

2010 OEGセミナー

---

# 電子機器の信頼性向上に役立つ熱解析

---

2010年7月13日

沖エンジニアリング株式会社

信頼性技術事業部

清水 亙

# 目次

1. はじめに  
～熱解析の概略とその必要性について～
2. 旧来の熱解析手法  
～原理と特徴～
3. 熱過渡解析とは  
～原理の概略・特徴と設備紹介～
4. 熱過渡解析の事例紹介
5. 熱過渡解析サービスのご提案
6. まとめ

## はじめに ～ 熱解析の概略とその必要性について ～

電子機器の中でも、車載品をはじめとした消費電力の大きいパワーデバイス、高性能化が目覚ましいCPU、発展著しい高輝度LED等、**発熱量の大きいデバイス**が増加している

でも…  
↓  
様々な制限から、十分な放熱対策がとられていない場合もある

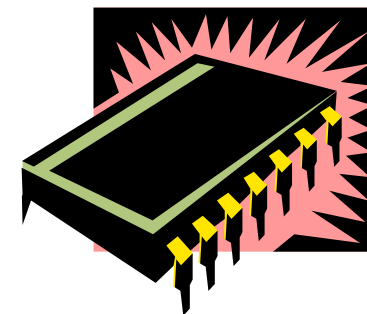
一般に半導体素子では…  
接合温度( $T_j$ )の増加 → 寿命が短縮・故障率が増加(信頼性の低下)  
※Si半導体では $T_j$ が $150^{\circ}\text{C}$ 近辺を超えると**破壊される**

↓  
対策は？

素子あるいはシステムの設計段階から、  
素子の放熱性向上・実装状態での放熱性向上  
を考慮した熱設計を行う。

↓  
そのために

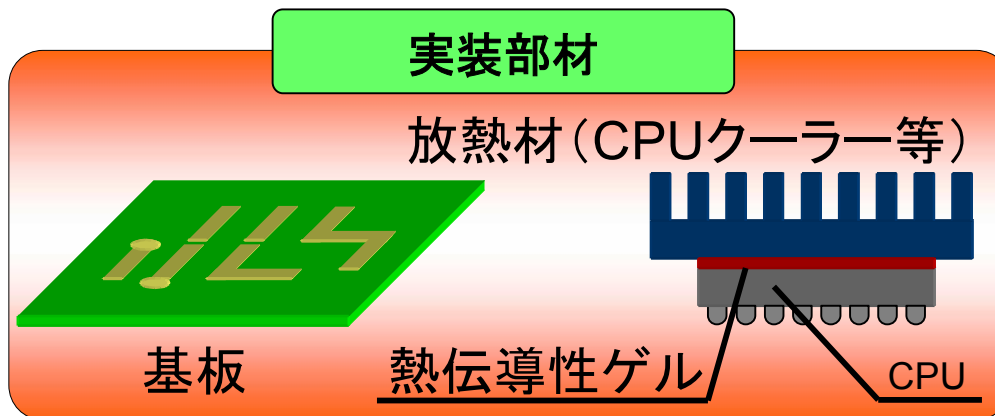
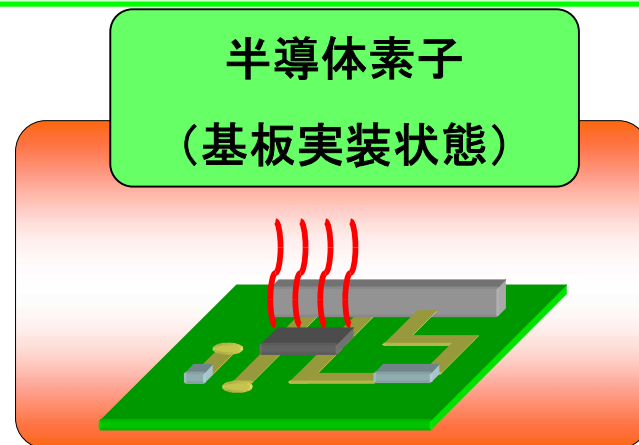
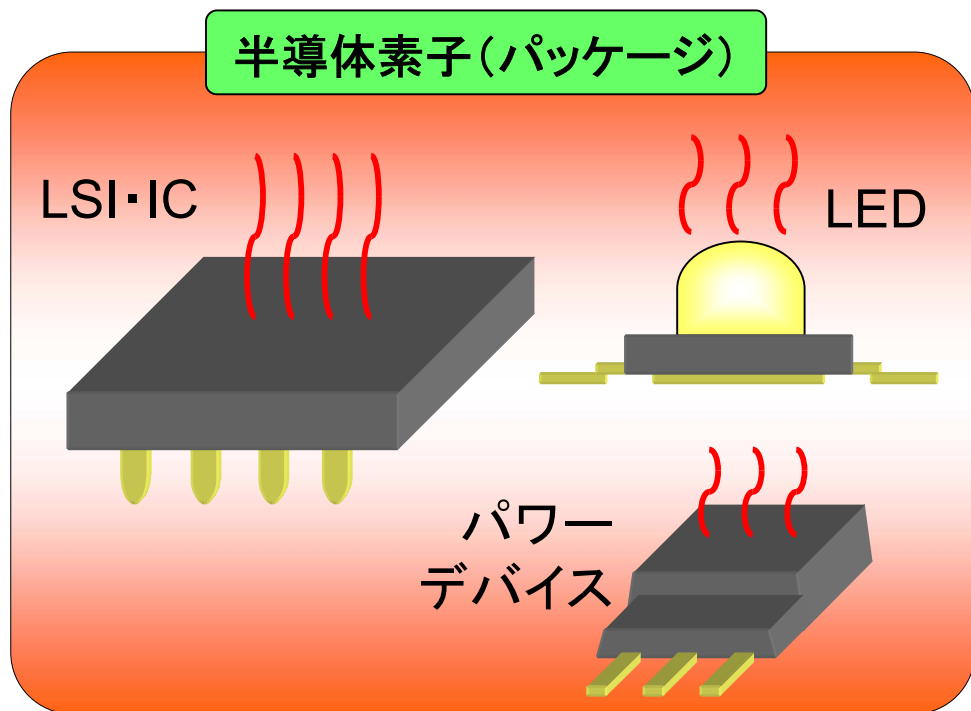
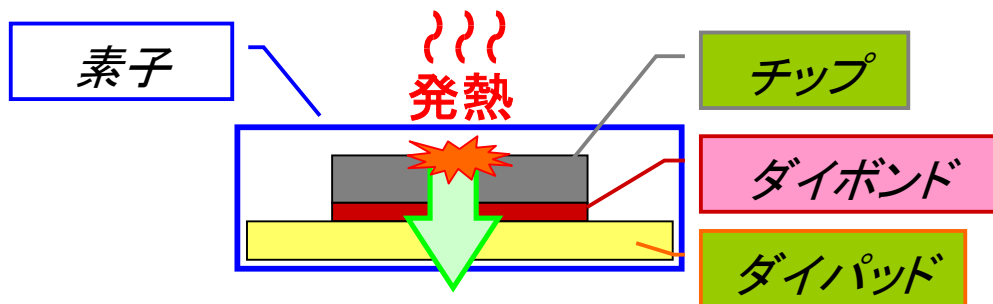
放熱性向上のための熱設計に重要な熱特性パラメータの一つ、  
**熱抵抗(Thermal resistance)**を、簡便且つ高精度に測定する必要があります。



# はじめに ～ 熱解析の概略とその必要性について ～

熱解析とは...

【半導体素子や実装部材の、熱抵抗(熱の伝わりづらさ)を評価する解析】



これらの対象について、熱解析が必要。

これまではどのような評価を行っていたか？

# 目次

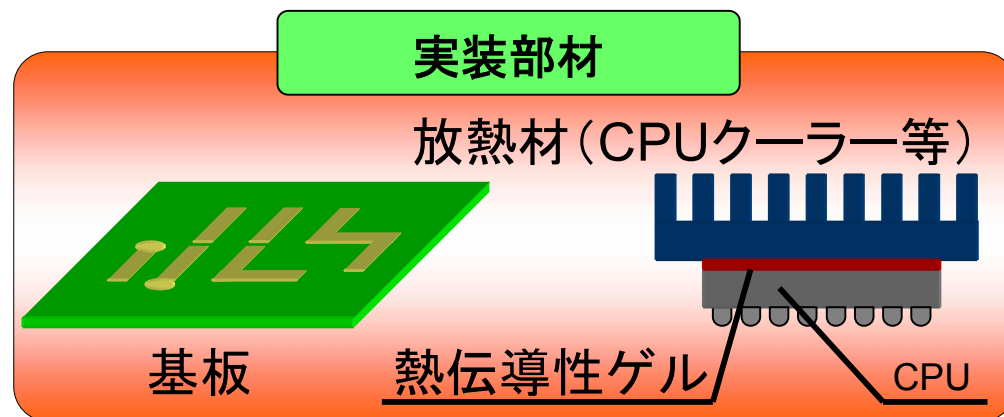
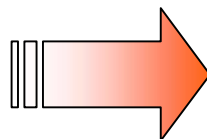
1. はじめに  
～熱解析の概略とその必要性について～
2. 旧来の熱解析手法  
～原理と特徴～
3. 熱過渡解析とは  
～原理の概略・特徴と設備紹介～
4. 熱過渡解析の事例紹介
5. 熱過渡解析サービスのご提案
6. まとめ

# 旧来の熱解析手法 ～ 旧来の熱抵抗測定 ～

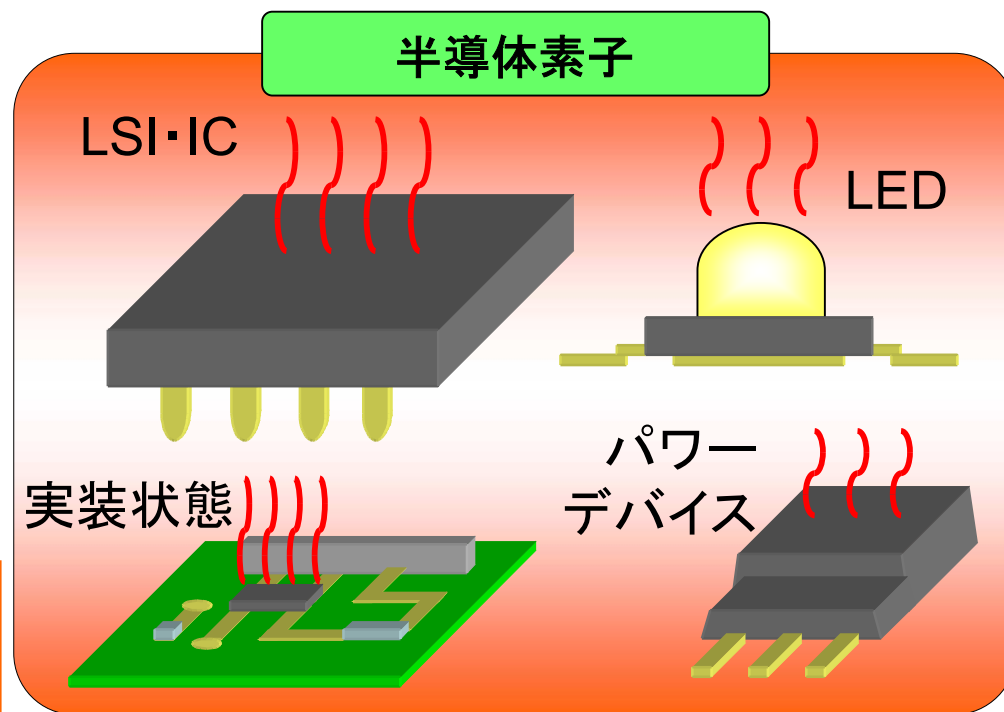
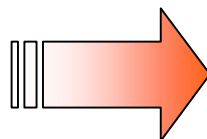
旧来手法



- 熱電対を使用した方法  
(次頁にてご説明)



- TEGを使用した方法
- 実素子を使用した方法  
(次々頁以降にてご説明)

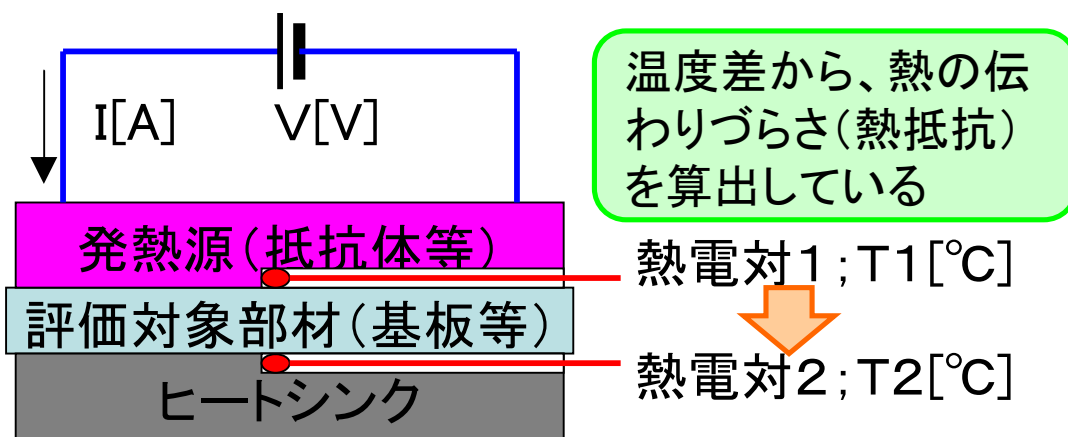


これらの方法の中でも、測定原理・手法も含めて多岐にわたった評価方法があります。ここでは代表的な方法を一例としてご紹介します。

# 旧来の熱解析手法 ～ 旧来手法の説明 1 ～

## ● 熱電対を使用した方法 (実装部材の熱抵抗測定)

評価対象部材の上面と下面に温度センサ (熱電対) を配置し、発熱源からの通過温度を測定する。



$$\Delta T = T1 - T2$$

$$\text{Power} = V \cdot I$$

アウプット; 評価対象部材全体の熱抵抗  
 熱抵抗 [°C/W] =  $\Delta T / \text{Power}$

ex) 熱が伝わりづらい場合  
 →  $\Delta T$ ; 大  
 → 熱抵抗; 大

### ● メリット

- ・測定原理がシンプルで、測定手法・測定結果が直感的に理解しやすい

### ● デメリット

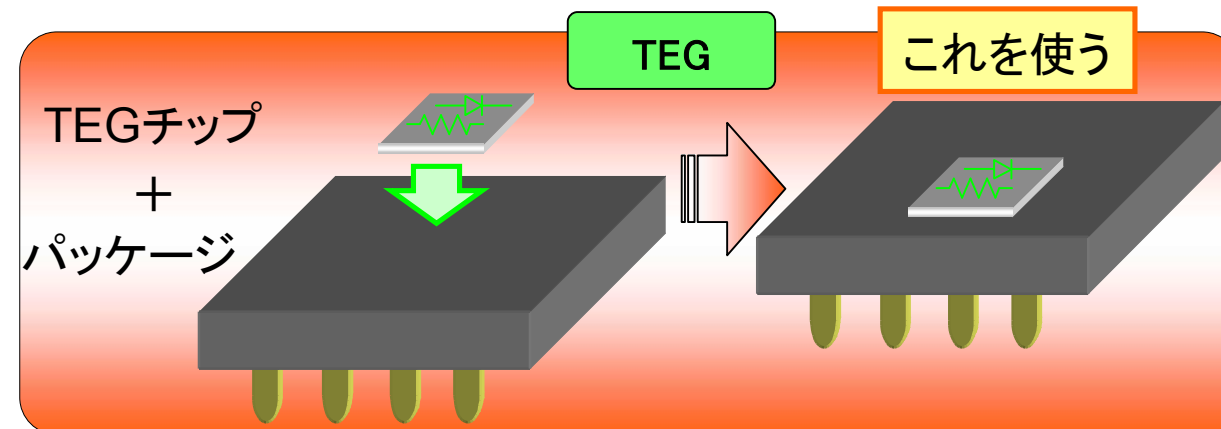
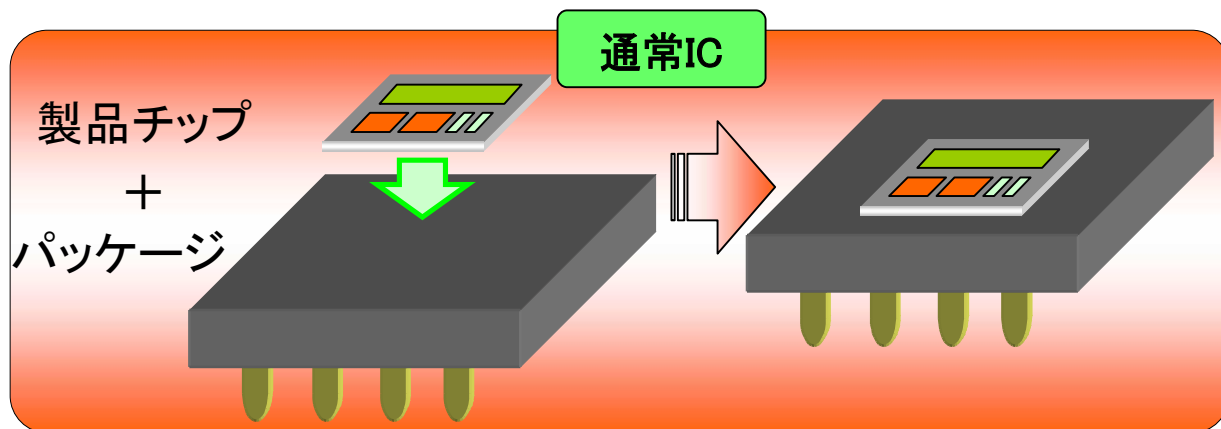
- ・ **個別部材の測定にのみ対応** (半導体素子のような組み立て品の測定は適さず)
- ・ 熱電対の埋め込みに加工を要する
- ・ 測定精度が高くない (熱電対を通しての放熱の影響、熱電対埋め込みの再現性)

# 旧来の熱解析手法 ~ 旧来手法の説明 2-1 ~

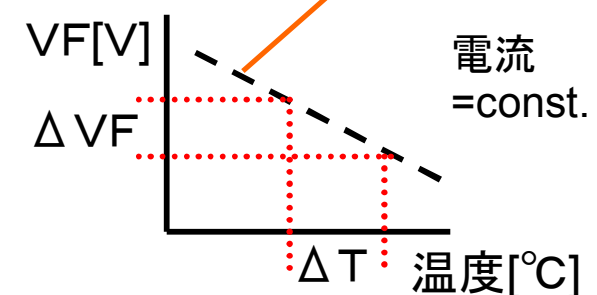
## ● TEGを使用した方法 (半導体素子パッケージの熱抵抗測定)

TEG; Test  
Element  
Group

- ・温度センサ用ダイオードや発熱用抵抗等のTEGチップを、評価対象パッケージと同じモールド樹脂等で封止したサンプルを準備する。
- ・発熱用抵抗を加熱させ、加熱前後のダイオード順方向電圧VF値と温度パラメータから熱抵抗を取得する。



温度パラメータ (温度に対するVFの依存性) この特性から、ダイオードを温度計として使用する



アウトプット; 対象素子全体の熱抵抗  
熱抵抗[°C/W] =  $\Delta T / \text{加熱電力}$   
※  $\Delta T$ は $\Delta VF$ と温度パラメータから導出

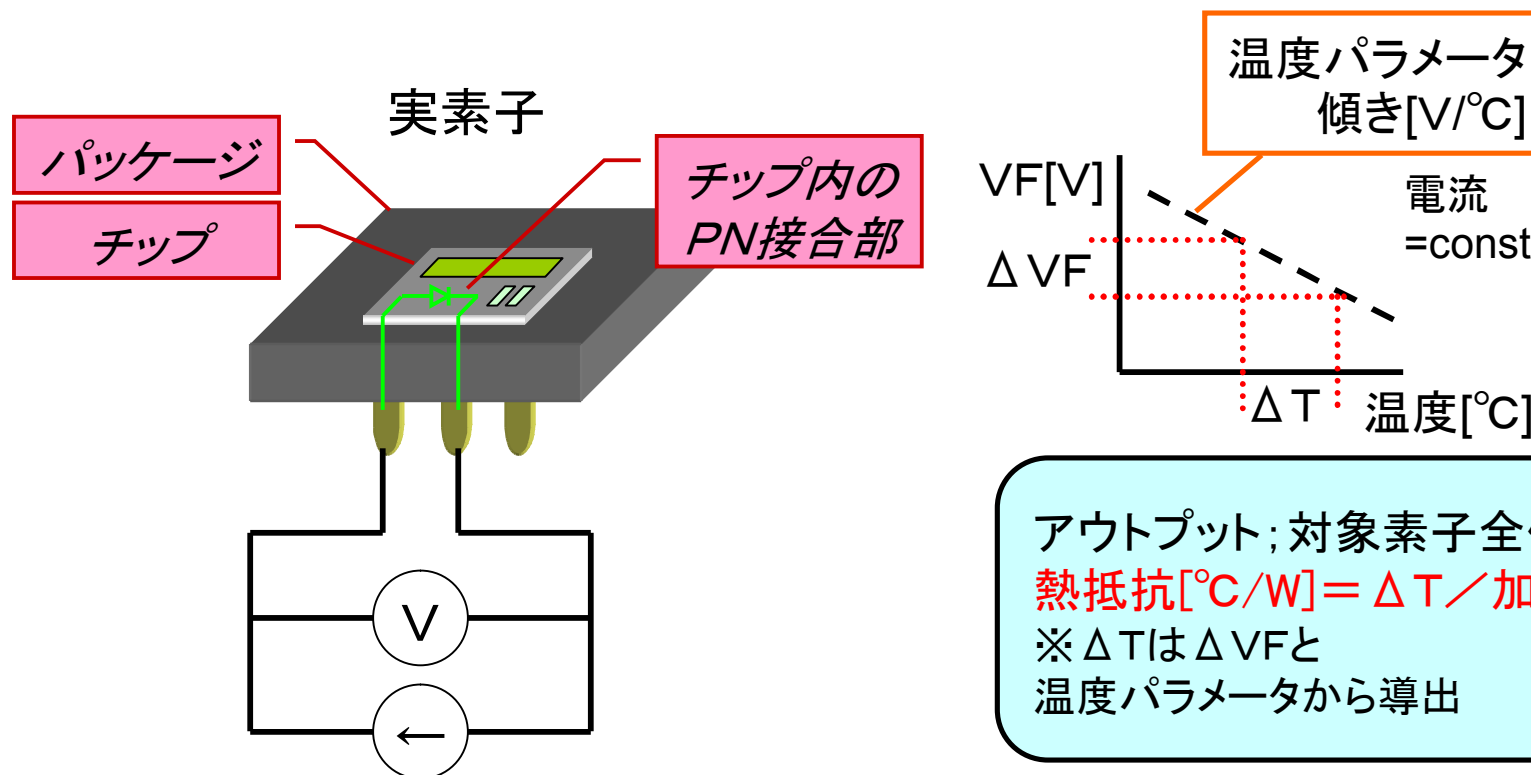
同様な原理を用いた、「実素子を使用した方法」は…



## 旧来の熱解析手法 ～ 旧来手法の説明 2-2 ～

### ●実素子を使用した方法(半導体素子パッケージの熱抵抗測定)

実素子中に作り込まれているPN接合部に電流を流して加熱させ、加熱前後のVF値(ΔVF)と温度パラメータから熱抵抗を取得する。



TEG・実素子  
 メリット・デメリットは？

## 旧来の熱解析手法 ～ 旧来手法の説明 2-3 ～

### ●TEGや実素子を使用した方法のメリット・デメリット

#### 【TEG】

##### ●メリット

- ・パッケージの熱抵抗評価が行える

##### ●デメリット

- ・評価対象パッケージ毎に、TEGパッケージを作成しなければならない  
費用; **数十万円**、 期間; **数日～十数日**  
(さらに、**最初はTEGチップの設計・作成に数百万円、数ヶ月必要**)
- ・TEGチップと実チップの大きさ・実装状況が相違している場合、  
**実デバイスの熱特性を正確に再現できない**(正確な熱抵抗が得られない)  
大きさ・実装状態を全てそろえるためには、**さらなる費用・期間増が必要**
- ・素子を購入する側のユーザーは、**熱抵抗の評価・検証ができない**

#### 【実素子】

##### ●メリット

- ・パッケージの熱抵抗評価が行える
- ・TEG準備に要する期間・費用が不要
- ・素子ユーザー側での評価も可能

##### ●デメリット

- ・パッケージ全体の熱抵抗のみしか得られない(**構造情報が得られない**)

**パッケージ等の構造情報が得られる『熱過渡解析法』とは？**

# 目次

1. はじめに  
～熱解析の概略とその必要性について～
2. 旧来の熱解析手法  
～原理と特徴～
3. **熱過渡解析とは**  
**～原理の概略・特徴と設備紹介～**
4. 熱過渡解析の事例紹介
5. 熱過渡解析サービスのご提案
6. まとめ

# 熱過渡解析とは ～ 測定原理の概略 1 ～

熱過渡解析法 ; Thermal transient analysis

※測定には、半導体素子のPN接合ダイオードを使用する

●PN接合ダイオードの温度パラメータ(右図)を取得

●測定

・PN接合ダイオードに電流を流し、素子を加熱

・低電流に切り替え、熱を冷ましていく

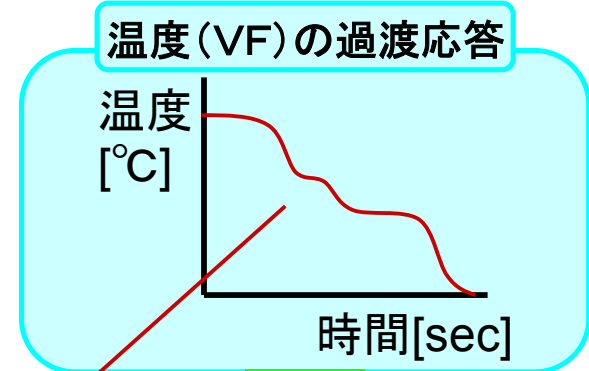
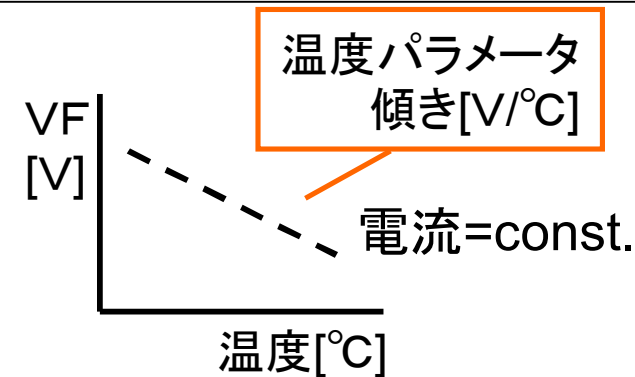
・冷却時の**過渡的**なVF値変化を $\mu$ 秒単位でモニタし、温度パラメータから温度に変換する

●熱過渡解析

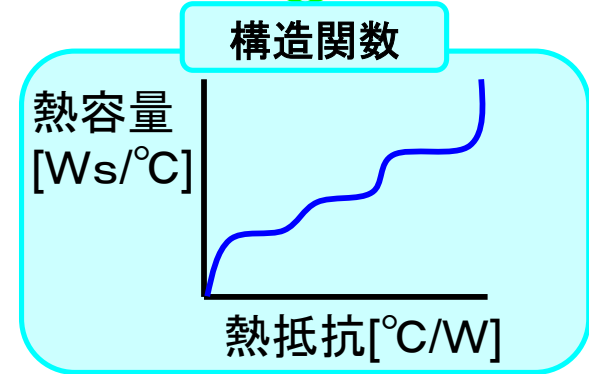
構造材毎に熱の伝わり易さが異なるため、ダイオードの温度変化からパッケージの構造情報が得られる

・データを**構造関数 (Structure function)**に変換する

熱過渡解析から構造関数を得ることで、各構成材毎の熱抵抗(構造情報)が得られる



変換



# 熱過渡解析とは ～ 測定原理の概略 1 ～

## 【熱過渡解析の特徴】

### ～旧来手法からの発展ポイント～

- $\mu$  秒単位の高速スイッチング・測定を実現することで、旧来の熱飽和状態を待つ手法では得られなかった詳細な構造の分離を可能としている。
- 温度の過渡応答特性から構造関数への変換を、専用アプリケーションで容易に計算可能としている。

Transient analysis

ダイオードを使用する  
(右図)を取得

ダイオード、素子を加熱

していく

・冷却時の過渡的なVF値変化を  $\mu$  秒単位でモニタし、温度パラメータから温度に変換する

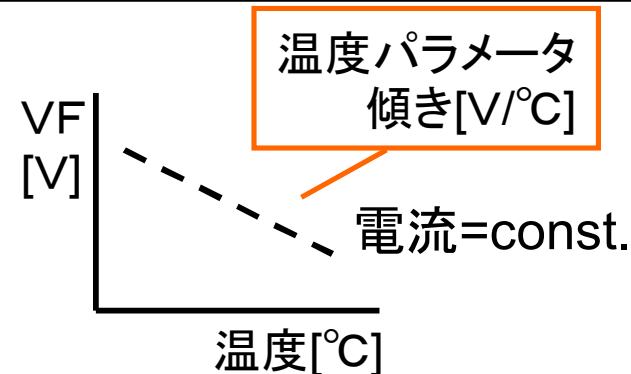
## ● 熱過渡解析

構造材毎に熱の伝わり易さが異なるため、ダイオードの温度変化からパッケージの構造情報が得られる

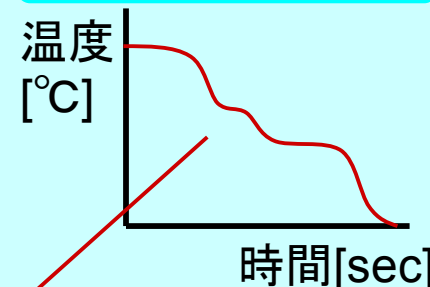
・データを構造関数 (Structure function) に変換する

熱過渡解析から構造関数を得ることで、各構成材毎の熱抵抗(構造情報)が得られる

構造関数の見方

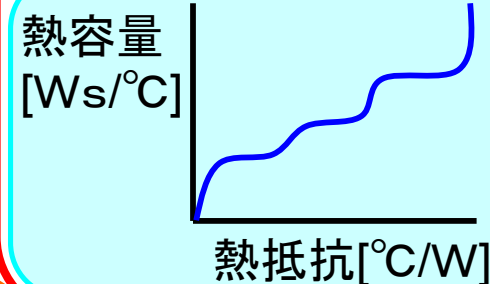


## 温度 (VF) の過渡応答



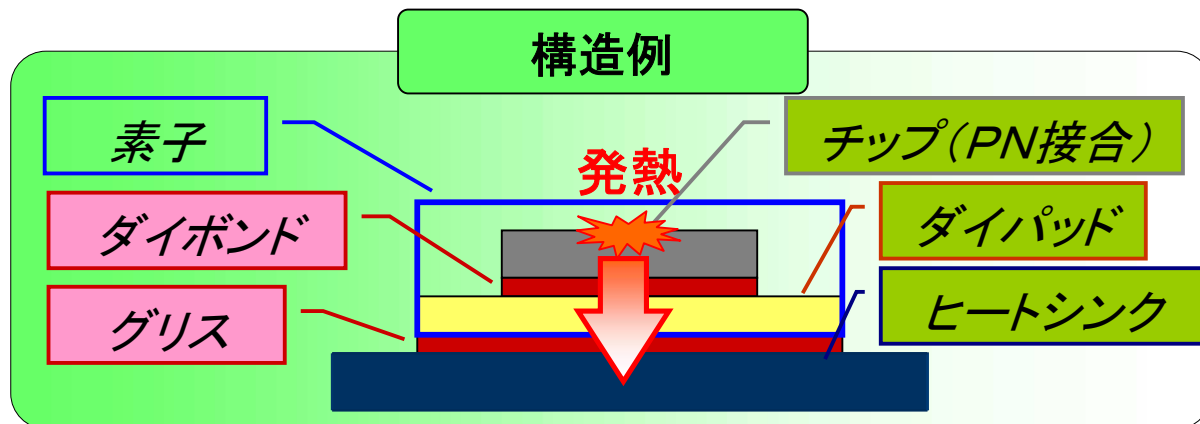
変換

## 構造関数



# 熱過渡解析とは ～ 測定原理の概略 2 ～

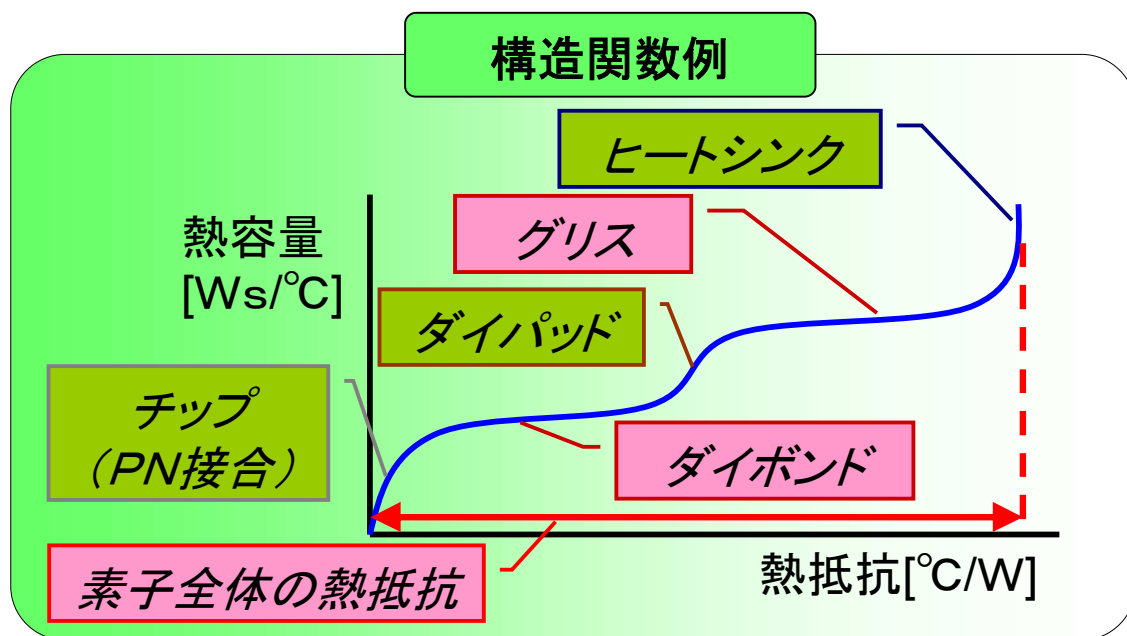
## ● 構造関数が表すもの(イメージ)



熱の伝わり易さが傾きで表される

● 熱が伝わりづらい  
 = 熱抵抗が高い  
 ⇒ 傾きが小さい  
 (ボンド剤、グリス等)

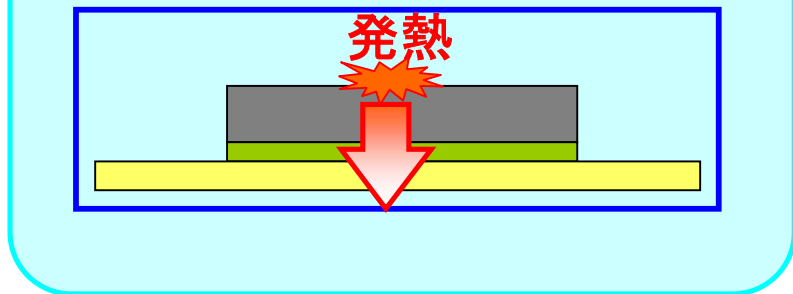
● 熱が伝わり易い  
 = 熱抵抗が低い  
 ⇒ 傾きが大きい  
 (金属、Siチップ等)



熱過渡解析法による熱抵抗測定により、旧来手法ではできなかった各構造部それぞれの熱特性を評価可能

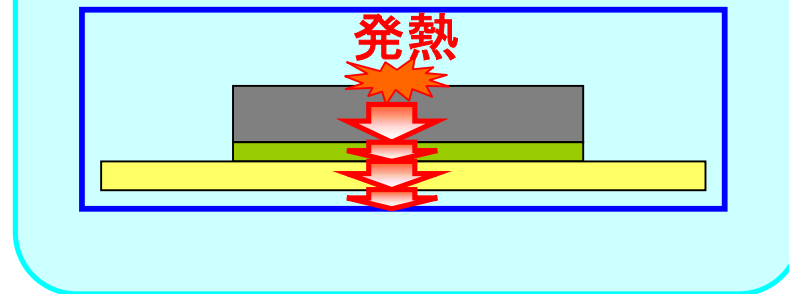
# 熱過渡解析とは ～ 測定原理の概略 3 ～

旧来手法



アウトプット;  
対象素子全体の熱抵抗

熱過渡解析



アウトプット;  
各構造部それぞれの熱抵抗

素子全体の熱抵抗

熱容量  
[Ws/°C]

ダイボンド

チップ

ダイパッド

熱抵抗[°C/W]

熱抵抗の大きい箇所に特化し、  
不良解析、材質改良、品質管理等に  
適用することが可能

## 熱過渡解析とは ～ 熱過渡解析法の特徴 ～

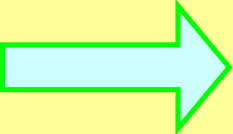
### ● 熱過渡解析法の特徴のまとめ

#### ● メリット

- ・半導体パッケージをはじめ、各種構成材の切り分けが可能のため、構造毎の詳細な熱特性評価に適している
- ・TEGチップ・組み立て等の準備費用が不要
- ・実デバイス・実製品の実装状態等、実際に評価したい状態での特性取得が可能
- ・半導体素子、実装部材等、各種評価に適用可能
- ・素子ユーザ側での熱特性評価・検証が可能
- ・評価したい半導体素子に既存のPN接合ダイオードを加熱源・温度測定センサに使用するため、測定準備が簡便に行える

#### ● デメリット

- ・高価な測定装置の導入が必要
- ・オペレータの養成が必要



OEGの熱過渡解析サービスをご利用いただければ、これらのデメリットはありません。



## 熱過渡解析とは ～ 旧来手法との比較 ～

### ● 熱過渡解析法と旧来手法の比較

	熱過渡解析法	熱電対法	TEG法	実素子使用
素子内部構造の切り分け評価	○	×	×	×
事前準備に要する費用／期間	○	○	×	○
パッケージ素子の評価	○	×	○	○
実装状態に近い評価	○	×	△	○
実際の素子状態の再現性	○	×	△	○
ユーザーによる熱抵抗検証	○	○	×	○
測定準備の利便性	○	△	○	○
実装部材の評価	○	○	○	○

○; 好ましい

△; あまり好ましくない

×; 好ましくない、不可、困難

● 熱過渡解析法は旧来の手法に比べて簡便で、種々の評価に適しています。

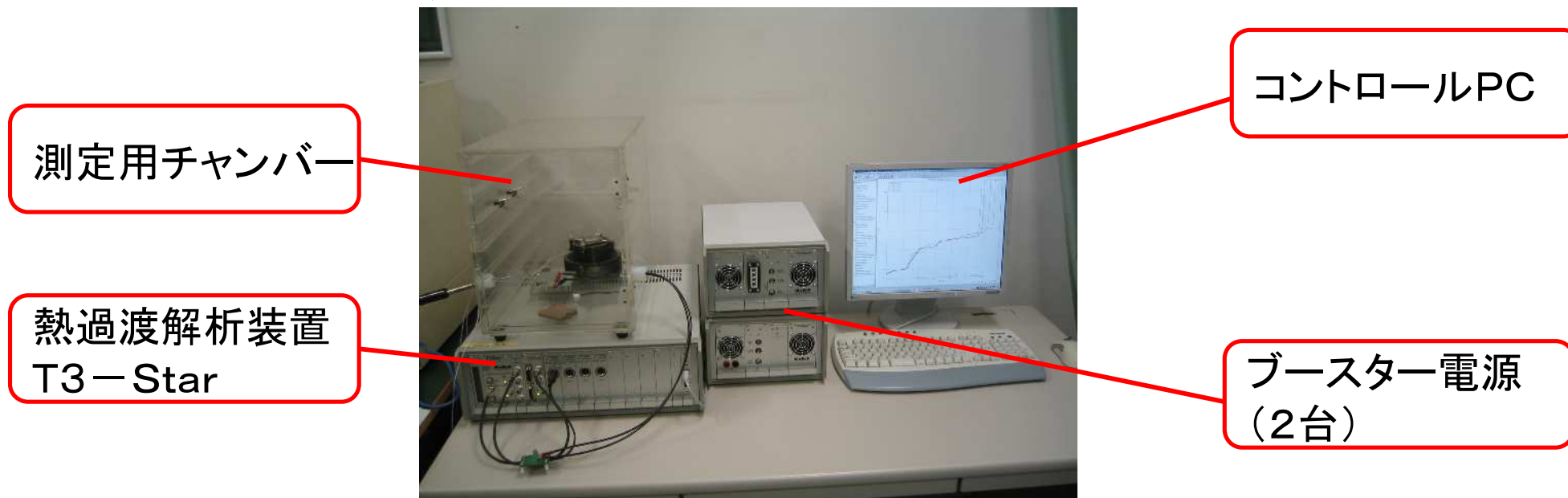
→ 熱過渡解析法は、電子機器の信頼性に多大な影響を与える

**熱特性のデータ取得・評価に有効な手法です。**

また、**パッケージ構造の切り分け評価**(構造関数)が可能な唯一の評価手法です。

## 熱過渡解析とは ～ 熱過渡解析装置 ～

### ●熱過渡解析装置 システム概略



- 熱過渡解析装置は、T3-Star本体&コントロールPCと、シンプルな構成である。
- 被測定検体を周囲環境変化から遮断するために、チャンバーで無風環境を形成。  
(大サンプルの評価が必要な場合は、弊社所有の各種大型恒温槽を使用可能)
- 評価可能電力
 

ブースター無し	;	2A、6V程度
ブースター使用1	;	50A、30V
ブースター使用2	;	10A、90V
- 熱過渡解析のサービスご提供は、国内でOEGだけです
- さらにブースターによる大電力対応の熱過渡解析システムを構築したのはOEGが国内初です

# 目次

1. はじめに  
～熱解析の概略とその必要性について～
2. 旧来の熱解析手法  
～原理と特徴～
3. 熱過渡解析とは  
～原理の概略・特徴と設備紹介～
4. **熱過渡解析の事例紹介**
5. 熱過渡解析サービスのご提案
6. まとめ

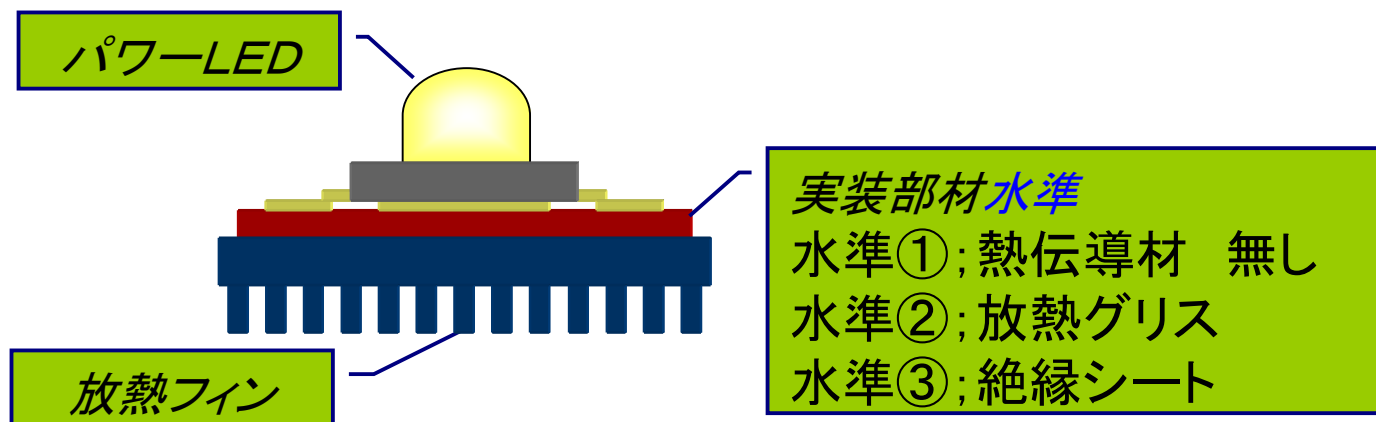
## 熱解析の事例紹介 ～ 事例 1-目的 ～

### ● パワーLEDの実装評価

内容; パワーLED実装用部材の水準評価

目的; パワーLEDの実装に際して使用する部材の選定を行う

応用; 熱伝導材メーカーの、熱伝導材水準評価



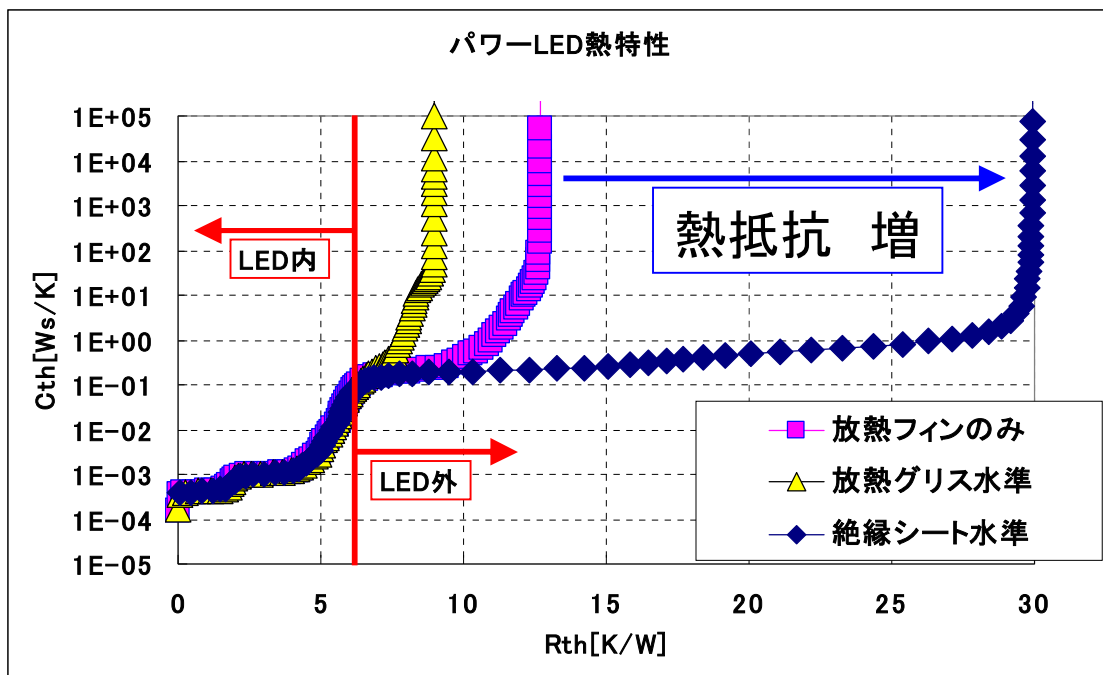
旧来手法でこの評価を行うと、

- ・熱電対の埋め込み加工が必要
- ・熱電対を通しての放熱もデータに含まれてしまう

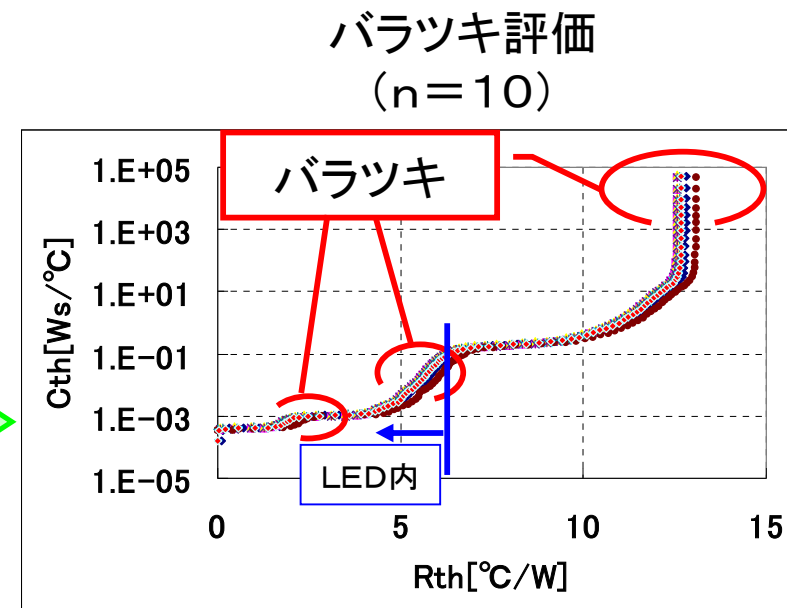
等のデメリットがあったが、熱過渡解析法ではこれらの問題は発生しない。

# 熱解析の事例紹介 ～ 事例 1 - 結果 ～

## ● パワーLEDの実装評価; 結果



追加解析  
→



絶縁シートを使用することにより、熱抵抗が大幅に増加していることが確認された。

### 【熱抵抗】

放熱グリス水準 < 放熱フィンのみ ≪ 絶縁シート水準

「放熱フィンのみ」水準でサンプル数を増やして評価を行った  
 ⇒ 評価の結果、同一製品内(全て良品)でもわずかなバラツキが見られた  
 ⇒ 作り込み品質のバラツキ評価に応用可能である

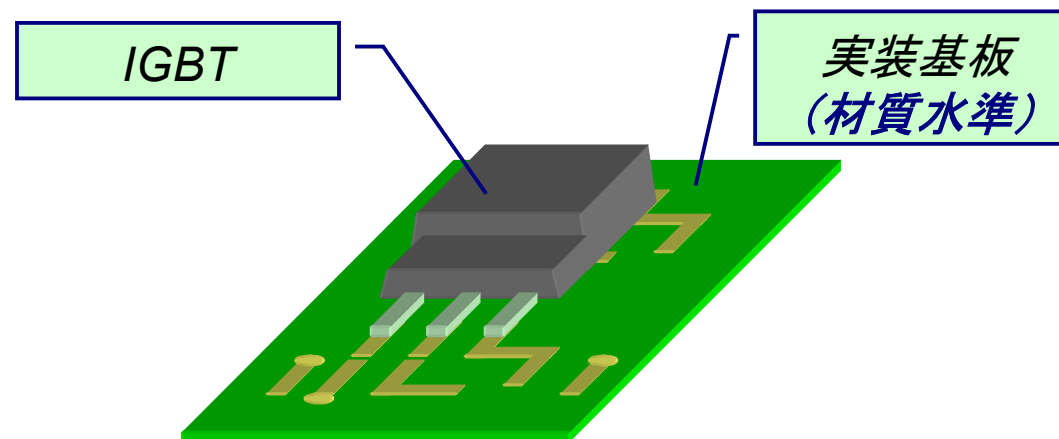
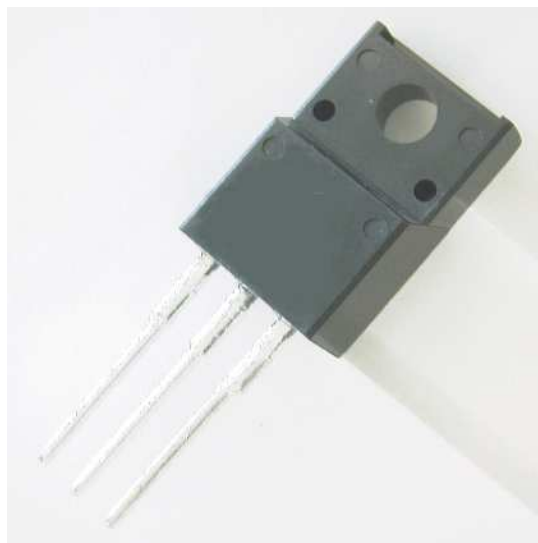
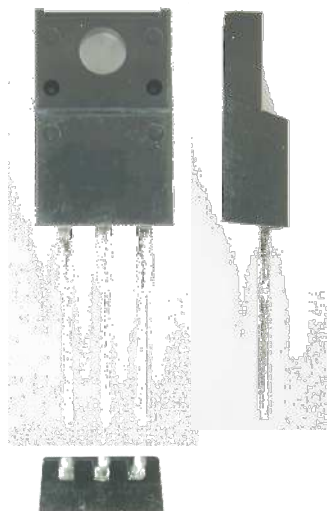
## 熱解析の事例紹介 ～ 事例 2-目的 ～

### ●実装基板の評価

内容; 素子実装基板の水準評価

目的; 低熱抵抗な実装基板の開発

応用; システムメーカーが、使用する実装基板を選定する際の水準評価

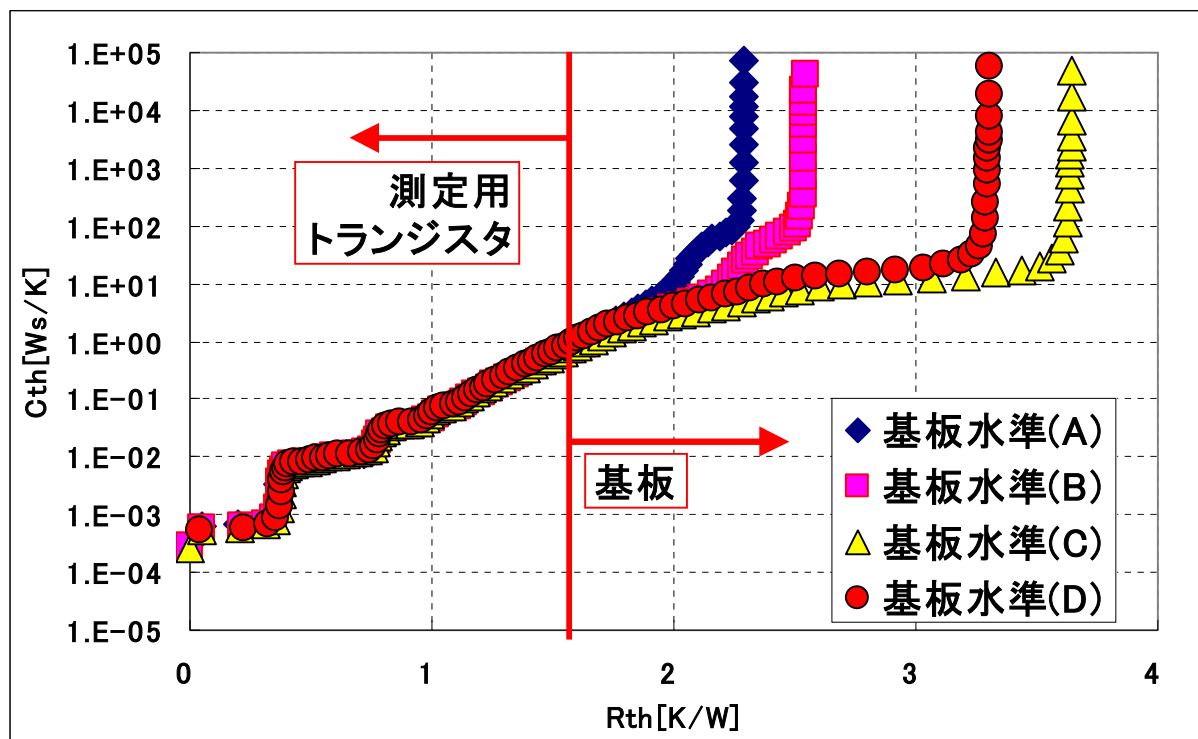


旧来手法でこの評価を行うと、

- ・熱電対の埋め込み加工が必要
- ・熱電対を通しての放熱もデータに含まれてしまう

等のデメリットがあったが、熱過渡解析法ではこれらの問題は発生しない。

# 熱解析の事例紹介 ～ 事例 2-結果 ～



各種水準の評価結果から材質毎の熱抵抗を抽出し、低熱抵抗な材質の選定が行えた。

※弊社では、電子回路基板の評価に関して、JPCA(社団法人 日本電子回路工業会)の規格「高輝度LED用電子回路基板試験方法(JPCA-TMC-LED02T-2010)」による評価をサポートしておりますので、ご用命下さい。

# 目次

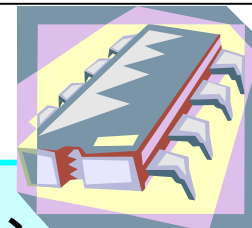
1. はじめに  
～熱解析の概略とその必要性について～
2. 旧来の熱解析手法  
～原理と特徴～
3. 熱過渡解析とは  
～原理の概略・特徴と設備紹介～
4. 熱過渡解析の事例紹介
5. 熱過渡解析サービスのご提案
6. まとめ



# 熱解析サービスのご提案 ～ ご提案 1 ～

## ●低熱抵抗な半導体素子の選定

～素子選定後に、熱問題で対策コストがかかっていませんか？～



内容；複数メーカーの同程度の機能を有する素子から一種を選定する際の、選定基準の一つとして、熱抵抗評価を行う。  
あるいは、既存部品の代替品を選定するための、品質評価の一項目とする。

●素子選定の際の基準・比較表

	A社	B社	C社
価格／納期	○	◎	△
電気特性A	○	○	○
電気特性B	○	○	○
電気特性C	○	○	○
...			
電気特性Z	○	○	○
パッケージ	A	B	C
追加項目 熱過渡解析 (構造関数)	◎	×	△

従来の選定基準

電気特性は、通常必要諸元を最低限満足することを前提として選定

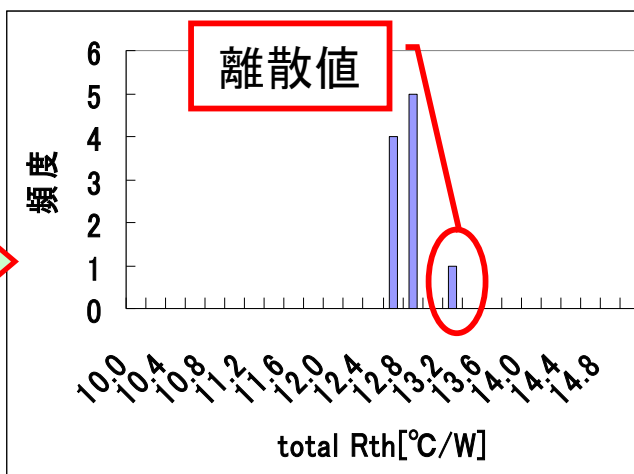
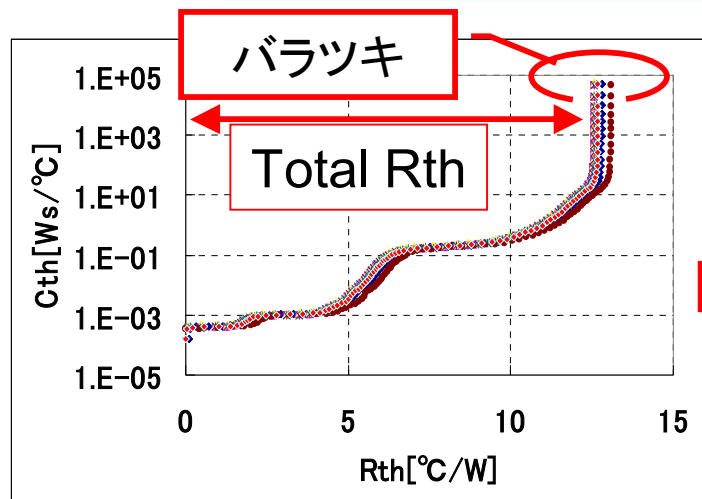
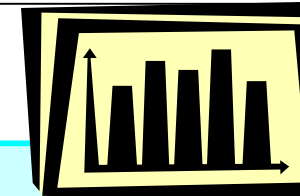
- 従来は価格や納期から選定していたことで、熱問題の潜在する素子を選定してしまっていた？  
→ 信頼性の問題から結果的にコスト高という危険性も！？
- 熱抵抗が低いデバイスを選択することは、熱由来の信頼性低下要因が少ないと考えられる。
- ★素子選定に際して、熱過渡解析による構造関数の評価を組み入れることをご提案いたします。

## 熱解析サービスのご提案 ～ ご提案 2 ～

### ●同一製品の作り込み・バラツキ評価

～初期特性はOKなのに故障が多い？熱抵抗がばらついていませんか？～

内容；同一ロット・他ロット間で熱特性のバラツキ評価を行い、ワーストケースにおいても所望の熱特性が得られているか確認を行う。  
 目的は、素子メーカーが製造バラツキの評価に使用する、あるいは電子機器システムメーカーが良品解析の一項目として位置づける。



【バラツキ要因例】  
ハンダ接続部のボイド



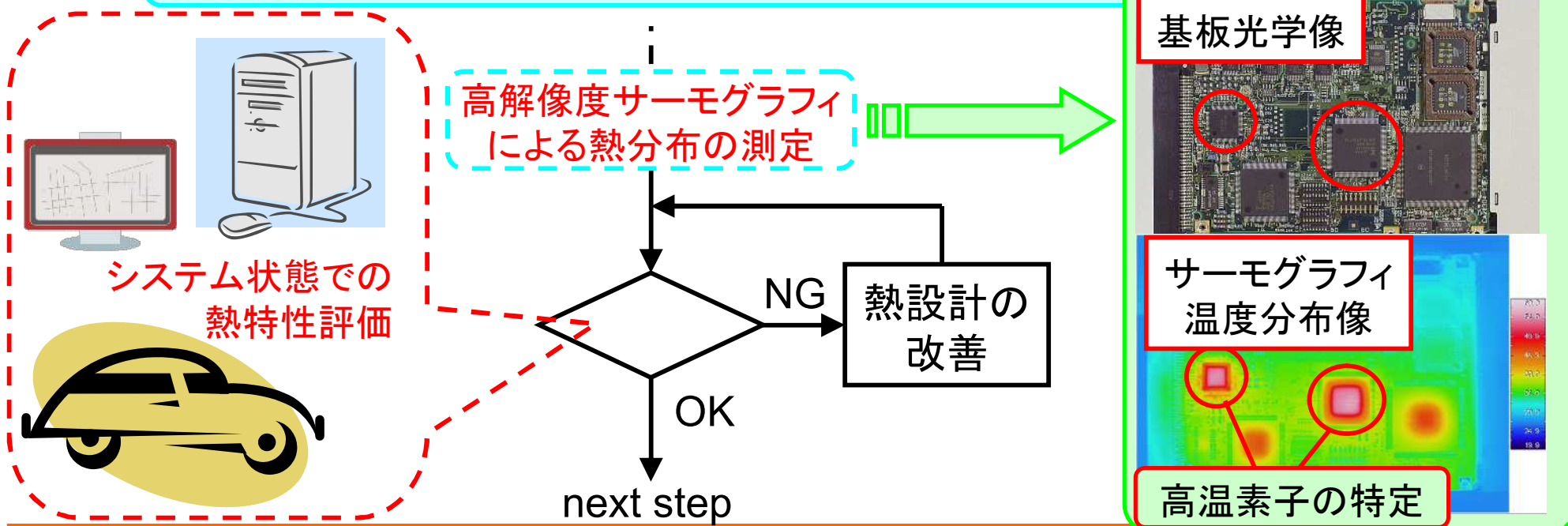
- 所望の熱抵抗から外れるサンプルの検出
  - 必要に応じて他の弊社解析サービス(X線・開封解析etc)へ、シームレスに移行可能
- バラツキ要因(内部構造のどの箇所で熱抵抗が増加しているか)の切り分けが可能
  - 工程バラツキの改善にフィードバックすることが可能(旧来手法では評価不可)
- ★特に高信頼性が要求される分野では、バラツキ評価の実施をお勧めいたします。

# 熱解析サービスのご提案 ～ ご提案 3 ～

## ●システム実装状態での熱特性評価

～製品に組み込んだ状態での熱特性、把握しておくべきではありませんか？～

内容; 筐体に組み込んだ状態(最終製品形態)での熱特性評価を行うことで、熱設計の確認・改善ルーチンが行えます。

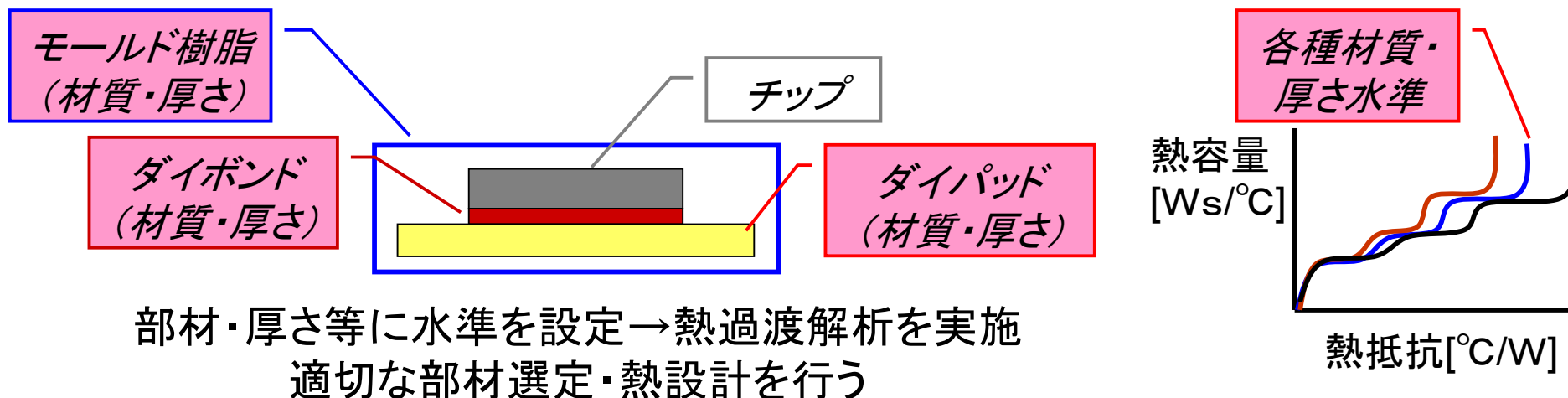


- システムに組み込んだ状態での評価が可能な「熱過渡解析法」ならでの適用例です。
- 高解像度サーモグラフィとの組み合わせにより、製品全体の熱状態を把握可能なため、無駄・漏れの無い評価を可能とします。
- ★同一基板上に消費電力の大きい多数のデバイスを実装する場合、小型電子機器等で高集積に素子を実装する場合等に、他の素子の熱的影響も含めて評価することが望ましいです。

## 熱解析サービスのご提案 ～ ご提案 4 ～

- 半導体素子の開発段階で、各種アセンブリ材の選定・厚さ設定等に使用する  
～新規素子のアセンブリ材料選定。採用後に熱問題でお困りになったことはありませんか？～

内容；半導体素子の開発段階で素子パッケージ部材（ダイボンド材・ダイパッド材等）に水準を設定し、熱過渡解析を行うことで、適切な部材を選定・設計する。



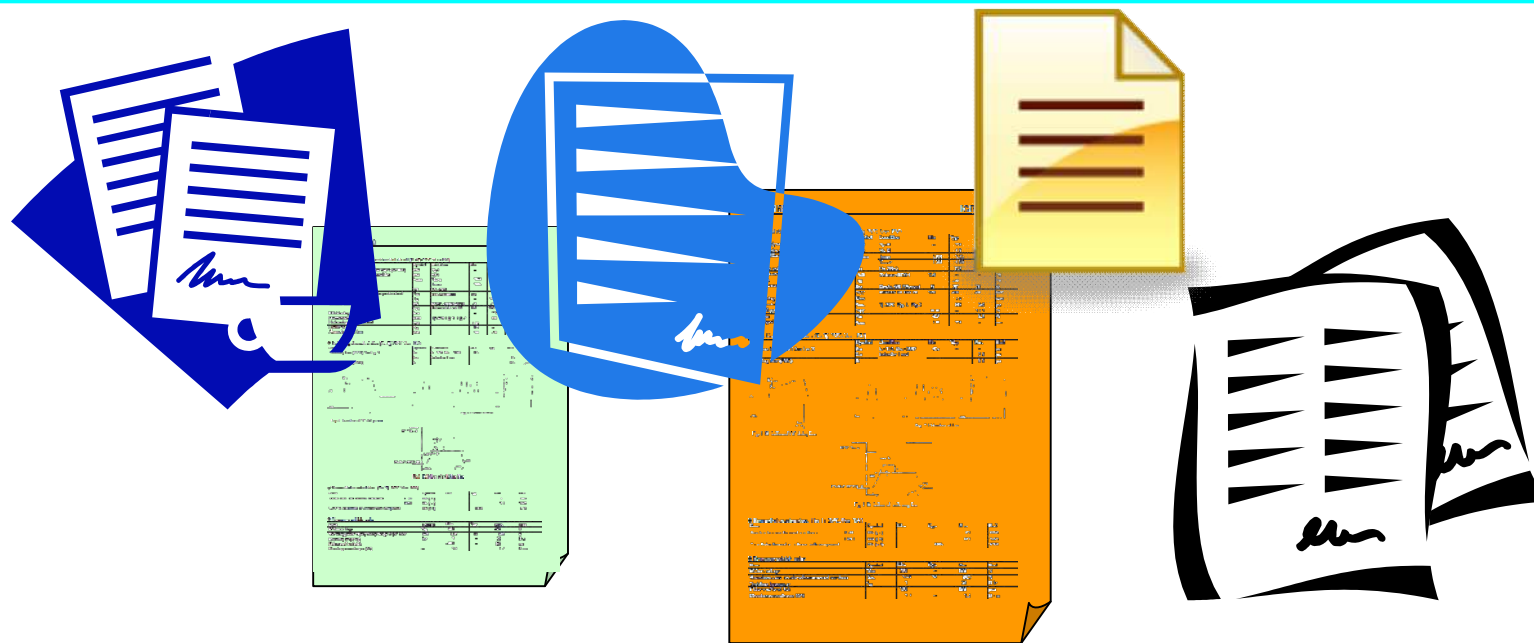
- 半導体素子の、開発初期段階での評価に有効です。
- ★熱設計が特に重要なパワー系デバイス(IGBT, パワーMOSFET, 高輝度LED等)の開発に際して、ご利用をお勧めいたします。

## 熱解析サービスのご提案 ～ ご提案 5 ～

### ●カタログスペックの検証

～スペックを信じて買って来たけど、ホントに大丈夫？～

内容；新規採用素子の選定にあたり、カタログに記載されている熱抵抗値の検証を行う。



- システム設計に際して、使用する素子の熱特性も重要な検証項目です。
- カタログに記載されている熱抵抗値がバラツキ無く正しい値を示しているか？  
採用・導入後も、定期的な検証を行うことが望ましいと考えます。
- ★特に高信頼性を要求されるシステムに関しては、検証を実施されることが望ましいです。

## 熱解析サービスのご提案 ～ ご提案 6 ～

### ●良品構造解析の一項目として熱特性評価を行う

～構造解析だけでは見えづらい熱問題。DPA・CAの照合項目で検証しないと…～

内容；良品構造解析の一項目として、新たに熱特性の評価を追加する。

#### 従来の評価項目(例)

- ・外部目視
- ・封止
- ・内部目視
- ・ボンド強度試験
- ・ダイせん断試験
- ・放射線写真方法
- ・内部水蒸気分析
- ・基準形状
- ・SEM検査
- ・評価判定

#### 新規追加項目

- ・熱過渡解析

**DPA; *Destructive Physical Analysis***  
(破壊的物理解析)

**CA; *Construction Analysis***  
(構造解析)

- OEGで実施しているDPA・CA等の照合判定項目に追加可能です。
- 熱過渡解析の追加により熱抵抗・構造関数の違いを可視化できるため、熱抵抗問題に起因する信頼性低下要因を簡便に検知可能とします。
- ★採用している半導体素子の製造工場変更や工程変更が頻繁に行われる場合などは、変更前後の熱特性に相違が生じていないか、確認されることをお勧めいたします。



## まとめ

- ・新たに開始した熱過渡解析サービスについて、測定原理の概略と特長をご説明いたしました。
- ・熱過渡解析の事例紹介、ならびに熱過渡解析の特長を活かした各種評価方法のご提案をいたしました。

- ここで示したような熱過渡解析を開発段階からご利用いただくことで、車載をはじめとした、特に高信頼性を要求される半導体素子・電子機器システムの熱設計精度の向上、ひいては信頼性向上のお役に立てると考えます。
- また、現在使用中の素子・部材の熱特性評価を実施し、熱問題の再検証を行うことで、信頼性の向上を図るお手伝いができると思います。

ご清聴いただき、ありがとうございました

》お問合せ先

**沖エンジニアリング株式会社**

□ 信頼性技術事業部  
営業技術グループ

□ TEL: 03-5920-2354

□ 担当: 田中 まで

□ E-mail: [oeg-rsales-g@oki.com](mailto:oeg-rsales-g@oki.com)

□ URL: <http://www.oeg.co.jp/>

ご連絡をお待ちしております

