

MELCOM - COSMO シリーズ

沢井 善彦・野地 保
(三菱電機)

1. まえがき

三菱電機は、昭和32年にデジタルコンピュータの研究に着手、図1の汎用コンピュータの年表に示すように、昭和35年に技術計算用のモデル1101を世の中に出した。その後、顧客の要望に応え、最新の技術を駆使して次々と新モデルを開発し現在に至っている。ここでは現時点に於ける主力の汎用コンピュータMELCOM - COSMOシリーズ(以下COSMOと称する。)について、主としてアーキテクチャ面から設計の狙いと各モデルに於ける実現の状況を開発の年次に従ってまとめて報告する。

COSMOシリーズの基本形は昭和47年から開発を着手したCOSMO 700で作り、現在の最上位機COSMO 900Ⅱへと展開され、漸次新しいアーキテクチャ、技術を採用し製品モデルを拡張してきている。

2. COSMOシリーズ設計の狙い

COSMOシリーズの設計の狙いは世の中の流れ、技術の進歩により変化しつつあるが、基本的な点ではこの10年変って来らず、この蓄積が今日の製品に反映されている。この設計の狙いは今後の当社の汎用コンピュータにも引き継がれていくものである。

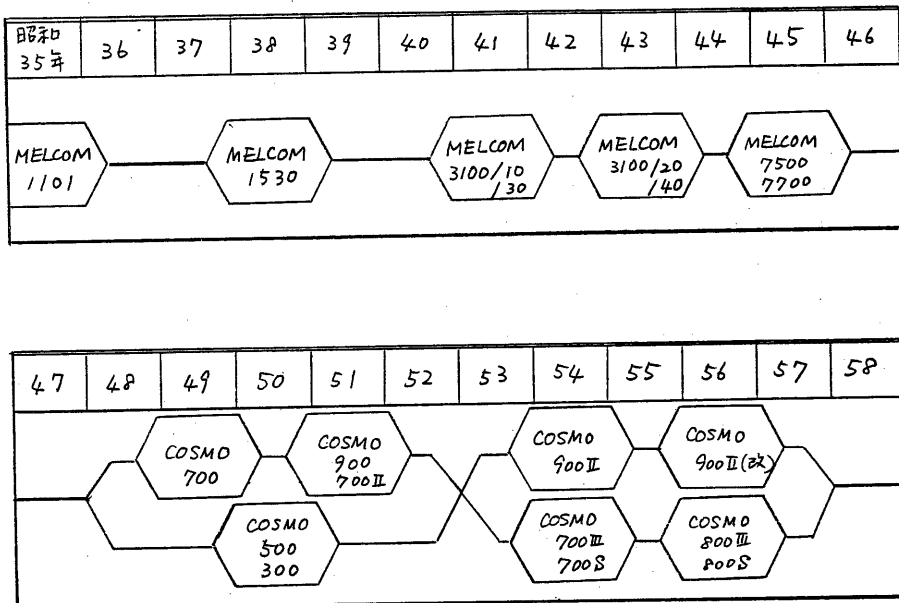


図1. 三菱電機 汎用コンピュータ年表

(1) コスト/パフォーマンスを重視した設計

COSMOシリーズは中型機から大型機クラスをターゲットにしており、各モデル毎に開発の時点での最新の技術をコスト/パフォーマンスに応じて採用していくこととしている。研究開発の成果として裏付けられた技術は製品化のフェーズでトレードオフされ逐次利用される。

(2) 信頼性、可用性、保守性の追求

汎用コンピュータの利用が多岐に渡り、その位置づけが企業活動の上で重要になってきている。従って、冗長化設計、障害の局所化/切離し、障害情報の収集および種別のレベルによる診断と細心の注意を払って設計している。又、リモート診断機能の充実は固り、万が一の障害に対してもセンタの専門家による迅速な保守を可能とする。

(3) 中大型機におけるマルチプロセッサの採用

顧客の演算性能に対する要求は年次に従って対数的に高まると言われている。これに応えるため一つのモデルの開発で性能範囲を大きく取る必要があり、マルチプロセッサがその解答の一つとなっている。マルチプロセッサは縮退運転が可能であり、可用性の面でも有利である。

(4) ファームウェア利用の推進

経済的に性能面の効果を得るため、ソフトウェアのファームウェア化を推進してきている。オペレーティングシステムをはじめデータベース機能、関数ライブラリなどをファームウェア化し良い結果を得て実用化されている。

(5) 自動運転/省カ化運転

コンピュータ運営要員の不足、24時間運用などからコンピュータの操作を省カ化し、さうに無人化して運用できる必要がある。顧客の要望に合わせ本格的な自動運転、簡易的な自動運転が提供されている。

3. COSMO 700

COSMO 700はMELCOM 7000シリーズをベースとし、COSMO時代に対応可能なように、論理アドレスの拡張というアーキテクチャ面の大幅な変更開発を実施した。又、この頃から実用化されてきた汎用LSIの活用を考え、マイクロプログラム方式を本格的に採用した。さらにマイクロ診断機能も含めRASの大幅向上を図った。現在のCOSMO 700S/Ⅱは全体的にLSI化されたコンピュータに様変わりしている。

(1) 論理アドレスの拡張

7000シリーズから多重仮想記憶方式を採用していたが、増大するオペレーティングシステムへの機能追加、応用プログラムの巨大化に対応するため、論理アドレス空間を512KBから16MBへ拡張した。図2にアドレス変換方式を示す。一方、この論理アドレスの拡張が既存の応用プログラムに影響なく段階的に利用できるように種々のアドレス変換モードA、B、Cを設定した。Aは従来のアドレス変換、Cは拡張されたアドレス変換に対応し、BがAとCの橋渡しのモードであり、16MBの最初の1セグメントを使って従来のプログラムが動作可能となっている。

(2) RASの基本

RASに対する基本概念が確立され、各種の誤り検出、回復処理、障害情報のログアウト、障害部分の切離し制御およびハードウェア診断、マイクロ診断の各機能が標準形として装備されている。又、各モデルに共通となるマシンチェックトラップコードが定義され、オペレーティングシステムUTS/VSによるRASサポートも標準化された。

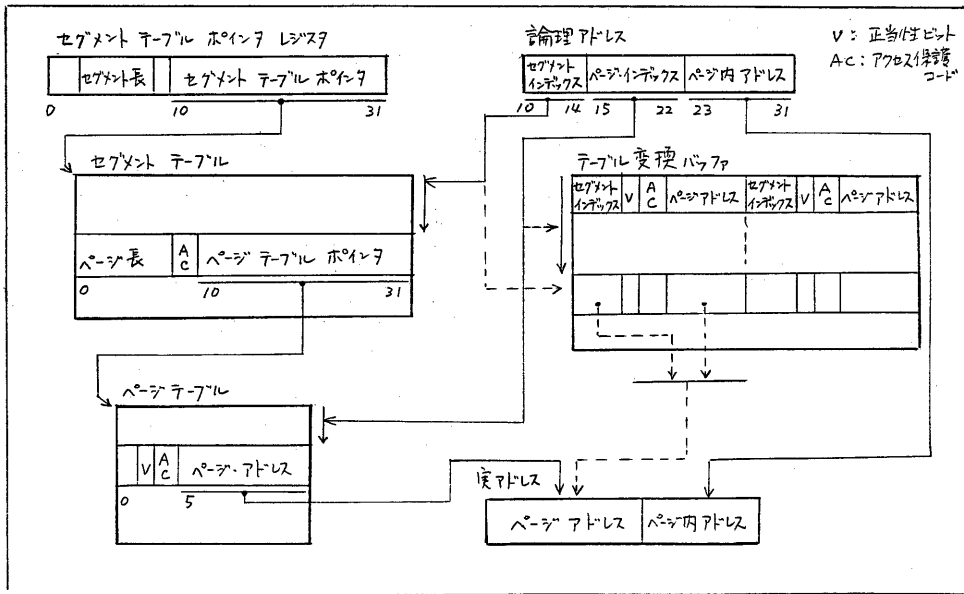


図2 MELCOM-COSMOシリーズの仮想記憶方式

4. COSMO 500

COSMO 500は小中規模クラスを狙った汎用コンピュータであり、設計時からファームウェアの活用を試みるよう設計された。又、技術計算性能の向上の手段として高速浮動小数点機構を開発した。

(1) 仮想制御記憶方式

中央処理装置は32ビットのマイクロ命令長を持つマイクロプログラム制御方式を採用しており、マイクロプログラムはROMとRAMで構成される複合形式の制御記憶に格納されている。又、制御記憶として実際の制御記憶のほかに主記憶上に仮想制御記憶が割付けられ、主記憶と実際の制御記憶のRAMとの間で仮想記憶制御と同様の制御を行っている。これにより実装されている制御記憶の容量に関係なく大容量の制御記憶を備えているようマイクロプログラミングが可能である。ROMの障害に対してRAMでダイナミックにバッファアップしたり、豊富なファームウェアを利用することができる。後述する関数ライブラリのファームウェア化、マイクロ診断などに有効な手段を提供するものである。

(2) ファームウェア化による性能向上

ファームウェア化によるシステム全体の性能向上の効果は、ファームウェア化した部分の高速化率とその部分の実行頻度との積で決まる。従って性能向上と大きく期待するためにはシステム分析を綿密に行い、機能的にはメモリ実行頻度の高いロジックを探し出すことが大切である。この規準に基づいてファームウェア化を実施した例を図3に示す。この例から分かるようにファームウェア化した部分についてみれば命令フェッチの削減、CPU内部レジスタの使用、並列演算処理などにより2~5倍の高速化が達成されている。プログラム全体から見るとそのプログラムの特性に依存するが最良ケースで2倍を超える性能向上が得られた。

(3) 高速浮動小数点機構 (FPP)

技術計算、リアルタイム処理での浮動小数点演算の高速処理が要求され、これに対応すべく高速浮動小数点演算機構を開発した。これはCPU本体とは別に専用のマイクロプログラム制御により独立に動作する演算装置で、CPUマイクロプログラムの起動によりCPUと非同期に演算を行い、演算結果をマイクロ命令割込み形式でCPUに返す方式をとっている。FPPはアイドル状態では予防保守を目的にマイクロ診断モードにより診断プログラムが実行している。障害があれば演算結果の報告に同期してCPUに障害状況と伝達する。

	ファームウェア対象	ファームウェア対象部分		プログラム全体の 実行時間
		使用語数	実行時間	
コンパイル 時間の 性能向上	FORTRAN	74(W)/49(W) =1.510	0.166	ケース a 0.701
	コンパイラの一部			
実行時の 性能向上	FORTRAN 関数ルーチン SIN/COS	127(W)/181(W) =0.702	0.213	ケース b 0.628 ケース c 0.468
				ケース d 0.975
	FORTRAN 関数ルーチン SQRT	73(W)/132(W) =0.558	0.202	ケース e 0.447 ケース f 0.772 ケース g 0.536

使用語数の分子はマイクロ命令(32ビット)で実現した場合のステップ数、分母は機械語(16ビット)で実現した場合のステップ数。実行時間は、機械語で実行した場合の値を1,000としたときのファームウェアの実行時間である。値の小さいものほど、性能が向上していることを示す。

図3 ファームウェア化による性能向上の例

5. COSMO 900

密結合のマルチプロセッサを実現した最初のモデルであり、同時に開発されたオペレーティングシステムのサポートとともに総合性能を向上した。又、RAS強化の一つとして本格的なリモート診断機能を実装している。

(1) マルチプロセッサ

COSMO 900のマルチプロセッサは主記憶を共有する密結合のマルチプロセッサ方式を採用、図4に示すように最大4台のCPUでマルチプロセッサを構成することができる。各CPUがメモリポートおよびポート拡張機構を介して接続されるマルチポート方式であり、主記憶は2ウェイのインタリーフ方式である。この2つの方式により主記憶のアクセス競合による性能低下を抑えマルチプロセッサの効果を高めている。中央処理装置は1台の主CPUと1~3台の副CPUに区別され、主CPUがシステム全体の制御を行う。各CPU間にはプロセッサ間バスで接続されており、主CPUによる副CPUの起動、停止制御、副CPUからのサービスリクエスト、状態情報伝達などの動作に使用される。又、入出力動作の制御も主CPUにより行われ、入出力動作の起動、終了に伴う割込み処理

および停止制御は主CPUが担当している。このように、COSMO 900のマルチプロセッサ方式では主CPUがシステム全体の制御と演算処理、副CPUが演算処理と機能分担方式を採用している。

(2) リモート診断

保守センタに設置されている保守用コンソールと顧客システムとを通信回線に接続し、保守コンソールからシステムコンソールの操作を全て実行できるようにした。これにより、保守情報を豊富に持ち経験の高い保守員がセンタに

いながら顧客システムの操作員と全く同様にプログラムのフレーム、マニュアルフレームの操作が可能になり迅速な問題解決を図ることが可能となった。

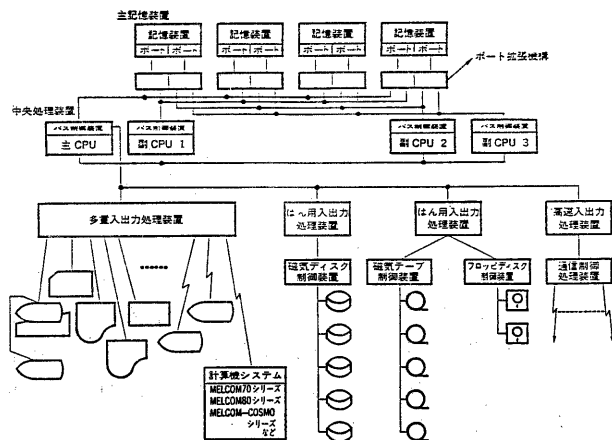


図4 COSMO 900 システム構成例

6. COSMO 800

テクノロジーの進歩に従って、COSMO 800は全面的にLSIを利用したコンピュータになった。高速、高集積のECLゲートアレー、64Kビットメモリ素子、高密度セラミックモジュール実装など新しい技術を採用している。また、ファンクショナルエンジンと称しオペレーティングシステムその他のファームウェアを高機能性の向上を図っている。

(1) ECL LSI

1000ゲート/チップ、0.9ナノ秒/ゲートという高集積、高性能のマスタースライス方式のLSIを約100品種開発、中央処理装置、主記憶装置、入出力チャネル、浮動小数点演算装置に適用している。実装効率を高めるためにLSIは124ピンのリードレスパッケージに組込まれ、これを4面とう載する12層のセラミック基板と組合せた多層セラミックモジュール方式を採用している。このセラミックモジュール方式の効果として、1例としてフラットパッケージをプリント基板に取付ける場合と比較すると、リードレスパッケージは外形寸法がフラットパッケージの2/3、パッケージ間の信号配線がセラミック基板内で処理されることによりこのためプリント基板上で接続される信号数が40%程度減少することなどにより、実装密度は約3倍となる。

(2) ファンクショナル エンジン

システム性能向上のためファームウェアを一層高め、これをファンクショナルエンジンと称し以下のものを提供している。

(i) UTS/VSエンジン

オペレーティングシステム内の実行頻度が高い部分でなおかつファームウェア

ア処理に通している次の部分をファームウェア化し、平均してオペレーティングシステムの走行時間比にして約14%の短縮、経過時間比にして約5%の短縮を図っている。

- ・ ハードウェア割込み処理
- ・ ディスバッチャの高速化
- ・ 入出力制御ブロックの変換処理
- ・ モニタサービスコール命令処理 など

(ii) データベース エンジン

CODASYL型のデータベースEDMSの処理を徹底的に分析し、チェックサムの計算処理、データの転送、オカレンスのサーチなどのファームウェア化を実施している。それぞれ処理するデータの量により性能向上値が異なるが、ファームウェア化の部分で2~10倍、応用プログラムの実行時間からみて平均して約2倍の向上を果している。

(iii) LISP エンジン

人工知能などの研究分野で利用される記号処理言語INTER LISPは、処理系としての機能は豊んでいるが反面汎用コンピュータの多くは処理時間を多く必要とする難点がある。LISPマシンが出現するのもこの理由にある。そこでLISPの処理内容を分析、関数と呼び出す際に共通に使用されるモジュール、関数の出口処理に共通に使用されるモジュール、関数の評価を行う共通モジュール、スタック操作モジュールなどをファームウェア化している。この結果、各ファームウェア化部分で3~7倍の性能向上、LISP全体として20~30%の性能向上を実現している。

(3) 内蔵アレイプロセッサ (IAP)

これもファームウェア活用の一つであるが、技術計算性能を向上させるため高速浮動小数点演算装置に加えて、若干のハードウェア追加とファームウェアにより内蔵型のアレイプロセッサを提供している。FORTRANコンパイラの一部にも手を加え、DOLL-プの処理をベクタ演算のオブジェクトにコンパイルし、IAPとして提供される各種のアレイプロセッサ機能を活用している。

(4) 自動運転

計算機システムの運用を省力化、無人化する自動運転装置が検討され、計算機室の環境設備と連動した自動運転装置および対応するサポート機能がオペレーティングシステムで提供されている。自動運転装置は計算機システムの電源投入、切断とあらかじめ設定されたスケジュールで制御、保有する外部インタフェースを利用して計算機室内の各種環境情報をモニタリングしてオペレーティングシステムへ伝達、あるいは緊急時の電源断などの動作を行う。又、これらのサブセット機能をシステム制御装置内のSWP (サービスプロセッサ) に処理させる簡易形の自動運転もある。

7. COSMO 900 II

COSMOシリーズの最上位機モデル900 IIはパイプライン制御、64K Bの高速バッファメモリ、高速乗算機能などを装備、さらに0.75ナノ秒/ゲートの高速論理素子、1石当たり250~300ファンクションの高速CCL-LSI、大形10層プリント基板を採用し高密度実装技術と強制空冷方式を実現している。

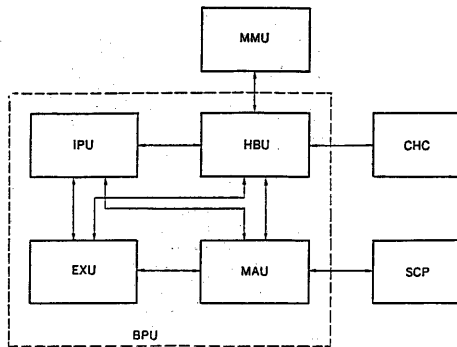


図5 基本処理装置

ライン制御でHBU、EXUとは独立に動作する。基本の命令である2進ロード、ストア、加減算の各命令の処理はIPUで処理しその結果をEXUに伝える。

HBUはIPU、EXUおよび入出力チャネル(CHC)からのメモリリクエストを受け、論理/実アドレス変換、高速バッファメモリ制御、主記憶制御を行うユニットである。IPU、EXUからのクロックごとの連続フェッチリクエスト、連続ストアリクエストを受け付け可能なようにHBUもパイプライン制御を行っている。

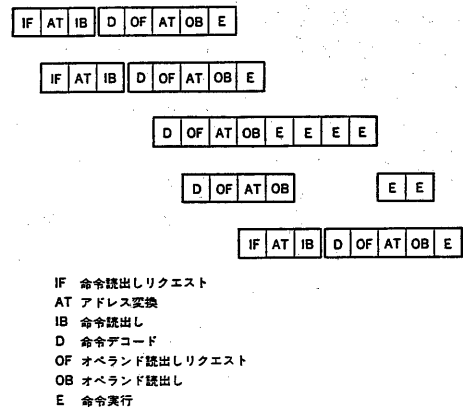
EXUはIPUで前処理された命令の実行を行うユニットであり、乗除算、10進加減算、論理演算を行う。

MAUは基本処理装置の保存、診断を行うためのユニットであり、他のユニットと独立に動作するマイクロプロセッサで構成されている。システム制御装置(SCP)からの指令に従って各種診断動作、障害発生時の命令再試行用データのバッファリング、内部レジスタのログアウト制御などの機能を持っている。

(1) 基本処理装置

基本処理装置は図5に示すように命令ユニット(IPU)、高速バッファ制御ユニット(HBU)、命令実行ユニット(EXU)および保存ユニット(MAU)で構成されており、各ユニットが独立に動作しながら全体として命令の処理を行う。

IPUは命令の前処理を行うユニットであり、いわゆるパイプライン制御を行う。HBU経由で主記憶MMUから命令のフェッチ、命令のデコード、オペランドのプリフェッチを行って命令実行のためには必要なデータをEXUへ渡す。IPUは図6のようにパイプ



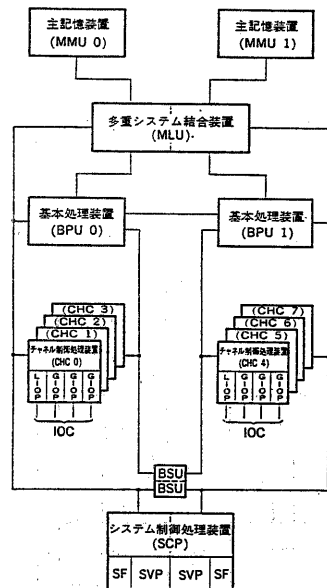
(2) マルチプロセッサ構成

COSMOS 900 II のマルチプロセッサは図 4 に示すように多重システム結合装置 (MLU) を介して構成されている。MLU は基本処理装置 (BPU) と主記憶装置 (MMU) との間に位置し、メモリバスインタフェースとマルチプロセッサ間インタフェース 1 によって接続される。各 BPU の高速バッファユニット (HBU) 間はマルチプロセッサ間インタフェース 2 で接続される。MLU, BPU, MMU は全 2 MLU が供給する同一のシステムクロックにより同期して動作している。MLU は各 BPU から 80 ユニタリ制御によって時分割に送られてくるメモリアクセス信号を MMU へ伝達し、MMU からの返送信号をアクセス要求のあった BPU へ伝達する。又、MLU は各 BPU に対応した部分に分かれており、1 つの BPU から送られてくるアドレス情報は他の BPU にインタフェースしている MLU 部分へ取り込まれ、マルチプロセッサ間インタフェース 1 を経由して他の BPU の HBU へ伝えられバッファのインバリテーションが行われる (図 8)。

論理の都合上一つのプリント基板上に MLU を実装しているが、システムの可用性と MLU の保守性を配慮して電源系統は分離した構造を取っている。

(3) システム再構成制御

システム制御処理装置がシステム全体の再構成制御を一括管理している。操作員の構成変更指示に従う場合とSCPがみづかじめ設定された手順に従って再構成する場合とがある。自動的に行う後者の例としては、停電後の復電に伴うシステム全体の構成制御、障害発生に伴う縮退構成の制御、自動運転モードにある際の自動運転用システム構成の制御などがある。マルチプロセッサの場合通常運転時一方のBPUが主、他方が副として動作している。主BPUに重大な障害が発生した場合、この主BPUとシステムから切り離れたとともに副BPUを主BPUに設定してシングルプロセッサとして動作を継続する。主記憶のアドレスは従来実アドレスが物理アドレス



BSU : バス切換装置

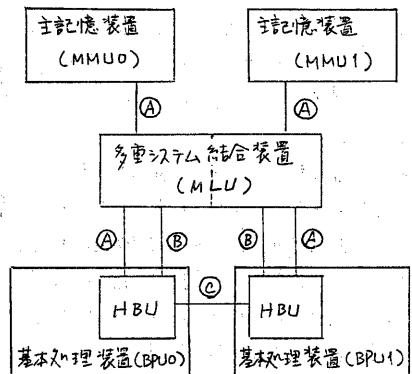
LIOP：多重入出力处理装置

GIOP：汎用入出力処理装置

SVP : サービスプロセッサ

SF : システムファンクション

図7 COSMO 900 II
ミル47°口セツサ構成



④: メモリバズ インターフェース

⑤ : マルチプロセッサ間 127 台 - 2 台

⑥ : マルチプロセッサ間 1277-22

図8 多重システム結合装置

に対応していたが、COSMO 900Ⅱでは1Mバイト又は4Mバイト単位での実アドレスと物理アドレスの対応づけを変更できる。これにより記憶装置の障害部分と切り離して運転したり、マルチプロセッサ構成における運転モードの切換えなどが可能となる。その他に2台のコンソールの構成制御、入出力チャネル制御処理装置のアドレス再構成制御など、マルチプロセッサ用および冗長度構成用の機能が提供されている。

8. おわりに

以上にMELCOM-COSMOシリーズについて開発の年次に従って、主としてアーキテクチャ面から特徴となる項目に絞ってまとめ、三菱電機の汎用コンピュータへの取り組みを振り返ってみた。次々と新しいアーキテクチャの導入が図られ、新しい技術が採用されてきているが、一般に汎用コンピュータに言われるように顧客のソフトウェアを含め膨大なソフトウェア財産との連続性維持が大前提であり、新しいものの採用という点では控え目となっている。しかし一つの積み重ねが蓄積となり次の世代のモデルへと着実に受け継がれている。

パーソナルコンピュータ、多機能型ワークステーションが急成長してきているが、処理能力、大規模のデータベース、ネットワーク機能の面で汎用コンピュータの役割もより重要になってくる。これまでのCOSMOシリーズの経験を生かして、より高度なマルチプロセッサシステム、ファームウェアの活用、冗長システムの提供など顧客の要求に正確に応えていく計画である。

以上

(参考文献)

- (1) 曾我ほか：MELCOM-COSMOシリーズモデル700，三菱電機技報，49，No.5・1975
- (2) 曾我ほか：MELCOM-COSMOシリーズモデル500，三菱電機技報，49，No.5・1975
- (3) 沢井ほか：MELCOM-COSMOシリーズモデル500，エレクトロニクス，244号・1975
- (4) 田淵ほか：MELCOM-COSMO 500システム，三菱電機技報，52，No.3・1978
- (5) 岩瀬ほか：MELCOM-COSMOモデル900マルチプロセッサシステム，三菱電機技報，53，No.4・1979
- (6) 今村ほか：MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800Ⅲの素子実装技術，三菱電機技報，55，No.7・1981
- (7) 今村ほか：MELCOM-COSMO 800Ⅲ/800Ⅲのハードウェア，三菱電機技報，55，No.7・1981
- (8) 田淵ほか：MELCOM-COSMO 900Ⅱの本体装置，三菱電機技報，54，No.9・1980
- (9) 野地ほか：MELCOM-COSMO 900Ⅱマルチプロセッサシステム，三菱電機技報，55，No.5・1981