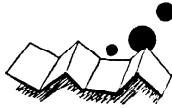


解説

—最近の大型ミニコンとその応用 (5)—



大型ミニコンによる複合計算機システム†

生田 弘明** 武川 輝明**

1. まえがき

大型ミニコンは高いハードウェア性能と汎用機並みの充実したソフトウェアによって産業界の自動化、合理化の中核として使われている。特に最近、大型ミニコンによる分散システム、高信頼システム等のシステム技術を基盤とする応用が注目されている。これらのアプリケーションの一つに大型ミニコンを用いた複合計算機システムがある。これは複数台の大型ミニコンを結合して一つのシステムとしてまとめるもので、従来からあるデュアル/デュプレックスシステムをさらに発展させて、複数台のプロセッサに1台の予備プロセッサを置けるようにならないかという新しい要求と、従来は大型汎用機で対応していた業務を機能分散/負荷分散して対応できないかという要求から生まれたシステムである。

本稿では、複合計算機システムの目的、分類等について概説した後、実用システムに焦点を絞り、いくつかの具体例の紹介と大型ミニコンによる複合計算機システムの技術的問題と対策、さらに応用分野への適用例について述べる。

2. 複合計算機システム

複合計算機システムは、計算機複合体あるいはコンピュータ・コンプレックスなどと呼ばれ、一般には“比較的近距离に存在する計算機間をある程度密に結合した計算機システム”として捉えられている。ここでは、複合計算機システムの目的と分類及び特徴について述べる。

2.1 複合計算機システムの目的

複合計算機システムの目的は、複合化した各コンピュータに何を分散するかによって次の3項目に分

類できる。

(1) 負荷分散

同じ構造のプロセッサを多数用いて、高い処理能力が得られるように負荷の分散を目的とする。

(2) 機能分散

たとえば、入出力プロセッサ、コミュニケーションプロセッサ、サービスプロセッサのような専用プロセッサによる機能の分散を目的とする。

表-1 構成プロセッサによる分類

分類	内容	特徴
均質プロセッサ型	各プロセッサは独立して対等な関係。処理機能を入れ換えることが可能。	汎用性、信頼性に優れる。増設が容易でハードウェア生産性が高い。
異質プロセッサ型	各プロセッサは特定の処理を行い、システムの処理機能を分担する。ハードウェア的に異質なものと、マイクロプログラム等で専用化しているものがある。	処理効率が高く、専用化による低価格化ができる。
モジュールプロセッサ型	計算機構成要素自体を適当なレベルで機能モジュールに分割し、用途に応じてビルディング・ブロック式に組み合わせるもの。	きわめて柔軟性に富み、LSIの使用に適している。

表-2 プロセッサ間の結合方式による分類

分類	形態	内容	特徴
チャンネル結合型		チャンネルインタフェースによる結合。相手のプロセッサを入出力装置としてみる。	問題点が少ない。データ転送効率が低い。
バス結合型		単一または複数バス上にプロセッサを結合。	単純で経済的。バスの結合、転送能力、信頼性が問題となる。
マルチポート結合型		プロセッサ及び他のリソースの入出力ポートを複数にして、相互に結合。	実用的で従来からある方式。接続台数が制限され、経済性に問題がある。

(P: プロセッサ, CH: チャンネル, M: メモリ)

† Super-minicomputer Complex System by Hiroaki IKUTA and Teruaki TAKEKAWA (Minicomputer Engineering Department, Panafacom Ltd.).

** パナファコム株式会社ミニコン技術部

表-3 OS の処理による分類

分類	内容	特徴
集中型	特定のプロセッサに OS としての処理を集中したもの。	単純であるが、OS としての信頼性に問題がある。
分散型	OS の機能をモジュール化して各プロセッサに分担させる。タスク、ジョブのレベルで分担するものもある。	OS 処理のオーバヘッドが少なく効率が良い。ファームウェアで吸収しやすい。
独立型	各プロセッサごとに独立した OS を持つ。	分担開発ができて、実用的。

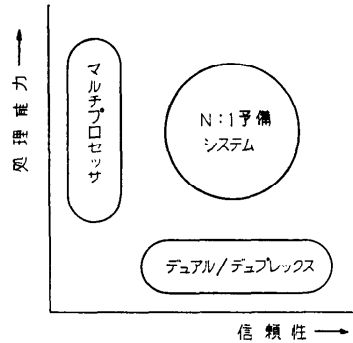


図-1 N:1 予備システムの位置づけ

(3) 危険分散

システムの高信頼化のために、部分故障でシステムダウンが起きないように、危険分散を目的とする。

2.2 複合計算機システムの分類

複合計算機システムの分類はいくつかの観点から行われているが、ここでは構成プロセッサ、プロセッサ間結合方式及び OS の処理に着目した分類について述べる。

(1) 構成プロセッサによる分類

複合計算機システムを構成するプロセッサの処理機能の分担方法に着目した分類である。表-1 のように、均質プロセッサ、異質プロセッサ、モジュールプロセッサの3種類に分類される。

(2) プロセッサ間の結合方式による分類

プロセッサ間の結合方式によって表-2 のようにチャンネル結合、バス結合、マルチポート結合の3種類に分類される。特に、バス結合型はプロセッサ、メモ

リ、チャンネル等システムのリソース間結合方式によってさらに細分類することもできる。この場合は、単一バス、多重バス、リングバス、バスマトリックス、バスカプラ等の型に細分される。

(3) OS の処理による分類

各構成プロセッサに分担される OS の処理から見た分類であり、表-3 のように集中型、分散型、独立型の3種類に分類される。

2.3 開発動向

実用化されている複合計算機システムはプロセッサの規模によって目的、特徴が異なる。汎用計算機のマルチプロセッサ構成は性能向上を第一目的としている。シリーズマシンの上位機種をマルチプロセッサ構成にして処理能力を大きくしたものが多い。プロセッサ間の結合はメモリ共有型の密結合で、単一の OS で動作するのが特徴である。一方、最近急速に発達して

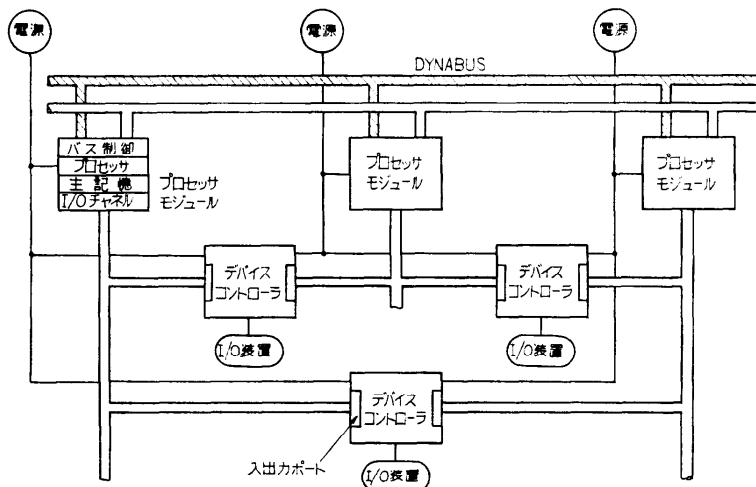


図-2 TANDEM-16 のシステム構成

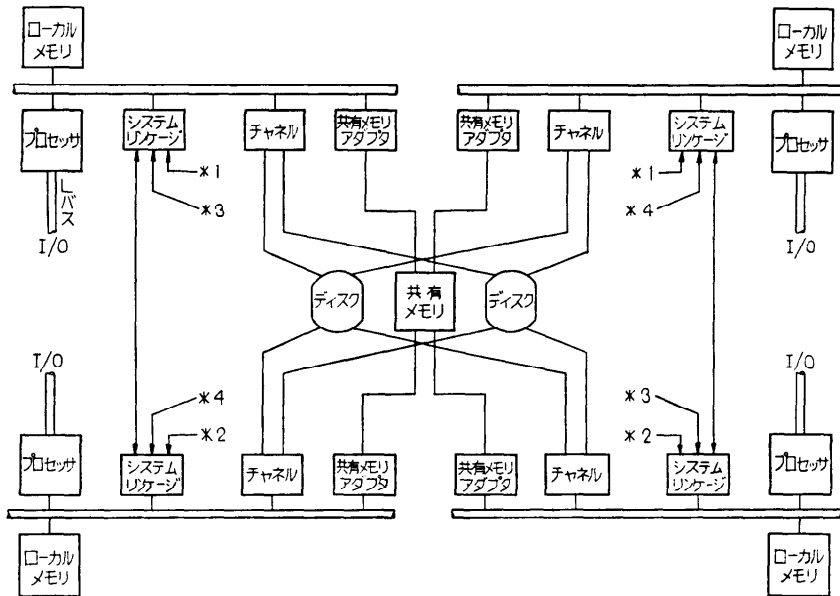


図-3 TOSBAC シリーズ 7/70 マルチシステムの構成図

いるマイクロコンピュータによるマルチマイクロプロセッサはアプリケーション向きに専用化したシステムとして作られる場合が多い。これは従来の汎用計算機には向かない応用分野に対し、モジュラリティの高い小規模のハードウェアを組み合わせて、専用プロセッサを開発したと同等の効果を期待している。

これらに対し、ミニコンによる複合計算機システムは信頼性と処理能力をバランス良く向上することが目的である。たとえば、複数のプロセッサに1台の予備プロセッサを準備した N : 1 予備システムを構成することによって 図-1 に示す位置づけのシステムをめざしている。実用化されているシステムの例として、図-2 と 図-3 に TANDEM 及び東芝の複合計算機システムの構成図を示す。

3. 大型ミニコンによる複合計算機システム

計算機の諸機能のうち、複合計算機システムに関連する項目について、大型ミニコンの特長と他のプロセッサとの比較を 表-4 に示した。大型ミニコンが複合計算機システムのプロセッサとして適合性が高いことがわかる。

3.1 大型ミニコン

大型ミニコンの例として、PFU-1500 のハードウェア性能を 表-5 に示す。大型ミニコンは、ミニコンと

表-4 複合計算機システムのプロセッサとしての大型ミニコンの適合性

複合計算機システムのプロセッサの要件	汎用計算機	大型ミニコン	ミニコン	マイクロプロセッサ
命令処理速度が高い	◎	◎	○	△
メモリ容量が大きい	◎	◎	○	△
入出力能力が大きい	◎	◎	○	△
リアルタイム機能の充実	△	◎	◎	△
プロセッサ間結合が容易	△	◎	◎	◎
モジュール化が進んでいる	△	○	○	◎
低価格	△	○	○	◎

◎: 特に優れている ○: 優れている △: 劣っている

しての低価格・リアルタイム機能・モジュラリティ・耐環境性などの特長を維持して大規模・高性能化したものである。

3.2 複合計算機システムのプロセッサ

次に複合計算機システムのプロセッサとしての観点から大型ミニコンを捉えてみる。

(1) 命令実行速度・メモリ容量

複合計算機システムでは、システム状態管理・共用入出力管理などのシングルシステムにない処理が必要である。たとえば N : 1 予備システムでは、現用プロセッサに故障が発生した場合の予備プロセッサへの切換え時に、システムスケジューラテーブルに従って、

表-5 PFU-1500 のハードウェア性能表

主記憶装置	素子	N-MOS		
	サイクル・タイム	0.2 μ S/2B		
	最大実装容量	2MB		
	エラーチェック方式	ECC		
	メモリ管理	マッピング方式		
演算制御部	制御方式	マイクロプログラム方式		
	データ形式	1, 8, 16, 32, 64 bit		
	アドレス方式	8種		
	命令数	172+31 (オプション)		
	固定小数点	加減算	0.45 μ S	
		乗算	4.0~5.5 μ S	
	浮動小数点	加減算	2.2~3.7 μ S	
		乗算	2.5~3.1 μ S	
割込み	内部	3		
	外部	8		
	特殊外部	1		
入出力制御	方式	共通バス方式		
	転送速度 (最大)	共通バス	2 MB/S	
		DMAバス	7 MB/S	

障害通知・スタンバイ処理・システム入換え・リカバリ処理・切換え完了通知などのタスクが動作する。また、プロセッサ間で機能分担を行うシステムでは、通信回線を制御するプロセッサには大容量のメッセージバッファが必要となり、ファイルを制御するプロセッサには大容量の入出力バッファが要求される。このため、複合計算機システムのプロセッサは高い命令実行速度と大容量メモリが必須である。

(2) 入出力機能・リアルタイム機能

複合計算機システムでは、プロセッサに専用の入出力装置と共用の入出力装置がある。特に共用入出力装置は高信頼化のために多重化される。このためプロセッサは入出力能力、特に DMA 転送速度が大きなのが望まれる。また、複合計算機システムは先に述べたプロセスコントロール等のリアルタイム機能を要求する適用分野で使用されるため、応答時間の短い外部割込み機能などが要求される。

4. 複合計算機システムの具体例

ここでは、大型ミニコンによる複合計算機システム

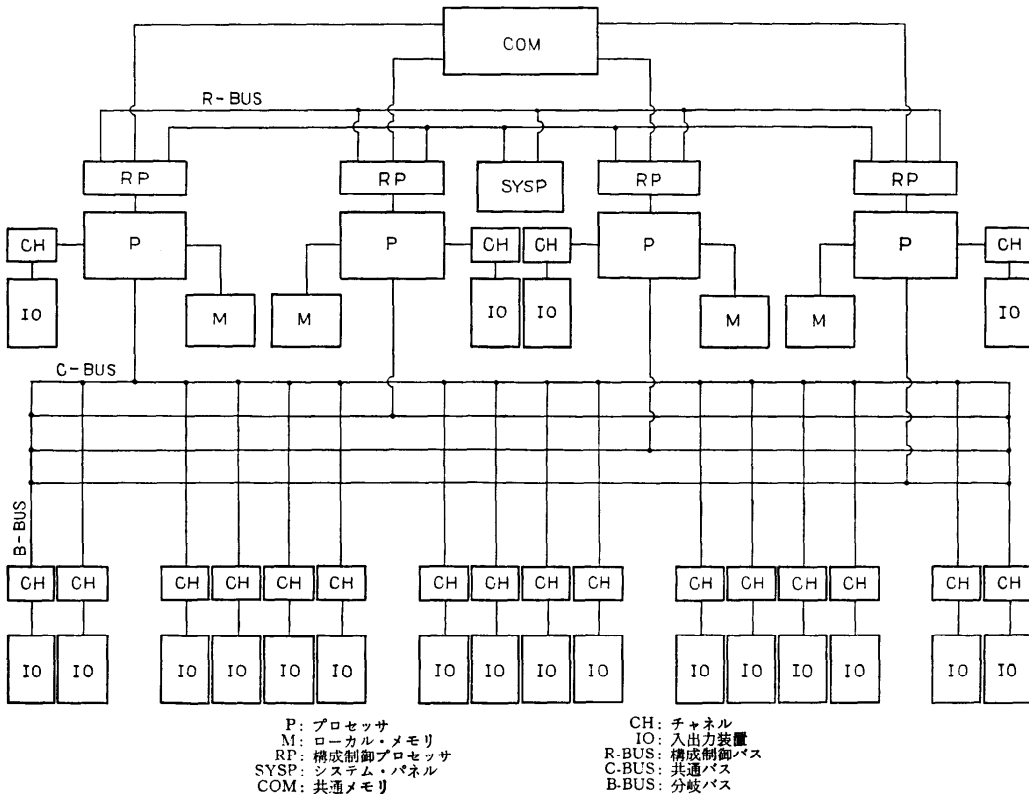


図-4 PF-MAXS のシステム構成図

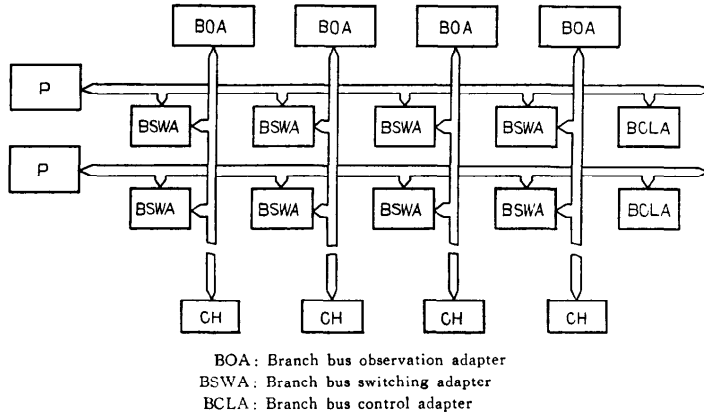


図-5 バスマトリックス部の詳細構成図 (部分)

の具体例として PANAFACOM MATRIX COMPUTER SYSTEM (以下 PF-MAXS と略す) について解説する。

4.1 PF-MAXS のハードウェア

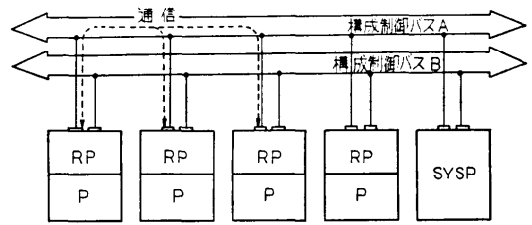
図-4 に PF-MAXS のシステム構成図を示す。最大 4 台のプロセッサ (P) とサービスプロセッサ機能を有するシステムパネル (SYSP) が 2 重化された構成制御バス (R-BUS) で結合される。各プロセッサはローカルメモリ (M) のほかに、共通メモリ (COM) にアクセスする。プロセッサと入出力装置は共通バス (C-BUS) と分岐バス (B-BUS) のバスマトリックスを介して結合される。以下に PF-MAXS の特徴、技術的問題点と対策について述べる。

(1) システム構成の特徴

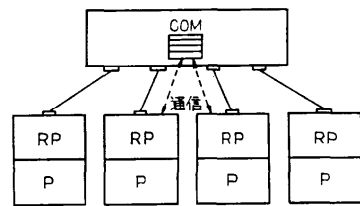
4 本の共通バスと 16 本の分岐バスによるバスマトリックス結合方式である。共通バスと分岐バスのインタフェースは全く同一である。そのため、システム構成の柔軟性が高い。また、バス単位に増設ができ、拡張性が高い。

バスマトリックス部の詳細を 図-5 に示す。バスマトリックスの交点は、バスの監視をするアダプタ (BOA)、バス信号の切換えをするアダプタ (BSWA) 及びバスの制御をするアダプタ (BCLA) から構成される。このバスマトリックス交点の切換えは、ソフトウェアまたはシステムパネルで行われる。

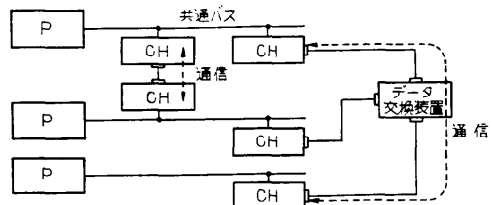
プロセッサ間結合は、 図-6 に示すように構成制御バス、共通メモリ及びチャンネル結合により行われる。構成制御バスは 2 重化されておりシステム構成上必須である。共通メモリとチャンネル結合は、プロセッサ間通信の頻度、データ量、応答時間などの要請によって



a) 構成制御バス結合



b) 共通メモリ結合



c) チャンネル結合

図-6 プロセッサ間結合方式

選択される。

構成制御バスは 1:1 通信, 1: N 通信によりコマンド、データ等のシステム情報の通信に使われる。データ量が多い時は、DMA モードでデータ転送する。共通メモリはプロセッサの命令で直接参照され、障害

によりシステム構成切換えが発生した場合のシステム情報の保存及びファイルアクセスの競合制御等に使われる。チャンネル結合は大量のデータ転送を行う場合に使われる。

(2) 技術的問題点と対策

複合計算機システム実用化の技術的問題点と PF-MAXS で採用した対策について述べる。

—高信頼性—

システムの高信頼化には、設計時に障害要因を除去することと、障害を予測し、各部分に冗長性を持たせることが必要である。特に冗長性についてはアプリケーションシステム設計レベルで多様な構成が可能のように、自由度を大きくすることが重要である。PF-MAXS もこの観点から、プロセッサ4台、分岐バス16台までの自由な構成が可能にした。以下に、個別対策を述べる。

a) 部品数の減少: LSI 化及びファームウェア化により、機能強化と部品数減少を両立させる。

b) 状態監視機能: 各プロセッサに専用の監視マイクロプロセッサを設け、定期診断、自己/相互監視、異常検出、異常詳細情報の通知を行う。

c) 自動修復機能: ECC チェック、自動複写等のソフトウェアの負荷とならない自動修復機能。

d) 分散電源方式: ロジック用電源は、図-7 のように機能モジュールごとに分散され、障害時のモジュール分離を容易にしている。

e) モジュール化: ロジック部は機能別に実装キャビネット、プリント板を分割し、障害の局所化と切分けを明確にしている。

f) 静的冗長構成: 重要なユニットについては、ロジック、電源を2重化している。

—処理能力向上—

バスマトリックス部分の信号遅延、共通メモリ、共用 I/O への競合等の複合化によるオーバヘッドを最少に押えるために次のようにしている。

a) 共通バスのバスマトリックス化により、カスケード信号の遅延増加とスイッチ部のバスリピータとしての遅延が問題となる。カスケード信号(走査信号)の制御には、バスマトリックス部に部分的なバスコントローラを設けている。また、バスリピータとしての遅延は数百 ns に押えている。

b) 共通メモリへは命令語で直接参照でき、そのアドレス空間はローカルメモリの論理セグメントの一部が共通メモリ用に割り付けられる。また、共用 I/O 使用時は、リザーブ/リリースと待行列管理をマイクロプロセッサ間通信で行っている。

—大規模化への対処—

単なるビルディングブロック方式の積み重ねによる大規模化では、操作部、監視部が分散し、省力化が進まない。

a) 運用面から見ると、表示の集中と自動化が必要である。このため、システムパネルを集中し、IPL 時にはシステム構成(どの電源を投入するか、どのバスを接続するかなど)をマイクロプロセッサが自動制御する。

b) バスマトリックス部の物理インタフェースをコンパクトにするために、論理回路の高密度化、多層バックパネルの採用を行う。

c) 保守面から見ると、表示の集中と共に、各ユニット上での1対1表示が障害切分け上大切である。また、運用中にも保守、点検及び増設が可能であること。

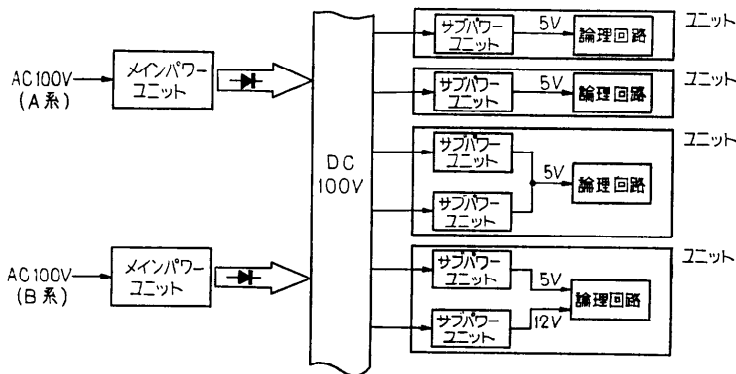


図-7 分散電源方式概念図

d) その他、システム内の電源ユニットが増加して電源制御系が複雑になり、突入電流低減のためにも精密なシーケンス制御が必要になる。このため、マイクロプロセッサとファームウェアによる電源制御方式をとっている。

4.2 PF-MAXS のソフトウェア

PF-MAXS のソフトウェアは、PF-U シリーズのベーシックソフトウェア OS/U の下で動作するモジュールで、MAXS と呼ばれる。OS/U と MAXS 及びアプリケーションプログラムの関係を 図-8 に示す。MAXS は 図-9 に示すような体系である。MAXS は定常時にはオンライン診断と運用サービスルーチンが動作する。また、障害発生時には、プロセッサ間の障害通知・予備プロセッサへの切換えなどを自動的に行う。

(1) システム状態管理

MAXS の運用中に、障害あるいは復旧などの状態遷移が発生した時に起動される。表-6 にシステム状態管理の各機能をまとめた。これらの機能は 図-10 に示すようなシステム状態の遷移に従って動作する。

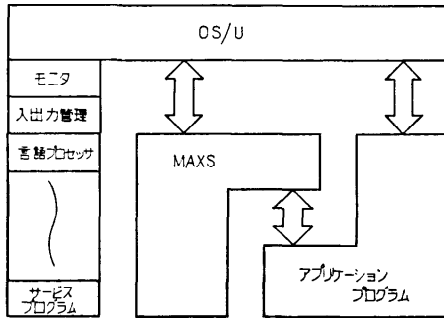


図-8 MAXS と OS, アプリケーションの関係

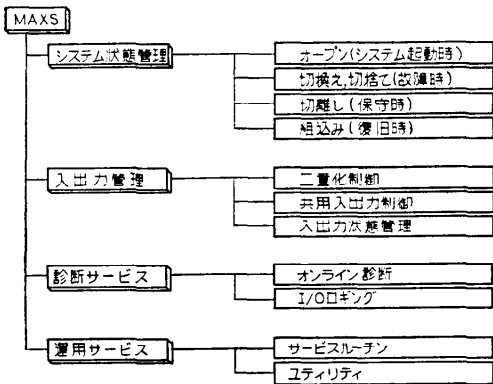


図-9 MAXS の体系

表-6 システム状態管理の機能

項	機能	概要
1	オープン処理	システムの起動 (IPL) が完了すると自動的に行われ、MAXS で使用する装置のオープンや各プロセッサの同期をとる。
2	切換え処理	障害発生時に予備プロセッサあるいは優先度の最も低いプロセッサの処理を中止して、障害プロセッサのシステムを引継ぐ。
3	切捨て処理	予備プロセッサまたは一番優先度の低いプロセッサに障害が発生した場合に、MAXS から切離される処理。
4	切離し処理	優先度の高いシステム (プロセッサ) を強制的に MAXS から切離す処理。
5	組込み処理	障害などで、MAXS から切離されたプロセッサが復旧したときに MAXS に組込む処理。

表-7 入出力管理の機能

項	機能	概要
1	入出力装置の二重化制御	入出力装置の障害がシステム・ダウンに波及しないように、予備の入出力装置を割当て、主系で障害が発生すると従系に切換える。
2	共用入出力装置の制御	分岐バスの入出力装置をどのプロセッサからも使用できるように制御する。また、プロセッサからの入出力装置の使用要求が競合した場合の管理をする。これによってアプリケーションは、専用入出力装置と共用入出力装置の区別を意識しなくて良い。
3	入出力装置の状態管理	入出力装置の状態が障害、保守、復旧により変化した時の管理をする。

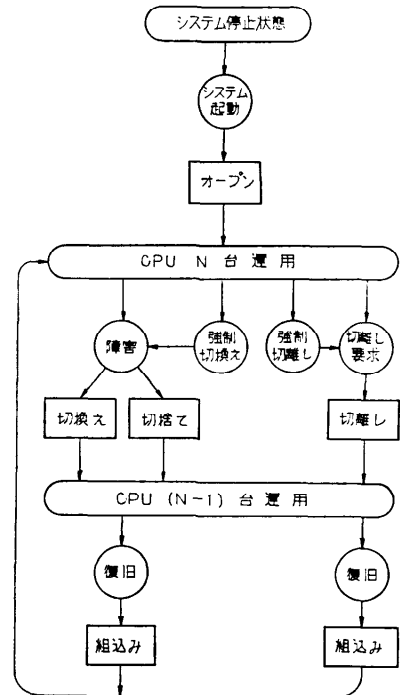


図-10 システム状態の遷移

表-8 診断サービス/運用サービスの機能

項	機能	概要
1	オンライン診断	構成制御プロセッサ (RP) がプロセッサ (P) に定期刻に割り込み、基本命令診断、応答時間、応答内容を監視する。システム・ボリュームの定期読み込みテストをする。
2	入出力装置のロギング	入出力装置の状態をロギングしておくことにより、障害時の現象把握、原因究明の手がかりとし、修復時間を短縮する。
3	サービслールーチン	プロセッサ間の情報交換、複数プロセッサのメッセージ一括処理、システム状態の獲得、タスクの強制終了、分岐バスの接続/切離しなど。
4	ユーティリティ	オペレータ操作の援助機能、テーブル類のリスト、ファイルの作成・照合、共通メモリのコピー・ダンプなど。

(2) 入出力管理

分岐バスの入出力装置を2重化して使用したり、複数のプロセッサが同一の分岐バスを共用する場合の管理を行う。表-7 に入出力管理の各機能をまとめた。

(3) 診断サービス/運用サービス

信頼性の向上と障害修復時間の短縮のために、種々の診断サービスを行う。また、アプリケーションプログラム開発を援助するサービслールーチン、ユーティリティがある。表-8 にこれらの各機能をまとめた。

5. 応用事例

複合計算機システムはすでに広い分野で使用されている。組立・加工工場におけるファクトリオートメーションのために、NC 工作機械、ロボット、搬送機械などのサブシステムと組み合わせて、工場全体を総合的に管理するシステム。装置工業におけるプロセスオートメーションとして、デジタル計装の進展に伴う計装のインテリジェント化に対応して、プロセス制御コンピュータによる高度で精密な制御を目標としたシステム。データ集配信、交換回線制御、オンラインネットワーク等の通信制御システム。また、一般社会での交通、環境の監視・制御を行う公共システムなどである。

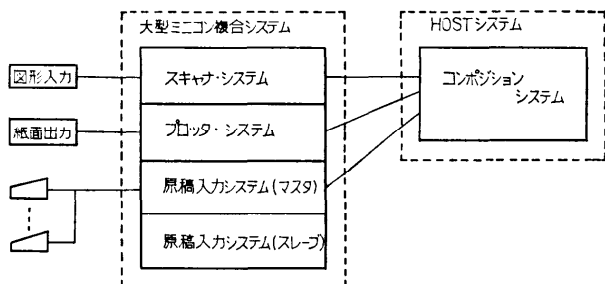


図-11 新聞製作システム全体構成図

表-9 プロセッサ障害によるシステム遷移の例

プロセッサ	運用	正常運用	→ P0に障害	→ P2に障害	→ P1に障害
プロセッサ P0		A	☀		
プロセッサ P1		a → A	A	A	☀
プロセッサ P2		B	B	☀	
プロセッサ P3		C	C → B	B → A	A

A: 原稿入力システム(マス9)
 a: 原稿入力システム(スレプ)
 B: スキヤナシステム
 C: プロッタシステム

業務の優先度
 A > B > C > a

これらのシステムの共通点は、処理の停止、データの損失が許されないことであろう。ここでは、一例として新聞社のコンピュータによる新聞製作システムへの応用事例を紹介する。図-11 に新聞製作システム全体の構成を示す。図-12 に大型ミニコンによる複合計算機システム部分の構成図を示す。このシステムは従来の鉛活字を使った Hot Type System と対比して Cold Type System (CTS) と呼ばれている。

(1) システムの概要

CTS のフロントエンドシステムとして次のような点を目標に開発された。

- a) トータルダウンをおこさないこと。
- b) 高処理能力でシステム寿命が長いこと。
- c) 開発期間が短いこと。
- d) 漢字処理のマンマシンコミュニケーションが円滑なこと。
- e) 価格が低廉であること。

これらの目標を実現するために次のような理由から大型ミニコンによる複合計算機システムを採用した。

- a) 新聞業務に特有な漢字機器を制御するために、ミニコンシステムとする。
- b) 新聞紙面1面のデータ量は数MBになるため、大型ミニコンと大容量ファイルを使用する。

c) サブシステムごとの分担開発ができること、また、機能分散と危険分散を行うために、複合計算機システムとする。

(2) 運用

漢字入力キーボードから入力された原稿と、スキヤナにより入力された写真・カットなどがレイアウトディスプレイで整理されてプロッタ (全頁写植機) によって製版用フィルムに出力される。紙面全体のコンポジションは HOST システムが行う。

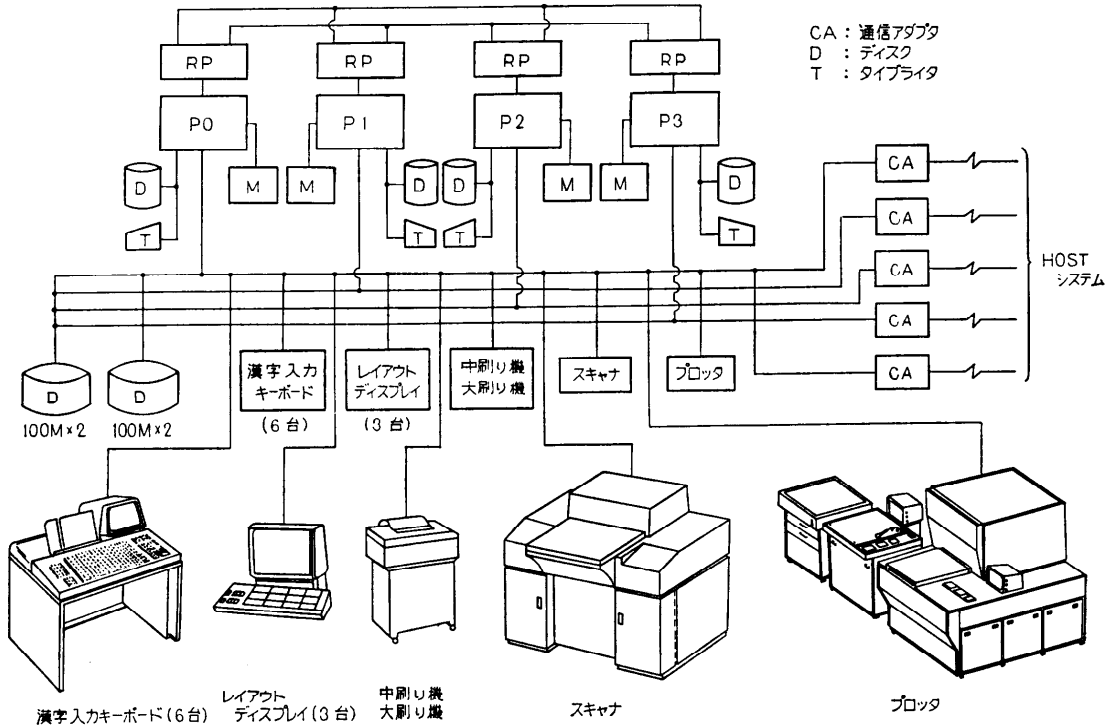


図-12 CTS の大型ミニコンによる複合計算機システムの部分の構成図

表-9 に 4 台のプロセッサに割り当てられた業務が、プロセッサの障害により遷移する様子を示した。この例では、P0 と P1 がマスタスレーブの関係のデュアルシステムとして動作し、全体としては P0, P2, P3 に対して P1 が共通予備プロセッサとして N:1 予備システムを構成している。

6. む す び

以上、大型ミニコンによる複合計算機システムにつ

いて簡単に解説した。特殊用途に用いられてきた複合計算機システムが、ミニコンの汎用製品としての地位を築きつつある。この傾向はハードウェアのコスト低下に伴い、ますます強まるだろう。

今後は複合化に適したアーキテクチャを持つプロセッサと入出力装置の開発及び複合計算機システム向けのソフトウェア主導型のシステムへの発展が予想される。

(昭和 56 年 10 月 1 日受付)