

鉄板コア印刷配線板

Iron Core Printed Wiring Boards

一般の銅張積層板(ここでは、ガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板を指す。)を使用した印刷配線板に対し、重量部品搭載に適し、熱放散性、耐熱性、磁気シールドなどに優れた鉄板コア印刷配線板を開発し、実用化した。

この論文では、鉄板コア印刷配線板の特長と特性及びD10形電子交換機用に適用した電着塗装法による鉄板コア印刷配線板の実績をもとに、鉄板コア印刷配線板の寸法諸元や製造上の制約などを考慮した設計基準について紹介する。なお鉄板コア印刷配線板の適用分野や技術動向も述べる。

この鉄板コア印刷配線板は、重量部品を搭載し、その部品相互間をラッピング接続したような機能部品、又は装置の無布線化に対し、強力な武器となり得るものである。

永瀬寿重* Nagase Toshishige

矢口公一* Yaguchi Kōichi

佐藤 宏* Satō Hiroshi

板倉 栄* Itakura Sakae

1 緒 言

鉄板コア印刷配線板(Iron Core Printed Wiring Boards: IWB)は、あらかじめ穴あけした鉄板を心材(以下、鉄板コアと略す)とし、この鉄板コアをエポキシ樹脂で絶縁のために被覆し、その表面に所望の配線導体、及びスルーホールめっきを形成したものである。

鉄板コアの絶縁化には、

- (1) 電着塗装法(電気泳動法)^{1),2)}
- (2) 流動浸せき法³⁾
- (3) 静電粉体塗装法
- (4) 静電流動浸せき法
- (5) ほうろう引き(Enamel-coated)法⁴⁾

などがある。この論文では日立製作所が採用している電着塗装法について述べる。なお、この電着塗装法によるIWBの製造技術は、日本電信電話公社茨城電気通信研究所の協力のもとに開発、実用化したものである。

図1は、昭和53年度から商用化試験を開始した電子交換機新通話路装置用として適用しているIWBの一例を示すものである。

IWBは、鉄板を心材としているため、重量部品搭載に適し、熱放熱性、耐熱性に優れている。そのうえ、磁気シールドしたり、鉄板コアを磁気回路の一部として使用できるなどの特長をもっている。また、現在広く用いられているガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板を用いた印刷配線板よりも安価に生産できる特長をもち、将来性が期待できる。

一方、IWBの製造法は、銅張積層板を使用した一般の印刷配線板とは素材及び構造面で異なるため、設計・生産技術の点で異なる。

この論文では、電着塗装法により製造したIWBの特長、信頼性データ及び設計基準を紹介するとともに、IWBの適用分野と技術動向について述べる。

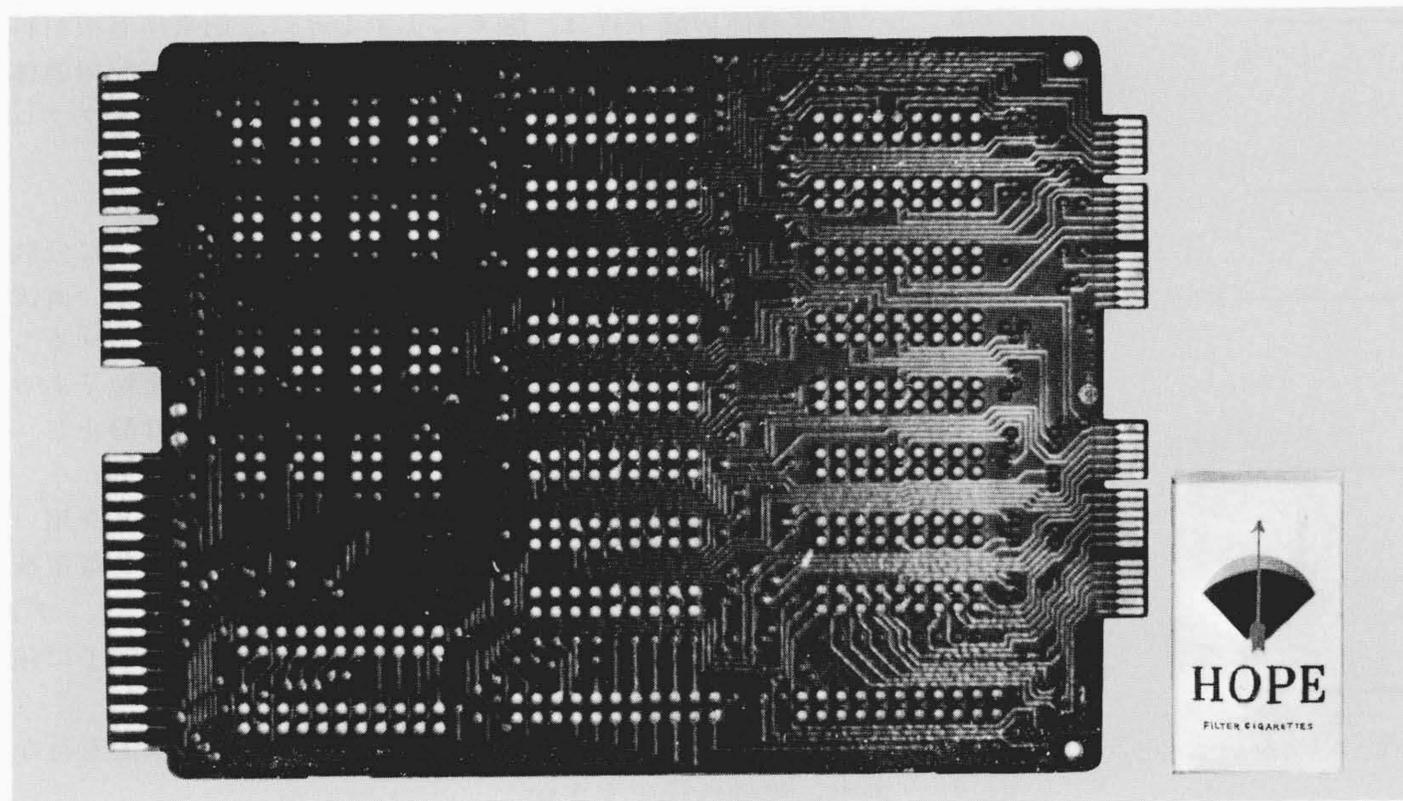


図1 鉄板コア印刷配線板の一例 電子交換機用として使用されているもので、193mm×268mmの大きさの中に約750穴のスルーホールが形成されている。

* 日立製作所戸塚工場

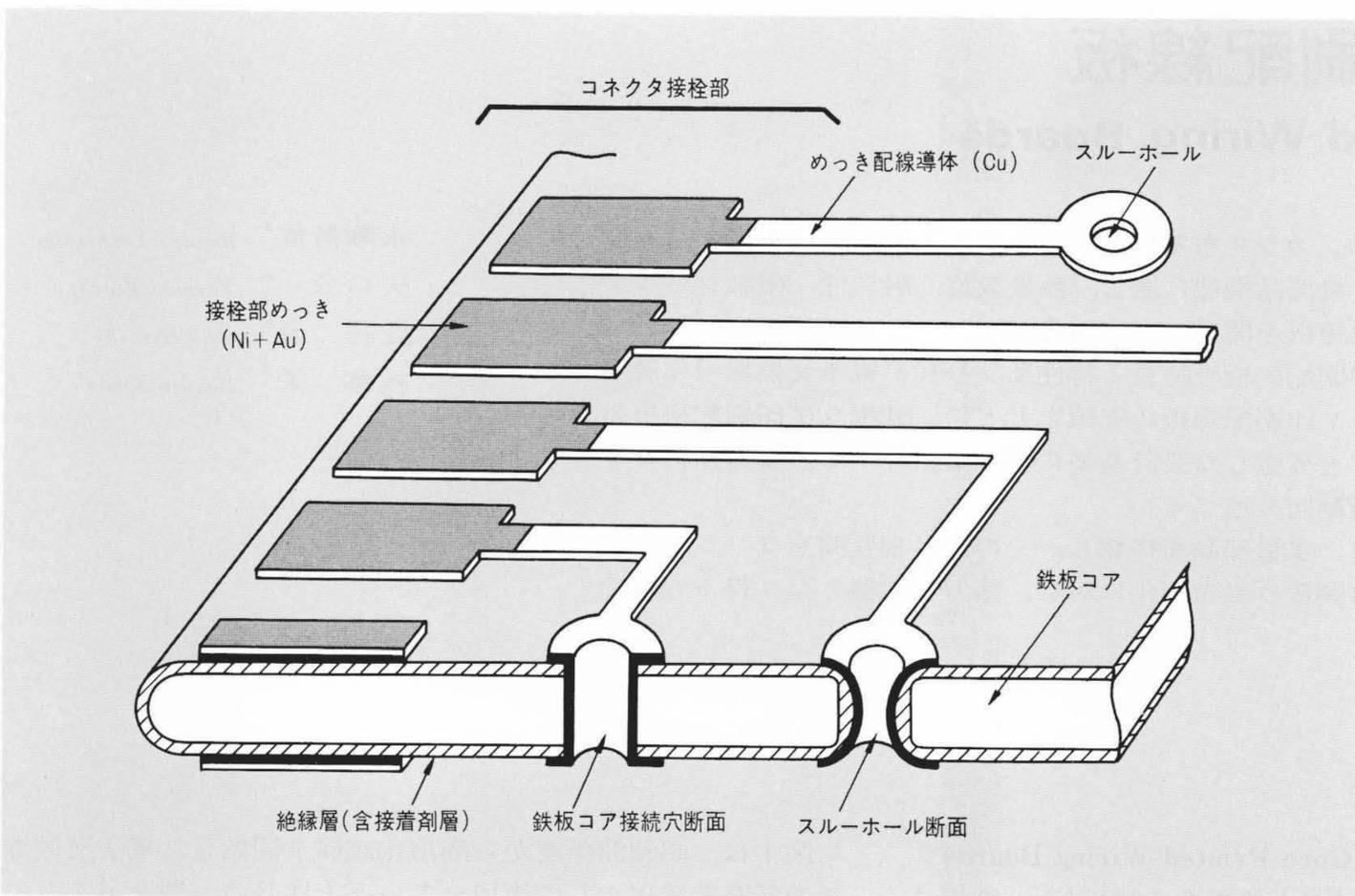


図2 鉄板コア印刷配線板の主要箇所構造図 スルーホール部断面コーナ部に丸味が生ずること、接地ランド部の接続により、磁気シールド、放熱効果などが期待できることが分かる。

2 構造及び製造法

2.1 鉄板コア印刷配線板の構造

今回開発、実用化したIWBは、比較的重量の重い電磁リレー部品などを搭載する目的(搭載重量:約5g/cm²)と、鉄板コアを磁気回路の一部として使用する目的から、鉄板コア材として、0.8~1.4mmの板厚のSPC(冷間圧延鋼板)鉄板を使用し、またコネクタとの嵌合から、仕上り板厚が1.6mmになるよ

うな構造のIWBである。この場合のIWBの主要箇所の構造図を図2に示す。

2.2 製造工程^{5),6)}

IWBの製造工程を図3に示す。この製造工程は、次に述べる三つの基本工程により構成されている。

- (1) 鉄板穴あけ・外形加工工程
- (2) 鉄板絶縁化工程
- (3) 配線導体形成工程

鉄板の穴あけ・外形加工は、生産量に応じてユニパンチプレス、又は専用型による一括同時抜きが可能である。

鉄板の絶縁化には、絶縁被覆厚さの均一性とその膜厚が薄く、将来の高密度配線化に対し有利であり、かつ熱放散性に優れた電着塗装法を採用した。

配線導体形成工程は、図4に示すように、銅張積層板材料を使用するのは異なり、銅箔の全くない状態から配線導体をめっき折出させるものであり、いわゆるアディティブプロセスである。

2.3 電着塗装法の原理

電着塗装法は電気泳動を応用した塗装法であり、水に分散された荷電樹脂微粒子の溶液中に被塗物の鉄板を入れ、直流電圧を印加することで鉄板上に絶縁被膜を付着形成させるものである。すなわち、分散媒(水)に懸濁した樹脂微粒子あるいはコロイドが電場下で移動する現象で、分散媒は静止し、樹脂粒子あるいはコロイドだけが移動するものである。

樹脂には、塗膜性能、耐熱性に優れたエポキシ樹脂を用いた。エポキシ樹脂はそれ自体水中に分散させても、荷電電荷は低いものにしかない。そこで、別に荷電材(バインダ)をエポキシ微粒子(パウダ)に被覆させ、エポキシ微粒子に強い荷電を起こさせるものである。

電着塗装後、加熱によってエポキシ樹脂の硬化反応を行なわせ、絶縁被膜ができる。

なお図5は、今回採用した電着塗装法の装置と原理図を示すもので、鉄板コアを陰極とした、カチオンタイプの電着塗装法である。

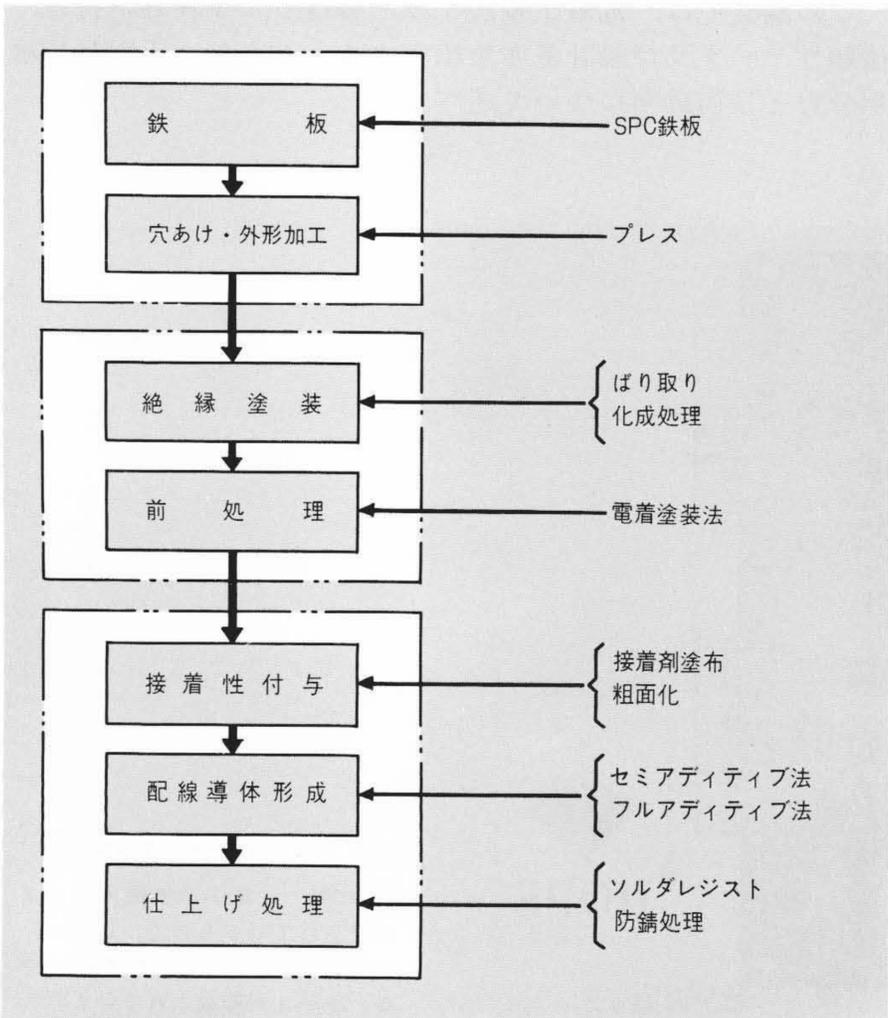


図3 鉄板コア印刷配線板の製造工程 二点鎖線で囲まれた三つの基本工程ブロックにより構成されている。絶縁塗装は、高密度配線化、熱放散性に優れた電着塗装法を採用した。

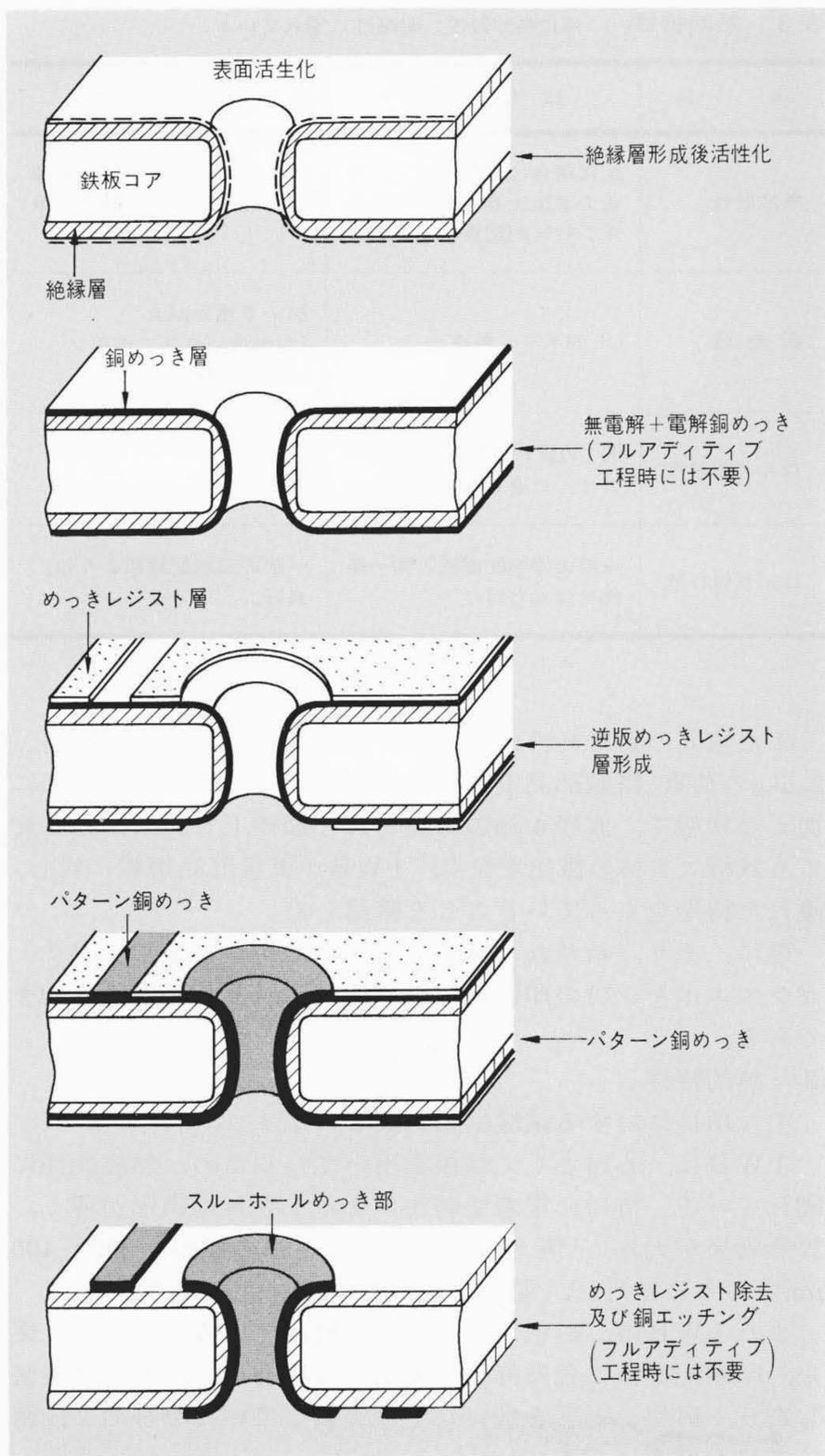


図4 アディティブ法による配線導体形成工程 セミアディティブ法及びフルアディティブ法いずれの方法も適用可能である。

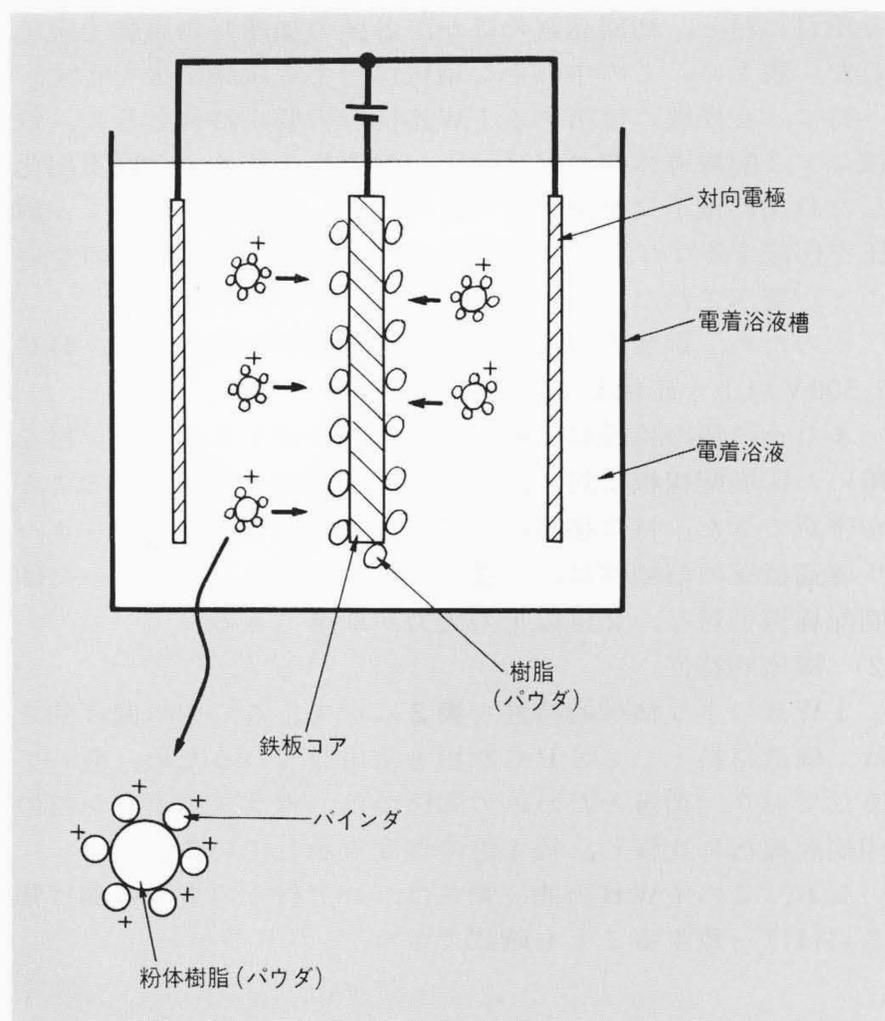


図5 電着塗装法の装置と原理(カチオンタイプ) 樹脂(パウダ)を正の荷電バインダで包み込み、直流電圧を印加することにより、負極の鉄板コア上に樹脂が付着される。

3 一般特性及び信頼性^{7), 8)}

IWBはその実用化に際し、構成材料、構造、配線導体形成法、使用形態など、一般の印刷配線板の場合とは異なる点が多く、信頼性を含めた特性上の十分な確認が必要であった。確認試験に当たっては、一般の印刷配線板の特性試験に用いられている試験条件を前提に確認試験を行なった。以下に電着塗装法によるIWBの一般特性、信頼性の概要について述べる。

(1) 電気的特性

IWBの電気的特性として、一般の印刷配線板に要求され

表1 電気的特性 実用上の問題はなく、特に接続の信頼性が優れている。

項目	試験条件	試験結果	参考値 (ガラスエポキシ材)
絶縁抵抗 〔鉄板コア-表面配線間 表面配線相互間 (配線間隙0.6mm)〕	(1) 受理状態 (2) はんだ耐熱試験後 (260°C 10秒間, はんだ浸せき 5回) (3) MIL-STD-202, MI06 (25~65°C, 80~98%RH 10サイクル	$1 \times 10^9 \Omega$ 以上	同 左
絶縁耐圧 〔同上〕	(4) MIL-STD-202, MI07, Con.B (-65°C 30分 ⇄ 125°C 30分) 25サイクル (5) 電食試験(40°C 90%RH DC200V 印加96時間)	DC750V 1分間 異常なし。 〔鉄板コア-表面 配線間の耐圧 破壊電圧平均値 DC 2,500V以上〕	同 左
スルーホール 導通抵抗	MIL-STD-202, MI07, Con.B (-65°C 30分 ⇄ 125°C 30分) 100~1,000サイクル	抵抗変化率 10%以下	同 左 ただし、500サイクル以下
誘電率 (at 1MHz)	受理状態	4.3~6.4	4.6~5.3
誘電正接 (at 1MHz)	受理状態	0.03	0.02~0.03

る項目に対し、初期品質のほか、各種の加速寿命試験を実施した。表1に、この中の主な項目に対する試験結果を示す。

特に、交換機に使用するIWB特有の要求特性として、鉄板コアと配線導体間の絶縁耐圧が重要視される。今回実用化したD10形電子交換機用IWBの場合、雷サージからくる耐圧を保証するため、DC750V1分間の電圧印加で異常のないことが要求された。

そのため、電着塗装法によるIWBの平均実力値は、DC2,500V以上を確保している。

またその他の特性についても、一般のガラスエポキシ材を用いた印刷配線板に対し、同等以上の実力をもっていることが確認できた。特に接続の信頼性上重要視されるスルーホール導通抵抗の信頼性は、一般のガラスエポキシ材を用いた印刷配線板に対し、2倍以上の実力が期待できる。

(2) 機械的特性

IWBの主な機械的特性を表2に示す。この中の曲げ強さは、構造材料としてSPC鉄板を使用しているため、極めて優れており、荷重とたわみの関係では、ガラスエポキシ材の印刷配線板と比較し、約4倍の強度を示している。

なお、このIWBの曲げ強さは、コア材そのものの曲げ強さにほぼ一致することも確認できた。

表2 機械的特性 重量部品搭載に適していることが分かる。

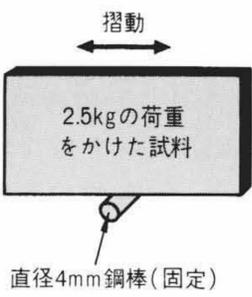
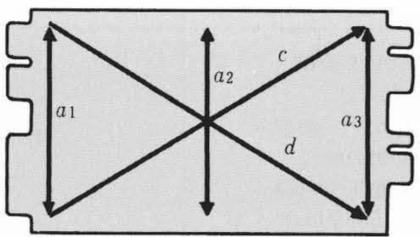
項目	試験条件	試験結果
曲げ強度	荷重とたわみの関係を測定	ガラスエポキシ材印刷配線板と比較し、約4倍。
端面強度	 <p>2.5kgの荷重をかけた試料 直径4mm鋼棒(固定)</p>	往復500回摺動しても鉄心露出せず。
コネクタ挿抜性	コネクタ挿抜試験	200回以上異常なし。
パターン引きはがし強さ	JIS C 6481	1.4kg/cm以上
そり, ねじれ	 <p>(試料は図1)</p> <p>測定スパン a1~a3: 180mm c, d: 285mm</p>	①はんだ付け後 ②MIL-STD-202, M106, Con.B (-65°C30分 → 125°C30分) 100サイクル後 ①, ②試験後 そり a1~a3: 0.5mm 以下 ねじれ (d-c): 1.0mm ↑↑ 以下 そり d そり c

表3 熱的特性 特に熱放散性, 耐燃性に優れている。

項目	試験条件	試験結果
熱放散性	配線導体に電流を流し、基板の温度上昇をガラスエポキシ材印刷配線板と比較。	ガラスエポキシ材印刷配線板に比べ、温度上昇は $\frac{1}{3}$ 以下。
耐燃性	UL94水平, 垂直法	94V-0相当以上 〔耐燃性ガラスエポキシ材より耐燃性あり。〕
はんだ耐熱性	図1の試料を260°C, 10秒間のはんだ浸せき5回繰返し	異常なし。
はんだ付け性	一般の印刷配線板と同一条件ではんだ付け。	一般の印刷配線板よりは、良好。

また端面の耐摩耗性については、重量部品の搭載を想定し、2.5kgの荷重(搭載部品重量: 約5g/cm²)をIWBの端面に加えた状態で、直径4mmの固定された鋼棒上を50回摺動させても鉄板コア材の露出がなく、IWBが重量部品搭載に対し、優れた特性をもっていることを確認した。

更に、そり, ねじれの発生も少なく、かつ安定しており、ガラスエポキシ材の印刷配線板と比較し、そり発生量は約 $\frac{1}{3}$ である。

(3) 熱的特性

主な項目に対する試験結果を表3に示す。

IWBは、心材として鉄板を用いているため、熱放散性に優れている。特に、電着塗装法によるIWBは膜厚が薄く、放熱効果大きい(例えば、流動浸せき法の膜厚が200~400μmであるのに対し、電着塗装法では100~200μmである)。

またIWBは、耐燃性, 耐熱性に優れていることから、従来、印刷配線板に発熱部品を実装する場合に、浮かせて実装したり、耐熱シートを敷いた上に実装していた場合でも、密着実装が可能になる。

4 標準設計基準

IWBは製造工程の特殊性から、設計上考慮すべき事項がある。これらの点について以下に述べる。

(1) 鉄板コアの寸法と仕上り寸法

IWBの仕上り寸法、すなわち板厚, 外形寸法, 穴径などは、あらかじめ鉄板コアプレス後のバリ取り量, 絶縁層の厚さ及びばらつきを加味した上で、鉄板コアの加工寸法を決定する必要があり、この点、絶縁層の膜厚が薄いほうが望ましい。

(2) 配線導体の導体幅及び導体間隙

IWBの表面平滑性は残念ながら銅張積層板の場合よりも劣るため、配線導体の精度は一般の印刷配線板に比べ難しい面がある。製造歩どまりを考慮した場合、最小導体幅及び間隙は0.3mm以上が望ましい。

(3) ランド径

IWBのスルーホール部は、図6に示すように断面コーナ部に丸味が生ずる。このため、配線導体の形成時に適用する写真技術あるいは印刷技術で、断面コーナ部の丸味箇所にはめっきレジスト層が形成されないことになる。このため、ランド径はスルーホールの断面コーナ部の大きさや穴内壁絶縁層の厚さによって左右されることになり、現状では製造歩どまりを考慮すると、ランド径-仕上り穴径 ≥ 0.8 mmが望ましい。

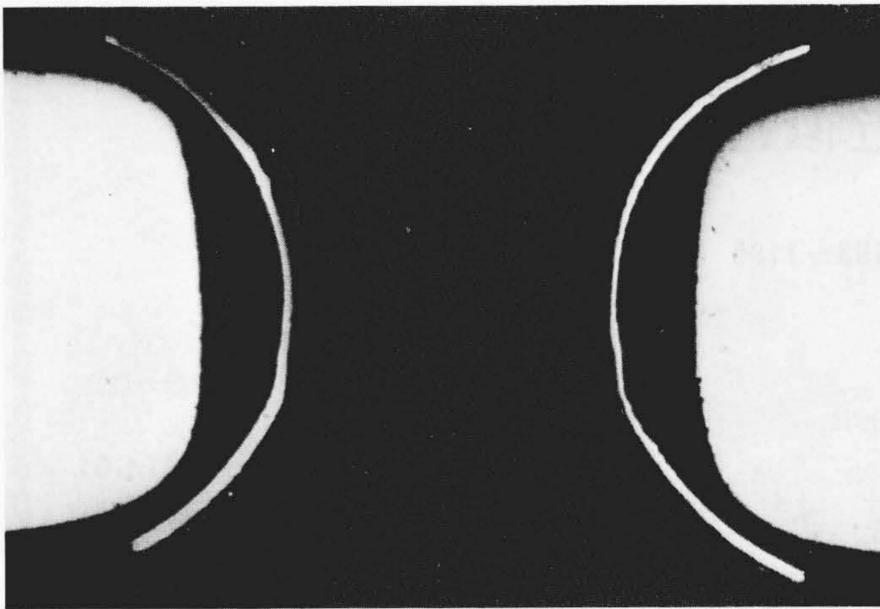


図6 スルーホール部断面写真 コーナ部に丸味ができることが特徴であり、パターン導体形成上不具合な場合もあるが、反面、はんだ付け性上有利な場合もある。

表4 標準設計基準 鉄板コア印刷配線板の製造工程の特殊性を考慮した場合の標準設計基準を示す。

主要項目	標準設計基準
外形寸法	200mm×280mm以下
仕上り板厚	1.6mm
ランド径 (D)	直径1.6mm以上
仕上り穴径 (d)	直径0.8mm以上
D-d	0.8mm以上
最小導体幅	0.3mm以上
最小導体間隙	0.3mm以上
配線導体めっき厚	35 μ m

(4) 最小スルーホール径(仕上り寸法)と最小ピッチ

IWBの穴は、前述したように鉄板コアの段階でプレス加工されるため、スルーホールの仕上り穴径あるいは穴間の最小ピッチなどは、主にプレス加工技術によって決定される。このプレス加工技術は、型の寿命などを考慮すると、例えば鉄板コアの板厚を t mmと仮定すると、プレス穴径は、 $0.8t$ mm以上が望ましく、また穴間の肉厚は $1.0t$ mm以上が望ましい。

なお最小スルーホール仕上り穴径は、鉄板コア材の板厚として 1.2 mmを用いたと仮定すれば、 0.8 mm程度が可能である。

以上の事項を考慮の上、主要項目に対し標準設計基準を定めると、表4に示すようになる。

5 適用分野と技術動向

IWBは、以上述べたような特性をもっているため、この特性を生かすことによって、今後の適用分野の拡大が期待できる。特に、今後の電子装置の小形化・高密度化に伴って、IWBに対しては、熱放散性、高密度配線化への要求がますます高まるものと考えられる。この要求に対処する方法としては、絶縁層の薄膜化が効果的である。すなわち、絶縁層の薄膜化によって放熱効果が大きくなる。と同時に、前述したように、穴内壁絶縁層の薄膜化が可能となりランド径が縮小でき、高密度配線化が可能となる。

電着塗装法は、電着条件の調整により、最低 30μ mまで薄膜化が可能である。よって、流動浸せき法など、他の絶縁化

方法では薄膜化が難しいことに対し、電着塗装法の場合には比較的簡単に薄膜化が可能であり、より熱放散性、高密度配線化に期待できると言える。

また、生産技術の向上や^{9),10)}鉄板コア材の薄厚化などによる高密度配線化も可能である。この鉄板コア材の薄厚化は、前述したプレス加工技術に大きく影響するものであり、仕上り穴径、ランド径、穴間の最小ピッチなどを小さくすることを可能とし、結局、高密度配線化の効果的手段になるものである。しかも、IWBは機械的強度が優れている反面、一般の印刷配線板に比較し、約5倍の重量をもっていることが短所となる場合もあり得るが、このような場合の軽量化対策にもつながる。

なおIWBの適用が最も期待できる分野は、重量部品を鉄板フレームなどの支持体に搭載し、その重量部品相互間の接続は、ラッピング布線接続しているような箇所であると考えられる。

すなわち、鉄板フレームなど、支持体としての強度をもっている機能と、ラッピング布線接続を印刷配線により無布線化してしまう機能との二つの機能を兼ね備えたIWB特有の適用分野である。

このほか、磁気シールド、磁気回路用として適用できることはもちろんのこと、構造物との兼用を図るため、鉄板コアの一部を折り曲げて使用することも可能である。

6 結 言

電着塗装法によるIWBの特長と特性などについて紹介した。このIWBは、重量部品の搭載が可能で、熱放散性に優れ、かつ磁気回路として使用できるなど、一般の印刷配線板にはなかった優れた一面をもっている。この優れた一面は、従来予期しなかったような分野への適用も期待でき、今後、広範囲にわたって普及するものと信ずる。

終わりに、このIWBの実用化に際し、多大な御指導、御鞭撻をいただいた、日本電信電話公社茨城電気通信研究所、元高分子材料研究室松山謙太郎室長(現企画管理室統括調査役)をはじめとする関係各位並びに横須賀電気通信研究所、及び武蔵野電気通信研究所の関係各位に対し、厚く御礼申しあげる。

参考文献

- 1) 日本電信電話公社：特許 金属心有有機物被覆印刷回路配線板の製造方法(特願昭50-138123)
- 2) 松山、田部井、田中：鉄板コア印刷配線板、電電公社通研、研究実用化報告、27、No. 5 223~234(1978)
- 3) D.Dinella：An Insulated Metal Printed Wire Board, Western Electric The Engineer (Jul.1965)
- 4) J.Lyman：New methods and materials stir up printed wiring, Electronics. 51, No. 9 114~122 (Apr.1978)
- 5) 松山、奈良、田部井：鉄板コアプリント板、信学全大、124(昭53)
- 6) 田中、山本、川口：鉄板コアプリント板の製造技術、信学全大、120(昭53)
- 7) 小野瀬、小宮山、永瀬：鉄板コアプリント板の信頼性、信学全、121(昭53)
- 8) 杉原、小林、板倉：鉄板コアプリント板の一般特性、信学全大、122(昭53)
- 9) 奈良、田部井、小野瀬：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、No. 3、617~644(1976)
- 10) G.Messner：A New Lost Image Formation Process for High Density Printed Circuit Boards, IPC Proceedings. (1975)

指数関数の最良近似連分数

日立製作所 浜田穂積

情報処理学会誌 19-12, 1193~1195 (昭53-12)

電子計算機で、高級言語のコンパイラと組み合わせて、メーカーなどから提供される数学的関数ルーチンの、内部での関数値の計算方法としては最良近似式が用いられることが多い。近似式の形式として、多項式が簡単であり、また重要でもあるが、関数によっては有理式のほうが、精度あるいは計算時間の点で有利なものがある。指数関数はそのような関数の一つである。先に筆者は、この種の関数の最良化は、有理式の係数を補正する方法よりも、連分数の打ち切りの係数を補正する方法によるほうが最良化の計算時間と精度の点で良い結果が得られることを示した。指数関数でもこれを用いることができるが、指数関数の加法性を利用して式を単純化し、最良化での補正する係数の個数を少なくすることができる。このため、指数関数の場合に限って、一般の計算方法を多少変形した工夫を行なうほうがよいといわれている。

指数関数 (e^x) を

$$e^x = 1 + \frac{2x}{h(x) - x}$$

の形式で表わすとき $h(x)$ は、

$$h(x) = 2 + \frac{x^2}{6} + \frac{x^2}{10} + \dots + \frac{x^2}{4i-2} + \dots$$

という、かなり収束の速い連分数で表わすことができる。ここでは、この連分数の打ち切りを行なったものの係数を補正することにより最良化を行なう。

得ようとしている近似式で、 $h(x)$ に対応するものを $\theta(x)$ で、また十分真の関数に近いと考えられるところで打ち切った $h(x)$ に対応するものを $\theta(x)$ で表わすことにするとき、最良化の条件を、

$$E(x) = x \cdot \frac{\theta(x) - \theta(x)}{\theta(x) \theta(x) - x^2}$$

とすれば、相対誤差 $R(x)$ は次により計算できる。

$$R(x) = \frac{2E(x)}{1 - E(x)}$$

通常 $E(x)$ は 1 と比べて絶対値がかなり小

であるから、 $R(x)$ も十分最良近似に近い。 $E(x)$ は奇関数であるから、奇関数の最良化法を用いて計算する。

HITAC 8700 EDOS-MSOで、ALGOLの倍精度演算(16進14桁)により、近似範囲を $|x| < (\log 2)/2$ として、 $\theta(x)$ の 2~9 項について計算した。その結果、収束のための繰返し計算の最も外側のループは 1 回で(したがって、ループとはいえない)、十分よく収束した。計算時間は 10 秒(CPU 時間)以内であった。

上記近似範囲は、2進系(16進も含む)の計算機の場合通常用いられるもので、最良化にとって特に好都合というわけではないが、 $\theta(x)$ の項数の増加とともに急激に精度の高い近似式が得られる。このため、連分数の打ち切りの形式の近似式は利用価値が高い。したがって、最良近似連分数の係数が容易に計算できるということは、指数関数の有用性を考慮するとき、有り難い結果であるといえよう。

省エネルギーから見た熱交換器の進歩

日立製作所 中山 恒・内田幹和

日本機械学会誌 82-725, 110 (昭54-4)

産業、民生の広い範囲にわたる省エネルギー対策にとって、熱交換器の性能向上は最も重要な課題の一つである。小さい温度差のもとで所定の熱交換量が得られれば、熱サイクルあるいは冷凍サイクルの動力消費は小さくて済む。中心となるのは伝熱面の性能向上であるが、これを取り巻く周辺の問題も劣らず重要である。すなわち、適切な熱交換器の設計、経済的な製法、汚れによる性能低下を防止する対策などが平行して推進されないと実効を上げることができない。

従来、性能を向上させるための考案は多数提案され、実際の試みも数多くなされてきた。しかし、現実に用いられている熱交換器には、形状、大きさの点で旧態依然のものが多い。考案が実用器に結実するためには、技術課題の解決に加え、社会的環境が熟さねばならぬことを物語っている。ところで、今日では省エネルギー対策を推進する国家プロジェクト、市場ニーズにこたえるための企業の努力及びエネルギー問題に

対する学界の関心が急速に盛り上がってきた。こうした状況の中で、熱交換器の性能向上法に関する文献の数も加速的に増えてきた。この論文では筆者らの経験も交え、注目すべき最近の動きを解説した。

熱交換器の進歩を語るには、伝熱面の性能向上法に関する研究と、熱交換器の設計法に関する進歩とに注目する必要がある。まず伝熱面のうちでも空気熱交換器の伝熱面は、性能の向上が強く望まれているものである。熱伝達率を高めようとして伝熱フィンに工作を施すと、必ず通風動力の増大を招く。後者のペナルティをできるだけ軽減しようとしたのがストリップフィン(日立製作所ではスリットフィンと命名)で、これに関してはかなり詳細な理論的、実験的検討が進められている。沸騰、凝縮など相変化を行なわせる伝熱面では、面上に微細な構造を設ける方法が採用され、熱伝達率を 5~10 倍増大させることを可能にしている。日立製作所の「サーモエクセル」が

その代表例で、性能向上の原理についての基礎研究も進んでいる。

熱交換器の設計法の研究では、まず空気熱交換器に新しい伝熱面を採用する際の、判断尺度となる指標の提案がなされている。すなわち、熱伝達の向上によるプラスと、通風動力の増大によるマイナスとを同一の尺度のうえに乗せて判断しようとする試みで、「エントロピ生産」「Soland らのグラフ表示」などがある。シェル・チューブ式の熱交換器は化学プラントの省エネルギー、代替エネルギー開発などに関連し、大規模に詳細研究が進められつつある。国際的な情報交流も盛んで、アメリカの HTRI、イギリスの HTFS などの研究会社が中心となって進められている。

今後のエネルギー問題への取り組みの中で最も重要な技術課題であることから、基礎研究から企業化研究に至る各段階での成果、実プラントでの使用実績などの交換を広く呼びかけた。