

固定抵抗器の 安全使用に関する最新の注意点

(JEITA安全アプリケーションガイド RCR-2121Bより)

2015年10月21日
電子部品部会/技術・標準戦略委員会
標準化専門委員会
受動部品標準化WG/固定抵抗器G
副主査 渡辺 岳（パナソニック）

はじめに

- ・ 固定抵抗器の概要 (P2-10)

1 固定抵抗器の選定方法 (P11-12)

- 1) 形状又は実装上からの選定
- 2) 機能・性能上からの選定

2 固定抵抗器での確認事項 (P13-14)

- a) 定格
- b) 負荷電力軽減曲線
- c) 抵抗温度係数
- d) 素子最高電圧 (最高使用電圧)
- e) 高周波特性
- f) 経時変化
- g) 電流雑音
- h) 耐燃性

3 設計上の確認事項 (P15-32)

- 1) 熱設計上の確認事項
- 2) 耐候性要因の確認事項
- 3) 電氣的要因の確認事項

4 信頼性向上のための配慮 (P33-36)

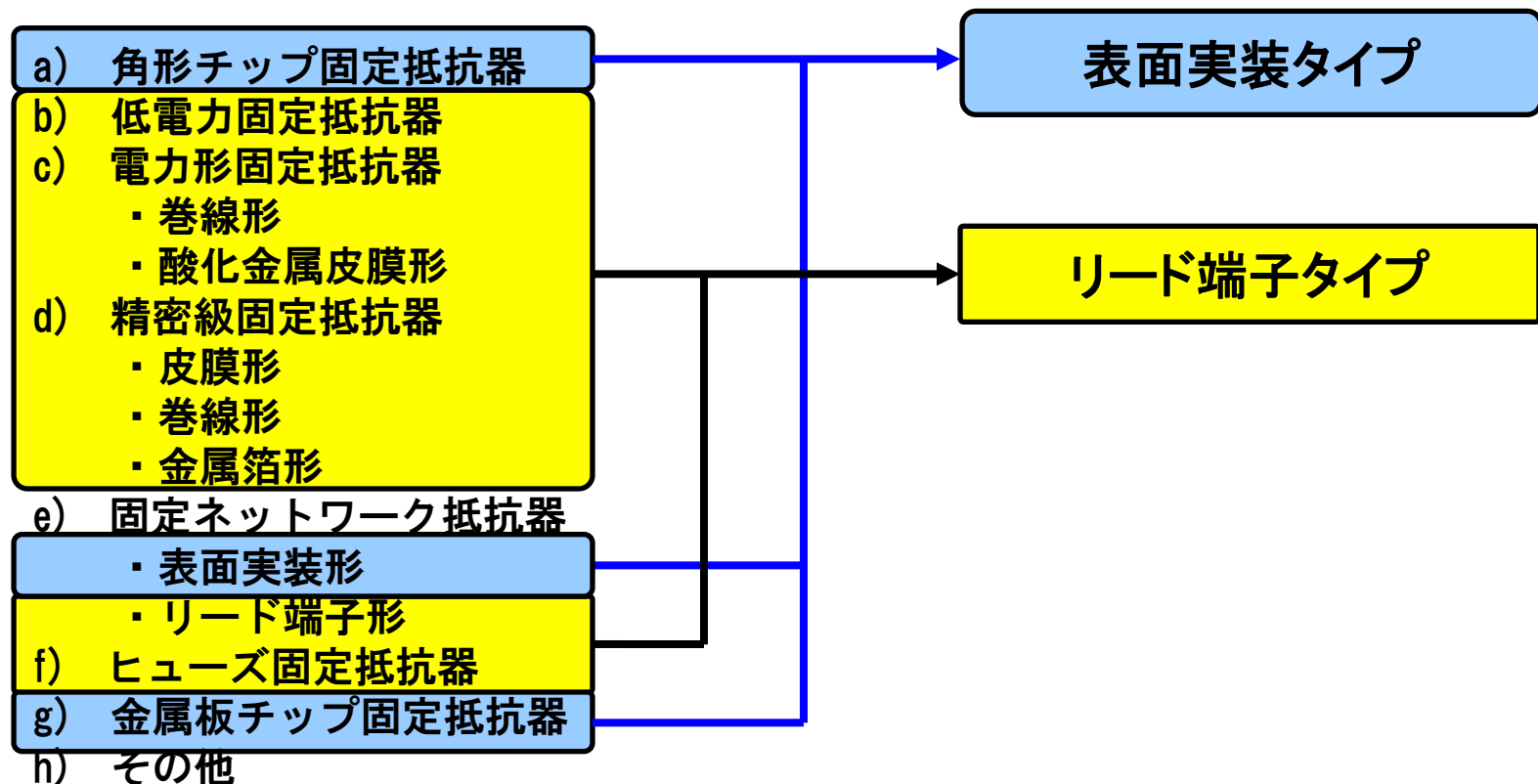
5 実装上の確認事項 (P37-46)

はじめに：固定抵抗器の概要 (P2-10)

固定抵抗器は、電子機器回路を構成する主要電子部品の一つで、回路の電圧/電流を制限する働きをもっています。

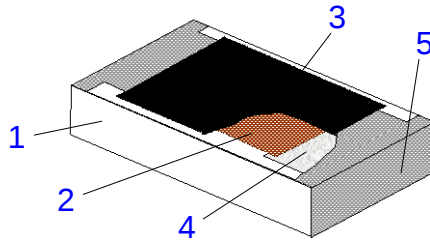
固定抵抗器にはRCR-2121Bに記載のある下記複数の種類がありますが、構造（端子形状）により大きく「表面実装タイプ」と「リード端子タイプ」に分類されます。

次ページ以降に代表的な固定抵抗器の概要を示します。



1) 表面実装タイプ

a) 角形チップ固定抵抗器



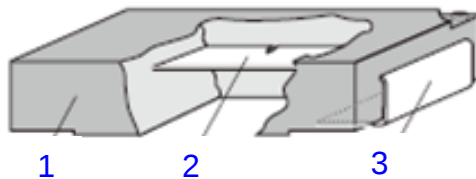
e) 固定ネットワーク抵抗器（複数のaを1パッケージ化）

- 1 セラミック基板
- 2 抵抗素子（金属系混合皮膜「厚膜」又は 金属皮膜「薄膜」）
- 3 保護膜
- 4 内部電極
- 5 外部電極（Snめっきなど）

（特徴）

- 生産量が最も多い
- 最少の小形固定抵抗器
- 抵抗体には金属混合系被膜（厚膜、メタルグレーズ）や金属皮膜（Ni系薄膜）が採用
- 電極端子はめっき処理

g) 金属板チップ固定抵抗器



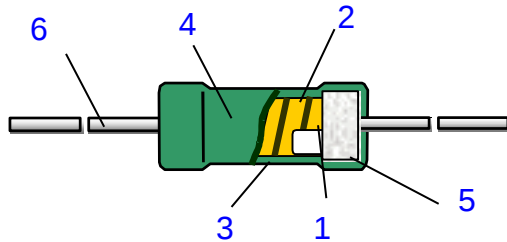
- 1 モールド樹脂
- 2 抵抗素子（金属板 又は 金属はく(箔)）
- 3 電極（Snめっきなど）

（特徴）

- 表面実装用で超低抵抗領域
- 抵抗体には金属板又は金属はく(箔)が採用
- 電流検出回路に最適

2) リード端子タイプ

b) 低電力固定抵抗器

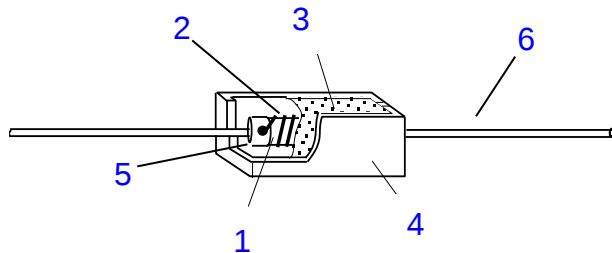


- | | |
|---|--------------------|
| 1 | セラミック支持体 |
| 2 | 抵抗皮膜（炭素皮膜 又は 金属皮膜） |
| 3 | 溝切部 |
| 4 | 保護塗装 |
| 5 | キャップ |
| 6 | リード線 |

（特徴）

- 主に0.5W以下の低電力領域
- 抵抗体には炭素皮膜や金属皮膜が採用

c) 電力形固定抵抗器（巻線形）



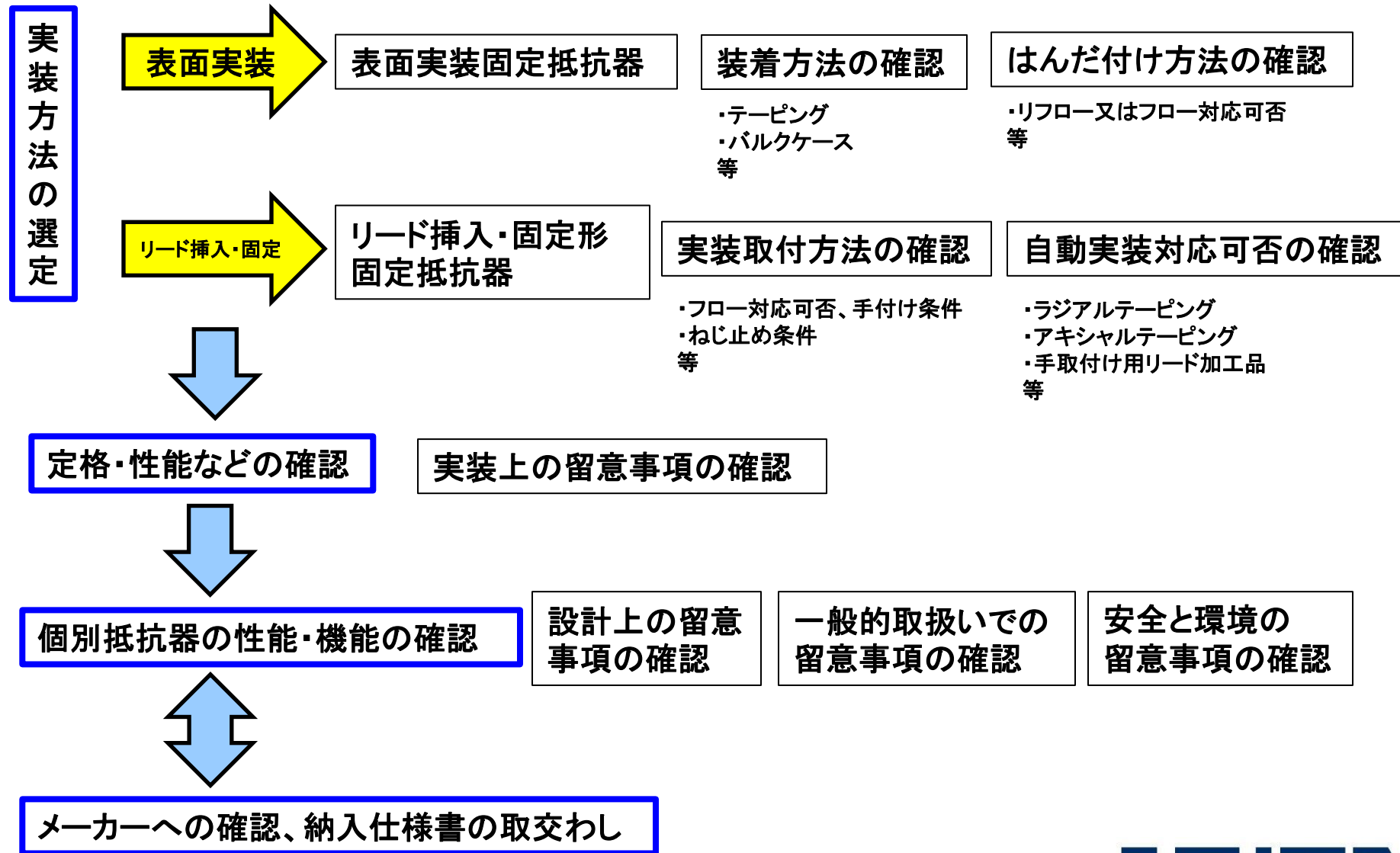
- | | |
|---|-----------------|
| 1 | セラミック 又は ガラス支持体 |
| 2 | 金属抵抗線 |
| 3 | 絶縁充填材（セメント封止材） |
| 4 | セラミックケース |
| 5 | キャップ |
| 6 | リード線 |

（特徴）

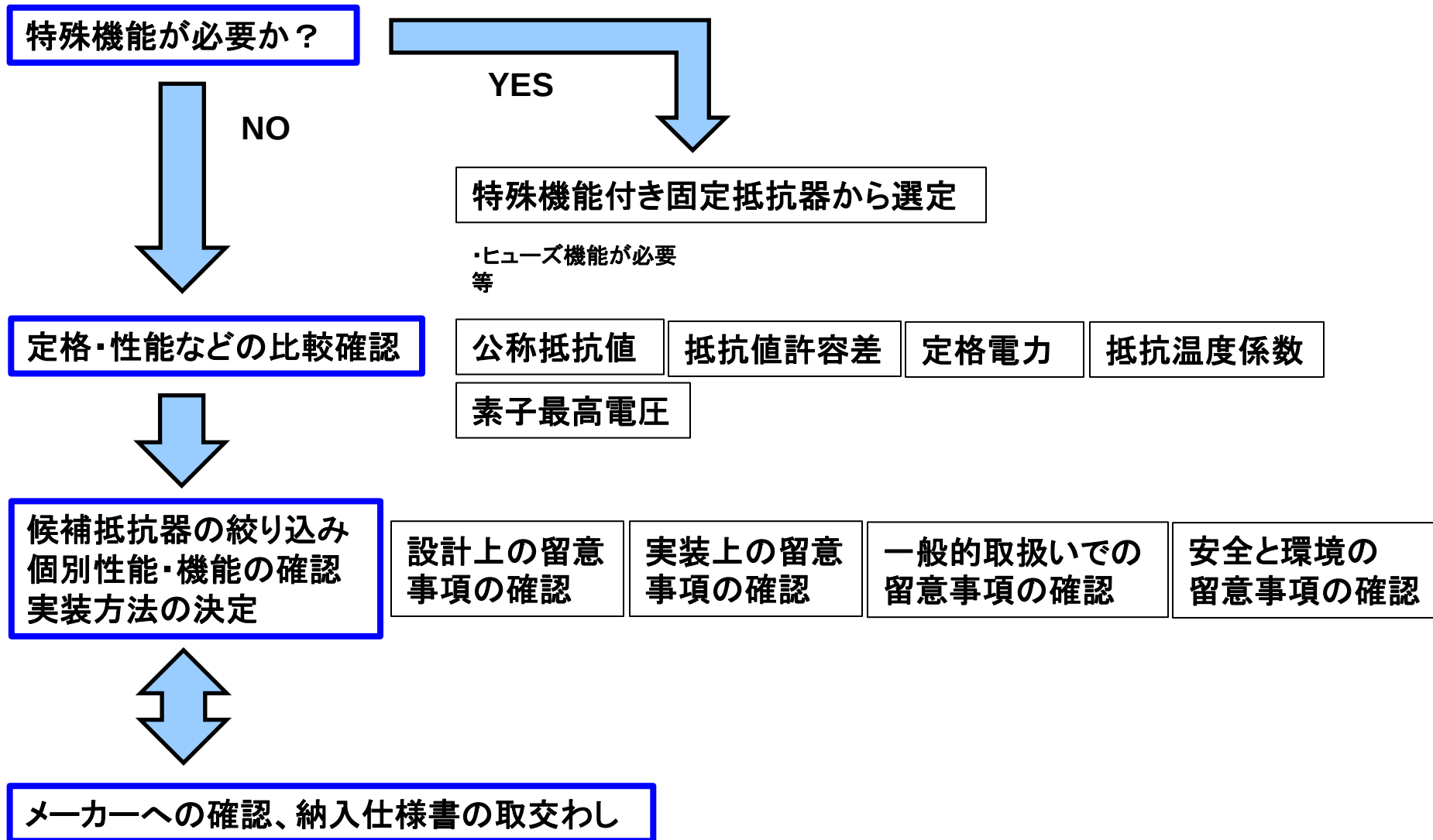
- 0.5W以上の高電力領域の大型抵抗器
- 温度上昇を考慮して外装にセラミックケース等を使用
- 抵抗体には金属巻線等が採用され、他の抵抗器に比較しパルス特性に優れる

固定抵抗器の選定方法 (P11-12)

1) 形状又は実装上からの選定



2) 機能・性能上からの選定



固定抵抗器での確認事項 (P13-14)

a) 定格

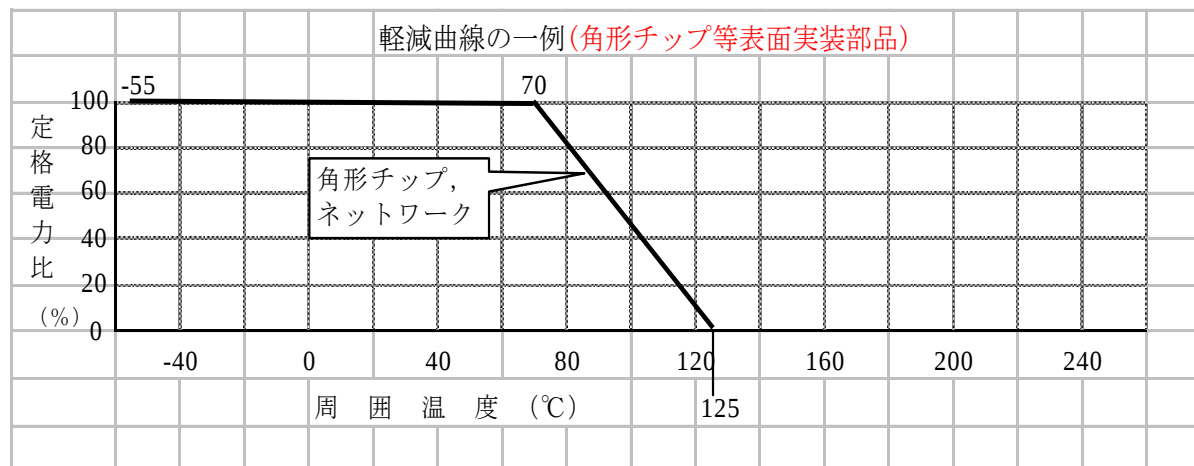
- 1) 定格とは、固定抵抗器の規定の周囲温度で、連続して使用できる電氣的ストレス（電力、電圧、電流）の最大値をいいます。
- 2) 定格電圧算出式は、次式で表されます。

$$\text{定格電圧 (V)} = \sqrt{\text{定格電力 (W)} \times \text{定格抵抗値 (\Omega)}}$$

※ネットワーク抵抗器においては素子当たりの定格電力だけでなく、パッケージ当たりの最高電圧及びパッケージ電力が規定されている場合がありますので注意して下さい。

b) 負荷電力軽減曲線

- 1) 定格周囲温度（及び端子部温度）を超えて使用する場合は、その負荷電力軽減曲線に、その温度における連続印加可能な電力が規定されており、その規定電力以下で使用して下さい。安定して長く使用できるよう、定格電力の50%以下での使用を推奨します。



c) 抵抗温度係数

- 1) 抵抗温度係数は、抵抗器の使用温度の変化に対する抵抗値の変化を1℃当たりの値で表したものです。
- 2) 低抵抗値の場合には、測定方法（実装時の引き廻し、銅はくパターン、配線など）を考慮する必要があります。

$$\text{抵抗温度係数 (10}^{-6}\text{/K)} = \frac{(R - R_0)}{R_0} \times \frac{1}{(t - t_0)}$$

R : t℃における抵抗実測値 (Ω)
R₀ : t₀℃における抵抗実測値 (Ω)
t : 試験温度の実測値 (℃)
t₀ : 基準温度の実測値 (℃)

d) 素子最高電圧（最高使用電圧）

- 1) 素子最高電圧とは抵抗器に連続して印加できる電圧の最大値です。一般的には定格電力及び公称抵抗値から計算した電圧を定格電圧としますが、高抵抗値領域において計算上の定格電圧が素子最高電圧を超える場合は、素子最高電圧を定格電圧として使用する必要があります。

e) 高周波特性

- 1) 一般の抵抗器は、周波数の増減に伴いインピーダンスの値が変化します。
- 2) 一般の巻線抵抗器は、抵抗線をコイル状に巻いた構造の為、高周波での使用において発振及びインダクタンスによる特異現象を生じやすく、抵抗値及び回路要素のバラツキを十分確認する必要があります。

f) 経時変化

- 1) 一般的に無負荷放置による抵抗値の経時変化は実使用上問題無いレベルである。
- 2) 抵抗値の許容差は初期の許容差であって、長期保存の場合必ずしも保証する値ではありません。

g) 電流雑音

- 1) 電流雑音は抵抗体の材質に大きく依存するものです。
- 2) 電流雑音は抵抗器に電流を流した時に発生する雑音で、電流の二乗に比例しますが、数kHz以上の帯域では熱雑音に比較して極めて小さくなります。
- 3) 電流雑音の電力密度は周波数に反比例するので、低周波の数10Hz以下の帯域では、熱雑音に比較して影響が大きくなります。
- 4) 直流や数Hzの信号を扱う回路を設計する際は、電流雑音がそのアプリケーションに対して問題ない大きさであるか、十分に確認する必要があります。

h) 耐燃性

- 1) 外装樹脂の耐燃性レベルに関しては事前にメーカーと協議してください。一般の抵抗器の中で耐燃性でないものは、過負荷で発炎、発火、発ガス、発煙、赤熱するなどの可能性があります。

設計上の確認事項 (P15-32)

熱設計上の確認事項

(1) 熱放散

【確認事項】

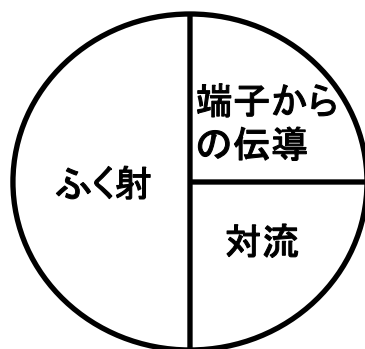
抵抗器の超えてはならない最高温度を超える温度は、抵抗器の機能を損ない破壊する危険を伴います。機器組立工程及び機器の使用中に、抵抗器の表面上に異常な加熱点ができないように考慮しなければなりません。

また、抵抗器の表面温度はプリント配線板の材質・構造（放熱性）によっても影響を受けます。

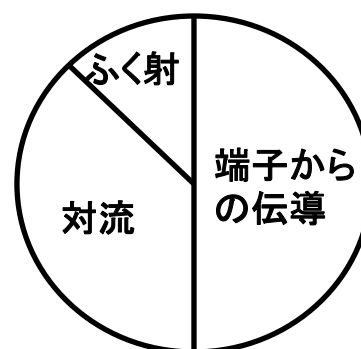
【具体例】

熱放散の悪い環境が故障原因ともなり得るため、抵抗器の表面温度はできる限り低く抑えるようにしてください。

下図は室内で抵抗器からの熱放散を示しています。高密度実装で周囲の熱媒体が一樣でない場合には、その都度シミュレーションによる熱分布調査検討の必要があります。



2Wを超える抵抗器



2W以下の抵抗器

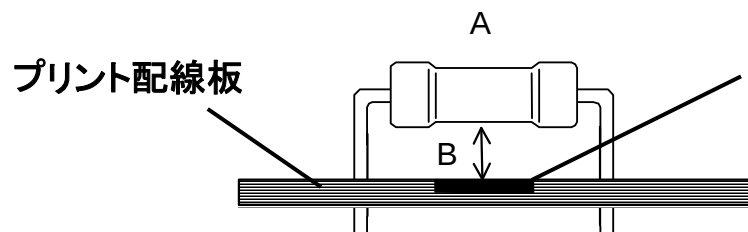
(4) 他の部品への影響

【確認事項】

抵抗器は通電によってジュール熱が生じます。この発熱は、抵抗器では不可避な現象であり、他の部品に影響を与えないよう、取付け位置に注意する必要があります。過大な発熱の影響は部品の劣化を招くため、結果として突発的な故障を引き起こす原因となります。

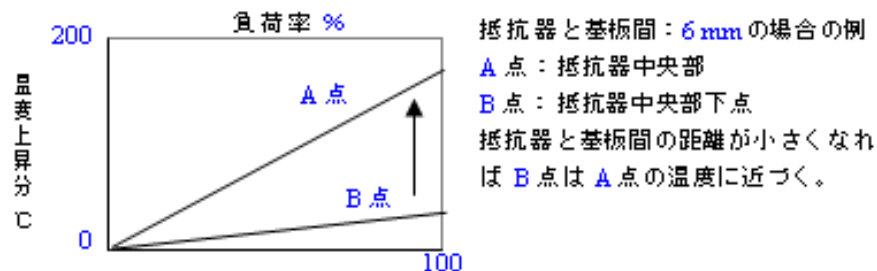
【失敗の事例】

高電力形抵抗器のプリント配線板への取付けで、抵抗器本体とプリント配線板との間隔が十分でなく、基板の焦げが発生した。



抵抗器本体とプリント配線板との間隔を十分に取らなかったため、焦げが発生

酸化金属皮膜固定抵抗器 2W 1k Ω 表面温度上昇一測定データの例



上記事例の対応策としては、メーカー推奨のリード線加工品を使用するか定格電力の大きい抵抗器を使用することなどがあります。

(8) 抵抗器の熱ストレスによる接続信頼性

【確認事項】

抵抗器では、その品種毎に規定された負荷軽減曲線に基づいて負荷軽減をする必要があることは、前述の確認事項の項でも述べていますが、表面実装タイプの抵抗器の取付密度やはんだ及びプリント基板などの膨張率にも注意してください。

また、安定して長く使用できるように、放熱設計にも留意してください。

【失敗の事例】

負荷率50%以下で使用しても、取付密度が高い場合は電極部からの集積された熱の蓄積によって稼動時と非稼動時との温度差が大きくなり、はんだ接合部に熱サイクルが発生し、はんだの金属疲労となりクラックが発生する場合があります。

対応策として以下など、配慮してください。

- ・ 抵抗器間の間隔を広くする。
- ・ 熱拡散のための放熱部品を設ける。
- ・ さらに、抵抗器の消費電力を下げる。

耐候性要因の確認事項

(1) 特殊環境下での使用

【確認事項】

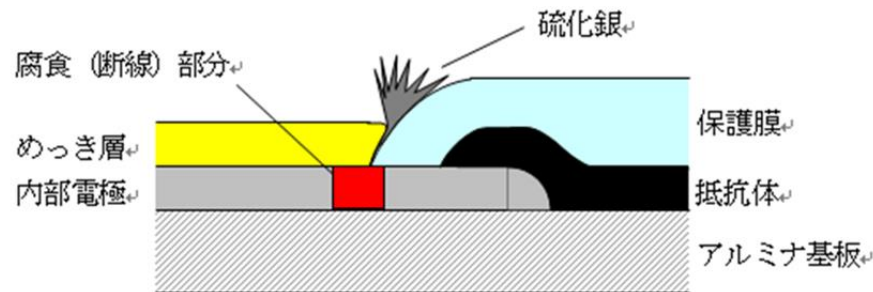
特殊環境での使用及び条件では、事前に性能及び信頼性を十分調査確認して、要求性能を満足する品種を選定する必要があります。

特殊環境には、次のようなものがあります。

- ① 水、塩水、油、酸・アルカリ、有機溶剤などの液体中又は液体のかかる所
- ② 直射日光、屋外での暴露、塵埃中
- ③ 結露状態になる所
- ④ 有害ガス（潮風、HCl、Cl₂、SO₂、H₂S、NH₃、NO_xなど）が多い場所

【具体例】

内部電極として銀系の材料を使用している角形チップ抵抗器などの場合、硫化ガスなどの雰囲気中で、保護膜とめっきとの隙間から硫化ガスが侵入し、次の化学式に示すような反応が進むことによって硫化銀が発生し、銀系の内部電極が断線を起こす場合があります。



硫化銀生成品の断面模式図

硫化雰囲気となる要因としては、硫黄を加硫剤として使用しているゴム、硫塩化系及び硫黄系オイルなどが高温多湿雰囲気中使用される場合があります。

(2) 高温高湿環境下での使用

【確認事項】

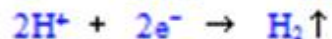
皮膜系の抵抗器を高湿度雰囲気又は結露状態で使用すると、塗装膜を通して抵抗皮膜表面に水分が入り込み、この状態で直流負荷を加えると、水の電気分解現象で発生した酸素又は水素によって抵抗皮膜が焼失し、抵抗値高化並びに断線に至ることがあります（抵抗器の電蝕）。

【具体例】

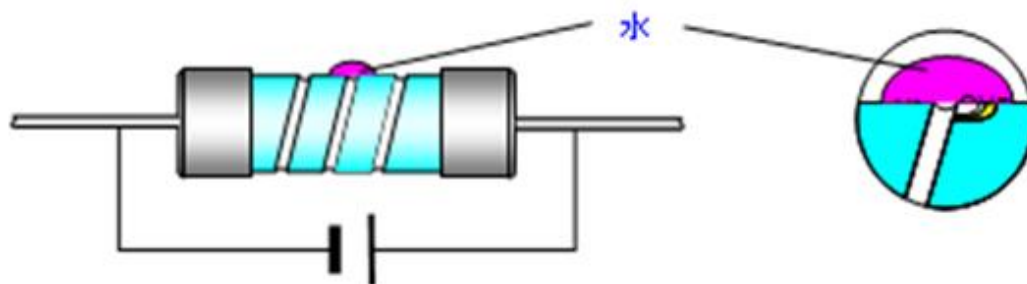
炭素皮膜抵抗器及び金属皮膜抵抗器の場合の抵抗皮膜消失メカニズム



炭素皮膜抵抗器の抵抗皮膜“C”は陽極に移動した OH^- と反応して CO_2 となり気化する。



金属皮膜抵抗器の抵抗皮膜“Ni”及び“Cr”は陽極に移動した OH^- と反応して酸化物（不導体）となる。



電氣的要因の確認事項

(1) 過渡的負荷：パルス電圧

【確認事項】

- ・ パルスなどの過渡的な負荷は考慮が必要
- ・ ワースト条件（スイッチON時の短時間負荷等）での確認、メーカーとの協議により形状及び定格電力を決定必要
- ・ JISの過負荷規定において、この条件よりも短時間で高い電圧が印加される場合、例えば

① 多数個を直列にして高電圧を印加する場合の過渡現象

② LC回路での過渡現象

③ パルス高電圧が印加される場合

などについては想定されていません。

【具体例】

皮膜形抵抗器の耐パルス電圧は次式によって求めることができます。

$$V_p = K P \sqrt{R \times T / \tau}$$

V_p ：耐パルス限界電圧 (V)

P ：定格電力 (W)

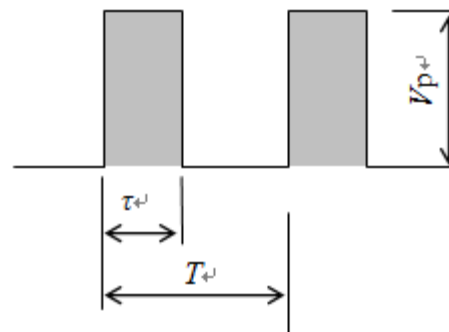
R ：公称抵抗値 (Ω)

T ：周期 (s)

τ ：パルス持続時間 (s)

K ：皮膜の種類及び構造による係数

$T < 10$ 、 $T / \tau < 1000$



Kの値の例

種 別	K
角形金属混合系皮膜チップR	0.2 ~ 0.3
酸化金属皮膜R	0.5

(2) 過渡的負荷：インラッシュ電圧

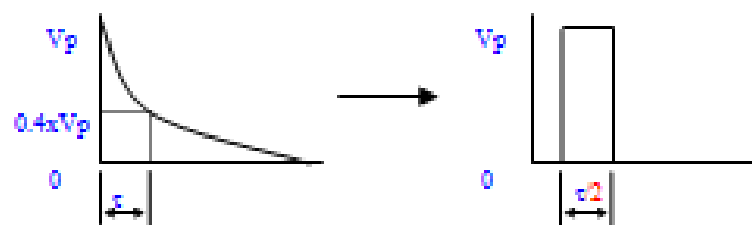
【確認事項】

- ・ 機器組立工程及び機器の使用中に抵抗器にインラッシュ電圧が印加されないように注意が必要
- ・ 他部品及び回路のトラブルによる異常電圧が印加された場合は、抵抗値及び外観が正常であっても、初期特性が発揮できない可能性有り。

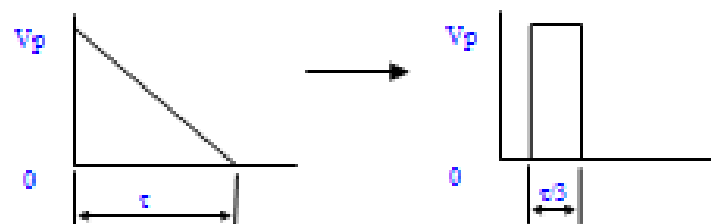
【具体例】

インラッシュ電圧の波形については次の図のように矩形波に近似させ、ピーク電圧・パルス持続時間を求めた上、この値が耐パルス電圧を超えないよう配慮が必要。

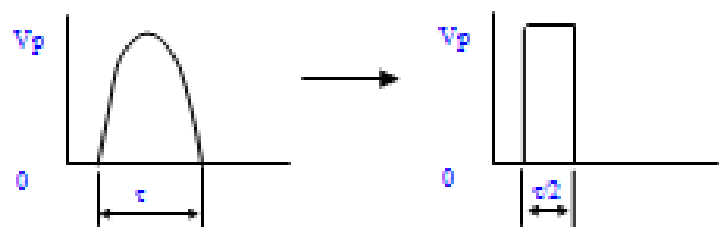
コンデンサ放電波形の場合



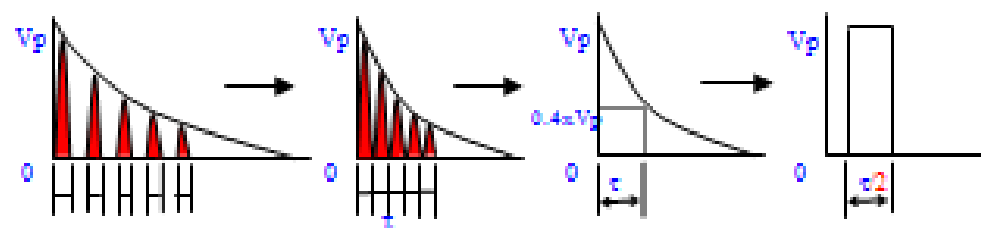
三角波の場合



正弦波の場合



特殊波形の場合



(3) 過渡的負荷：静電気電圧

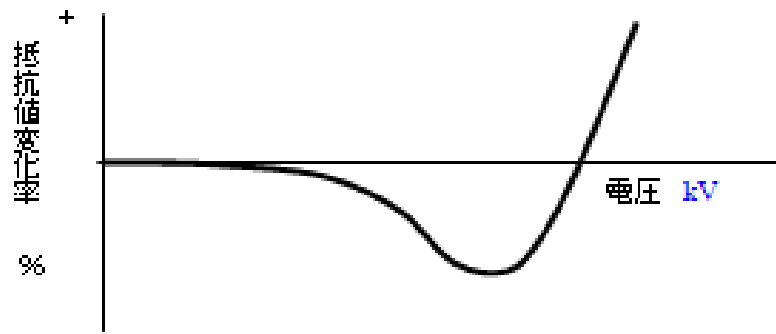
【確認事項】

- 電子機器組立工程において静電気の発生・印加によって、固定抵抗器が損傷する場合があります注意が必要
- 特に金属系混合皮膜の固定抵抗器の場合は数kVの静電気電圧によって、混合材料の粒子間の結合が破壊され抵抗値が一旦低下し、さらに高い電圧が印加されると急激に抵抗値が高くなります。
- 金属皮膜形の固定抵抗器は、金属系混合皮膜の固定抵抗器よりも低い静電気電圧によって抵抗皮膜が焼損し、抵抗値高化及び断線に至る可能性有り。

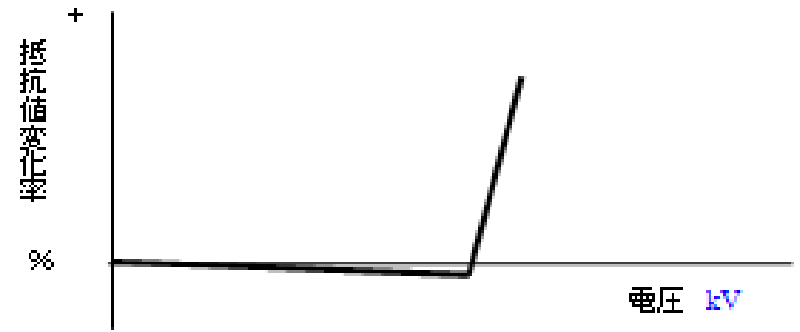
【具体例】

抵抗器の静電気電圧印加時の抵抗値変化イメージは、次のようになります。

角形チップ抵抗器などの金属系混合皮膜形固定抵抗器の場合のイメージ



金属皮膜形の固定抵抗器の場合のイメージ



信頼性向上のための配慮 (P33-36)

信頼性向上のための配慮

(1) 故障モード

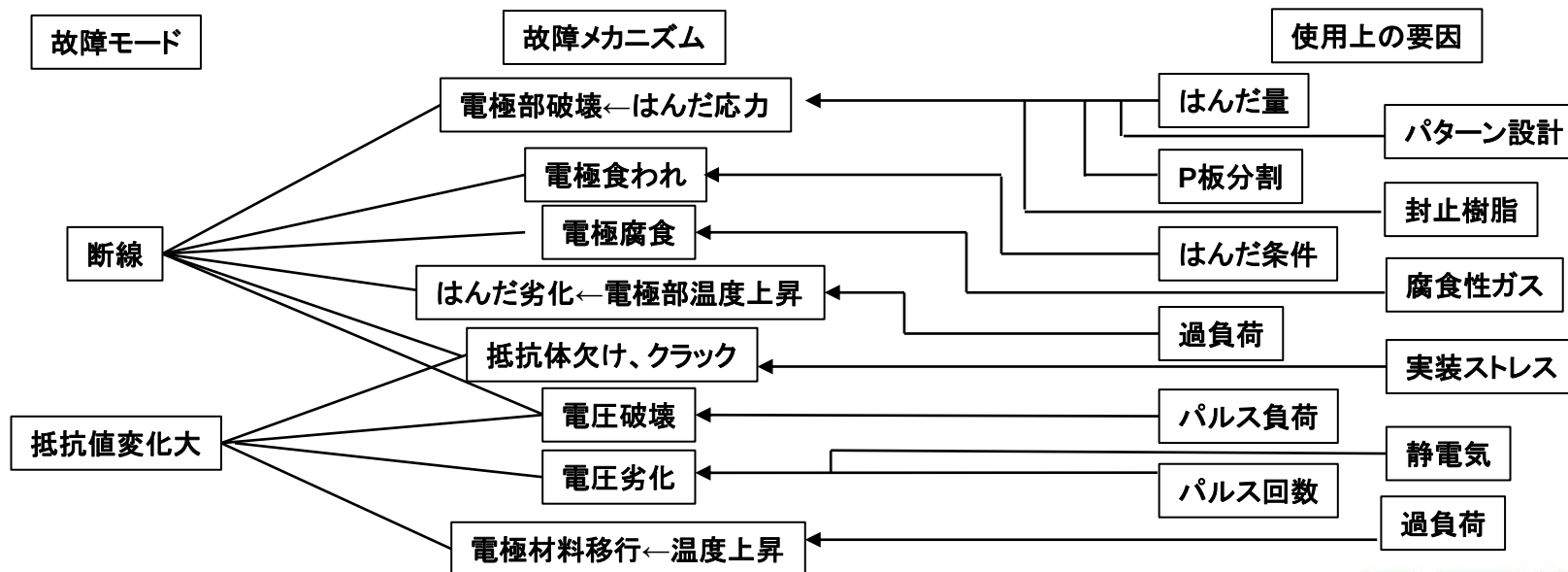
【確認事項】

- 抵抗器の故障モードは次のとおりです。

- ① 断線
- ② 短絡
- ③ 抵抗値不安定
- ④ 抵抗値変化大
- ⑤ 保護外装のクラックによる耐電圧不良及び抵抗値変化

【具体例】

抵抗器の種類及び使用方法によって、一番発生しやすい故障モードは異なります。
角形金属系混合皮膜チップ固定抵抗器の故障モードメカニズム事例を次に示します。



実装時の取扱い上の確認事項

(2) 表面実装用固定抵抗器への機械的ストレス

【確認事項】

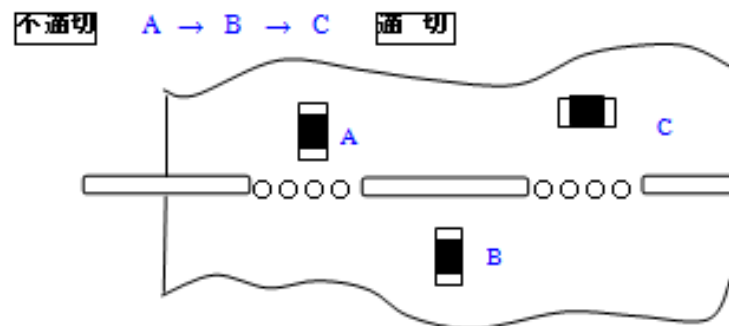
- ・ プリント配線の熱ひずみは、直接抵抗器にストレスとなって加えられるため、次の諸事項への配慮が必要。
 - ① プリント配線板の繊維方向（縦方向）に沿った電極配置
 - ② ランド幅が広くなると、プリント配線板のたわみに対する電極強度が低下への配慮（ランド幅は抵抗器の0.7～0.8倍程度がよい）
 - ③ プリント配線板の基板の反り、たわみなどのストレスに対する配慮
 - ④ 左右ランドの大きさが異なることで、はんだ冷却時のストレスが片側に集中する配慮
 - ⑤ 大きさの著しく異なる部品との配置の配慮
- ・ 抵抗体の保護膜への実装時及び実装後機械的ストレスに注意が必要。
- ・ 実装後ブラッシングなどによる保護膜及び外部電極への傷をつけないよう注意が必要
- ・ 実装時にマスキングテープを使用する場合、テープの粘着剤残り及び抵抗器への機械的ストレスに注意が必要
- ・ ペンシルはんだごてによる取付けは、抵抗器の電極部をこすらないように注意が必要
- ・ 抵抗体の割れが発生する場合、実装機の調整不備によることが多いので、設備稼働時の確認をする
- ・ 実装時の落下品及びプリント配線板からの取り外し品は使用しない事

実装時の取扱い上の確認事項

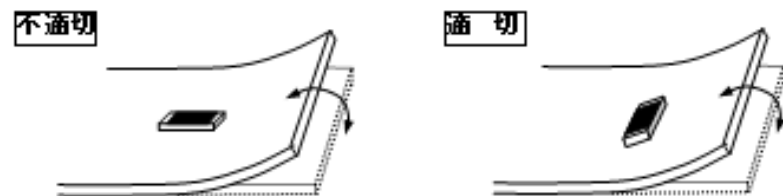
(2) 表面実装用固定抵抗器への機械的ストレス

【事例】

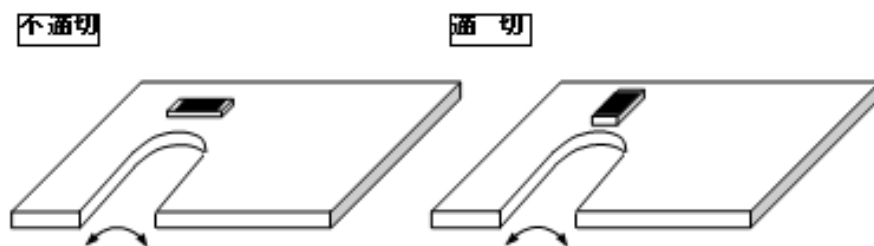
基板ブレイク近辺での抵抗器の配置



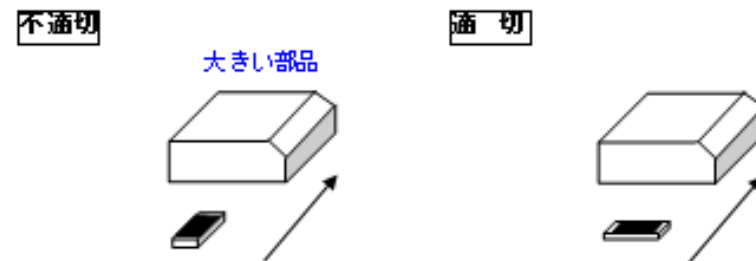
ストレスの働く方向に対して、抵抗器の電極が直角になるように配置してください。



曲がりやすい箇所に対しては、次のように配置してください。



大きい部品のはんだが固化する時、矢印の方向に応力が働きます。次の図の場合には部品割れを起こしやすくなります。



(2) 表面実装用固定抵抗器の実装

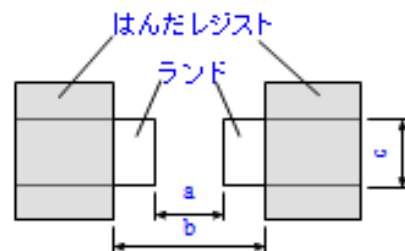
【確認事項】

- ・ メーカーの推奨するランドパターンを参考にしてください
- ・ プリント配線板に適正にはんだ付けするには、プリント配線板のランド幅、形状、接着剤の位置（フロー式の場合）などの設計が重要
- ・ 共通パターンを使用する場合、電極部ストレス軽減のため、ソルダーレジストによるパターン分離によるはんだ量制御が必要
- ・ フラックス残留やイオン性不純物が腐食及び耐湿特性劣化の原因になりえるため、実装前後に発汗した素手などで触れて汚染させることを避けてください。
- ・ リフローはんだ付けではメーカーの推奨条件を考慮してください
- ・ フローはんだ付けでののはんだ温度は、270℃以上に上げたり、必要以上に長時間はんだ槽に浸せきさせないでください。狭ピッチ実装ではブリッジの問題によりリフローはんだ付けを推奨します。
- ・ はんだ付けに際し、高温度長時間になると電極食われを起こす可能性があります。
- ・ フラックスは腐食性が少なく、はんだよりも流動性が高く、融点は、はんだの融点よりも低いものを使用してください。
- ・ はんだごて方法では次の点に注意してください。
 - ① コテを抵抗器の保護膜に当てない
 - ② コテ先温度が高い条件では、できるだけ短時間作業をしてください
- ・ 接着剤は、絶縁抵抗が大きく、耐湿性に優れ、少なくとも使用温度範囲及び動作中のホットスポットで劣化しないものを使用してください。
- ・ はんだは、抵抗器の外部電極食われ防止のため、使用電極材料に応じた同種の接続材料を使用することを奨めます。

実装及びはんだ付け条件の確認事項

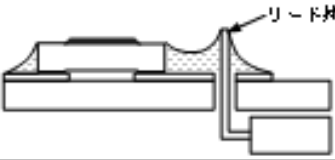
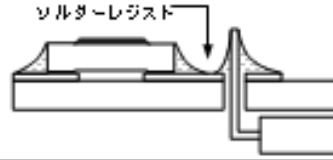
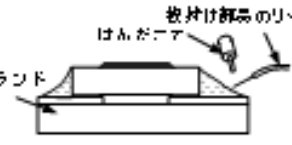
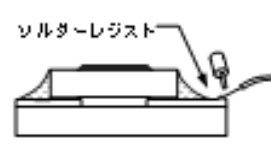
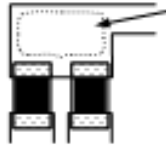
(2) 表面実装用固定抵抗器の実装

a) 推奨ランドパターン



形式	0603	1005	1608	2012	3216	3225	5025	6332
a	0.3~0.4	0.5~0.6	0.7~0.9	1.0~1.4	2.0~2.4	2.0~2.4	3.5~3.9	3.6~4.0
b	0.8~0.9	1.1~1.6	2.0~2.2	3.2~3.8	4.4~5.0	4.4~5.0	6.0~7.2	7.6~8.6
c	0.25~0.35	0.4~0.6	0.8~1.0	0.9~1.4	1.2~1.8	1.8~2.8	1.8~2.8	2.3~3.5

b) ランドパターン分離の例（断面図）

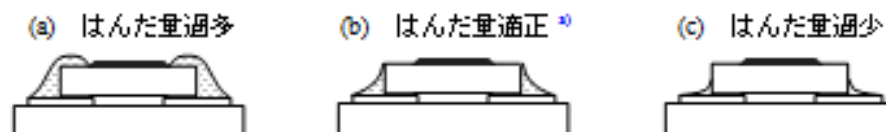
項目	避けたい事例	パターン分割による改善事例
リードの溶接	 リード片離れの	 ソルダーレジスト
シヤの配直	 はんだ（アースソルダー） シャージ	 ソルダーレジスト
リードの後付け	 はんだがア 被付け部品のリード ランド	 ソルダーレジスト
横置き配直	 はんだが過多になる部分	 ソルダーレジスト

実装及びはんだ付け条件の確認事項

(2) 表面実装用固定抵抗器の実装

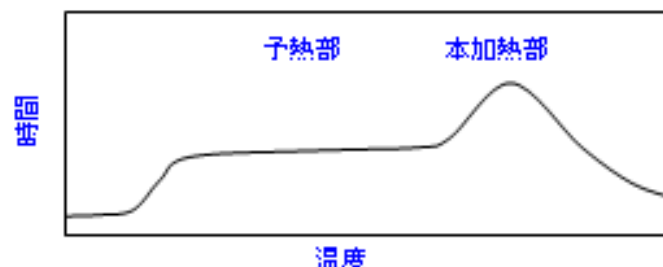
c) はんだ塗布量

はんだ塗布量が過剰になると、はんだの収縮応力によって機械的・熱的ストレスを受けやすく、破損、クラック及び割れの原因となります。また、はんだ塗布量が過少になると、固着力が不足し、接続不良及び抵抗器脱落の原因となり、回路の信頼性に影響を及ぼす場合もあります。はんだ量の代表例を次に示します。



注^{a)} 適正なフィレット高さは、抵抗器の厚みの50%を推奨します。

d) リフロープロファイル条件



使用はんだ	加熱部	温度条件	時間
Sn-37Pb	予熱部	150 ~ 180 °C	60 ~ 120秒
	本加熱部	200 °C以上	40 ~ 50秒
	ピーク	230 °C	10秒以内
Sn-3Ag-0.5Cu	予熱部	150 ~ 180 °C	60 ~ 120秒
	本加熱部	230 °C以上	30 ~ 40秒
	ピーク	260 °C	10秒以内

ご清聴ありがとうございました。

END