

# 電子交換機用プリント配線板

Printed Wiring Boards for Electronic Switching Equipment

田村 秋雄\* 立花 義夫\*  
Akio Tamura Yoshio Tachibana

## 要 旨

DEX-2 電子交換機の電子回路パッケージにおいては、集積回路をはじめ各種の小形電子回路部品が高密度に実装される。このため電子回路パッケージの信頼性、量産性、保全性、実装密度などの見地からプリント配線パターン作成用の基準を定めておくことが必要である。そこで信頼性と量産性が確保される範囲において実装密度を高くすることを目的として、プリント配線基準を設定することとした。プリント配線基準においては、最小導体幅、最小導体間隙(げき)、ランド径および穴径、部品取付法などが最も重要である。本文においてはこれらの項目を中心としたプリント配線板の基本設計について述べている。

## 1. 緒 言

日本電信電話公社 電気通信研究所と電子交換機製造メーカー4社(日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社、株式会社日立製作所)との電子交換機共同研究会の下部機関として組織された実装打合せ会の研究テーマの一つとして“プリント配線基準”(日立製作所担当)がとり上げられた。

本文はその検討結果を中心に日本電信電話公社 電気通信研究所 技術協力部回路部品技術研究室のご指導のもとに基準を設定する経過について述べたものである。

電子交換機における電子部品はプリント配線板に実装されるが、電子回路パッケージの信頼性、量産性、保全性、実装密度などの見地からプリント配線パターン作成用ならびに電子部品取付け用の基準を定めておくことが必要である。

DEX-2 電子交換機用プリント配線板には集積回路などの各種小形部品がとう載されるため、配線密度の高いプリント配線パターンを必要とするが、この高密度配線に関してプリント配線において最も基本的な量である最小導体幅、最小導体間隙、穴径およびランド径などについては従来あまり公表されたものがなく、また部品取付け法についても理論的に検討されたものは少なかった。

そこでこれらの項目に対して電子交換機に必要な信頼性、量産性、保全性を満足する最小値を求め、これらの値に基づいて設計上の基準値を与えることとした。

以下本文においてその検討経過を述べる。

プリント配線板用基材としては DEX-2 電子交換機の電子回路パッケージ用基板材料に定められた紙基材変性フェノール樹脂銅張積層板を使用した。

## 2. 基 準 格 子

プリント配線の基準格子は JISC 5010 による 2.5mm の直角格子で、第2、第3格子は基準格子寸法の 1/2、1/4 である。その使用順位は基準格子、第2格子、第3格子の順とする。

## 3. 導 体 幅

導体幅の最小値を決定するおもな要因は、配線導体の引きはがし強さ、電流容量、銅ハクのピンホールなどである。

### 3.1 配線導体の引きはがし強さ<sup>(1)</sup>

高密度配線において広く用いられる 1.0 mm 以下の導体幅における引きはがし強さは図1に示すとおりである。同図に見られるように、常温においては導体幅が 0.15 mm まで狭くなった場合でも単

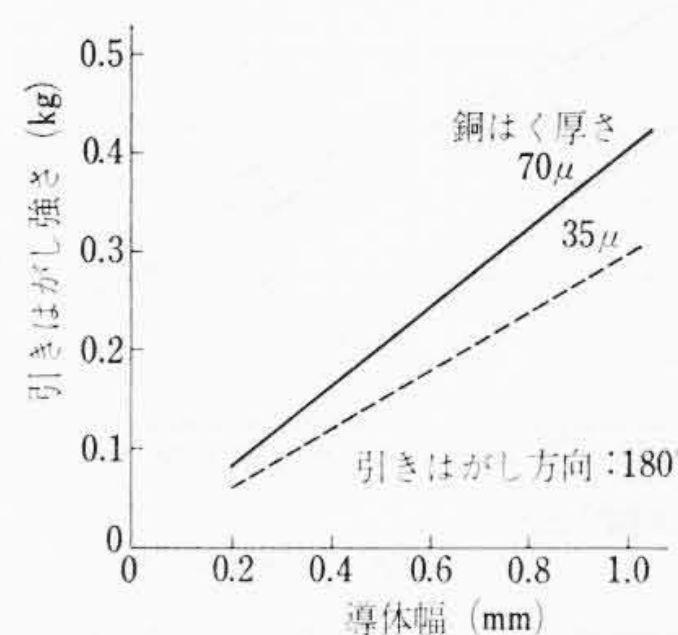


図1 常温における導体幅と引きはがし強さ

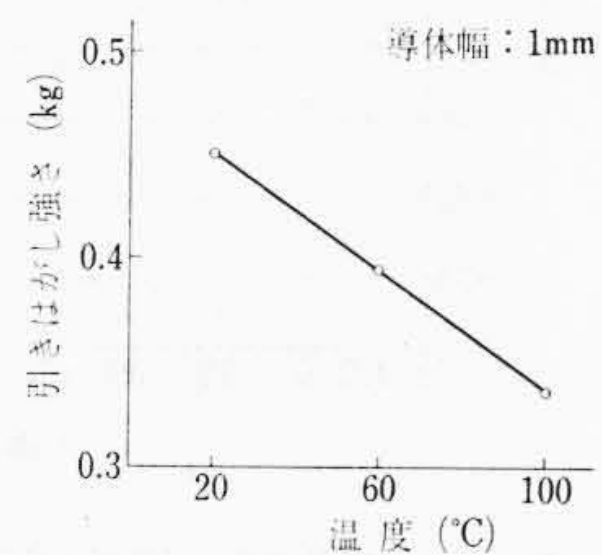


図2 引きはがし強さの温度特性

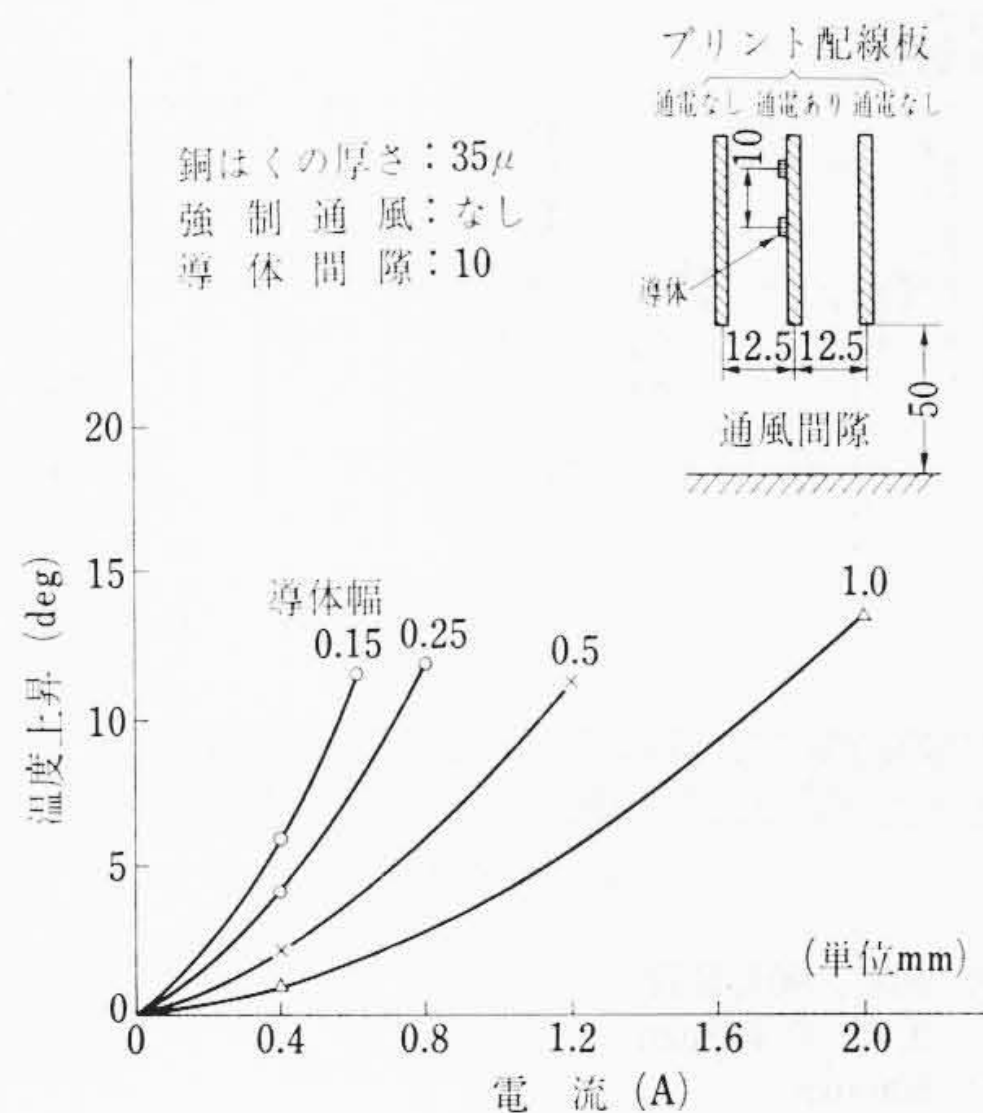


図3 導体に流れる電流と温度上昇の関係

位導体幅あたりの引きはがし強さは、ほぼ等しいことがわかった。図2は周囲温度が高い場合の引きはがし強さで、100°C においては常温における値のほぼ 70% まで低下している。

### 3.2 電 流 容 量<sup>(1)</sup>

配線導体を流れる電流とその導体の温度上昇との間には図3のような関係がある。これより図4のチャートを参考にしうることがわかる。

### 3.3 ピ ン ホ ール

高密度配線においては銅ハクのピンホールによる導体幅の減少を考慮しておかなければならない。導体幅の残存率を JISC 5010 に示された 80% とし、0.1 mm のピンホールが存在するとしたときに、前述の引きはがし強さおよび電流容量を勘案すれば、0.5 mm の導体幅をあらかじめ設計しておく必要がある。

## 4. 導 体 間 隙<sup>(2)</sup>

導体間隙の最小値は導体間の絶縁抵抗、絶縁耐圧および電食の影響などにより決定される。

\* 日立製作所戸塚工場



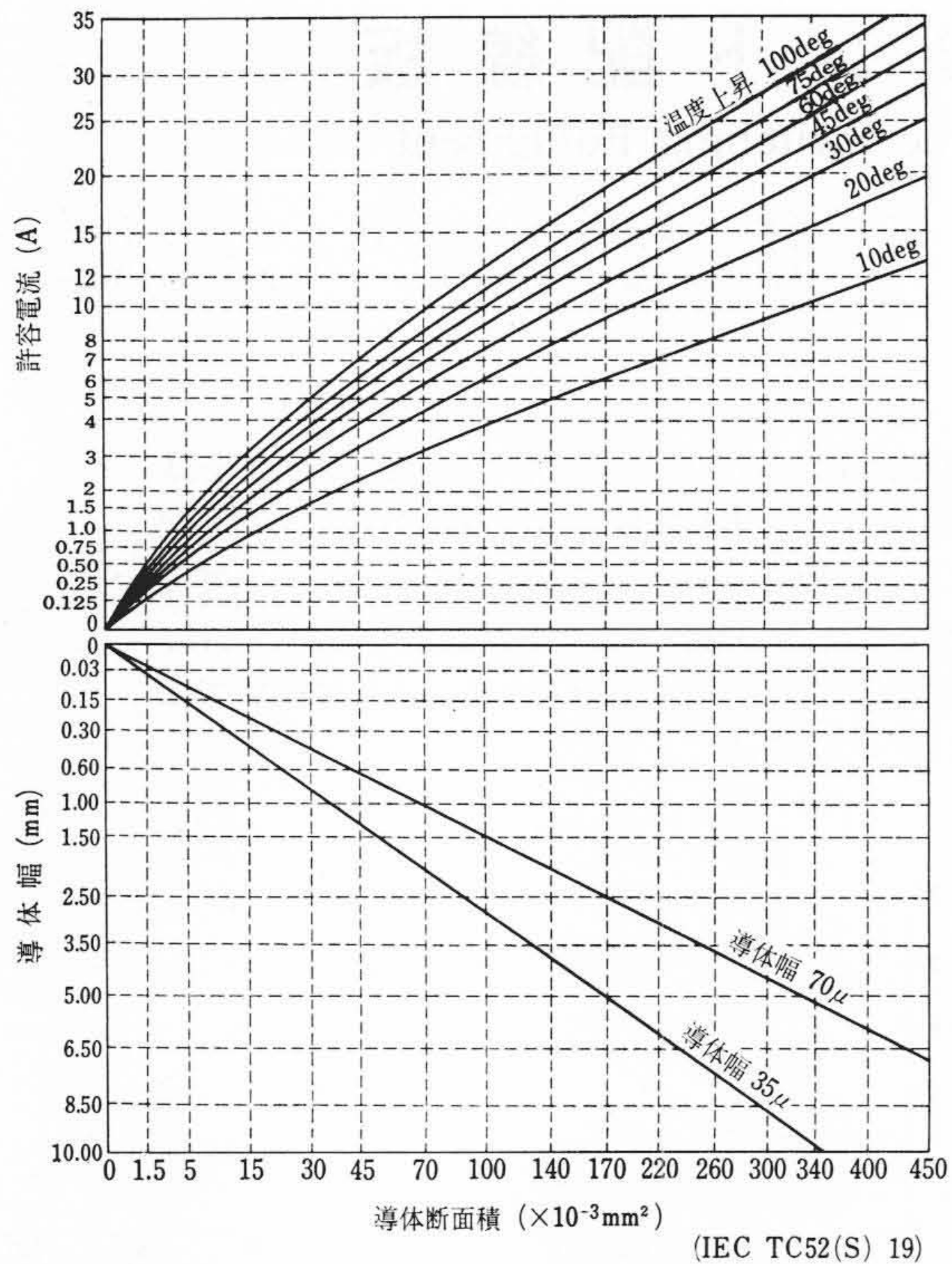
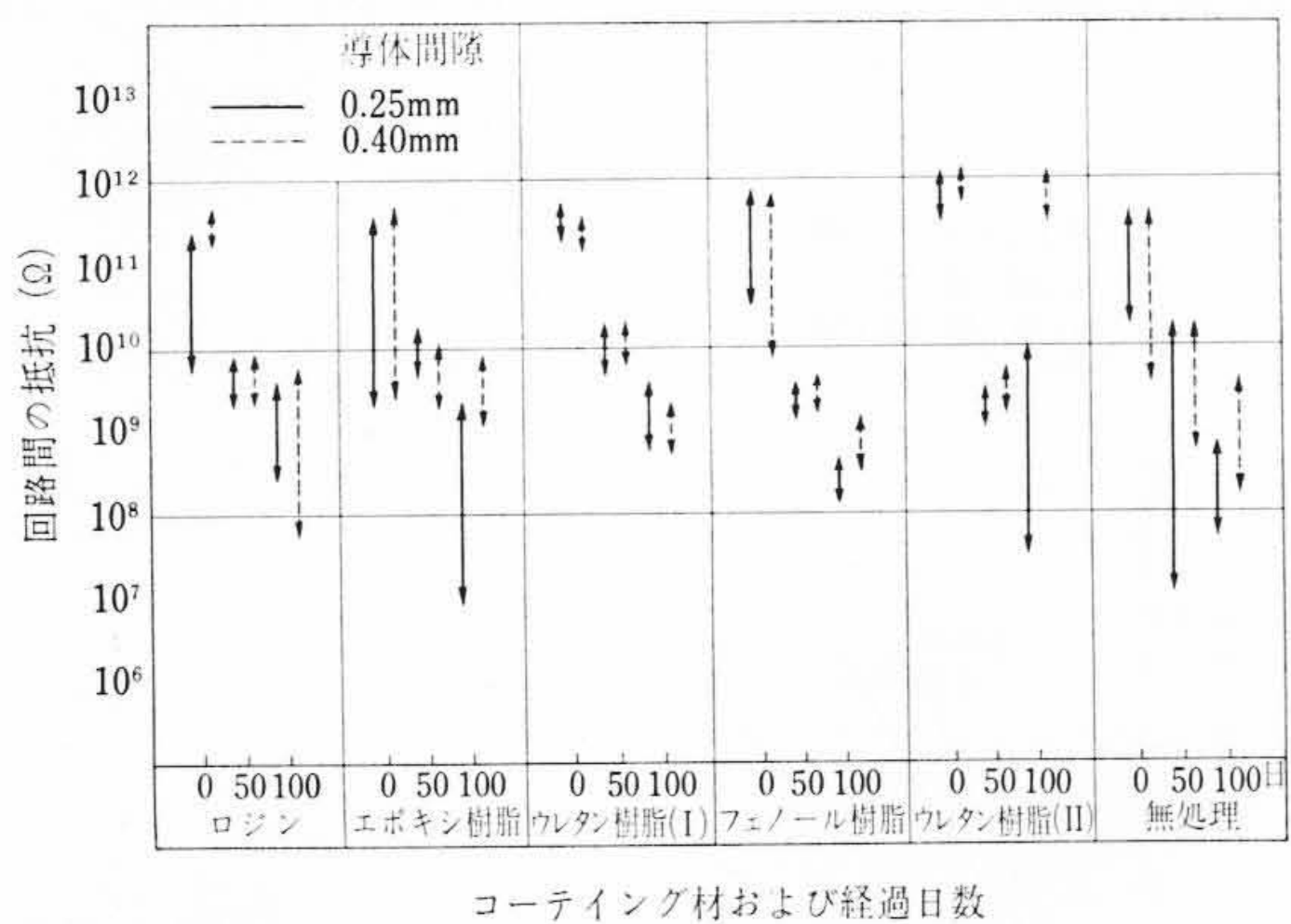
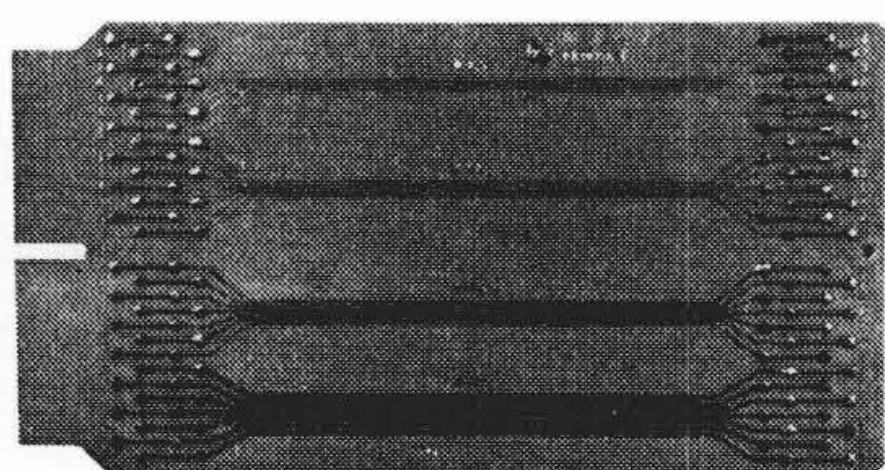


図 4 導体幅，導体断面積，許容電流，温度上昇の関係



環境条件：40℃，90%RH  
導体間げき：0.25，0.40 mm  
対 向 長：500 mm  
測定条件：DC 100 V 1 分間充電後  
試 料 数：各 8 枚  
注：ウレタン樹脂 (I)，(II) の差は商品の違いになる。

図 5 環境実験における絶縁抵抗値の変化



(導体間隔は 0.25 mm および 0.40 mm)  
図 6 試験用プリント配線板のパターン

図 5 に示すような試料を 40℃，90%RH の環境条件<sup>(1)</sup>に連続保持し，相対向する配線導体間（対向長 500 mm）に DC 100 V を連続印加したあとの，コーティング材料別の絶縁抵抗の測定結果は図 6 に示すとおりである。また表 1 はコーティング材料別および試験条件別の耐圧不良の発生状況である。これらの結果により導体間隙

<sup>(1)</sup> IEC TC 52(S) 19 に準拠

表 1 環境実験における絶縁耐圧の不良発生数

| 導体間げき | コーティング  | 多湿一定                        | 湿度サイクル                                        | 塩水噴霧                            | H <sub>2</sub> S 加湿                                           | 暴 露              |
|-------|---------|-----------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|
| mm    | 無 処 理   | 50 日 (1)<br>100 日 (2)       |                                               |                                 | 30 日 (2)                                                      |                  |
| 0.25  | ロ ジ ン   |                             |                                               |                                 |                                                               |                  |
|       | エポキシ樹脂  |                             | 5 サイクル (1)                                    |                                 |                                                               |                  |
|       | ウレタン樹脂  |                             |                                               | 96 h (1)                        |                                                               |                  |
|       | フェノール樹脂 |                             | 2.5 サイクル (2)                                  |                                 |                                                               |                  |
| 0.40  | 無 処 理   | 100 日 (1)                   |                                               |                                 | 30 日 (1)                                                      |                  |
|       | ロ ジ ン   | 100 日 (1)                   |                                               |                                 |                                                               |                  |
|       | エポキシ樹脂  |                             |                                               |                                 |                                                               |                  |
|       | ウレタン樹脂  |                             |                                               |                                 |                                                               |                  |
|       | フェノール樹脂 |                             |                                               |                                 |                                                               |                  |
|       |         | 40℃，95%RH<br>100 日<br>測定点 8 | 40℃，90%RH<br>常温常湿<br>各 4 日<br>5 サイクル<br>測定点 8 | 35℃，<br>塩分 5%<br>500 h<br>測定点 4 | 常温，<br>飽和水蒸気，<br>H <sub>2</sub> S<br>250 ppm<br>30 日<br>測定点 4 | 屋外 50 日<br>測定点 4 |

注： 1. 試験電圧：DC 250V 1 分間  
2. 表中 ( ) 内は不良点数を示す。  
3. 1 測定点の対向長：100 mm

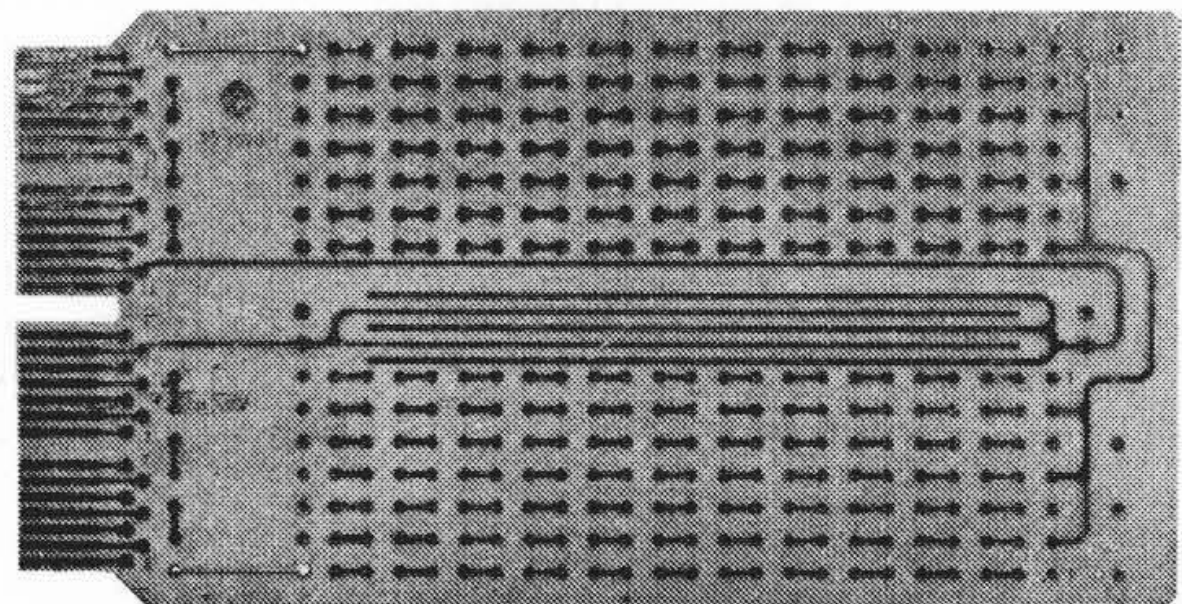
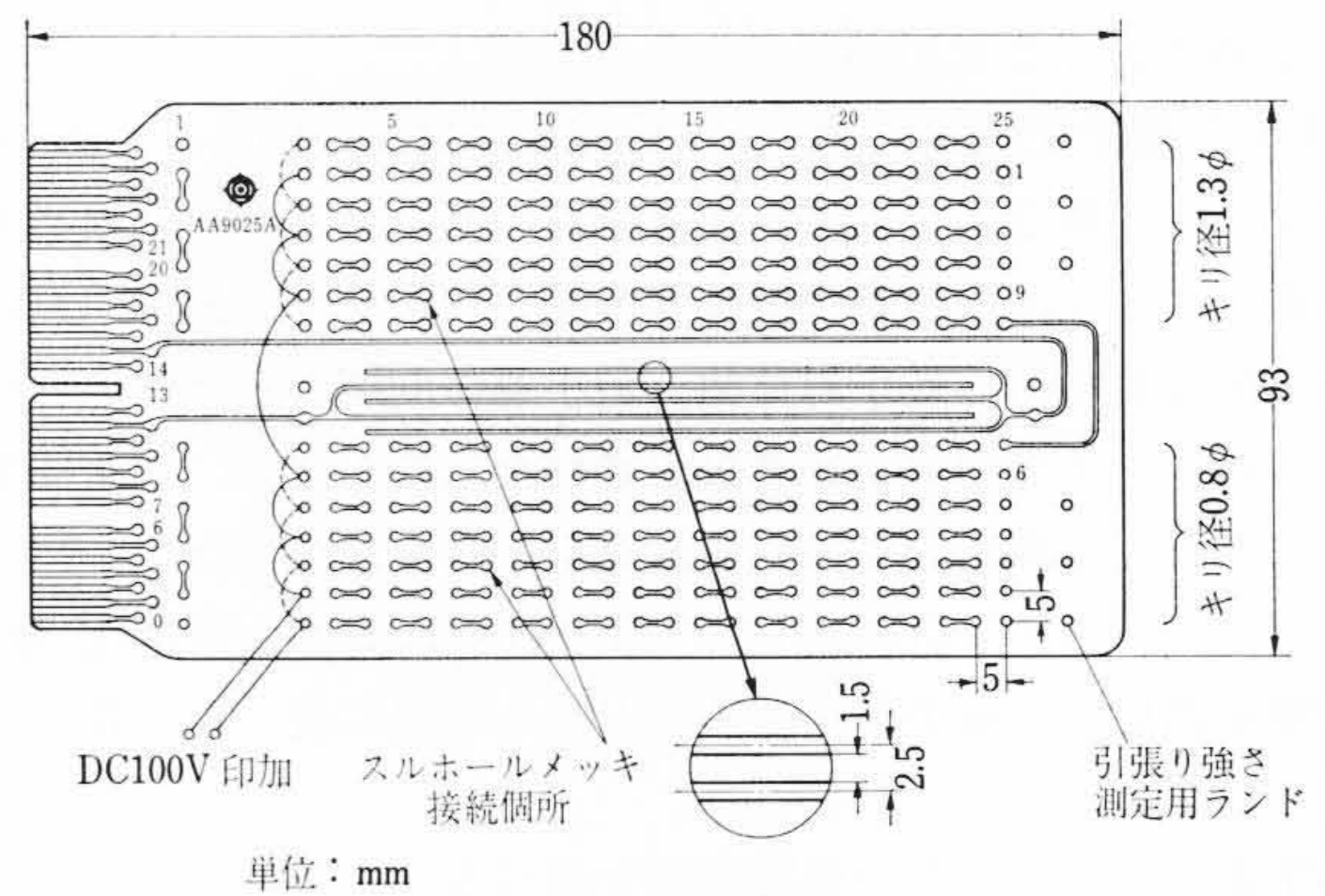


図 7 (a) 試験用プリント配線板の外観



(両面スルーホール)  
図 7 (b) 試験用プリント配線板のパターン

の狭い高密度配線パターンにおいては，コーティングが有効であることが確認された。

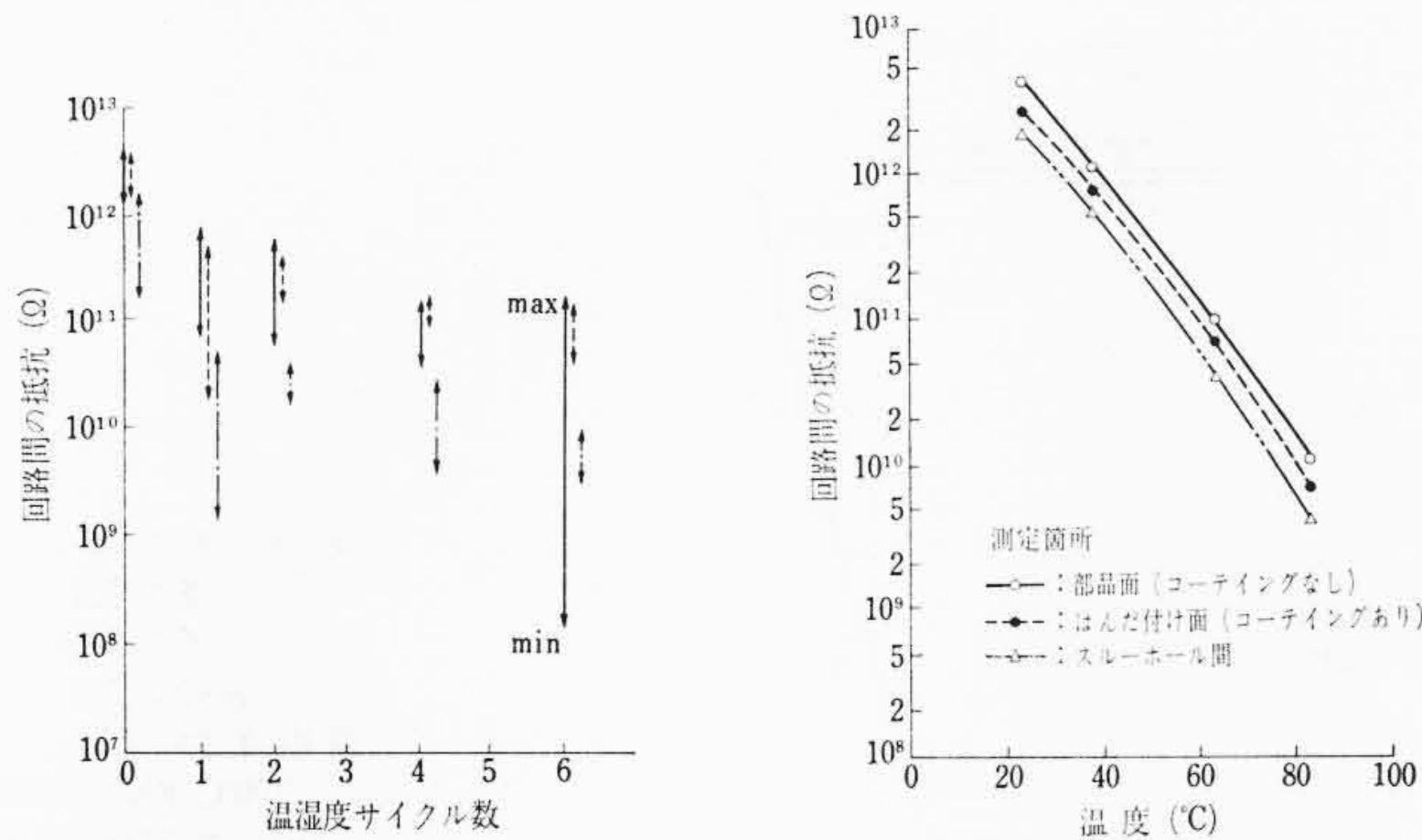
スルーホールメッキ接続箇所間の絶縁抵抗については，図 7 に示す試料に対し相対する配線導体間に DC 100 V を印加して温湿度サイクル<sup>(2)</sup>による加速寿命試験を行なった結果は，図 8 に示すとおりである。なお表面抵抗に対するコーティングの効果も検討する目的で，試料のはんだ付け 4 面に相当する側にはエポキシ樹脂がコーティングされている。

さらに絶縁抵抗の温度特性については図 7 に示したものと同様の試料を用いて，高温<sup>(3)</sup>における回路間の抵抗値の変化を測定した。

<sup>(2)</sup> 40℃，90%RH 14 日と常温常湿 14 日の 28 日間を 1 サイクルとする。

<sup>(3)</sup> DEX-2 号においては架内の最高温度は 65℃ に設計されている。





印加電圧: DC 100 V  
試験電圧: DC 500 V  
試料数: 各 8  
測定箇所  
—: 部品面 (コーティングなし)  
---: はんだ付け面 (コーティングあり)  
—●—: スルーホール間  
温湿度サイクル: 40℃ 90%RH 14日と常温  
常湿 14日の 28日間を 1 サイクルとする。

図 8 環境実験における回路間の抵抗値の変化

図 9 は結果の一例を示したものである。スルーホールメッキ接続箇所間の絶縁抵抗が最も低く、各個所の絶縁抵抗は温度の上昇に伴いほぼ直線的に低下している。

以上の実験結果からつぎに示すようなことがわかった。

- (1) 温湿度サイクル試験前においては、いずれの測定項目に対しても問題はない。
- (2) 表面抵抗および体積抵抗は温湿度サイクル試験の進行につれて低下し、とくに表面抵抗の低下はコーティングが施されていない場合に顕著である。図 8 に示すように 6 ヶ月間経過後においてはコーティングが施されているものに比べ 2 けた以上低く、かつ配線導体面に電食による黒色のはんてんが大部分の試料に現われることから、コーティングの効果は明白である。
- (3) スルーホールメッキ接続箇所の穴中心間隔は 2.5 mm 以上が必要である。

### 5. 最小導体幅および最小導体間隙の基準

以上により公称導体幅を 0.5 mm、公称導体間隙を原則として 0.7 mm とした。とくに高密度配線を必要とする場合には、最小導体幅および最小導体間隙をそれぞれ 0.25 mm まで許容することとした。ただし導体間隙が 0.4 mm 未満の場合にはウレタン樹脂、エポキシ樹脂またはフェノール樹脂などを用いて必ずコーティングすることとし、その厚さを銅ハクの厚さの約 1/2 とした。また使用電圧と導体間隙との関係は IEC TC(S) 19 などを参考にして表 2 のよ

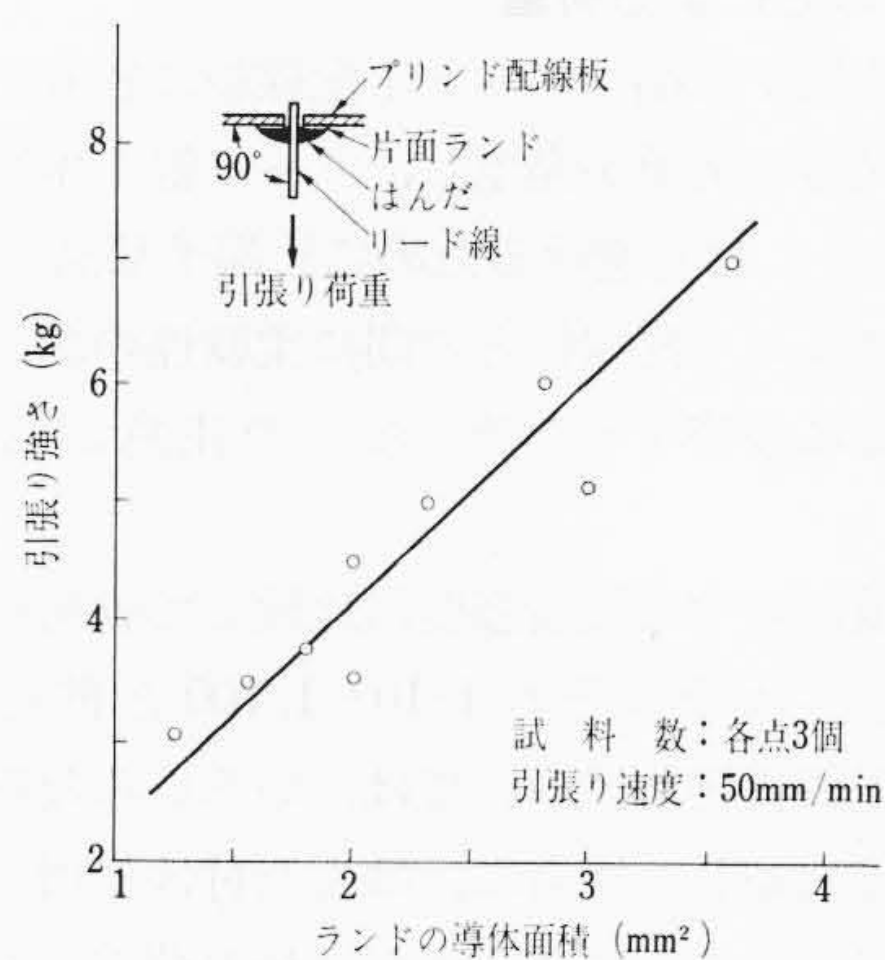


図 10 常温におけるランドの引張り強さ

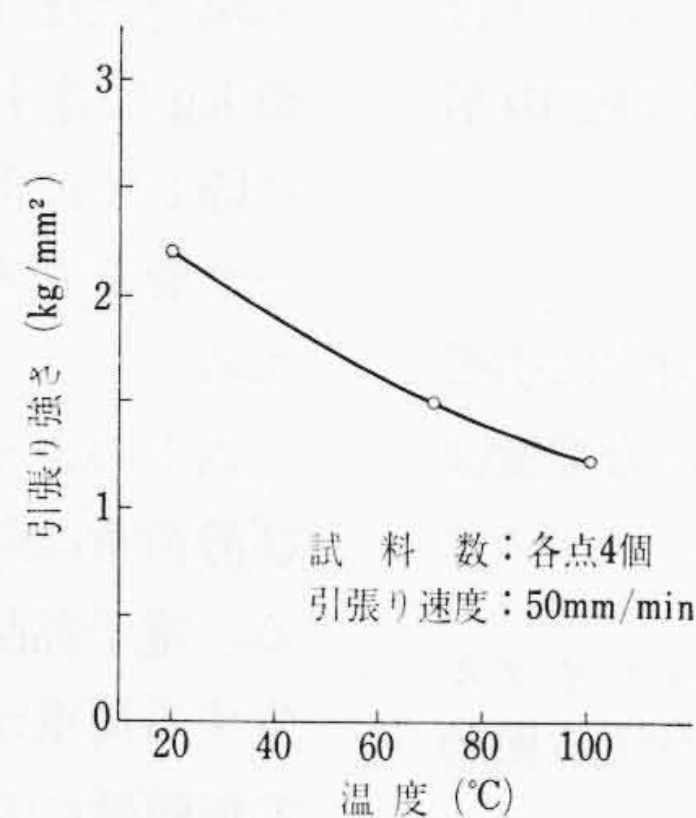


図 11 ランドの引張り強さの温度特性

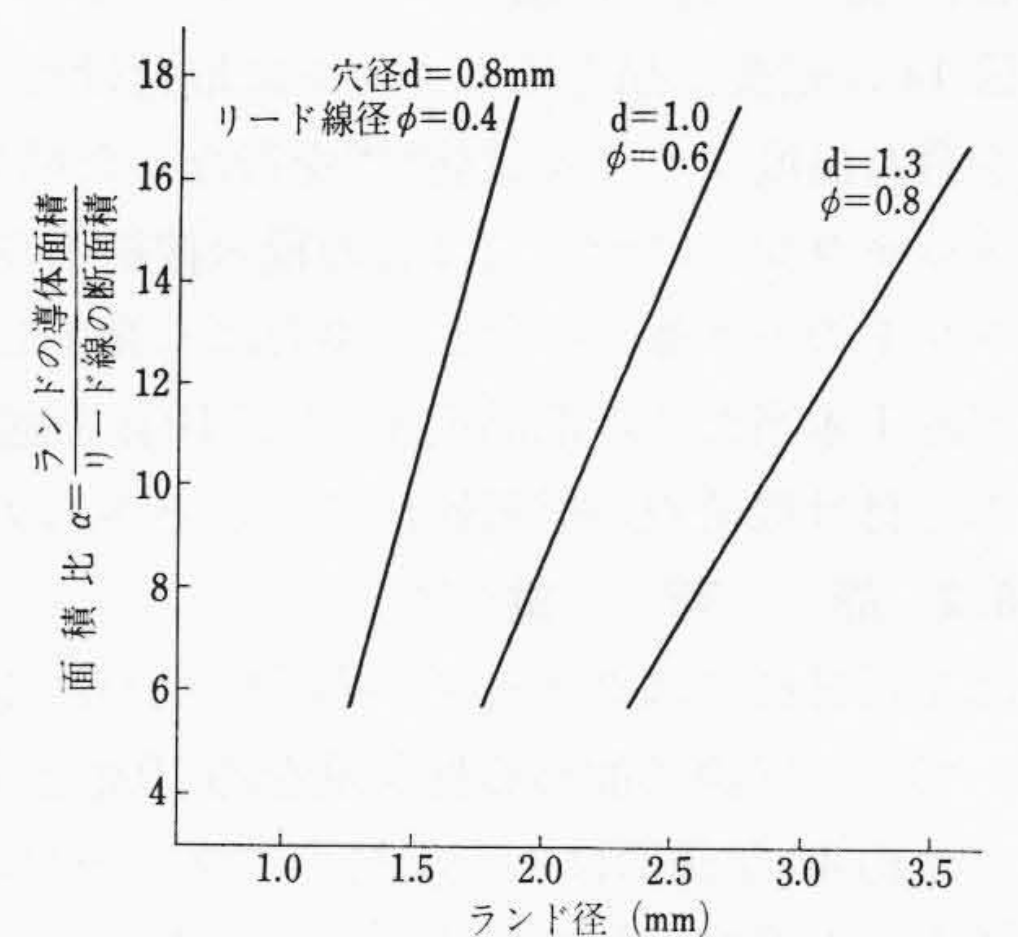


図 13 ランド径と面積比との関係

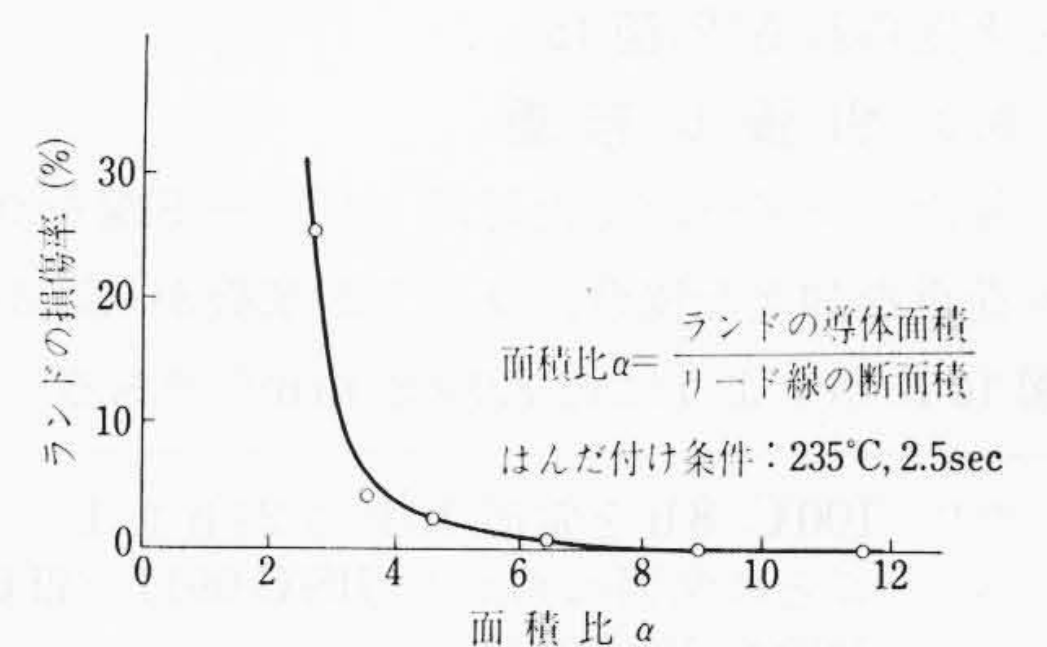


図 12 面積比とランドの損傷率との関係

表 2 使用電圧と導体間隙

| 使用電圧<br>DC または AC (ピーク値) | 導体間隙       |            |
|--------------------------|------------|------------|
|                          | コーティングあり   | コーティングなし   |
| 30V 以下                   | 0.25 mm    | 0.4 mm     |
| 30V をこえ 50V 以下           | 0.4 mm     |            |
| 50V をこえ 150V 以下          | 0.5 mm     | 0.7 mm     |
| 150V をこえ 300V 以下         | 0.8 mm     | 1.3 mm     |
| 300V をこえ 500V 以下         | 1.5 mm     | 2.5 mm     |
| 500V 以上                  | 0.003 mm/V | 0.005 mm/V |

(IEC TC52(S)19)

うに定めた。

### 6. 穴径およびランド径

部品取付け用穴径は部品のリード線径に対応して定める必要がある。穴径とリード線径との径差は組立作業上からはできるだけ大きいことが望ましく、はんだ付け不良の発生を少なくするためにはできるだけ小さいことが望ましい。またランド径は基材と銅ハクとの接着強度およびリード線とはんだとの接合強度などにより定められる。

#### 6.1 引張りの強さ

図 10 および図 11 に見られるように片面ランドの面積と引張りの強さはほぼ比例し、常温において約 2 kg/mm² であるが<sup>(1)</sup>、100℃においては常温の 50% 程度となっている<sup>(2)</sup>。

#### 6.2 ランドの面積とリード線径<sup>(1)</sup>

一般にプリント配線板をはんだ付けしたとき、その直後にリード線に外力が加わった場合にランドがハク離することがある。このランドのハク離による損傷率は以下に示す面積比  $\alpha$  との間に図 12 のような関係がある。ここで面積比  $\alpha$  はつぎのように定義される。

$$\text{面積比 } \alpha = \frac{\text{ランドの導体面積}}{\text{リード線の断面積}}$$

面積比  $\alpha$  が 5 以下になるとランドの損傷率が急激に増加する傾向があるので、片面ランドの場合には面積比は必ず 6 以上とする必要がある。図 13 は面積比とランド径との関係を示したものである。



表3 穴径およびランド径の基準

| (a) スルーホールメッキ接続を行わない場合 (単位 mm) |     |                   |                   |                   |
|--------------------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| 穴 径 $d$                        |     | 1.0               | 1.3               | 1.6               |
| ランド径 $D$                       | 1 級 | 2.2 <sup>-0</sup> | 2.5 <sup>-0</sup> | 3.0 <sup>-0</sup> |
|                                | 2 級 | 2.5 <sup>-0</sup> | 2.8 <sup>-0</sup> | 3.6 <sup>-0</sup> |

注： ランドの最小導体幅  $w$  は0.4以上であること。

| (b) スルーホールメッキ接続を行なう場合 (単位 mm) |     |                   |                   |                   |
|-------------------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| 穴 径 $d$                       |     | 1.0 $\pm$ 0.05    | 1.3 $\pm$ 0.05    | 1.6 $\pm$ 0.05    |
| ランド径 $D$                      | 1 級 | 1.4 <sup>-0</sup> | 1.8 <sup>-0</sup> | 2.5 <sup>-0</sup> |
|                               | 2 級 | 2.2 <sup>-0</sup> | 2.5 <sup>-0</sup> | 3.0 <sup>-0</sup> |

注： (1) ランドの最小導体幅  $w$  は0であってもよい。  
(2) 穴径  $d$  はメッキの厚さを含まない。

## 7. 穴径およびランド径の基準

プリント配線板の部品取付用ランドにおいて、部品のリード線径が与えられたとき、接続の信頼性および電気的性能を確保するうえでもっとも基本的な量は

- (1) 隣接導体との最小導体間隙
- (2) リード線径と穴径との径差
- (3) ランドにおける導体幅の最小値

などである。

ランドにおける導体幅の最小値は片面ランドでは面積比を6以上とすることとして、0.4~0.5 mm とし、スルーホールメッキランドでは0であってもよいとした。径差は約0.5 mm である。リード線径を0.4~1.0 mm とするとき、ランド径は表3のように与えられるものとした。

## 8. 部品取付け法

電子部品をプリント配線板に実装するにあたって、部品のリード線とランドとのはんだ付け接続点にじゅうぶんな接続の信頼性を与えるような部品取付け法を定めておく必要がある。

部品取付け法においてははんだ付け個所の接続の信頼性を決定する要因は、はんだ付け個所に加えられる動荷重、静荷重、引張り荷重、熱応力およびプリント配線板のそりにより発生する応力などである。

### 8.1 動 荷 重<sup>(1)</sup>

図14は模擬部品を片面ランドに取付けた試料を用いて、振動試験を含む温度サイクル試験<sup>(4)</sup>を行なった結果である。スルーホールメッキランドにおいてはこの種の接続不良は発生していない。またランドのハク離はいずれの場合にも発生していない。これよりリード線1本当たりの部品重量<sup>(5)</sup>が10 gを越えると、片面ランドのはんだ付け接続点の信頼性が低いことがわかる。

### 8.2 静 荷 重<sup>(3)(4)</sup>

はんだ材料にはクリープが顕著に現われる。温度70℃~100℃においてリード線に加わる静荷重を約10 gとすると、片面ランドにおいては約40年後にはんだ接続点にクリープに起因する障害が発生するものと推定されるが<sup>(3)</sup>、スルーホールメッキランドにおいては片面ランドに比べ同一のクリープ量に達するまでの時間は約10倍と考えられる<sup>(4)</sup>(図15)。

### 8.3 引 張 り 荷 重

片面ランドへはんだ付けしたリード線をランドの法線方向に引張り荷重を加えた場合、ランドが基板からはがれるときの接着強度は図10に示すように約2.0 kg/mm<sup>2</sup>である。またスルーホールメッ

\*<sup>(4)</sup> 100℃ 8h と常温 16h の 24h を 1 サイクルとし、5 サイクルごとに常温において JISC 0911, III C, 4 種に相当する振動試験を 1 時間実施。

\*<sup>(5)</sup> 部品 1 個の重量/リード線数

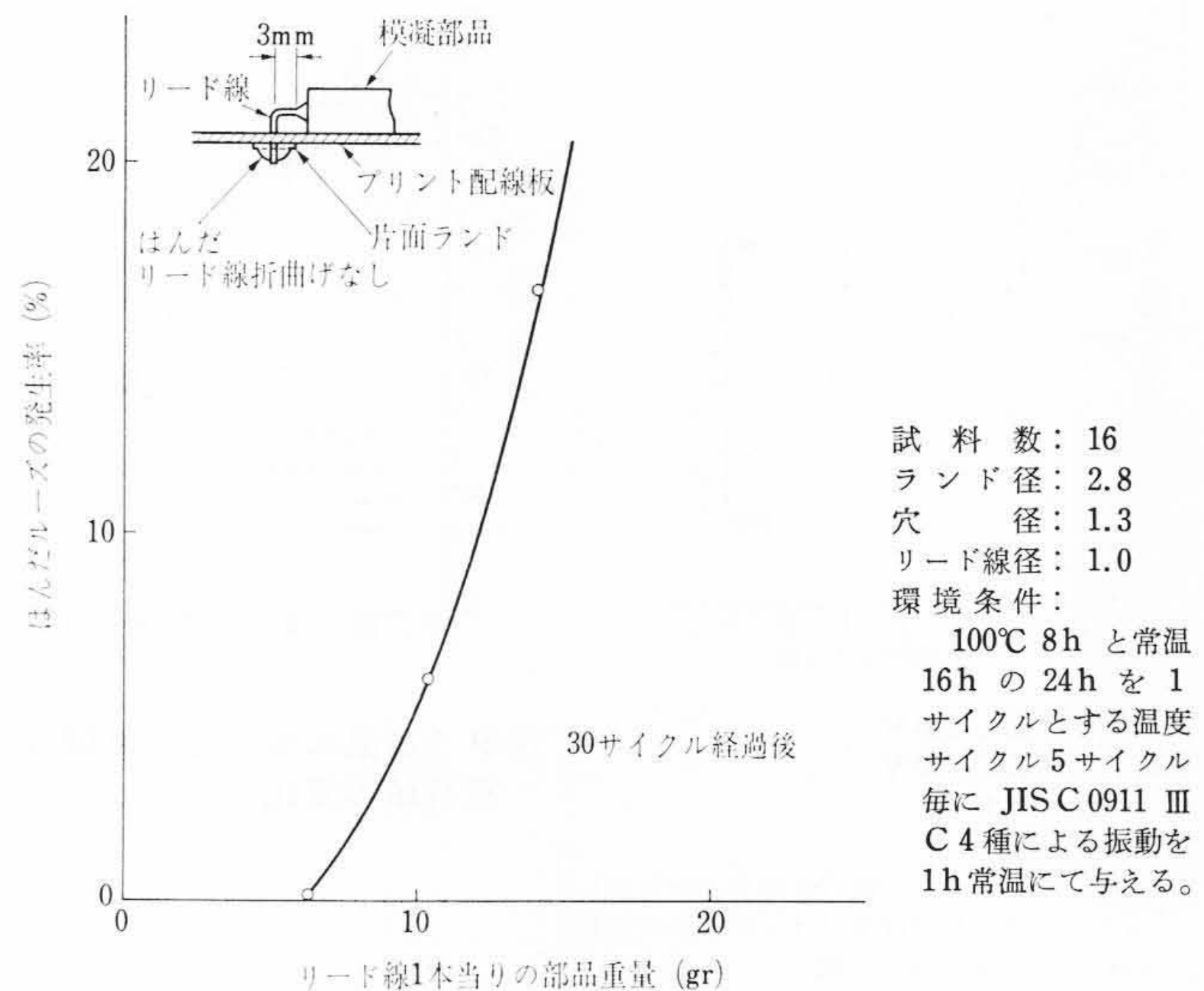


図14 振動試験を含む温度サイクル試験  
30 サイクル経過後のはんだルーズの発生率

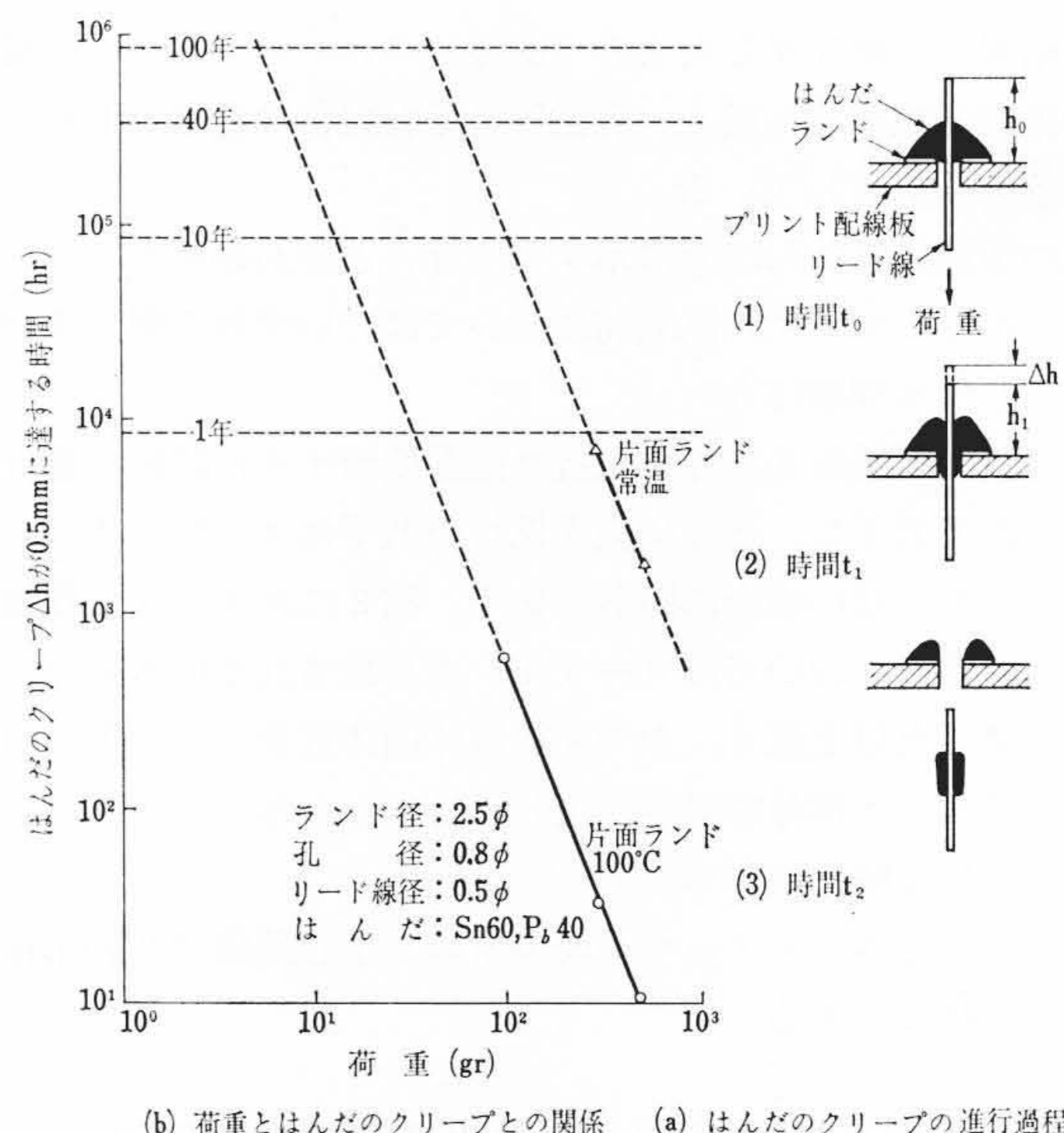


図15 はんだのクリープ

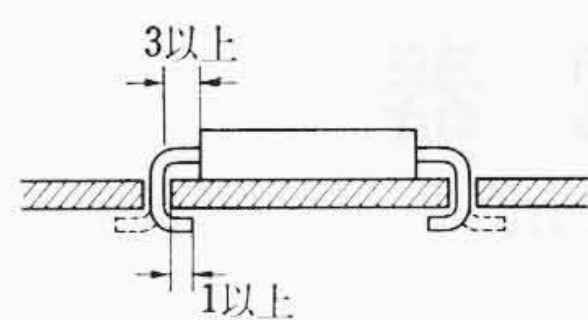
キランドに対して同様の引張り荷重を加えた場合の破壊荷重は約20 kg でせん断方向の接着強度は4.5~5.0 kg/mm<sup>2</sup>である<sup>(4)</sup>。すなわちスルーホールメッキランドにははんだ付けされたリード線の引張り荷重に対する接着強度は片面ランドの場合に比べて約3倍大きい。

### 8.4 熱応力およびそりなどによる荷重<sup>(4)(5)</sup>

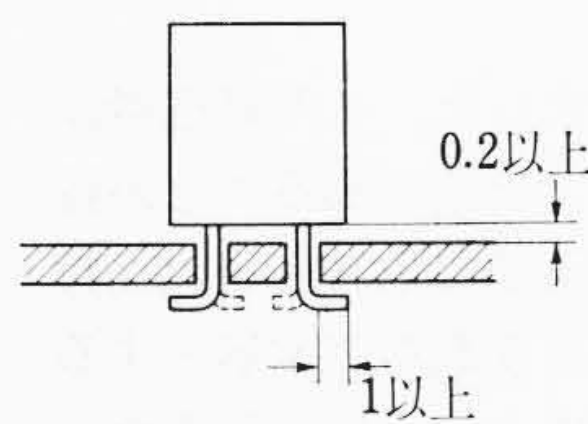
パルストランスなどの片端子部品をプリント配線板に密着実装する場合にはリード線内に異常な荷重が発生し、リード線1本当たり数kgに達することがある。これを避けるために片端子部品の実装に際しては部品の底面とプリント配線板との間に柔軟性のあるスペーサをそう入してリード線に余裕をもたせるなどの注意が必要である。

以上のように引張り荷重に対する接着強度に比較して動荷重および静荷重に対する接続の強さはそれぞれ1/10~1/100と推定される。電子部品のプリント配線板実装においては、いろいろな形で発生する荷重が静荷重として残留した場合に、はんだ付け個所の接続の信頼性に及ぼす影響が最も大きいので、上記3種の荷重のうち静荷重が特に重要である<sup>(4)</sup>。



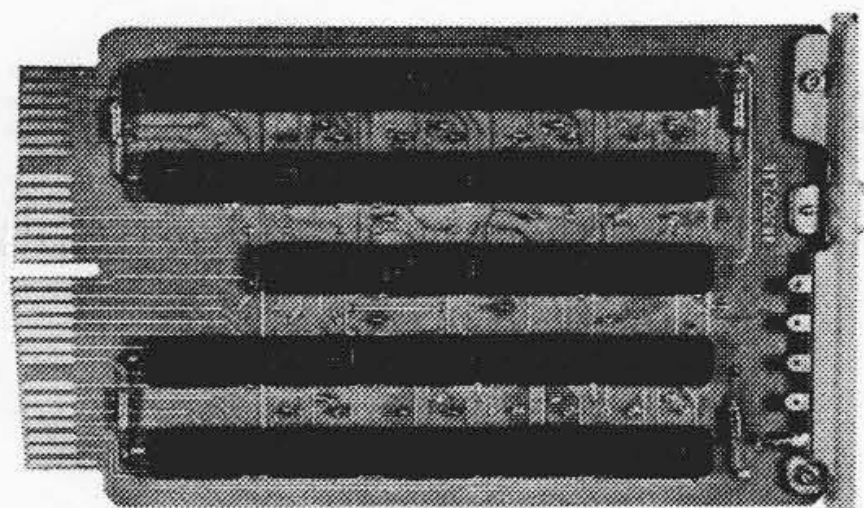


(a) 両端子部品

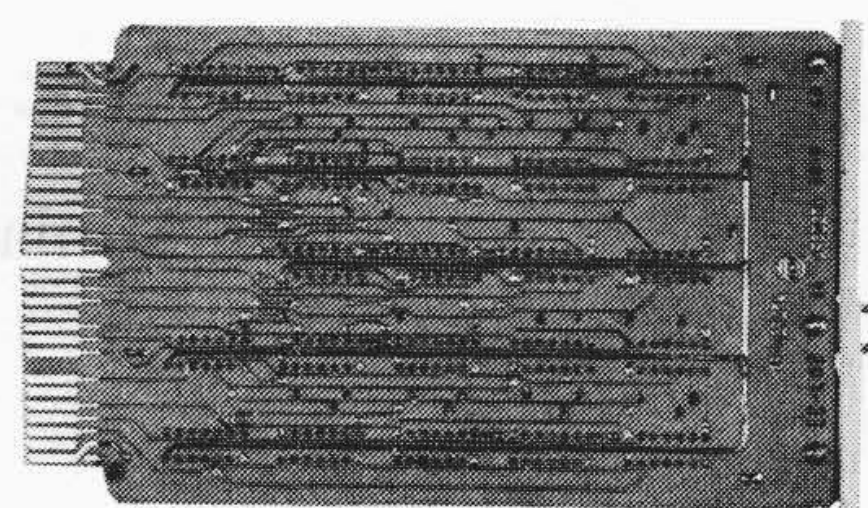


(b) 片端子部品

図16 部品取付け法



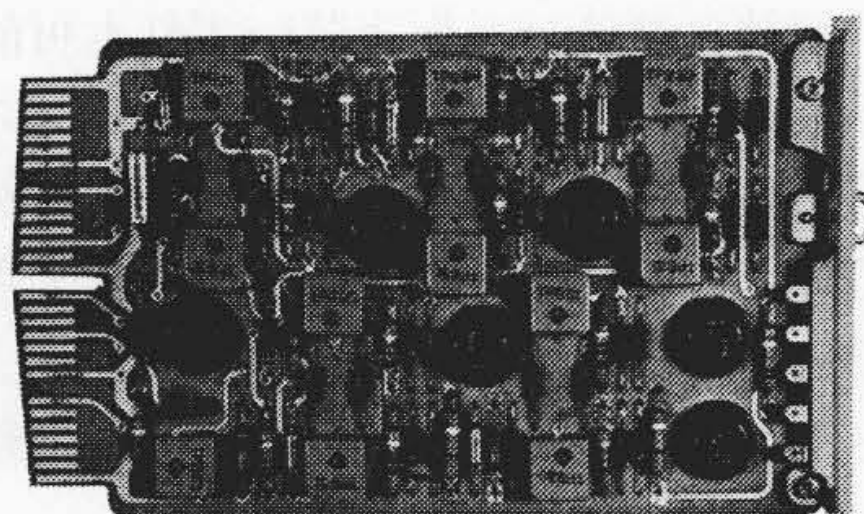
(a) 部品面



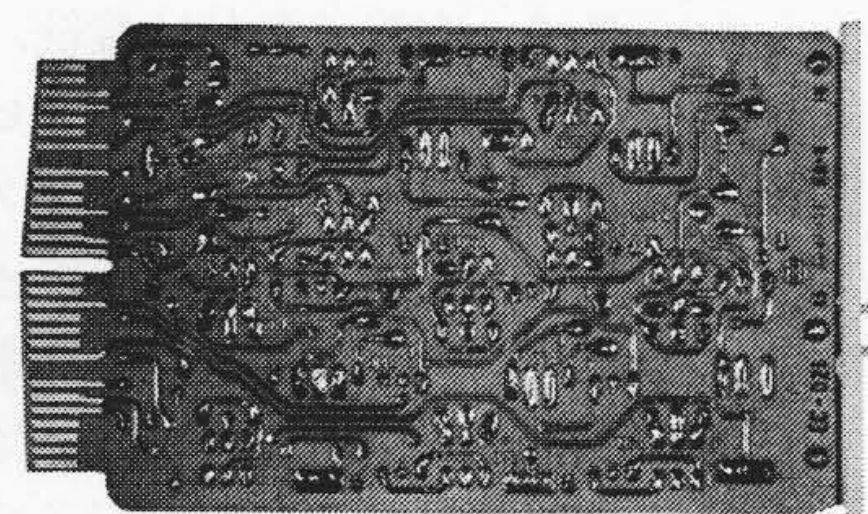
(b) はんだ面

(集積回路搭載パッケージ)

図17 DEX-2用EC形電子回路パッケージ



(a) 部品面



(b) はんだ面

(個別部品搭載パッケージ)

図18 DEX-2用EC形電子回路パッケージ

表4 プリント配線基準の概要 (単位 mm)

| 項 目                           |                                      |     | 基 準 内 容                                                                                                                        |         |         |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| 基 準 格 子                       |                                      |     | 2.5 直 角 格 子                                                                                                                    |         |         |
| 導 体 幅 (公 称 値 / 最 小 許 容 値)     |                                      |     | 0.5/0.25                                                                                                                       |         |         |
| 導 体 間 げ き (公 称 値 / 最 小 許 容 値) |                                      |     | 0.5/0.25 <sup>(1)</sup>                                                                                                        |         |         |
| ランド径/<br>穴径 <sup>(2)</sup>    | スルーホールメッキ<br>を行なわない場合 <sup>(3)</sup> | 1 級 | 2.2/1.0                                                                                                                        | 2.5/1.3 | 3.0/1.6 |
|                               |                                      | 2 級 | 2.5/1.0                                                                                                                        | 2.8/1.3 | 3.6/1.6 |
|                               | スルーホールメッキ<br>を行なう場合 <sup>(4)</sup>   | 1 級 | 1.4/1.0                                                                                                                        | 1.8/1.3 | 2.5/1.6 |
|                               |                                      | 2 級 | 2.2/1.0                                                                                                                        | 2.5/1.3 | 3.0/1.6 |
| 部 品 取 付 け 法                   |                                      |     | 1. 部品リード線に余長をもたせること。<br>2. リード線1本あたりの部品重量は7g 以下とする。<br>3. 1つのランドに2本以上のリード線を取り付けてはならない。<br>4. スルーホールメッキが行なわれない場合にはリード線は折り曲げること。 |         |         |

注：(1) 0.4 以下の場合には、コーティングを施すこと。

(2) スルーホールメッキを行なう場合、メッキ厚さを含まない。

(3) ランドにおける導体幅の最小値は 0.4 以上となる。

(4) ランドにおける導体幅の最小値は 0 であってもよい。

9. 部品取付け基準<sup>(2)</sup>

以上の結果により DEX-2 号用プリント配線板の部品取付け基準を次のように定めた。

- (1) 直立した架にプリント配線板を装着した状態において部品は正面からみてプリント配線板の左側に装着すること。
- (2) 部品取り付けに際して荷重がリード線内で吸収されるように考慮を払うこと。
- (3) 部品は原則としてプリント配線板に密着して取り付けられること。
- (4) 1個の部品取付け穴にリード線を2本以上取り付けないこと。
- (5) リード線1本あたりに加わる部品重量は7g以下であること。

- (6) 両端子部品は原則として図16(a)のように取り付けられること。
- (7) 片端子部品は原則として図16(b)のように取り付けられること。
- (8) 部品のリード線は原則として部品本体の長手方向へ折り曲げられること。部品のリード線の先端折り曲げ部は導体上にあって、導体にできる限り密着し、かつはんだ付けが確実になされていること。ただしスルーホールメッキランドにおいてはリード線は折り曲げなくてもよい。
- (9) 片端子部品の端子配列はプリント配線板のそりの少ない方向に合わせることが望ましい。

## 10. 結 言

電子回路パッケージの信頼性、量産性、保全性、実装密度などの見地からプリント配線の基本設計を求める実験を行ない、その結果に基づいてプリント配線基準を定めた。要約すればおおむね表4のとおりである。図17、図18は本基準に準拠して設計されたDEX-2用電子回路パッケージの一例である。

本基準の作成にあたって終始ご指導を賜った日本電信電話公社電気通信研究所技術協力部浅石部長、部品材料研究部高原総括調査役、技術協力部回路部品技術研究室半沢室長、杉原調査員、とくに実装打合せ会のテーマ取まとめ担当として懇切なご指導を賜った小林主任、三宅主任に厚く御礼申し上げる。また有益なご意見、ご討論をいただいた日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社の実装打合せ会委員のかたがたに深く感謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 三宅、田林：昭42信学全大 252
- (2) 三宅、小林、田村：プリント板の基本設計；通研研究実用化報告 投稿中
- (3) 小林：昭42電四連大 374
- (4) 小林、加藤：接続法と信頼性；通研研究実用化報告 Vol. 18 No. 5 P1123, 1969-5
- (5) 小林：昭42信学全大 251