

超大形プロセッサグループ “HITAC M-880”の論理方式技術

Logic Structure of HITACHI M-880 Processor Group

HITAC M-880プロセッサグループ(以下、M-880と略す。)は、1990年代のシステムニーズにこたえて、新たに開発した最新鋭のプロセッサグループである。

最新の半導体・実装技術、論理方式技術、高信頼化技術、新アーキテクチャおよびこれらをサポートするソフトウェアと高性能周辺装置、ハードウェア技術、生産技術の開発によって上記の要求にこたえたものである。

本稿は、M-880の開発思想、システム構成、M/ASA(M series Advanced System Architecture)、論理方式技術および高信頼化技術の特長について述べる。

安部秀一* Shūichi Abe
小川哲二* Tetsuji Ogawa
新谷洋一** Yōichi Shintani
木下俊之*** Toshiyuki Kinoshita

1 緒 言

情報システムはネットワークの高性能化・高機能化、パーソナルコンピュータ、ワークステーションの普及によってシステムの分散化と統合化が進み、また処理されるデータも重要な戦略情報として統合管理され、異機種システム間の結合の必要性も増大している。したがって、このような情報システムの中核となる大形プロセッサが担うべき役割も変化しており、処理能力の向上はもちろん、アーキテクチャをも含めたシステムの拡張性、システム規模に応じた構成の柔軟性、運用の容易性およびシステムの中核としての高い信頼性がより求められている。

HITAC M-880プロセッサグループ(以下、M-880と略す。)は、これらの要求にこたえるためマルチプロセッサ技術と、M/ASA(M Series Advanced System Architecture)を基盤として新たに開発した大形プロセッサグループである。

最新のハードウェア技術、論理方式技術および新しいアーキテクチャの開発と、これをサポートするソフトウェア、高性能周辺装置などによって多様化する要求にこたえ、またハードウェア技術、生産技術、RAS(Reliability, Availability, Serviceability)機能の強化により、高信頼性の要求にもこたえようとするものである。

M-880モデル420の外観を図1に示す。

2 開発の概要

(1) M-880の位置づけ



図1 M-880モデル420の外観 中央に位置するのがM-880モデル420である。

M-880はHITAC Mシリーズ(以下、Mシリーズと略す。)の最上位機種であり、汎(はん)用プロセッサとして世界のトップクラスに位置づけることができる。

M-880は、エントリモデル2ウェイプロセッサから最上位モデル4ウェイプロセッサまで、すべてマルチプロセッサで構成しており、M-880/210、M-880/310、M-880/220およびM-880/420の4モデルから成る。M-880/210はHITAC M-

* 日立製作所 神奈川工場 ** 日立製作所 中央研究所 *** 日立製作所 システム開発研究所

680H(以下、M-680Hと略す。)と比較して約3倍の処理能力を、M-880/420はM-880/210の約1.8倍の処理能力を持つ。

またM/ASAおよび本アーキテクチャをサポートする新オペレーティングシステムVOS3/AS(Virtual-storage Operating System3/Advanced System Product)によって広大なデータ空間をサポート、広域、複合化時代のトータルマネジメントサーバとして大きな役割を果たすことができると考えている。

(2) 高速プロセッサ

マシンサイクルの高速化、パイプライン制御方式、3階層記憶制御方式、マルチプロセッサ制御方式の強化のほか、データベース処理高速化のための内蔵データベースプロセッサの機能強化、大容量データの高速処理を可能とする拡張記憶装置、最大18 Mバイト/sの高速転送が可能な高速光チャネルによって高速プロセッサを実現した。

(3) 最新のハードウェア技術

論理回路に1万2,000ゲート/チップの超高速LSIを使用し、これらを搭載する高密度モジュールの冷却を効率よく行うため、新たに水冷方式を開発するなど最新のハードウェア技術を使用した。

(4) システム機能の拡張

新アーキテクチャM/ASAを開発した。本アーキテクチャは、従来の拡張アドレッシング、拡張チャネルシステムおよび今回開発した拡張アドレス空間から成る。また設置場所でのM880/210、M880/220から上位モデルへの移行、主記憶容量チャネル数の増設など段階的なシステムの拡張を可能とした。

(5) 高信頼性

高信頼ハードウェア技術、RAS機能の強化、遠隔保守サービス機能の強化により、システムの信頼性を高めた。

(6) 設備条件

水冷用の冷却装置として下記3タイプを用意し、現有設備や環境に応じ容易に導入できるよう選択可能とした。

(a) 空冷チラータイプ

コンピュータ室の床下冷気により、循環水を冷却する。

(b) 水冷チラータイプ

コンピュータ室の空調などに使用する冷却水により、循環水を冷却する。

(c) 冷水タイプ

大形冷凍機などで作られた冷水により、循環水を冷却する。

(7) ソフトウェアサポート

サポートオペレーティングシステムは、VOS3/ASおよびVMS/AS(Virtual Machin System/Advanced System Product)である。VOS3/ASは従来のVOS3システムの機能を包含し、新アーキテクチャM/ASAを取り入れ広大なデータ空間をサポートする。また仮想計算機システムは、VMS/ASによってサポートされる。

3 基本仕様

3.1 システム構成

M-880/420の最大システム構成例を図2に示す。M-880は、IP(Instruction Processor：命令プロセッサ)、SC(System Control：システム制御装置)、MS(Main Storage：主記憶装置)、ES(Expanded Storage：拡張記憶装置)、IOP(Input/Output Processor：入出力プロセッサ)、SVP(Service Processor：サービスプロセッサ)と、MCD(Main-Console：主コンソール)/SCD(Sub-Console：副コンソール)で構成される処理装置複合体である。

IPは、高速BS(Buffer Storage：バッファ記憶)を内蔵し高速にプログラムの実行を行う。プログラムの実行に必要な命令語やデータは、通常IP内のBSに格納され使用される。MSは4 Mビットの大容量MOSメモリを使用し、最大2 Gバイトまで実装可能である。ESもMSと同様4 MビットのMOSメモリを使用し、最大8 Gバイトまで実装可能である。

SCは高速・大容量のWS(Work Storage：ワーク記憶)を内蔵し、MSとIP間、MSとIOP間およびMSとES間のデータ転送を制御し、また、各処理装置間の通信機能を持つ。

IOPは入出力装置とMS間のデータ転送を制御する装置であり、入出力装置をMシリーズの標準入出力インタフェースあるいは高速光インタフェースで接続する。最大4台のIOPが接続可能であり、最大256チャネルまで接続できる。

SVPはM-880全体の監視および制御を行う。SVPはイニシャルプログラムロードなどのシステム操作の制御や、オペレータとコンピュータの通信手段であるオペレータコンソールのサポート、遠隔保守サービスの支援などをコンソールを介して行う。

3.2 新アーキテクチャ

Mシリーズの新アーキテクチャを図3に示す。

アーキテクチャの面では、拡張アドレッシング、拡張チャネルシステムから成るMシリーズ拡張アーキテクチャ(以下、M/EXと略す。)に新たにデータ専用の仮想空間を最大16 T(兆)バイトまで拡張する拡張アドレス空間を追加したM/ASAを標準とした。M/ASAはM/EXを包含し、さらに発展させ大容量データ処理の高速化、高効率化を可能とする先進的なアーキテクチャである。

拡張アドレス空間は、入出力操作をすることなく命令語によって直接参照できるデータ専用の空間を、最大8,192空間(計16 Tバイト)まで拡張可能であり、大容量のデータをプログラムから直接扱えるとともに、データとプログラムを分離し別空間で処理できるのでデータの保全性を向上できる。

3.3 概略仕様一覧

M-880の概略仕様一覧を表1に示す。



図2 M-880/420のシステム構成 M-880/420は4台のIP(命令プロセッサ)、4台のIOP(入出力プロセッサ)、最大2 GバイトのMS(主記憶装置)、最大8 GバイトのES(拡張記憶装置)、256台のチャンネルなどで構成できる。

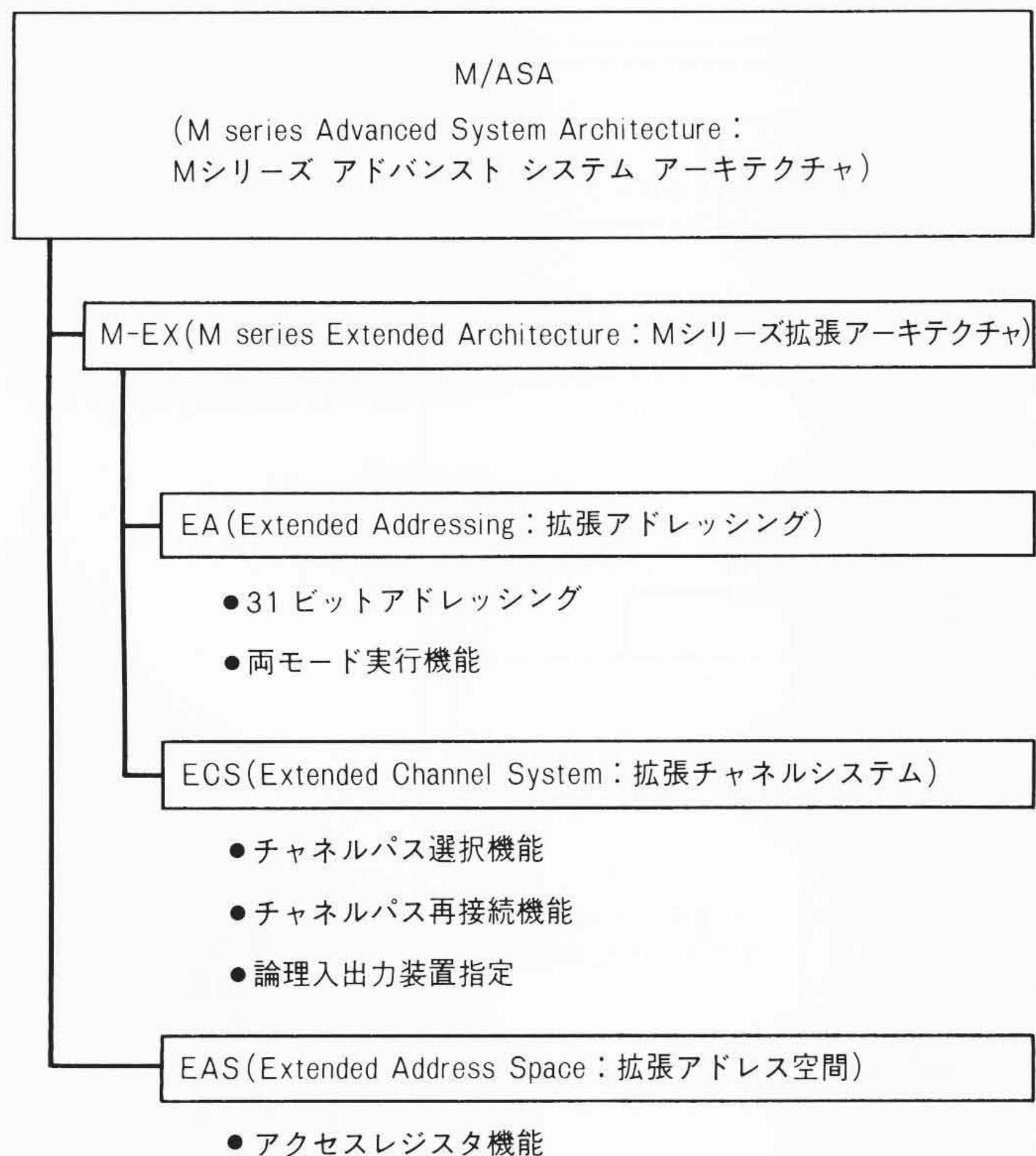


図3 Mシリーズ新アーキテクチャ 新たに拡張アドレス空間をサポートする。

4 論理構造

4.1 命令プロセッサ

(1) 論理構造の特長

論理方式面での特長は、次に記すとおりである。

- (a) 半導体、実装技術と適合性のよい論理方式をくふうし、大幅なマシンサイクルの短縮を行った。
- (b) 分岐命令の高速化のための3ストリーム分岐制御、分岐先連想記憶の採用などにより、パイプライン制御を強化した。
- (c) 制御目的、アクセス速度に応じた高速・低速の2種類の制御記憶、および演算の種類に応じた専用演算器を最適分散配置し、高効率分散制御方式を実現した。
- (d) M/ASAのデータ空間をサポートする、アドレッシング機構であるアクセスレジスタ機能を実現した。

M-880命令プロセッサの論理構造概略ブロック図を図4に示す。

(2) 命令制御ユニット

命令の読出し、実行の準備を行う。分岐命令のアドレスと分岐先アドレスを対とする履歴情報を分岐先連想記憶に持ち、分岐命令の読出し時に分岐先命令の先行読出しを行うことに

表 1 M-880の概略仕様 M-880は、命令処理速度の向上、主記憶、チャネル、拡張記憶などのシステム構成の拡張がされている。

No.	項 目		仕 様						
			M-880				M-680H		
			210	310	220	420			
1	命令処理速度		M-680Hの約 3 倍	モデル210の約1.4倍	モデル210と同等	モデル210の約1.8倍	1		
2	命令プロセッサ台数		2	3	2	4	1		
3	システム制御装置台数		1		2		1		
4	主記憶容量		128～2,048 Mバイト		256～2,048 Mバイト		32～1,024 Mバイト		
5	ワーク記憶容量		4 Mバイト/システム制御装置				1 Mバイト		
6	バッファ記憶容量		256 kバイト/命令プロセッサ				256 kバイト		
7	入出力プロセッサ台数		タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	1 ～ 2
			1	2	2	2	4	4	
8	チャネル台数	メタル	16-32	32-64	16-32	32-64	64-128	32- 64	0-64
		光・高速光	0-32	0-64	16-96	0-64	0-128	32-192	0-64
		合 計	64	128	128	128	256	256	64
9	拡張記憶		付加機構			付加機構			付加機構
		容 量	256～4,096 Mバイト			256～8,192 Mバイト			主記憶分割
10	内蔵データベースプロセッサ		付加機構*				付加機構		
11	プロセッサ資源分割機構 (最大分割数)		付加機構 (7)			付加機構 (14)			付加機構 (7)
12	冷却方式		水冷・強制空冷				強制空冷		
13	サポートソフトウェア		VOS3/AS(M/ASAサポートOS) VMS/AS						

注：＊ M-680Hに比べ機能が強化されている。
略語説明 VOS3/AS(Virtual-storage Operating System 3/Advanced System Product)
VMS/AS(Virtual Machin System/AS)

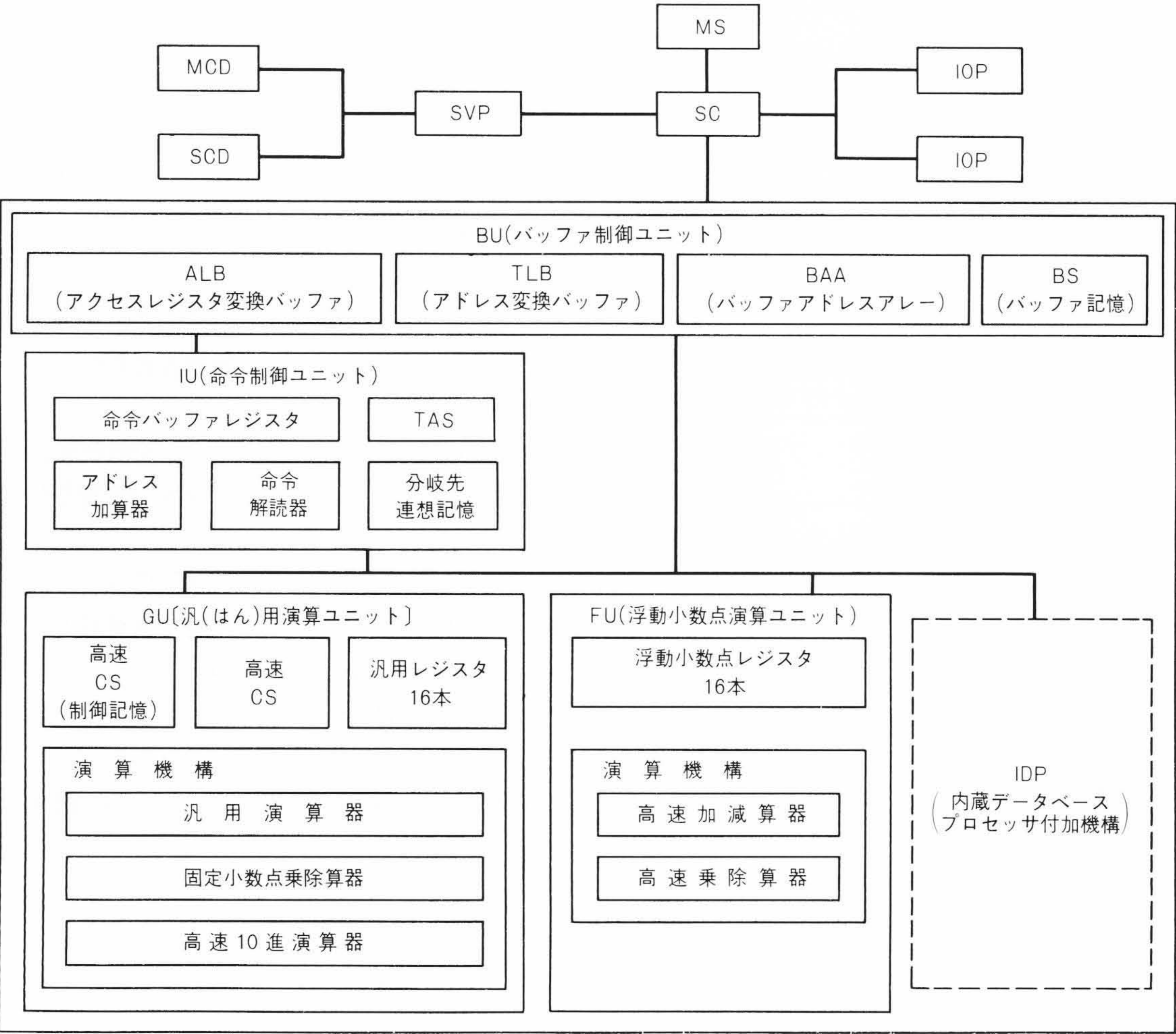


図 4 M-880命令プロセッサの構成 IPは、BU (バッファ制御ユニット)、IU(命令制御ユニット)、GU (汎用演算ユニット)、FU (浮動小数点演算ユニット) および付加機構であるIDP (内蔵データベースプロセッサ)から構成される。

より、分岐命令の高速化およびパイプライン処理の強化を行った。

(3) 演算ユニット

演算アルゴリズムに応じ、おのおの最適な演算器を設置した。

また制御記憶として高速・低速の2種類を設け、制御対象に応じて使い分けることによって容量・性能面で最適化し、また将来の拡張性を持たせた。

(4) バッファ制御ユニット

256 kバイトの高速バッファ記憶および従来のアドレス変換機構のほか、データ空間のアクセスを可能とするアクセスレジスタ機能、および本機能高速化のためのALB(Access register translation Lookaside Buffer: アクセスレジスタ変換バッファ)を持つ。アクセスレジスタ機能の概要を図5に示す。

アクセスレジスタ機能は、アクセスレジスタと呼ぶ16個のレジスタとアクセスレジスタ変換機構から成る。アクセスレジスタを命令語のベース番号部で指定することにより、アクセスレジスタおよびアクセスレジスタ変換機構により、任意のデータ空間(最大8,192)の参照を可能とした。

4.2 システム制御装置

M-880では、M-68Xで導入した3階層記憶を改良強化するとともに、マルチプロセッサの性能向上のためシステム制御装置の制御方式を改良した。

(1) 3階層記憶

M-180から始まるMシリーズの大形機は、M-280まではMS

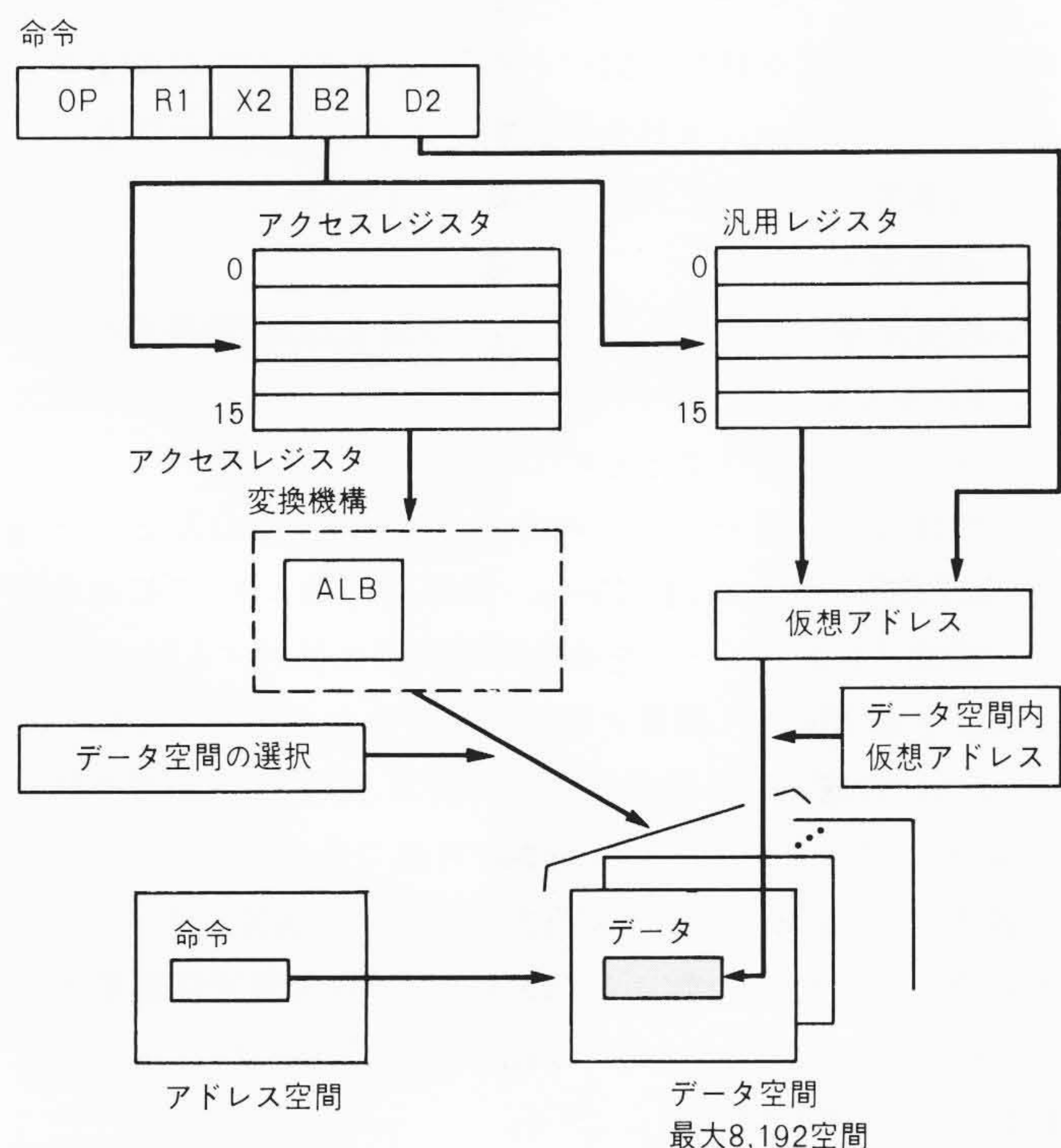


図5 アクセスレジスタ機能 アクセスレジスタおよびアクセスレジスタ変換機能により、任意のデータ空間の参照を可能としている。

とBSから成る2階層記憶構成であり、システム性能の向上要求に対しては、MS、BSの容量を拡大することで対応してきた。しかし、高速のBSは容量を拡大するという面では限界があり、オンライントランザクション処理などの大容量データ処理では、BSに必要なデータがない確率が高い。M-68XとM-880では、高速・大容量データ転送機能強化のため、MS前段に高速・大容量のWSをおき、記憶装置をBS、WS、MSの3階層で構成することにより、MSの実効的な読出し時間を大幅に短縮してきた。

M-880の3階層記憶は、図6に示すように記憶容量の面では、M-68Xと比較して、BSは同等、WSは4倍、MSは2倍に強化した。また、同時に3階層記憶の制御方式の改良も行うことにより、M-880のシステム性能を、2階層記憶を採用したと仮定した場合に比べ約30%向上させた。

M-880のWSには、次の特長がある。

- (a) 512 kビットの高速論理内蔵メモリで構成
- (b) 16バンク構成と各バンクの並列動作
- (c) 多重リクエストの同時処理

M-880では、前記技術によってWSの性能を強化し、SCに最大数のIP、チャンネルが接続される構成でも、おのおのの装置からのメモリ参照要求を処理するのに十分な能力を持たせた。

(2) マルチプロセッサ

M-880では、マルチプロセッサ機能の強化のため、下記の改良を行い高速化した。

(a) ロック競合の低減

IPが主記憶上の共有領域の参照を行うときは、まず、その領域をロックして他のIPからの参照を禁止し、その後に参照、更新を行い、その完了後にロックを解除して他の命令プロセッサからの参照を許可する。このロックは、CS、CDS(Compare and Swap)、TS(Test and Set)などの命令を使用して行う。

このロック競合から生じる待ち時間を短縮するために、ロック命令(CS、CDS、TS)の高速化を行った。

また、ロックの単位もM-68Xの256バイトに対して32バイトとし、むだなロック競合を減少させた。

(b) 主記憶リクエスト競合の低減

IP、SCでの主記憶リクエスト競合は、リクエスト送出元、

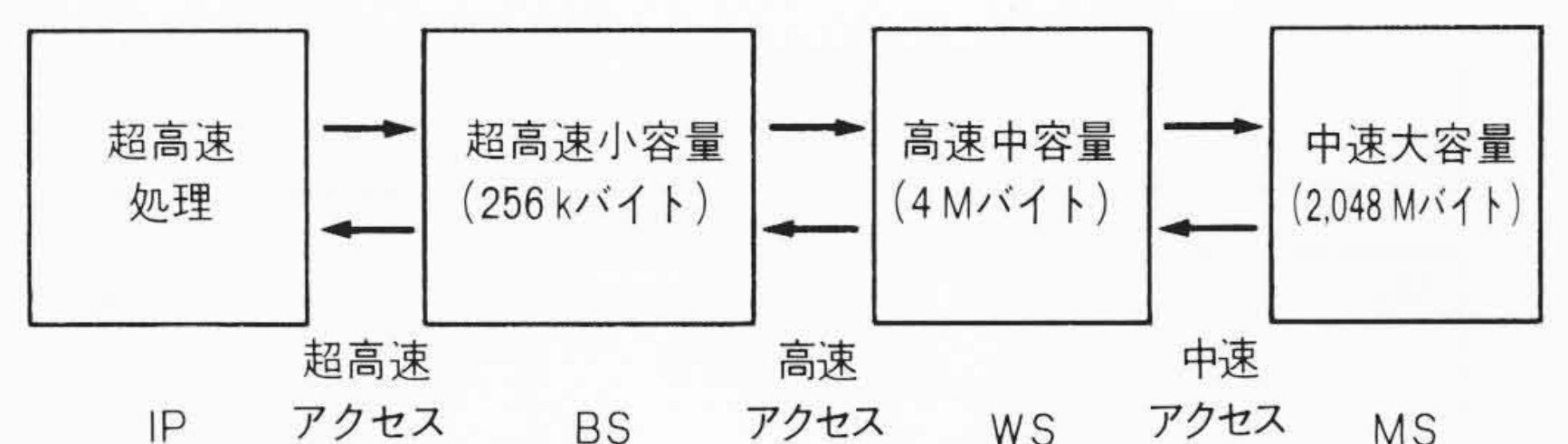


図6 3階層記憶 M-880のシステム性能を最大に引き出すように、BS-WS-MSの性能と容量を設定した。

すなわちIPの数が多くなるほど激しくなる。

M-880では、SCで同時に3リクエストの受付を可能とした。さらに、WSへの部分書込みやMSからWSへのデータ転送を高速化するなどして、WSのビジー時間を短縮し、WSでのリクエスト競合を低減している。

(c) 複数BS間の内容一致制御、複数WS間の内容一致制御

BSは、MS上のデータの中で使用頻度の高いものの写しを格納しておくための記憶装置である。したがって、図7に示すように、同時に複数のBSに同じMSデータの写しが存在することがあり得る(図7のデータA)。これらの複数の写しの一致制御は次のように行う。

(a) IP0がBS内のデータAをデータBに書き替える。

このとき、時間的なずれはあるが、WS内のデータAもデータBに書き替えられる。

(b) SC内のディレクトリFを検索し、データAがIP0のほかにはIP1のBSにもあることを知る。

(c) IP1のBSのデータAを無効化する。これ以降、IP1がデータAを読もうとすると、BS上にデータが存在しないためWSを参照に行って正しいデータBを得ることができる。

ここで、BSの内容一致制御高速化のために導入したのは、ディレクトリFである。ディレクトリFを検索すれば、あるデータがどのIPのBSにあるかがわかるので、各IPのBSを検索してデータの有無を判定する時間が省けるほかに、この検索のために各IPのBS参照が待たされることがないので、IPのBS参照時間短縮にも効果がある。

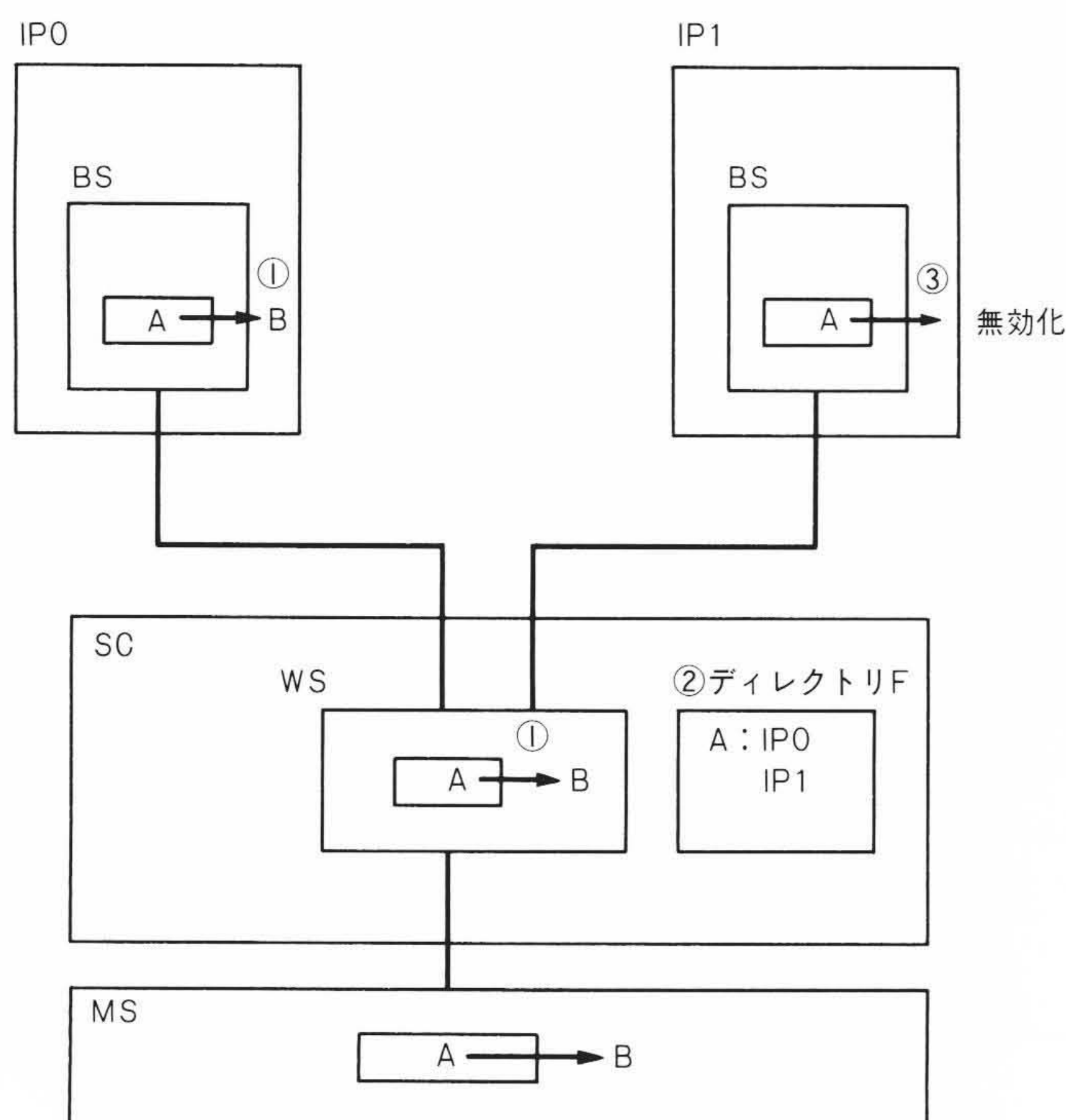


図7 複数BS～WS間の一致制御 一致制御アルゴリズムの改善、二つのWS間のデータ転送の高速化を行っている。

WSもSCごとに存在するので、2SCから成るマルチプロセッサシステムでは、2WS間の一致制御を行う。この一致制御については、M-68Xに比べて一致制御のアルゴリズムの改善、二つのWS間のデータ転送の高速化などを実施して、制御の高速化を図った。

4.3 IOP(I/O Processor：入出力プロセッサ)

M-880のIOPは最大4台でECS(拡張チャネルシステム)を構成する。個々のIOPは図8に示すように、2階層の論理構造を持つ。チャネル部に超高集積・高速のCMOS-VLSIを採用して、従来のM-684プロセッサに比べチャネル当たりのスループット強化とシステム全体のチャネル数拡張を行い、同プロセッサ比で約4倍のシステム総合スループットを達成した。

(1) CHP(CH Processor：チャネル処理部)

CHPは、専用のマイクロプロセッサで64チャネルを時分割に制御し、ECSの特徴的機能である、入出力装置を起動するチャネルパスの動的選択と起動の待ち行列処理、入出力装置からの動的再結合や入出力割込みのフローティング化、などを処理する。

(2) CH(Channel：チャネル部)

8万ゲートのCMOS-VLSIをCHに適用し、マイクロプロセッサ、データバッファ、コマンド実行部といった主要論理を1チップ化、また、Mシリーズ標準入出力インタフェースを接続する従来形のCH(メタルチャネル)に加えて、今回新たに光ファイバケーブルインタフェースをサポートする光専用チャネル(高速光チャネル)を開発し、IOP全体の小型化を図っている。

ひとつひとつのチャネルの性能は、標準インタフェースのデータ転送速度を最高9Mバイト/s(従来比1.5倍)に向上させるなどで、キャッシュ付き磁気ディスクや磁気テープといった周辺装置の高速化に対応できるようにした。

(3) 高速光チャネル

高速光チャネルは、システム当たり最大192台実装可能であり、M-6XXシリーズで初めて導入した光チャネルサブシステムを一段と発展させるものである。

高性能光送受信モジュールで光ファイバ上200Mビット/s(NRZ：Non-Return to Zero, 従来比で約3倍)の転送を行う。標準インタフェースを介し周辺装置を接続するH-6332リモート光チャネル装置と組み合わせたとき、最大9Mバイト/s、H-6912-5形半導体記憶制御装置と光ファイバで直結した場合18Mバイト/sの高速転送が可能である。

装置間を結ぶ光ファイバケーブルはM-6XXシリーズ品との互換を持たせた。光ファイバケーブル長も従来同様最大2km(磁気ディスク装置などは1km以下に制限される。)である。

4.4 ES(拡張記憶)

M-68XからESを装備可能としているが、M-68Xでは、MSの一部をESとして使用する方式であった。M-880では、ESを

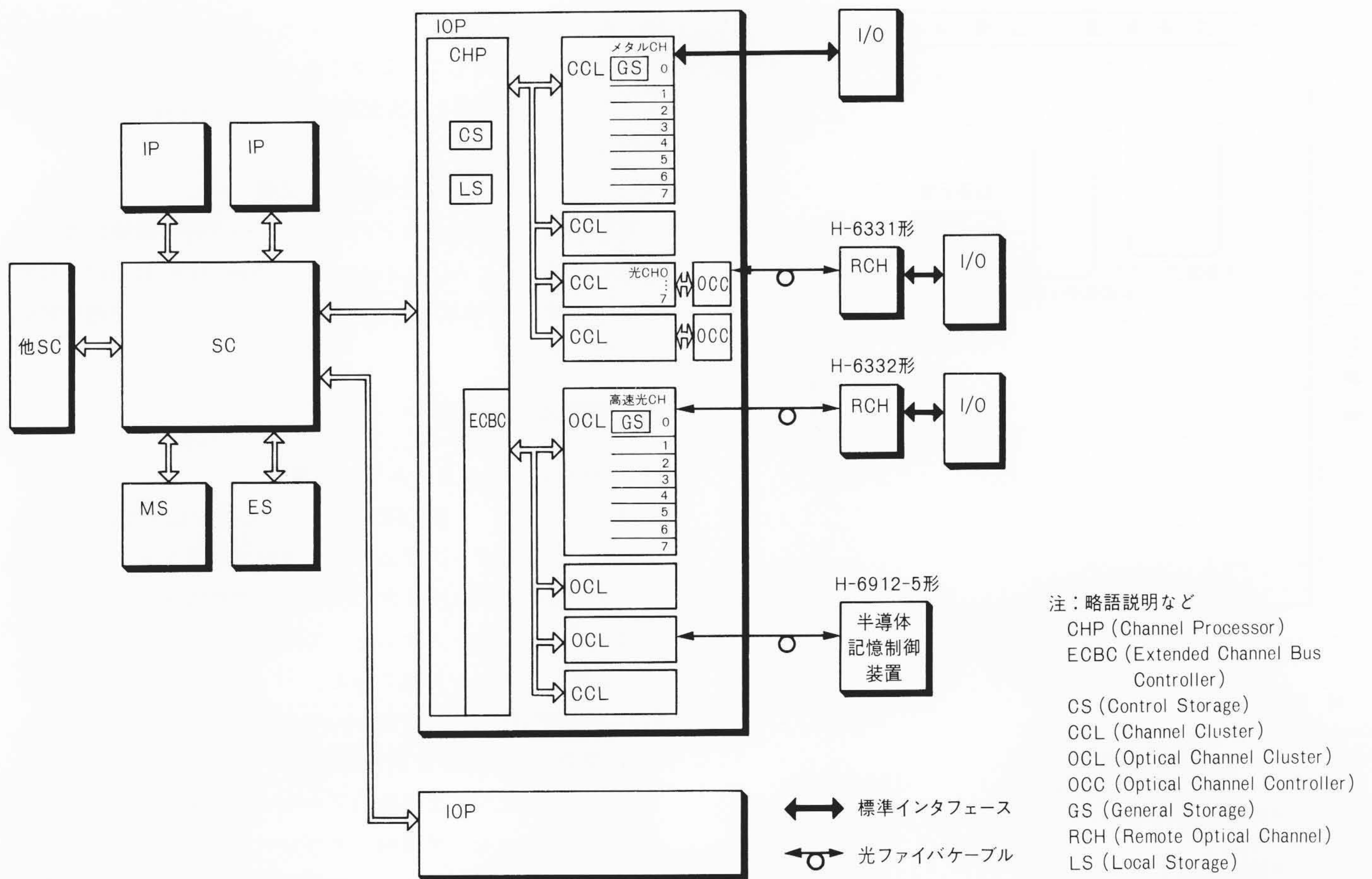


図8 入出力プロセッサの構成 入出力プロセッサの構成は、チャンネル部(CCL/OCL)に8万ゲートCMOS-VLSIを用い、64チャンネルをコンパクトに実装した2階層論理構成のIOPである。

装置として独立させ、最大容量を8 Gバイトとし、かつ大幅な性能改善を行った。

ESは、ページング、スワッピング用の補助記憶装置として、また順編成ファイル格納用のファイル装置として使用し、ディスク装置から入出力するのに比べて、回転待ちがないこととデータ転送速度がほぼ二けた速いことにより、入出力時間を大幅に短縮することができる。

M-880のESの位置づけおよび特長は図9に示すとおりであり、ESの使用効率とシステム性能の向上を図っている。

5 高信頼化技術

5.1 開発目標

M-880の開発目標とその達成手段は、下記のとおりである。

(1) 故障しにくいシステム

使用部品の信頼度の向上と部品点数の削減を行う。

(2) 故障に耐えられるシステム

自動回復と障害の局所化および自動再構成機能の強化を行う。

(3) 迅速に修復できるシステム

障害発生時のハードウェア状況を自動的に採取、解析し、障害状況および回復手順を表示し、オペレータの回復処置を

支援する。また、サービスプロセッサによる自動診断機能により、故障箇所を指摘し、保守員による修復を支援する。

(4) 遠隔保守サービスの強化

遠隔保守機能による予防保守情報の収集や障害の自動通報を行う。

この中で、M-880で従来機種から特に強化した(2)のRAS機能と、(4)の遠隔保守について以下に述べる。

5.2 RAS機能

マルチプロセッサと冷却装置のRAS機能が新規のものであり、特に強化した項目は下記である。

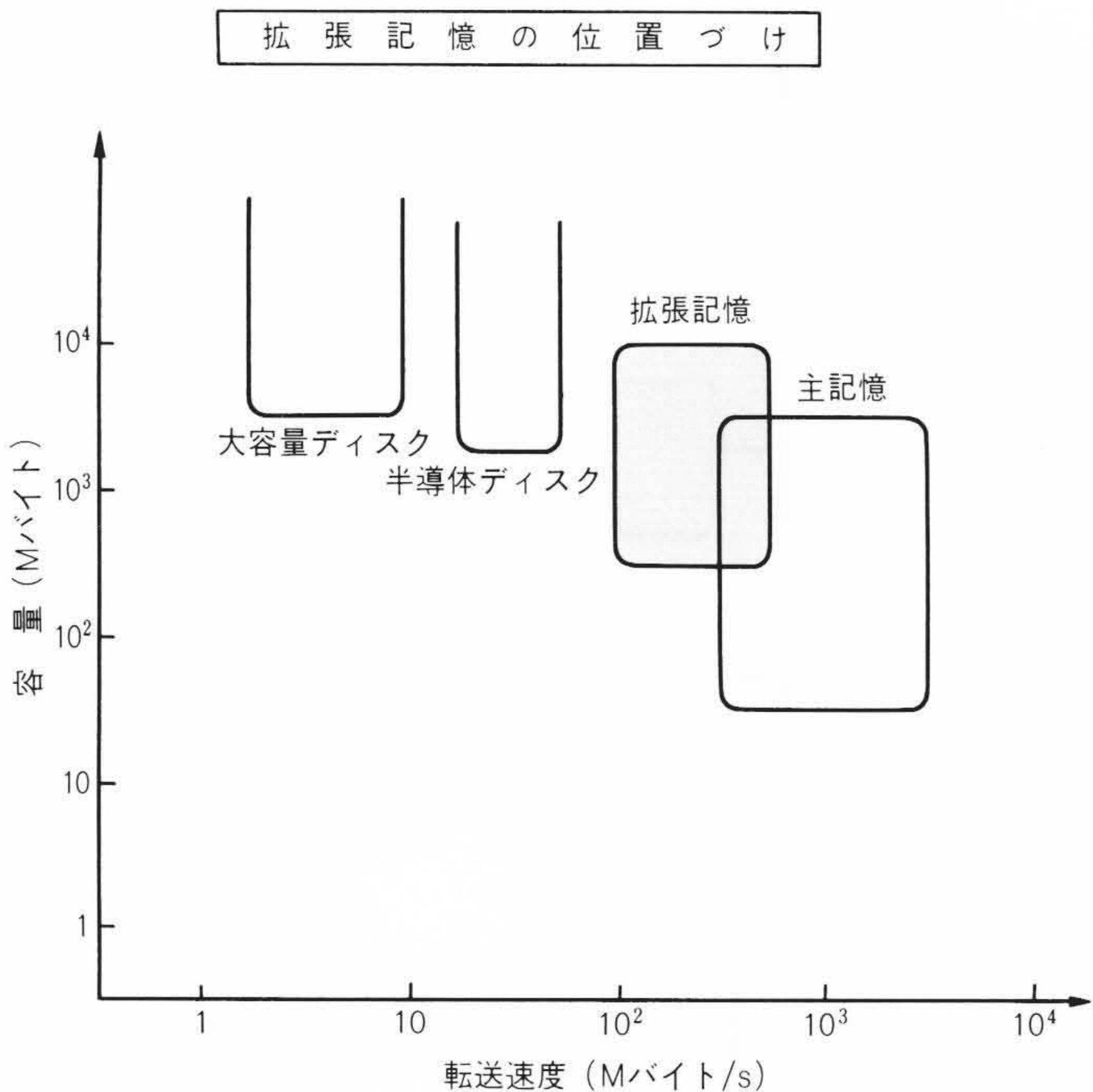
(1) エラーの検出と訂正

主記憶、キー記憶、拡張記憶およびワーク記憶の1ビットエラー自動訂正と、2ビットエラー検出を行うとともに、1ビットの固定エラーと1ビットのインターミッテントエラーの組み合わせの自動訂正も行っている。

(2) プロセスサクセッション

マルチプロセッサ構成時、命令プロセッサで、命令再実行で回復できないような固定障害が発生した場合には、他の命令プロセッサに処理を引き継いで実行する。

(3) 冷却装置、顧客設備障害対策



特 長

- (1) アドレスリロケーション機構
 - データ領域の動的割付け
 - 1 Mバイト単位の相対アドレス
 - 記憶保護とフラグメンテーションの防止
- (2) 同期転送
 - MOVE系命令で一度に8 バイト～2 Gバイトのデータ転送
- (3) 非同期転送
 - CCWコマンドで一度に8 バイト～64 kバイト、または4 kバイト～256 Mバイトのデータ転送

図9 拡張記憶 主記憶とディスクの中間に位置し、システムの入出力性能を大幅に向上する。同期転送、非同期転送はデータ長に応じて使い分けることにより、性能向上を図ることができる。

冷却装置は、ポンプに予備機を設けて信頼性を向上させている。冷却系の障害は、水温、水位、流量、漏水など各種センサを設置し、異常が検出された場合は障害レベルに応じてオペレータメッセージの出力、AOMPLUS (Automatic Operation Monitor Plus for Multiple Systems) による顧客仕様による対応、システム停止などの手段によって安全な運転を確保している。

5.3 ASSIST (Advanced Service Support Information System Technology : 遠隔保守サービス)

ASSISTは、顧客システムとASSISTセンタ間を通信回線で結び、迅速で的確な保守サービスを提供する。

- (1) 予防保守情報の収集
- (2) 障害の自動通報

システムで障害が発生した場合は、状況を収集・分析し、迅速に自動通報を行う。

(3) 修正情報の転送

システムで使用しているマイクロコードやコントロールウェアなどの修正情報を、ASSISTにより、直接顧客システムへ送信することができる。

(4) コンピュータ付帯設備の異常通報

電源設備や空調設備などのコンピュータ付帯設備に異常が発生した場合は、AOB (Automatic Operation Board : 自動運転監視盤) がその状況を自動的に通報するので、迅速な対応が可能である。

6 運用の柔軟性

6.1 セパレートシステムモード運転

M-880のうち、2 台のSCを持つモデル220/420では、全体を1 台のプロセッサシステムとして運転するシングルシステムモード運転のほかに、2 台のSC間で論理的な分割を行って、2 台のプロセッサシステムとして分割運転するセパレートシステムモード運転が可能である。

6.2 PRMF (Processor Resource Management Feature : プロセッサ資源分割管理機構)

1 台のプロセッサを複数のプロセッサに論理分割し、それぞれの分割プロセッサ環境でオペレーティングシステムを稼動させることが可能であり、次のような柔軟なシステム運用形態や新しいシステム稼動形態を実現できる。

- (1) 現行業務システムと新規業務開発システムの並行運転
- (2) システム移行を目的とした旧システムと新システムの並行運転
- (3) 複数システムを1 台のプロセッサに統合した業務処理集約化など

7 結 言

以上、M-880の論理方式技術、高信頼化技術について述べた。この技術は、論理方式上のくふうとハードウェア技術の改善によって実現されたと言える。

今回は紹介できなかったが、設計自動化システム、論理検証のためのシミュレーション、高集積LSI・RAM・高密度モジュールの診断、性能評価などの技術が本開発のために改善され、大きな役割を果たした。

M-880の開発によって得られたこれらの技術を基にして、今後ともより良いシステムの開発に努力する考えである。

参考文献

- 1) 若井, 外 : HITAC M-680H/M682H処理装置, 日立評論, 67, 12, 987-992 (昭60-12)