

# パワーモジュールの 熱性能・信頼性評価に必要な 過渡熱抵抗評価方法

大阪大学 大学院工学研究科  
電気電子情報工学専攻  
教授 舟木 剛

2020年2月4日

# 研究分野

創エネ・省エネに必要なパワーエレクトロニクス



電鉄



航空機



電気自動車



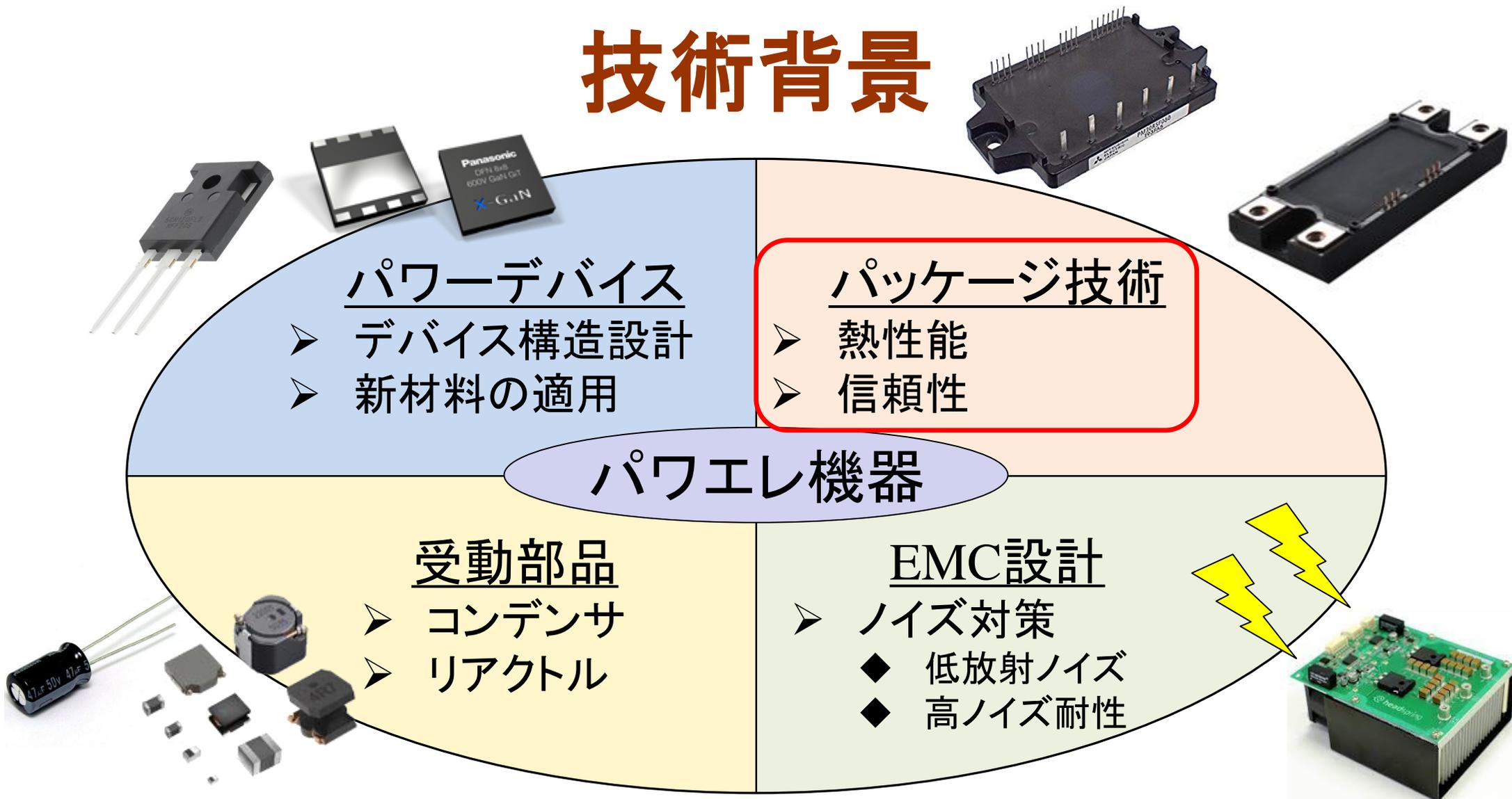
風力



太陽光

パワエレ機器の高性能化と適用分野の拡大

# 技術背景

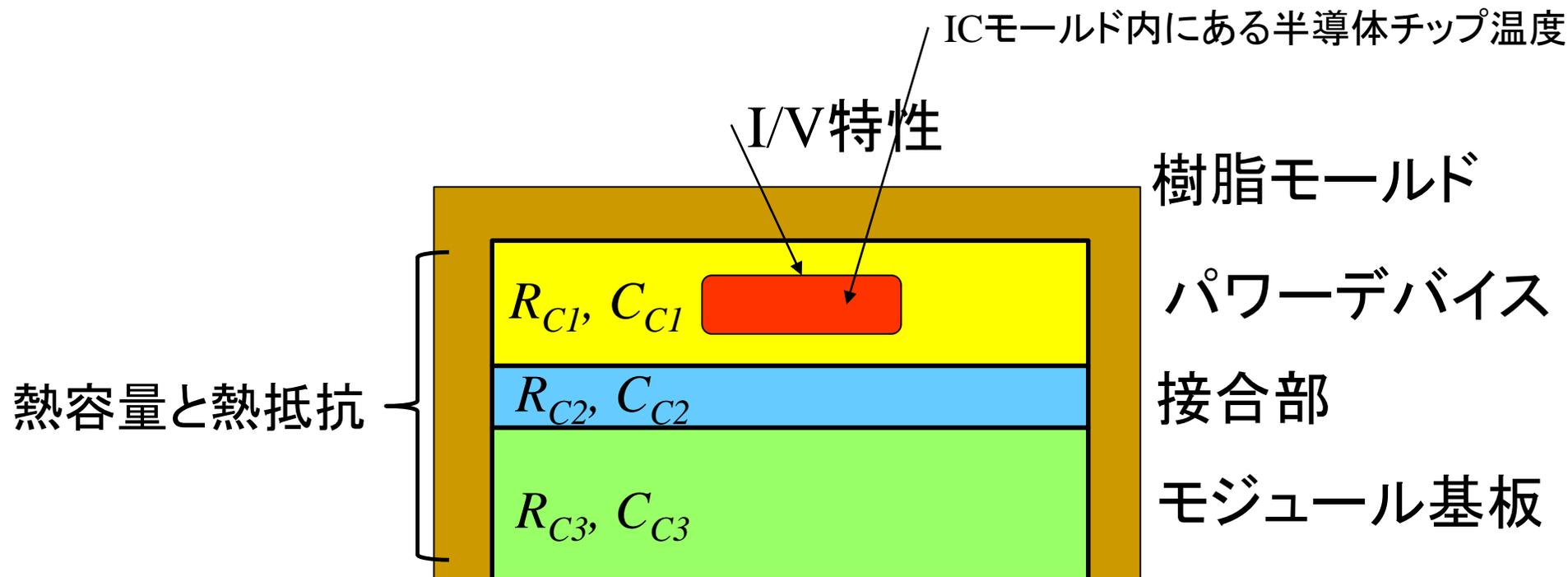


小型化に対応した低熱抵抗設計に対する評価法が必要

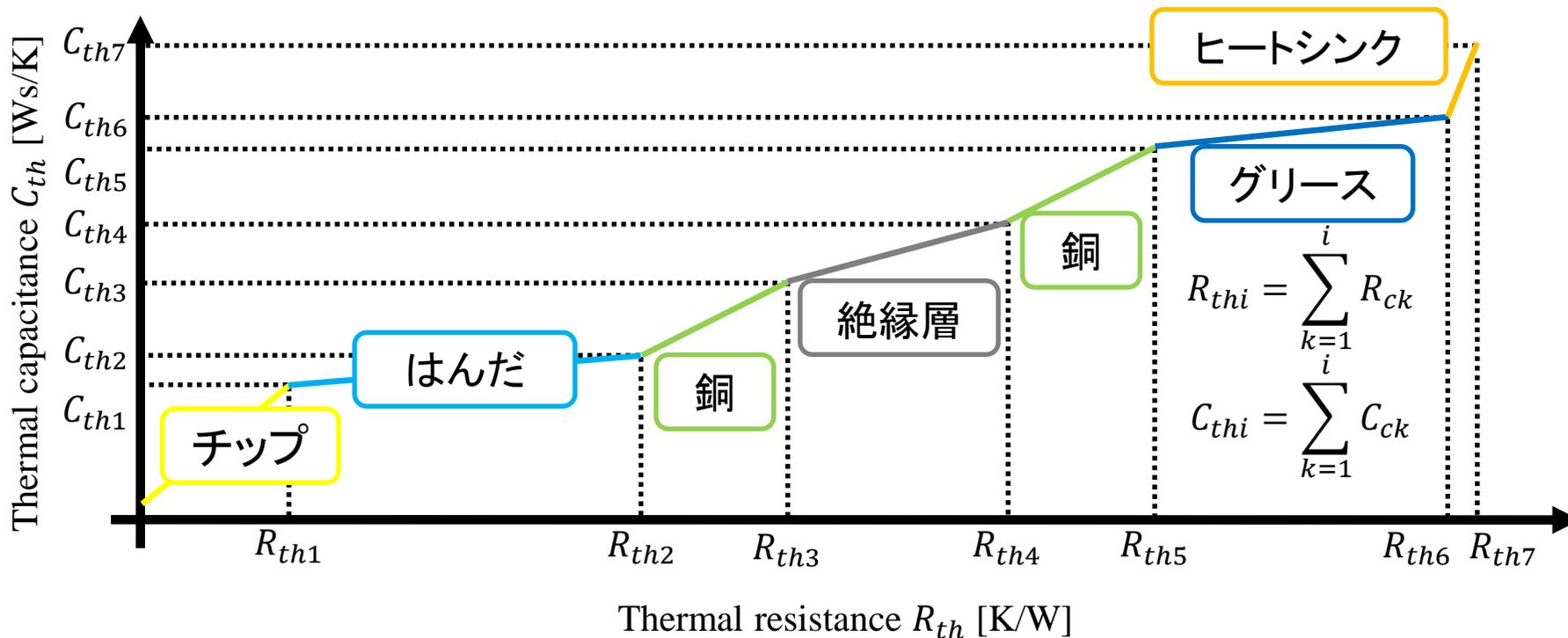
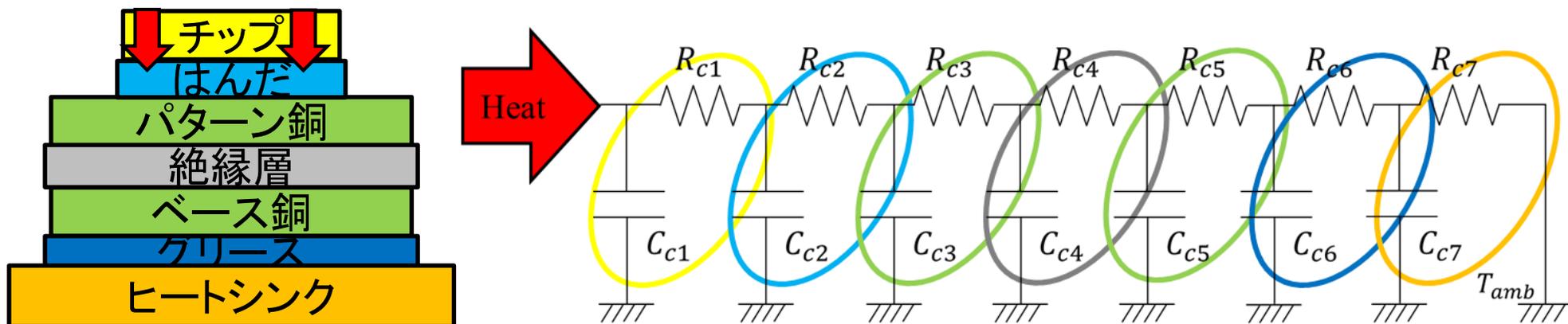
# 過渡熱抵抗測定的基础

静的な熱抵抗測定では非破壊で各部の熱抵抗を分解できない  
 半導体チップの定電流に対する電圧の時間応答の測定により  
 チップ接合部ジャンクション温度の時間応答を推定  
 →内部構造を反映する熱容量と熱抵抗に関する情報を得る

## ジャンクション温度とその推定

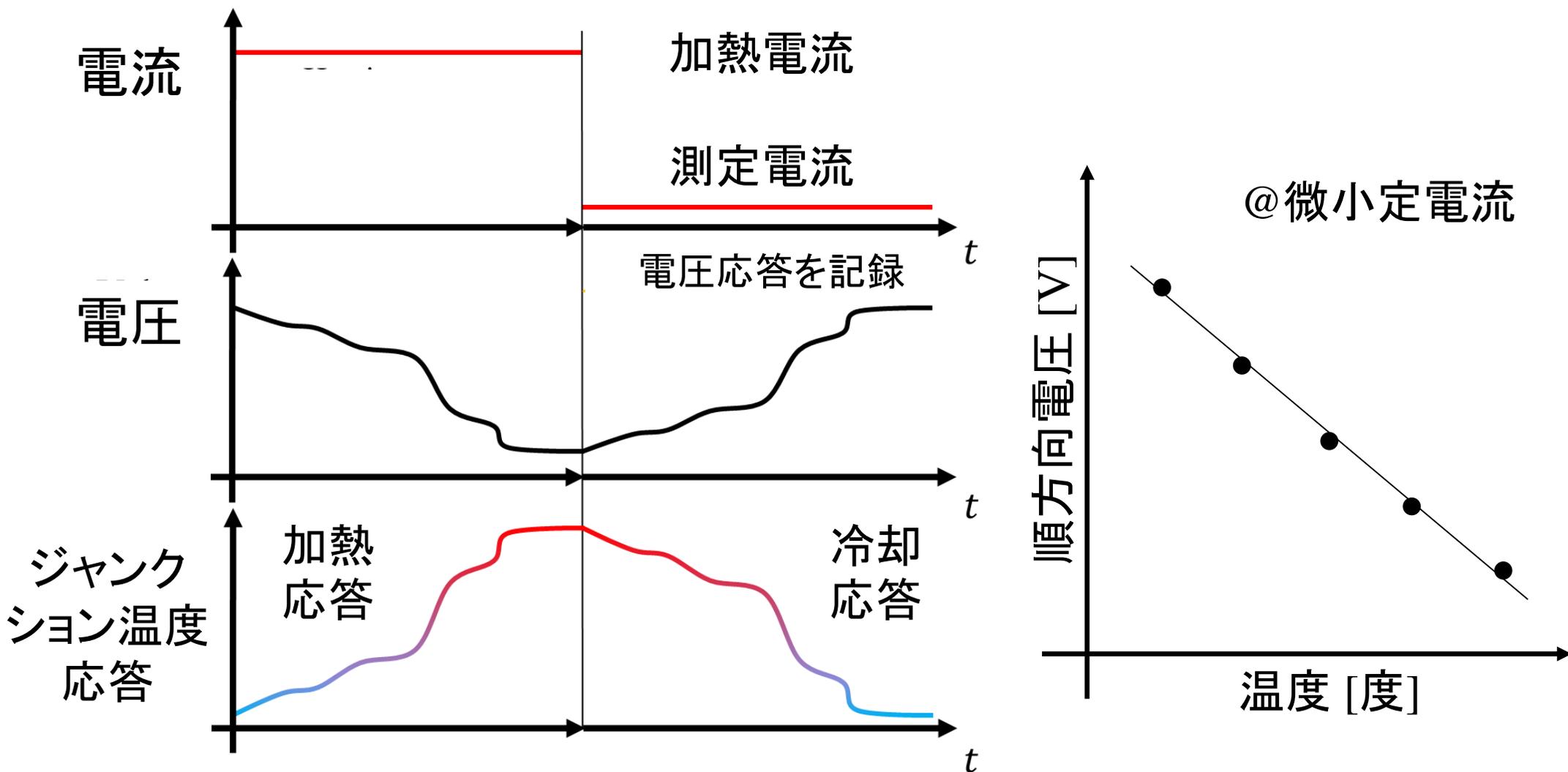


# 半導体パッケージの過渡熱回路モデル



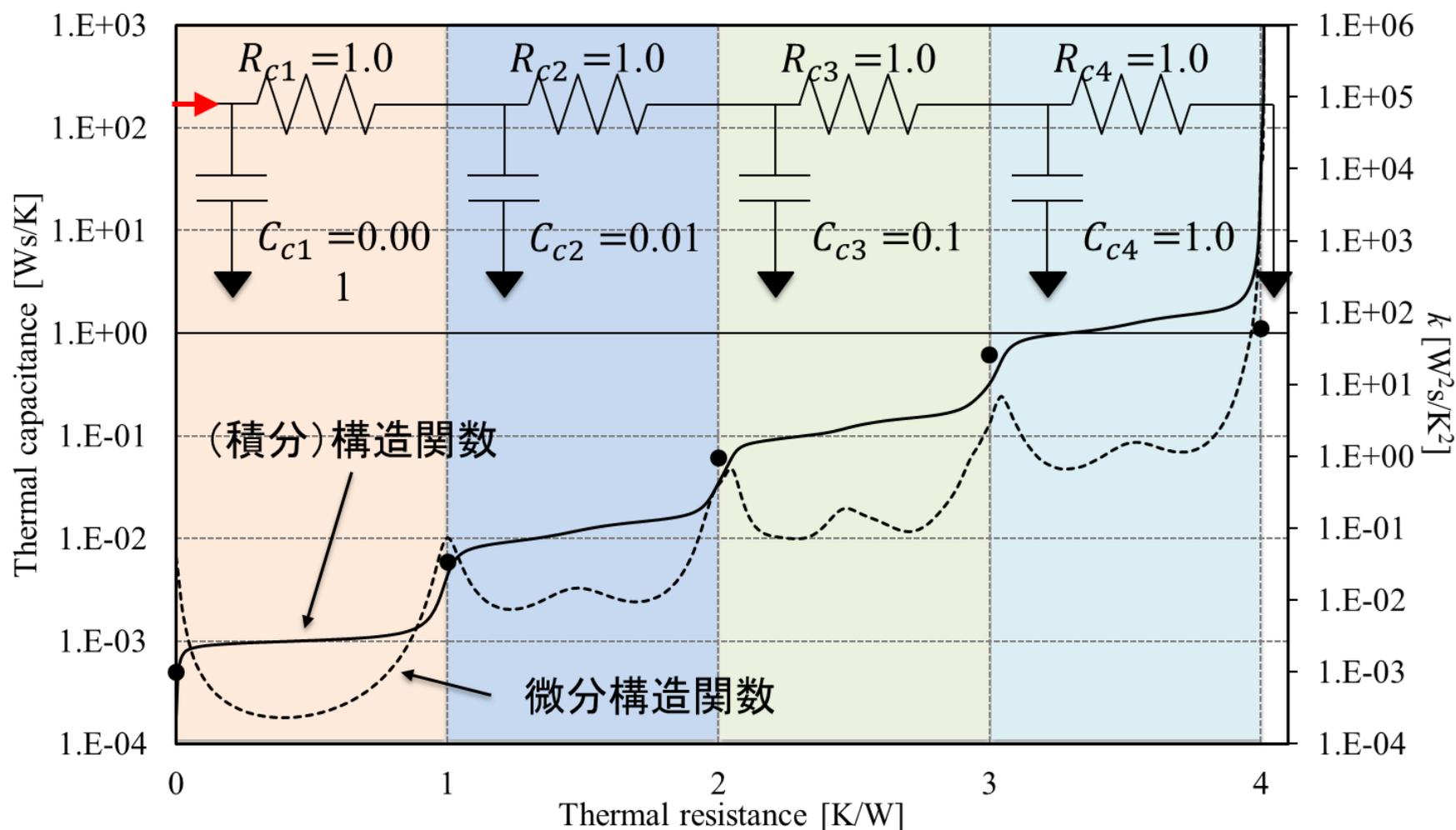
# 過渡熱回路モデルの測定手順

- 半導体チップの電流-電圧特性の変化よりジャンクション温度の時間応答を推定  
(冷却時の定電流に対する電圧変化から推定)
- 半導体パッケージ内部の熱抵抗・熱容量の構造を反映した応答



# 従来技術により得られる構造関数

パワーモジュールを構成する部材の物性値とモジュール構造の対応から理論的に得ることのできない界面熱抵抗を実験的に同定することが可能



# 従来技術の特徴

熱性能評価：Static法に基づく過渡熱抵抗測定法  
(JEDEC JESD51-14)

評価装置：T3Ster (Mentor Graphics)

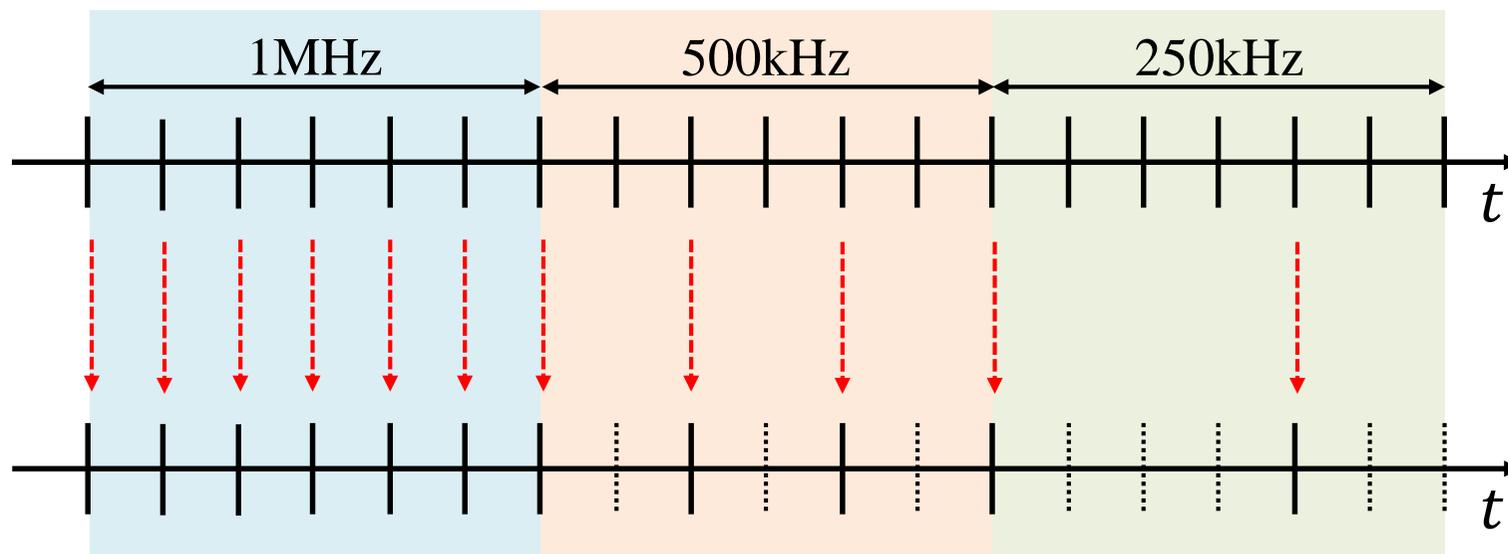
- パワーデバイスのI-V特性の  
温度依存性を利用した温度測定
- 電氣的に推定したジャンクション温度 $T_J$ から  
過渡熱回路モデルパラメータ(構造関数)を同定

# 過渡熱解析技術

## ①データ取得

- サンプルング後、区間間引き処理が必要
  - データ過大となるため

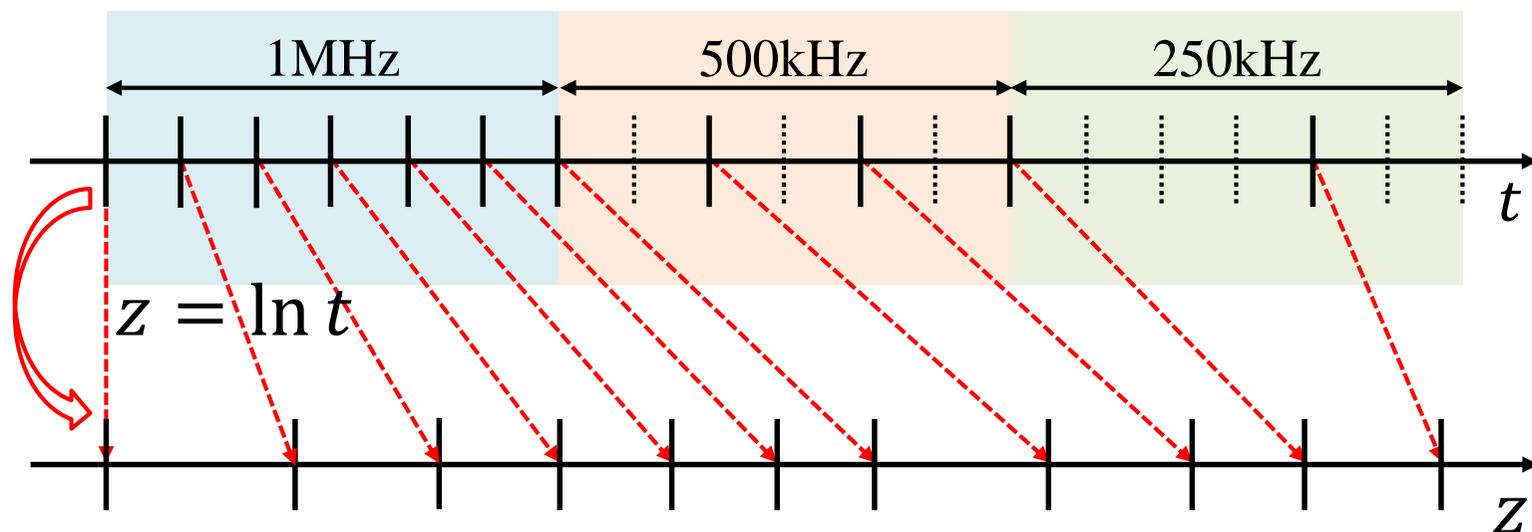
例) 1MHzサンプリング



# 過渡熱解析技術

## ②時間スケール変換

- 過渡熱回路モデル同定に線形時間領域から対数時間領域への変換が必須 ( $z = \ln t$ )

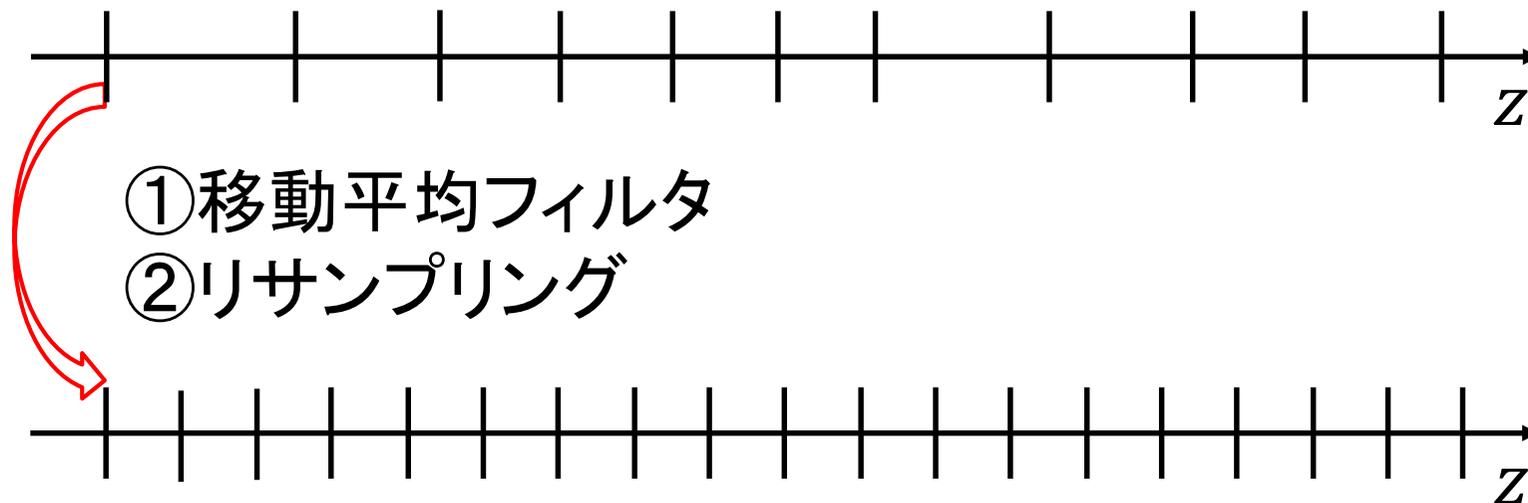


対数時間領域における信号処理方法が重要

# 過渡熱解析技術

## ③信号処理

- 対数時間領域でノイズ除去 & リサンプリング
  - 移動平均フィルタなど



- 間引きデータに対するフィルタ処理では効果不足

# 従来技術の課題点

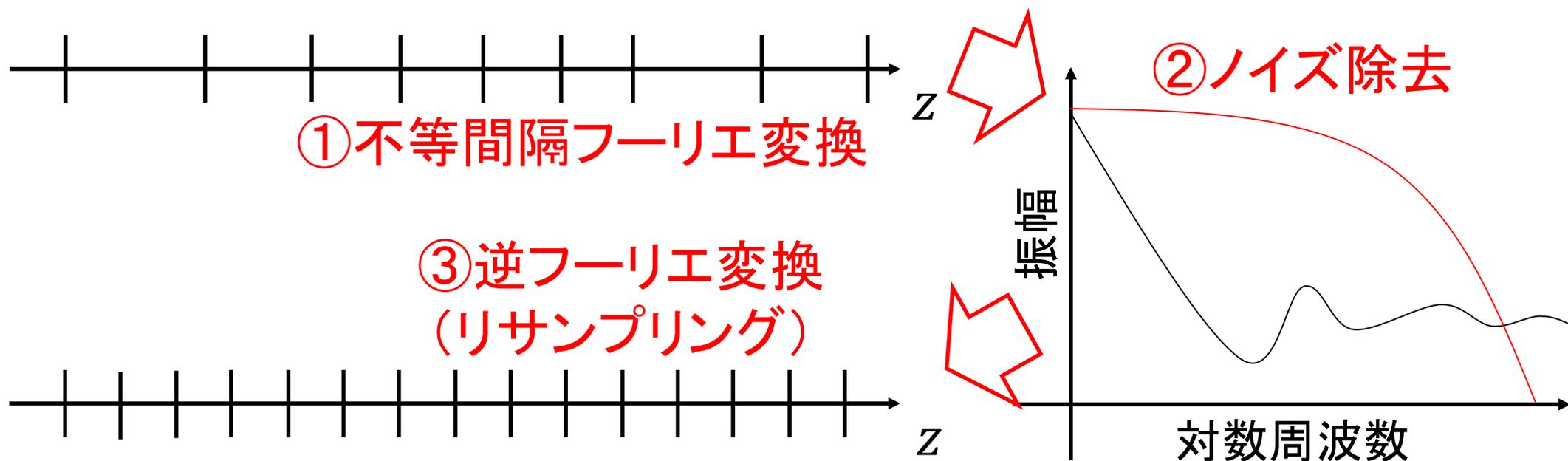
1. 時間スケール変換のため移動平均フィルタの効果が小さい
2. 数値微分による残留ノイズの顕在化

⇒ 高い放熱性能を有する半導体パッケージの  
正確な評価が困難

高精度な解析処理アルゴリズムが必要

# 新技術で採用した信号処理

- 対数周波数領域におけるノイズ除去
  - 不等間隔フーリエ変換により周波数領域に変換
  - 逆フーリエ変換時にリサンプリング



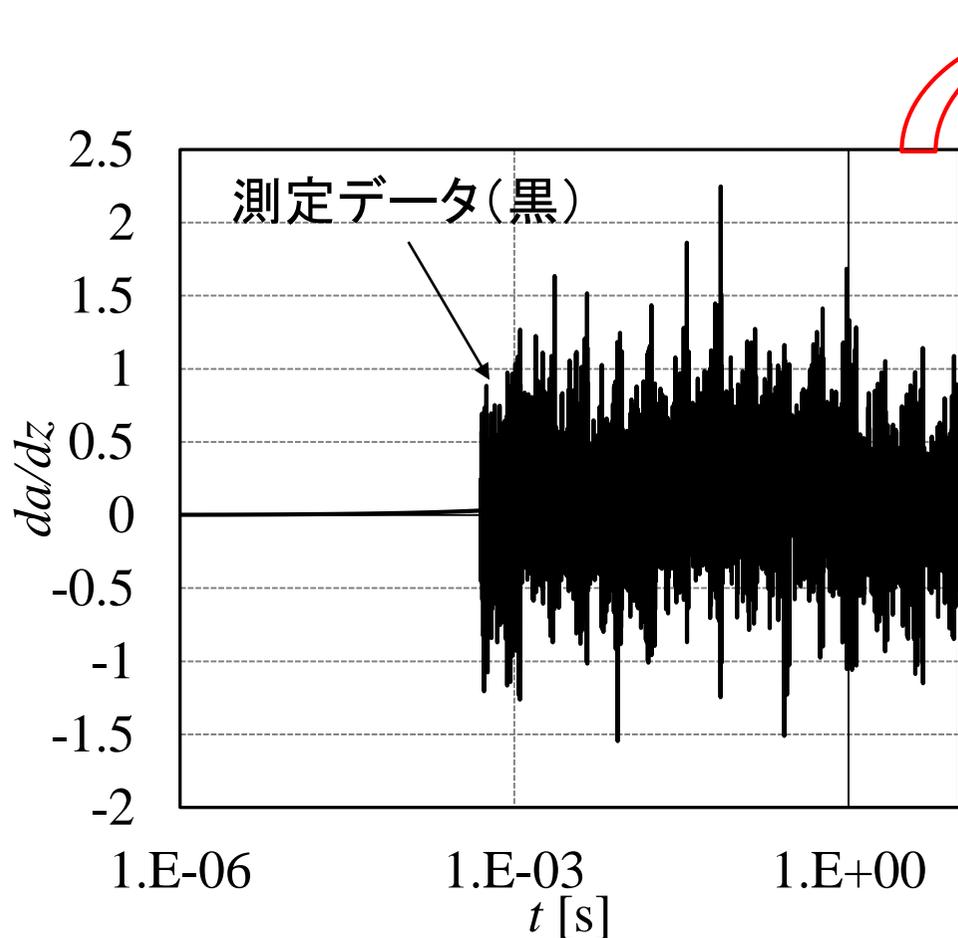
# 新技術と従来技術の比較

	従来技術	新技術
ノイズ除去	時間領域 (移動平均フィルタ)	周波数領域 (不等間隔フーリエ変換 &高周波成分除去)
リサンプリング ( $t \rightarrow z = \ln t$ )	時間領域	周波数領域 (逆フーリエ変換)

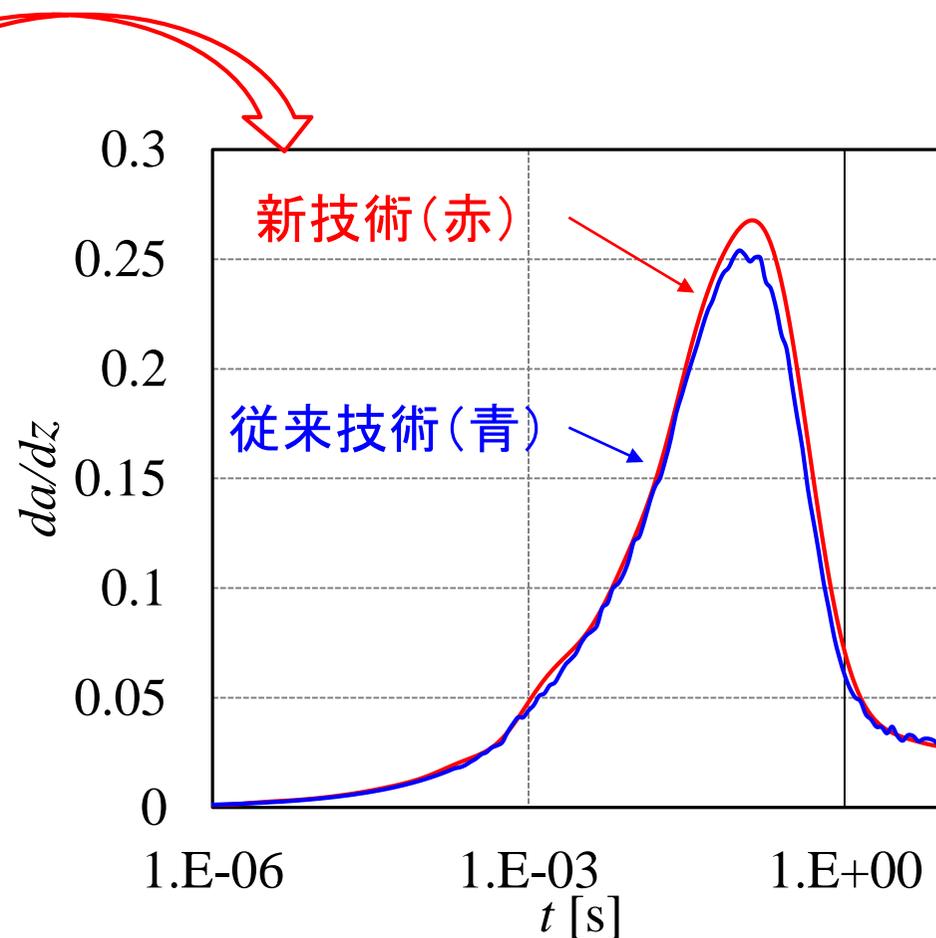
提案アルゴリズムにより、従来技術と比べて  
さらなるノイズ低減を可能にした

# 新技術の特長 ①測定雑音に強い

移動平均フィルタ信号処理ではデータ間引き時に対数時間領域に変換の影響が現れやすい。新技術では不等間隔フーリエ変換により一旦周波数領域に変換して高周波ノイズ成分を除去し、逆フーリエ変換することでノイズ低減が図れる



図：測定したジャンクション温度応答の微分値



図：ノイズ除去後の微分値

# 既知ノイズ強度 (SNR) を有するデータでの効果

表: 理想的なジャンクション温度応答の数値微分値に対する  
ノイズ低減効果 (平均二乗誤差)

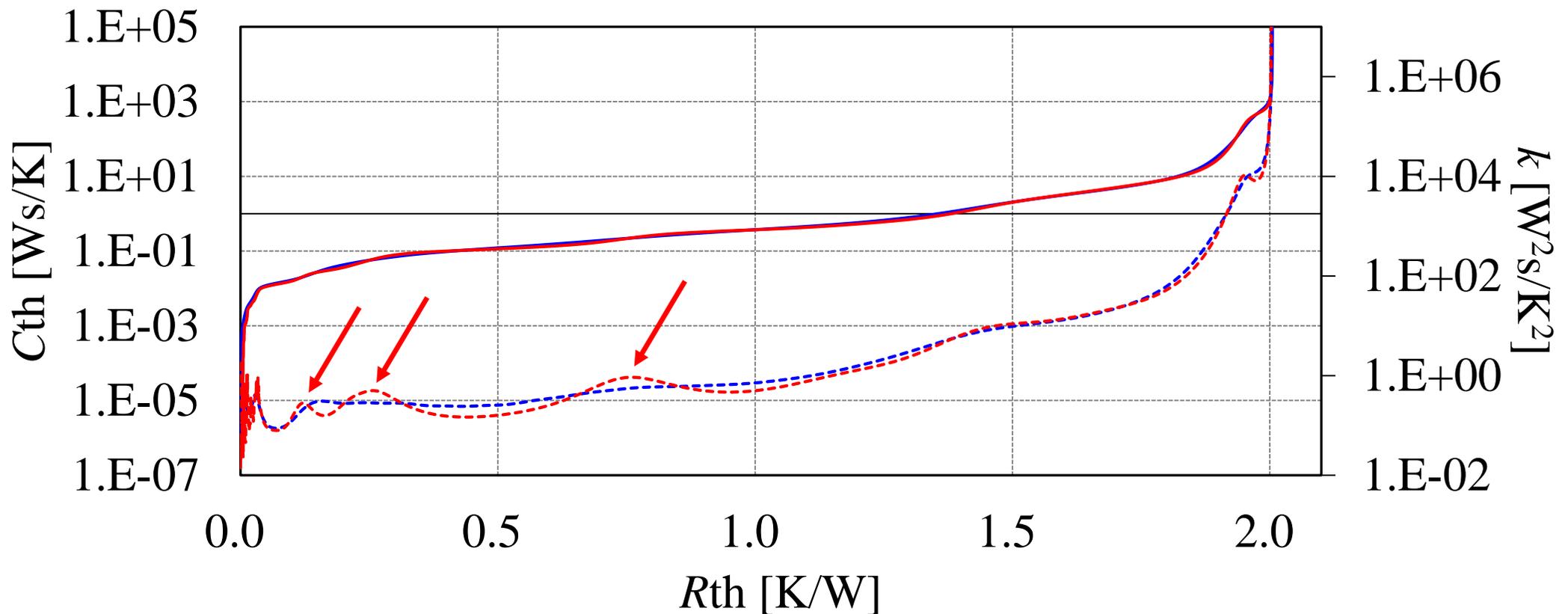
SNR	新技術	従来技術
-60dB	$5.02 \times 10^{-5}$	$2.24 \times 10^{-4}$
-46dB	$2.40 \times 10^{-4}$	$5.93 \times 10^{-4}$
-40dB	$3.39 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-3}$
-26dB	$8.02 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-2}$

新技術によるノイズ低減効果: 大

# 新技術の特長

## ②高精度の構造関数パラメータ抽出

- 複雑なモジュール構造でも熱性能評価が可能
- 界面熱抵抗を評価するため数値微分値が明確に求まる

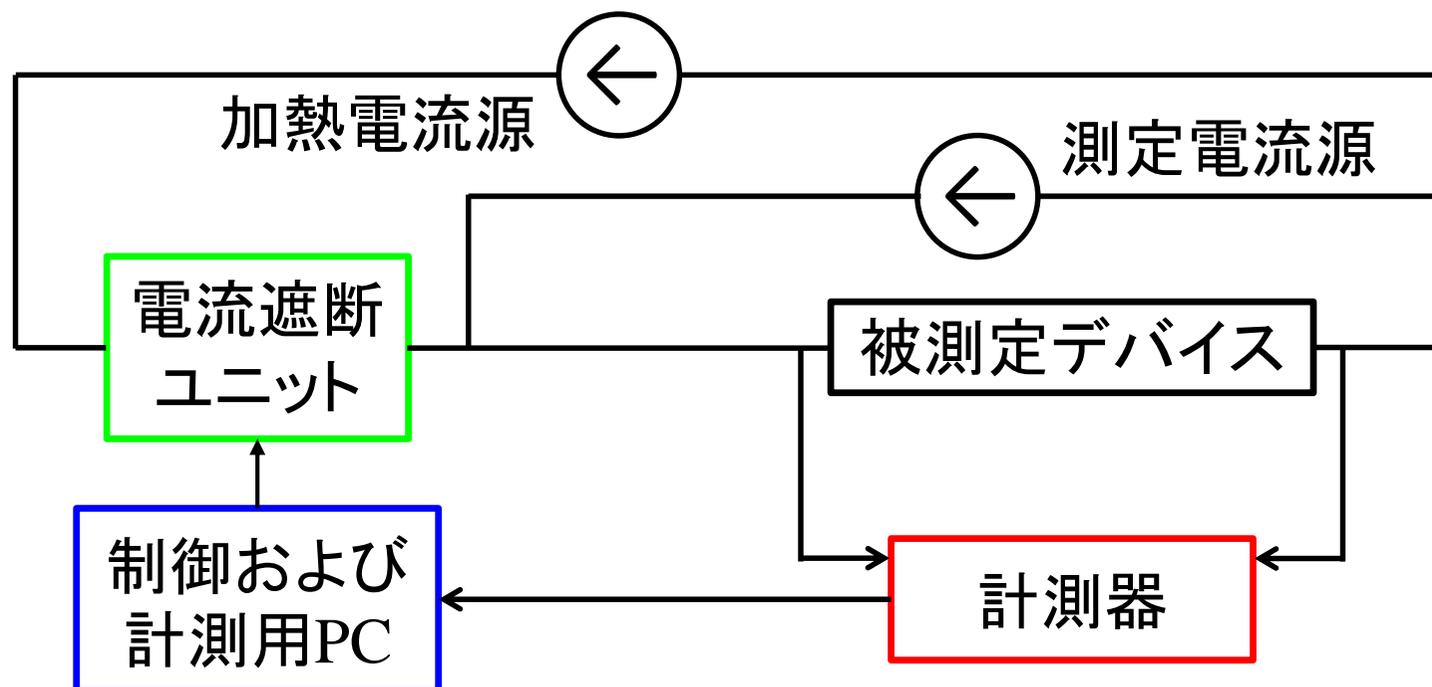


図：従来技術および新技術により算出される構造関数

# 新技術の特長

## ③ 汎用測定装置の適用が可能

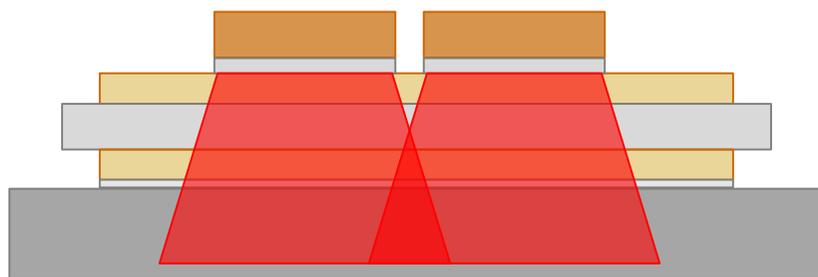
- 従来装置：1500万円～（専用ハード＋解析ソフト）
- 汎用装置：50万円～（市販装置の組み合わせ）



図：一般的な過渡熱抵抗測定装置の構成

# 想定される技術用途

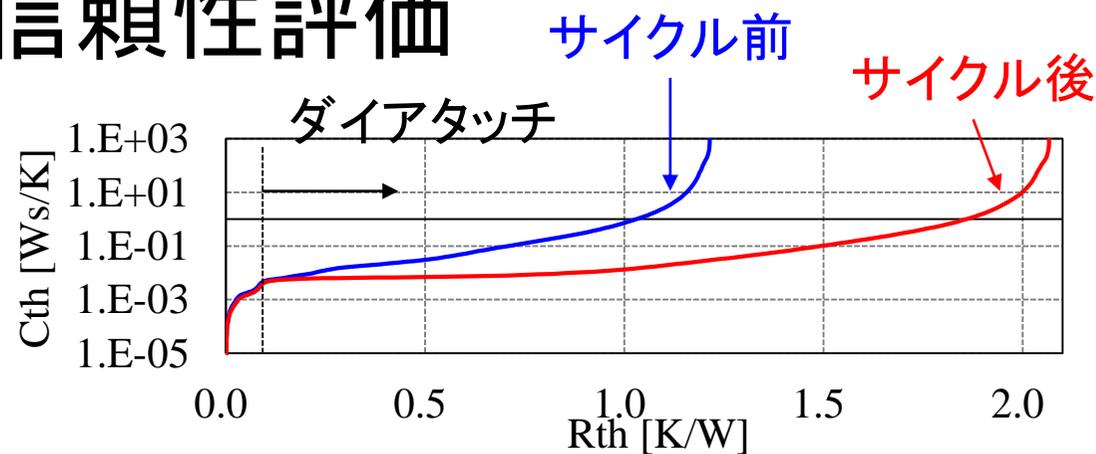
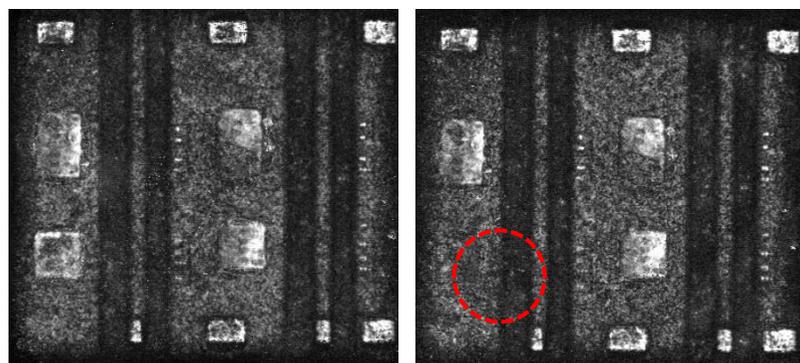
- パワーモジュールの熱性能評価



デバイス配置の  
最適設計へ適用

図: マルチチップモジュール内部の熱干渉

- パワーモジュールの信頼性評価



# 実用化に向けた課題

- 計算アルゴリズムの最適化
  - 従来手法と比べて若干計算時間がかかる  
(高速フーリエ変換を適用できないため)
- GUI化
  - 使い勝手の向上

# 新技術の導入が有益となる企業

- パワーモジュールを開発中
  - モジュール評価
- モジュール材料分野への展開を検討中
  - 材料評価
- パワーモジュール向け熱試験装置を開発中
  - 試験装置の開発

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：  
過渡熱特性解析装置、解析方法及びプログラム
- 出願番号：特願2019-127344号
- 出願人：  
大阪大学<sup>1)</sup>，産業技術総合研究所<sup>2)</sup>
- 発明者：  
福永崇平<sup>1)</sup>，舟木剛<sup>1)</sup>，加藤史樹<sup>2)</sup>

# お問い合わせ先

**大阪大学共創機構 産学共創・渉外本部**  
**イノベーション戦略部門 産学官連携支援室**

**T E L 06-6879-4875**

**e-mail [contact@uic.osaka-u.ac.jp](mailto:contact@uic.osaka-u.ac.jp)**

**ご清聴ありがとうございました**