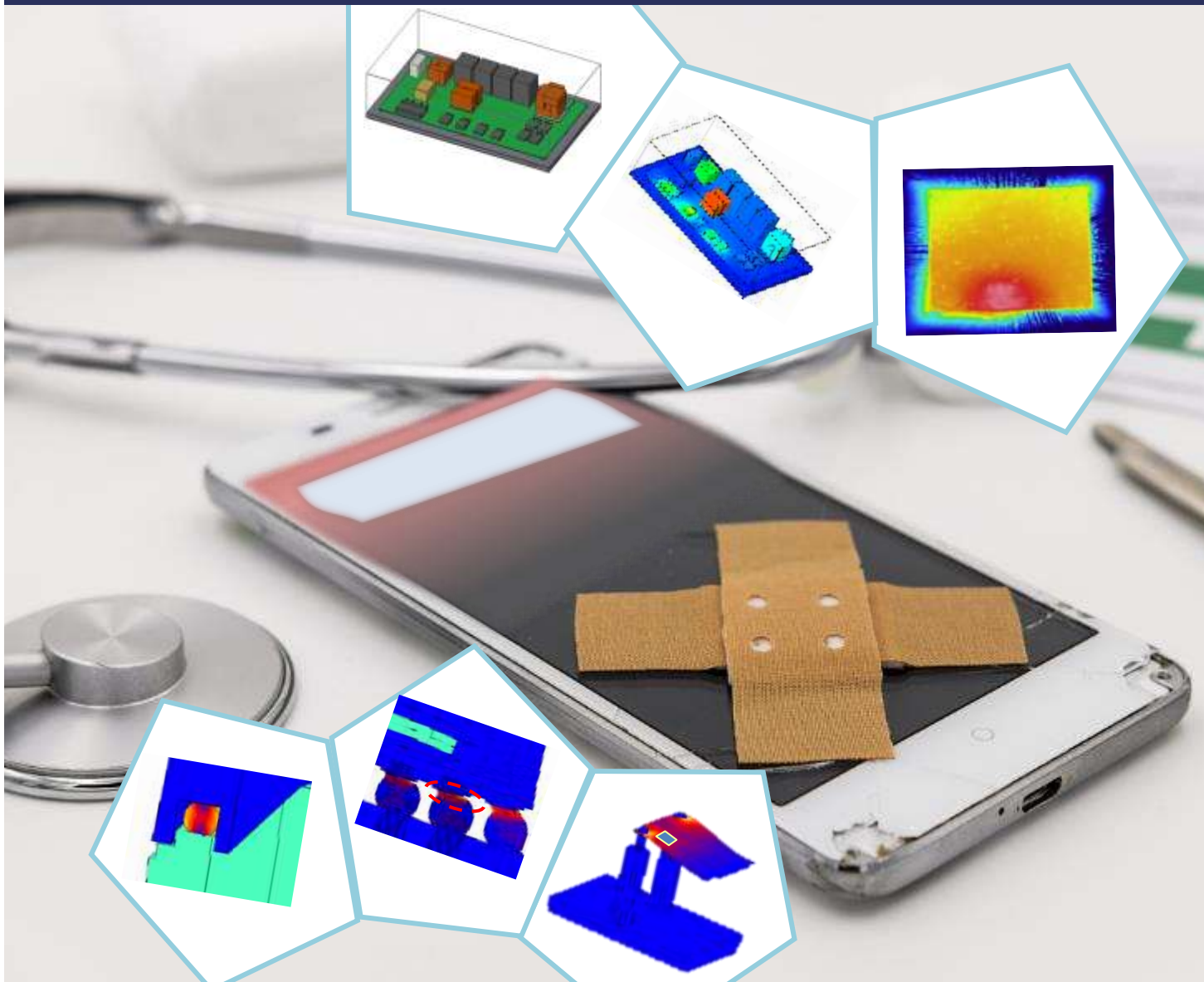


# WTI 熱・応力クリニック

## ～熱・応力シミュレーション～

設計の問題点をシミュレーションで「診断」  
解決法となる「処方」  
さらにはトラブルを回避するための「予防法」



# 熱・応力クリニック

～製品に不具合が発生したら、専門医（専門家）に受診して対策しましょう～

熱・応力にまつわる製品設計の問題点の「診断」結果と解決法となる「処方」、さらにはトラブルを回避するための「予防法」までを熱・応力の専門医（専門家）から受け取れます。



こんなときに・・・

開発品や量産製品で、熱や応力起因の不良品が出てしまったら、緊急に対策が求められます。

そこで熱・応力の専門医（専門家）から、不良原因の「診断」結果と解決策の「処方」を受け取ることで、トラブル対策は短期間で完了します。

過去の設計の延長線上や勘に頼る対策手法に比べて、WTI専門医が「処方」する対策は、WTI独自技術を駆使した解析技術と過去からの豊富な経験から導かれる確実性の高いものです。

そのため、短期間で対策を講じることができます。 これまでも多くのお客様でトラブルの対策期間を短縮している実績があります。

また、製品試作前にご利用になることで、熱・応力に関する製品トラブルを未然防止するための「予防法」を予め知ることができます。

その「予防策」に沿って開発を実施することで、開発期間の終盤でのトラブル発生や設計手戻りや、その結果生じる時間的ロスを大幅に回避することができます。

<WTI熱・応力クリニック>は、このような方にオススメです

- 開発品や量産品でトラブルが発生。すぐに原因を探し出して対策をしたい
- これから開発を進めるにあたって、トラブルが起こらないための設計指針を知りたい（製品寿命の向上、耐落下衝撃性・耐振動性等）
- 放熱対策の要否や対策方法を把握したい
- 高精度な半導体の熱抵抗を知りたい

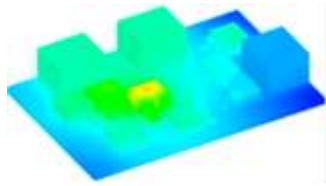


⇒ これらの課題の解決には、CAE（Computer Aided Engineering）による論理的な見解を得ることがブレークスルーの入口であると考えます。

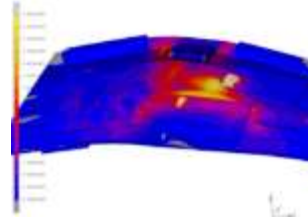
しかし、CAEを用いて問題解決するためには、シミュレーションツールを使いこなすためのノウハウはもちろん必要ですが、これに加えて現物と精度の高い相関を取る技術が不可欠です。この技術を新たに構築するには相当な時間が必要であり、シミュレーションツールは、導入すればすぐに使用できるというものではありません。ツールを使いこなすためには専門の知識・技術（材料力学、解析理論、強度評価、実評価経験、等）が必要となります。

そこで、そのような技術を蓄積してきた設計会社に委託することが、おすすめの選択肢です。

# 熱・応力クリニック



熱伝導・熱流体解析



構造・応力解析

WTIの解析（シミュレーション）技術には、以下のような特長があります。  
設計/開発/試作まで行っている会社であり、**実際のモノを知った上で解析**を実施しています。実際のモノを把握し、解析結果を提供することで実際にお客様の試作回数を低減した実績があります。

モノづくりで考慮が必要となる、熱的・構造的・電氣的な解析技術を当社は全て保有しております。各シミュレーションを別々の解析会社に依頼することは非常に煩雑ですが、WTIはお客様の開発状況やご要望に合わせて、各技術を**組み合わせたソリューションを提供**することができます。

半導体部品は、熱解析における熱源パラメータとして重要です。この伝熱特性を精度良く解析に反映させるためには、半導体の素子構造まで理解して熱抵抗計算に反映させる技術力が不可欠です。この精度が十分でないと、全体の熱シミュレーションの精度が大ききく低下しますので、試作回数を減らす効果が得られにくくなります。当社は、半導体の構造や熱特性を基に開発した、独自の[半導体熱抵抗測定技術](#)を保有しています。

これらの技術を用いた当社の高精度な解析(シミュレーション)サービスは、様々なお客様（企業、大学、公的研究機関、等）から高いご評価をいただいております。

解析手法の提案から課題解決までお客様のご要望に丁寧にサポートします。  
まずはお気軽にご相談ください。

# 熱伝導・熱流体解析

半導体部品パッケージサイズは小型化により、チップ（発熱源）の発熱密度は今後も増大していく傾向にあります。また、電子機器の筐体内の部品密度が増すことによる放熱面積減少は、熱的な厳しさを更に増す要因になります。試作後の温度測定で、はじめて部品の動作温度が最大定格を超えることがわかり、対策に追われるというご経験やお悩みをお持ちではないでしょうか。

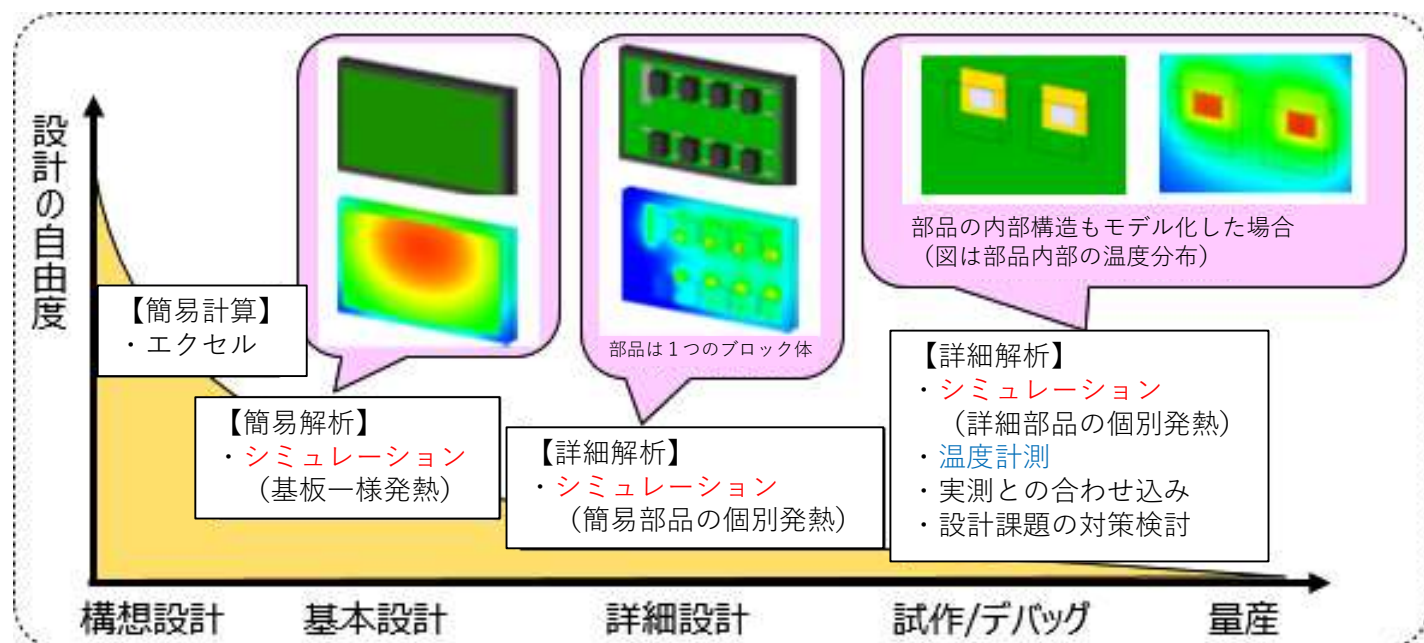
放熱設計は、構想設計、基本設計、詳細設計、試作の各段階でシミュレーションによる検証を行うことが重要です。初期段階ほど設計の自由度が高く、量産段階に近づくほど、設計自由度は低下していきます。

（量産に近い段階での熱対策は非常に難しくなり、対策コストも大きく発生するようになります。

場合によっては、部品配置からの再設計が必要になることもあります。）

WTIでは、一部の工程のみの解析や、全開発工程を通じての解析のいずれも受託しております。

## <製品開発の各フェーズにおける放熱設計の自由度>



構想設計	エクセルレベルの概略計算で問題ありませんが、この段階できちんとした解析を行い、適切な開発の方向性を選択することで、以降の段階の設計を容易にすることができます。
基本設計	発熱源が一様に発熱することを仮定した簡易モデルで計算して、放熱経路を考慮した筐体や基板の構造を検査することができます。
詳細設計	個々の部品は一様に発熱するブロック体と見なした個別発熱モデルから詳細解析を行い、部品配置を含めた放熱対策を検査することができます。
試作	部品の内部構造もモデル化し、また実温度測定も行った上で実測とシミュレーションの絶対値の合わせ込みまで行う詳細解析を実施します。

## 【経験分野】

電気・電子（半導体）、車載機器、電源機器、太陽光発電設備、医療機器、エンジン部品、空調機器、通信機器 等



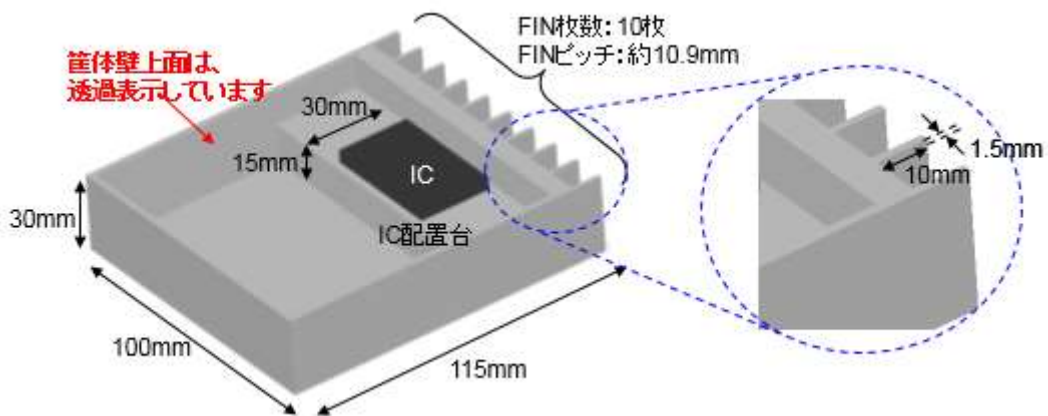
# 熱流体解析を用いた放熱対策事例

箱物筐体製品の放熱対策を行う際、筐体壁から外気へ熱輸送させる対策が大半です。  
このような、筐体を使った放熱対策を熱輸送の3要素から簡単に説明します。

## <熱輸送の3要素>

- 対流熱伝達
  - 熱を帯びた分子の移動による熱移動
- 放射（輻射）
  - 電磁波による熱移動
- 熱伝導
  - 物質内の格子振動・自由電子による熱移動

## <説明に使用するモデル仕様>



部材	材料	熱伝導率 (W/mK)	放射率	発熱量 (W)
筐体	アルミダイキャスト	121	0.03	-
FIN	アルミダイキャスト	121	0.03	-
IC配置台	アルミダイキャスト	121	0.03	-
IC	Resin	1	0.9	20

# 熱流体解析を用いた放熱対策事例

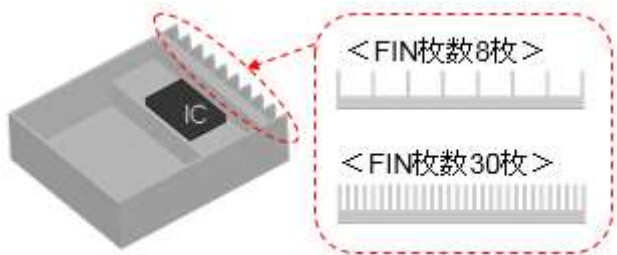
## 【対流熱伝達による放熱効果】

FINの羽枚数は多い方が良いの？

でも、多すぎると重くなるし……。



FINは放熱対策を行う上で重要な鍵です。



- ★FIN枚数は、適正な枚数（最適解）があります。
- ★対流熱伝達の効果を最大限生かす放熱設計を行いましょう。

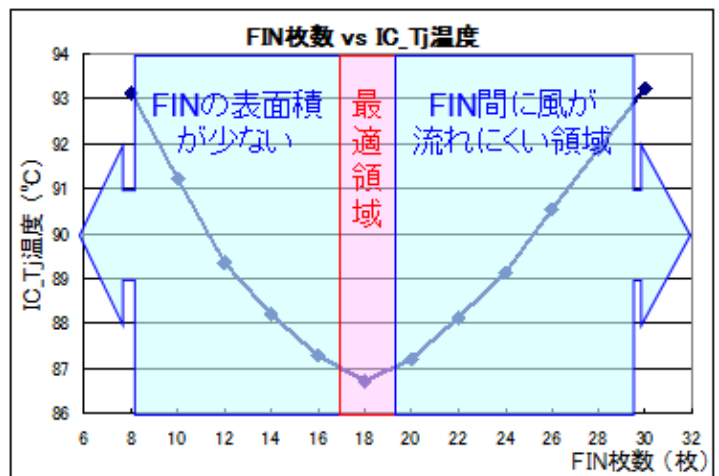
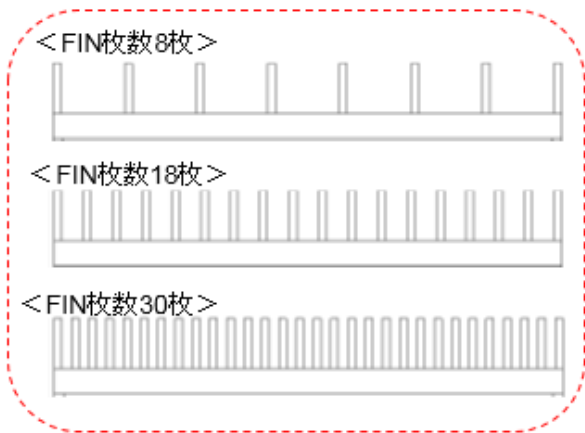
FINの羽枚数は、

- ※ 少なすぎるとFIN表面から外気へ熱輸送する面積が低下するため、効果が下がります。
- ※ また、多すぎるとFIN間に十分な風が流れず効果が下がります。

つまり、**FINは放熱効果のピークを持つ放熱部材**です。

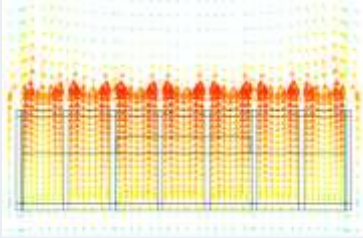
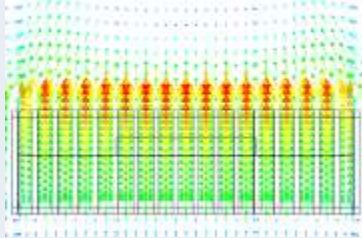
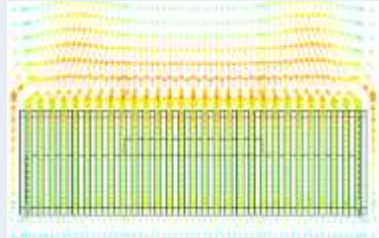
<下記は、今回のモデルの検証結果です>

FINを8枚～30枚まで2枚間隔で解析した結果です。

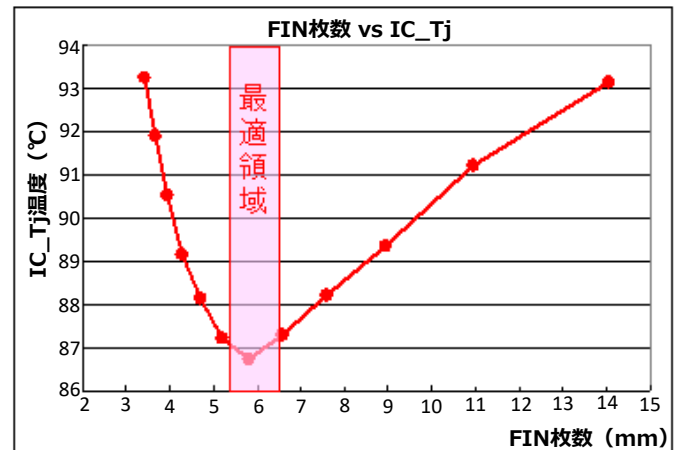
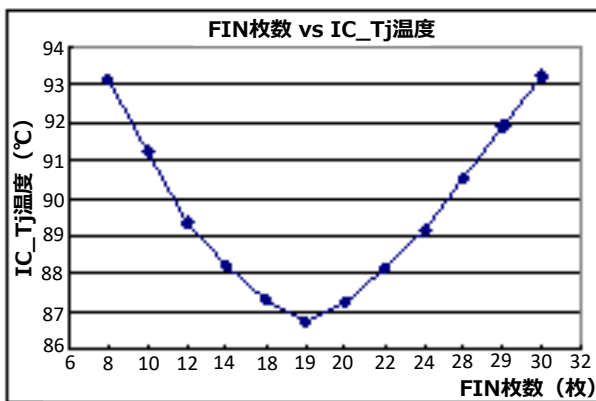


# 熱流体解析を用いた放熱対策事例

## 【対流熱伝達による放熱効果のまとめ】

	FIN枚数8枚	FIN枚数18枚	FIN枚数30枚
	FINの表面積が少ない	最適領域	FIN間に風が流れにくい領域
風速分布図			
考察	風速は十分であるが、外気に触れるFINの表面積が少なく放熱効果が下がる。	風速、FINの表面積ともに適切なサイズであるため、放熱効果が最大となる。	FINの表面積は十分であるが、必要な風速が得られていないため、放熱効果が下がる。

更に、製品の外形・材料・発熱部材の位置など、マイナーチェンジの製品開発には再度FINの最適解を求めなくても対応可能と考えます。



グラフの見方を変えれば

最適なFINピッチが求まります

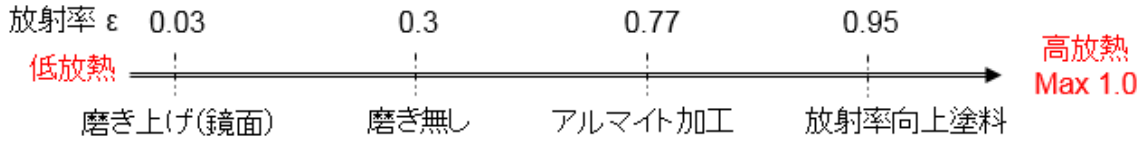
# 熱流体解析を用いた放熱対策事例

## 【放射による放熱効果】

放射による放熱は、見落としがちな熱輸送です。  
金属筐体・密閉製品には放射による放熱は有効な手段です。

### <アルミダイキャスト>

同じアルミダイキャストでも、表面状態によって下記通り、放射率が異なります。



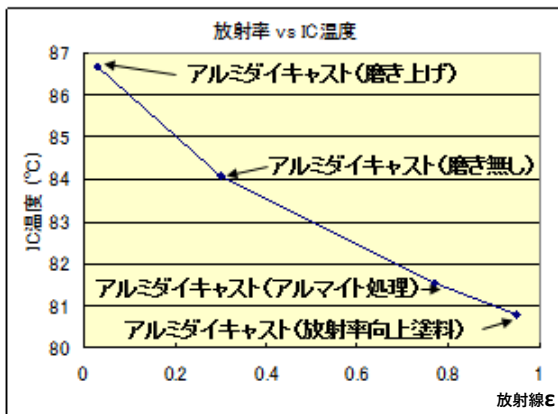
また、放射量は下記式の通り物体表面温度の4乗で増加するため、物体表面温度（空間温度も含む）が上昇すれば指数的に放熱量が上昇します。

$$\text{熱放射量} = \text{定数} \times \text{放射率} \times \text{物体表面温度}^4$$

### <参考>

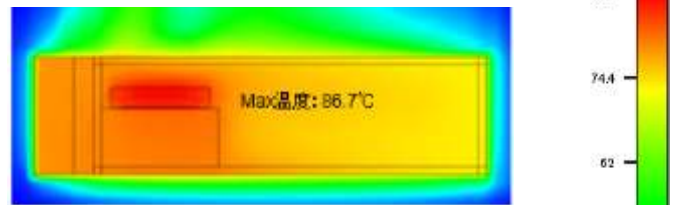
真夏の砂浜は70℃を超えます。しかし、気温は30℃程度です。これが地球（地面）と太陽の間での熱放射による影響です。熱放射は、電磁波で熱輸送されます。

アルミダイキャストに対し、上に記載した表面処理別で熱解析を行った結果は以下のとおりです。



温度変化: 最大6℃

### <放射率ε= 0.03>



### <放射率ε= 0.95 (塗料)>



## 【熱伝導による放熱効果】

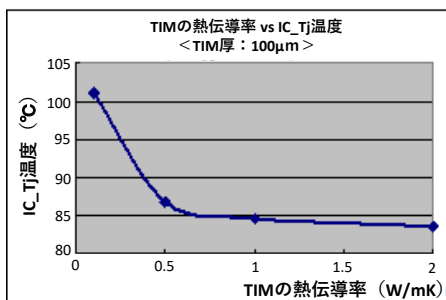
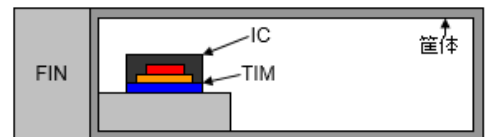
熱伝導による放熱効果は右のとおりであるため、材料の熱伝導率・厚みの選定が放熱の鍵となる。

- ICを筐体壁面等に設置する場合、必ず必要になる

TIM (\*1) の材料選定一つでIC\_Tj温度に差がつく。

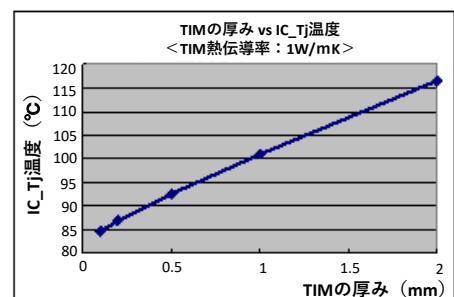
(\*1) TIM: Thermal Interface Material

$$\text{伝熱量} = \frac{\text{熱伝導率} \times \text{断面積}}{\text{厚み}} \times (T1 - T2)$$



### <考察>

0.6W/mKより低い熱伝導率で、急峻な温度変化が見られる。0.6W/mK以上を選定すべき。



### <考察>

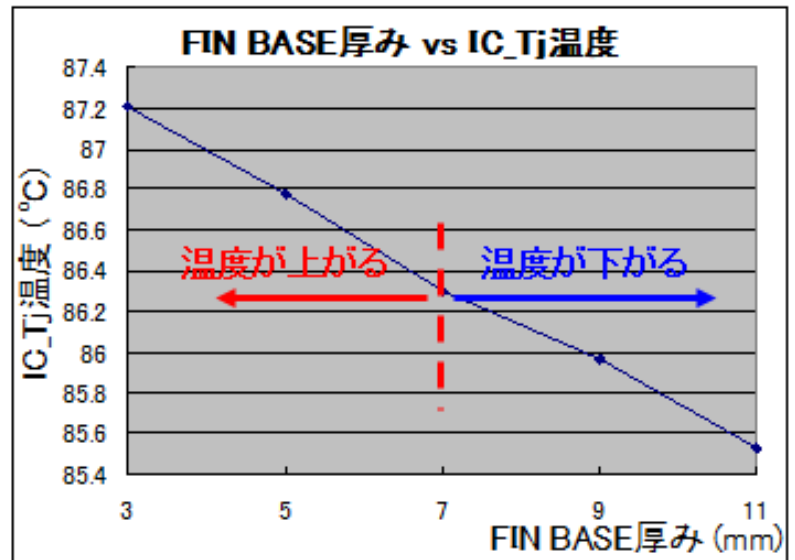
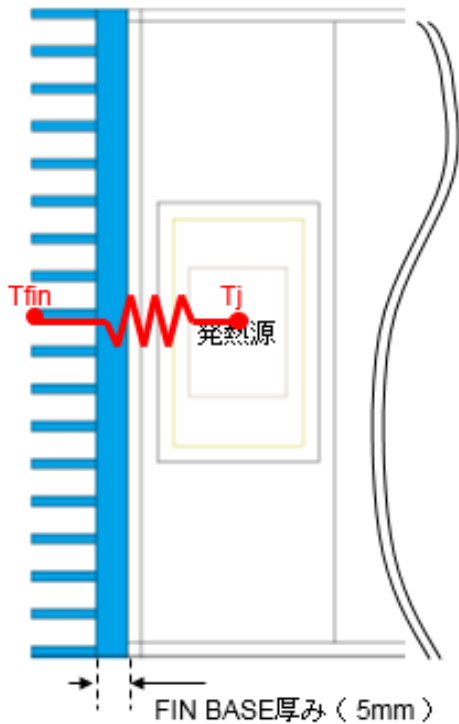
リニアな変化であるため、なるべく薄い素材を選定すべき。



# 熱流体解析を用いた放熱対策事例

## 【熱伝導の盲点】

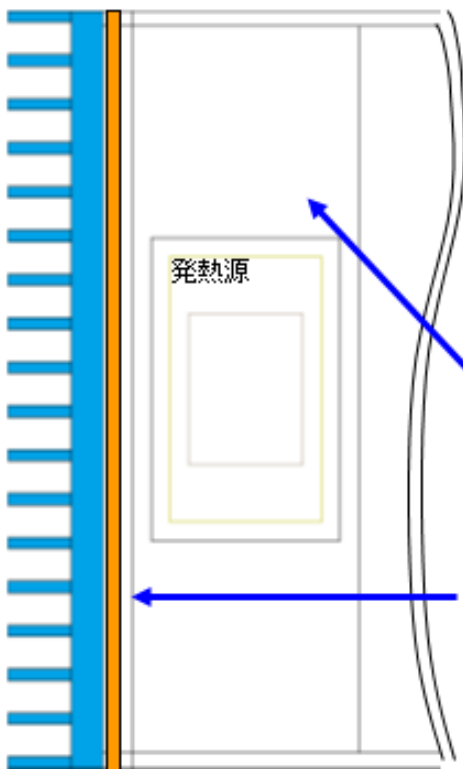
熱伝導による熱輸送を上げるため、厚みを薄くすれば放熱効果が確実にあがるわけではありません。



Tj-Tfin間の熱抵抗は下がるはずが、結果は逆の傾向を示す。これは、熱拡散（45°拡散）による熱の広がりかFINの縦方向のサイズと合っていないために発生する現象です。この現象を回避するには！

## <対策例>

FINに熱を伝える前に、熱を拡散する。



ICの配置台の熱伝導率を向上させ、熱源付近の熱を拡散する。

- ・ Cu化 [熱伝導率385W/mK]
- ・ etc . . .

熱伝導率の高い部材で熱を拡散する。

- ・ グラファイトシート [熱伝導率1500W/mK (面内)]
- ・ Cuシート [熱伝導率385W/mK]
- ・ etc . . .

# 発熱部品の高精度な熱把握

【放熱対策に多大な費用をかけておりませんか？】

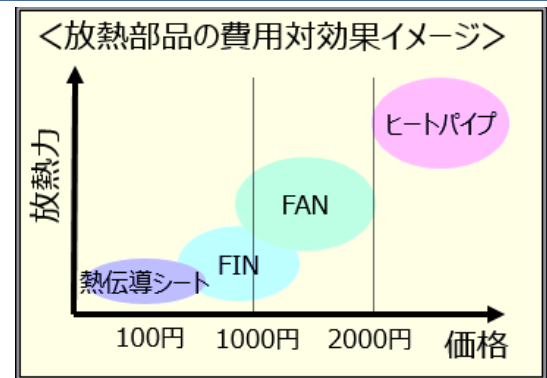


〈なぜ、放熱部品のコストが注目される？〉  
放熱部品は、製品の機能Upを行う部品ではない。  
(放熱部品が無くても、製品機能は成り立つ)



**放熱対策部品を安くする = 製品単価が下がる**

つまり上記関係が成り立つからである。  
(グラフの通り放熱力の高い部材はコストUpとなる)



〈正しい温度把握を行う事で、熱マージンは極限まで抑えられる〉

製品の熱設計を行う現場では、熱の把握を行うのに熱流体解析ツール (Sim) を活用するケースが多いと考える。(熱流体解析の精度も、年々向上している。)

しかし、製品の熱設計は、Simで解いた温度に対し、大幅な温度マージンを持たせ製品の品質を保証する状況が変わらない。

〈原因〉 発熱部品 (半導体PKG) のSimモデルを厳密に作成できないためである。



〈結果〉 必要以上の放熱力が必要となり、高価な放熱部品を採用し製品コストを上昇させる。

**発熱部品の高精度な熱把握がコスト削減の鍵となる。**

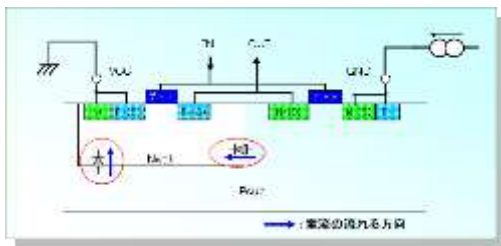
# 発熱部品の高精度な熱把握

## 【発熱部品の厳密モデルを作るには】

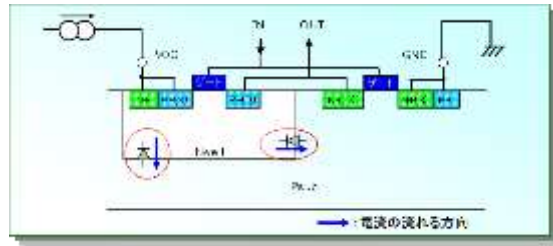
下記フローの通り、3つの知る技術と2つのノウハウ技術が必要



## 【発熱部品を高精度に分析する熱測定技術】



<一般的な熱測定手法>



<WTIの特許技術を用いた熱測定手法>

### <問題点>

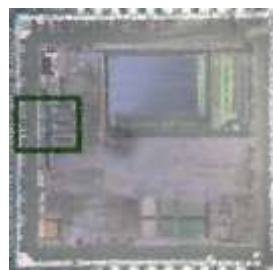
電源 (Vcc) とGNDを逆接続し、半導体にある寄生Diを使い測定するため、下記問題が発生する。  
 Chip表面が均一温度にならない  
 測定箇所が特定できない  
 Wireのジュール熱の影響が出る

正しく測定できているかの評価さえできない

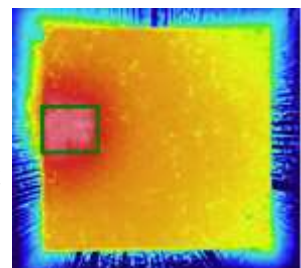
### 問題点を解消した技術

#### <特徴>

半導体内の高耐圧ブロックに対し、順方向の電流で特定ブロックをクランプさせ、特定部位のみを均一に発熱させる技術で測定する。



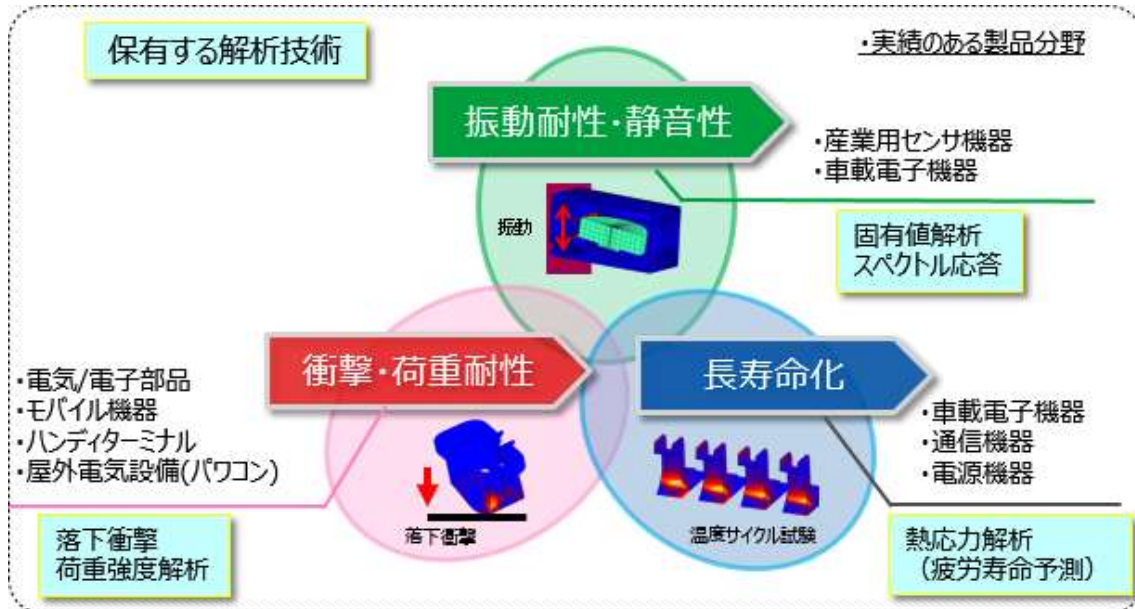
発熱後



# 構造・応力解析

製品に求められる構造的課題は、製品分野によって異なります。

## <製品に求められる信頼性>



長寿命化が求められる車載電子機器・通信機器・電源機器などでは、温度変化（温度サイクル試験）による熱疲労を考慮した熱応力解析（疲労寿命予測）に基づき、対策をご提案いたします。

今日、モバイル端末から屋外電気設備に至るまで、様々な筐体の薄板化・軽量化が行われています。薄板化・軽量化は筐体の強度低下と背中合わせであり、衝撃や振動などによる変形・破壊の懸念も発生します。これらの課題に対し、構造・応力解析によって強度や安全性を検証し、対策をご提案いたします。

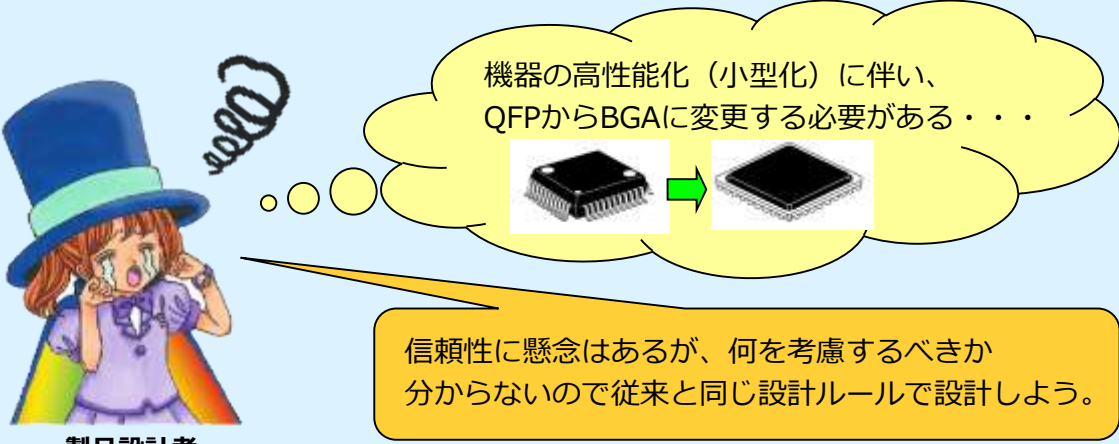
耐振動性や静音性が求められる産業用センサ機器や車載電子機器は、振動の固有値や応答性を考慮した解析やスペクトル応答解析に基づき、構造検討を行います。



# 温度サイクルシミュレーション事例

パッケージ構造を考慮したモデルで、温度サイクル試験における寿命の改善をします

**製品の温度サイクル試験の問題で対策に追われていませんか？**



機器の高性能化（小型化）に伴い、  
QFPからBGAに変更する必要がある・・・

信頼性に懸念はあるが、何を考慮するべきか  
分からないので従来と同じ設計ルールで設計しよう。

**製品設計者**

**<はんだ部の歪み傾向>**

BGAは応力が接合部（はんだボール）に集中しやすい  
パッケージ構造です。そのため、温度サイクル試験で  
寿命が満足できないことが確認されて、寿命改善の  
対策に追われることになります。

はんだボールが  
応力で歪む

BGAはんだ接合部

パッケージ構造を考慮したシミュレーションで寿命の予測を行い、

**信頼性の最適化に向けた改善案を提案させていただきます。**

（追加試作・評価で発生する100万円単位のロスコストを低減）

温度サイクル試験の問題を検討する際は、一度ご相談下さい。

**<WTIの特徴>**

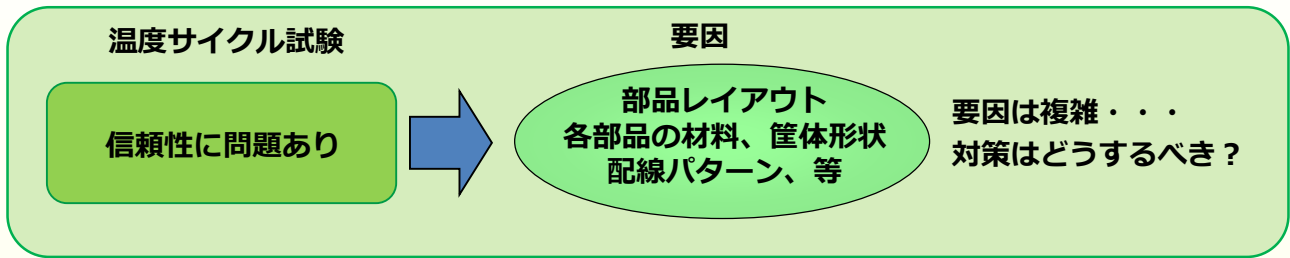
- ◆半導体ベンダと協力関係にある実績から、パッケージ構造を熟知しており、シミュレーションと実測との整合性に活かしています。
- ◆シミュレーション、実装、評価、基板設計の専門エンジニアによる豊富な知見から、信頼性の最適化に向けた提案をさせていただきます。

また、シミュレーションだけでなく、温度サイクル試験の評価も

ご要望に応じて対応させていただきます。

# 温度サイクルシミュレーション事例

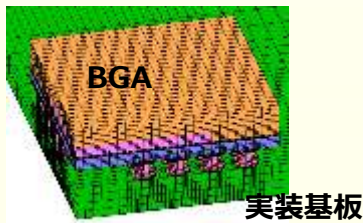
温度サイクル試験で問題が発生した時、要因は複雑で対策の検討が難しい。



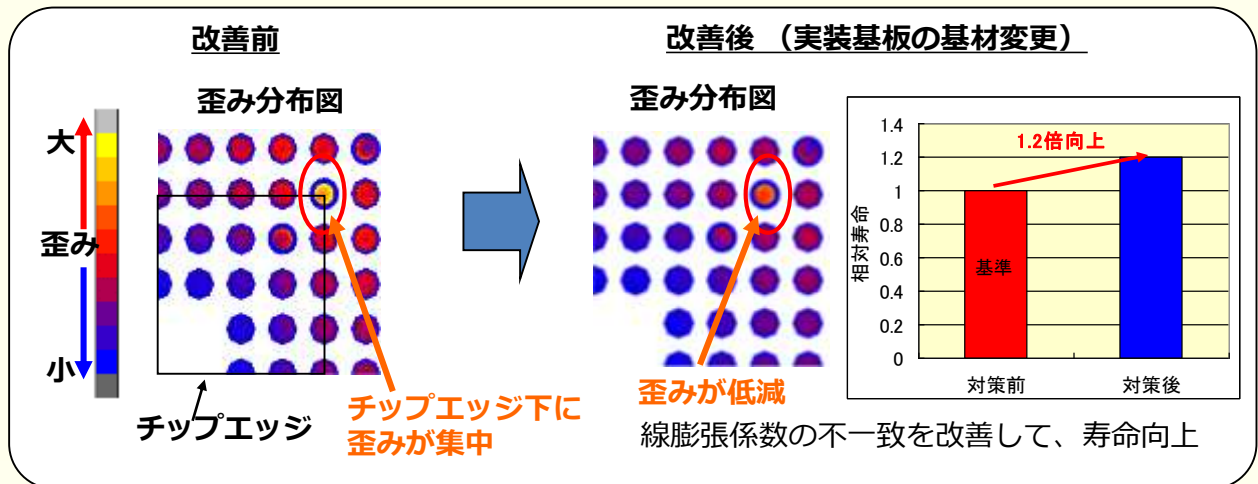
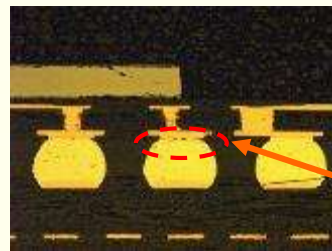
パッケージ構造を考慮したシミュレーション技術で応力分布をふまえた要因分析を行い、対策案の提案をさせていただきます。

<シミュレーション事例 (112pin BGA) >

モデル



実測サンプルの断面解析結果



信頼性の問題が発生した製品の一時的な対策だけでなく、次開発品の開発ロスコストの削減にも協力させていただきます。

# 振動シミュレーション事例

輸送・動作時（実使用条件）の振動による問題を解決します。

◆製品の振動問題で対策に追われていませんか？

顧客の実使用環境で不良が発生し、  
振動が原因のようだ・・・

試作・評価を繰り返すと、  
コストと時間が増えていく。

何を変更すれば  
対策できるだろうか？



製品設計者

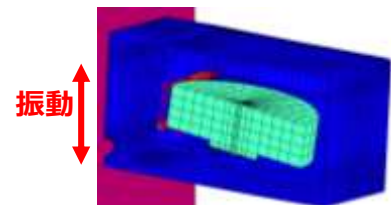


※使用環境  
車両、搬送機に製品が固定されて、  
移動等に伴い振動が発生する環境

輸送・動作時（実使用条件）の振動周波数と製品の  
共振周波数に近い時、共振による応力集中で  
ケースや内部部品が破損します。

そのため、まずは実使用環境の振動周波数帯、  
及び加速度を測定して、危険周波数帯の把握を行い、  
その周波数帯を避ける対策が必要となります。

<共振時の変形傾向>



製品の取り付け状態（ねじ止め時の筐体の変形等）を考慮した  
シミュレーションで、要因を分析して対策案の提案をさせていただきます。

（追加試作・評価で発生する100万円単位のロスコストを低減）

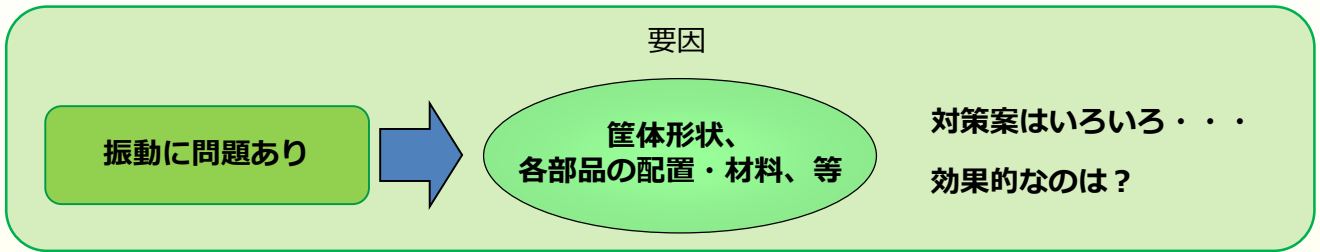
振動問題を検討する際は、一度ご相談下さい。

<WTIの特徴>

- ◆シミュレーションだけでなく、筐体設計、基板設計等の  
専門エンジニアによる豊富な知見から改善に向けた  
提案をさせていただきます。

# 振動シミュレーション事例

振動問題について、コストを含めた効果的な対策をどうするべきか？

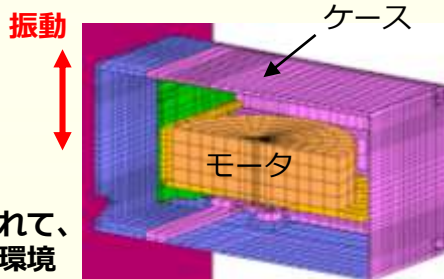


振動試験の結果とシミュレーションの合わせ込みから製品の応力分布をふまえた要因分析を行い効果的な対策案の提案をさせていただきます。

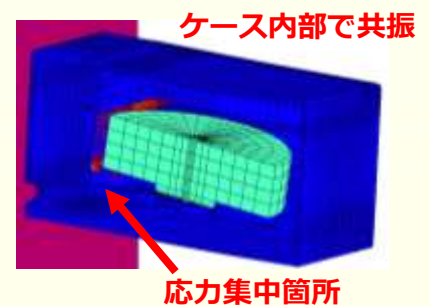
## <シミュレーション事例>



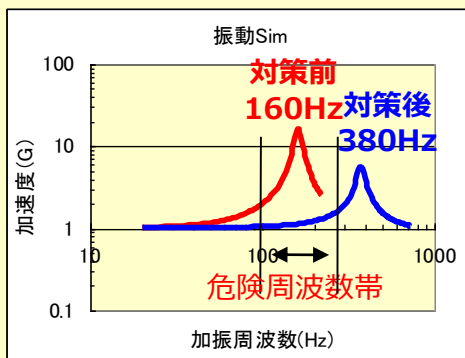
※使用環境  
車両、搬送機に製品が固定されて、移動等に伴い振動が発生する環境



## 共振周波数での応力分布図



## 対策前後の振動特性



製品が危険周波数帯で共振する主要因を分析して、最大共振点が安全周波数帯に変化するように筐体構造の変更を実施。

共振周波数： 対策前160Hz⇒対策後380Hz

振動の問題が発生した製品の一時的な対策だけでなく、次開発品の開発口スコストの削減にも協力させていただきます。



# 落下・衝撃サイクルシミュレーション事例

半導体部品接続部（はんだ）の落下衝撃における問題を解決します。

◆落下・衝撃の問題で対策に追われていませんか？

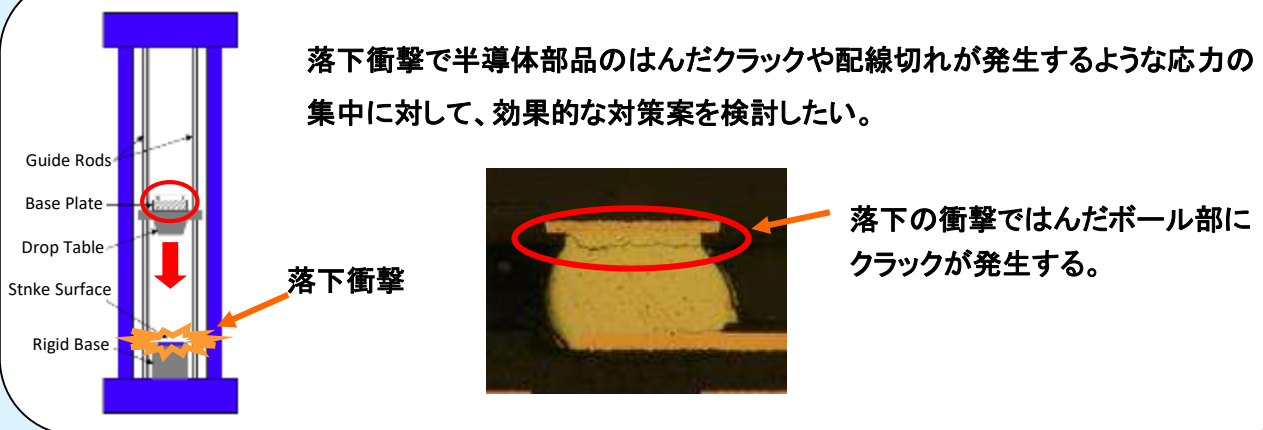
落下・衝撃時の信頼性向上を検討したい。

効果的な対策を行いたい。

試作・評価を繰り返すと、コストと時間が増えていく。



製品設計者



落下衝撃で半導体部品のはんだクラックや配線切れが発生するような応力の集中に対して、効果的な対策案を検討したい。

落下の衝撃ではんだボール部にクラックが発生する。

パッケージ構造を考慮したシミュレーションで落下・衝撃時の信頼性の最適化に向けた改善案を提案させていただきます。

(追加試作・評価で発生する100万円単位のロスコストを低減)

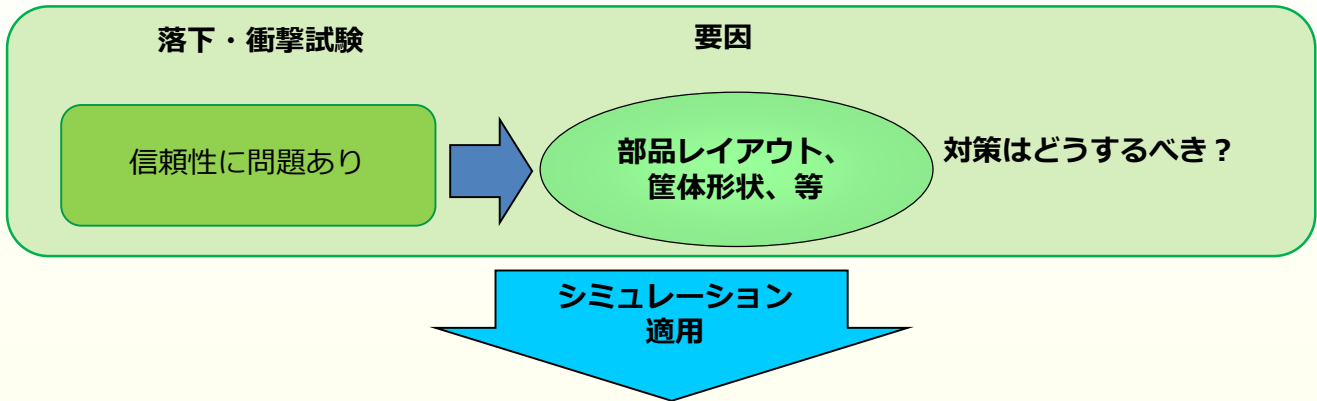
落下・衝撃に関する問題を検討する際は、一度ご相談下さい。

<WTIの特徴>

- ◆半導体ベンダと協力関係にある実績より、パッケージ構造を熟知しており、シミュレーションと実測との整合性に活かしています。
- ◆シミュレーション、実装、評価、筐体設計の専門エンジニアによる豊富な知見から信頼性の最適化に向けた提案をさせていただきます。

# 落下・衝撃サイクルシミュレーション事例

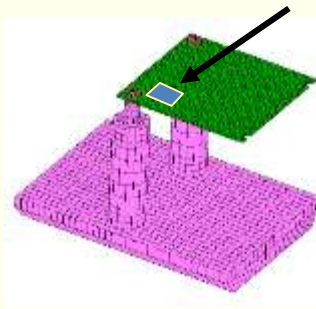
落下試験は対策効果を定量的に判断することが難しい。



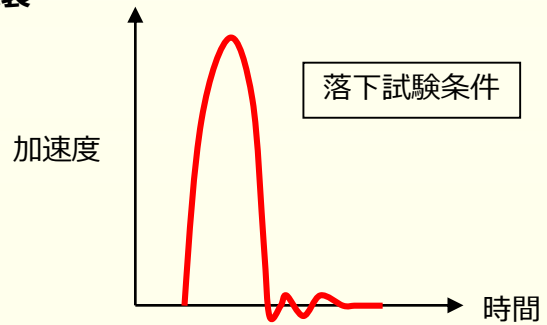
パッケージ構造を考慮したシミュレーション技術で応力分布をふまえた要因分析を行い、対策案の提案をさせていただきます。

<シミュレーション事例（1/2カットモデル）>

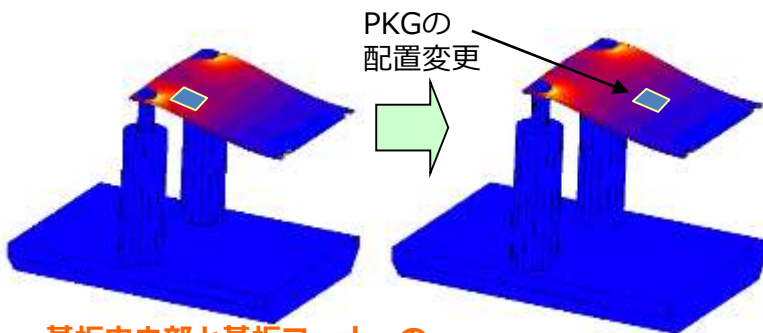
基板裏面に半導体パッケージを実装



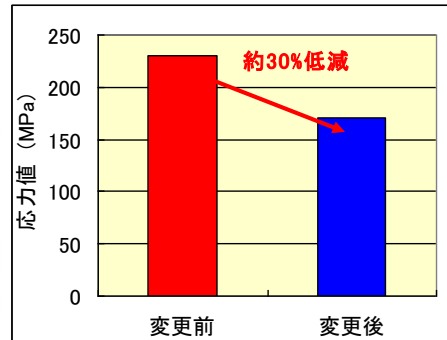
落下方向



基板の歪み分布図



基板中央部と基板コーナーのネジ部で歪みが増加する



部品の配置によって応力は変化する

信頼性の問題が発生した製品の一時的な対策だけでなく、次開発品の開発口スコストの削減にも協力させていただきます。

# 製造・搬送を想定したときの筐体の強度検証・対策事例

輸送時・荷重時における強度問題を解決します。

製品の輸送・荷重における筐体の強度に懸念はありませんでしょうか？

落下・衝撃時の信頼性向上  
を検討したい。

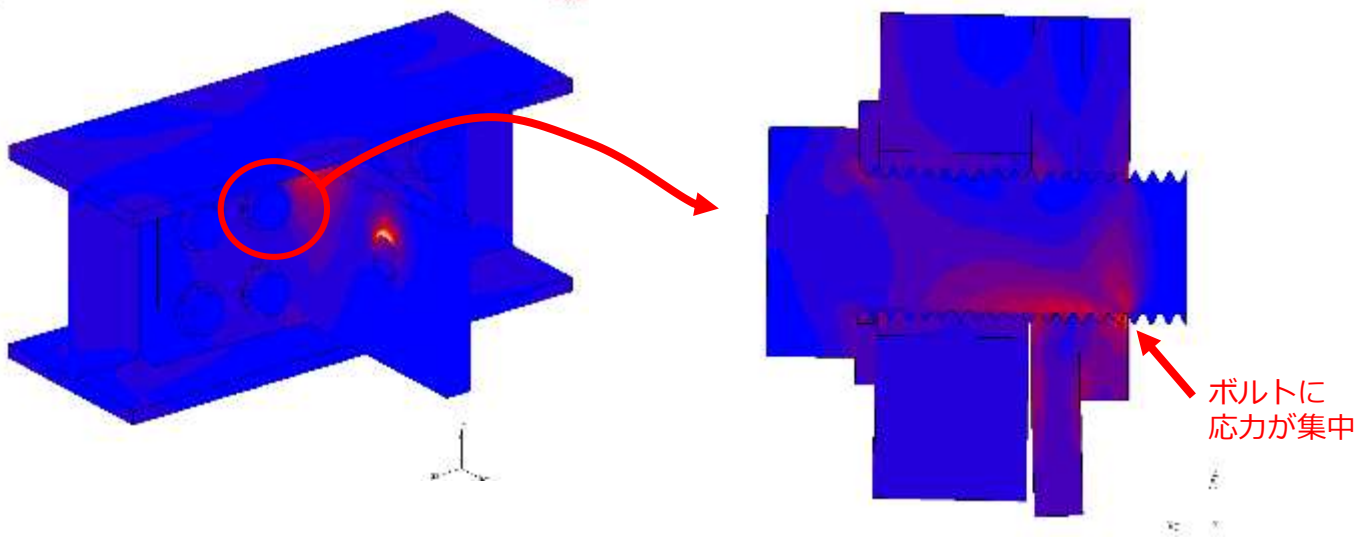
効果的な対策を行いたい

試作・評価を繰り返すと、  
コストと時間が増えていく。



製品設計者

輸送時・荷重時に局所的な応力集中が発生し、フレームの変形等が発生する場合があります。  
シミュレーションで事前に強度検証および対策案の提案を行います。



製品の取り付け状態（ねじ止め時の筐体の変形等）をふまえた解析で、  
要因を分析して対策案の提案をさせていただきます。

（追加試作・評価で発生する100万円単位のロスコストを低減）

## <Wave Technology (WTI) の特徴>

- シミュレーションだけでなく、筐体設計、基板設計等の専門エンジニアによる豊富な知見から改善に向けた提案をさせていただきます。

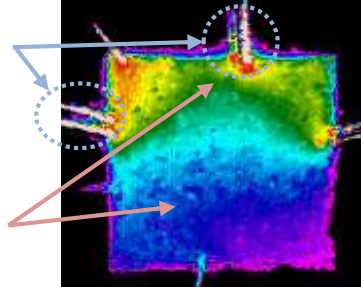
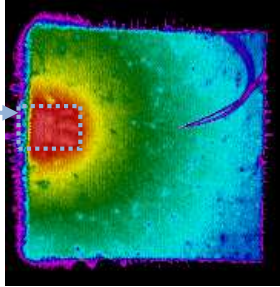
## 業界初 熱解析の概要

### 特許 第5232289号

◆業界初の熱解析(独自手法の実測)とは、一般手法と何が違うのか。

熱抵抗は以下の式で  
求めることができます。

$$R_{th} \text{ (熱抵抗)} = \frac{\Delta T \text{ (温度差)}}{\text{Power} \text{ (電力)}}$$

手法	一般手法	独自手法
考え方	<p>&lt;発熱&gt; チップ全面を発熱させる</p> <p>&lt;測定&gt; チップ内PN接合(不特定)で測定する。</p>	<p>&lt;発熱&gt; チップの特定一部を部分発熱させる。</p> <p>&lt;測定&gt; 発熱エリア内PN接合(特定)で測定する。</p>
結果	<p>ワイヤーでのジュール発熱</p>  <p>チップ内温度差 15℃以上</p>	 <p>部分発熱 エリア</p>
考察	<p>&lt;ΔTに対して&gt; 測定素子が不特定であるため、チップ全面が均熱状態であることが必要。チップ内に温度分布ができているため正確なΔTが求まらない。</p> <p style="text-align: center;">精度⇒低</p> <p>&lt;電力に対して&gt; ワイヤーでの温度上昇が確認できる。これはワイヤーでのジュール発熱であり、電力ロスの原因になる。</p> <p style="text-align: center;">精度⇒低</p>	<p>&lt;ΔTに対して&gt; 発熱エリア内の均熱状態が確認できる。測定は、発熱エリア内の特定PN接合で測定するため、最大温度の取得が可能。正確なΔTが求まる。</p> <p style="text-align: center;">精度⇒高</p> <p>&lt;電力に対して&gt; 発熱エリア外での温度上昇部位が確認されないため、電力ロスが発生しにくい。</p> <p style="text-align: center;">精度⇒高</p>

◆業界初の熱解析とは、熱抵抗を求めるための2つの変数(ΔT・電力)を高精度に求め、熱抵抗の真値を知る手法である