U.D.C. 〔621.7/.9-52＋658.512.2.011.56〕:681.32:681.327.13

CAD/CAMシステムとエンジニアリング ワークステーションの動向

Recent Trends of CAD/CAM Systems and Engineering Workstations

早川光春*　*Mitsuharu Hayakawa*
山内　清**　*Kiyoshi Yamauchi*
越智利夫***　*Toshio Ochi*
加藤　猛****　*Takeshi Katô*

GRADASの開発・普及を始めてから5年を経過し，約100社に使われるまでに成長した。この間，グラフィック ターミナルの高速・高精細化など多くの改良を行ってきた。CAD/CAMは，32ビットのマイクロプロセッサの出現・普及によって，パーソナルシステムが中心になってきた。調査の結果，ユーザーが望むCAD/CAMシステムは，データベースを中心としたコストパフォーマンスのよいエンジニアリング ワークステーションであることが分かった。本論文では，現在開発中のエンジニアリング ワークステーション形GRADASについて紹介する。

1 緒　言

多くの製造業の最近の課題は，円高に対応するための輸出市場での価格競争力の強化が第一である。このため設計・製造部門では，製造原価低減，新製品開発，自主技術開発の促進をCAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)システムに期待することが大である。そこで，CAD/CAMシステムへのニーズについて考察し，システムの必要条件の整理を行い，次にGRADASの次期システム構想を紹介する。

2 CAD/CAMシステムへの期待

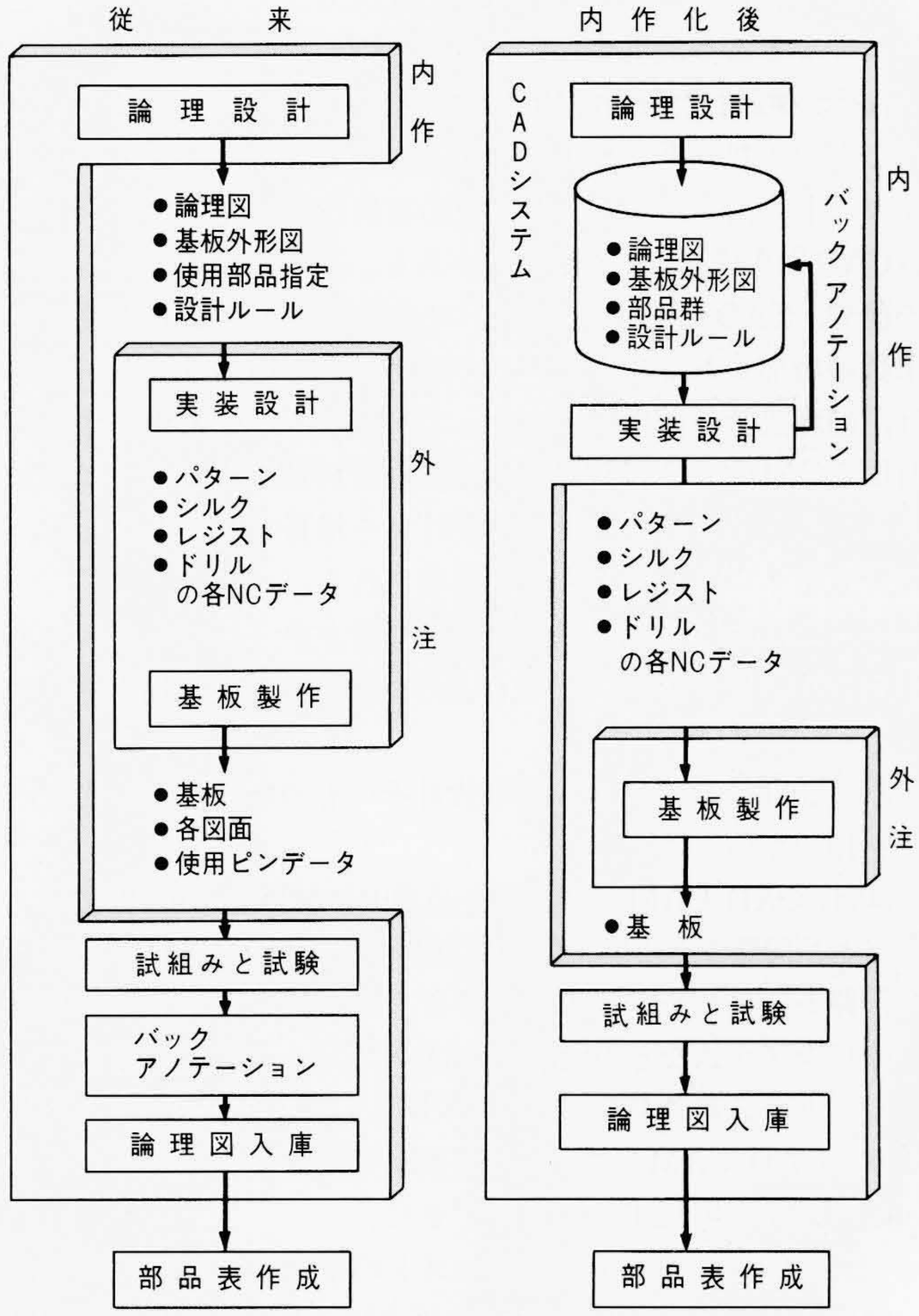
2.1 CAD/CAMシステムの必要条件

(1) A社の事例

CAD/CAMシステムの導入によって，製造原価の大幅低減に成功したA社の事例を紹介して，CAD/CAMシステムの必要条件を考察する。

A社では，OA(Office Automation)機器製品の論理設計後，プリント基板のレイアウト設計から製作までを外注していた。内作化政策のため基板レイアウトまでを自社で行い，基板製作だけ外注するようにした(**図1**参照)。これは，設計変更処理期間の短縮にも貢献した。A社は，もともと基板レイアウト設計をマニュアルで行っていた経験があり，今回の内作化では，新たにプリント基板CAD/CAMシステムを導入して行われた。

一般的に，外注作業を内作化するには製造設備投資を伴うだけでなく，CAD/CAMシステムの開発・導入及び設計や製造技術をも開発・導入しなければならない。したがって，最近のCAD/CAMシステムの導入に際しては，デザインルールチェックやサポートするインサータの種類の豊富さがユーザーのシステム選定ポイントの重要な項目の一つとなっている。



注：略語説明
NC(数値制御)，CAD(Computer Aided Design)

図1　従来と内作化後の設計・試験工程の比較　　実装設計で決まったLSIのピン番号を論理図へ反映するバック アノテーション作業がCADシステムで自動化される。

* 日立製作所大森ソフトウェア工場　** 日立製作所情報事業本部　*** 日立製作所ソフトウェア工場 工学博士　**** 日立製作所大みか工場

表1 製造原価低減の阻害要因と予想効果 CAD/CAMシステムを導入して内作化を進めれば，予想効果欄の効果が期待できる。

製造原価低減の阻害要因	予想効果
1. 運用コスト増加要因 (a) CADへの論理図入力工数の増加（設計者への負荷が増加する。） (b) 実装設計工数の増加 2. システム開発コスト (a) 実装技術の開発 (b) プリント基板CAD/CAMシステムの開発	1. 実装密度向上による (a) 製品の小形化 (b) 製品原価低減 2. 設計変更期間の短縮 3. 開発期間の短縮 4. 論理図へのバック アノテーション工数の削減 5. 基板製作の複数外注化 6. 自社技術の漏えい防止 7. 生産管理システムとのリンクの効率化

(2) ユーザーのCAD/CAMシステムへの期待

A社の事例で，ユーザーがCAD/CAMシステム導入時，どのようなところが重要と考えているのかを探る。

A社が検討した製造原価低減を阻害する要因と，うまくいったときの予想効果を**表1**に示す。阻害要因には，システム開発コストの面で，プリント基板の実装技術開発とプリント基板CAD/CAMシステムの開発がある。運用段階のコスト増加の面で，CAD/CAMシステムへの論理図入力工数と実装設計工数の増加がある。まず，この運用工数を増加させない条件は，論理設計は従来人手で行っていたので，従来の論理設計時間＞CADによる論理設計＋実装設計時間が成り立つ必要がある。そうでないと，新たに設計者を増員することになる。増員を防ぐには，次の条件が要求される。

(a) CADによる論理設計と実装設計が終了したら基板加工用のNC(数値制御)データが人手を必要とせずに出力されること。

(b) CADシステムが，論理設計そのものを短縮する仕掛けを持っていること。

(a)は，CAD/CAM一貫機能を必要としており，(b)は例えば，メモリ回路などの標準論理集などのライブラリ機能，論理・回路シミュレータ，旧図検索などの支援システムや論理図編集システムなどの機能をCAD/CAMシステムが備えていることを必要とする。このようにして，A社では，プリント基板CAD/CAMシステムは，設計者の人数を増やさなくとも内作化を実現することができた。

一般的に，システム開発コストの中の実装技術の開発については，プリント基板CAD/CAMシステムのような特に技術進歩の激しい分野のCAD/CAMシステムは，常に最新の技術レベルを一歩早く取り入れていなければならない。これまでGRADAS(Graphic system for Design and Manufacturing Assistance)では，過去にピン間1本→ピン間2本配線，ノーマルビア→微小ビア，ディスクリート部品→チップ部品，TTL(Transistor Transistor Logic)主体→カスタムLSI(ミリ系フラットパッケージ)というように進歩に合わせてチューンアップしてきた。基板実装密度を10%向上すると基板＋部品のコストは，20～30%低減できる。部品単価の低減は，生産量に比例した効果となる。5,000円/枚の低減の場合，1,000枚/月とすれば，500万円/月の効果となる。システム開発コストに1億円投資したとしても，2～3年で回収できることになる。プリント基板の例以外ではプレス型加工(モールド型，順送り型など)，半導体設計，解析システムなどは，製造技術，モデリング法や結果の評価法などの設計・製造ノウハウがシステムにどれだけ含まれているかが重視される。

(3) CAD/CAMシステムの必要条件

A社の事例をもとに，一般的なことばでCAD/CAMシステムのあり方をまとめると，

(a) 技術進歩が急激に進むとシニア エンジニアの数が不足するので，これを補うCAD/CAMシステムでなければならない。システムを使うエンジニアに製品設計能力が不足していても，シニア エンジニアに劣らない成果が出せる対話形DA(Design Automation)システムであること。

(b) CAD/CAMシステムを導入することによって，新たに発生する工数は最小限であること。また，この工数は，シニア エンジニアの負担とならない代替可能な工数であること。

(c) CAD/CAMシステムの最終出力は，製品・部品である。単に絵が画けるシステムは役に立たない。サポートする工作機械・組立機械が明確にされた一貫システムでなければならない。

(d) CAD/CAMシステムは，対象とする製品・部品の次世代技術に即応できねばならない。

(e) システム導入の効果は，設計部門の省力化工数だけで開発・運用費用を回収することは難しい場合が多い。製品・部品の製造原価低減が効果を生む。最新の設計・製造技術を具備していなければならない。

となる。

2.2 企業の製品開発への期待

円高に対応するもうひとつの方法は，ニーズに合った新製品の開発である。新製品には次のタイプがある。

(1) 徹底的コストの低減を図った廉価製品

(2) 既存技術の組合せによる新機能製品

(3) 新要素技術を開発し，従来機能を代替した製品

(4) これまで市場が形成されていない新市場を対象とした製品

これらの中で(3)，(4)は，CAD/CAMシステムが直接貢献するというより人の創造性に期待せざるを得ない。しかし，(1)，(2)は，CAD/CAMシステムによって，かなり期待できる方法である。(1)，(2)タイプの新製品は，部品のはん(汎)用化をまずCADシステムによって実現し，次に，これらの部品の組合せを支援する機能によってコスト低減が可能である。

製品の機能を実現する方式や部品の選択基準を整理して，最近話題のAI(Artificial Intelligence)手法をCAD/CAMシステムに組み込む。ヒット製品をよく開発する企画者の知恵を借りたり，また，過去のヒット製品の企画書，図面を検索し，知識ベースとしたエキスパート システムを構築するので

ある。GRADASの中のHICAD/PF(**図2**略語参照)は，部品を構成する形状群を区別する機能とこれらの部品群の配置情報，上下関係を維持する機能を持っている。HICAD/PFにイメージ ストラクチャ(実際には存在しないが，組み合わせ可能な部品群を下位の構成部品として持つ部品表)機能を付加し，構成部品の中から部品を選択する機能にAIを使うことで，設計者の創造性を活発化できる可能性がある。このようなCAD/CAMシステムを使って，新製品開発をも支援するシステムにGRADASを発展させてゆきたいと考えている。

2.3　GRADASの現状概要

GRADASは，現在，日立製作所をはじめとして，社外のユーザーを含めると約100社に使われている。電機・機械・精密・輸送機器・建設・化学の各業種だけでなく，大学・専門学校・高等学校など幅広く使われている。

(1)　GRADASのCAD/CAMアプリケーション

GRADASでは，日立製作所が製造業であることから，自社で開発し，まず社内で実用化したCAD/CAMシステムを社外のユーザーに提供したいと考えている。

現在のGRADASのアプリケーション ソフトウェアの一覧を**図2**に示す。まだまだ製造業の全アプリケーション領域をカバーできていないが，電気系，機械系，その他を含め品ぞろえが豊富になってきた。

(2)　GRADASユーザーの今後の展開

GRADASユーザーが今後どのようなシステムに展開しようとしているのかをまとめると，**図3**のようになる。「現在の設計支援システムを更に使いやすいものにする。」というユーザーが多いが，これは各ユーザーの開発製品固有の専用コマンドを作成して製図作業を効率化させるねらいである。「構造解析システムに展開する。」ユーザーは，製造原価低減・信頼性の向上をねらっている。「端末台数の増加」ユーザーは試験的段階が終わり，本格的なシステム稼動のための増設ユーザーと，既に本格稼動を実施しており，端末台数を設計者・生産技術者二人に1台を目標に増設を予定しているユーザーである。

3　GRADASのシステム構想

3.1　GRADASの今後の展開

GRADASユーザーの今後の展開計画を踏まえ，この期待に添うため次の条件を満たすことが重要と考えている。

(1)　トータル システム
(2)　高操作性
(3)　性能とコストパフォーマンス
(4)　ユーザープログラムの開発生産性
(5)　基本機能の提供レベル
(6)　ユーザーノウハウの蓄積支援
(7)　既存システムの活用
(8)　システムの拡張性

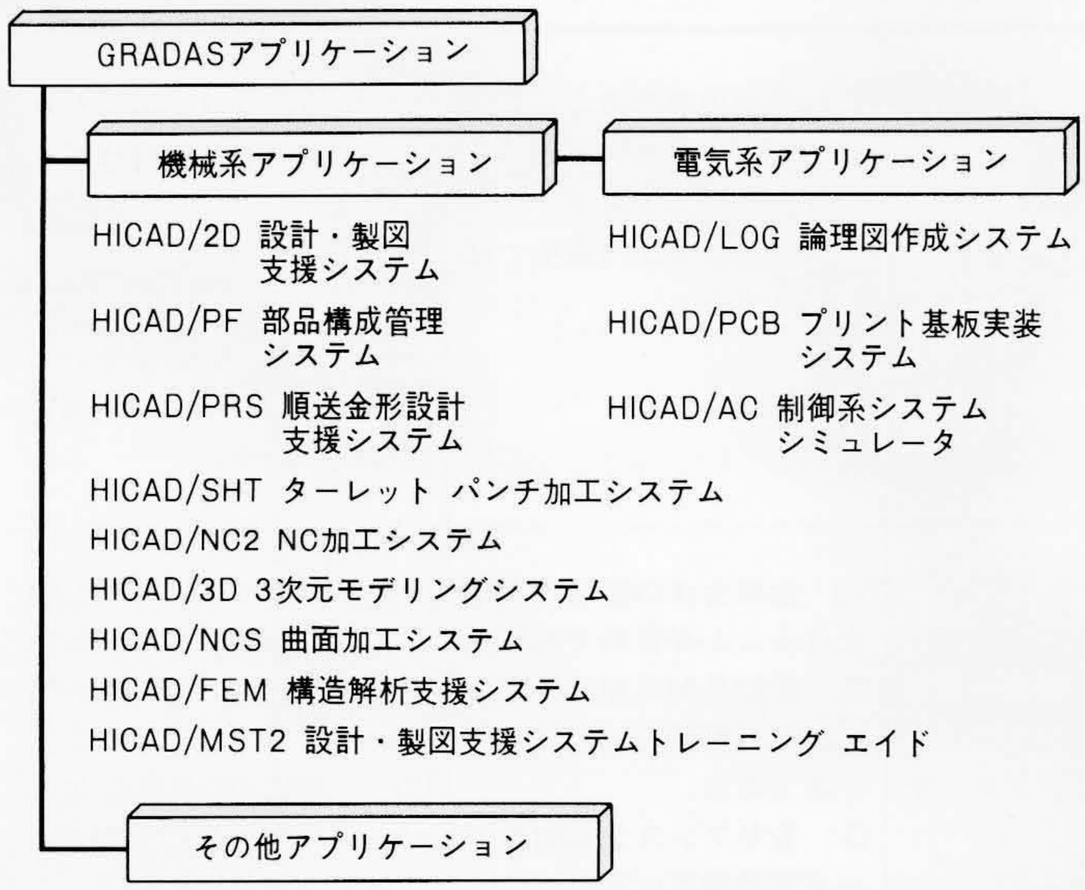


図2　GRADASアプリケーション プログラム一覧　現在のGRADASは，機械系，電気系，その他を含めて製造業のアプリケーションの品ぞろえが豊富になってきた。

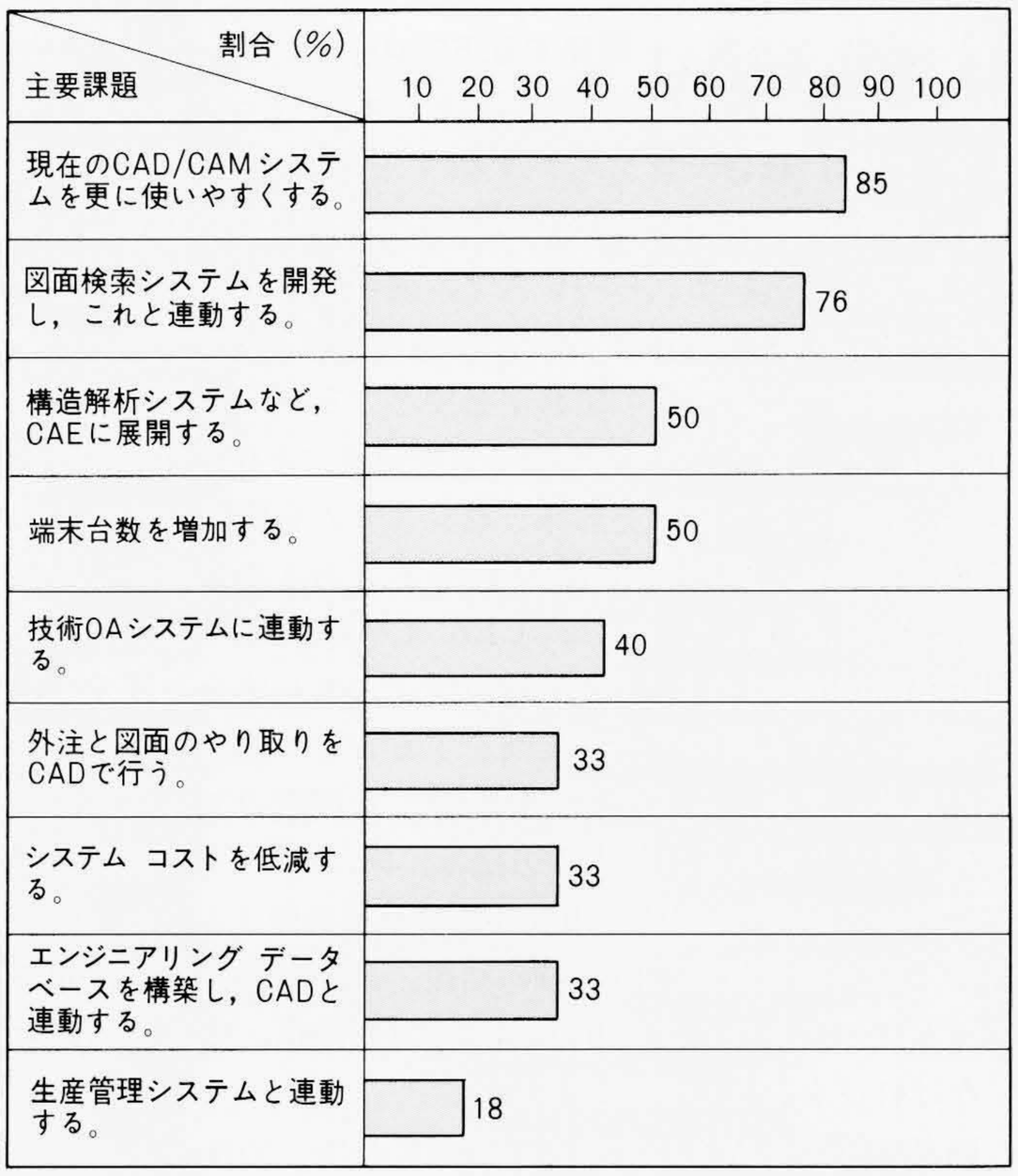


図3　GRADASユーザーの今後の展開　GRADASユーザー20社からのアンケート調査結果である。18社のユーザーが2次元機械系システムの，残り2社が3次元機械系システムの稼動ユーザーである。

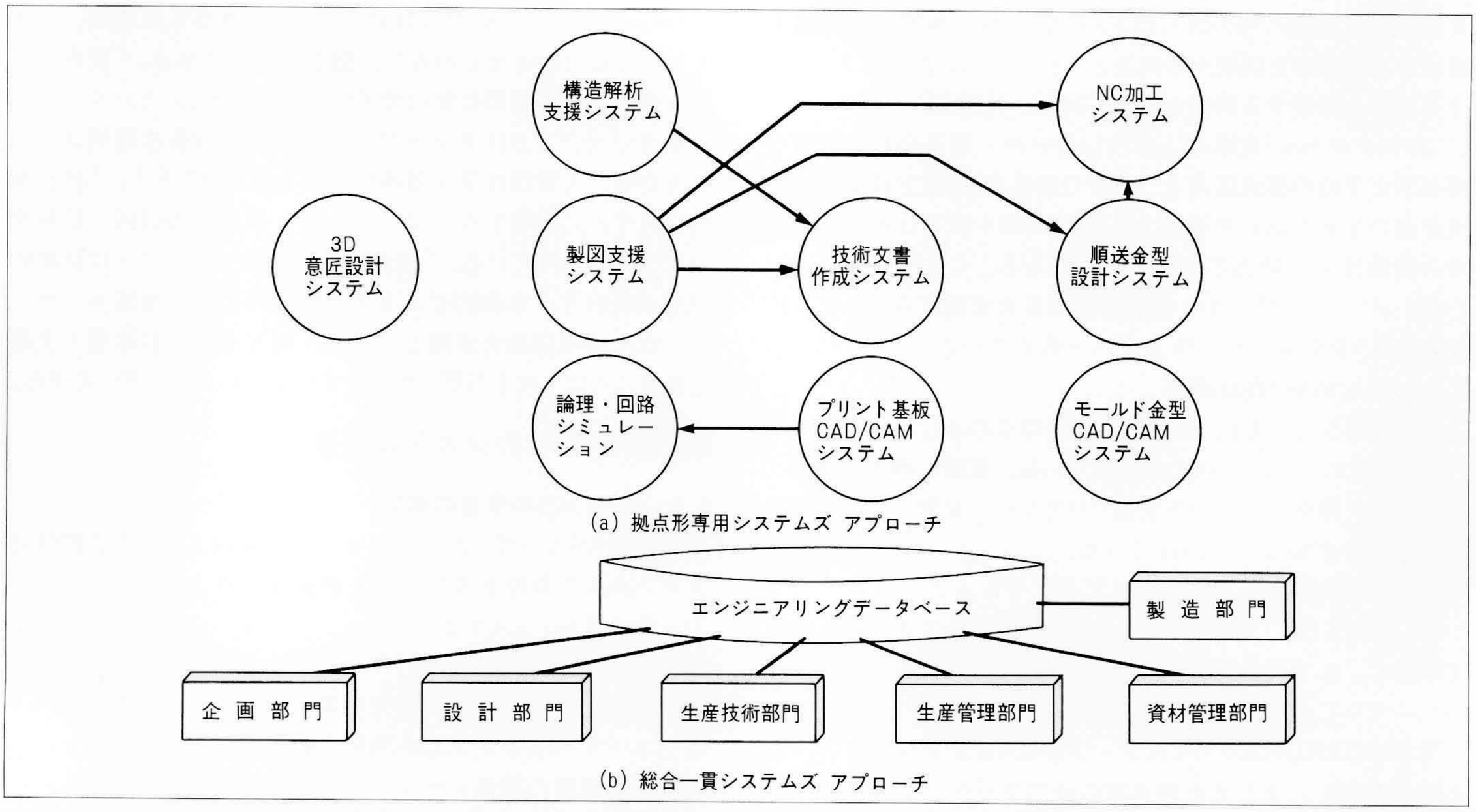


図4 CAD/CAMシステムの開発アプローチ (a)拠点形専用システムズ アプローチの矢印は，GRADASユーザーの中で現在システム間の情報連絡が行われているシステムを示す。

以下，各々の項目について具体的にその考え方を述べる。

(1) トータル システム

トータル システムを開発するアプローチには，二つの方法がある。一つは，拠点形専用システムズ アプローチであり，もう一つは，総合一貫システムズ アプローチである(**図4**参照)。前者は個々の部門単位，あるいは製品単位の専用システムを開発し，次にそれらのシステム間の情報結合を進めるアプローチである。後者は，システム化対象製品をまず決めて，その関連部門のすべての業務が必要とするデータベースを設計する。そして，このデータベースを前提にそれぞれの部門，製品，部品ごとの特徴を加味したシステムを開発してゆく。前者の方法は，部門別の専用システムであるので開発が比較的容易である。しかし，CIM (Computer Integrated Manufacturing)のような一貫システムとする場合，人手なしに相互システム間のデータ変換をすることが困難になる可能性がある。また，システム間で重複した機能のプログラムを開発することがある。後者の方法は，同一のデータ(例えば，ある部品の図面)を同時に複数部門の人が参照するため，機密保護，動的排他制御，障害時の回復，来歴管理などの機能をネットワークを介して実現する仕組みが前提となるため解決しなければならない問題が多い。

両者の特徴を**表2**に示す。いずれも長所，短所があるが，GRADASは，総合一貫システムの方向で開発を進めている。この総合一貫システム開発課題の第一は，高速ネットワーク分散データベース システムである。第二は，カバーするアプリケーション領域の拡大である。特に，最近のニーズの一つは，EOA(Engineering Office Automation)がある。設計者，

表2 二つのアプローチの特徴比較 GRADASは，総合一貫システムズ アプローチ指向である。

分 類	長 所	短 所
拠点形専用システムズアプローチ	(1) 個々の部門のニーズに合った効果的システムが短期間で開発できる。 (2) 効果が各部門単位ではっきりする。	(1) 各専用システムに形状データ入力など重複作業がある。 (2) データの集中管理機能が弱い。同一修正を複数データで行う必要がある。 (3) データ コンバージョンが必要である。
総合一貫形システムズアプローチ	(1) 企業全体の管理水準を上げることが容易である。 (2) 新製品開発期間短縮，設計変更期間短縮など効果が大である。 (3) 各サブシステム間のデータ変換費用が安い。	(1) データベースをはん(汎)用的に作りすぎると，各部門のアプリケーションの性能，操作性を悪化させる。 (2) 一部門のシステム エンハンスが大掛りになることがある。

生産技術者の日常の作業内容分析によれば，技術文書作成時間が10～20%を占める。これら文書の元データの多くは，CAD/CAMシステムのアウトプットを使っている。設計図面の一部コピー，製品試作結果報告書，特許申請書類，開発予算申請書類，実験データの解析グラフ，資材部門への発注書類，論文発表原稿などCAD/CAMシステムのデータを使えるととも

に，図形・画像・文書・グラフなどの作成を容易に行えるドキュメント プロセッサを必要としている。これらのドキュメントも前述のデータベースに集中管理し，CAD/CAMシステムのデータとリンクされれば設計変更などの事務処理を省力化できる。これらの端末は，CAD/CAMのような高精細なディスプレイを必ずしも必要としないのでOA用の機器やパーソナルコンピュータでも活用できるようにしたいと考えている。

総合一貫システム指向のもう一つの重要なコンセプトは，共通技術ベースである。データベース アクセス メソッド，図形・画像・文書・グラフなどのユーザー インタフェース，コミュニケーション インタフェースなどがすべてのアプリケーションで同じインタフェースで作成されていることが重要である。1台の端末から各部門のアプリケーション ソフトウェアをすべて実行することができれば，部門間の情報連絡を円滑化することができる。ユーザーのシステム開発部門の人たちは，多種多様なハードウェアやオペレーティング システム，各種インタフェースを理解する作業から解放され，自社のアプリケーション技術開発に専念できる。

(2)　高操作性

GRADASのようなCAD/CAMシステムでは，操作性が非常に大切である。単にマルチウインドウ機能があるだけでは，操作性が良いとは言えない。GRADASでは，操作性を**図5**のように考えている。操作性とは，使用者の意図を正しく受け止める機能を持ち，それをできるだけ自然な操作によって実現し，その結果を使用者の思考を妨げない範囲の応答性で分かりやすい形で表示，あるいは伝達できること，また，長時間の操作でも疲労の少ないよう配慮されていること，人の誤操作や記憶忘れに対しても適切なチェック機能，再実行機能とガイダンス機能を内蔵し，繰返し的操作は，いちいち入力しなくても簡単な指示で済む省力化機能を持っていること，初心者には親切な，熟練者には効率を重視した選択可能な操作と各アプリケーション操作に適した入力デバイスを提供できること，右利き・左利きや使用者の年齢など個性への対応ができることなどが重要と考えている。

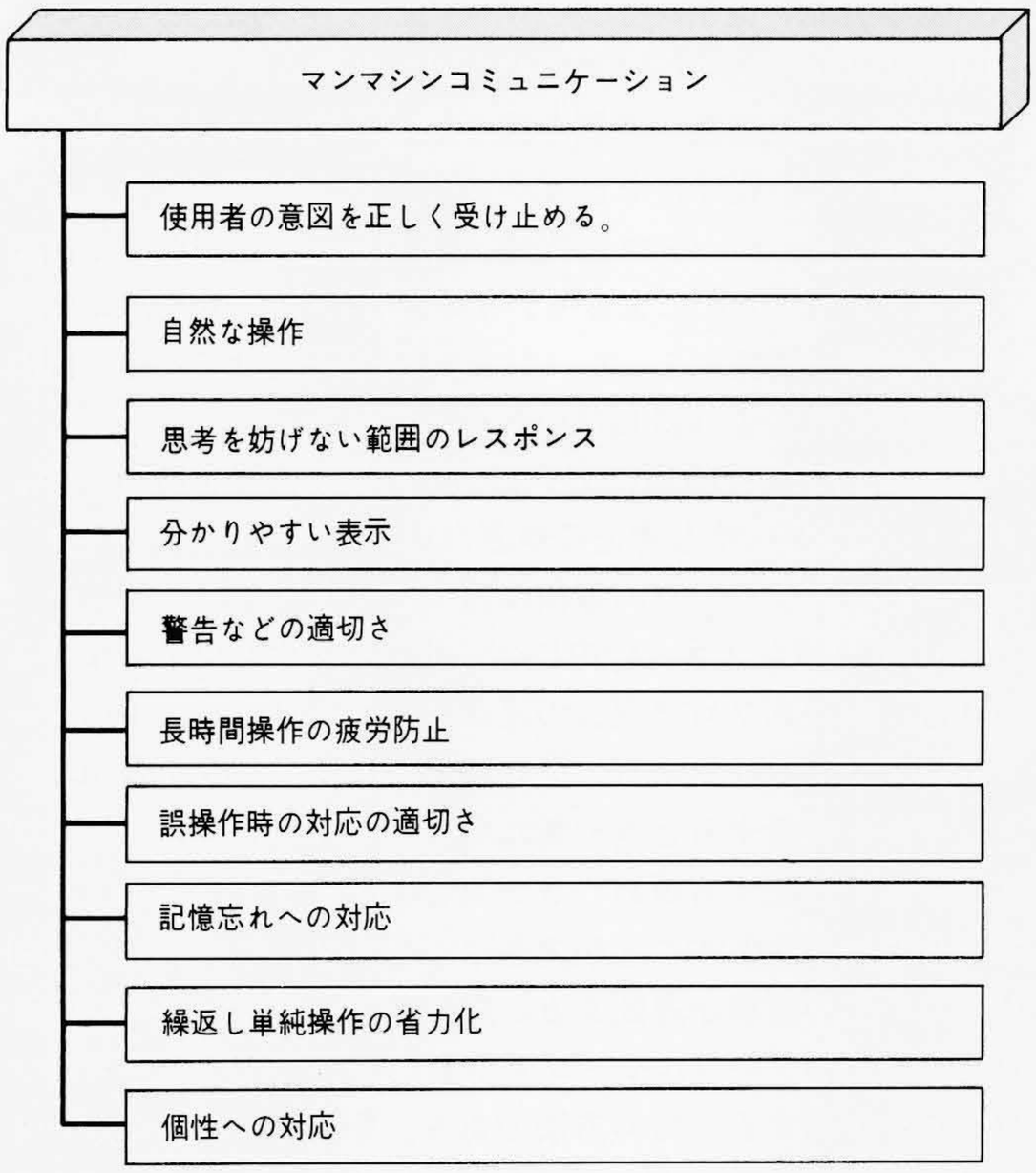


図5　GRADASの操作性　　とりわけレスポンスが速いことは重要である。少々の機能の不足をカバーすることが多い。

(3)　性能とコストパフォーマンス

現在，市場に出ているCAD/CAMシステムは，アーキテクチャ的には，大形のコンピュータにグラフィック ターミナルを接続した集中形システムと32ビットに代表されるマイクロプロセッサにグラフィック ディスプレイをバス接続したEWS(エンジニアリング ワークステーション)に大別される。集中形システムは，エンジニアリング　データベースとCAD/CAMアプリケーション ソフトウェアを，大形コンピュータでチャネル直結(100k～1M bps)，又は遠隔地との回線接続(9.6k bpsが一般的)されたターミナルをTSS(Time Sharing System)，又はオンライン環境下で動作させる。EWS形は，EWSですべて処理するスタンドアロン システム，又は4～40M bps程度のLAN(Local Area Network)にEWS接続してEWS間の共通データをデータベース サーバに蓄える形で運用する。データベース サーバは，大容量のディスク(数ギガバイト)で大形コンピュータを用いることが多い〔**図6**(a)，(b)を参照〕。

CAD/CAMシステムのような対話システムは，レスポンスがとりわけ重要である。集中形システムの場合，端末台数の増加に伴ってそのレスポンスは遅くなる。特に，平均値よりも分散が大きくなるので，使用者の焦燥感が増す。EWSの場合は，この分散が一定しているので使いやすいことが多い。

2次元製図システムの場合，CPU性能は0.3M ips程度あれば十分である。したがって，集中形の場合，3M ipsのコンピュータには10台程度の端末を接続できる。現在，この規模のコンピュータのレンタルは，数千万円/月程度である。端末1台当たり数百万円/月となる。EWS形の場合は，1M ips程度のプロセッサを搭載し，ディスク容量を270Mバイト用意したものが買取価格で同様に数千万円/台である。データベース サーバの規模，周辺機器にどのようなものを用意するか，LAN機器の規模などで大きく異なるが，一般的には，EWS形のほうがコストパフォーマンスが良くなる傾向にある。EWSの価格は，数年後には現在の$\frac{1}{2}$～$\frac{1}{3}$になることが予想されている。

3次元処理の技術がもう少し進歩すれば，CAD/CAMシステムの端末の多くは徐々にEWSに置き換わる。GRADASも，これを目標として開発を進めている。

集中形，EWS形いずれにも共通している技術課題は，端末の立上げ(始業開始)時，大形コンピュータ，データベース サーバへの負荷集中のため10～20分を要することがあり，これが課題となっている。また，EWS形の場合，LANの伝送能力としては，EWSを同一LANに100台接続すると最低でも64～100M bpsがCAD/CAMでは必要であると予想される。したがって**図6**(c)のように同一LANへのEWS接続台数を10～20台とし，データベース サーバにコミュニケーション サーバの

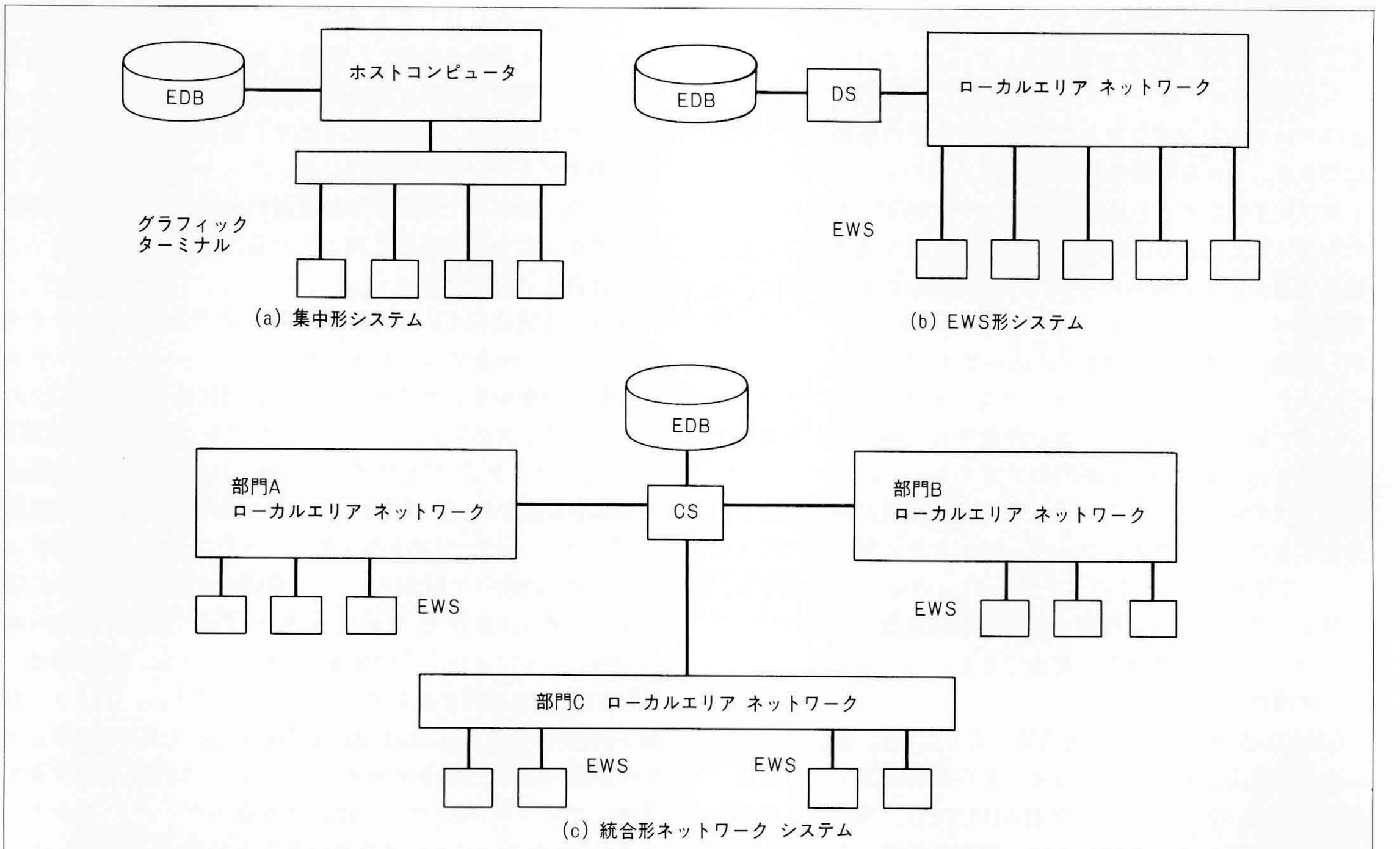


図6 CAD/CAMシステムのいろいろな形態 現在のCAD/CAMシステムは，(a)集中形，(b)EWS形のいずれかに分類される。(c)統合形ネットワーク システムが今後の方向である。

機能も持たせた構成が要求される。

(4) ユーザープログラムの開発生産性

メーカーが提供するCAD/CAMシステムは，ターンキー システムではなく，ユーザーがCAD/CAMシステムを開発する支援ツールであると考えている。CAD/CAMシステムが企業の新製品開発力や製造原価を左右することになるからである。企業の独創性を反映してこそCAD/CAMシステムと言える。そのためには，ユーザープログラム(ユーザーコマンド)の開発支援機能が重要であると考えている。

過去のCAD/CAMシステムのプログラム生産性は，事務処理システムなどに比較すると一けた低いデータがある。CAD/CAMシステムの生産性を向上するために**図7**のような構造が望ましいと考えている。ユーザープログラムからみたインタフェースとして，ネットワーク分散データベース，メモリ中のテーブル管理，幾何計算ライブラリ，コマンド解析(ワードプロセス含む。)，ディスプレイ マネジメント(作画機能含む。)，IOポートドライバ，カストマー セットアップ，運転支援，ハードウェアなどの各インタフェースをオープンにすることが必要と考えている。そして，オブジェクト指向のインタプリタ コンパイラをシステム モニタとして各種POL(Problem Oriented Language)を開発して，コーディング支援，デバッグ支援，ドキュメント支援の各機能を提供したいと考えている。GRADASのアプリケーションもこの環境下で開発したいと考えている。

(5) 基本機能の提供レベル

GRADASが提供するCAD/CAMシステム開発支援ツールに用意する基本機能の概要を**図8**に示す。

機械系では，従来，2次元システムと3次元システムが分離していたが，ハードウェア アクセラレータを内蔵した高速3次元ディスプレイによるモデリング プロセッサや，電気系では，論理・回路シミュレーションをEWSだけでも短時間に結果が得られるようにしたいと考えている。

その他では，EOA用にデータベース検索機能を持つドキュメント プロセッサも考えてゆきたい。

(6) ユーザーノウハウの蓄積支援

CAD/CAMシステムの中にユーザーのノウハウを蓄積する方法は，前述のプログラムのほかに，データベース中のテーブルやライブラリがある。プログラムにノウハウを蓄積すると，それを更新するときや新たな追加をするときいちいちプログラムを修正する煩わしさがあるだけでなく，エンドユーザーが直接手を下すことができにくくなる。このため，自社のノウハウの蓄積が遅延する。従来，データベース中に書かれた表形式のテーブルやプログラム ライブラリもユーザーノウハウを蓄積する一つの方法である。そこで，エキスパートシステム開発支援ツールをCAD/CAMのシステム モニタの中に組み込めば，よりユーザーノウハウが蓄積しやすくなるだ

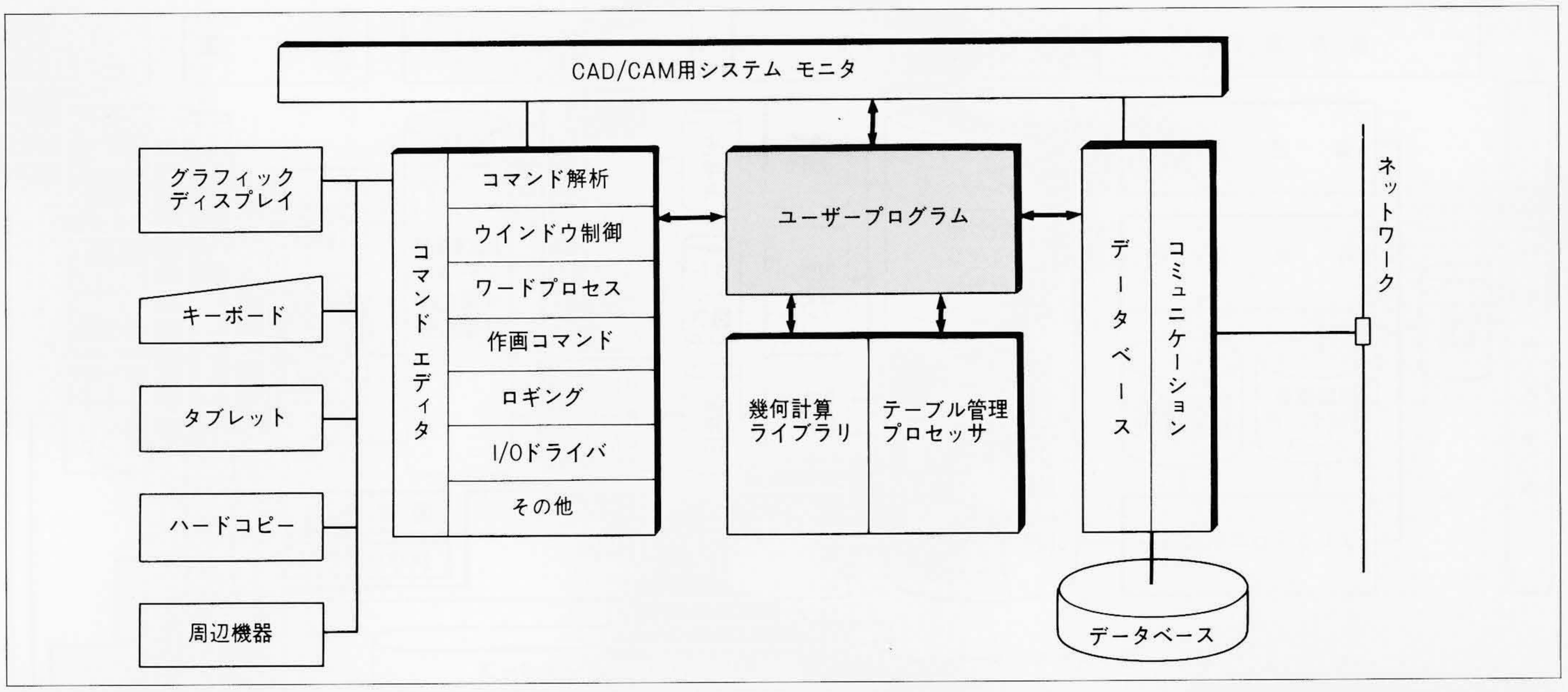


図7　GRADASのソフトウェア開発支援環境　　ユーザープログラムから本図中の⟷のインタフェースがアクセスできることが，ソフトウェア開発環境上重要である。

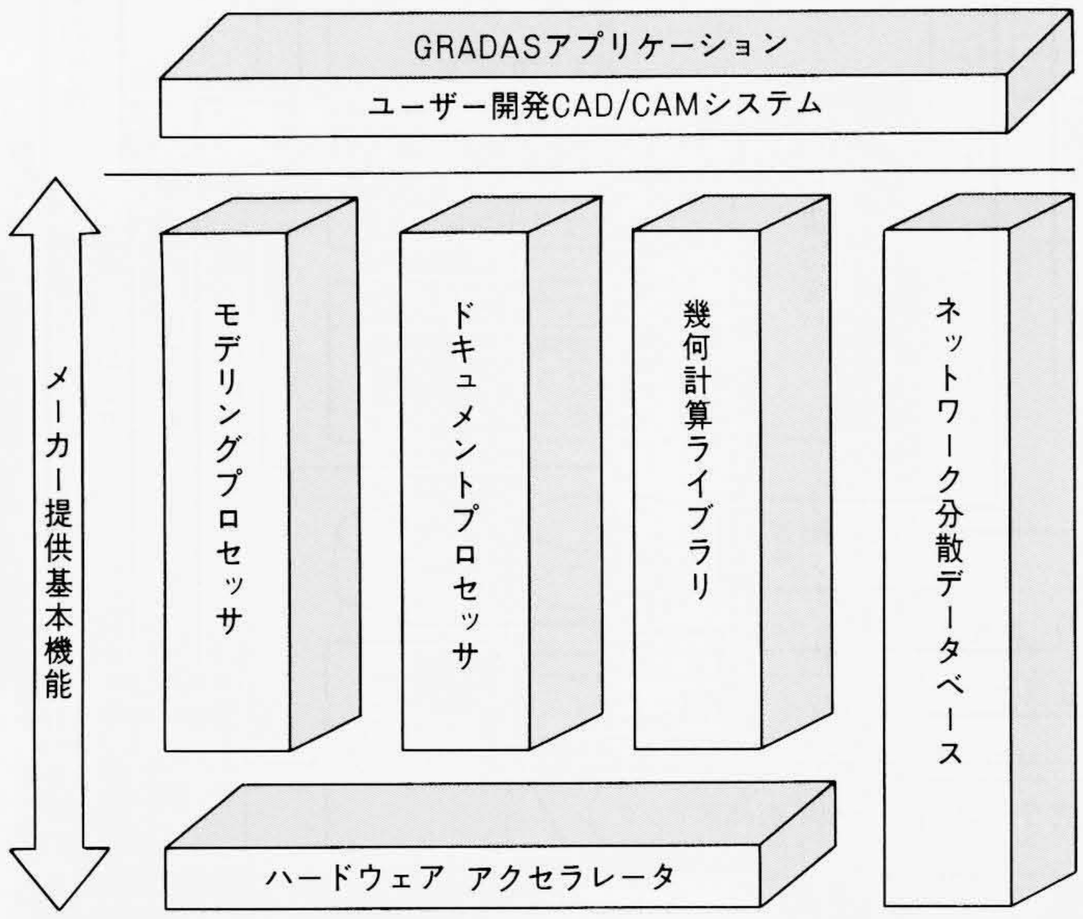


図8　基本機能のサポート レベル　　GRADASアプリケーションは，ユーザーのCAD/CAMシステム開発支援ツールとして提供される。これら基本機能を使って開発される。

けでなく，エンドユーザーも利用しやすくなる。

(7)　既存システムの活用

現在，他社CAD/CAMシステムを稼動させている企業がGRADASに移行したいと考えたとき，移行対象となるものは，プログラム，蓄積されている図面などのデータベース，そのCAD/CAMシステムを実現しているシステム技術とエンドユーザーの操作法の慣れがある。

プログラムについては，GRADASにない機能だけGRADASのソフトウェア開発環境を使って再作成してもらう。

この再作成は，前述のユーザープログラム開発生産性の項で述べた高効率のユーザープログラム開発支援ツールが役に立つ。逆に，このような場面でこそ役に立つようなツールにしたいと考えている。もし，FORTRANで作成されていれば，サブルーチンをそのまま組み込めるようにしたい。

データベースについては，IGES(Initial Graphics Exchange Specification)に従った中間フォーマットを介してデータ コンバージョンを行うことになる。ネットワーク分散データベースの異種データの自動変換機能の中にこのようなIGESコンバージョン機能を組み込めるようにしたい。

CAD/CAMシステムを実現している技術については，解説用のドキュメントやトレーニング コースを充実させたい。

エンドユーザーの操作法の慣れについては，トレーニング モジュールを用意し，早くGRADASに慣れてもらうのとガイダンス機能を使って誤操作のないようにしたい。

次に，ハードウェアについては(旧システムをそのまま利用する場合)，GRADASのLANに接続可能なように各種のインタフェース ボードをコミュニケーション サーバに用意したい。GRADASのEWSだけを他社のLANやネットワークに接続して，部分的システムをGRADASによって実現できるよう他社接続用のエミュレータ インタフェース ボード用のポートをEWSに用意したい。

(8)　システムの拡張性

GRADASシステムは，EWS 1台のスタンド アロン的使用法からGRADASのEWSだけを他社のLANやネットワークに接続して，部分的システムをGRADASによって実現できるよう他社接続用のボードをユーザーが作成できたり，各種デバイスを自由に接続(計測機器，NCコントローラなどの接続)できるようにオープン アーキテクチャの思想を採用したい。

また，GRADASが用意していないが，他に良い流通ソフトウェアがあれば，それを使えるように国際的に標準となっているインタフェースも用意したい。例えば，PHIGS(Programers Heirarchical Interactive Graphics Standard)のよ

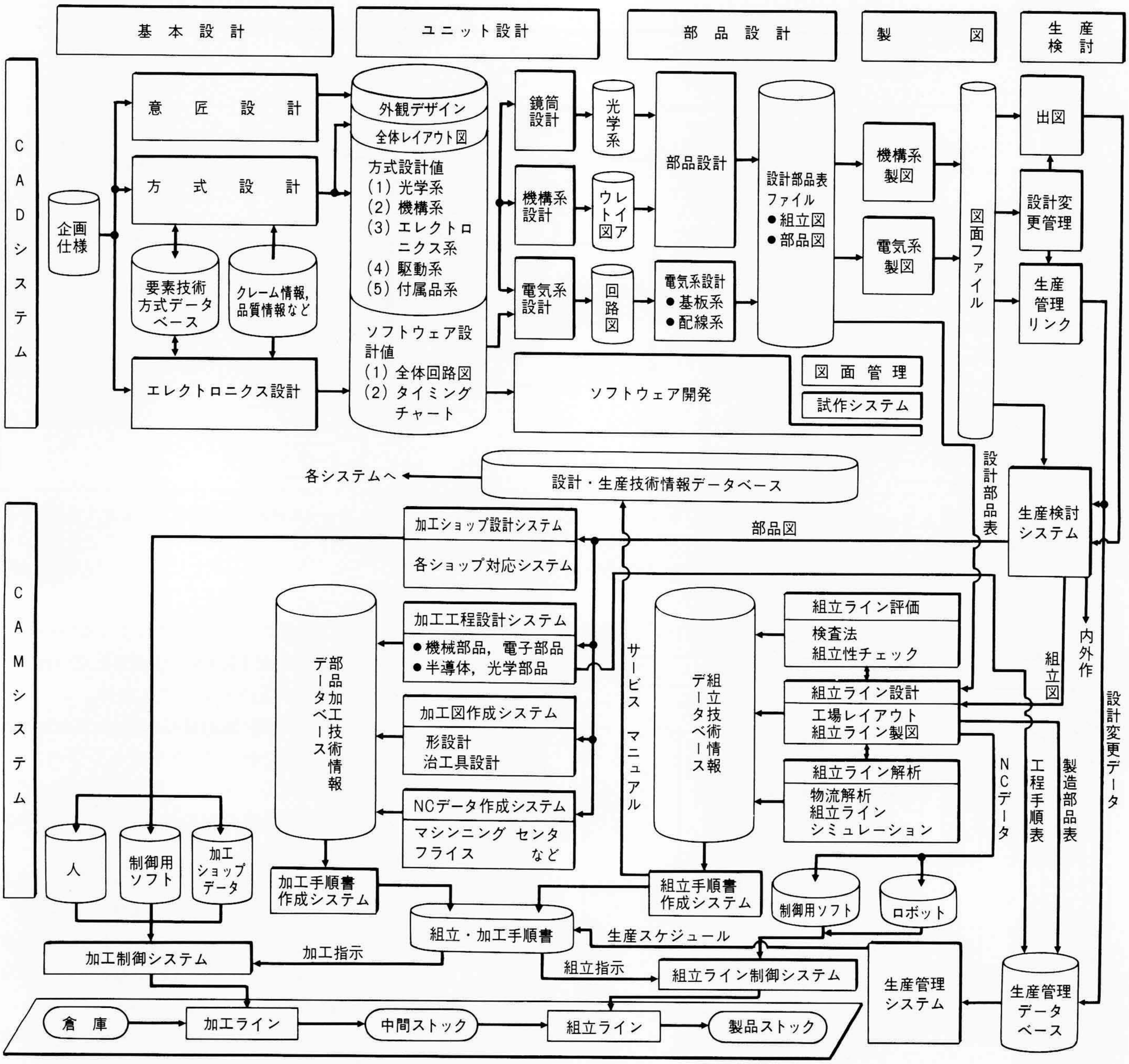


図9 GRADAS総合一貫システムのイメージ GRADASはトータルCAD/CAMシステムを指向して，このような一貫システムをEWSとネットワーク分散データベースによって実現する。

うなものである。

(9) GRADASシステム構想

以上，述べてきたGRADASシステムの構想を業務イメージ(**図9**)にまとめた。GRADASは，このようなCIMを目標に開発を進めている。

4 結 言

日立製作所が考えているCAD/CAMシステム開発支援ツールについて紹介した。現在，開発を進めているものもあり，また，現在のGRADASを使ってもらっているユーザーのニーズを代弁するにとどまっているものなど，将来実現したいと思っている構想について述べた。製造業の置かれた環境の厳しさを考えると，1日でも早く製品として提供できるようにしたい考えである。

参考文献

1) 宇都宮，外：電子回路のCAD，電子通信学会編(昭和48年9月)
2) 鈴木：高機能ワークステーションについて，情報処理学会誌，Vol. 25，2号，83～90(1984)
3) 林：計算機システムと人間との関係，情報処理学会誌，Vol. 24，6号，693～698(1983)
4) 梶谷：メカトロニクスの概念，精密工学誌，Vol. 52，7号，2～7(1986)
5) 南：ラボラトリーオートメーション総論，精機学会誌，Vol. 50，9号，1～7(1984)