

# 制御用計算機の利用と技術の動向

## Progress of Application and Technology of Hitachi Control Computer

計算機制御システムは鉄鋼、電力、化学、上下水道、交通など従来の適用分野では制御の質と深さが高度化する一方、新しい分野への適用も急ピッチに進んでいる。基本技術的には、マイクロコンピュータの発展とメガ・ミニ級計算機の登場によって、ますます大形化するシステムに対処して、分散システムや大形集中多重化システム、あるいはこれらの複合システムが広く用いられるに至っている。一方、ソフトウェアの比重が急速に高まり、これの高効率生産手段がなくては、優れたシステム作りを行なうことが非常に難しくなっているのも最近の特徴である。

この論文では、制御用計算機の利用について現在及び今後の動向を適用技術、ハードウェア・ソフトウェア技術全体について述べる。

桑原 洋\* *Kawahara Hiroshi*  
 北之園英博\* *Kitanosono Hidehiro*  
 出村吉晴\* *Demura Yoshiharu*  
 小坂晃義\*\* *Kosaka Mitsuyoshi*  
 小野 光\*\* *Ono Hikaru*

### 1 緒 言

制御用計算機は、今や最新の制御システムの中核装置として欠かせぬ存在となるに至った。これには、従来の適用対象分野では、制御の深さの増大とともに高度のアプリケーション技術を駆使する手段として、また一方、新しい分野では、制御用計算機のコストパフォーマンスの著しい向上に伴って省力、省エネルギーなど生産者側の企業ニーズ、又は製品のコスト、品質、納期など、顧客へのサービス向上をねらって、各産業で計算機を積極的に活用するに至ったという背景がある。この適用分野の幅と深さの広がりの中で、計算機制御システムあるいはこれを担当するメーカーに、期待されまた必須とされる事項がますます明らかに浮きぼりされてきている。これらの中で重要なものは、新しいシステムにユーザーとともに挑戦し、これを完成させるバイタリティと技術力、ハードウェア、ソフトウェアを合わせたシステムとしての高信頼化、高応答化技術、マイクロコンピュータからメガ・ミニ級計算機まで広い範囲にわたり統一と協和のとれたシステムの提供能力、更には、ますます大規模化しシステムコストの中で大きな部分を占めるに至ったソフトウェア生産性向上技術などである。日立製作所では、これらを強く認識し計算機システムの発展にたゆみなく努力しているが、以下にアプリケーション技術、ハードウェア・ソフトウェア技術に分けて現状と最近の動向を追って述べる。

### 2 計算機制御システム

#### 2.1 一般的動向

計算機制御システムの適用分野はますます拡大されつつあるが、その根底に流れるメリットの追求には、製品品質の向上、省力・省エネルギー、生産効率向上、情報管理の合理化・効率化、社会に対するサービスの向上、安全性の向上、研究開発の効率化等々、数えあげればきりが無い。

また、資源探査衛星システム、生物・植物育成システム、水資源の有効活用システムなど、これからの社会的ニーズに応ずる新しいシステムも続々導入されつつあり、まさにその広がりには限界を感じさせないものがある。

一方、システム構成面からみると、システムの大形化に伴って、また、システムの高信頼度化の追求によりマルチ(多重)

計算機システムが数多く導入されてきており、制御用計算機の一つの大きな技術分野が確立されるに至ったことは特筆に値する。

また、マイクロコンピュータの発展に伴って、大形システムでの分散処理の傾向はますます強まってきており、相互の結合を光伝送で行なうシステムも現実のものとなってきた。この分野では、上位、中位、下位を含む全体システムとして、システムの統一性と協調性が不可欠のニーズとなってきており、マイクロコンピュータからメガ・ミニ級計算機までを同一思想で統一する日立制御用計算機HIDICシリーズは、現状及び今後のシステムニーズに最もマッチしたシステムと考えている。

分散システム化の傾向は、今後、システムコスト、システムの保守性、ソフトウェアの生産性、システム信頼性など各面からの評価を受けるなかで、最適バランスを模索しながら発展するものと考えられ、リアルタイム性をベースとしての大形情報処理分野への拡大とともに、制御用計算機システムの今後の2大テーマといえることができる。

#### 2.2 応用システムにおける動向

##### (1) 鉄鋼プラント

鉄鋼プラントでの制御用計算機の適用は、最近では単に製鉄所内の一プラントの制御機能の高度化のためだけにとどまらず、製鉄所全体を統括する総合管理システムを構成するため、あるいは工場現場の機器制御計算機として、あるいは現場作業指示、実績収集の管理制御計算機として使用され、汎用計算機とのリンケージ機能とともに生産管理情報から現場生産活動に至る流れを形成している。管理レベルの制御用計算機は、原料ヤード、製鉄、製鋼、熱間圧延、冷間圧延、厚板出荷など、製鉄工程の区分別のサブシステムの中核となるが、それぞれが広い敷地に分布する多くの設備を管理するため、情報伝達の手法としてデータフリーウェイ(DFW)が用いられている。最近では、光通信技術を応用した光データフリーウェイが実用化されようとしている。図1は、その具体的なシステム構成例を示すもので、各種入出力装置の共有化と計算機の多重化により信頼性の向上とプログラムの開発、保守の簡便化を図っている。またインテリジェントステーションの採用により計算機負荷の分散が行なわれている。

\* 日立製作所大みか工場 \*\* 日立製作所機電事業本部

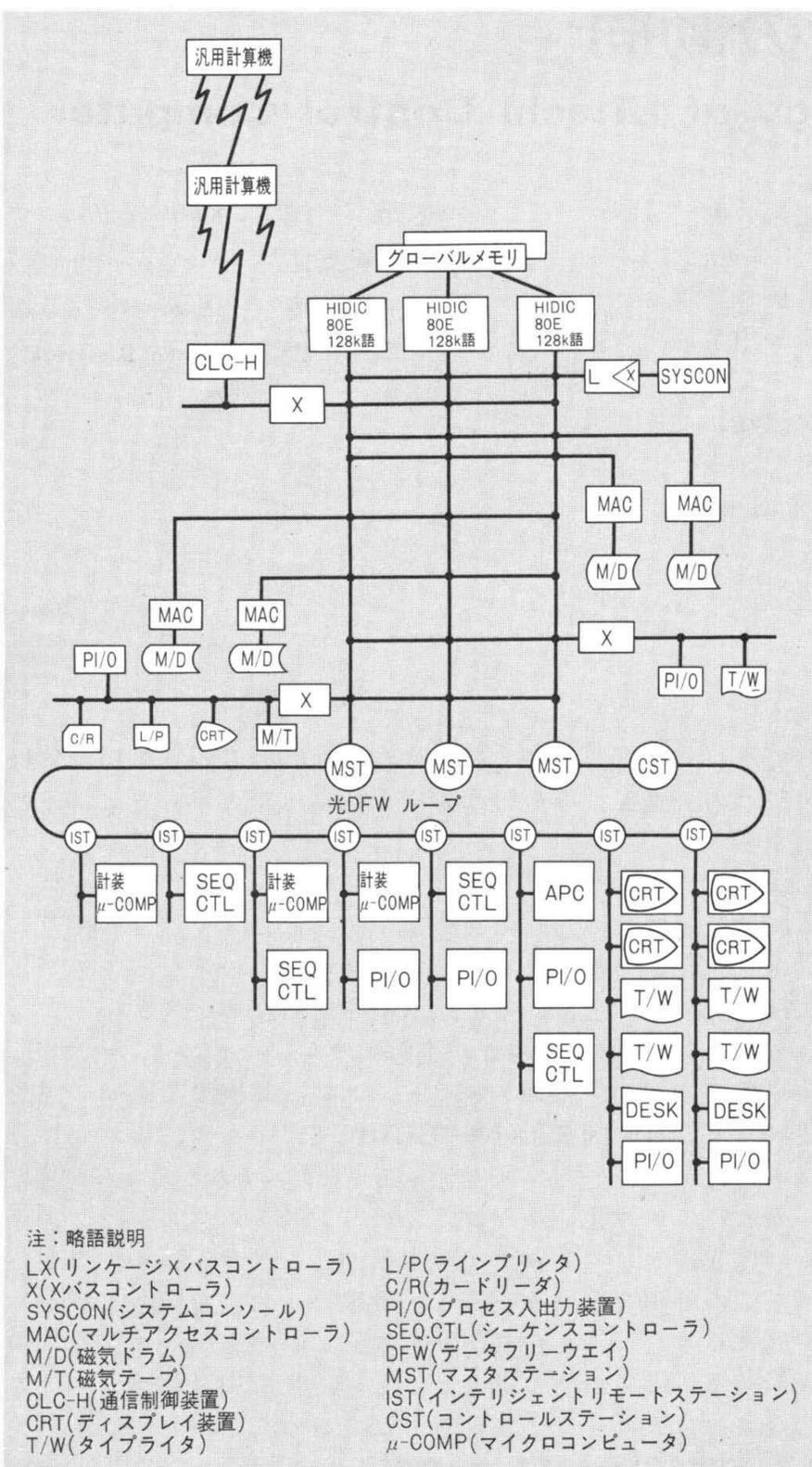


図1 鉄鋼プラントにおける統合生産管理システムの例 光データフリーウェイを中核とした分散処理ネットワークシステムを構成し、複数プロセスを三重化された高性能制御用計算機によりロードシェア制御を行なうことによって、システムの高信頼化を実現している。

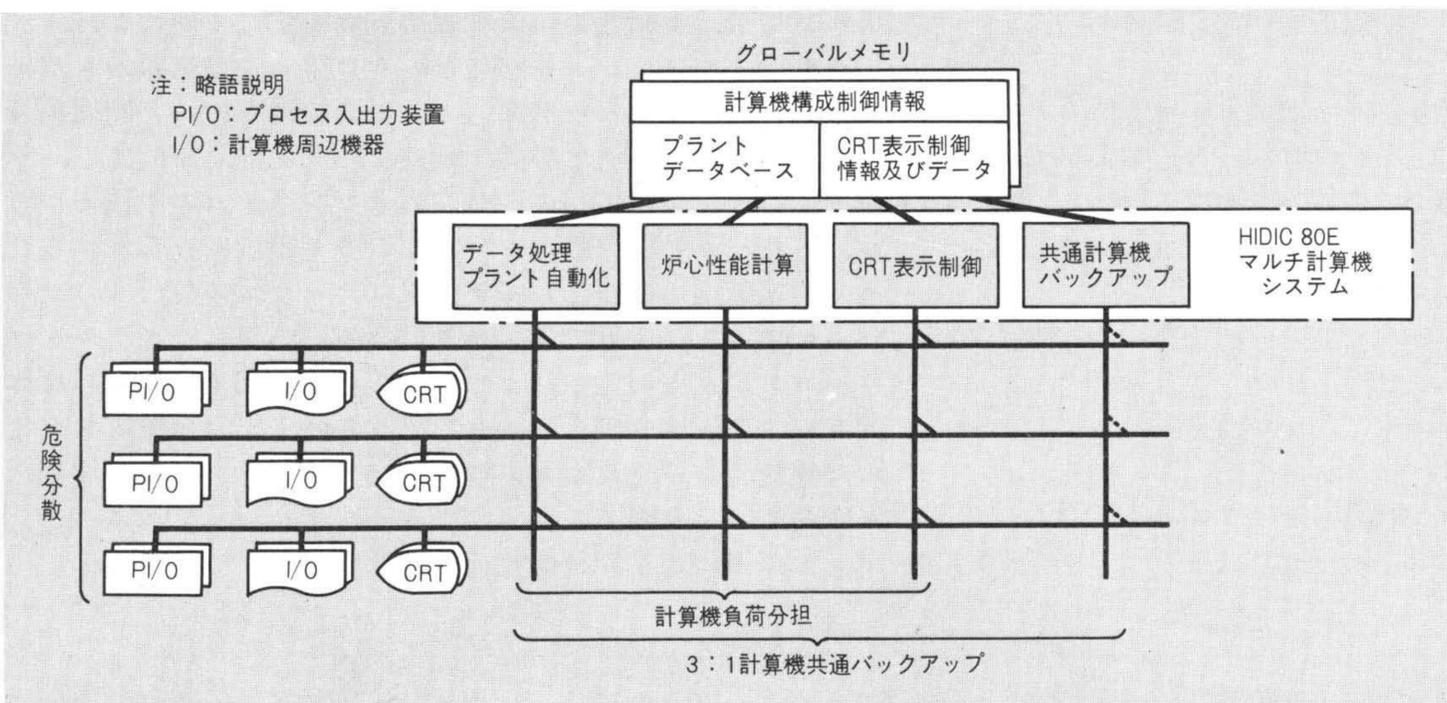


図2 原子カプラント計算機システムの構成例 原子カプラントの計算機制御機能を、複数の計算機に分割負担させ、かつ相互を結合してn:1バックアップシステムによる高信頼化を実現しているシステムの構成例を示す。

(2) 火力発電所

火力発電プラントでの制御用計算機は、主としてボイラ、タービン、発電機ユニットの管理、運転の自動化・高度化を目的として導入発展してきたが、環境監視制御など発電所全体の総合管理を行なう動きも出てきている。

運転管理の面では、大幅に自動化されたプラントを安全かつスムーズに運転するため、中央操作室に高密度カラーCRT (Cathode Ray Tube)を設置して、図形表示などきめ細かな活用により運転員へのサポートを行なっている。

また自動化の面では、マイクロプロセッサによる制御装置のデジタル化、コンピュータ化が推進され、マイクロプロセッサ群による分散制御方式や、マイクロプロセッサによるDDC (Direct Digital Control) システムとユニット計算機とのハイアラキシステムが実用化されるようになってきた。

更に、ユニット計算機の性能、信頼性を向上するため、マルチコンピュータシステム(2ユニット2コンピュータ方式、1ユニット2コンピュータ方式など)により常時は機能分散を行ない、異常時は相互バックアップを行なう方式の採用が一般化している。

(3) 原子力発電所

原子力発電プラントの計算機制御は、主としてデータロガ、炉心性能計算などを中心として発展してきたが、最近では、CRTを活用したマンマシン性の向上、DDC, SCC (Supervisory Computer Control) などによる運転の自動化などが適用されてゆく傾向にある。

システム構成は、当初シングルシステムであったが、最近では炉心性能計算の高速化、CRTディスプレイを多数採用した計算機化制御盤の導入、炉心性能予測計算システム、プラント診断システム、運転の自動化などの導入により、複数の計算機に機能を分担させたロードシェア方式のマルチシステムが計画されている。図2は、その代表的適用例を示したものである。また、原子力発電プラントの制御性、監視性、信頼性などの向上のため、マイクロプロセッサによるデジタル制御の適用範囲が拡大している。制御棒操作監視制御装置、負荷追従制御装置、給水再循環流量制御装置などが原子力発電所特有のデジタル化の制御装置に当たる。

また、これらのサイトに置かれた種々の計算機を階層的に結合し、サイト管理用計算機により統括管理し、必要に応じ給電指令所とのデータの授受を行なうような試みも計画されている。

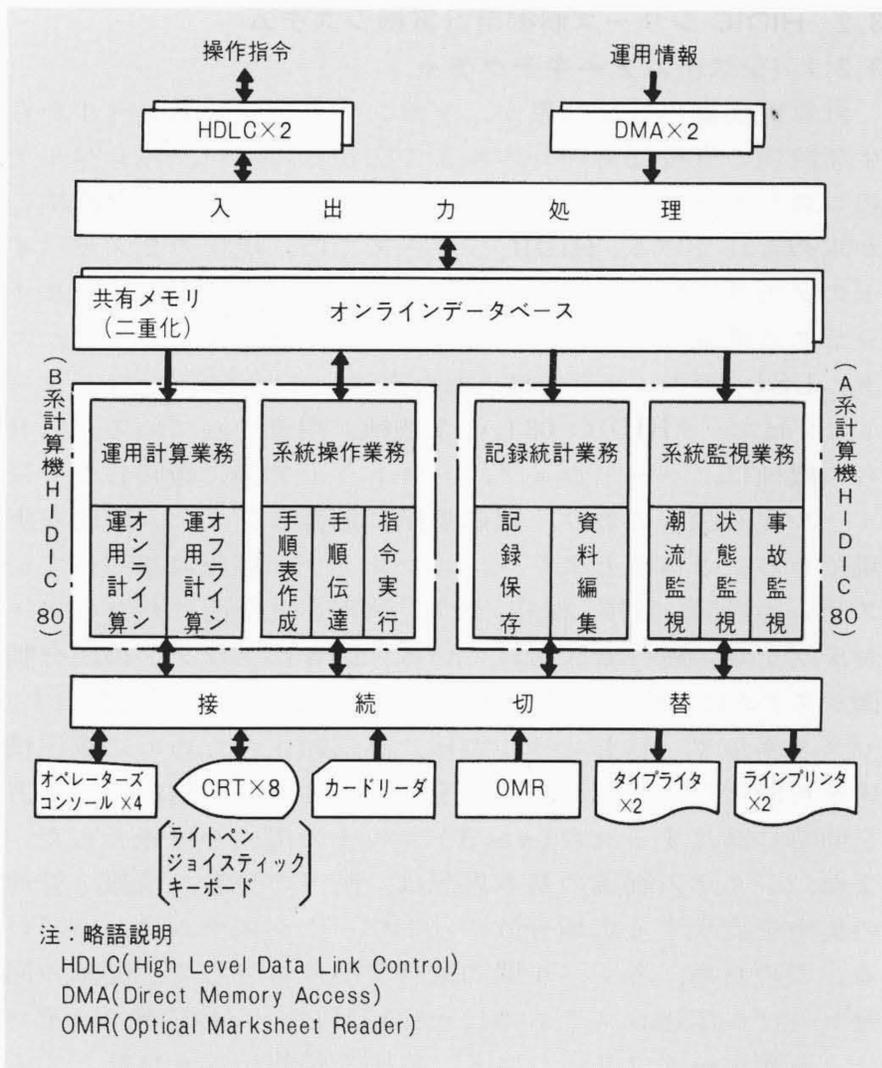


図3 給電所自動化システム構成図 マルチシステム構成により、ロードシェアシステムを実現し、通信ネットワークとの結合をHDLC(ハイレベルデータ通信手順)で行なった例である。

(4) 電力系統

電力系統制御用計算機システムは、電力系統の成長、拡大、大規模化、需要家サービスの高度化、中央給電指令所から集中制御所までを通信回線で給合した広域ハイアラキシステムの高度化などに伴ってますます大容量化、機能高度化の方向をたどっている。

中央給電指令所へのメガ・ミニ級のマルチシステムの導入、支店給電所や大規模集中制御所へのマルチシステムの導入が定着してきており、機能の高度化に伴ってマンマシン性能向上の要求に応ずるため、高密度CRTを多数台(8~10台)備えるシステムが一般化している。また、系統状況の敏速な把握、系統信頼度保持のための予防保全、系統操作などの目的で、高速潮流計算の必要性が従来以上に増大し、支店給電所に配備する計算機もメガ・ミニ級となり、データファイルも数百メガバイト級と計算機システムは巨大化する方向にある。

通信回線との結合も、従来のベーシック手順から、パケット交換を考えたHDLC(High level Data Link Control)手順へと進展し、電力系統制御用のパケット交換網で一部が実用化されてきている。また、システムの巨大化に伴い、リアルタイム情報、設備情報などを一元管理するための電力系統データベースの導入が必須となり、このデータベースメンテナンス用のソフトウェアツールが開発される方向にある。また、集中制御所の大規模化に伴い、系統発電所増設変更に対応したCRT画面の作成、変更を、ライトペンとキーボードを用いて対話形で行なうCRT画面作成システムが開発されているが、最終的には、事故時の系統操作まで含めた自動アルゴリズムの作成が今後の目標であろう。図3に、代表的なマルチシステム構成を採用しHDLCによる通信ネットワーク結合を実現した給電所自動化システムの例を示す。

(5) 上下水道

上下水道での計算機システムの形態は、データログからプラント全体を対象とするマンマシン性に優れたCRT計装へと移行しつつあり、最近では大形プラント用にはデータウェイの採用、マルチシステムの採用など、計算機システムの規模も大形化してきている。上水道システムでは、需要予測に基づく最適水配分計画、広域にわたる各地の配水圧力の最適制御など、社会的ニーズに応じた高度技法を採用したいわゆる広域制御システムが稼動し始めている。また、場内の制御も薬品注入制御のようにプロセス特性の解明に基づく制御システムが実用期に入っている。

下水道システムでは、放流水質制御のうち、溶存酸素(Dissolved Oxygen: DO)制御や、混合液濃度(Mixed Liquor Suspended Solids: MLSS)制御、汚泥制御などが実用期に入り、総合水質制御のための数式モデル化が積極的に試みられており、オンライン制御の実現が近づきつつある。

(6) 化学プラント

化学プラントへの計算機の導入は、当初、連続プロセスでのプロセス監視、データロギング、最適化制御などが中心で、多額の投資による数式モデルの開発も行なわれた。DDCの面では、マイクロプロセッサの実用化とともに、従来アナログベースであったループコントローラもデジタル化され、シーケンス制御のデジタル化とともに広く計算機計装が発展しつつある。これは、大形プラントでSCCプラスDDCが主流を占めつつある現状にその姿をみることができる。一方、中、小規模システムでは、図4に示すような二重化した共通コアメモリ(Global Memory: GM)をもったマルチコンピュータシステムによる高信頼度システムが主として用いられており、このマルチシステムと、マイクロコンピュータ分散システムは、単独に、あるいは結合されて、今後のシステムの中核を構成してゆくものと思われる。

(7) 交通

新幹線に適用した列車運行管理用複合計算機システムは、計算機の二重化三台系として高信頼性、保守性を含む新技術が各所に導入されたが、これを契機として列車運行管理、電力管理、車両基地管理及び列車自動運転と次々に新技術の開発が推進されている。これらは、地方都市交通(地下鉄ほか)へ急速に広がりつつあり、計算機制御システムは欠かすことのできない重要な制御システムの中核となっている。また、

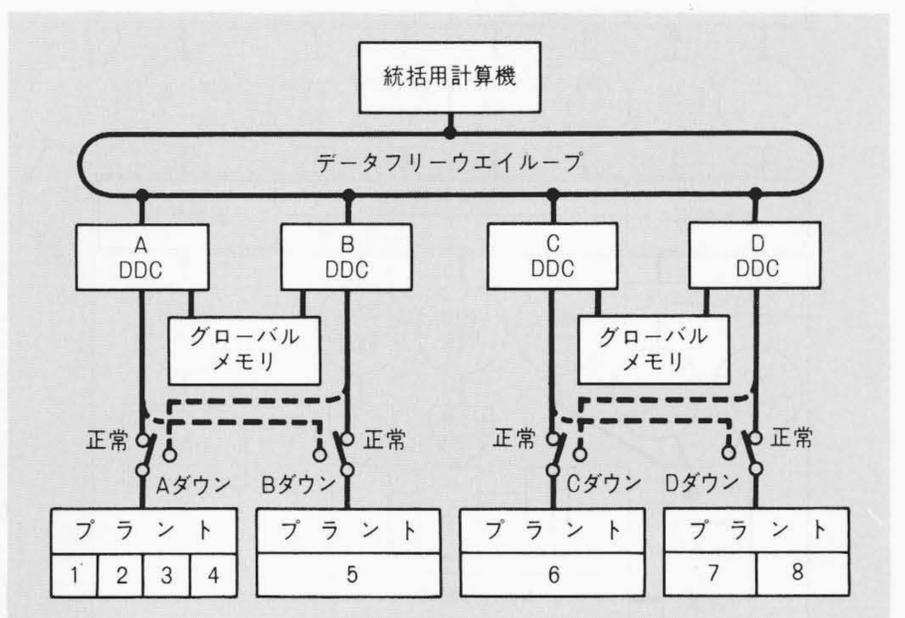


図4 化学プロセスにおける二重系DDC制御を含むプラント統合管理システムの例 DDCシステムは、プラントに対応した分数形構成になっている。各2台ずつの組合せで相互にバックアップする構成とした。

道路交通システムでは、高速自動車道の統合管制システムとして、かつ関連電力設備の監視・自動運転装置として、制御用計算機の適用はますます広がりつつある。この中で、新都市交通システムは今後一段と発展し、高度な計算機制御システムの適用へ向かうものと思われる。

(8) 機械工業

オートメーションを含む機械工業では、早くから生産管理用に制御用計算機が導入され、オンラインスケジューリング、シミュレーションなどの制御手法に加え、設備診断、品質管理、予防保全技術などがシステムの重要な要素となりつつある。この分野でもまた、マイクロコンピュータのインパクトが見られ、これは、下辺のシーケンスコントローラ、ロボットコントローラ及び小規模制御装置に用いられてきている。これらは、上位の大形制御用計算機と結合され、全体として高度の分散型、統合生産管理システムとして発展しつつある。この代表的な例を図5に示す。

3 制御用計算機システム

3.1 制御用計算機システムの動向

工業プロセスの中で計算機制御の担当範囲が拡大するにつれ、プラントデータベースを中心とした大規模情報制御への発展と、マイクロプロセッサを中核とした各種デジタルコントローラによる制御の分散化の傾向がますます強くなりつつある。また、このデータの集中と制御の積極的分散を効率よく実現する具体的手段として、データウエイを根幹とするネットワークシステムアーキテクチャの整備が進んでいる。一方、高信頼化技術としてのマルチコンピュータ構成は、システムの規模の増大とともに不可欠となり、三重系以上の高度なシステム構成が実用化の段階に入っている。

3.2 HIDIC シリーズ制御用計算機システム

3.2.1 システムアーキテクチャ

計算機制御の制御対象が、プラントの情報制御レベルから生産設備の直接制御のレベルまで広がるに伴い、各レベルでのコストパフォーマンスの最適化とレベル間の効率的結合が求められている。HIDICシリーズでは、現状の2メガバイトのメモリ空間をもつ高性能大形機種HIDIC 80E、マルチシステム構成への拡張性に富む中形機種HIDIC 80及びカスタムLSIプロセッサを中核とした高速・コンパクトなワンボードコンピュータHIDIC 08Lの3機種が用意されている。これらの機種は、ハードウェア、ソフトウェア共に徹底したモジュール化を図っており、制御規模に最適なシステム構成が実現できることはもとより、ユニコンセプト思想に基づいてシステムの設計、製作、保守、教育、運用など全面にわたりアーキテクチャの統一が図られている。図6にプラントの統合制御システムに対応したHIDICシリーズのシステム構成を示す。マシエエネルギー制御レベルでは、高信頼化のための二重化構成を可能とし、管理レベル以上では、処理性と信頼性の両方を同時に満足するn台(n≦8)マルチの構成を可能とした。また、システム制御の基本思想は、制御の分散、情報・管理の集中を実現する広域分散ネットワークシステムにおいている。このため、各レベル間の結合デバイスとして、従来の同軸ケーブル伝送システムのほかに10Mビット/秒の光ファイバによる光データフリーウェイ、自由な情報伝達を可能とする高レベルデータ伝送手順をもつHDLCによる通信ネットワークを可能とした。

3.2.2 処理装置

HIDICシリーズでは、システムの高信頼性と応答性に重点をおき、特にシステムの全面停止の回避に万全を期している。

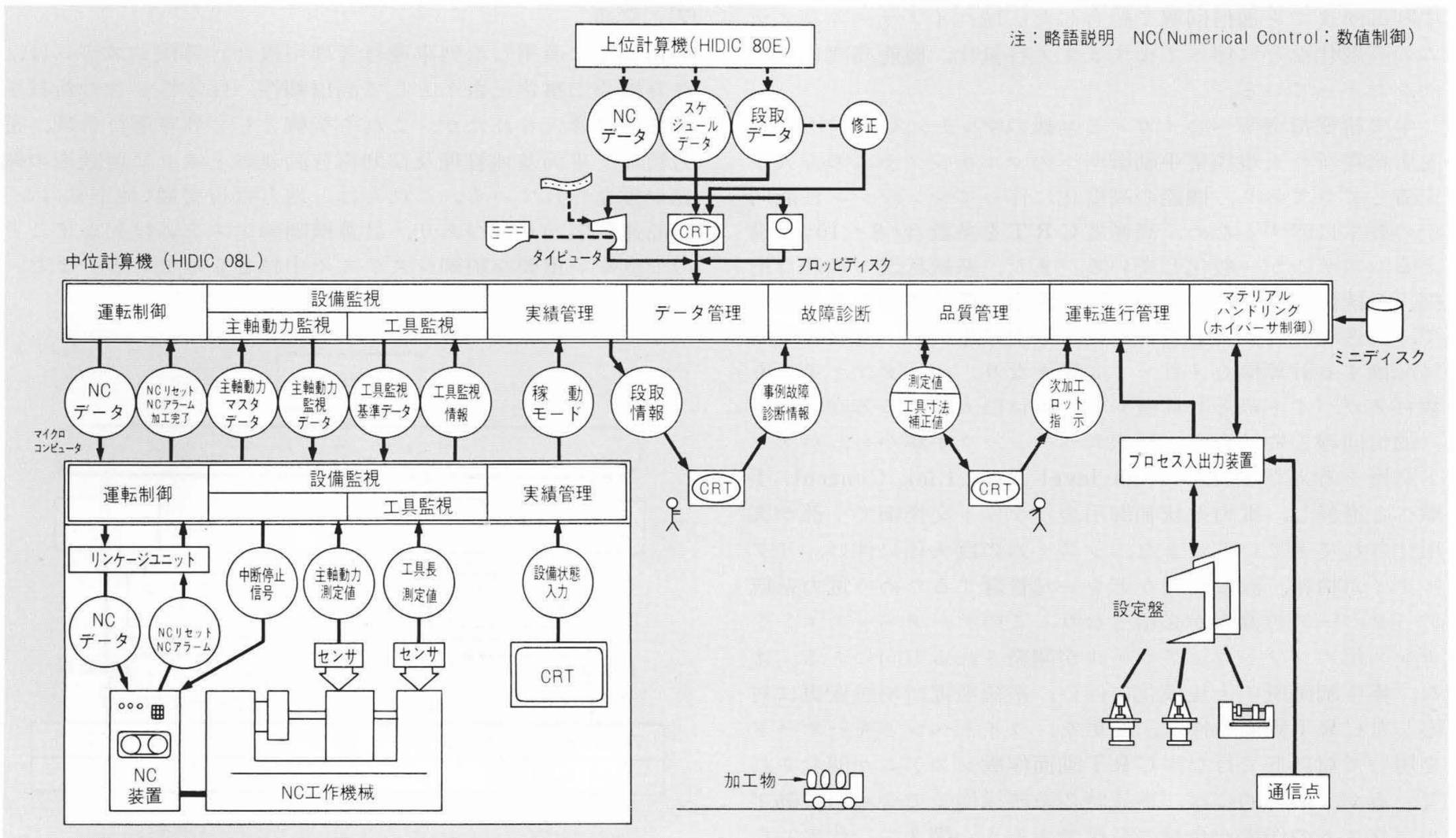


図5 機械製造プラントにおける統合生産管理システム機能図 最下位NC制御にマイクロコンピュータを使い、中位にミニコンピュータ、最上位にメガ・ミニ級計算機を配したハイアーキシステムである。

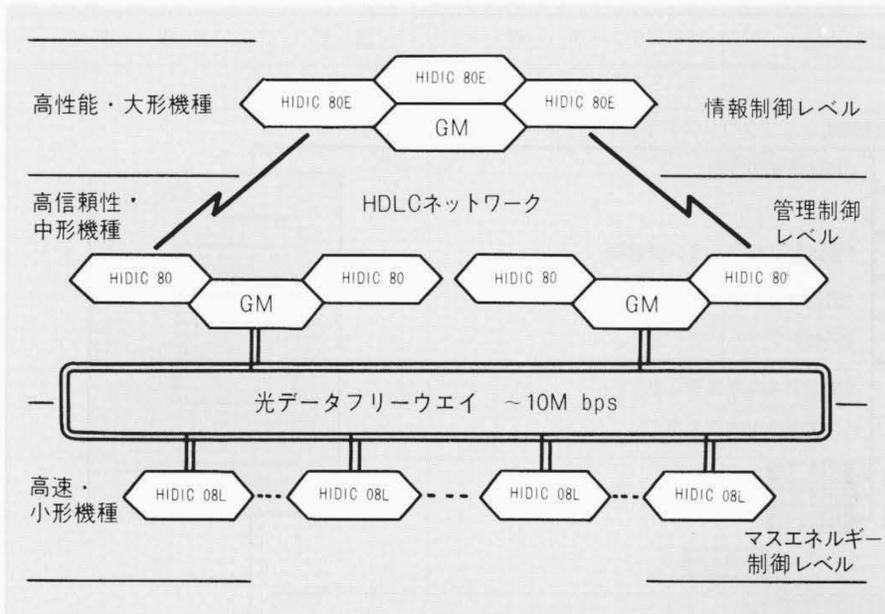


図6 HIDICシリーズのシステム構成 大形機種HIDIC 80Eによる情報制御レベルからLSIコンピュータHIDIC 08Lによるマエエネルギー制御レベルまでを同一アーキテクチャで統一し、有機的なシステム化を実現した。

このために、まずハードウェアの固有信頼度の向上策として、部品、素子数の低減と高集積化(LSI化)を実現するとともに、主要部品の全数スクリーニングによる素子欠陥の排除、モジュールレベル、ユニットレベル及びシステムレベルごとのヒートサイクルテスト、エージングを主体とした信頼度保証プログラムによる潜在欠陥の早期摘出と排除に努めている。また、システムの一部障害がシステムの全面停止へ波及することを防止するために、ハードウェア機能とソフトウェア機能との協調を図り、主要機能の再試行、入出力機器動作の監視と障害機器の自動切離し、デグラデーション運転制御、入出力データ及びオペレータ操作の合理性チェックなどを組み込んだ。一方、システムの複雑化に対応した保全性の向上については、マイクロプログラムによる自己診断機能、ハードウェア障害記録(再試行記録)、発光ダイオードによる状態及び障害部位表示機能を組み込むとともに、システムを停止することなく、故障部位の取替修復を可能とするため、機器やプラグインモジュールの活線挿抜機能を付与している。

応答性については、演算速度の向上と基本ソフトウェアのオーバーヘッド縮小を図った。前者に対しては、HIDIC 80Eで実現した命令バッファ、命令デコード及びアドレス演算、オペランド演算のパイプライン処理により、HIDIC 80比1.8倍の高性能化を図り、平均演算速度で1 MIPS (Mega Instruction Per Second) を達成した。また後者については、基本ソフトウェアのうち、高頻度で動作するマクロ機能をファームウェア化することにより、HIDIC 80比 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ という大幅なOperating System(OS)オーバーヘッドの縮小に成功した。

一方、システムの規模を決める直接参照可能なメモリ容量は、HIDIC 80Eで2Mバイト(うち主メモリ1Mバイト)HIDIC 80で1メガバイト(同128kバイト)、HIDIC 08Lで256kバイト(同128kバイト)とし、大規模システムへの対応を可能とした。同時に入出力バスの能力も8Mバイト/秒(HIDIC 80E)、3Mバイト/秒(HIDIC 80)、1.6Mバイト/秒(HIDIC 08L)と強化している。

### 3.2.3 周辺装置

HIDIC シリーズ用周辺装置は、コストパフォーマンスの最適化のため、性能及び価格面で異なる複数グレードの機種を用意した。ファイル装置を例にとれば、高速、高信頼度の磁気ドラムメモリ6機種をはじめ、大容量・高速固定ヘッド磁気ディスク4機種(最大2M語/台)、カートリッジディス

ク(4.8M語/台)、固定板磁気ディスク装置(40/80Mバイト/台)及び大容量ディスク(300Mバイト/台)を標準としている。また、機能の高度化に伴い増大する処理装置の負荷軽減、ハードウェアインタフェース、ソフトウェアインタフェースの簡明化をねらって、高密度カラーセミグラフィックディスプレイ装置、分散型プロセス入出力装置、オペレーターズコンソール制御装置及び各種通信制御装置(CLC- $\mu$ )では、内蔵マイクロコンピュータにより、装置特有のハードウェアインタフェースを処理している。ディスプレイ装置では、グラフィックゼネレーション、トレンド機能、画面の拡大・縮小・移動などの諸機能を、分散型プロセス入出力装置では、スキヤニング、信号のスムージング、工学単位変換、変化点検出などのマクロ機能を、オペレーターズコンソール制御装置では、操作ボタン間のインタロック、表示器制御、キーボード、カード入力、プリンタなどの制御機能を行なわせており、更に通信制御装置では、基本通信制御ソフトウェア(Basic Communication Access Method: BCAM)の機能をマイクロコンピュータで実現することにより、通信リンクに伴う処理装置負荷及びソフトウェアのオーバーヘッドを大幅に低減した。一方、メカニカル部分を主体とする周辺機器は、予防保全が不可欠であり、従来、しばしばその頻度がシステム運用コスト上問題となってきたが、マトリックスプリンタ、CRT化コンソール入出力装置など電子化装置の開発により、保守頻度の半減化を実現した。

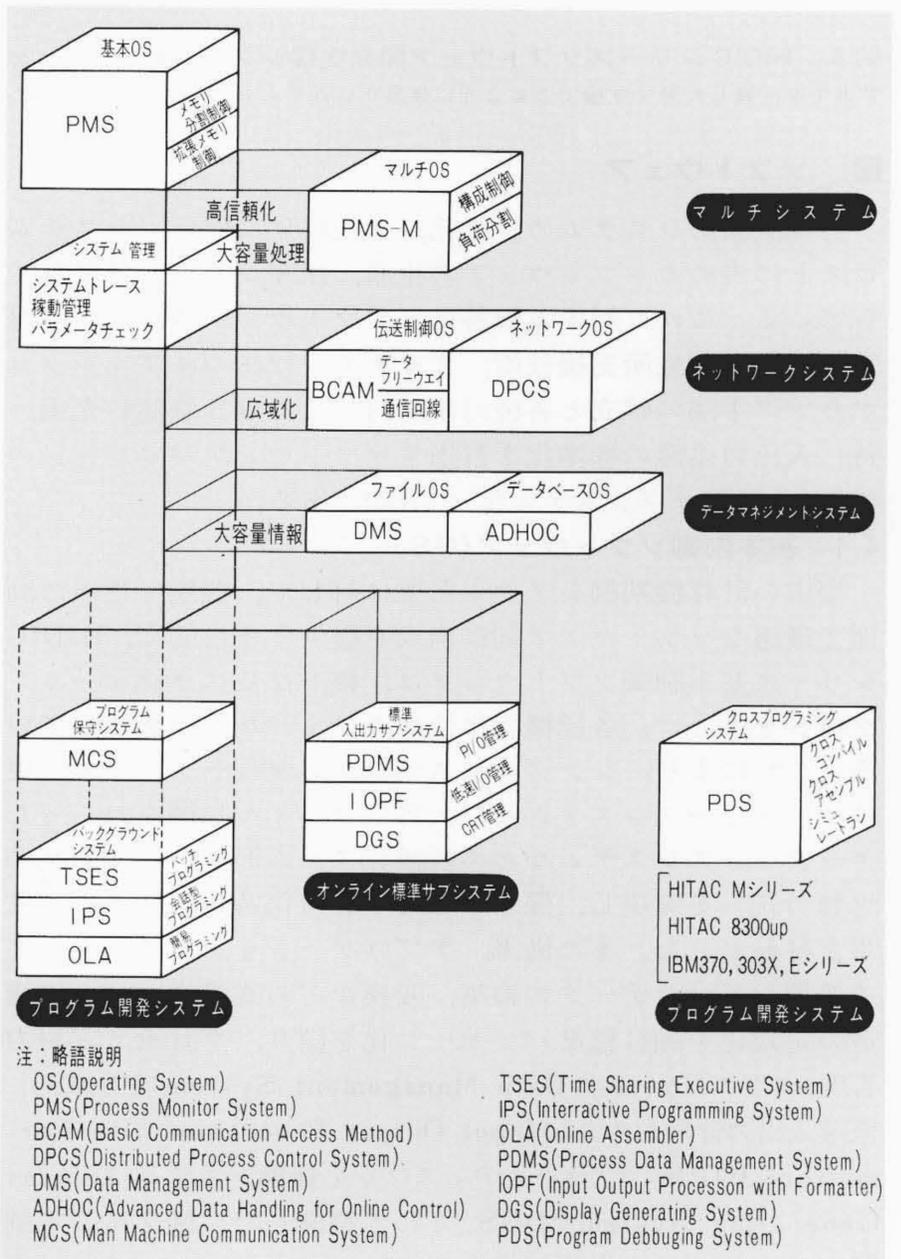
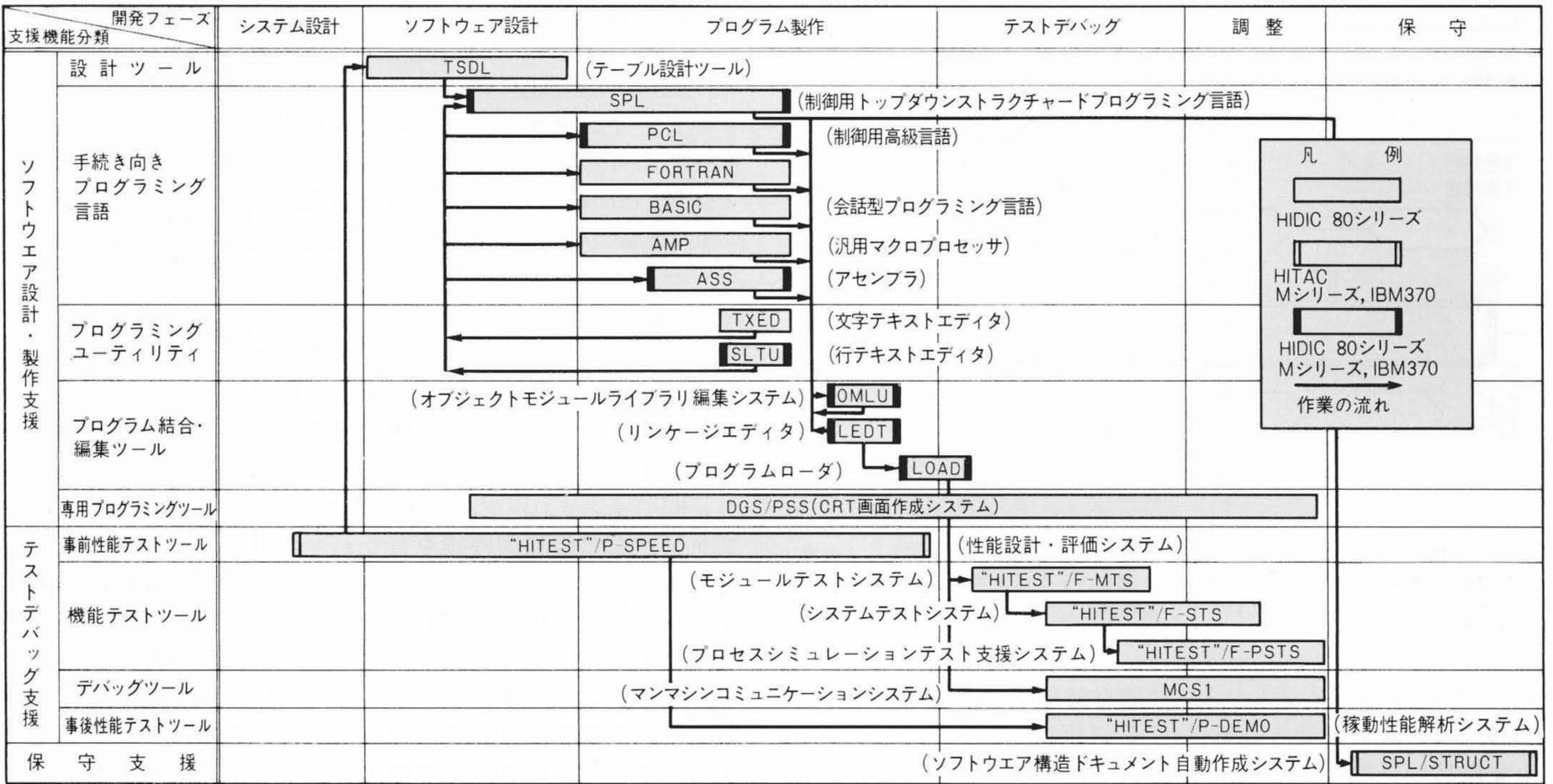


図7 HIDIC 80シリーズ基本ソフトウェア体系 HIDIC 80シリーズ基本ソフトウェアは、核となる基本OSを中心にマルチシステム、ネットワークシステム及び大容量ファイルシステムに対応したサブOS及び入出力装置に対応した標準サブシステムから構成され、多様な組合せによるシステムを構成できる。



注：略語説明

- TSDL (Table Specification Description Language)
- SPL (Software Production Language)
- PCL (Process Control Language)
- AMP (Advanced Macro Processor)
- ASS (Assembler)
- TXED (Text Editor)
- SLTU (Source Library Tape Update)
- OMLU (Object Module Library Update)
- LEDT (Linkage Editor)
- LOAD (Program Loader)
- DGS/PSS (Display Generating Software)
- PSS (Picture design Support Software)
- GRT (Cathode Ray Tube)
- "HITEST" (Hitachi Integrated Test System)
- "HITEST" P ("HITEST" Performance)
- SPEED (System Performance Evaluating, Ensuring and Designing System)
- "HITEST" F ("HITEST" Function)
- MTS (Module Test System)
- STS (System Test System)
- PSTS (Process Simulation Test System)
- MCS1 (Man-Machine Communication System 1)
- DEMO (Determinative Evaluation, Monitoring and Output System)
- SPL STRUCT (SPL Software Structure Documentation System)

図8 HIDICシリーズソフトウェア開発支援システム体系 このシステムは、システム設計から保守までを一貫した形で支援できるように体系化されており、この体系に沿って各種ツールが開発・配備されている。

#### 4 ソフトウェア

計算機制御システムの多様化、大規模化に伴い、システムコストに占めるソフトウェアの生産、保守コストが急増してきている。これに対する解答は、ソフトウェアの設計から保守に至る一貫生産支援技術、すなわちソフトウェアエンジニアリング手法の確立と各種対象に対応したOS機能の充実、特に入出力処理の標準化を目指すソフトウェアパッケージの標準化(標準サブシステム化)の方向である。

##### 4.1 基本制御ソフトウェア(OS)

幅広い計算機制御システム形態に対して、機能・性能の両面で最適なソフトウェア制御構成を提供する目的で、HIDICシリーズ基本制御ソフトウェアは、核となるスケジューリングOSを中心に、各種機能単位のモジュール化を徹底している。これにより、シングルシステムからマルチシステム、更にネットワークシステム及び大容量ファイル制御をねらったデータベースシステムなどの各種システム形態に対し、制御思想の統一を実現し、保守・教育の省力化及びシステムの拡張を容易にした。また従来、アプリケーションソフトウェアで処理していたデータの編集、変換などの業務を、データ構造の定式化を軸に標準パッケージ化を図り、プロセス入出力管理システム(Process Data Management System: PDMS)、低速入出力管理システム(Input Output Processor with Formatter: IOPF)、プロセスディスプレイ管理システム(Display Generating System: DGS)として整備した。図7に基本制御ソフトウェアの全体構成を示す。

##### 4.2 ソフトウェア開発支援システム

ソフトウェアの生産性、信頼性及び保守性の向上は、現在最も解決を急がねばならない重要な課題であるが、HIDICシリーズではこれら課題を解決するために、従来から開発を進

めてきた各種ソフトウェアツールをソフトウェアエンジニアリングの観点から整備、体系化し、ソフトウェア開発支援システムとして完成させた。

このシステムは、計算機制御システムの設計段階から保守段階までを首尾一貫した思想で支援するもので、大きく、ソフトウェア設計・製作支援ツール群、テスト、デバッグ支援ツール群及び保守支援ツールから成っている。これらのツールの中でも特に制御用トップダウンストラクチャードプログラミング言語SPL(Software Production Language)と制御用ソフトウェア一貫テストシステム"HITEST"(Hitachi Integrated Test System)はこのシステムの中核を形成し、前者は構造化プログラミング機能に加えてデータの抽象化機能、データの一元化管理機能及び自然語ふう記述機能といった最新の技術を利用できるようにし、また後者は、性能テストと機能テストを一貫した形で支援するようにしている。

このシステムの大部分はHIDIC 80シリーズのもとで利用でき、一部はHITAC Mシリーズ若しくはIBM 370シリーズの下でのクロスシステムとして利用することができる。

図8にこのシステムの体系を示す。

#### 5 結 言

今後、計算機制御システムは、ハードウェア、制御ソフトウェア及びデータベースの広域分散化の傾向を強めながら関連する技術分野の範囲を広げ、各分野のノウハウを統合した総合技術として成長してゆくものと思われる。

終わりに、この論文をまとめるに当たって多数ユーザー各位からの貴重な御意見を反映させていただいた。ここに深く謝意を表わす次第である。