

高性能グラフィックス搭載の エンジニアリングワークステーションの開発

Development of Workstations for Computer Aided Engineering

FA, OA化が進む中で、エンジニアリング業務の高効率化すなわちエンジニア個人の生産性向上が重視されるようになり、従来机上で行なっている製図作業や技術計算結果の解析など種々の作業に対するシステム化が望まれてきている。

日立製作所はこのニーズにこたえ、超高精細カラーグラフィックディスプレイを搭載したプロフェッショナルワークステーション(専門家向けワークステーションと言う。)を用いてエンジニアリング支援指向のワークステーションを開発した。

本システムは、図形データを高速かつ容易に扱うことができ、図形中心のエンジニアリング業務を対話形式で実現可能とした。また、CAE, CADなどの大容量なプログラムを動かす、更に国際標準の基本ソフトウェアシステムにより、流通ソフトウェアの使用が容易なシステムとした。この外、プロフェッショナルワークステーションの特徴である使いやすいマンマシンインタフェースの提供などにより、様々なエンジニアリング業務に適用できる。

本論文では、このエンジニアリングワークステーションの基本機能及び応用例について述べる。

堀 雄太郎* Yûtarô Hori

井手 寿之* Jushi Ide

水上 潔** Kiyoshi Mizukami

1 緒 言

最近、設計、開発部門といったいわゆるエンジニアリング業務での生産性向上のニーズがより高まってきている。エンジニアリング分野での作業内容は、図面作成を中心に、技術計算、シミュレーション、仕様書作成、原価計算など、複雑かつ多岐にわたっており、従来からこれらの作業に対して、各種計算機を適用することにより成果を挙げてきている。例えば、多数のユーザーに定形的業務で広範囲の機能を提供するために、高性能汎用計算機にグラフィックターミナルを接続したTSS(Time Sharing System)方式が、また、機能を専門化し、比較的少数ユーザーのためには、ミニコンピュータをベースにしたターンキーシステムが多く利用されている。更に最近では、個人用で単機能に限定したパーソナルコンピュータによるシステムの普及も目覚ましい。

しかし、エンジニアリング分野の生産性を、更に向上させるには、エンジニア個人の日常の作業すなわち机上での非定形業務の効率向上に注力するのが重要である。このため、エンジニアの知的作業効率を格段に向上させるのに、従来の鉛筆と定規などによっていた作業をエンジニア個人専用の電子作業台、「エンジニアリングワークステーション」に置き換えることが望まれる。

エンジニアリングワークステーションでは、エンジニアの最終生産物である図面の作成を中心として、計算、シミュレーションなどが行なえる必要がある。したがって、図面を正確かつ迅速に扱うためのグラフィックスを中心とした対話性能の強化、及び複雑で多量なデータを処理する科学技術計算の実行のために計算性能の充実がエンジニアリングワークステーションでは必要である。

このような動向に対して、今回、最新技術を統合化し特にグラフィックスインタフェースに重点を置いたエンジニアリ

ング向けワークステーションを開発した。計算機は将来、より高速なマイクロプロセッサと互換性のある高性能マイクロコンピュータを使用する一方、超高精細カラーグラフィックスを採用し対話性能を強化した。また、基本ソフトウェアは、UNIX^{*1)}オペレーティングシステム及びCORE^{*2)}準拠グラフィックパッケージの開発など、国際標準に準拠し、汎用性を高めた。

以下、本論文では、システム構成、ハードウェア、ソフトウェアの機能及び応用例を中心に、エンジニアリング支援指向のワークステーションの概要について報告する(図1)。

2 エンジニアリングワークステーションの特長

2.1 開発のねらい

日立製作所のエンジニアリングワークステーション開発のねらいは、主に次の3点である。

- (1) エンジニアリング業務の中心である図面操作機能の強化のために、最新の高精細カラーディスプレイやマウス、タブレットを採用し、柔軟性のある対話処理環境を整備する。
- (2) 大規模なプログラムを容易に移植又は開発ができるように、仮想記憶をもつ高性能マイクロプロセッサに、UNIXオペレーティングシステム及び各種ソフトウェア開発支援パッケージを組み合わせ、CAE(Computer Aided Engineering), CAD(Computer Aided Design)などのソフトウェアの搭載を容易にする。
- (3) 分散したエンジニアリングワークステーション間で、相

※1) UNIXは、米国ベル研究所のオペレーティングシステムの名称である。

※2) アメリカ電子計算機協会専門部会制定のグラフィックインタフェース規格案



図1 エンジニアリングワークステーション ワークステーションは、高性能マイクロコンピュータ、磁気ディスク、グラフィックプロセッサなどを内蔵したデスクサイドキャビネットと超高精細グラフィックモニタ、タブレット、マウス、X-Yプロッタなどから構成される。

互に、データ、プログラムを利用し業務効率の向上を図るために、高速のLAN(ローカルエリアネットワーク)を採用し、ネットワーク内の各種資源の共有を可能とする(図2)。

2.2 システムの特長

今回開発したエンジニアリングワークステーションは、次のような特長をもっている。

- (1) CPU(中央処理装置)とグラフィックプロセッサは、グラフィックコマンドでインタフェースをとり、800kB/sの高速で結合している。更に、CPUとグラフィックプロセッサを非同期に稼働させる分散アーキテクチャを採用している。
- (2) 20in, 1,280×1,024ドット、60Hzノンインターレースの高精細カラーモニタを装備している。高速ビットスライスプロセッサにより、1,600万色から最大256色を選択して同時に高速表示が可能である。また、JIS第1, 第2水準の漢字表示もサポートする。
- (3) 入力装置として、扱いやすいマウス、タブレットを装備している。
- (4) 主プロセッサとして、米国モトローラ社のMC68010を採用し、仮想記憶方式により、最大16Mバイトのアドレスをサポートしている。
- (5) LANとして、IEEE(米国電気電子学会)802.3準拠のイー

サネット(米国ゼロックス社の登録商標)を採用し、資源の共有を可能とした。

(6) UNIXオペレーティングシステムとC, FORTRAN77, PASCALをサポートしている。

(7) CORE準拠のグラフィックパッケージ及び基本グラフィックパッケージCGI(Common Graphic Interface)をサポートしている。

(8) 同時に、複数の仮想画面を表示するマルチウィンドウ管理ソフトウェアをサポートしている。

3 ワークステーションのアーキテクチャ

従来、図形データを表示する場合、その表示画面と同サイズ以上のドットデータをメモリに展開し、端末へ転送するといった方法のため、メモリネックや伝送ネックが発生していた。これに対し、本システムのアーキテクチャは、主プロセッサ系とグラフィックプロセッサ系を独立させ、両者の間をグラフィックコマンドの受け渡しを行なう共有メモリ(セグメントバッファ)で結合させた機能分散アーキテクチャとした。これにより、メモリネックを解消し、グラフィックシステム性能と、計算機処理性能の向上が可能となった(図3)。

表1に本システムのハードウェア概略仕様を示す。

主プロセッサには、米国モトローラ社のMC68010を採用し、最大16Mバイトまでの仮想記憶をサポートしている。主記憶装置は最大8Mバイトで実装可能で、大容量メモリを扱うためECC(Error Check and Correction)により信頼性を向上させた。また、グラフィックプロセッサは、高速チャンネルでバスに直結して、図形表示の高速化を図った。

磁気ディスクは、きょう体内に最大80Mバイト実装を可能とした。その他、イーサネットインタフェース、浮動小数点プロセッサ、X-Yプロッタなど、多数のエンジニアリング用入出力装置をサポートしている。

4 グラフィックスシステム

グラフィックスシステムは、ワークステーションの顔であり、本システムでは、最新のLSI, バイポーラ技術などにより、様々なエンジニアリング分野に適応できる強力な機能を備えている。先に述べたように、グラフィックシステムは、グラフィックプロセッサ、セグメントバッファ、画像メモリ、モニタから構成され、これらは相互に高速の専用バスで接続されている。

次にグラフィックプロセッサについて述べる(図4)。図形

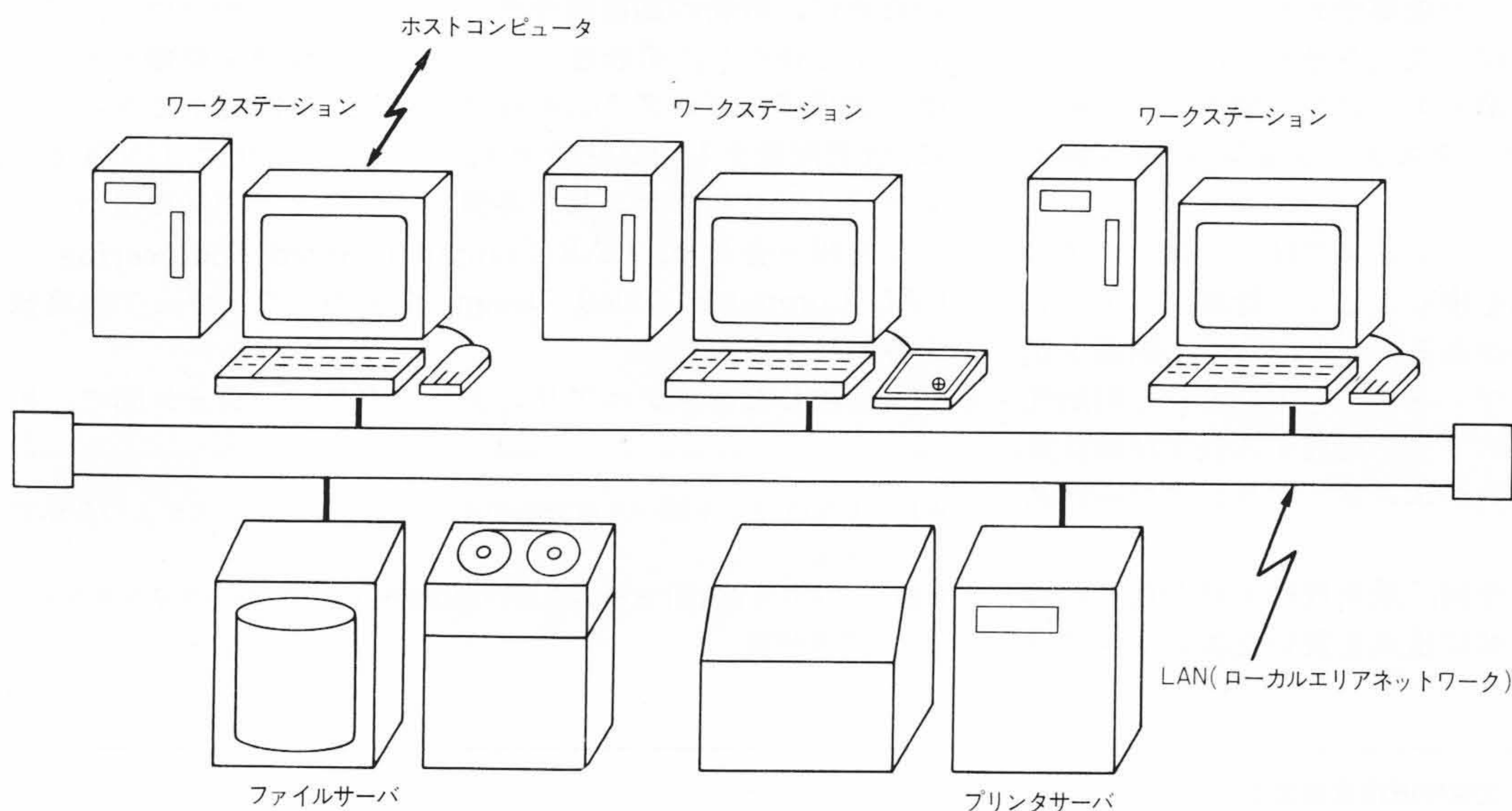


図2 ワークステーションのシステム構成 LAN(ローカルエリアネットワーク)を中心に、個人に専用される複数のワークステーションと、高価なリソースを共有するファイルサーバ、プリンタサーバなどから構成される。

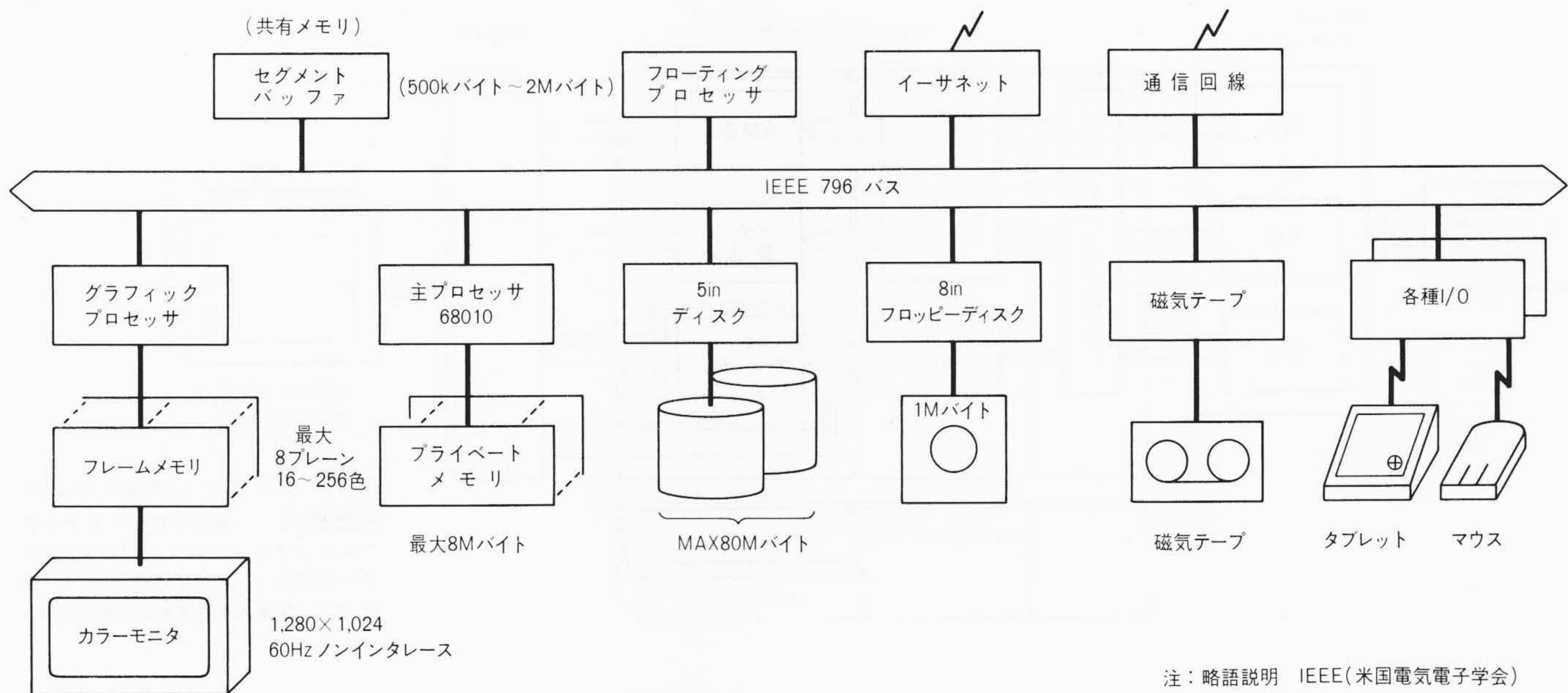


図3 ワークステーションのアーキテクチャ 本システムは、共有メモリ(セグメントバッファ)をインタフェースとして、主プロセッサ系とグラフィックプロセッサによる機能分散アーキテクチャにより、ワークステーションの高性能化を図っている。

描画時間を規定するグラフィックプロセッサには、高速のビットスライスバイポーラプロセッサを採用している。ビットスライスバイポーラプロセッサは、サイクルタイムが144nsで動作し、かつ3段のパイプライン処理とパラレル処理により次のような高速化が可能となった。

- (1) 座標変換、フォント展開、アドレス演算を行なう図形処理部と、画像間の方形エリアを転送(ラスタオペレーション)する画像処理部とにそれぞれ専用のプロセッサをもたせ、描画及び画像処理の高速化を図った。
- (2) 画像間方形エリア転送(ラスタオペレーション)用のプロセッサには専用LSIを開発し、各画像プレーン間でパラレル処理を行なわせ画像処理の高速化を図った。

グラフィックスでよく使用される、直線、多角形、円、円

表1 エンジニアリングワークステーションのハードウェア仕様 最新のハードウェアにより、高性能・高機能を実現している。

No.	ハードウェア名	仕 様
1	C P U	68010
2	主 記 憶	2~8Mバイト(ECC付き)
3	デ ィ ス ク	40~80Mバイト
4	フロッピーディスク	1Mバイト両面倍密度
5	グ ラ フ ィ ッ ク ス	20in, 1,280×1,024ドット, カラー, 16~256色, 漢字第1, 第2水準
6	入 力 装 置	キーボード, マウス, タブレット
7	伝 送 装 置	イーサネット(10Mbps) 同期・非同期通信
8	そ の 他 周 辺 装 置	●カートリッジMT ●1,600bpi 9トラックMT ●カラーハードコピー ●X-Yプロット ●プリンタ ●浮動小数点プロセッサ ●128Mバイトディスク(8in)

注：略語説明
ECC(Error Check and Correction)
MT(磁気テープ)

弧、塗りつぶしなど、多数の図形描画コマンドを、ファームウェアにより高速に表示する。ベクタ描画は、50kショートベクタ/秒を超えるスピードで行なうほか、ベクタは実線、破線など4種が可能であり、また塗りつぶしも全エリア塗りつぶしのほか、各種のハッチングパターンでの塗りができる。ズーム及びパンニングもグラフィックプロセッサで処理し高速化を図っている。

上記以外の特長を次に述べる。

- (1) ディスプレイ
ディスプレイは、表示エリアサイズ20in, 1,280×1,024ドット, 60Hzノンインタレースのちらつきのない、明るい超高解像度のモニタを採用しており、エンジニアリング特有の細かい画像も、明確に表示することができる。
- (2) 画像メモリ
画像メモリは、それぞれが1,280×1,024ビットの4枚又は8枚のプレーンで構成され、これらのプレーンがディスプレイ上のビットマップを形成する。またカラーlookupアップテーブルをもっており、このテーブルの値を変更して、1,600万色を超える色の中から、16色又256色を撰択して同時に表示することができる。なお、モノクローム表示の場合は、最大256階調の濃淡表示が可能である。
- (3) 日本語表示
ベクタ文字を標準に、JIS第1水準、第2水準をサポートしている。フォント文字はオプションとし、24×24ドット表示に対しては、JIS第1水準、第2水準の明朝体をサポートするほか、24×16ドット, 16×10ドットは、英・数字、仮名文字が可能であり、OA(Office Automation)指向製品並みの対応も可能となっている。

(4) セグメントバッファ
図形データを蓄積するセグメントバッファの容量は、最大2Mバイトまで拡張可能であり、高密度図形を扱うアプリケーションにも十分対応可能にしてある。

(5) 画像処理
LSIにより実現したラスタオペレーション機能により、画像メモリ、又はセグメントバッファ上の方形のピクセルのブロックを、一瞬の時間で他のエリアへ転送することができる。

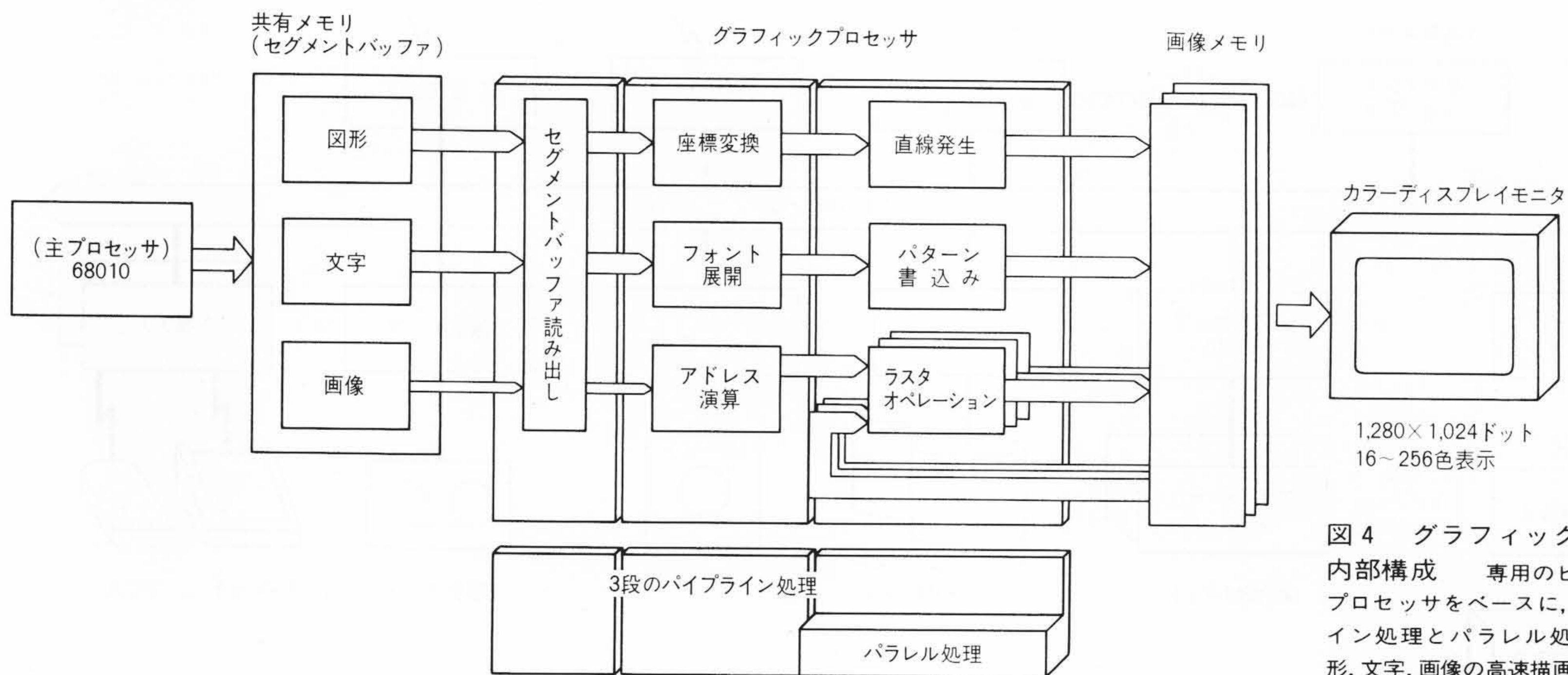


図4 グラフィックシステムの内部構成 専用のビットスライスプロセッサをベースに、3段パイプライン処理と並列処理により、図形、文字、画像の高速描画が可能である。

このラスタオペレーション機能は、転送以外に、OR, AND, EOR, INVERSEなどのオペレーションを選択して、画像メモリ上で各種の処理を行なうことができる。

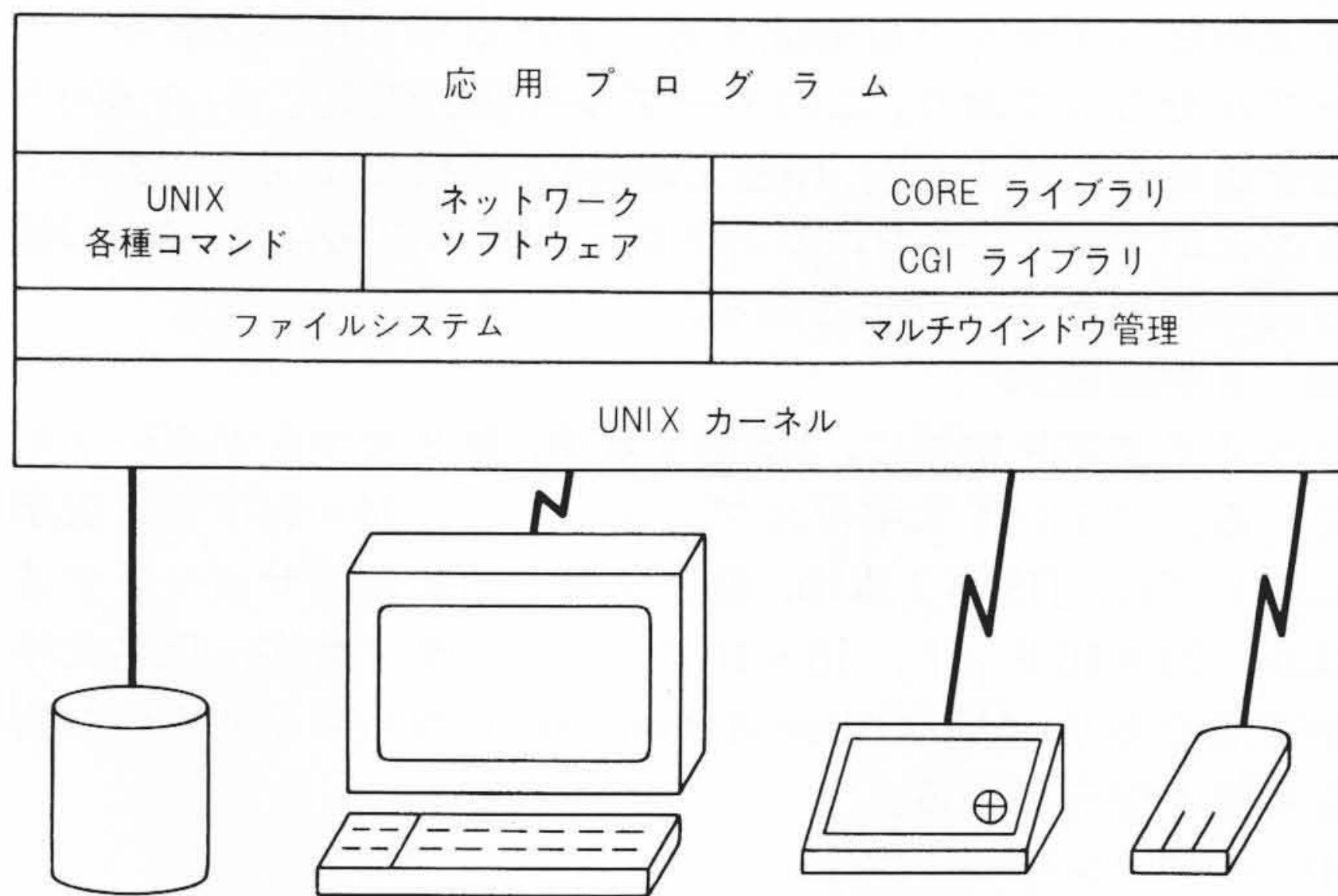
(6) マウス、タブレット

入力用デバイスとして、JIS標準のキーボードのほかに、マウス、タブレットの接続が可能である。マウスは2ボタンの光学式マウスを標準として採用している。タブレットはA₄、A₃の電磁タブレットを用意している。

5 基本ソフトウェア

5.1 概要

ソフトウェア構成は、基本オペレーティングシステムであるUNIXオペレーティングシステムを核として、マルチウィンドウ管理ソフトウェア、グラフィックス関係のCGI及びCOREライブラリ、ネットワークソフトウェア、各種のアプリケーション用ソフトウェア群から成り、これらを統合化した。図5にソフトウェア構成を示す。



注：略語説明

CORE(アメリカ電子計算機協会専門部会制定のグラフィックインタフェース規格案)
CGI(Common Graphic Interface)

図5 ワークステーションのソフトウェア構成図 UNIXオペレーティングシステムを基本に、CGIライブラリ、COREライブラリ、マルチウィンドウ管理ソフトウェア、ネットワークソフトウェアなどを統合化したワークステーションに適した構成をとっている。

5.2 UNIXオペレーティングシステム

UNIXは、米国ベル研究所で開発された個人向けの使い勝手の良いオペレーティングシステムである。最近では、16ビット及び32ビットのマイクロコンピュータの標準オペレーティングシステムとなりつつある。本システムでは、標準のUNIXの機能に加えて、仮想記憶機能、ファイルの高速化、ネットワーク機能の強化など、各種機能を拡張しており、エンジニアリング分野の様々な分野の要請にも十分こたえることができる。以下にその特長を述べる。

(1) 仮想記憶システム

メモリ管理機構に、2レベルのアドレス変換機能を備え、メモリの各ページに対して、読み・書き・実行の可否をチェックするメモリ保護機能をもつことによって、各プロセスごとに16Mバイトの空間をサポートしている。ユーザープログラムは、最大8Mバイトまで使用でき、大規模アプリケーションも容易に実行できる。

(2) ファイルの高速化

エンジニアリング向けのアプリケーションでは、大量にデータ転送する場合が多く、ファイルの高速化は重要である。本システムでは、ファイルの転送ブロックを4kバイトに拡張し高速化を図るほか、交代トラックのサポートにより信頼性の向上に努めている。

(3) 言語及びユーティリティ

標準言語として、C, FORTRAN77, PASCALをサポートしている。また、プログラム開発用には、ソースレベルデバッガ(SDB)、スクリーンエディタ(Vi)、ファイルユーティリティ(make, ar, sort)など、UNIXがもっている多くのコマンドが使用できる。

5.3 グラフィックソフトウェア

グラフィックス、マウス、タブレットなどを利用して、対話形のアプリケーションプログラムを効率良く開発できるように、CGIライブラリと、国際標準のCOREに準拠したCOREライブラリをサポートしている。図6にグラフィックソフトウェアの構成を示す。

COREライブラリとCGIライブラリの主な相違点は、COREライブラリが、アプリケーションプログラムからは世界座標系で開発できるのに対して、CGIライブラリでは、正規化座標系で開発する点である。また、両ライブラリはC、

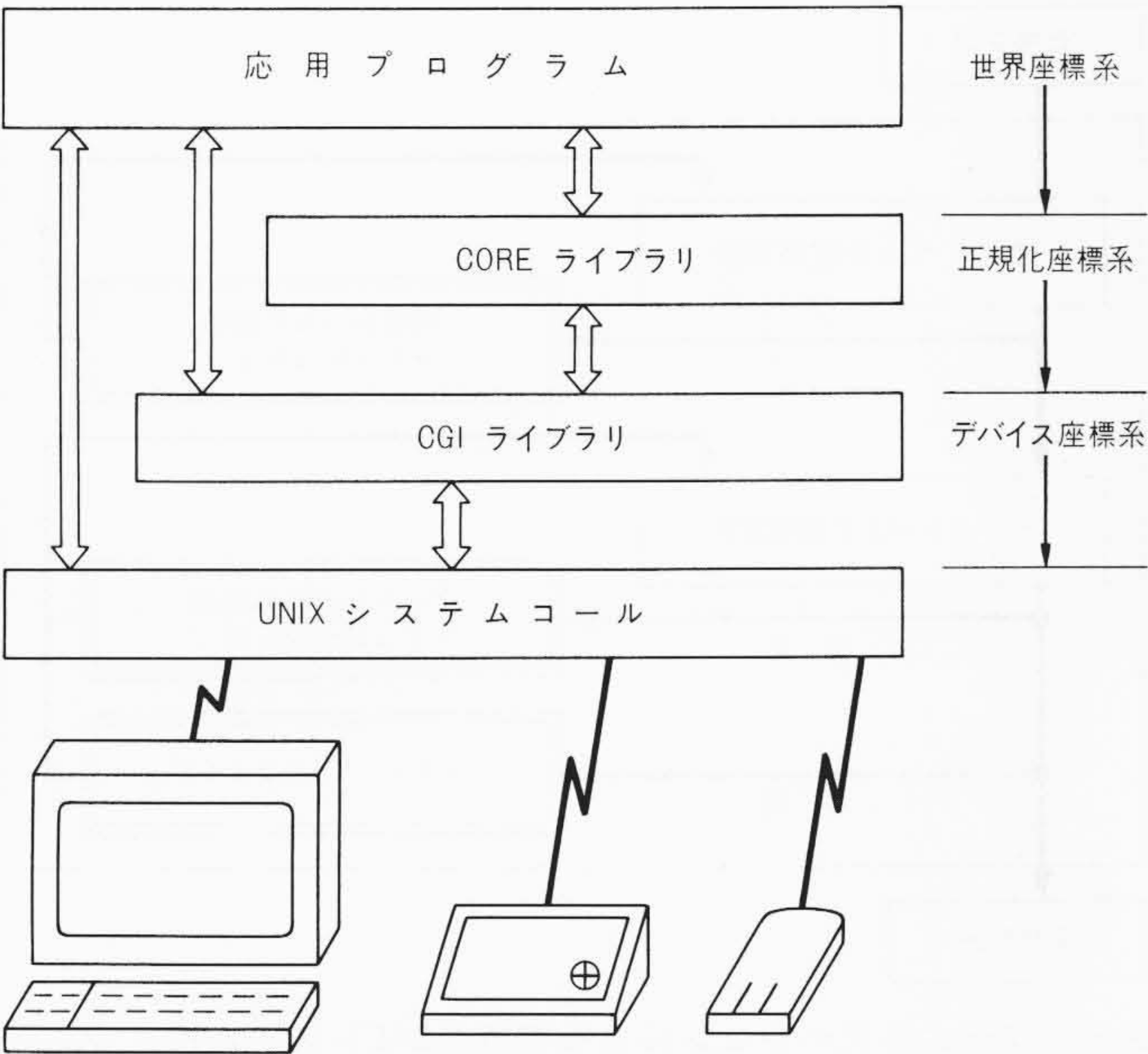


図6 グラフィックスソフトウェアの構成 応用プログラムからは、UNIXレベル、CGIレベル、COREレベルのアクセスが可能である。

FORTRAN77, PASCALから呼ぶことができる。

(1) COREライブラリ

図形処理の標準化案であるCORE規格に準拠した汎用図形処理ライブラリである。CORE標準に対して、出力命令には、

表2 COREライブラリのサポート機能 出力レベルでレベル3, 入力レベルでレベル2, 次元レベルでレベル1(2D)をサポートしている。

機 能	サポートレベル		
	レベル1	レベル2	レベル3
出力基本要素, 基本要素属性	○	○	○
ビ ュ ー イ ン グ	○	○	○
制 御	○	○	○
一 時 セ グ メ ント	○	○	○
記 憶 セ グ メ ント	×	○	○
ハイライトセグメント属性	×	○	○
可 視 セ グ メ ント 属 性	×	○	○
イメージ変換セグメント属性	×	×	○
検 出 可 能 セ グ メ ント 属 性	×	○	○

機 能	サポートレベル		
	レベル1	レベル2	レベル3
装 置 初 期 化	×	○	○
同 期 式 対 話 機 能	×	○	○
エ コ ー 制 御	×	○	○
外部からの使用可・不可指定	×	×	○
事 象 行 列 の 処 理	×	×	○
サンプリング装置読み込み機能	×	×	○
装 置 関 連 付 け	×	×	○

機 能	サポートレベル	
	レベル1 (2D)	レベル2 (3D)
2次元基本要素, 属性, 表示, 入力	○	○
3次元基本要素, 属性, 表示, 入力	×	○

レベル3, 入力命令にはレベル2, 次元レベルは, レベル1 (2次元)を実現している(表2)。

(2) CGIライブラリ

CGIライブラリは, COREライブラリの共通サブルーチンとしての性格をもっている。正規化座標系を, アプリケーションプログラムとのインタフェースとし, 高速表示に特長をもつ2次元表示専用のグラフィックライブラリである。

図形表示の座標値(x, y)は, 内部演算をすべて整数演算で行なうことにより高速化を図っており, $0 \leq x, y \leq 32,767$ の範囲内で指定する。CGIは, 上記の制限以外はCOREライブラリとはほぼ同レベルの機能をもっており, 折れ線, 円, 円弧, 塗りつぶしなどの図形表示機能, 一括表示・消去, 一括ハイライト, イメージ変換などの強力なセグメント管理機能をもっている。

5.4 マルチウインドウシステム

ワークステーションでのマンマシンインタフェース向上の有効な機能の一つに, マルチウインドウ機能がある。マルチウインドウ機能とは, 複数の表示画面を一つのグラフィックディスプレイ上に表示し, あたかも一人のユーザーが複数の端末を同時に専有しているかのように, 計算機と対話する機能である。

本システムでは, 最大16面のマルチウインドウを表示でき, 更に図形と文字の同時表示を可能とする, 柔軟性のある機能をサポートしている。

各プロセスは図7に示すように, 論理的な入出力装置である仮想端末と入出力を行ない, その仮想端末の表示エリアの一部が, 実際のグラフィックモニタにウインドウとして表示される。各ウインドウは, 固有の大きさと優先度を持ち, ユーザーは新しいウインドウを作成したり, 重なり合っているウインドウの優先度を変えることにより, 入れ換えを行ったりウインドウサイズの大きさを変えたり, 移動したりできる。

また, ウインドウは従来の文字情報中心のキャラクタモードと, 図形中心のグラフィックモードの二つの表示モードがあり, 任意の時点で, モードの変更が可能である。したがって, 図形と文字が混合し, かつ同時に複数のウインドウに表示することも可能である。

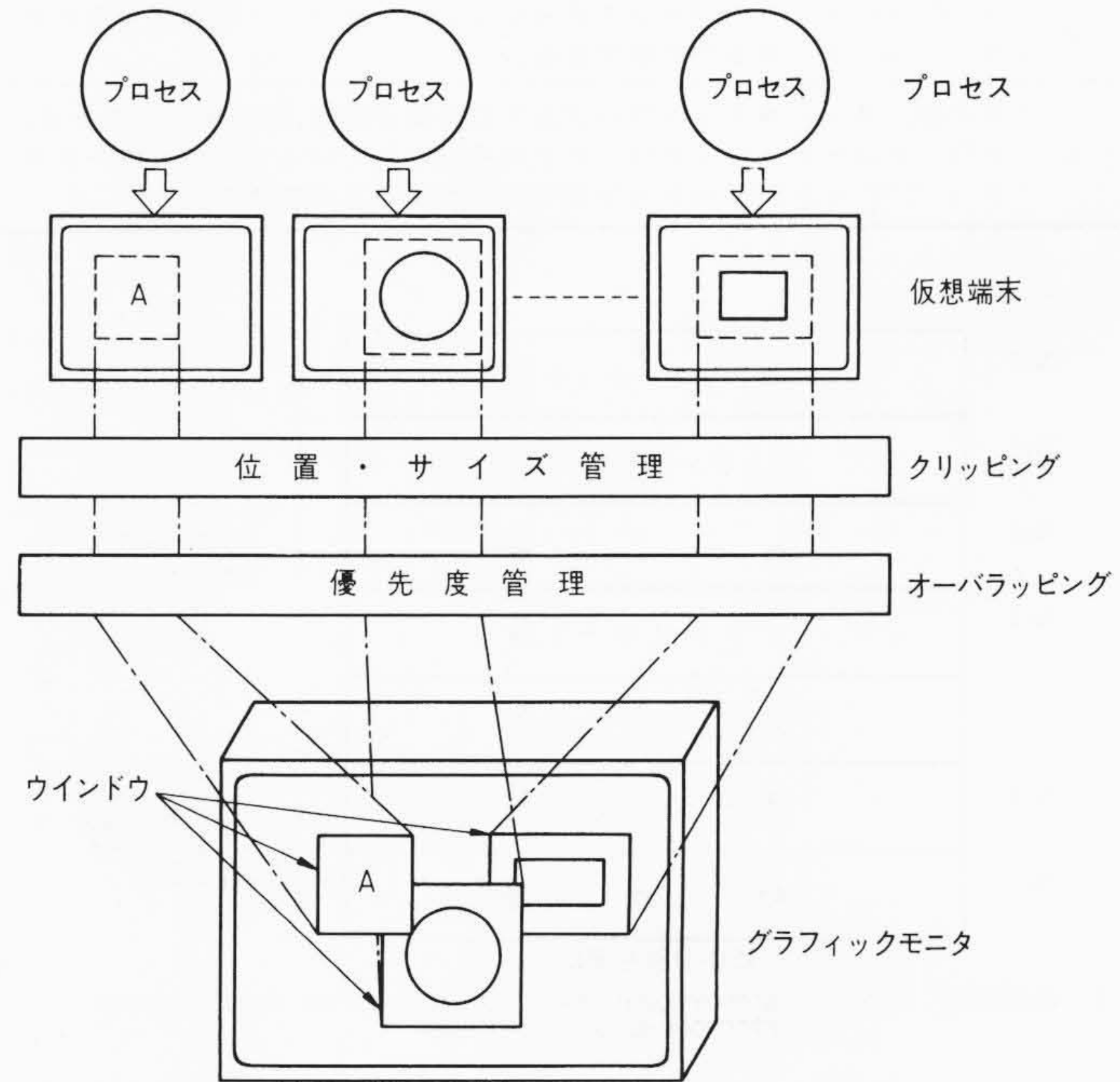


図7 マルチウインドウの動作概要 各プロセスは仮想端末に表示をし, 表示ディスプレイ上では, 仮想端末上の任意のエリアを同時に見ることができる。

5.5 ネットワークソフトウェア

分散形システムの構築を容易にするため、本システムでは各ワークステーション間をイーサネットで接続し、ファイル、プリンタなどの資源の共有を可能としている。

また、他機種とは各種の通信回線で接続しており、ユーザーのシステム形態に合わせた拡張性のある構成が可能である。

(1) LANソフトウェア

本システムのプロトコル(通信規約)は、ISO(国際標準化機構)のOSI(開放形システム間接続)のモデルに準拠している。イーサネットに準拠したハードウェアによる下位プロトコルの上に、米国国防省で開発されたネットワーク間プロトコル(IP: Internet Protocol)及び伝送制御プロトコル(TCP: Transmission Control Protocol)を構築し、更にこの上に、ファイル転送プロトコル、仮想端末プロトコル及びリモートコマンド実行などの各種ネットワークユーティリティをサポートしている(図8、表3)。

これにより、ネットワーク上のコンピュータ資源の共有化を可能とし、完全な分散処理システムの構築を実現している。

また、本システムで採用したTCP/IPプロトコルは、世界標準プロトコルとして広く他機種にも採用されており、他機種をも含めたネットワーク環境の構築ができるなど、幅広いシステム構成が可能である。

(2) 通信回線ソフトウェア

UNIXで標準のUUCP(UNIX to UNIX Copy)によるファイル転送のほか、CU(Call another UNIX system)と呼ぶ端末エミュレータにより、他の計算機の非同期ASCII端末としての機能ももっている。

表3 ネットワークコマンドの機能概要 各種のネットワークコマンドにより、ユーザーは、ネットワーク上の資源を共有することができる。

No.	項目	機能概要
1	ファイル転送	ネットワーク上に存在する、あるワークステーションのファイルやディレクトリを、他のワークステーションへ転送する。
2	仮想端末	ネットワークを経由して、他の任意のワークステーションへ端末としてアクセスできる。
3	リモートコマンド	他のワークステーションへ、コマンド群を送り実行させることができる。
4	その他、ネットワークユーティリティ	●ネットワーク上での時間を設定、読み出しができる。 ●ネットワーク上に接続されているすべてのワークステーション名を読み出すことができる。

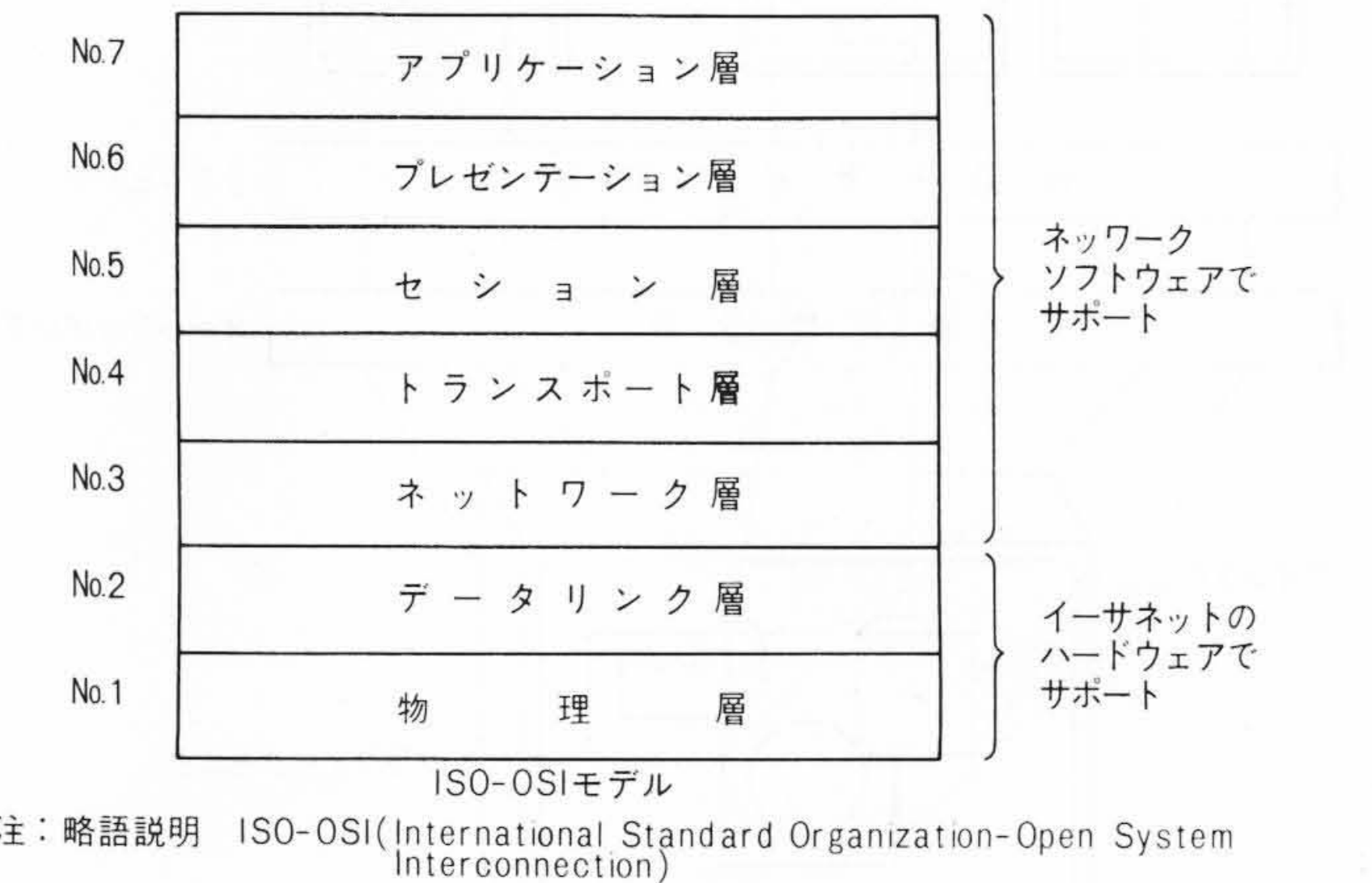


図8 ネットワークシステムのプロトコル(通信規約) ISOのOSIモデルを採用し、下位レベルのプロトコルはハードウェアにより、高位レベルプロトコルはソフトウェアで分担している。

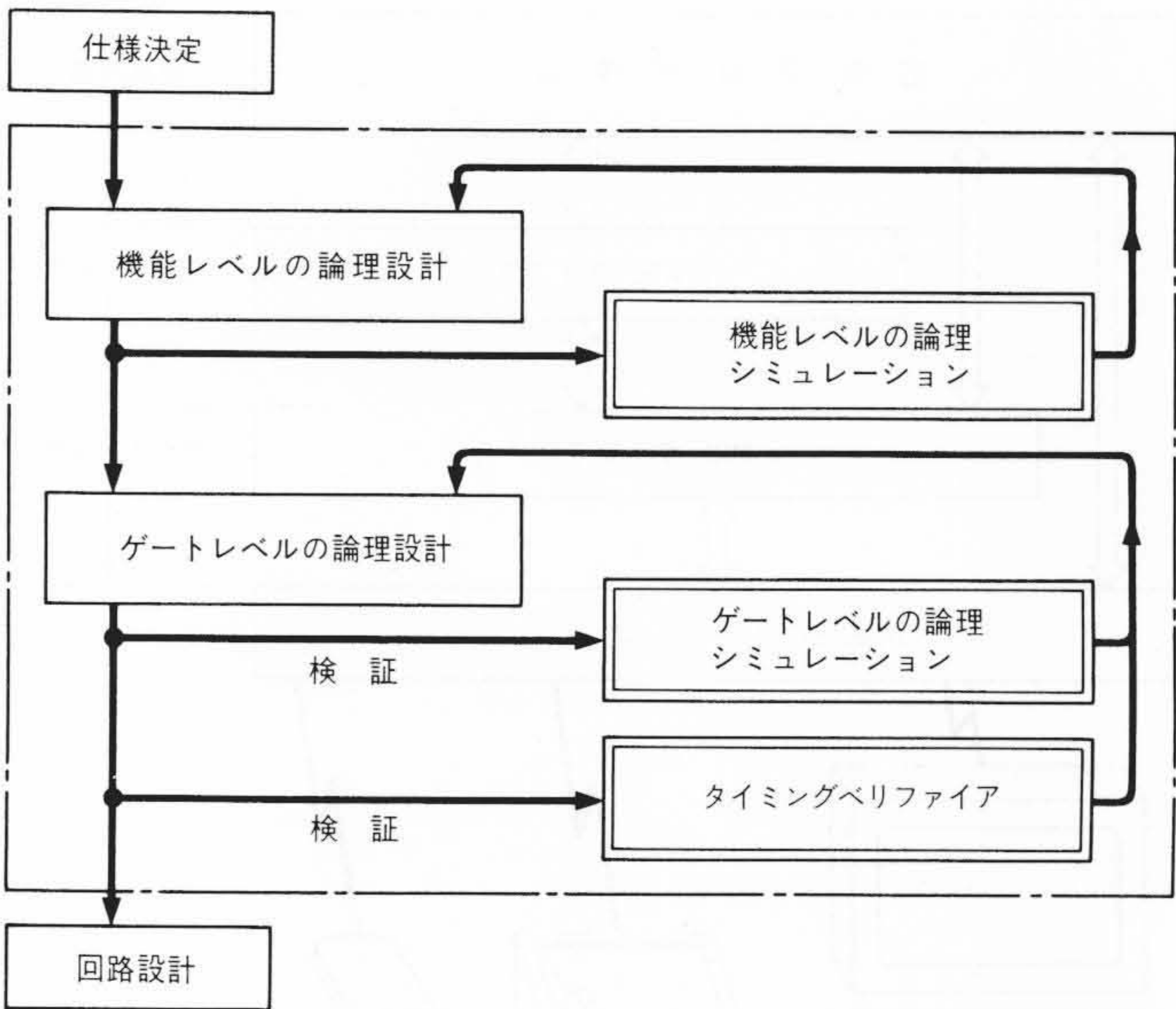


図9 ワークステーションによる電気系CAEシステム例 ワークステーションによる電気系CAEは、論理入力、シミュレーション、タイミングベリフィケーションなど、設計開発の上流工程にも有力である。

6 応用例

エンジニアリング向けワークステーションを利用する適用分野で現在進んでいるのは、LSI、プリント基板などの論理回路入力、シミュレーションなどを一貫して行なう電気系CAE分野である。図9に応用例を示す。これは、ワークステーションのもつ高応答性、マルチウインドウ機能などのマンマシン機能を十分活用し、エンジニアの思考能力を従来のシステムに比べて飛躍的に向上させている点が特長である。

また、ワークステーションの高応答性とともに、ネットワークによる段階的な拡張性に注目し、従来汎用計算機、ミニコンピュータなどで動いていたCAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)プログラムを、ワークステーション上に移植を始めている例も多い。

7 結 言

以上、エンジニアリングワークステーションの概要を紹介した。本システムの開発により、設計図面作成のオンライン処理化、CAE・CADなどの流通ソフトウェアプロダクトの利用などが可能となり、エンジニアリング業務のうち特に図形処理を中心とした作業の効率化が期待できる。

エンジニアリングワークステーションは、これから本格的に適用が始まる段階にある。更に今後、ワークステーションと従来システムとの機能分担、OA機能の取込み、エンジニアリング業務サポートパッケージの充実など、ユーザーサイドに立った機能拡充に努力をしていく考えである。

参考文献

1) 超高精細カラーモニタシリーズの開発, 日立評論, 65, 1 (昭60-1)
2) 既存コンピュータの手が届かない分野をカバーするワークステーション他, 日経エレクトロニクス, 1983, 5, 23, 149~197 (1983)
3) 高機能ワークステーション特集, 情報処理, Vol. 25, No. 2 (1984-2)