

***Application Note 905 Transmission Line RAPIDESIGNER Operation and  
Applications Guide***



Literature Number: JAJA264

# 伝送ライン RAPIDESIGNER の操作とアプリケーションのガイド ライン

## はじめに

ナショナル セミコンダクターの伝送ライン RAPIDESIGNER はプリント回路基板のデータ伝送ライン・システムの設計でよく使われる計算を迅速に実行できます。伝送ライン RAPIDESIGNER には、ナショナル セミコンダクターのインタフェースのデータブックに記載されたルールをベースに、データ伝送とインタフェース製品を設計 / 製造し、ナショナル セミコンダクターのインタフェース製品の顧客をサポートしてきた長年の経験が生かされています。

伝送ライン RAPIDESIGNER には以下の 2 つのバージョンが用意されています。RAPIDESIGNER (Lit.#633200) は ISO のメートル単位が採用されています。RAPIDESIGNER (Lit.#633200) は英国単位 ( インチ ) が採用されています。

ナショナル セミコンダクターのその他の製品情報に関しては、ナショナル セミコンダクターの販売代理店へお問い合わせいただくか、ナショナル セミコンダクターの web サイト [www.national.com/jpn](http://www.national.com/jpn) をご覧ください。

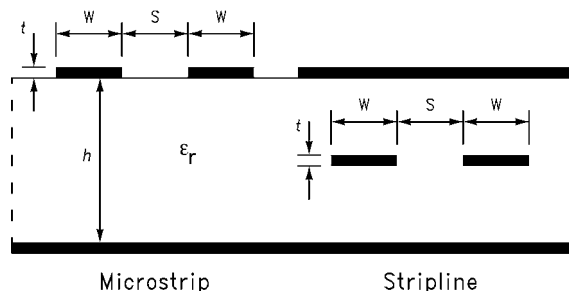
## 注意事項

ナショナル セミコンダクターは、伝送ライン RAPIDESIGNER を使用した結果、またはその結果のアプリケーションに対して責任および義務を負わないものとします。このカルキュレータから、意味のある利用価値のある結果を得るためには、一般的な伝送ラインの理論とパルス伝達による伝送ラインのアプリケーションと解析に精通している必要があります。

伝送ライン RAPIDESIGNER から得られる精度は良く使われるネーピア対数の計算尺の結果と同様であり、有効桁は 2 ~ 3 桁です。計算尺による結果の精度は、入力などの数値要素と計算に使われる近似値との関係に依存します。近似値と計算の精度限界と制限の既知の値は付録 A に示してあります。

## 伝送ラインの構造

伝送ライン RAPIDESIGNER に使用されているマイクロストリップ、ストリップライン構造を以下に示します。



National Semiconductor  
Application Note 905  
James A. Mears  
1996 年 5 月



慣用的に、 $h$  はマイクロストリップ構造における誘電体の厚さ、 $b$  はストリップラインの誘電体の厚さを表します。伝送ライン RAPIDESIGNER では便宜上、 $h$  だけで誘電体 ( 基板 ) の厚さを表します。差動ラインはエッジ結合のみとします。ストリップラインは対向したイメージ・グラウンド・プレーン間の中央に位置しています。

## REACTANCE FREQUENCY (リアクタンス周波数) (SIDE ONE)

容量性リアクタンス  $X_C$ 、容量  $C$ 、または周波数  $f$  のいずれか 2 つのパラメータを与えて、リアクタンス周波数スケールを使用し残りのいずれかの値が得られます。同様に、誘導性リアクタンス  $X_L$ 、インダクタンス、または周波数  $f$  が最適なスケールによって得られます。さらに、所定の周波数で共振する容量とインダクタンスの値が得られます。

### 例

- 50MHz でリアクタンスが 0.2 となる容量値を求めます。
  - 周波数スケール上で、矢印を 50MHz に合わせます。
  - それに対応する容量リアクタンス・スケール上の 0.2 は容量スケール上で 17nF と読み取れます。
- 25nH で 10 のリアクタンスが得られる周波数を求めます。
  - 誘導性リアクタンス・スケール上の 10 に対応するインダクタンス・スケール上で 0.025μH (25nH) を設定します。
  - 矢印の点の周波数スケールで 63MHz と読み取ります。
- 100kHz で 20mH と共振する容量値を求めます。
  - 周波数スケール上で、矢印を 100kHz に合わせます。
  - インダクタンス・スケール上の 20mH にする値として、誘導リアクタンス・スケール上で、13k と読み取ります。
  - 容量性リアクタンス・スケール上の 13k に対する値として、容量スケール上で 130pF を読み取ります ( 手計算の値は 127pF です ) 。

## DIFFERENTIAL ( 差動 ) $Z_0$ (SIDE ONE)

差動  $Z_0$  のスケールを使用すると、エッジ結合の差動ペア・マイクロストリップまたはストリップラインの近似的な特性インピーダンスが得られます。これらのスケールを利用する前に、Side Two のマイクロストリップとストリップラインの  $Z_0$  を用いて個々の導体の特性インピーダンスが求められている必要があります。次に差動インピーダンスの  $Z_{diff}$  は、ライン間隔の  $s$ 、誘電体厚さの  $h$  を元に求められます。ペアの導体はいずれも同じ断面積でなければなりません。差動ペア導体間の間隔は隣接するライン構造からの過剰なクロストークとインピーダンスの影響を避けるために、 $2s$  より大きくしてください。

公式と計算法は、伝送ライン RAPIDESIGNER に固有の方法が使われています。計算法は、結合ライン・ペアの逆クロストーク・パラメータの近似値をベースにしています。このパラメータを使用してライン・ペアの相互インダクタンスと容量を表せることがわかります<sup>(1 ~ 6)</sup>。このようにして、差動ペアの近似的な特性インピーダンスが計算できます。

**Note:** RAPIDESIGNER では、マイクロストリップでは、 $0.20 \text{ s/h}$   $3.0$  に制限されます。ストリップラインの場合は、 $0.20 \text{ s/h}$   $1.5$  です。

#### 例

- 基板厚が  $0.076\text{cm}$  の構造上で、 $0.10\text{cm}$  の間隔を持つ  $75$  のマイクロストリップのエッジ結合ペア間の差動インピーダンスを求めます。
  - $h$  スケール ( 上段ウィンドウ ) の  $0.076\text{cm}$  に  $s$  スケール上の  $0.10\text{cm}$  を設定します。
  - マイクロストリップ上で矢印が示すマイクロストリップのファクタ・スケールを  $0.86$  と読み取ります ( 中段ウィンドウ )。
  - ファクタ・スケール上の  $0.86$  に対応する  $Z_0$  スケール上でスライドを動かして  $75$  に設定します ( 下段ウィンドウ )。
  - 矢印が示す  $Z_{\text{DIFF}}$  スケール上で  $128$  を読み取ります。

#### マイクロストリップとストリップラインの $Z_0$ (SIDE TWO)

マイクロストリップとストリップラインの  $Z_0$  スケールは、マイクロストリップまたはストリップ伝送ラインの特性インピーダンスを計算します。使用される公式は、ナショナル セミコンダクターのインタフェース・データブックのセクション 12 に記載された内容をベースにしています。また、追加データは、アプリケーション・ノート・セクションの「F100K ECL Data Book and Design Guide」に記載されています。

マイクロストリップおよびストリップライン関連で数値を得るには、伝送ラインRAPIDESIGNERは導体厚み $t$ に基づく別のスケールセットを使用しています。 $t$  の値はプリント基板の材料メーカーで使われる銅クラッドの標準厚さです。メートル表現に慣れていない人にも便利のように厚さは、良く知られた  $\text{oz/ft}^2$  の値でも表記されています。

これらのスケールの最もよく使われるのは、以下の 2 種類の方法です。

- ラインの幅  $w$ 、誘電体厚さの  $h$ 、導体の厚さ  $t$ 、誘電率  $\epsilon_r$  が与えられたインピーダンスの  $Z_0$ 、または
- 他のファクタが与えられたラインの幅  $w$ 。

次の例の手順はマイクロストリップまたはストリップラインのいずれに対しても同じです。当然、個々のライン・タイプに最適なファクタと  $Z_0$  スケールを使用する必要があります。

#### 例

- $1.78 \times 10^{-3} \text{ cm}$  ( $1/2$  オンス) の銅クラッドで誘電率が  $3.8$  の  $0.0813\text{cm}$  の基板のマイクロストリップで、 $93$  となる導体のラインの幅を求めます。
  - $\epsilon_r$  スケール上の  $3.8$  に対応するマイクロストリップ  $Z_0$  でスライドを動かして、 $93$  に設定します。
  - マイクロストリップ・ファクタ・スケール上で矢印の点の  $+25$  を読み取ります。
  - 上の矢印が示す  $h$  スケール上でスライドを動かして  $0.0813$  を設定します。
  - $t = 1.78 \times 10^{-3} \text{ cm}$  ( $1/2$  オンス) のセクションで、ファクタ・スケールの  $+25$  に対応する  $w$  スケール上の  $0.051$  を読み取ります。
- $\epsilon_r = 4.3$ 、 $t = 3.556 \times 10^{-3} \text{ cm}$  ( $1$  オンス銅)、 $h = 0.102\text{cm}$  とした基板上の、 $0.127\text{cm}$  幅のマイクロストリップのインピーダンスを求めます。
  - $h$  スケール上でスライドを動かして矢印の位置に  $0.102\text{cm}$  を設定します。
  - $t = 3.556 \times 10^{-3} \text{ cm}$  ( $1$  オンス) のセクションの、 $w$  スケール上の  $0.127\text{cm}$  に対応するファクタ・スケール上で  $-15$  を読み取ります。
  - マイクロストリップ・ファクタ・スケール上でスライドを動かして、中段ウィンドウの矢印の示す  $-15$  に設定します。
  - $\epsilon_r$  スケール上で  $4.3$  に対応するマイクロストリップの  $Z_0$  を  $64$  と読み取ります。

#### INTRINSIC DELAY ( 固有遅延 ) (SIDE TWO)

このスケールでは無負荷のマイクロストリップまたはストリップ・ライン上の、進行波の単位長あたりの伝播遅延を計算します。

#### 例

- このスケールでは無負荷のマイクロストリップまたはストリップ・ライン上の、進行波の単位長あたりの伝播遅延を計算します。  
 $\epsilon_r = 2.8$  のストリップラインの遅延を求めます。
  - スライドを動かして、上矢印位置にストリップライン上の  $\epsilon_r$  スケールに  $2.8$  を設定します。
  - 下矢印位置の  $T_d$  スケール上で  $56\text{ps/cm}$  を読み取ります。

#### マイクロストリップとストリップラインの $C_0$ と $L_0$ (SIDE THREE)

このスケールでは無負荷のマイクロストリップとストリップラインの  $C_0$  と  $L_0$  の単位長あたりの固有値を計算します。通常、既知のパラメータは無負荷の  $Z_0$  と  $\epsilon_r$  です。このスケールは対になっているので、スライドの 1 回の設定で両方のライン・タイプの固有特性を同時に比較できます。

#### 例

- $\epsilon_r = 3.8$  の基板上の、 $75$  のマイクロストリップが持つ  $C_0$  と  $L_0$  を求めます。
  - 無負荷  $Z_0$  スケールでスライドを動かして、 $75$  に矢印を合わせます。
  - 中段ウィンドウの上側  $\epsilon_r$  スケールで  $3.8$  となるマイクロストリップ  $C_0$  上の  $0.70\text{pF/cm}$  を読み取ります。
  - 下段ウィンドウの上側  $\epsilon_r$  スケールで  $3.8$  となるマイクロストリップ  $L_0$  上の  $3.95\text{nH/cm}$  を読み取ります。

### マイクロストリップとストリップラインの $C_0$ と $L_0$ (SIDE THREE) ( つぎ )

- $r = 2.4$  の基板上の、35 のストリップラインが持つ  $C_0$  と  $L_0$  を求めます。
  - 無負荷  $Z_0$  スケールでスライドを動かして、35 に矢印を合わせます。
  - 中段ウインドウの上側  $r$  スケールで 2.4 となるストリップライン  $C_0$  上の 1.47pF/cm を読み取ります。
  - 下段ウインドウの上側  $r$  スケールで 2.4 となるストリップライン  $L_0$  スケール上の 1.8nH/cm を読み取ります。

### UNTERMINATED STUB LENGTH ( 無終端のスタブ長 ) (SIDE THREE)

これらのスケールにより、1 個の容量負荷で終端される伝送ラインまたはスタブの最大許容長がわかります。この容量は通常、アクティブ・デバイスの入力容量です。既知のパラメータは無負荷のラインインピーダンスの  $Z_0$  と、終端容量の  $C_t$  です。このスケールは、公称立ち上がり時間を 3.5ns として定式化されています。 $L_{MAX}$  は  $t_r$  の変化とともに変わります。 $t_r$  が半分になった場合、 $L_{MAX}$  も半分になります。

#### 例

- 10pF で終端されている  $r = 4.3$  を持つ基板上の 50 マイクロストリップ・スタブの最大長を求めます。
  - スライドを動かして、 $Z_0$  スケール上の 50 に  $C_t$  スケール上の 10pF を設定します。
  - 矢印の示す同じウインドウ内のファクタ・スケール上で 3040 を読み取ります。
  - ファクタ・スケール上でスライドを動かして、3040 を矢印位置に設定します。
  - 上側の  $r$  スケール上の 4.3 に対応するマイクロストリップの  $L_{max}$  スケール (下段ウインドウ) 上で 27.7cm を読み取ります。
- 35cm のストリップライン・スタブを 5pF で終端します。基板が  $r = 2.4$  でラインのインピーダンスが 75 の場合、スタブは長すぎるでしょうか？
  - スライドを動かして、 $Z_0$  スケール上の 75 に対応して  $C_t$  スケール上の 5pF に設定します。
  - 矢印の示す同じウインドウ内のファクタ・スケール上で 3150 を読み取ります。
  - ファクタ・スケール (中段ウインドウ) 上でスライドを動かして矢印に合わせて、3150 を設定します。
  - 下側の  $r$  スケール上で 2.4 に対応するストリップライン  $L_{max}$  スケール (下段ウインドウ) 上で 30.5 cm を読み取ります。

35cm のスタブは計算値より、10% 長くなっています。したがって、スタブが特性インピーダンスに近い値で終端されなければ、反射が生じる可能性があります。

### PROPAGATION DELAY ( 伝播遅延 ) と LOADED ( 負荷 ) $Z_0$ (SIDE FOUR)

これらのスケールでは、ラインに分布させて容量値を追加した場合の負荷ライン・インピーダンスと単位長あたりの伝播遅延時間が求められます。ピア、ラインの接続部、または半導体デバイスの入出力など、どのようなタイプのラインの不連続点にも、容量がかかります。通常は、この容量は、個々のかたまりの形で存在します。ラインに及ぼすその影響の計算を簡単にするために、容量の合計値があたかもラインに沿って、均一に分布しているものとして扱うことができます。これは、多くの場合、立ち上がり中の伝播波形の進行距離に比べて各負荷の間の距離が短いので許容されるためです。したがって、この計算の準備に当たって、

ラインに接続されたすべてのコンデンサの和を取り、ライン長でこの合計値を除算すると、 $C_D$  が得られます。

負荷ライン・インピーダンスは、不連続点となる場合に伝播波側から見たインピーダンスの見かけ上の瞬時値です。波面は長く、有限の立ち上がり時間を示すため、その立ち上がり時間の間に伝播した距離にほぼ等しい距離だけラインのインピーダンスが変化したように見えます。事実、ラインに沿う不連続点の存在は、ラインの見かけのインピーダンスを、より小さい値にしてしまいます。ラインが不連続点から下流方向に微少距離だけ分断されると、その点から線路を上流方向に見ると、インピーダンスは負荷接続された ( 減少した ) 値に見えます。この負荷インピーダンスは終端回路網抵抗、または追加伝播遅延を確定するのに有効です。

いわゆる負荷ライン・インタフェースは数学的に有効な仮定に過ぎないことに留意してください。信号の有限の立ち上がり時間と負荷間の距離 ( 遅延を意味する ) で、そのインピーダンスを一様に小さく見せているだけです。各ライン・セグメントの実際のインピーダンスはその無負荷の特性インピーダンスのままです。この効果は、集中負荷が加えられた伝送路の  $Z_0$  が時間領域を表示するリフレクテータのような極度に速い立ち上がり時間に対応する装置を用いて測定すると、明確に確認できます。 $Z_0$  は、接続された負荷ポイントでのみ減少して見えます。

#### 例

- 無負荷の  $Z_0$  が 50 で  $r$  が 4.3 のマイクロストリップ・ラインに 4pF/cm が追加された場合の負荷ライン・インピーダンスと単位長あたりの伝播遅延を求めます。
  - スライドを動かして、無負荷  $Z_0$  スケール上の 50 に対応して 4pF/cm を設定します。
  - 左側の中段ウインドウで、上段  $r$  スケール上の 4.3 に対応したマイクロストリップのファクタ・スケールを 3100 と読み取ります。また、左側の下段ウインドウで、上段  $r$  スケール上の 4.3 に対して、マイクロストリップの  $Z_0$  ファクタ・スケールを 2.13 と読み取ります。
  - 次に、スライドを動かして、ファクタ・スケール ( 右上のウインドウ ) 上で矢印位置に 3100 を設定します。
  - 右側の中段ウインドウで、 $r = 4.3$  に対応する負荷 スケールを 120ps/cm と読み取ります。
  - ファクタ・スケール ( 右上のウインドウ ) 上でスライドをリセットして、矢印に合わせて、2.13 を設定します。
  - 右下のウインドウの上段  $Z_0$  スケール上で 50 に対応するマイクロストリップの負荷  $Z_0$  スケール上で、24 と読み取ります。
- 50 の終端抵抗で反射が発生しないようにする 75 のマイクロストリップ伝送ラインの 30cm にわたって均一な間隔で接続された 10 個の負荷の個別容量値を求めます。基板は  $r$  値は、3.8 であることが既知です。この種の測定と計算は伝送ラインに沿う実際の値を決定するために特に有用です。
  - スライドを動かして、マイクロストリップの負荷  $Z_0$  のスケール ( 右下ウインドウ ) の 50 を上段  $Z_0$  スケールの 75 に設定します。
  - 右上のウインドウのファクタ・スケール上で 1.55 を読み取ります。
  - その次にマイクロストリップの  $Z_0$  ファクタ・スケール ( 左下ウインドウ ) 上で、スライドを動かして、上段  $r$  スケール上の 3.8 に対応して、1.55 を設定します。
  - 無負荷  $Z_0$  スケール上の 75 に対応する  $C_D$  スケール ( 左上ウインドウ ) 上で 1.0pF/cm を読み取ります。
  - 10 個の負荷を合計 30pF で分布させると、各負荷では 3pF となります。

**REFLECTION COEFFICIENT ( 反射係数 ) (SIDE FOUR)**

これらのスケールでは、ライン・インピーダンス、ソースまたは負荷のインピーダンスが既知の場合に反射係数を計算します。無単位である反射係数は伝送ラインの不連続によって、駆動源（または負荷）に向かって反射された一部の電圧を比で表したものです。不連続は、その特性インピーダンスを変化させる何らかの物理的な変化により生じます。付加された負荷、伝送ラインの交差部分、ライン上のビア、終端デバイスなどが不連続の原因となる可能性があり、ラインの形状変更でも、不連続の原因になる場合があります。

例

- 1.50 ラインが 75 で終端された場合の反射係数を求めます。
  - A. スライドを動かして、矢印を 50 に設定します。
  - B. 75 の点の  $L = 0.2$  を読み取ります。
2. 5V の送信パルスが 20 の終端抵抗の両端で 3.3V の測定値になった場合のライン・インピーダンスを求めます。
  - A. 負荷では 5V パルスの 67% しか測定されなかったため、 $L = -0.33$  です。スライドを動かして、- 3.3 に、20 を設定します。
  - B. 矢印の示す値は、 $Z_0 = 40$  となります。

計算例 英国単位系

**DIFFERENTIAL ( 差動 )  $Z_0$  (SIDE ONE)**

1. 基板厚が 20 ミレで、10 ミレ間隔の 75 マイクロストリップにおける結合ペア間の差動インピーダンスを求めます。
  - A.  $h$  スケールが 20 ミレで、 $s$  スケールが 10 ミレになるようにスライドを動かします。
  - B. マイクロストリップ・ファクタ・スケール上で矢印が示す値の 0.702 を読み取ります。
  - C. ファクタ・スケール（下段ウィンドウ）上の 0.702 に対応する  $Z_0$  スケール上でスライドを動かして 75 にセットします。
  - D. 矢印が示す  $Z_{DIFF}$  スケール上で 105 を読み取ります。

**マイクロストリップとストリップラインの  $Z_0$  (SIDE TWO)**

1. 0.7 ミレ (1/2 オンス) の銅クラッドで誘電率が 3.8 の 30 ミレの基板のマイクロストリップで、93 となる導体幅を求めます。
  - A. スライドを動かして、直下の  $r$  スケールの 3.8 に対応するマイクロストリップ  $Z_0$  スケール上に 93 を設定します。
  - B. マイクロストリップ・ファクタ・スケール上で矢印位置が指す 25 を読み取ります。
  - C. スライドを動かして、上段ウィンドウの矢印が示す  $h$  スケール上の 30 ミレを設定します。
  - D.  $t = 0.7$  ミレ (1/2 オンス) に対するウィンドウの中で、すぐ上のファクタ・スケール上で 25 に対応する  $w$  スケール上で 18 ミレを読み取ります。
2.  $r = 4.3$ 、 $t = 1.4$  ミレ (1 オンス銅) および  $h = 20$  ミレの基板における 25 ミレ幅のマイクロストリップ・ラインのインピーダンスを求めます。
  - A. スライドを動かして、上側の矢印が示す上段ウィンドウの  $h$  スケール上で 20 ミレに設定します。
  - B.  $t$  スケール上の 25 ミレに対応するセクションが  $t = 1.4$  ミレ (1 オンス) に対して、直下のファクタ・スケール上で - 17 を読み取ります。
  - C. スライドを動かして、矢印の示すマイクロストリップ・ファクタ・スケール上で、- 17 を設定します。

- D. 直下の  $r$  スケール上の 4.3 に対応するマイクロストリップの  $Z_0$  スケール上で 63 と読み取ります。

**INTRINSIC DELAY ( 固有遅延 ) (SIDE TWO)**

1.  $r = 2.8$  のストリップラインの単位長当たりの遅延を求めます
  - A. スライドを動かして、矢印位置のストリップライン上の  $r$  を 2.8 に設定します。
  - B. 下側の矢印位置の  $T_d$  スケール上で 142ps/in を読み取ります。

**マイクロストリップとストリップラインの  $C_0$  と  $L_0$  (SIDE THREE)**

1.  $r = 3.8$  の基板上の 75 のマイクロストリップが持つ  $C_0$  と  $L_0$  を求めます。
  - A. 無負荷  $Z_0$  スケールでスライドを動かして、75 に矢印を合わせます。
  - B. 上側  $r$  スケールの 3.8 に対応するマイクロストリップの  $C_0$  スケールの 1.78pF/in を読み取ります。
  - C. 次に、上側の  $r$  スケール上の 3.8 に対応するマイクロストリップの  $L_0$  スケール上で 10nH/in を読み取ります。

**UNTERMINATED STUB LENGTH ( 無終端のスタブ長 ) (SIDE THREE)**

1. 10pF の負荷で  $r = 4.3$  の基板上の無終端 50 マイクロストリップ・スタブの最大長を求めます。
  - A.  $Z_0$  スケール上の 50 に対応する  $C_L$  スケール上の 10pF にスライドを動かして設定します。
  - B. 矢印の示す同じウィンドウ内のファクタ・スケール上で 3040 を読み取ります。
  - C. ファクタ・スケールの中段ウィンドウ上でスライドを動かして矢印に合わせて、3040 を設定します。
  - D. 上側の  $r$  スケール上で 4.3 に対応するマイクロストリップ  $L_{max}$  スケール上で 10.9in. を読み取ります。

**PROPAGATION DELAY ( 伝播遅延 ) と LOADED ( 負荷 )  $Z_0$  (SIDE FOUR)**

1.  $r$  が 2.4 で、無負荷のインピーダンスが 50 のマイクロストリップ・ラインに 4pF/in の負荷容量が追加されたとき、伝播遅延と負荷ライン・インピーダンスを求めます。
  - A. 無負荷  $Z_0$  スケール上で 50 に対応した Distributed ( 分布 )  $C_D$  スケール上でスライドを動かして 4pF/in に設定します。
  - B. すぐ上の  $r$  スケール上の 2.4 に対応するマイクロストリップファクタ・スケール上で 2000 を読み取ります。すぐ上の  $r$  スケール上の 2.4 に対応するマイクロストリップ  $Z_0$  ファクタ・スケールで 1.53 を読み取ります。
  - C. 次に、矢印の示すファクタ・スケール（右上のウィンドウ）上でスライドを動かして矢印に合わせて、2000 を設定します。
  - D. すぐ上の  $r$  スケール上の 2.4 に対応するマイクロストリップの負荷ファクタ・スケールで 190ps/in と読み取ります。
  - E. 次に、矢印の示すファクタ・スケール（右上のウィンドウ）上でスライドを動かして矢印に合わせて、1.53 を設定します。
  - F. すぐ上の  $Z_0$  スケール上の 50 に対応するマイクロストリップ負荷  $Z_0$  スケール上で 33 と読み取ります。

## 付録 A スケール公式 ISO メートル単位系

マイクロストリップとストリップラインの  $Z_0$ 

マイクロストリップの特性インピーダンス:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}} \ln \left[ \frac{4h}{0.67(0.8w + t)} \right] \text{ Ohms.}$$

w 2h の場合 (最大誤差は最大 3%)

マイクロストリップ・ラインの幅:

$$w = \frac{7.463h}{\exp \left( \frac{Z_0 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}}{60} \right)} - 1.25t \text{ cm}$$

ただし w = トレース幅 (cm), t = トレースの厚さ (cm), h = 誘電体厚 (cm),  $\epsilon_r$  = 相対誘電定数 (無単位)。Note: すべての幾何学的変数は同じ次元単位であるものとします。

ストリップラインの特性インピーダンス:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[ \frac{4b}{0.67\pi(0.8w + t)} \right] \text{ Ohms.}$$

各パラメータがこの指針に記述する範囲にある限り最良の精度が維持されます。b - t > 2w, b > 4t。

ストリップラインの幅:

$$w = \frac{2.375b}{\exp \left( \frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}{60} \right)} - 1.25t \text{ cm.}$$

ただし b = 誘電体厚 (グラウンド・プレーンの間隔) (cm)。その他の変数は前に定義したとおりです。Note:  $Z_0$  に関しては推奨した比が適用されます。

差動  $Z_0$ 

マイクロストリップ・ラインに対しては、差動インピーダンスの  $Z_{\text{diff}}$  は次の式で表されます。

$$Z_{\text{diff}} \cong 2Z_0 \left( 1 - 0.48e^{-0.96 \frac{s}{h}} \right) \text{ Ohms.}$$

ストリップラインに対しては、差動インピーダンスの  $Z_{\text{diff}}$  は次の式で表されます。

$$Z_{\text{diff}} \cong 2Z_0 \left( 1 - 0.374e^{-2.9 \frac{s}{h}} \right) \text{ Ohms.}$$

Note: これらの関数は実験結果から得られたものです。実際の精度は実験によって確認されていません。さまざまなソースによると、最大 ± 10% の誤差があります。 $Z_0$  と  $Z_{\text{diff}}$  の実用的に可能な範囲は、20 ~ 約 150 です。

マイクロストリップとストリップラインの  $C_0$  と  $L_0$ 

マイクロストリップに対する固有容量は、

$$C_0 = \frac{T_d}{Z_0} = \frac{33.36 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}}{Z_0} \text{ pF/cm.};$$

また、固有インダクタンスは、

$$L_0 = Z_0 T_d = 33.36 Z_0 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67} \times 10^{-3} \text{ nH/cm.}$$

ストリップラインに対する固有容量は、

$$C_0 = \frac{T_d}{Z_0} = \frac{33.36 \sqrt{\epsilon_r}}{Z_0} \text{ pF/cm.};$$

また、固有インダクタンスは、

$$L_0 = Z_0 T_d = 33.36 Z_0 \sqrt{\epsilon_r} \times 10^{-3} \text{ nH/cm.}$$

伝播速度と固有遅延

マイクロストリップの伝播速度は、

$$v = \frac{1}{\sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}}$$

マイクロストリップの固有伝播遅延は、

$$T_d = 33.36 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67} \text{ ps/cm.}$$

ストリップラインの伝播速度は、

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

ストリップラインの固有伝播遅延は、

$$T_d = 33.36 \sqrt{\epsilon_r} \text{ ps/cm.}$$

ただし、 $\epsilon_r$  = 相対誘電定数 (無単位)、 $\epsilon_{\text{reff}}$  = 実効相対誘電定数。伝播遅延と負荷  $Z_0$ 

負荷接続時の伝播遅延の汎用公式は、

$$\delta' = \sqrt{T_d^2 + T_d Z_0 C_D} \text{ ps/cm.}$$

負荷ライン・インピーダンスは、

$$Z_0' = \frac{Z_0}{\sqrt{\frac{C_D Z_0}{T_d} + 1}} \text{ Ohms } (\Omega),$$

ただし、マイクロストリップでは、

$$T_d = 33.36 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67} \text{ ps/cm}$$

ストリップラインでは、

$$T_d = 33.36 \sqrt{\epsilon_r} \text{ ps/cm}$$

 $C_D$  の単位は pF、 $Z_0$  の単位は です。Note:  $\epsilon_r > 1$ ,  $\epsilon_{\text{reff}} < \epsilon_r$  に対して

1. マイクロストリップに対する完全式:

$$\delta' = 5.776 \sqrt{15.85\epsilon_r + 22.35 + C_D Z_0 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}} \text{ ps/cm}$$

$$Z_0' = \frac{Z_0}{\sqrt{\frac{C_D Z_0}{33.36 \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}} + 1}} \text{ Ohms } (\Omega)$$

1. ストリップラインに対する完全式:

$$\delta' = 5.776 \sqrt{33.36\epsilon_r + C_D Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \text{ ps/cm}$$

$$Z_0' = \frac{Z_0}{\sqrt{\frac{C_D Z_0}{33.36 \sqrt{\epsilon_r}} + 1}} \text{ Ohms } (\Omega)$$

## 無終端スタブ長

無終端スタブ長に対する一般式は、

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{(C_t Z_0)^2 + t_r^2} - C_t Z_0}{2T_d} \text{ cm.}$$

ただし、 $C_t$  の単位は pF、 $T_d$  の単位は ps/cm です。

マイクロストリップに実装された場合

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{(C_t Z_0)^2 + (12.3 \times 10^6) - C_t Z_0}}{66.7 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67}} \text{ cm.}$$

およびストリップラインに実装された場合

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{(C_t Z_0)^2 + (12.3 \times 10^6) - C_t Z_0}}{66.7 \sqrt{\epsilon_r}} \text{ cm.}$$

ただし、 $Z_0$  = ラインの特性インピーダンス (Ω)、 $C_t$  = ラインまたはスタブを終端する合計の集中素子値 (pF)、 $\epsilon_r$  = 相対誘電定数。これらの式では  $t = 3.5 \text{ ns} = 3.5 \times 10^3 \text{ ps}$  と想定しています。

## 反射係数

$$\rho_L = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0}$$

$$\rho_S = \frac{R_S - Z_0}{R_S + Z_0}$$

ただし、 $\rho_L$  = 負荷の反射係数、 $\rho_S$  = ソースの反射係数、 $R_L$  = 負荷抵抗 (Ω)、 $R_S$  = ソース駆動点抵抗 (Ω)、 $Z_0$  = 伝送ライン・インタフェース (Ω)

## リアクタンス周波数

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \text{ Ohms}$$

$$X_L = 2\pi f L \text{ Ohms}$$

## 付録 B スケール公式 英国単位系

マイクロストリップとストリップラインの  $Z_0$ 

付録 A に示されたものと同じ。すべてミル単位。

差動  $Z_0$ 

付録 A に示されたものと同じ。すべてミル単位。

マイクロストリップとストリップラインの  $C_0$  と  $L_0$ 

マイクロストリップに対する固有容量は、

$$C_0 = \frac{T_d}{Z_0} = \frac{84.73 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67}}{Z_0} \text{ pF/in.}$$

また、固有インダクタンスは、

$$L_0 = Z_0 T_d = 84.73 Z_0 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67} \times 10^{-3} \text{ nH/in.}$$

ストリップラインに対する固有容量、

$$C_0 = \frac{T_d}{Z_0} = \frac{84.73 \sqrt{\epsilon_r}}{Z_0} \text{ pF/in.}$$

固有インダクタンスは、

$$L_0 = Z_0 T_d = 84.73 Z_0 \sqrt{\epsilon_r} \times 10^{-3} \text{ nH/in.}$$

## 伝播速度と固有遅延

マイクロストリップに対する伝播速度は付録 A に示されたものと同じです。

マイクロストリップの固有伝播遅延：

$$T_d = 84.73 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67} \text{ ps/in.}$$

ストリップラインに対する伝播速度は付録 A に示されたものと同じです。

ストリップラインの固有伝播遅延は、

$$T_d = 84.73 \sqrt{\epsilon_r} \text{ ps/in.}$$

ただし、 $\epsilon_r$  = 相対誘電定数 (無単位)、 $\epsilon_{\text{reff}}$  = 実効相対誘電定数です。

伝播遅延と負荷  $Z_0$ 

負荷付伝播遅延の一般式は付録 A に示したものと同じです。

負荷接続のライン・インピーダンスは付録 A に示されたものと同じです。

例外：

$$T_d = 84.73 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67} \text{ ps/in.}$$

(マイクロストリップの場合)

$$T_d = 84.73 \sqrt{\epsilon_r} \text{ ps/in.}$$

(ストリップラインの場合)。  $C_D$  の単位は pF、 $Z_0$  は Ω です。

**Note:**  $\epsilon_r > 1$ 、 $\epsilon_{\text{reff}} < \epsilon_r$  に対して

1. マイクロストリップに対する完全式：

$$\delta' = 9.205 \sqrt{40.25 \epsilon_r + 56.77 + C_D Z_0 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67}} \text{ ps/in.}$$

$$Z_0' = \frac{Z_0}{\sqrt{\frac{C_D Z_0}{84.73 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67}} + 1}} \text{ Ohms } (\Omega)$$

2. ストリップラインに対する完全式：

$$\delta' = 9.205 \sqrt{84.73 \epsilon_r + C_D Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \text{ ps/in.}$$

$$Z_0' = \frac{Z_0}{\sqrt{\frac{C_D Z_0}{84.73 \sqrt{\epsilon_r}} + 1}} \text{ Ohms } (\Omega)$$

## 無終端スタブ長

無終端スタブ長に対する一般式は、

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{(C_t Z_0)^2 + t_r^2} - C_t Z_0}{2T_d} \text{ in.}$$

ただし、 $C_t$  の単位は pF、 $t_r$  は ps、 $T_d$  は ps/in です。

マイクロストリップに実装された場合

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{(C_t Z_0)^2 + (12.3 \times 10^6)} - C_t Z_0}{169.3 \sqrt{0.475 \epsilon_r + 0.67}} \text{ in.}$$

## ストリップラインに実装された場合

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{(C_t Z_0)^2 + (12.3 \times 10^6)} - C_t Z_0}{169.3 \sqrt{\epsilon_r}} \text{ in.}$$

ただし、 $Z_0$  = ラインの特性インピーダンス ( ),  $C_t$  = ラインまたはスタブを終端する合計の集中素子値 (pF)、 $\epsilon_r$  = 相対誘電定数。これらの式では  $t_r = 3.5 \text{ ns} = 3.5 \times 10^3 \text{ ps}$  と想定しています。

## 反射係数

付録 A を参照

## リアクタンス周波数

付録 A を参照

## 付録 C 標準 1% 抵抗系列

STANDARD 1% RESISTOR DECADES											
10.0	12.1	14.7	17.8	21.5	26.1	31.6	38.3	46.4	56.2	68.1	82.5
10.2	12.4	15.0	18.2	22.1	26.7	32.4	39.2	47.5	57.6	69.8	84.5
10.5	12.7	15.4	18.7	22.6	27.4	33.2	40.2	48.7	59.0	71.5	86.6
10.7	13.0	15.8	19.1	23.2	28.0	34.0	41.2	49.9	60.4	73.2	88.7
11.0	13.3	16.2	19.6	23.7	28.7	34.8	42.2	51.1	61.9	75.0	90.9
11.3	13.7	16.5	20.0	24.3	29.4	35.7	43.2	52.3	63.4	76.8	93.1
11.5	14.0	16.9	20.5	24.9	30.1	36.5	44.2	53.6	64.9	78.7	95.3
11.8	14.3	17.4	21.0	25.5	30.9	37.4	45.3	54.9	66.5	80.6	97.6

Note 1: 標準数値を得るためには、上記の値を 10 のべき乗倍してください。

付録 D よく使われる材料の  $\epsilon_r$  の値

Description	Dielectric	$\epsilon_r$
Epoxy/Glass	FR-4 Generic	4.3
Epoxy/Glass	G-10 Generic	$4.3 \pm 0.05$
Polyimide G-30	Polyimide	4.2
PTFE/Glass	PTFE	2.4 nom
Polysulfone	Polysulfone	3.5–3.9

## 参考文献

1. H.R. Kaupp, "Pulse Crosstalk Between Microstrip Transmission Lines", 7th International Electronic Circuit Symposium Record, Aug. 1966, Wescon.
2. John A. DeFalco, "Predicting Crosstalk in Digital Systems". Computer Design, June 1973, p.p. 69-75.
3. H.R. Kaupp, "Effects of Embedding Microstrip Interconnections", Proceedings International Electronic Packaging and Production Conference (Inter/Nepcon 69), Oct. 1969, p.p. 189-201.
4. N.C. Arvanitakis, J.T. Koliass, and W. Radzelovage, "Coupled Noise Prediction in Printed Circuit Boards for a High-Speed Computer System", 7th International Electronic Circuit Symposium Record, Aug. 1966, Wescon.
5. A. Feller, H.R. Kaupp and J.J. Digiaco, "Crosstalk and Reflections in High-Speed Digital Systems", Proceedings—Fall Joint Computer Conference, 1965, p.p. 511-525.
6. Ivor Catt, "Crosstalk (Noise) in Digital Systems", IEEE Transactions on Electronic Computers, Vol. EC-16, No. 6, Dec. 1967, p.p. 743-763.

このドキュメントの内容はナショナル セミコンダクター社製品の関連情報として提供されます。ナショナル セミコンダクター社は、この発行物の内容の正確性または完全性について、いかなる表明または保証もいたしません。また、仕様と製品説明を予告なく変更する権利を有します。このドキュメントはいかなる知的財産権に対するライセンスも、明示的、黙示的、禁反言による惹起、またはその他を問わず、付与するものではありません。

試験や品質管理は、ナショナル セミコンダクター社が自社の製品保証を維持するために必要と考える範囲に用いられます。政府が課す要件によって指定される場合を除き、各製品のすべてのパラメータの試験を必ずしも実施するわけではありません。ナショナル セミコンダクター社は製品適用の援助や購入者の製品設計に対する義務は負いかねます。ナショナル セミコンダクター社の部品を使用した製品および製品適用の責任は購入者にあります。ナショナル セミコンダクター社の製品を用いたいかなる製品の使用または供給に先立ち、購入者は、適切な設計、試験、および動作上の安全手段を講じなければなりません。

それら製品の販売に関するナショナル セミコンダクター社との取引条件で規定される場合を除き、ナショナル セミコンダクター社は一切の義務を負わないものとし、また、ナショナル セミコンダクター社の製品の販売が使用、またはその両方に関連する特定目的への適合性、商品の機能性、ないしは特許、著作権、または他の知的財産権の侵害に関連した義務または保証を含むいかなる表明または黙示的保証も行いません。

#### 生命維持装置への使用について

ナショナル セミコンダクター社の製品は、ナショナル セミコンダクター社の最高経営責任者 (CEO) および法務部門 (GENERAL COUNSEL) の事前の書面による承諾がない限り、生命維持装置または生命維持システム内のきわめて重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、生命維持装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

National Semiconductor とナショナル セミコンダクターのロゴはナショナル セミコンダクター コーポレーションの登録商標です。その他のブランドや製品名は各権利所有者の商標または登録商標です。

Copyright © 2007 National Semiconductor Corporation

製品の最新情報については [www.national.com](http://www.national.com) をご覧ください。

## ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16

TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

[www.national.com/jpn/](http://www.national.com/jpn/)

本資料に掲載されているすべての回路の使用に起因する第三者の特許権その他の権利侵害に関して、弊社ではその責を負いません。また掲載内容は予告無く変更されることがありますのでご了承ください。

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取り引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定されうる危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

### 3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

### 4. 機械的衝撃

- 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

### 5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）

### 6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上