

## 抵抗器のパルス電力耐性

### §0 要約

抵抗器は短時間であれば定格を超える電力を消費させることが可能な場合があります。しかし、抵抗器に耐性以上のパルス電力を印加すると抵抗値変化や断線などの故障が起こります。近年、抵抗器の選定時にパルス電力耐性の評価が適切ではなかったと思われる故障の事例が増えています。本資料では、パルス電力印加による故障事例、抵抗器のパルス電力耐性の評価及び選定について解説します。

### §1 パルス電力による故障事例

短時間に抵抗器の定格を超えて印加される電力をパルス電力と呼びます。

パルス電力印加の例として、プリチャージ回路において抵抗器に印加される電力を、シミュレーション（図1）を用いて解説します。スイッチ（S1）とコンデンサ（C1）の間には制限抵抗（R1）が接続されます。R1の役割は、S1がONしたときに過剰な電流が流れて回路が破損することを防止することです。R1に電力が印加される時間は、C1の充電時間と同じです。

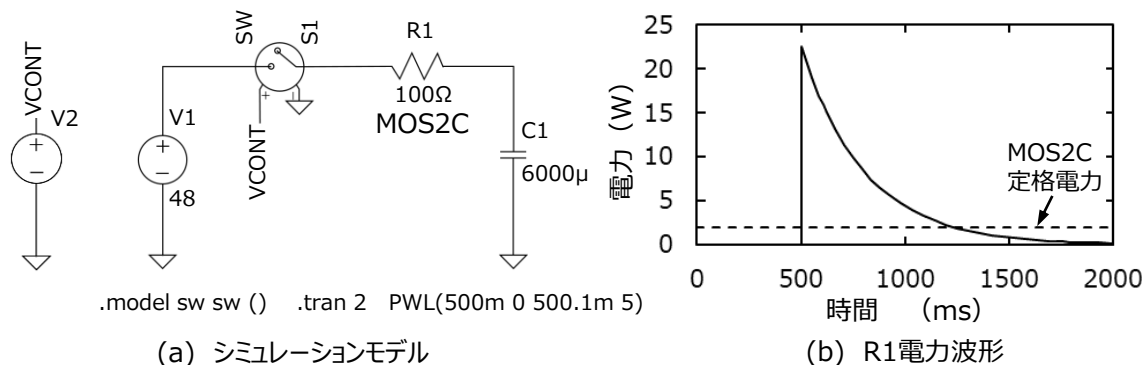


図1 プリチャージ回路シミュレーション

図1(b)より、R1に印加される最大電力は23Wを超えていますので、本来ならR1には23W以上の定格電力を持つ抵抗器を使用する必要があります。しかし、抵抗器は短時間であれば定格を超える電力に対してある程度の耐性を持っていることが多く、パルス電力耐性を適切に評価すればR1に定格電力が23W以下の抵抗器を使用することができます。図1の例では定格電力2Wの酸化金属皮膜抵抗器（MOS2C）が使用できます。

以降のページでは抵抗器の種類やサイズとパルス電力耐性の関係について解説します。

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

**抵抗器のパルス電力耐性**
**§2 抵抗器の種類とパルス電力耐性の関係**

抵抗器は、形状や抵抗体材質などの違いによって様々な種類があります。パルス電力耐性も抵抗器の種類やサイズによって異なります。ほぼ同じサイズであるセラミック抵抗器（HPC 1/2C）と特殊電力型皮膜抵抗器（SPR 1C）を例に解説します。それぞれの抵抗器の定格電力は1/2Wと1Wであり、定格電力はSPR 1Cの方が高くなっています。しかし、抵抗器へ一回印加できるパルス電力の限界値をプロットした「ワンパルス限界電力曲線」（図2）を比較すると、パルス電力耐性はHPC 1/2Cの方が高くなっています。

ワンパルス限界電力曲線の詳細については§3項で解説します。

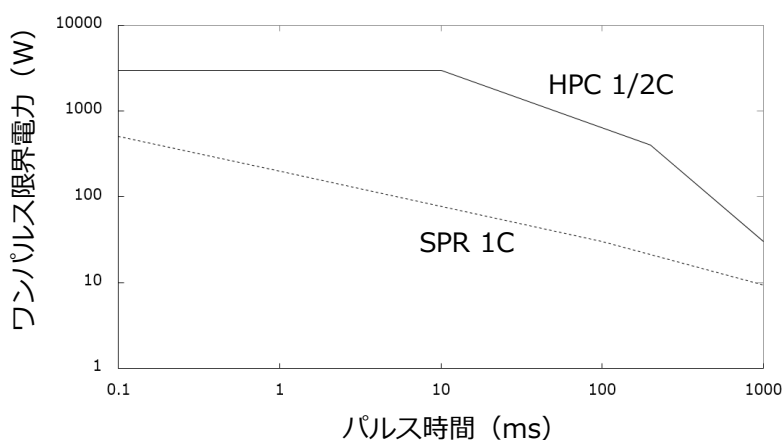


図2 HPC 1/2CとSPR 1C ワンパルス限界電力曲線

一般的に、抵抗器の種類によるパルス電力耐性は図3の関係であり、同じ種類ならサイズは大きい方が耐性があります。パルス電力耐性は抵抗器の種類やサイズによって異なるため、パルス電力が印加される回路で使用する抵抗器は適切な選定が必要です。

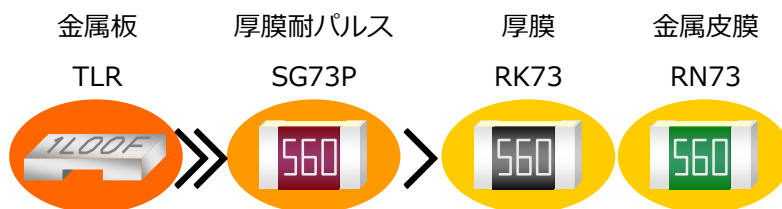
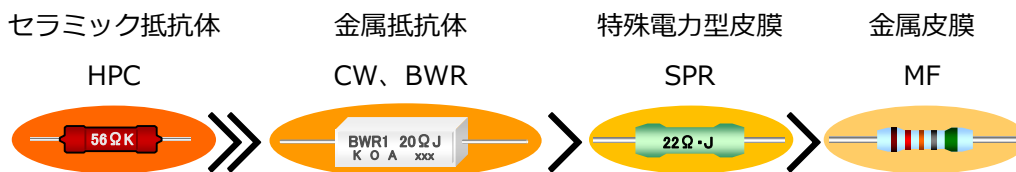
**◆チップ抵抗器**

**◆リード付抵抗器**


図3 抵抗器の種類とパルス電力耐性の関係

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

**抵抗器のパルス電力耐性**
**§3パルス電力耐性の評価**
**3.1 ワンパルス限界電力曲線**

ワンパルス限界電力曲線は、横軸に一回のパルス電力（矩形波）の印加時間を、縦軸に抵抗器へ印加できる電力の限界値をプロットしたものです（図4）。なお、ワンパルス限界電力曲線は、抵抗器のパルス電力耐性の実力値であり、保証値ではありませんのでご注意ください（一部例外があります）。

また、パルス電力耐性の見積りに等エネルギー換算を用いる事がありますが、抵抗器のパルス電力耐性は等エネルギーでの換算結果とは異なります。パルス電力耐性の評価は、ワンパルス限界電力曲線を用いて下さい。以下にワンパルス限界電力曲線を用いた抵抗器の評価方法を解説します。

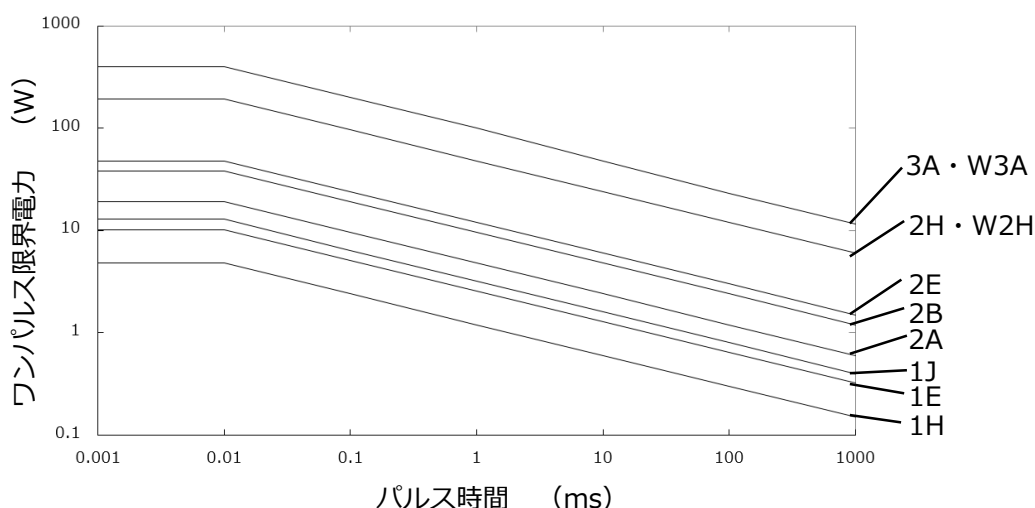


図4 RK73Bワンパルス限界電力曲線

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

### 3.2 評価手順

一回のパルス電力印加に対する抵抗器の耐性を評価する手順を図5に示します。

まず、想定される電圧（または電流）波形を、ピーク電圧が同じでエネルギーが等しい矩形波に変換します。次に、この等価電圧矩形波を電力波形に変換し、最後に等価電力波形とワンパルス限界電力曲線を用いて抵抗器のパルス電力耐性を評価します。

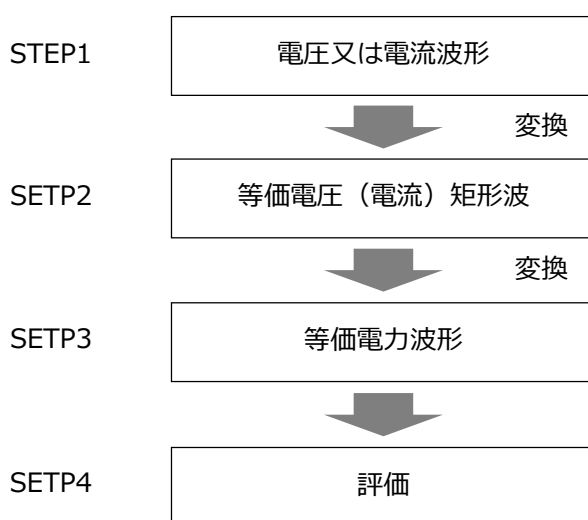


図5 パルス電力耐性の評価手順

#### 3.2.1 パルス波形の等価矩形波への変換

抵抗器のパルス電力耐性は矩形波で評価します。この理由は、ピーク電圧（電流）とエネルギーが等しい、様々な波形のパルスを抵抗器に与えた場合に、抵抗器の温度上昇がもっとも大きくなるのが矩形波だからです。矩形波以外のパルス波形（例：CR放電波形、三角波、半波整流波形、減衰振動波形）は、ピーク電圧（電流）が同じでエネルギーが等しい矩形波へ変換します。様々な波形の等価矩形波への変換方法を図6に示します。

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

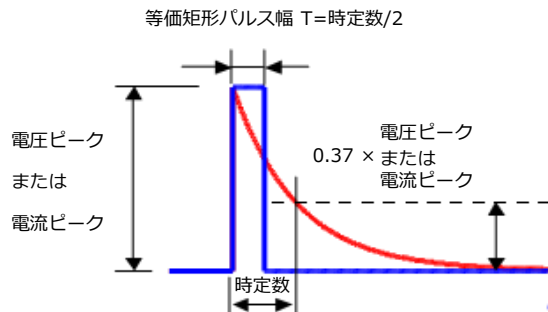
技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

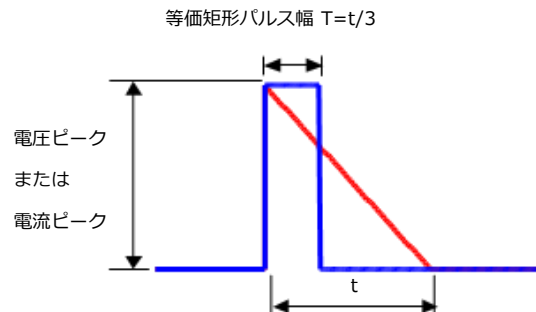
## 抵抗器のパルス電力耐性

TECHNICAL NOTE  
テクニカルノート

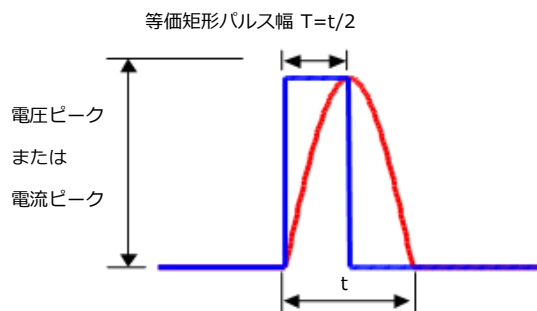
(i) CR放電波形



(ii) 三角波



(iii) 半波正弦波形



(iv) 減衰振動波形

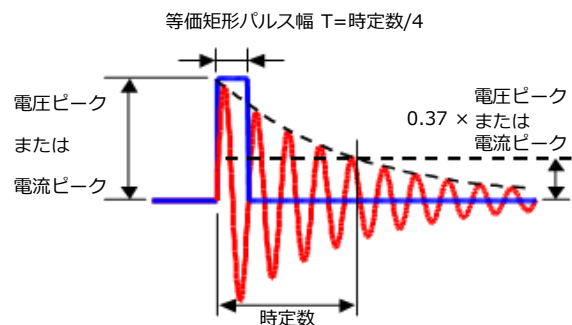


図6 等価矩形波への変換方法

より複雑なパルス波形は以下の手順で変換します。まず、パルス波形を線形近似します(図7)。

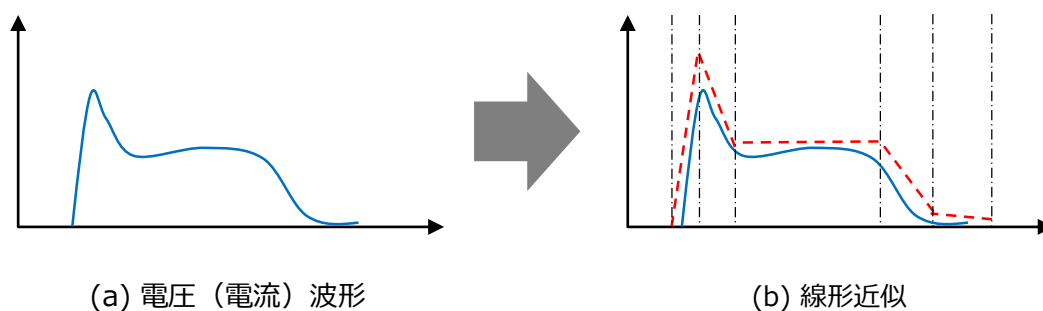


図7 パルス波形の線形近似

次に、線形近似した各区間のエネルギーを、式(1)を用いて求めます(図8)。各区間のエネルギーを足して全エネルギーを求めます。

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

$$\int_0^T R \cdot i(t)^2 \cdot dt = R \cdot \frac{T}{3} \cdot (I_e^2 + I_e \cdot I_s + I_s^2) \quad (1)$$

R : 抵抗値 (Ω)  
 Is : 区間の最小電流値  
 Ie : 区間の最大電流値

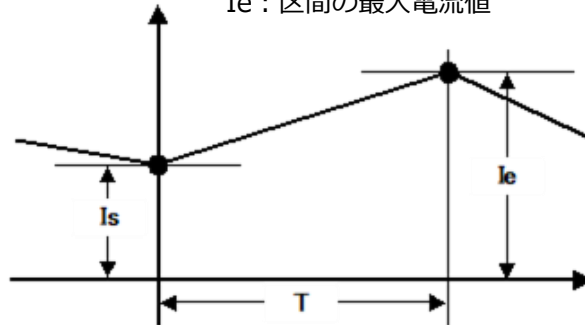


図8 区間積分によるエネルギー計算 (電流の場合)

最後に、図7(a)の電圧 (電流) 波形からピークの電力を求め、全区間のエネルギーをピーク電力で割り、パルス幅を求めます。これで等価電力波形への変換は終了です。

### 3.2.2 パルス電力耐性の評価

等価電力矩形波とワンパルス限界電力曲線を用いてパルス電力耐性を評価します。厚膜チップ抵抗器 (RK73B) を例に、図9左側の等価電力矩形波を一回印加する場合の評価方法を解説します。RK73Bのワンパルス限界電力曲線のグラフにパルス時間0.1ms、電力70Wのパルス電力をプロットします。プロットの位置が抵抗器のワンパルス限界電力曲線よりも下側にあれば、抵抗器はこのパルス電力に耐性を持っていることになります。この例では、プロット位置が2Eサイズのワンパルス限界電力曲線よりも上側にあるので、抵抗器のパルス耐性が不足しています。サイズが大きい2Hの場合、プロット位置が曲線より下側のため耐性があります。

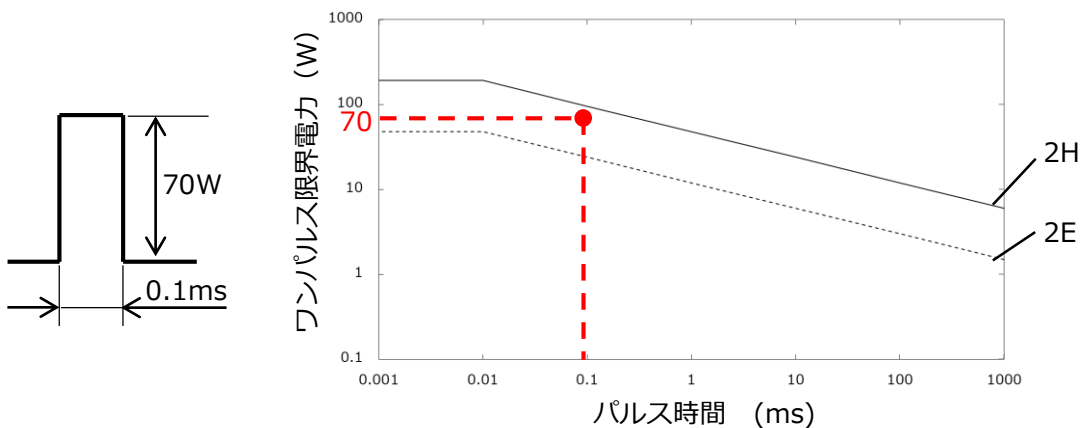


図9 厚膜チップ抵抗器 (RK73B) ワンパルス限界電力曲線での評価例

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

## §4 パルス電力による抵抗器の温度上昇

§3項ではパルス電力の評価手順について解説をしました。この項ではパルス電力の印加による抵抗器の温度上昇の仕組みと、パルス電力耐性の評価に等エネルギー換算を用いることが出来ない理由を解説します。

抵抗器にパルス電力を印加すると、局所的に大きな熱量が発生します。抵抗器にワンパルス限界電力を超えるパルス電力を印加すると、急激な温度上昇によって抵抗器がダメージを受けて、抵抗値変化や断線などの故障が発生する可能性があります。

角形チップ抵抗器（RK73）を例に解説します。

定常状態における抵抗器の温度は、発熱と放熱のバランスによって決まります。抵抗器の放熱経路は、対流、放射、伝導の3つがあります。定常状態では、実装された角形チップ抵抗器の発熱の90%以上が、抵抗器の端子部を介し実装基板のパターンへの伝導によって放熱されます（図10）。

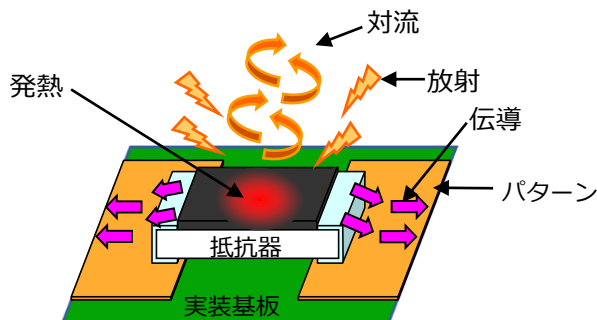


図10 抵抗器の発熱と放熱イメージ

一方で、パルス電力印加の場合は、抵抗器外部への放熱を無視することができます。これはパルス電力の印加による発熱は短時間の現象のため、抵抗体の温度上昇は抵抗器内部の熱の移動、すなわち抵抗体からアルミナ基板への熱伝導が支配的であるからです。よってパルス電力印加時の抵抗体の温度上昇は抵抗体の発熱とアルミナ基板への熱伝導から簡易的に計算する事ができます。ここで厚さ無限大のアルミナ基板の上に抵抗体を形成した簡易モデルを用い（図11）、電力と温度上昇の関係を解説します。

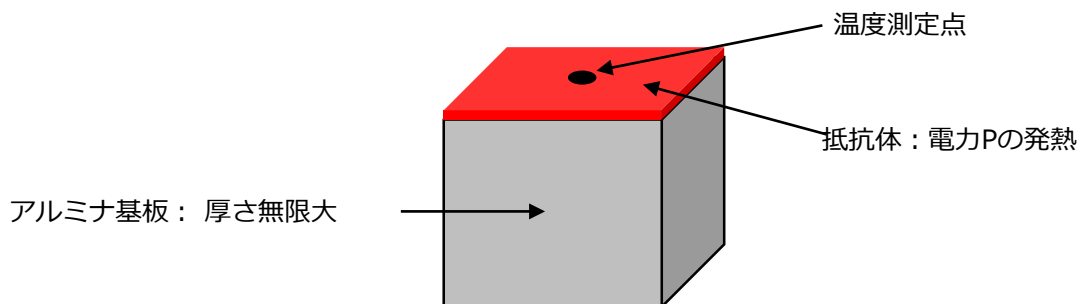


図11 温度上昇確認簡易モデル

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

## 抵抗器のパルス電力耐性

図11の簡易モデルにおける電力Pと表面温度上昇 $\Delta T$ の関係は式(2)で表されます。この関係をグラフで表すと図12になり、短時間領域で急激に温度上昇することが分かります。

$$\Delta T = A \times P \times t^{1/2} \quad (2)$$

$\Delta T$  : 温度測定点の温度上昇 (°C)

A : 定数 (熱伝導率、比熱、密度などにより定まる定数、本図では100)

t : 時間 (s)

P : 電力 (W)

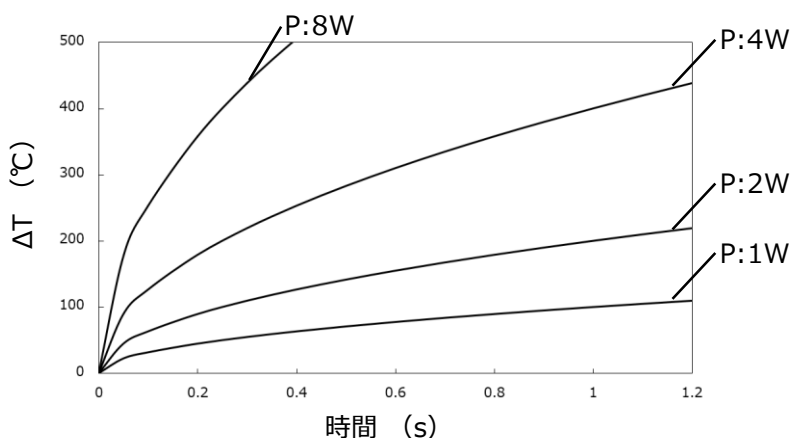


図12 電力による抵抗体部温度上昇

過渡的な温度上昇を等エネルギー換算で求めると、実際の温度上昇よりもかなり低く見積もってしまう結果になります。例として、4Wの電力を加えた時の、式(2)における計算結果と、等エネルギー換算の結果の比較を図13に示します。なお、等エネルギー換算は、1秒間に温度を400°C上昇させるエネルギーを基準としています。等エネルギー換算した温度上昇の値は実際の温度上昇よりもかなり低く、パルス電力耐性の評価に等エネルギー換算を用いると正しい結果が得られないことが分かります。

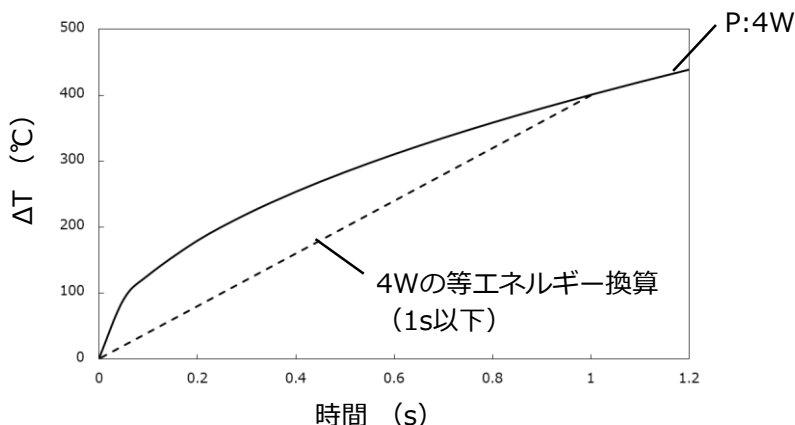


図13 式(2)と等エネルギー換算の比較

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に同意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)



## 抵抗器のパルス電力耐性

抵抗器へのパルス電力印加のような短時間の現象は、等エネルギー換算を用いて評価を行うことができません。等エネルギー換算を用いると、実際には耐性がない抵抗器を選定してしまい、機器の故障につながる恐れがあります。

### §5適切な抵抗器の選定

パルス電力が印加される回路では、パルス電力耐性の評価を行い、適切な抵抗器を選定をする必要があります。評価の結果が抵抗器の耐性を満足しない場合は、抵抗器のサイズを大きくするか、よりパルス電力耐性の高い品種への変更が必要になります。

例えば角形チップ抵抗器では、汎用品種のRK73Bよりも、パルス電力耐性を向上させた耐パルスチップ抵抗器(SG73P)が選択できます(図14)。

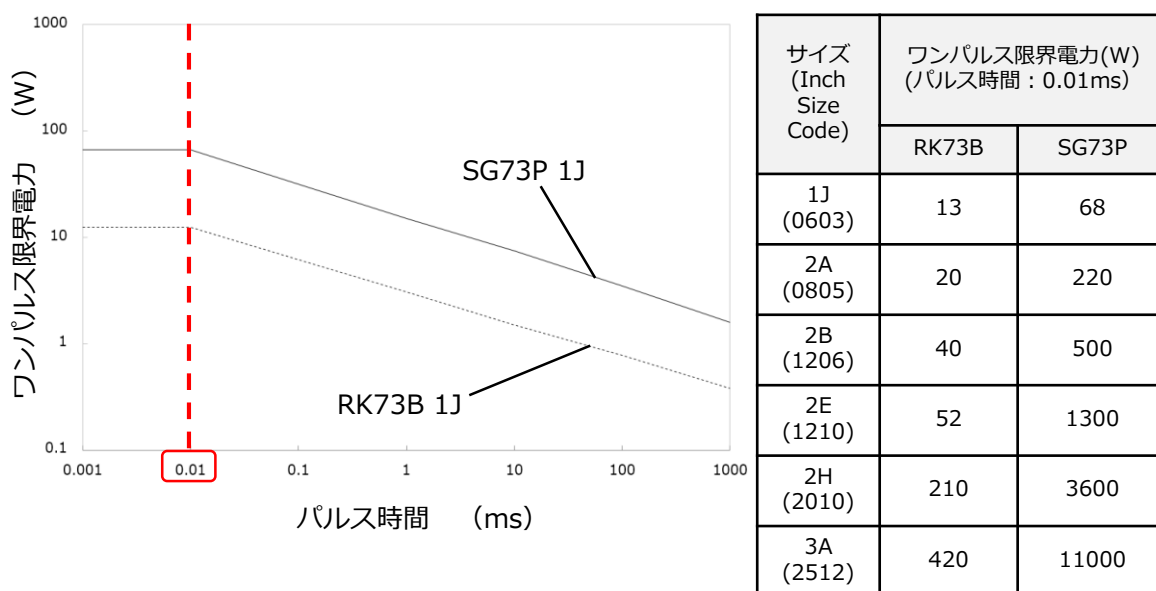


図14 品種とサイズによるワンパルス限界電力比較

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)

## §6 まとめ

抵抗器は、定格電力よりも大きなパルス電力を消費させる事が可能な場合があります。しかし抵抗器の耐性を超えるパルス電力の印加は、抵抗値変化や断線などの故障を起こす可能性があります。その為、印加するパルス電力に対する抵抗器の耐性を、適切に評価する事が重要です。特に、小型サイズの抵抗器はパルス電力耐性が低いため、評価の際には注意が必要です。

KOAでは各品種のワンパルス限界電力曲線を提供していますので、パルス電力耐性の評価にご活用下さい。なお、パルス電力耐性の評価は計算値であり、ご使用の際は必ず実機でのご確認をお願いします。

また、パルス電力が繰り返し印加される場合や、複雑なパルス波形で耐性の評価が難しい場合は、抵抗器の選定サポートも行っています。波形や回路等の情報を添えてお問い合わせ下さい。

以上

**ご注意** この文書は予告なしに変更される場合があります。

技術的なお問い合わせはこちらよりお願いいたします。 [https://www.koaglobal.com/tech\\_support/productsForm](https://www.koaglobal.com/tech_support/productsForm)

本文のご利用に際しては、右記URLの免責事項に合意したものとみなします。 [https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer\\_TecDoc?sc\\_lang=ja-JP](https://www.koaglobal.com/utility/disclaimer_TecDoc?sc_lang=ja-JP)