

マルチワイヤ配線板の開発

Developement of MULTIWIRE Interconnection Boards

最近の配線板への要求は、多種少量化、配線の高密度化、高速化などますます高度化している。日立化成工業株式会社は、アートワークを用いず、ワイヤにより直接配線パターンを描くマルチワイヤ配線板システムを、アメリカ、コールモーゲン社から導入し、布線機、材料、製造プロセスなどを開発した。

その特性は、接続故障率0.1FIT以下、交点部絶縁破壊電圧500V以上であり、1層当たりの配線収容力は、印刷配線2層に相当し、特性インピーダンスの制御ができ、高速回路にも適用できる。本稿は、マルチワイヤ配線板の特長、システムの全容、信頼性などの特性について紹介する。

浅井昌英* Asai Masahide

上山宏治* Kamiyama Hiroharu

福富直樹** Fukutomi Naoki

1 緒言

マルチワイヤ配線板は、多種少量の高密度、高速回路用配線板に最適の製造システムとして、1970年にアメリカのコールモーゲン社フォトサーキットディビジョンより発表された¹⁾。この技術は、1973年に、日立化成工業株式会社が技術提携し、材料の開発、国産布線機の開発、製造プロセスの確立を行ない、1975年より本格的に製造、販売を行なっている²⁾。

本技術は、電子装置における実装技術の変化に、すべての点でバランスよく対応できるよう開発されているが、その最大の特長は、絶縁電線(以下、ワイヤという)を用いて配線パターンを形成するため、同一平面で配線の交差が可能にあることにある。このことから派生する多くの特長があるが、同時に配線板に要求される基本的特性である接続信頼性と絶縁特性を確保するために幾つかの困難があり、その解決に時間を要した。本稿は技術上の特長を解説するとともに、システムの全容を紹介し、その信頼性などマルチワイヤ製品の特性について述べる。

2 配線板の動向とマルチワイヤ配線板の特長

電子装置における配線の重要性は言うまでもないが、半導体素子の進歩は、配線を主体とした実装技術に大きな変化をもたらした。すなわち、トランジスタ、ダイオード、抵抗などの個別素子から集積回路へと発展し、その集積度の増加に伴い、従来、印刷配線板(以下、MLBという)レベルで受け持たれていた配線が、集積回路内に収容されて、配線におけるハイアラーキが変化してきた。更に、電子装置の処理量、速度、多機能などの高度化はとどまるところを知らず、実装技術に重要な位置を占める配線板へも、図1に示すような問題が発生してきた^{3)~5)}。これらを要約すると、高密度で、高速回路に適用でき、配線修正の容易な多品種少量の高信頼性配線板を経済的に製造することである。この各項目に、バランスよく対応することは、従来の配線板製造システムでは困難がある。

例えば、MLBは、本来、大量生産による効果を追求した手法であり、少量生産では、リピータビリティ確保技術であるアートワーク工程が、コスト面でも工程面でも無視できない比重を占めるようになる。また、基板加工工程でも自動化

が難しく生産性が低下する。したがって、このような分野での配線板は、アートワークの不要なワイヤラップ配線板、マルチワイヤ配線板(以下、MWBという)などが有利である。

高密度配線は、集積回路により達成された高密度化を、パッケージ段階においてもでき得る限り保持し、装置を小形化、高速化するための要請であって、MLBでは、配線パターンの細密化、多層化が進んでいる。

MWBは、図2に示した構造を持ち、1層で印刷配線の2層と同等の配線収容力があり、本質的に有利である。

回路の高速化には、配線長を短くして伝送時間を短縮するほか、特性インピーダンスを整合させてノイズを少なくすることなどが必要である。MWBは多層構造となっているため、特性インピーダンスの制御が可能である。

配線の変更は、設計段階ではもちろんであるが、基板の製作後も実用上しばしば行なわれるが、MWBはアートワークを用いないから、設計更新も比較的容易であり、基板段階での修正も容易に行なえる。

また、従来のMLBでは、はんだ付け時のはんだブリッジなどの修正にかなりの工数を要していたが、MWBの導体は、オーバレイにより覆われているため、その必要はほとんどない。

このように、MWBは実装技術上の要求にこたえる多くの特長を持っており、その適用分野も数値制御機、電子計算機、及びその周辺機器などの産業用機器から、航空機器、軍用分野にまで広がっている。

なお、以上述べた配線板製造上の問題に対処する手法として、PCC法⁶⁾、Stitch Weld法⁷⁾、RBS法⁸⁾などが開発されているが、これらの問題点を総合的に解決するには至っていないようである。

3 マルチワイヤシステム

マルチワイヤシステムの特長は、コンパクトな電子計算機システムによるComputer Aided Design(以下、CADと略す)と数値制御機械によってサポートされた製造、検査工程にある。図3にその構成を示す。

以下に、主要工程について述べることとする。

* 日立化成工業株式会社下館工場 ** 日立化成工業株式会社下館研究所

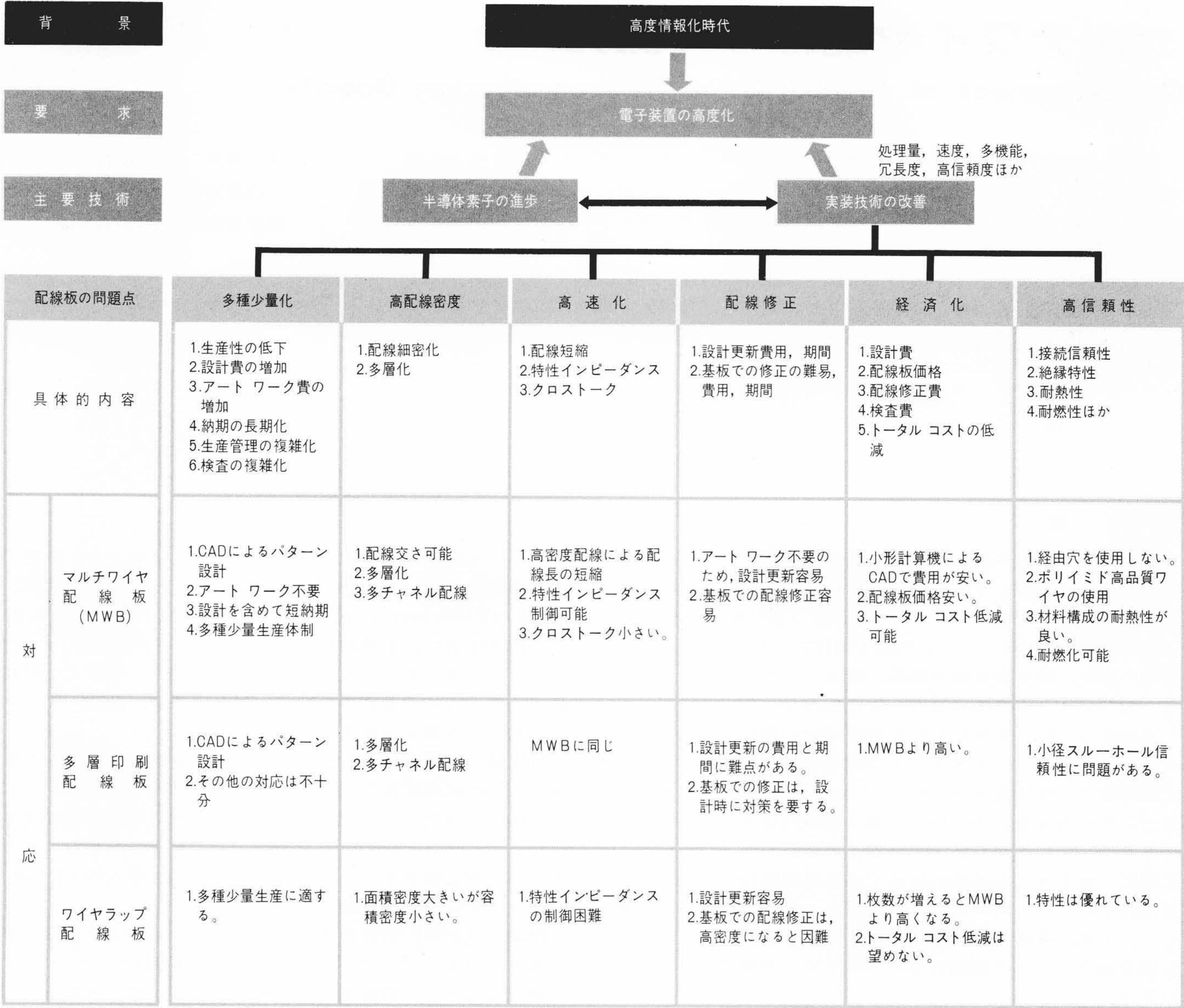


図1 配線板の動向とマルチワイヤ配線板の特長 マルチワイヤ配線板は，多種少量化，高密度化，高速化など，最近の配線板に要求されている項目にバランスよく対応できる。

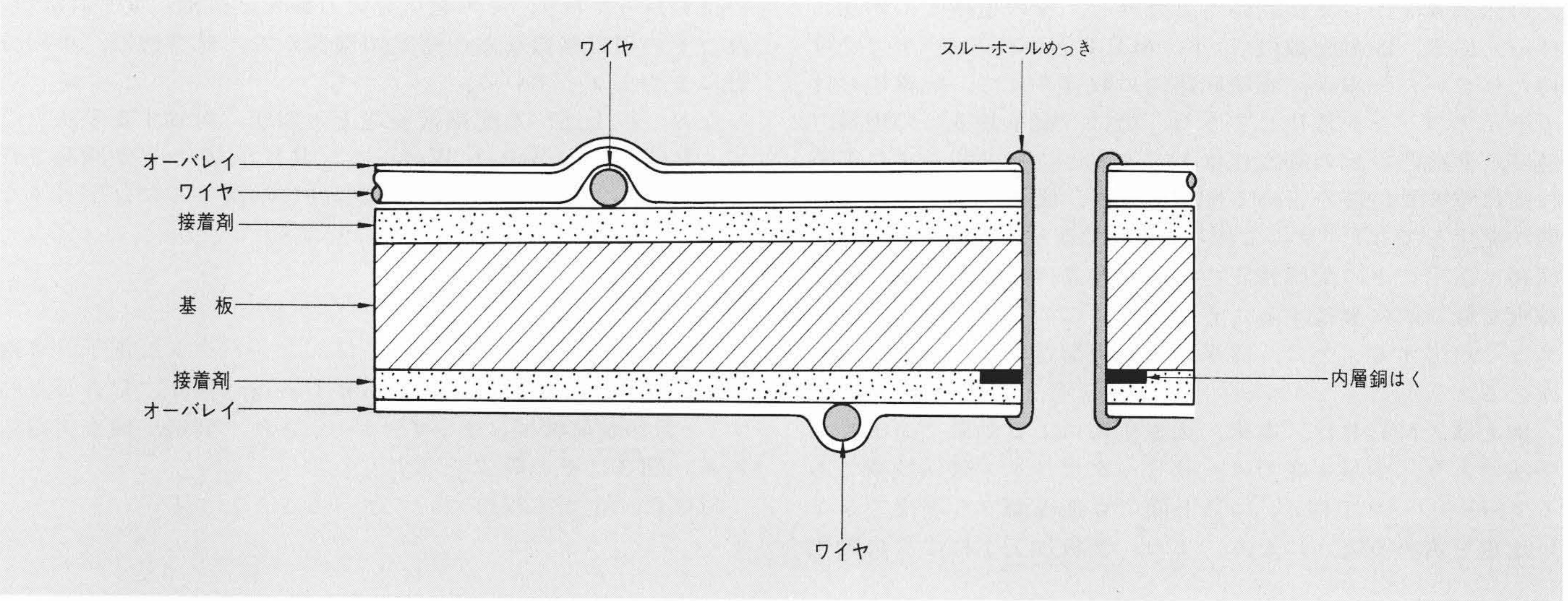


図2 マルチワイヤ配線板の構造 マルチワイヤ配線板は，基板上に厚さ0.2mmの接着剤をラミネートした後，ワイヤを布線し，オーバーレイで固定する。ワイヤ端末はスルーホールと接続する。

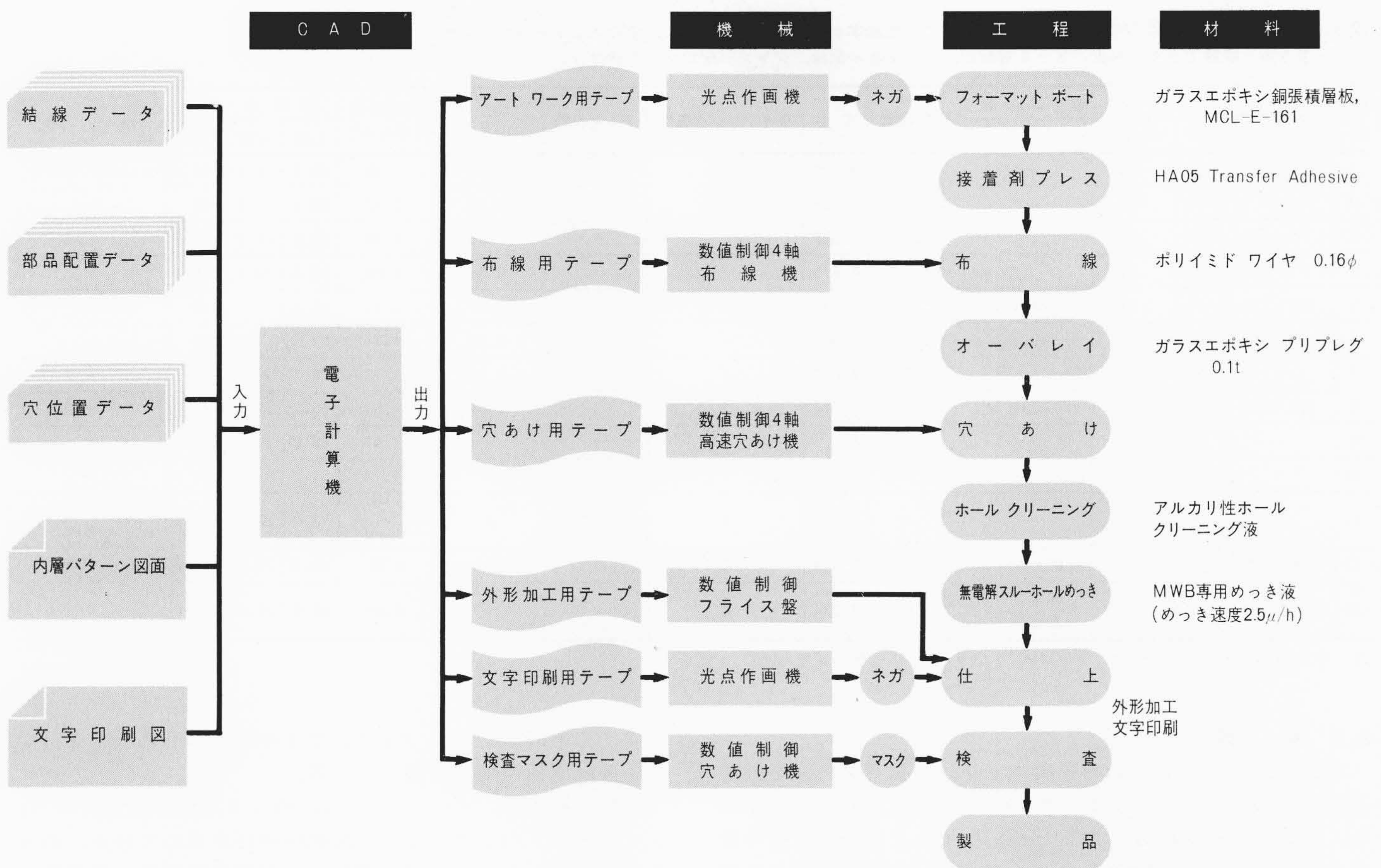


図3 マルチワイヤ システムの概要 マルチワイヤ システムは、自動配線プログラム、数値制御用テープ作成プログラムを中心としたCAD、及び数値制御機械によりサポートされた製造工程並びに各種の材料から成っている。

3.1 設計

一般に、配線板の設計は、論理設計を基に、割付、部品配置、配線レイアウトの手順で行なわれるが、MWBシステムでは、このうち約80%の工数を占める配線レイアウトだけCADで行なっており、割付及び部品配置はユーザーの設計システムに依存している。したがって、ここで述べるCADは、ユーザーの配線データ、部品配置データなどから配線ルートを決し、製造に必要な数値制御テープを作成する工程である。

図4に、配線面積と総配線可能長さの関係を示したが、MWBは一面でX、Y両方向に配線するから、MLBの2倍の総配線可能長さを持っている。

このことから、2倍の配線収容力を持つことが期待されるが、同一データによって試設計した結果、このことは確認されており、MWBの標準構成である配線2層、電源、接地各1層による構成は、6層MLBと配線密度、電気性能ではほぼ同等である。

また、MLBでは交差配線のための層間経由穴（スルーホール）が必要であるが、MWBにはその必要がなく高密度配線でスルーホールネックを生ぜず、信頼性の面でも有利である。

表1に代表的な設計例を示した。CADによる配線率は、98%以上が普通であり、残った未結線も人手指示により、容易に配線ルートを決しできる。

これまでに製作したMWBの設計データ、及び現在用いている電子計算機システムの限界を考慮して、3種のMWBの適用範囲を図5に示す。

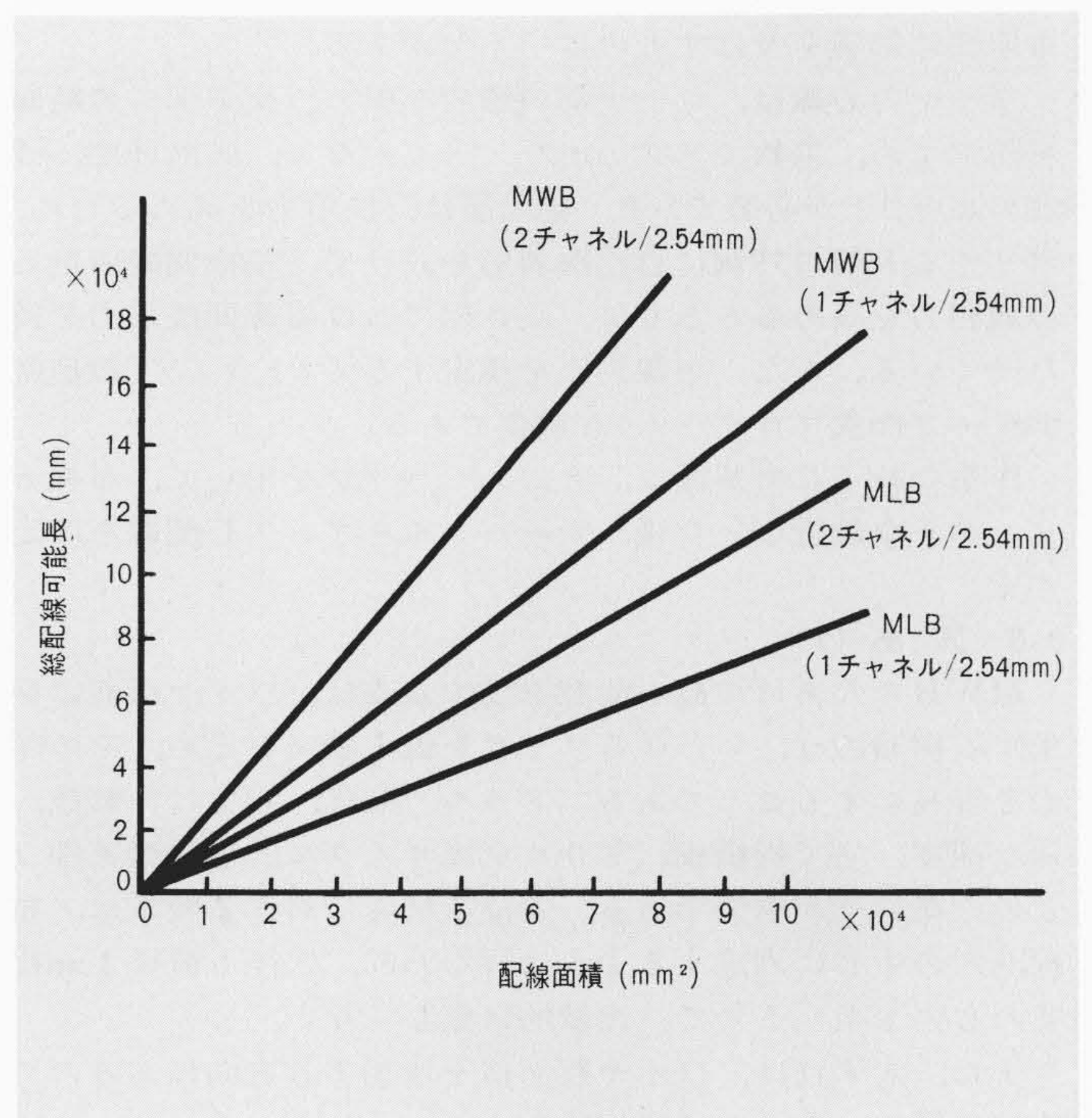


図4 配線板の大きさと総配線可能長さの関係 2.54mm格子間に1本の配線をする1チャンネル方式と2本配線する2チャンネル方式について、MWBとMLBの配線収容力の比較を示した。MWBはMLBの2倍の配線収容力がある。

表1 マルチワイヤ配線板設計例 CADによる配線率が、98%以上の場合、人手介入により容易に2層に収容できる。収容できない場合、3～4層配線、2チャンネル配線、ジャンパ配線などを行なう。

No.	配線板サイズ	搭載部品数			配線数	穴数	ワイヤリング層数	チャンネル数	IC密度 (DIPS/in ²)	配線密度 (本/cm ²)	配線率(%)			用途
		IC*	RCなど	接せん、コネクタ							A面	B面	計	
1	460×305	208	155	186ピン	1,908	4,129	2	1	0.96	1.36	88.3	10.9	99.2	ロジックボード
2	"	58	203	"	1,025	3,625	"	"	0.27	0.73	96.2	3.8	100	"
3	"	193	67	"	1,824	4,392	"	"	0.89	1.30	88.5	11.2	99.7	"
4	"	192	37	"	1,746	4,676	"	"	0.88	1.24	86.8	13.1	99.9	"
5	220×290	121	81	220ピン	1,128	2,200	"	"	1.22	1.77	95.3	4.7	100	"
6	425×305	139	152	292ピン	1,694	3,633	"	"	0.69	1.31	92.3	7.7	100	"
7	"	180	260	"	2,323	4,002	"	"	0.90	1.79	78.3	18.8	97.1	"
8	226×176	96	—	100ピン	722	1,577	3	1	1.56	1.82	55.7	29.4	85.1	"
9	"	"	—	"	785	"	"	"	"	1.97	60.0	31.1	91.1	"
10	"	"	—	"	694	"	"	"	"	1.74	51.7	25.6	77.3	"
11	"	"	—	"	"	"	2	2	"	"	73.3	26.1	99.4	No.10を2チャンネル化したもの
12	456×325	—	—	60ピン×38	940	2,544	3	1	—	0.63	63.4	28.5	91.9	バックボード
13	445×199	—	—	60ピン×52 30ピン×16	613	3,834	4	"	—	0.69	47.6	22.2	69.8	"

注：*集積回路(IC)は、16ピンデュアルインラインパッケージである。

3.2 布線

布線は、数値制御自動布線機により、配線パターンを直接基板上に描くもので、マルチワイヤシステムの基本工程である。布線の原理を図6に示したが、ワイヤを半硬化状態の接着剤に連続的に溶融接着していくもので、加熱、冷却を自由に制御できる超音波加熱方式を用いている。

振動系は、リーフスプリングにより保持され、既に布線されたワイヤを自由に乗り越えて布線できる。

高精度の布線を実行するためには、布線ヘッドの構造及び調整、動作タイミングの設定などに微妙な要素があり、その使いこなしにある程度の経験と熟練を必要とする。その他、布線性に影響を及ぼすものにワイヤがある。

ワイヤの心線は、コーナ部の精度を保ち、交さ部での断線を防ぐため、柔軟でスプリングバックがなく、破断伸び、強度の高いことが必要である。絶縁層は、接着力を高めるため、ポリイミド層の外側に自己融着層を設けて、基板側接着剤との親和力を高めるとともに、交さ部における線間接着力を持たせている。また、布線動作を規定するソフトウェア(数値制御テープ作成プログラム)も重要である。

作業の終了した基板は、チェックマスクを用いて、布線チェックを全数行なった後、オーバーレイをプレスし配線を固定する。

3.3 穴あけ

MWBの穴あけで最も注意を要する点は、ワイヤ断面に発生する樹脂汚れ、いわゆるスミアを最小限にとどめ、その除去を容易にすることである。ドリルの形状、穴あけ回転数、送り速度、当て板構成、ドリル交換サイクル、再研磨条件などの作業管理が重要である。穴位置精度に対する要求は、布線が穴の中心に到達するように行なわれ、穴径も直径1mm程度のものを用いるので、比較的厳しくない。

また、穴ずれは、ワイヤ断面積を増加する方向にあるので、接続信頼性はかえって増加する。

3.4 めっき

めっき前処理として、アルカリ性ホールクリーニング液によりホールクリーニングを行なう。この浴は、スミアの主成分である接着剤を効率よく溶解し、同時にワイヤ被膜のポリ

イミドを約50μエッチングして、ワイヤ周辺にもめっきを行ない、接続面積の増加を図っている。

基板、接着剤、オーバーレイには、めっき触媒を含んでおり、シーディングの必要がなく、接続信頼性を高めている。めっき液は、マルチワイヤ用に開発した専用無電解めっき液で、約40μのスルーホール銅めっきを行なう。めっき時間は、約20時間を要し、自動コントローラにより、銅イオン濃度、ホルマリン濃度、pHなどを分析、調整して自動運転している。

4 マルチワイヤ配線板の主要特性

4.1 接続信頼性

ワイヤ端末の接続は、穴あけにより切断されたワイヤ断面に無電解銅めっきを施したスルホールである。

ワイヤの断面積は、銅はくのランドを用いた接続に比べて、

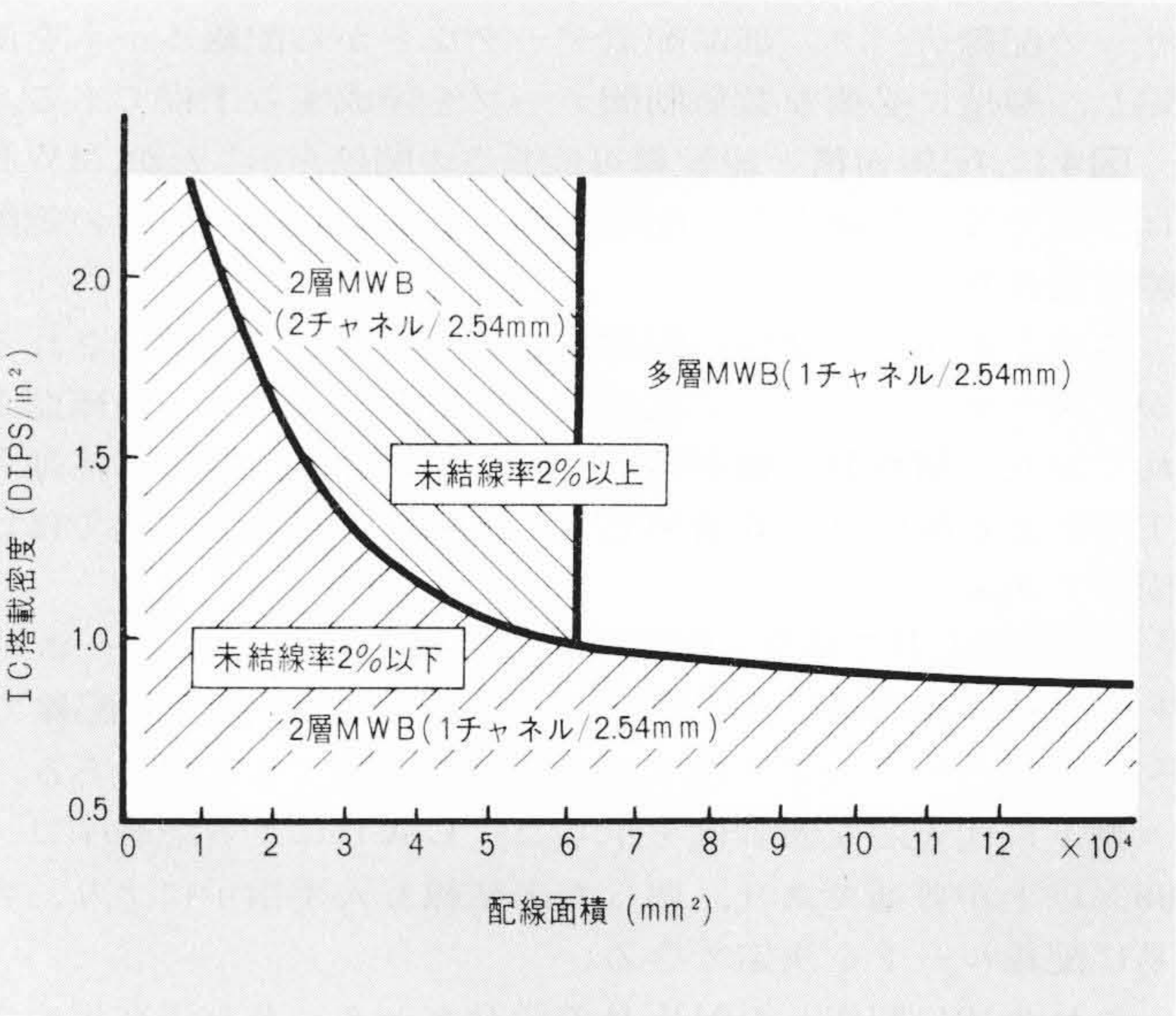


図5 マルチワイヤ配線板の適用範囲 標準MWB(2配線層, 1チャンネル)で未結線率2%以上のものは、多層化、又は2チャンネル化により配線を収容できる。

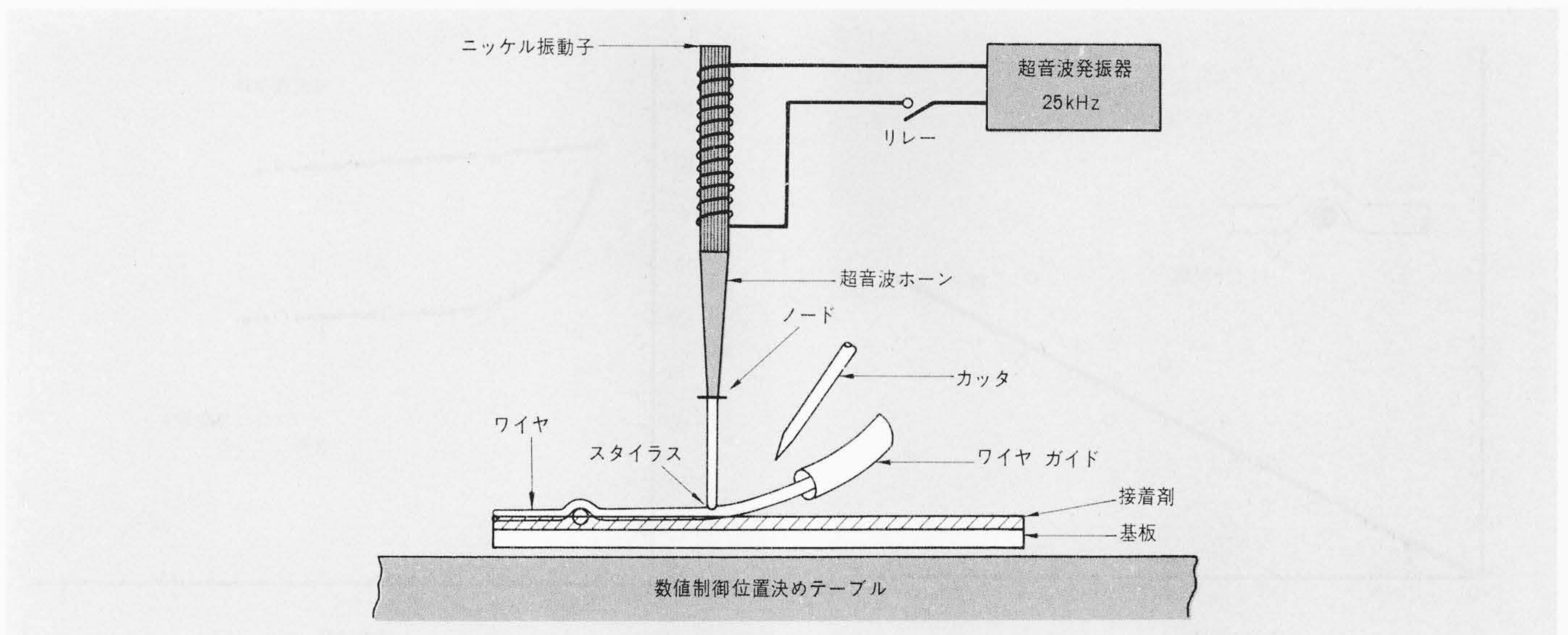


図6 布線の原理 数値制御テーブル上に真空吸着された基板の接着剤を、超音波振動により加熱溶融させて、ワイヤを接着する。布線の終端でカッターが動作して、ワイヤを切断する。

50%以下であるが、特殊なめっき法により、その接続強度はワイヤ強度の80%以上あり、信頼性は極めて高い⁹⁾。接続信頼性を劣化させる最大の要因は、ワイヤ断面に発生するスミアであり、その抑止技術、除去技術に多大の努力を払った結果、安定した製造技術を開発した。

接続信頼性は、加速試験により推定でき、各種の試験条件があるが、ここでは一般によく適用されているホット オイル試験と温度サイクル試験(MIL STD 202E 107D Cond. B)の結果を示す。

図7に、比較的品质の悪いロットでのホット オイル試験結果を示す。従来、MLBの評価に使われている260℃10秒間の浸せきサイクルでの故障の発生は、50サイクル以後であり、MLBが20回以内で故障が発生する¹⁰⁾のに比べて耐熱性、信頼性が優れている。これは、MWBの構造が比較的軟らかい接

着剤によりワイヤを支持しているため、高熱時にストレスが逃げやすいこと、めっき銅がダクタイルなこと、スルーホールがランドレス構造であることなどの効果によるものと思われる。

表2に、温度サイクル試験結果を示す。

試験No. 1 及びNo. 2は、それぞれ単一のロットの結果であり、

表2 接続信頼性試験 三次にわたる試験結果を示した。テストパターンは、MWBで使用される4種の接続モードを均等に含んでいる。

試験 No.	試験点数	MIL STD 202E 107D Cond. B			備 考
		サイクル数	故障点数	推定故障率(FIT)	
1	34,000穴	200	0	0.019	単一ロット
2	38,000穴	〃	〃	0.017	単一ロット
3	22,000穴	140	2	0.14	22ロットから各 1,000穴抜き取り

注：試験条件 125℃30分⇄常温5分⇄65℃30分
故障率の推定は、信頼水準60%で行なった。
加速係数は、3,000とした。

表3 予備加熱による故障率の変化 部品交換時のMWBに対する損傷を想定して、予備加熱の程度と故障倍率の関係を示した。

予備加熱	故障増加倍率(倍)	予備加熱	故障増加倍率(倍)
なし	1	260℃ 60秒 1サイクル	1
260℃ 10秒 5サイクル	"	260℃ 120秒 1サイクル	約10
260℃ 30秒 5サイクル	約20	300℃ 30秒 1サイクル	約50
300℃ 10秒 5サイクル	2	300℃ 60秒 1サイクル	"
300℃ 30秒 5サイクル	約100	300℃ 120秒 1サイクル	約60

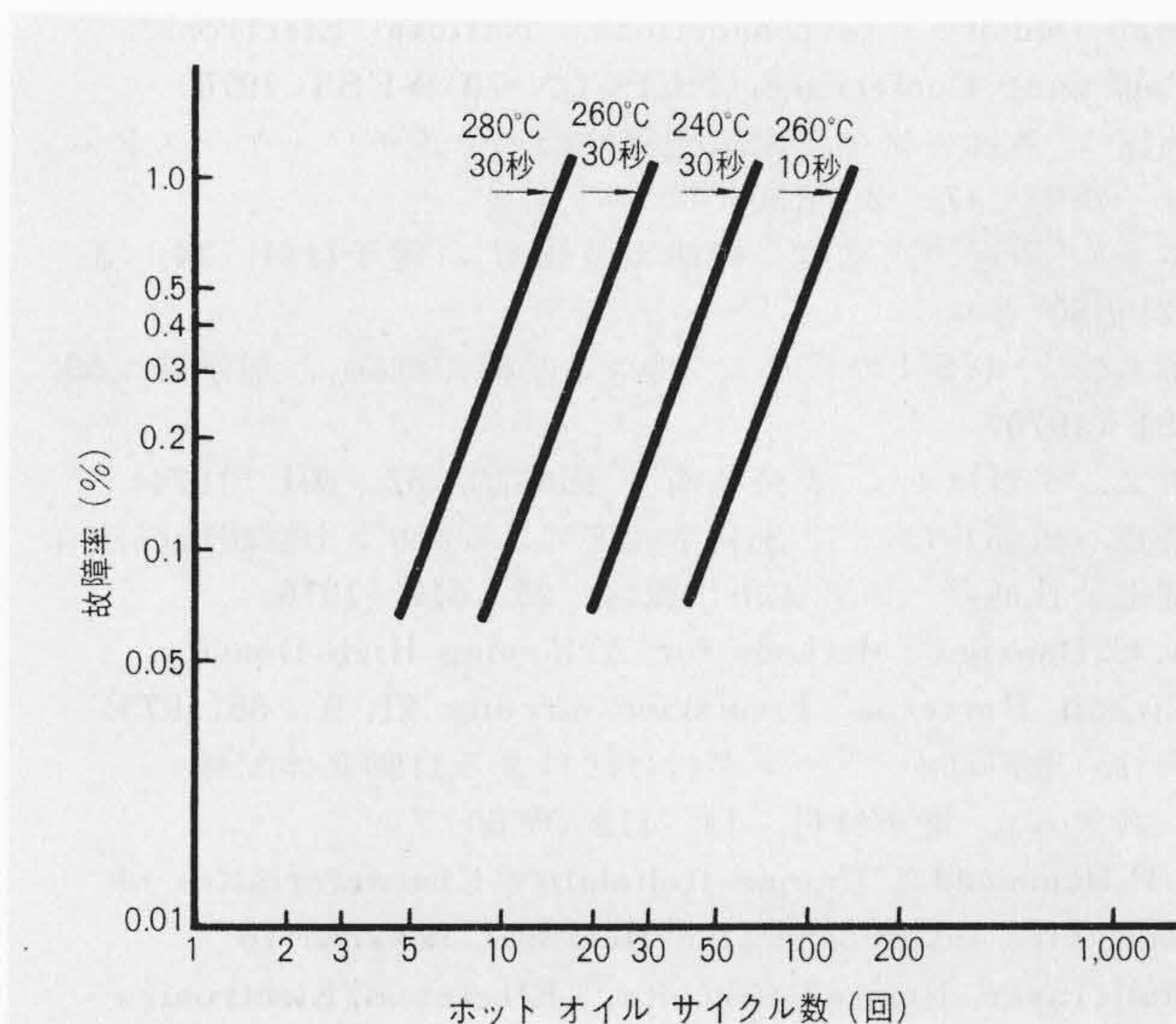


図7 MWBのホット オイル試験 各種ホット オイル条件によるサイクル数と故障率の関係を示した。

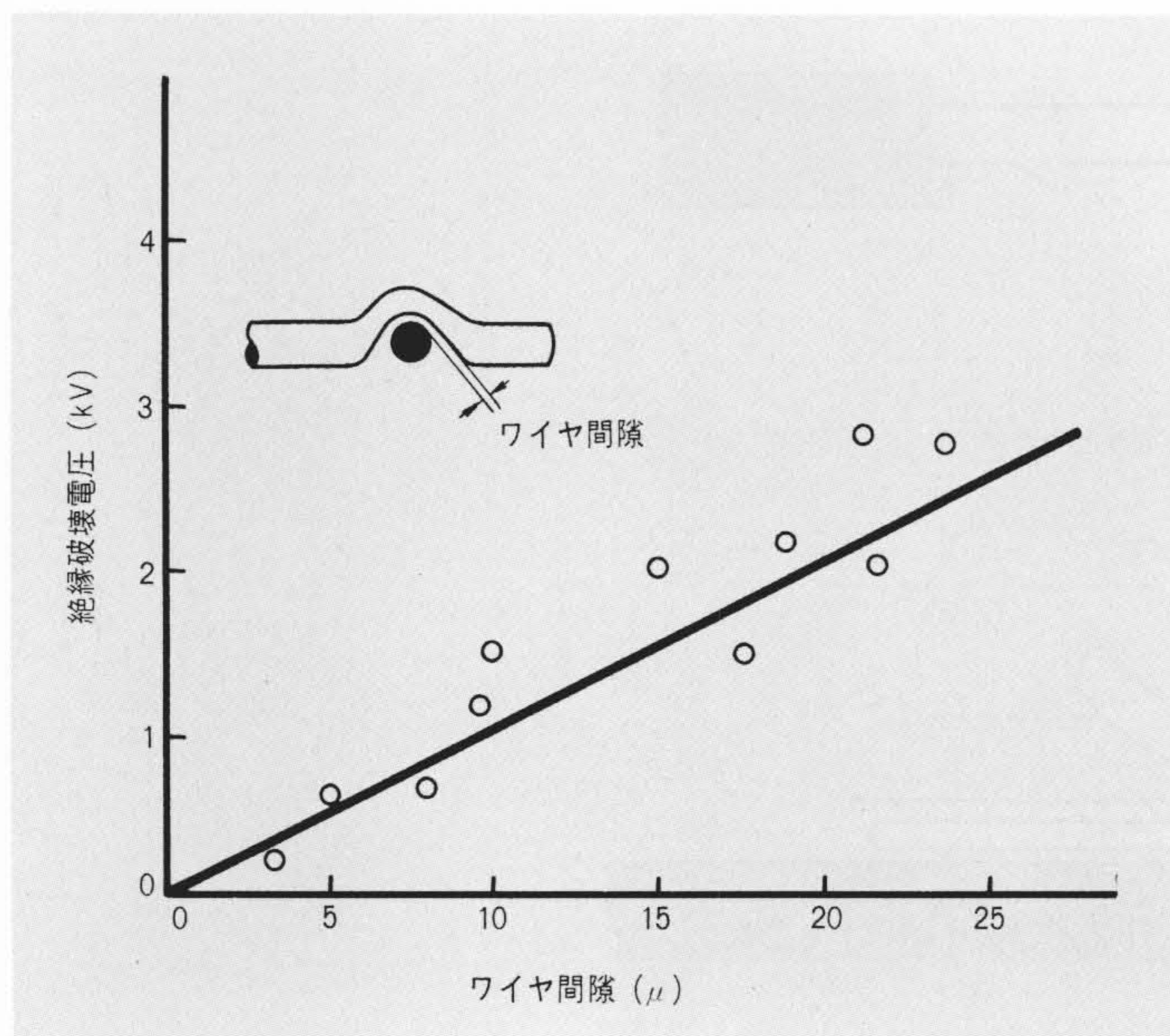


図8 ワイヤ交さ部の絶縁破壊電圧 ワイヤ交さ部の絶縁破壊電圧は、ワイヤ間隙により決定し、そのこう配は約100V/μである。

No. 3 は、22ロットからサンプリングして実施した結果である。この結果及びフィールドでの実績から、故障率は0.1FIT以下のレベルにあるものと推定できる。

部品交換時の加熱処理の影響を見るため、ホット オイル試験と温度サイクル試験とを組み合わせで行なった試験結果を表3に示す。試料は、比較的悪いロットからサンプリングしたもので、ホット オイルによる前処理の効果が出やすくなっているが、10秒間の加熱では、260°C、300°C共に顕著な故障率の増大はないものの、30秒間の加熱では明らかに故障率が増大し、時間の影響の大きいことが明らかになった。これは、板の内部温度が約30秒で平衡点に達してスルーホールに最大の応力を生じ、また基板の耐熱限界を超えるためである。

4.2 交点特性

ワイヤ交さ部の導体間は、ポリイミド被膜により絶縁されており、その絶縁破壊電圧は通常3kV以上である。しかし、被膜が偏肉していたり、交点部に機械的損傷を与えたり、化学的浸食があると絶縁破壊電圧が500V以下になる場合がある。

図8は、被膜に偏肉がある場合のワイヤ間隙と絶縁破壊電圧の関係である。ワイヤの被膜を最小8μと規定し、500V以上の絶縁破壊電圧を保証している。

絶縁抵抗は、ワイヤ交さ40点を含むパターンで、常態 $4.3 \times 10^{11} \Omega$ 、煮沸2時間後 $1.4 \times 10^9 \Omega$ である。高湿度下の絶縁抵抗劣化は、接着剤の特性が支配的であり、交点部の劣化は少ない。

図9に、接着剤の耐湿特性を示した。

5 結 言

以上、MWBの特長、システムの概要、信頼性などについて述べた。

エレクトロニクス パッケージは大規模集積回路(LSI)化に伴う一大転換期を迎えているが、使用される配線板についても、多種少量、高密度化など、従来技術の延長では対処し切れない問題を含み、新技術の開発が急務となっている。MWBは、これらの要求にこたえる最も有効で、将来性のある技術と信じる。

その特長は、いろいろな分野への展開が可能であり、国内

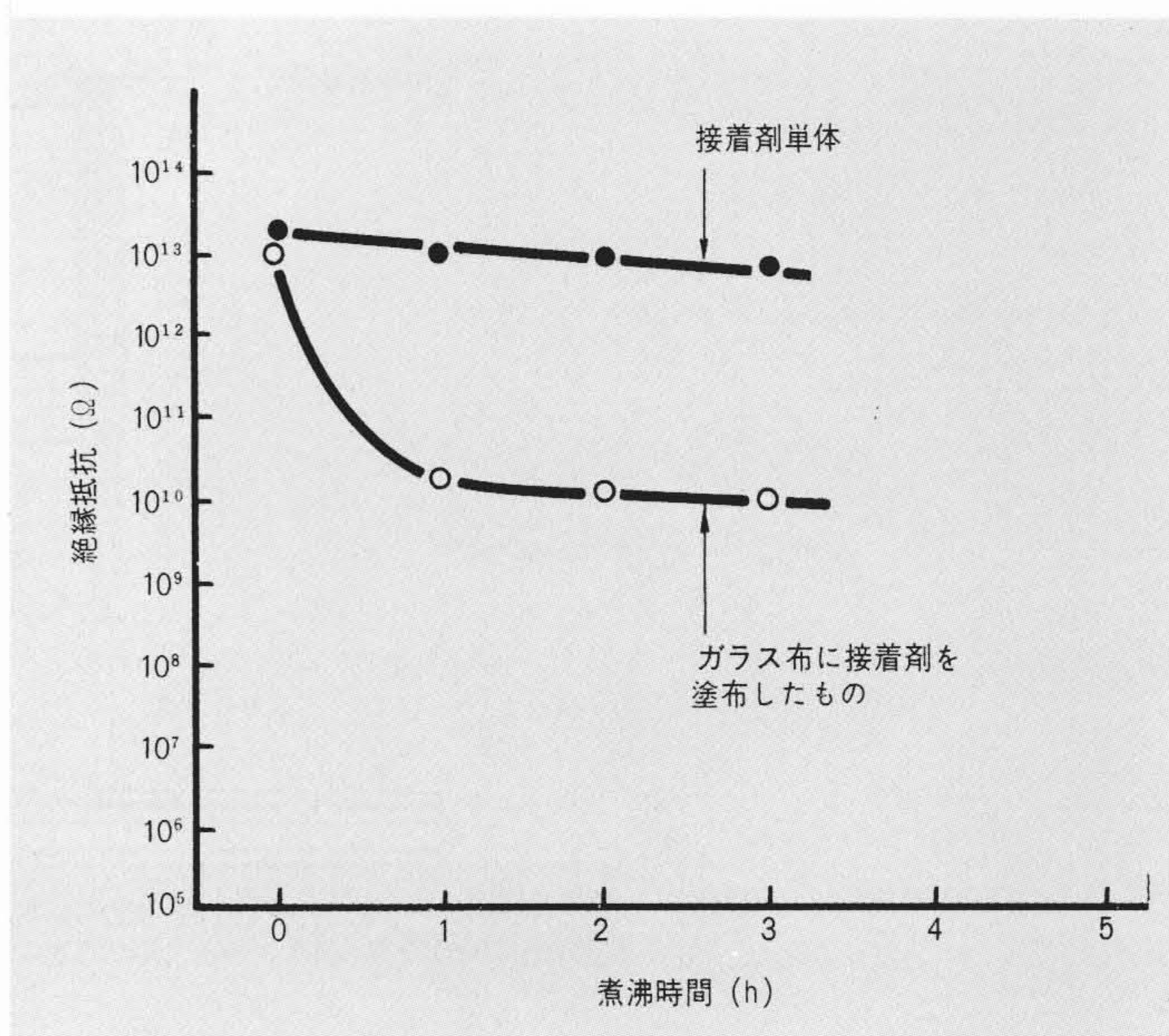


図9 接着剤の絶縁特性 マルチワイヤ配線板の絶縁特性を決定する接着剤(HA05)の絶縁特性を示した。

外で応用技術の開発が積極的に進められている。我が国での今後の方向としては、本技術の本格的普及を図るとともに、多層化、多チャンネル化、細線化、耐燃化など新技術の開発を進めている。これらについては、次の機会に紹介したい。

終わりに、このMWBの開発に際し、多大な御助言、御協力をいただいた日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所、株式会社安川電機製作所、株式会社日立製作所、日立精工株式会社の関係各位に対し深謝するとともに、日立化成工業株式会社関係各位にも謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) R.P.Burr, R.J.Keogh, "A New Simplified Approach To High Density Interconnections." National Electronic Packaging Conference. (NEPCON 70 WEST. 1970)
- 2) 福富：「多種少量生産用新配線技術・マルチワイヤシステム」, 電子技術, 17, 2 (昭50-7)
- 3) 本多：「最近の高密度多機能実装技術」, 電子材料, 14, 3, 22 (昭50-3)
- 4) 小木曾：「LSIの普及とプリント基板の動向」, 信学誌, 59, 181 (1970)
- 5) 川又, 小野ほか：「実装技術」, 信学誌, 57, 801 (1974)
- 6) 奈良, 田部井ほか：「光化学反応によるプリント回路形成法」, 電電公社通研 研究実用化報告, 25, 617 (1976)
- 7) A. C. Danzig : "Methods for Achieving High Density Circuit Patterns" Insulation/circuits 21, 9, 36 (1975)
- 8) 大竹, 嵐田ほか：「ハンダ付け法による自動立体配線システム」, 電子材料, 14, 119 (昭50-7)
- 9) J.P.Hammond : "Unique Reliability Characteristics of Multiwire Interconnection Boards Compared to Multilayer Printed Circuits." Electrical/Electronics Insulation Conference (1975-10)
- 10) IPC Technical Report.; "Results of Multilayer Test Program Round Robin IV Phase 1"