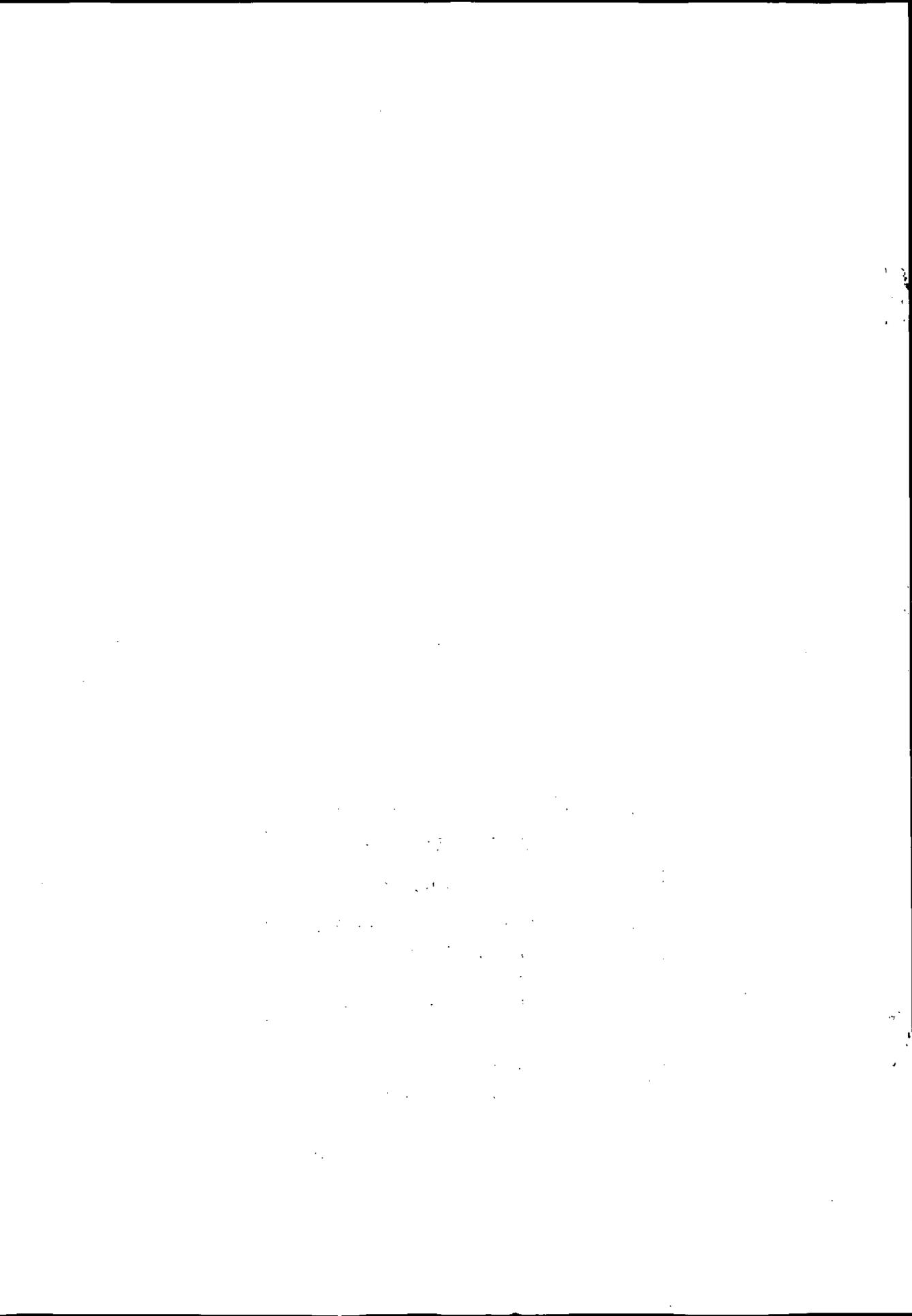
— 禁 無 断 転 載 —

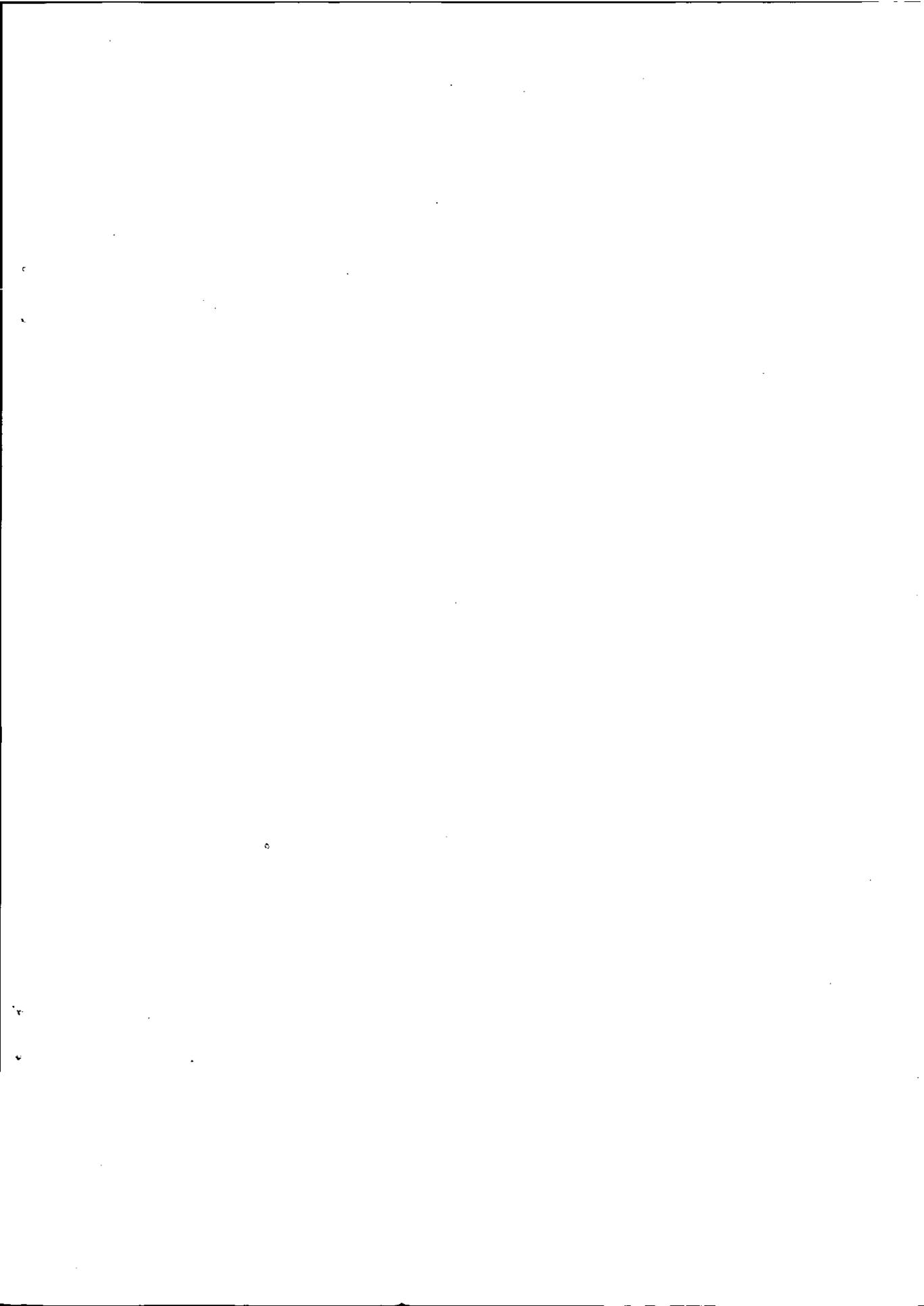
昭和 57 年 3 月 発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発協会  
東京都港区芝公園 3-5-8  
機械振興会館内  
TEL (434) 8211 (大代表)

印刷所 株式会社 正文社  
東京都文京区本郷 3-38-14  
TEL (815) 7271

56-R004





原本 (持出厳禁)

原本 (持出厳禁)	
受 付 No.	B-6
受付年月日	
作 成 課	