

超大形プロセッサグループ“HITAC M-880” のハードウェア技術

Packaging Technologies for HITACHI M-880 Processor Group

HITAC Mシリーズの最上位機として、HITAC M-880超大形プロセッサグループ(以下、M-880と略す。)を開発した。

M-880は、M-880/210モデルからM-880/420モデルまでのマルチプロセッサ技術と先進のシステムアーキテクチャで、命令処理性能、記憶容量、入出力能力、信頼性のいずれでも世界最高レベルにある。

これを実現するために、最新の半導体技術およびその性能を最大限に引き出す高密度モジュールを核とした超密実装技術を開発し使用した。

小林二三幸* *Fumiyuki Kobayashi*
 安斎昭夫** *Akio Anzai*
 中村 徹*** *Tôru Nakamura*
 向尾昭夫**** *Akio Mukoo*
 大黒崇弘***** *Takahiro Daikoku*
 武田健二***** *Kenji Takeda*

1 緒 言

HITAC M-880超大形プロセッサグループ(以下、M-880と略す。)は、Mシリーズ大形プロセッサファミリーの最上位機として開発した最新鋭機である。M-880は、命令プロセッサ2台から成るM-880/210、M-880/220から、命令プロセッサ3台から成るM-880/310、命令プロセッサ4台から成るM-880/420まで、4モデルのラインアップをそろえている。モデル210はM-680Hの約3倍、モデル420はモデル210の約1.8倍という超高速処理性能を実現するとともに、最大2Gバイトの高速・大容量主記憶を備えた超高速・大容量システムである。

こうした高速化、大容量化を実現するためにハードウェア技術の面では、以下の技術を開発した。(1)最新の半導体技術を駆使した多種、多様な高速・高集積LSIと、それを実装する小形パッケージ。(2)チップサイズの大形化、消費電力の増大、ピン数の増大などの半導体技術の高度化を最大限に生かした高密度モジュール実装(表1)。(3)マルチプロセッサ化を容易にし、プロセッサの高速化を実現した大形プロセッサボード。(4)高密度化による集中発熱を効率よく冷却する直接水冷技術。(5)密結合マルチプロセッサのためにケーブル、冷却および給電系をくふうした架構造。

さらに、高速・高密度化を追求する一方で、製品の開発という観点から特に次の点に留意してハードウェア方式を決めた。

(1) 半導体のチップサイズ、モジュールの大きさなどは、歩留り、コスト、保守性を考慮して最適化を図る。また製造、

表1 M-880とM-680Hのハードウェア技術の比較 M-880では、半導体、実装技術をM-680Hに比べて飛躍的に発展させ、大幅な性能向上を図った。

項 目	M-880		M-680H
	モデル210	モデル420	
相 対 性 能 比	3	M-880/210 ×1.8	1
半 導 体	加 工 技 術	0.8 μm	
	集積規模(速度)	12 kゲート (70 ps)	2 kゲート (200 ps)
	パ ッ ケ ー ジ	終端抵抗内蔵MCC (528ピン)	フラットパッケージ (160ピン)
実 装 技 術	実 装 形 態	1 ボードプロセッサ 高密度モジュール	三次元パッケージプラ ッタ LSIとRAMモジュール
	実 装 密 度 比	10*	1
冷 却	方 式	直接水冷 (くし歯方式)	強制空冷 (風速 5 m/s)
	発 熱 密 度 比	10*	1

注：* M-880ボードとM-680Hパッケージの比較
略語説明 MCC(Micro Carrier for LSI Chip)

検査の自動化に適合した実装とする。

(2) 冷却には、最も熱輸送効率の高い水を冷媒に使うが、設備条件にはできるだけ自由度を持たせる。

(3) 信頼性、安全性、保守性を考慮した実装構造とする。

(4) 外観デザインは、オフィス空間をより美しく、より楽しく、豊かなものを目指す。

* 日立製作所 神奈川工場 ** 日立製作所 デバイス開発センタ *** 日立製作所 中央研究所 工学博士
 **** 日立製作所 日立研究所 理学博士 ***** 日立製作所 機械研究所 ***** 日立製作所 生産技術研究所 工学博士

2 基本実装構造

命令プロセッサ2台から成るM-880/210は、命令プロセッサ筐(きょう)体、システム制御筐体、入出力処理筐体、入出力インタフェース筐体の4筐体で構成され、幅464 cm、奥行き90 cm、高さ172 cmである。

命令プロセッサ筐体の基本構造を図1に示す。

LSIチップは、大きさ約10~12 mm角のMCC(Micro Carrier for LSI Chip)と呼ぶ小形パッケージに、はんだボールで面接続する。

このMCCには、厚膜・薄膜混成の多層基板を用いており、LSIの出力信号を整合終端するための終端抵抗を内蔵している。そして、熱伝導性の高いAIN(窒化アルミ)製のキャップによって気密封止する。このMCCには528個の端子があり、高密度モジュールの多層セラミック基板に、はんだボールで面接続する。

多層セラミック基板の大きさは106 mm角、導体数は44層で36~41個のMCCを実装することができる。高密度モジュールの冷却は水を冷媒に使った直接水冷である。LSIから冷水への放熱は、くし歯状の細かい溝を切ったマイクロフィンとHe(ヘリウム)ガスを併用したくし歯方式の冷却機構によって行う(図1)。

高密度モジュールは、730 mm×534 mm、46層の大形プロセッサボードに高密度多心コネクタを介して接続する。命令プロセッサ用の大形プロセッサボードには最大20個の高密度モジュールと64個のケーブルコネクタが搭載できる。命令プロセッサ筐体には、この大形プロセッサボード2枚と、これに直流電源を供給する直流電源ユニットが搭載され、1筐体で二つの命令プロセッサを収容できる。

直流電源給電にはバスバーを使って大形プロセッサボードの裏面から行い、冷却水用の水パイプの配管、装置間を接続する信号ケーブルの接続はモジュール挿入面を使って行う。

システム制御筐体には、片面に大形プロセッサボードに実装したシステム制御装置を配し、反対面には、大形パッケージを三次元実装した制御ユニットプラッタと、2 Gバイト主記憶装置プラッタを二段積みしている。

入出力筐体には、80 kゲートのCMOS LSIを搭載した大形チャンネルパッケージを三次元実装したプラッタを二段積みにし、1筐体当たり最大128チャンネルを収容している。

M-880の外観デザインには丸みを帯びた筐体形状(ラウンドフォルム)を取り入れ、システムのソフトイメージ化を図った。また、外観色は明るさと清潔さを表現したヴェガホワイト、さわやかさと暖かみを表現したモーニングピンク、知的な落ち着きを表現したトワイライトブルーの三色を用意し、コン

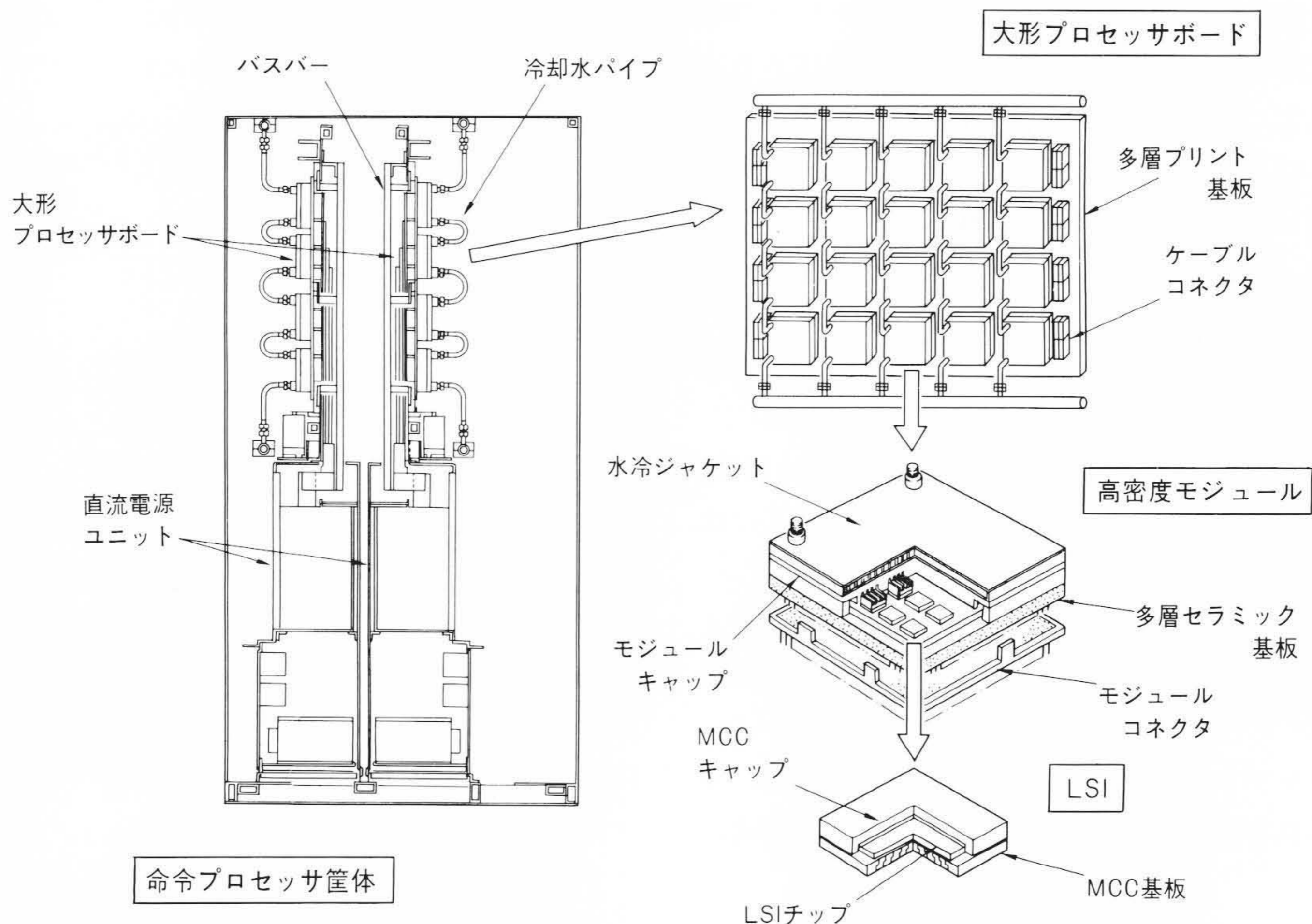


図1 命令プロセッサ筐(きょう)体の基本実装構造 命令プロセッサ筐体には、2台の命令プロセッサが収容できる。36~41個のLSIを高密度モジュールに実装し、大形プロセッサボードにモジュールコネクタを介して接続する。1ボードで1命令プロセッサである。

ピュータルームの雰囲気作りに新鮮さを加えた。

3 高速・高集積半導体

M-880では、時代の最先端を行くデバイス、回路、配線技術を駆使して、高速化の論理方式に応じた多種、多様な高速・高集積LSIを開発した。特にM-680Hでメモリ高速化の目的で採用した高速RAMモジュールは、M-880では論理内蔵メモリLSIとして速度、集積度ともに大きく飛躍させた。また、LSIチップの実装方式として、MCCと呼ぶ小形パッケージを開発し、半導体の高速・高集積化に伴う多端子化、高消費電力化に対応した。このMCCの開発によって実装密度を犠牲にすることなく、LSIの機能検査、スクリーニングを高精度に行うことが可能となり、システムの信頼性向上に大きく貢献した(表2, 図2)。

(1) 論理LSI

M-880の論理LSIはバイポーラ技術を使った超高速論理LSIと、CMOS技術を使った超高集積LSIの2種を開発した。

超高速論理LSIは、0.8 μmデザインルールとSEPT(Selective Etching of Poly-silicon Technology)技術により、世界最高速の12 kゲート、70 psを達成した。

基本回路にはVTL(Variable Threshold Logic)形式の新回路を採用して低電力化と高速化を図り、フリップフロップにはECL(Emitter Coupled Logic)シリーズゲートを使用して高集積化を図ったゲートアレーである。電源電圧は-4 V, -3 V, -2 Vを使用し、消費電力は最大21 Wであり、M-680Hに比べて遅延時間・消費電力積を $\frac{1}{2}$ に改善した。

従来、高速メモリLSIの課題となっていたα線によるソフトウェアの問題は、回路の高速化に伴い、論理LSIでも対策が必要となった。

そこで、フリップフロップには、α線によるソフトウェア

表2 M-880とM-680Hの半導体技術の比較 M-880ではM-680Hに比べ大幅な高集積化、高速化を実現した。メモリLSIは、すべて論理内蔵の一チップ化を図った。

種類	M-880	M-680H	
論理LSI	超高速	12 kゲート, 70 ps	2 k/5 kゲート, 200/250 ps
	超高集積	80 kゲート, 300 ps	24 k/40 kゲート, 1,000 ps
論理内蔵メモリLSI	バッファ記憶	64 kビット+2 kゲート, 1.6 ns	4 kビット, 4.5 ns
	インデックスアレー	36 kビット+4 kゲート, 2 ns	7 kビット+1.2 kゲート, 6 ns
	ワーク記憶	512 kビット+1 kゲート, 5 ns	16 kビット, 12 ns
高集積メモリ	主記憶	4 Mビット, 80 ns	1 Mビット, 120 ns
	拡張記憶	4 Mビット, 100 ns	—

耐性を強化した新回路(ダブルクロス フリップ フロップ)を採用した。基本的にはECLシリーズゲート回路であるが、情報を保持するフィードバック部にくふうを加え、高速性を損なわずにα線などで誘起されるノイズの影響をなくした回路方式である。

高速なマシンサイクルを実現するためには、フリップフロップに供給するクロックパルスの位相とパルス幅を高精度で管理することが重要である。超高速論理LSIでは、LSI内部にクロックパルスを作成するクロックシェーパー回路を内蔵し、また、LSI内のクロック分配には配線長、負荷をすべて等しくするなどして、クロック位相とパルス幅の精度をM-680Hに比べ格段に向上させた。

パッケージは端子数528ピンのMCCを使用し、信号用として252, 終端抵抗用として99, 電源・グラウンド用として153, モニタ用として24を割り当てている。

超高集積LSIとしては、0.8 μmのデザインルールにより、CMOSで80 kゲートの高集積ゲートアレーを開発した。内部ゲートの遅延時間は平均負荷条件下で300 psであり、電源電圧は+5 Vで、平均消費電力は2.8 Wである。

パッケージは、240ピンのPGA(Pin Grid Array)を使用し、信号用として192, 電源, グラウンド用に47, モニタ用に1を割り当てている。この高集積CMOS論理LSIは、比較的論理構造が規則的でゲート対ピン比を大きくとれ、むしろ高速化より高集積化のメリットのあるIOP(Input Output Processor)の入出力チャンネル部分に全面的に使用し、高密度化と大幅な

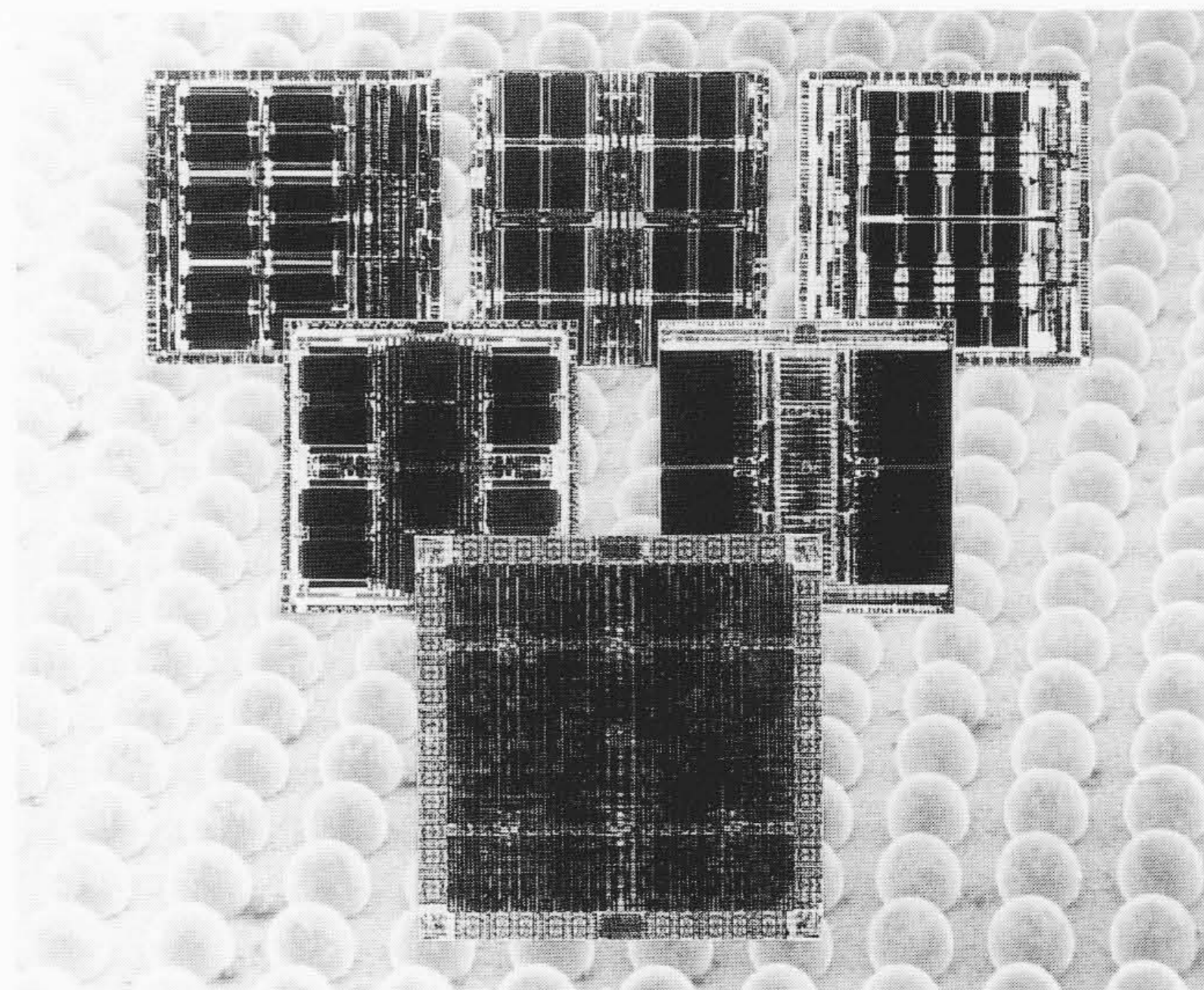


図2 超高速・高集積LSIチップ群 下段はSEPT(Selective Etching of Poly-silicon Technology)技術による12 kゲート論理LSI, 上段中央は64 kビット+2 kゲートのBS/CS(Buffer Storage/Control Storage)用LSI, 左右は専用のインデックスアレーLSI, 中段左は36 kビット+2 kゲートの汎(はん)用メモリLSIで、いずれもSICOS(Side-wall Base Contact Structure)技術を採用した。中段右は、BiCMOS技術による512 kビット+1 kゲートWS(Work Storage)用LSI, バックはMCCのはんだボール端子である。

消費電力低減を実現した。

(2) 論理内蔵メモリLSI

高速メモリの性能を十分に引き出すためには、アドレスレジスタやデータレジスタなどのメモリ制御用の論理回路をメモリ領域のごく近くに高密度に実装する必要がある。M-880では半導体の飛躍的進歩により、シリコンチップの上にメモリと論理ゲートを混在する論理内蔵メモリLSIを全面的に採用することができた。

論理内蔵メモリLSIも論理LSIと同様に、バイポーラ技術を使い超高速化をねらったものと、BiCMOS技術を使い超高集積化をねらったものの2種を開発した。

命令プロセッサのBS(Buffer Storage)やCS(Control Storage)用LSIは、64 kビット、アクセス時間1.6 nsの超高速メモリと、2 kゲート、100 psの論理回路で構成した。メモリ部は、1 kワード×16ビット×4 マクロで構成されており、各RAMマクロはX、Yアドレスの制御により1 kワード×16ビット構成と2 kワード×8ビット構成をとることができる。論理回路部は、マスタスライスとなっており、用途に応じて品種展開ができる。

BSの制御、アドレスの変換バッファ用には4 kゲートのバイポーラ論理回路と36 kビットのバイポーラメモリを組み込んだもの、および6 kゲートの論理回路と24 kビットのメモリを組み込んだものを開発し、専用のインデックスアレーLSIとして使用している。

また、多目的用途に使うため、36 kビット、アクセス時間1.6 nsのメモリと2 kゲートのゲートアレーで構成した汎(はん)用LSIを開発し、論理LSIと同様に品種展開ができるようにした。

これらは、M-680Hで開発したものよりもさらに多くの機能を取り込み、実装密度と遅延時間の改善を図った。

以上の超高速論理内蔵メモリLSIは、0.8 μm のデザインルールとSICOS(Side-wall Base Contact Structure)技術の採用により、高速化、高集積化を図るとともに、逆トランジスタ構造を使用することによって α 線によるソフトエラーの確率をほとんど0にすることができた。いずれも消費電力は21 Wでパッケージは528ピンMCCである。

システム制御装置のWS(Work Storage)用には、高集積化に適した0.8 μm デザインルールのBiCMOS技術を採用し、512 kビット、アクセス時間5 nsの高集積メモリと、1 kゲート、220 psのバイポーラ論理ゲートから成るLSIを開発した。消費電力は、平均15 Wで、528ピンMCCを使っている。

これらの論理内蔵メモリLSIファミリーでは、電源電圧-5.2 V、-4 V、-3 V、-2 Vを適宜選択して使い分け、また論理回路にはECLシリーズゲートを多用して、高集積化、低電力化を図った。

(3) 高集積メモリ

主記憶用には、アクセス時間80 ns、拡張記憶用にはアクセ

ス時間100 nsの4 MビットのCMOS DRAMを採用した。LSIパッケージは表面実装用の20ピンSOJ(Small Outline J-Lead Package)タイプを使っている。大形基板に両面実装することにより、実装密度を大幅に向上させた。

(4) マイクロキャリヤ

LSIの高速化と高集積化を追求したことにより、LSI当たりの発熱量、端子数は飛躍的に増大し、LSIからの出力信号の立上り、立下り時間が短くなっている。そこで、LSIチップの素子面全体から端子を取り出し、裏面から放熱する方式をとった。端子の取り出しは素子面全体から微細なはんだバンプにより行う。バンプの配列はチップ内の素子レイアウト、電源給電パターンなどを考慮して最適な場所に置く。最小バンプ間隔は250 μm である。これらのLSIチップは、MCCと呼ぶ小形パッケージに実装する。MCCのベースは、導体数7層のムライト系セラミック基板上に、導体数6層の薄膜プロセスを施した厚膜・薄膜混成基板である。LSIチップとMCC基板との接続を薄膜面で行い、MCC基板とモジュール基板との接続を厚膜面で行い、LSIチップのバンプピッチとモジュール基板の格子ピッチの整合をとる。さらに、高速大電力LSIでの信号切換時の雑音や、電源の揺れを防止するために、薄膜・厚膜の両層には電源、グラウンド層を効果的に配置した。また、MCCボードの薄膜層には、モジュール基板上での信号の整合終端用に抵抗層を設けてあり、抵抗モジュールを個別に用意しモジュールに実装する方式に比べ、LSI領域を20~30%削減することができ、大幅な実装密度の向上を図った。MCCは熱伝導性の良いAIN製キャップで気密封止する。気密封止にははんだを用い、同時にLSIチップの裏面とAINキャップもはんだ付けする。Si、ムライト系セラミック、AINともに熱膨張係数の値が近いので接続の信頼性は高い。

MCCの大きさは10~12 mm角で、端子数は528、端子間隔は0.45 mmである(図3)。

4 高密度モジュール

MCCにコンパクト実装した超高速論理LSI、論理内蔵メモリLSIは、新たに開発した多層セラミック基板上に36~41個が微細はんだボールで面接続される。

このような超高速・高集積LSIを実装する基板に要求される特性は、(1)電気信号をより高速に伝送するため、基板の低誘電率化と配線導体の低抵抗化、(2)接続の信頼性の点から、Siに近い熱膨張係数を持ち、MCCの接続、入出力ピンのろう付けに耐えられる強度を持つこと、(3)高い寸法精度で多層化が容易なこと、などである。これらの要求を満たす材料として、ムライト系のセラミックスとタングステン配線導体とした多層セラミック基板を開発した。開発した多層セラミック基板の特性は、比誘電率5.9、熱膨張係数 $3.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、抗折強度 $2 \times 10^8 \text{ Pa}$ 以上、配線抵抗0.6 Ω/cm 以下である。配線抵

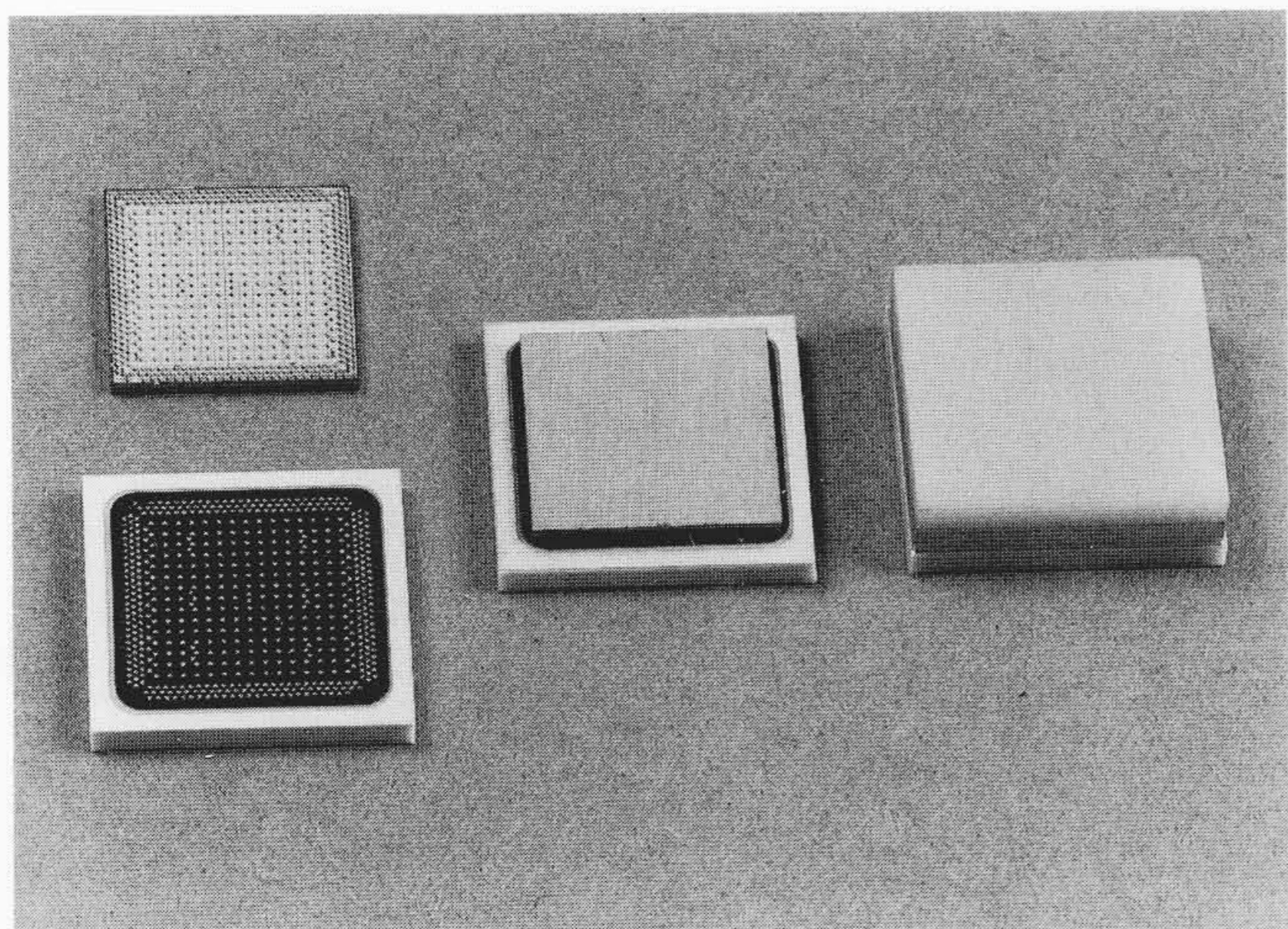


図3 MCCに実装される12kゲート論理LSI LSIチップは、厚膜・薄膜混成の多層基板にはんだボールで面接続する。AINのキャップで気密封止する。チップとキャップははんだで固着し、熱抵抗を下げた。MCCの端子数は528ピンである。

抗の低減は、導体組織をバルクのタングステンに近づけ、導体の厚さをできるだけ厚く印刷することで対応した。

この多層セラミック基板は、(1)材料粉末の純度、粒径、混合比などを厳密に管理した安定なグリーンシートの作製プロセス、(2)シート当たり3万穴もの微細穴加工と、微細穴へのペースト充てん技術、(3)低抵抗ペーストとその厚盛り印刷技術、(4)圧力、平行度などを厳密に制御したグリーンシートの積層プロセス、(5)温度、雰囲気などを高度に制御した焼結プロセス、など一貫したプロセス技術のくふうに加え、各工程での欠陥を自動的に検査する高精細パターン検査技術の開発によって可能になった。

このようなプロセスで作製されるセラミック基板は、グリーンシートの状態から焼結完了までの間に約十数パーセントの収縮が起こる。このときの収縮率にばらつきがあると、でき上がった基板は同一の寸法にはならない。

10～12 mm角のMCCの裏面に0.45 mm格子で配列した528個もののはんだボールを、高い信頼性で接続するために必要なパターン精度、収縮率の配分を行うと、基板サイズは100～150 mm角が最適である。また、基板のサイズを大きくして多数のLSIを搭載するためには、基板の配線層数を増やす必要がある。基板の層数が増えると基板の厚さが厚くなり、厚さ方向の距離がインダクタンスに見え超高速信号を伝搬するときの雑音の要因になる。M-880では、これらパターン精度、収縮率ばらつきと電気特性の両面から最適な大きさとして、106 mm角、厚さ7 mmを決めた。基板の層数は表裏2層、信号18層、整合11層、電源・グラウンド13層の合計44層である。

表面層には、MCCのボンディングパッド、設計変更や製造欠陥の補修パターン、インサーキットテスト用のプロービングパッドなど約4万個のパターンがあり、モジュール上での

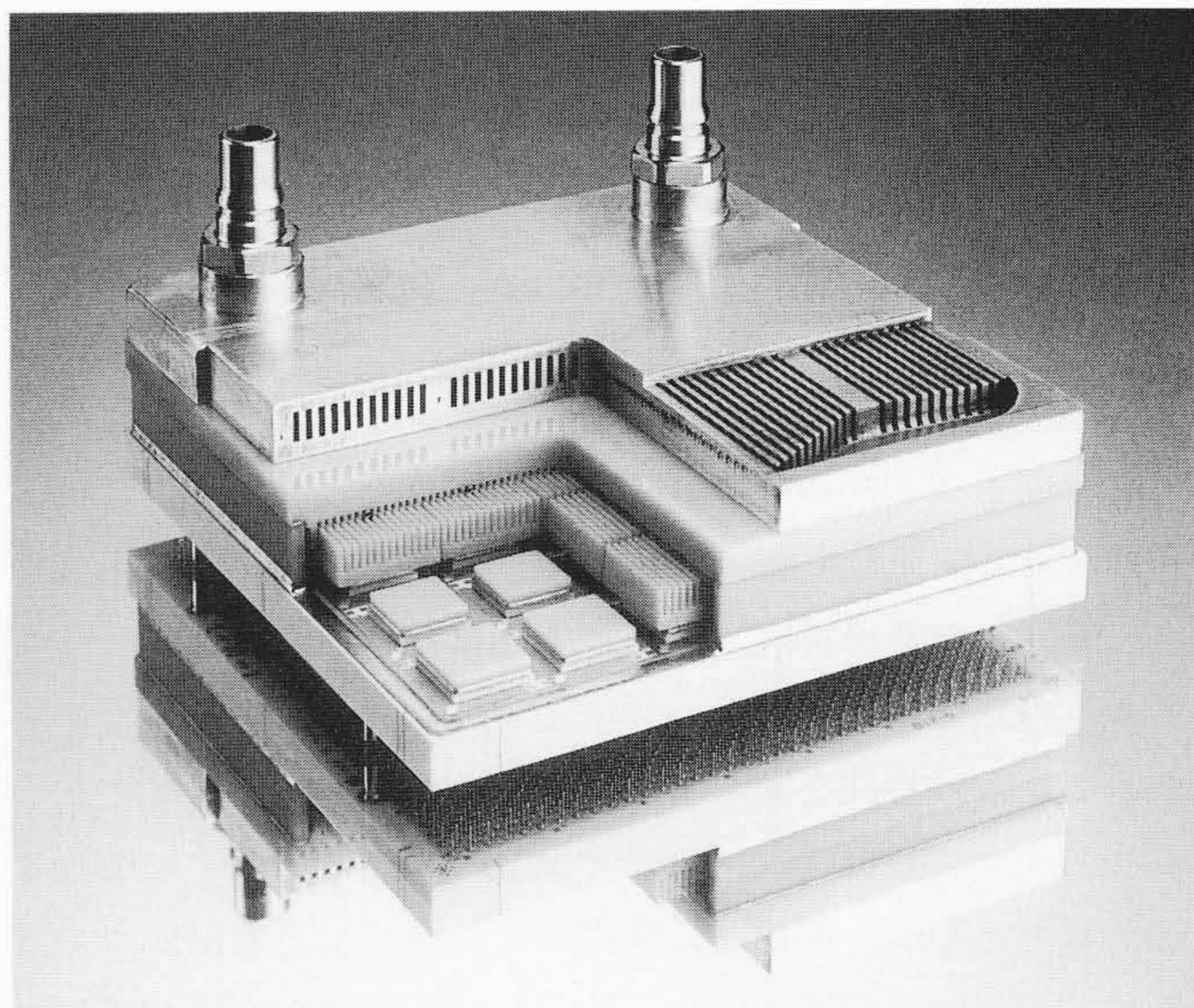


図4 高密度モジュール 106 mm角のムライト系の多層セラミック基板に36～41個のLSIを実装する。モジュールの端子数は2,521である。AINのマイクロフィンとHeガスを併用したくし歯方式の冷却機構がある。

信号パターンのカットと追加布線、モジュールレベルでの機能検査を可能にしている(図4)。

裏面層には、端子ピンのろう付けパッドと裏面補修パッドが準備されている。裏面の端子ピンは合計2,521ピンあり、そのうち信号に1,440ピンをあてている。端子ピンは2.7 mm面心格子配列されており、ピンの間隔は1.91 mmである。

信号層は、幅100 μmの配線を0.45 mm格子に1本通しX方向配線とY方向配線をペアにした多重スルーホール形式をとっている。XY 9ペア、18層の配線層によって全体で1モジュール当たり200 mもの配線を収容している。整合層11層は、表裏のピッチの異なるパターンを、信号層の格子ピッチ0.45 mmに整合するためのものである。

LSIの超高速化と電気特性を大幅に改善したMCCの採用により、多層基板上での信号の立上り、立下りは非常に高速になった。これらの高速信号の伝送により、発生するクロストーク雑音や電源の切換雑音を、三次元電気特性解析プログラムで定量的に評価し、電源・グラウンド層のパターン形状、層数、配列を最適化した。その結果13層を割り当てたが、この多層基板の設計で最も苦心した点である。

多層基板上に実装した各MCCのキャップにはくし歯の形状をしたマイクロフィン(下くし歯)が接触し、モジュールのキャップに設けたくし歯(上くし歯)と微少なすきまを介してはめあいされる。上くし歯と下くし歯のすきまにより、セラミック基板の反りや凹凸、LSIを基板に実装したときの傾き、MCCや冷却構造部品の加工精度などの製造公差を吸収する。

モジュールは、熱伝導性と不活性雰囲気を確保する目的でHeガスが詰められ、はんだで封止する。モジュールキャップ

は熱伝導性に優れ、熱膨張係数がムライト材に近いAINを使用しているため、はんだ封止の信頼性は非常に高い。モジュールキャップの上には、水冷装置から導かれた冷却水を流す銅製の水冷ジャケットを熱伝導グリースを介して接続する。

5 大形プロセッサボード

高密度モジュールを実装する大形プロセッサボードには、今回新たに開発した比誘電率3.7の低誘電率材料を使用している。開発した新材料は、低誘電率のほかに難燃性、ポリイミド並みの熱膨張係数、高い寸法安定性などの特性を備えている。これらの特性を満たすために、基板材料のベースとなるガラスクロス材の材質、フィラメント径、織り方などに改良を加えると同時に、新たに低誘電率で難燃性のあるMS(マレイミド-スチリル)樹脂を開発し使用した。この新ガラスクロスとMS樹脂の組み合わせに加え、基材の寸法安定性を高めるために、基材銅の銅はくの厚さを12 μm まで薄くした。12 μm という薄い銅はくを使った基材の特長を生かして、パターン形成にはパターン化学銅めっき法を開発し、仕上がりで幅70 μm 、厚さ65 μm という高いアスペクト比の信号パターンを高精度に形成することができた。この結果、単位長さ当たりの直流抵抗を4 Ω/m と低くでき、大形プロセッサボードの全面に高速信号を十分なノイズマージンをもって伝送することが可能となった。

プリント基板の大きさは、730 mm \times 534 mmで厚さは約7 mmである。層数は合計46層、構成は表裏2層、信号16層、電源・グラウンド26層、ボード内の電源給電ドロップを抑えるための0.3 mm厚さの銅コア2層から成る。

信号配線はXY直角方向配線と、45度、135度の斜方向配線を対にした配線方式である。材料の低誘電率化と合わせてM-680Hのバックボードに比べ平均伝送遅延時間で20~30%短縮することができ、高密度モジュール間の信号伝送時間を大幅に短縮した。格子間隔は、コネクタとモジュールピンピッチとの整合、斜め配線の実現を考慮して53 mil(1.35 mm)とした。XY直角配線コアは、2本チャンネル/格子、45度、135度斜め配線コアは1本チャンネル/格子で、おのおののコアはインピーダンス整合を図るために3個の電源・グラウンドコアで挟まれ、合計10層のサブアセンブリを構成する。サブアセンブリレベルでの信号間の接続は、径0.3 mmのビアホールによって行う。これらの信号配線用のサブアセンブリ4組み、ボード内の直流電源ドロップを抑えるために設けた電源給電用の銅コア2枚および表裏層の2コア(導体4層)を一括積層し、合計46層の大形多層プリント基板を構成する。

厚さ7 mmのプリント基板には、モジュールコネクタのリードを挿入するための穴径0.56 mmのスルーホールとサブアセンブリ間の信号接続を行うための穴径0.3 mmのスルーホールがある。特に穴径0.3 mmのスルーホールは、アスペクト比(板

厚/穴径比)が23という世界でも最高水準の技術である。小径ドリルの材質、形状の改良、大形高精度穴明け機の開発、および多段穴あけ技術の開発によって可能となった。

このプロセッサボードには、新開発のLIF(Low Insertion Force: 低挿抜力)高密度多心コネクタを、はんだ付けによって取り付けられている。はんだ付けはウェーブソルダ方式で、はんだ付け時の熱衝撃により、プリント基板にかかる応力を低減するため、融点136 $^{\circ}\text{C}$ の低融点はんだを開発し使用している。高密度多心コネクタは、コンタクト圧を50 g/ピンまで下げたLIFコネクタである。2,521ピンという超多心でありながら100 kg以下の挿抜力を実現した。その結果コネクタの構造を非常に簡単化でき、コネクタの小形化によるモジュール間距離の短縮と電気長を5 mm以下に抑えることができ、インダクタンスの低減と、信号の通過遅れの改善を図った。

このコネクタは、11 cm角という大サイズのため、モールド材の熱膨張係数をプリント基板に合わせ、リードのはんだ付け部にかかる応力を極力小さく抑えるとともに、モールドの整形公差を50 μm 以下に抑えてはめあいの信頼性の向上を図った。また、接続の信頼性を向上するため、コンタクトはダブルコンタクトを採用した。

命令プロセッサ用のボードは、高密度モジュール20個と58ピンケーブルコネクタ64個を搭載でき、システム制御用のボードは、主記憶、命令プロセッサとのインタフェースが多いため、12個の高密度モジュールと256個のケーブルコネクタを搭載することができる。

命令プロセッサ用の大形プロセッサボードの写真を図5に示す。

6 冷却技術

以上述べてきたように、高速性能を実現するために、LSI、高密度モジュール、プロセッサボードといったすべての実装

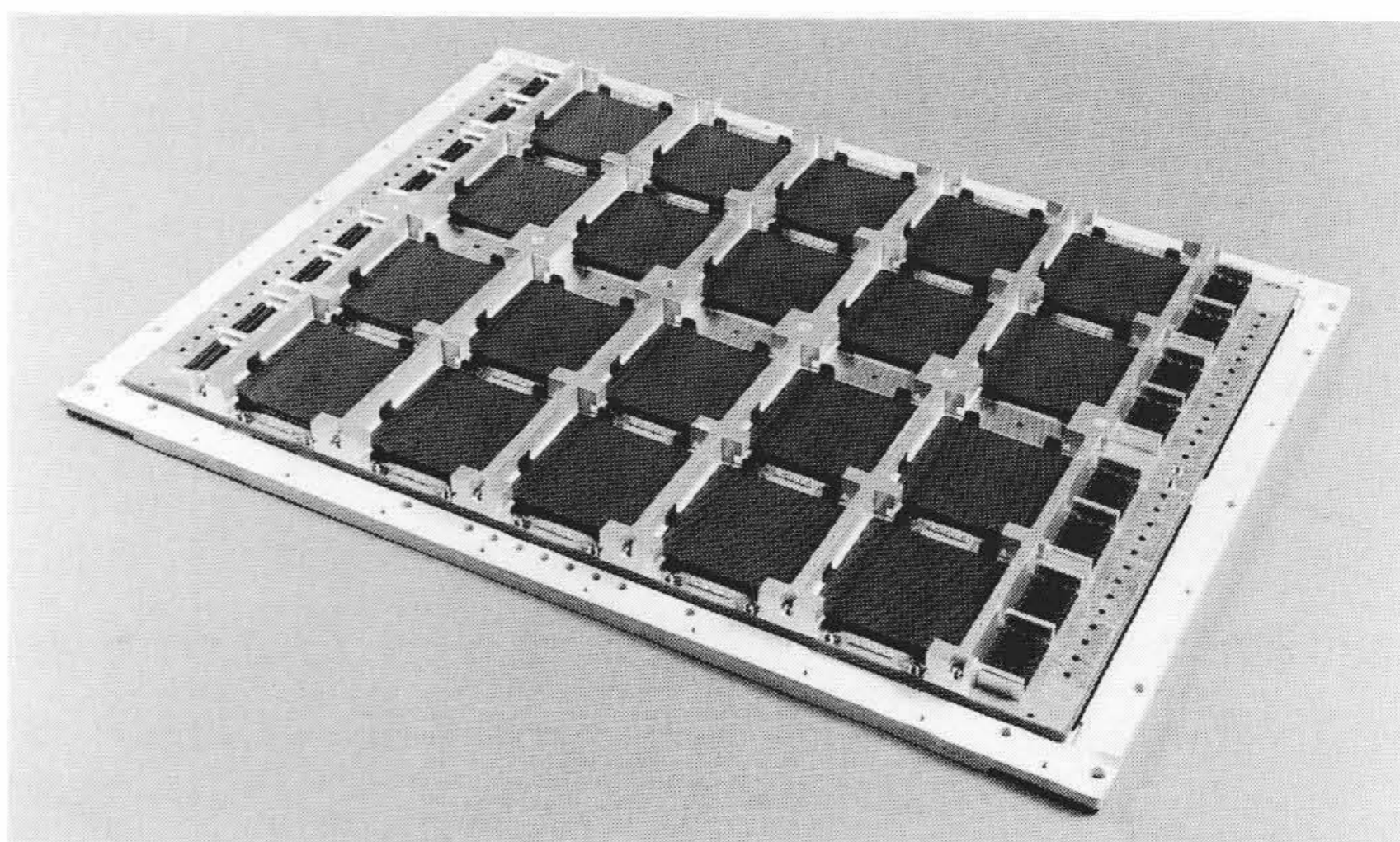


図5 命令プロセッサボード 730 mm \times 534 mmの低誘電率大形多層プリント基板に20個のモジュールコネクタと、64個のケーブルコネクタを実装してある。多層プリント基板へのコネクタの接続は、低融点はんだを使う。

レベルで新しい実装方式を開発した。その結果、高密度モジュールでの発熱密度は約7.5 W/cm²とM-680Hのパッケージに比べ約20倍と高い。このためLSIの冷却には、単位体積当たりの熱輸送効率の最も高い水を冷却媒体とした新しい高効率冷却方式を開発した。新冷却方式は、LSIで発熱した熱をモジュール上面に取り付けられた水冷ジャケット内を流れる冷水に伝えるまでの一次冷却系と、水冷ジャケットと冷却水の供給元である水冷装置を接続する二次冷却系で構成される。一次冷却系の概念図を図6に示した。LSI裏面とMCCキャップ間にははんだで固着され、MCCキャップには熱伝導率の高いAINを使っている。MCCとマイクロフィンの間は面接触によってHeガスを介して熱を伝える。MCCキャップ面とマイクロフィンの底面はきわめて精度の高い加工を行い、Heガス層の厚さを極力減らしている。マイクロフィンおよびキャップの材質は、やはりAINを使っている。下くし歯から上くし歯への熱の伝達は、モジュール内に封止されているHeガスによって行われる。くし歯の枚数、くし歯の歯の高さ、厚さはくし歯の加工精度、部品の製造公差などを考慮して最も熱伝達効率が高くなるように設計している。モジュールキャップに伝えられた熱は、グリース、水冷ジャケットを通り冷却水に放出する。ここで開発したくし歯方式の冷却機構により、LSIの接合部から冷却水までの熱抵抗は、あらゆるケースの最悪の場合でも2℃/W以下にできた。図7は、二次冷却系の概念図である。プロセッサボードに搭載されている高密度モジュールの水冷ジャケットに冷却水を供給するために、一定量の水をコンピュータシステム内で循環させる循環水方式を採用した。水冷装置から水冷ジャケットに供給される水は純水を使用し、かつ運転状態でイオン交換を自動的に行う方式とし、循環水の水質を常にある水質以上に管理しており、水冷でありながらきわめて信頼性の高い

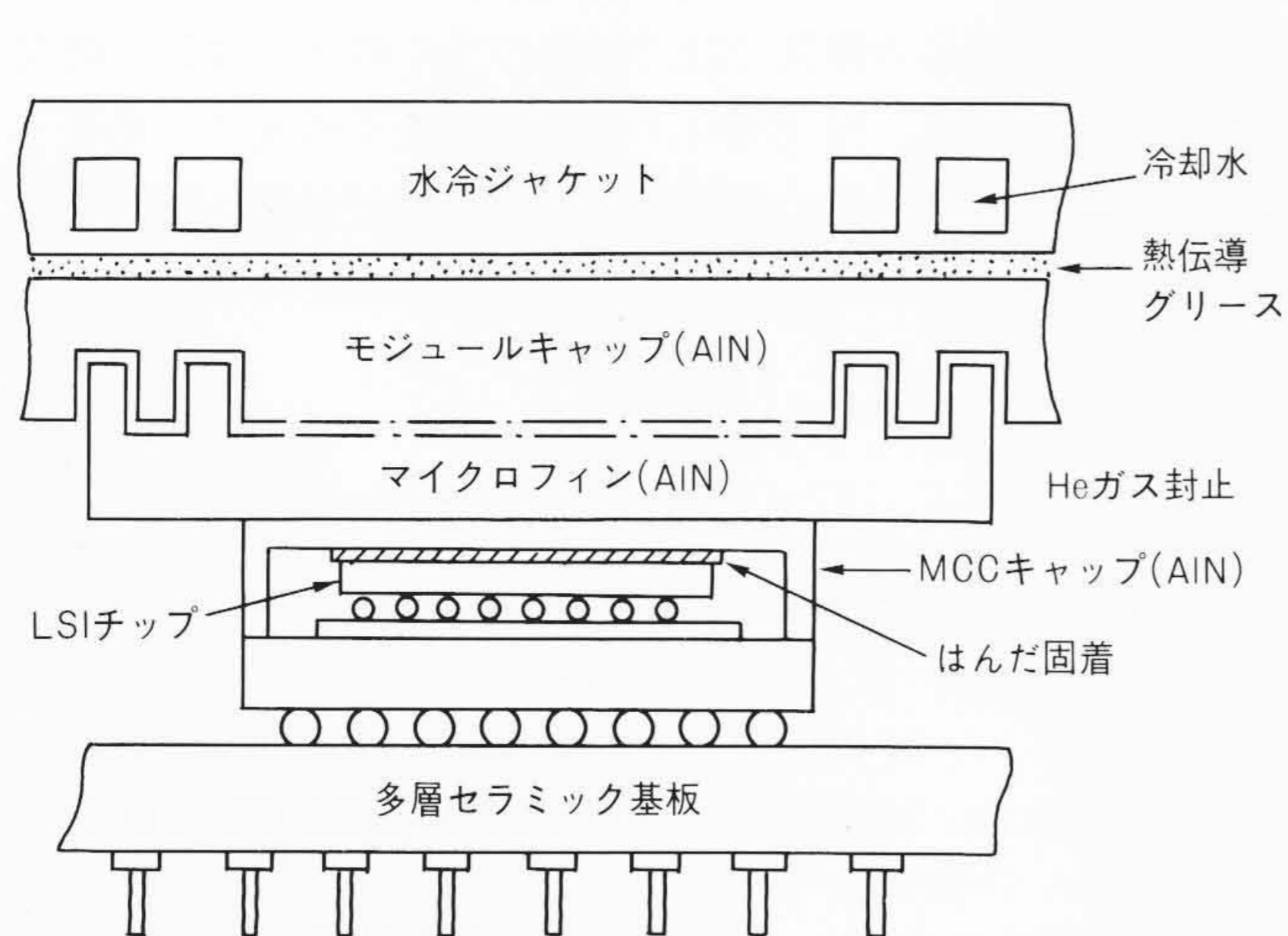


図6 くし歯方式による冷却機構 LSIチップで発生した熱は、MCCキャップ、マイクロフィン、モジュールキャップ、熱伝導グリースを経由して冷却水に放熱する。モジュールには、Heガスを封止し熱伝導性を改善した。熱抵抗は2℃/W以下である。

系にしている。水冷装置から送り出す冷却水の温度は25±2℃と高精度に制御しており、コンピュータの設備環境条件下では、結露の起こらない温度に設定してある。冷水を供給する冷却装置には、床下空調の冷気で冷却する空冷チラータイプ、クーリングタワーからの水で冷却する水冷チラータイプ、大形冷凍機などで作られた16℃以下の水で直接冷却する冷水タイプの3方式があり、コンピューターームの設備状況によって選択できる。これらの新しい冷却技術の導入により、LSI当たり21 W、高密度モジュール上での発熱密度7.5 W/cm²と従来にない大発熱密度にもかかわらずLSIの接合部温度を50～60℃に抑えることができた。

7 周辺装置

システム制御筐体の実装する主記憶装置、拡張記憶装置、インタフェース制御装置、および入力プロセッサ筐体の実装する入出力プロセッサ、入出力チャンネルの部分は、M-680Hで開発した三次元パッケージプラッタ実装方式を採用し、強制空冷である。M-880では、以下のパッケージを新たに開発した。リードピッチ50 mil (1.27 mm)でSOJタイプの4 MビットDRAMを両面実装した容量128 Mバイトの高速主記憶パッケージ、容量256 Mバイトの大容量拡張記憶パッケージ、ピンピッチ100 milでPGAタイプの80 kゲート高集積CMOS LSIを搭載し、M-680Hからさらに機能強化を図った高密度チャンネルパッケージの3種類である。

8 信頼性および安全性

M-880では、システムの大形化、オンライン化、無人運転化などの要求に、高信頼性ハードウェア技術の開発とハードウェア、ソフトウェア両面でのRAS機能の強化でこたえてい

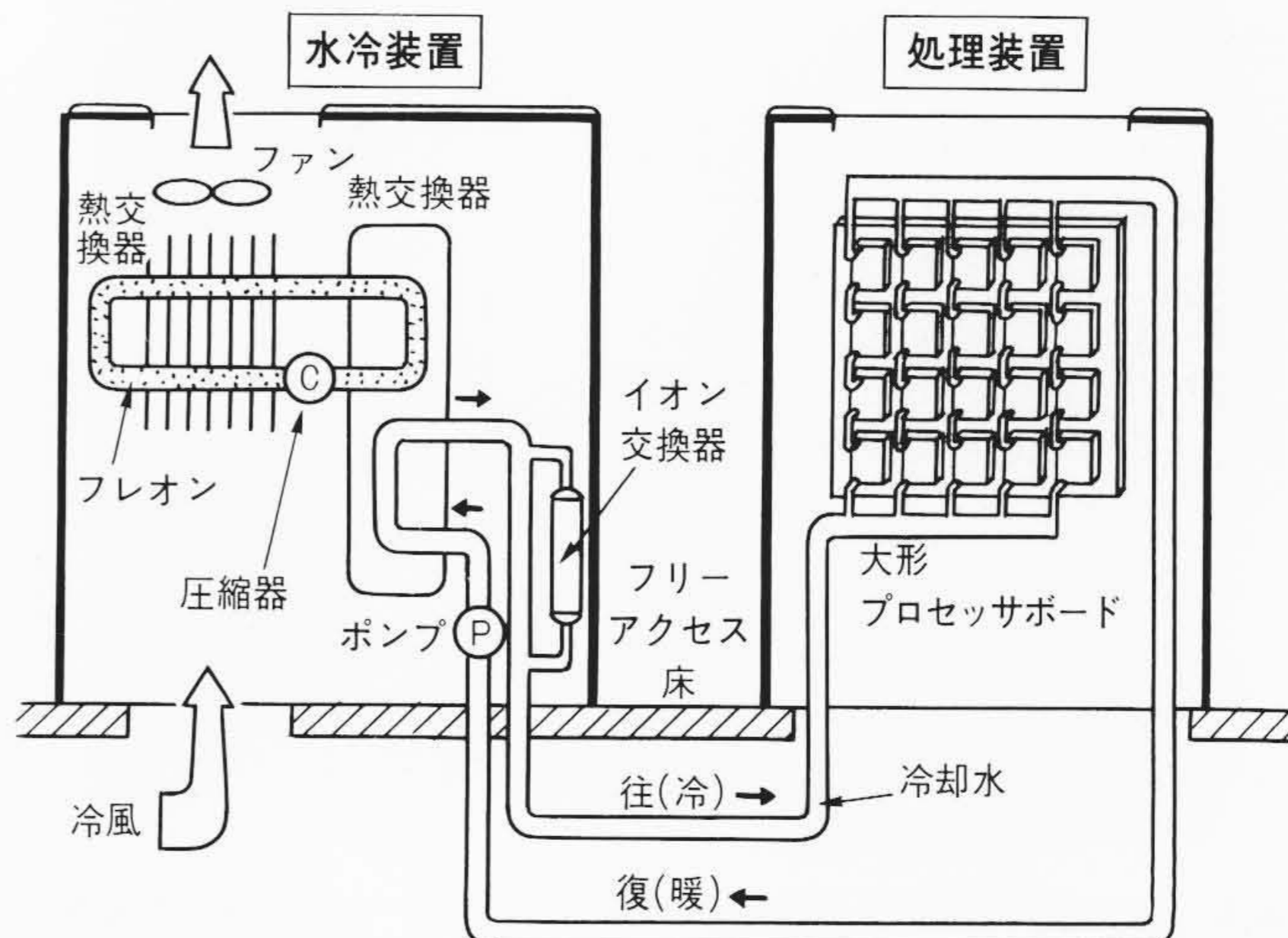


図7 循環水式水冷システム(空冷チラータイプの例) 水冷装置の熱交換器で25±2℃に制御された冷却水は、床下のホースを経由して大形プロセッサボードに送られる。冷却水の流路にはイオン交換器があり、水質の純度を一定に保つ。

る。高信頼性ハードウェアを実現するためには、部品点数の大幅な削減を図るとともに、部品およびそれらの接続の信頼性向上が大きな鍵(かぎ)を握る。

M-880では先に述べたように、超高集積LSIの採用によってシステム当たりの部品点数、接続点数はM-680Hに比べ $\frac{1}{2}$ 以下に減らすことができた。

LSIをはじめとするあらゆる部品、サブアセンブリに対し、熱履歴、機械的ストレス、薬液への浸漬など製造工程内で遭遇する環境条件をシミュレートし加速試験で評価を行い、製造工程内での信頼性劣化が起こらないように、材料、部品、プロセス、製造装置の仕様を決めた。

このようにして製造された装置の稼動状態での寿命を十分保証するために、部品、サブアセンブリ、装置の各レベルで高温放置、高温・高湿通電放置、温度サイクル、パワーサイクルなどの加速寿命試験で評価し、各部品の材料、構造仕様や、はんだボールの径などの接続部の仕様を決めた。

また、二次冷却系の冷却水の仕様、冷却水の経路の材質は、冷却水の水質および水温、冷却水の経路に当たる部品の材質を種々組み合わせた加速試験を数年にわたって行い、最も信頼性の高いものを選んだ。

以上のように徹底した信頼性評価結果をもとに、材料、部品仕様、プロセス仕様、製造設備の仕様を決めているが、大量生産の過程で不良を出さないために、製造の各段階では部品の機能テスト、自動外観検査などを適用することにより、徹底して不良の作り込みをなくしている。不幸にして混じり

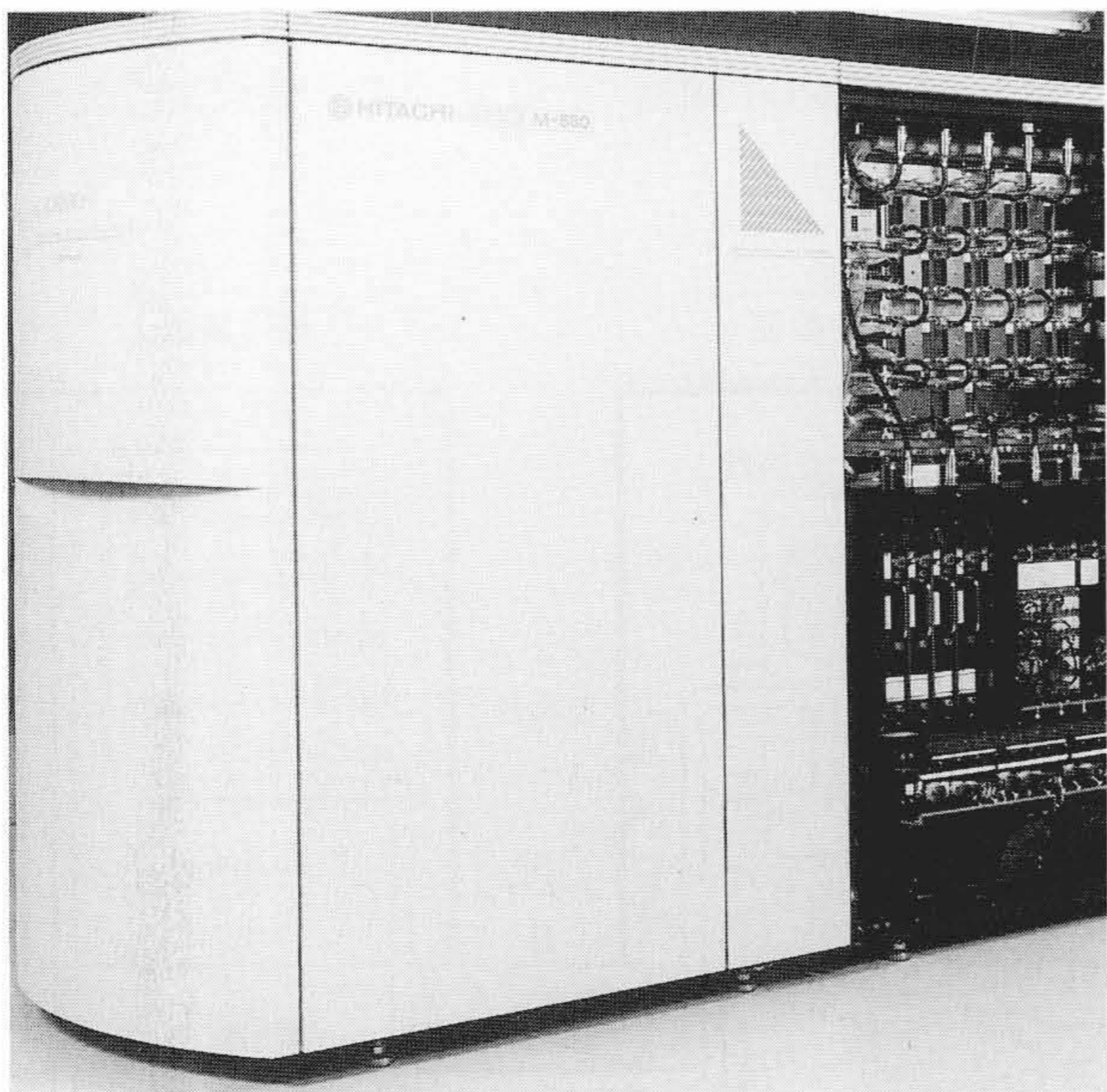


図8 M-880の筐体 筐体上部の高密度モジュールを搭載した命令プロセッサボードに、下部の小形直流電源からバスバーによって直流電源を給電する。水冷装置からの冷却水は、下から上に向かって流す。

込んでしまう不良をたたき出すために、単体部品、モジュール、ボード、装置の各レベルで、おのおののレベルに最適なスクリーニング技術を開発し、全数適用することによってハードウェアの信頼性の向上を図っている。

製品の安全性の面では、使用材料はすべて難燃性、不燃材を開発し使用しており、自己消火能力を持たせるとともに、短絡などの防止のために絶縁ギャップを設けるなど安全を十分考慮した構造とした。また、過電流検出、各種温度検出、結露センサなどの各種検出機構の強化を図り、RAS機能との連動により、システムの安全には万全を期している。

電界、磁界、伝導ノイズなどによる電子機器相互の干渉を避けるためのシールド強化、導電塗装などの施策も講じている。さらに、地震に対しても十分な安全性を得るために、装置の重心を低くして倒れにくい構造とするほか、装置をビルの床に固定する手段を装備している。また装置は、大形の振動台に載せて最大1G(1,000ガル)までの地震波を加え、部品が破壊したりコネクタの接触不良などによる誤動作を起こすことなく安全に稼動することを確認している(図8)。

9 結 言

以上、超高速処理性能と高い信頼性を特徴とするM-880プロセッサグループを実現するために開発した高速・高集積半導体技術、高密度実装技術について述べた。

ここに述べた最新のハードウェア技術は、M-180以来培ってきた設計自動化の技術、検査診断技術、信頼性評価技術に加え、プロセス設備、製造設備、検査設備などの高度な生産技術とプロセス技術の開発によって初めて可能となったものである。設計面では、電気部品の特性を評価するための三次元電気特性解析プログラム、回路解析プログラム、熱応力解析プログラムなど高精度なソフトウェアシミュレーション技術を駆使し、設計評価の高精度化と効率化を図った。さらに、新しい材料、部品の開発では、社外の多くのメーカーの絶大な協力を得てきた。M-880は、社内外の多くの人々の指導・協力の結晶であり、この開発で培った貴重な経験、財産を今後さらに発展させ、より良いシステムの開発を目指して努力していきたい。

参考文献

- 1) 小林, 外: HITAC M-680H/M-682Hのハードウェア技術, 日立評論, 67, 12, 993~998(昭60-12)
- 2) 磯村, 外: A 36 Kb/2 ns RAM with 1 KG/100 ps Logic Gate Array, 1989 International Solid-State Circuits Conference, Digest of Technical Papers, 26~27(1989-2)
- 3) 牛房, 外: ムライト-ガラス系基板材料の検討, 日本セラミック協会学術論文誌, 98, 4, 377~383(平2-4)