熱回路網法とROM技術を用いた熱解析セミナー

サイバネットシステム株式会社
CAE第1事業部

つくる情熱を、支える情熱。
CYBERNET

Ansys CERTIFIED ELITE CHANNEL PARTNER

アジェンダ

CYBERNET

- はじめに
- 熱回路網法の概要
  - 電気回路とのアナロジー
  - 熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる
  - 電気回路による流量計算
- ROM技術による電子機器のモデル化
  - ROMとは？
  - モデル化事例紹介
- まとめ

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

アジェンダ

CYBERNET

- はじめに
- 熱回路網法の概要
  - 電気回路とのアナロジー
  - 熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる
  - 電気回路による流量計算
- ROM技術による電子機器のモデル化
  - ROMとは？
  - モデル化事例紹介
- まとめ

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

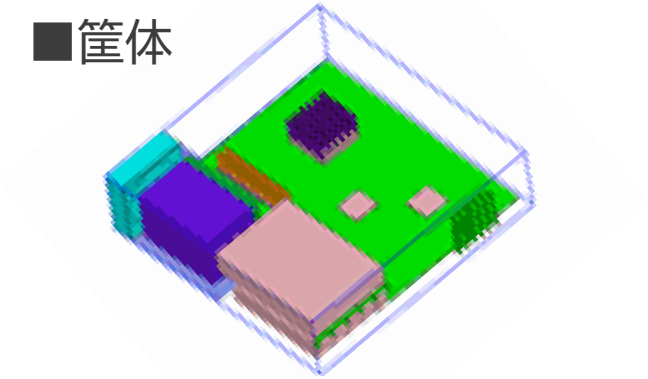
はじめに

CYBERNET

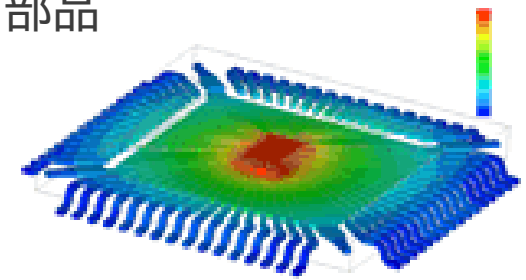
背景

▶ 電子機器の省エネ/小型化に伴い、熱設計の重要性が増しています。

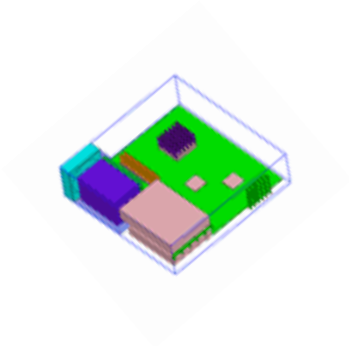
■筐体



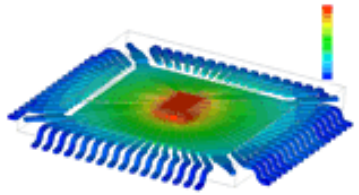
■部品



省エネ・小型化



小型化することで体積あたりの
発熱量が増加
密閉、ファンレス化することで
放熱機能が低下



小型化がすすみ、熱の基盤から
逃げるリードレス化により
熱ひずみ・熱応力が発生し
やすくなる。

電子機器の安定動作のための適切な温度管理と冷却設計が求められる

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

はじめに

CYBERNET

目的

- 熱問題を設計上流段階で検討することで手戻りを防ぐ

課題

- 「開発初期段階の形状作成前にどのようにして温度を予測するか」
- 「製品の要求仕様をすべて取り入れると熱設計が成り立たない」
  - 過酷な条件下では消費電力を制御して温度を管理(制御設計/ソフトウェア処理)

ソリューション

熱回路網法やROM技術によるアプローチ

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

アジェンダ

CYBERNET

- はじめに
- 熱回路網法の概要
  - 電気回路とのアナロジー
  - 熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる
  - 電気回路による流量計算
- ROM技術による電子機器のモデル化
  - ROMとは？
  - モデル化事例紹介
- まとめ

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

CYBERNET

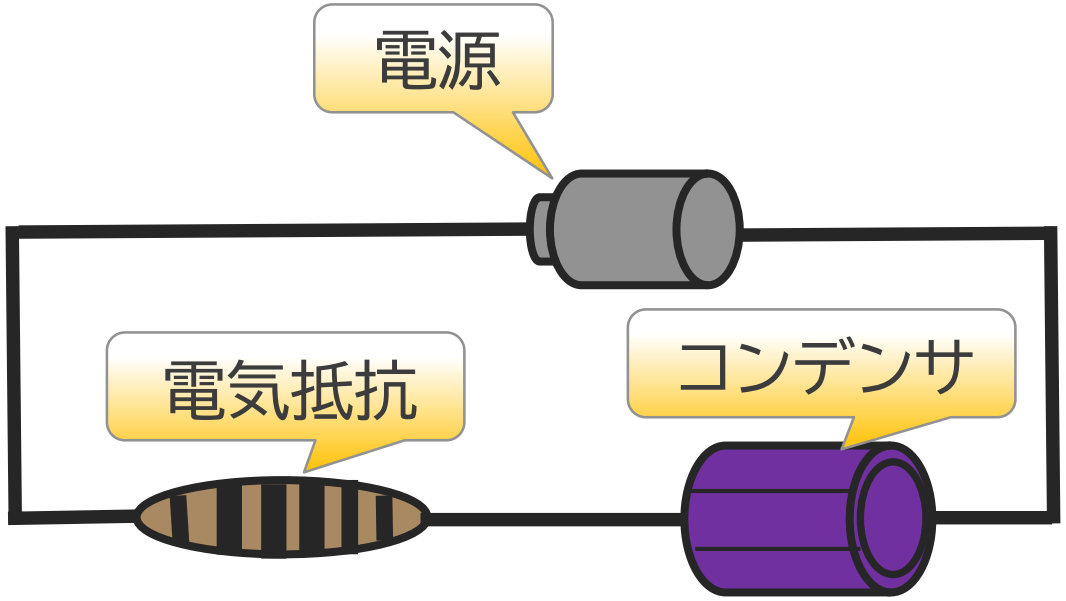
電気回路とのアナロジー(電気回路)

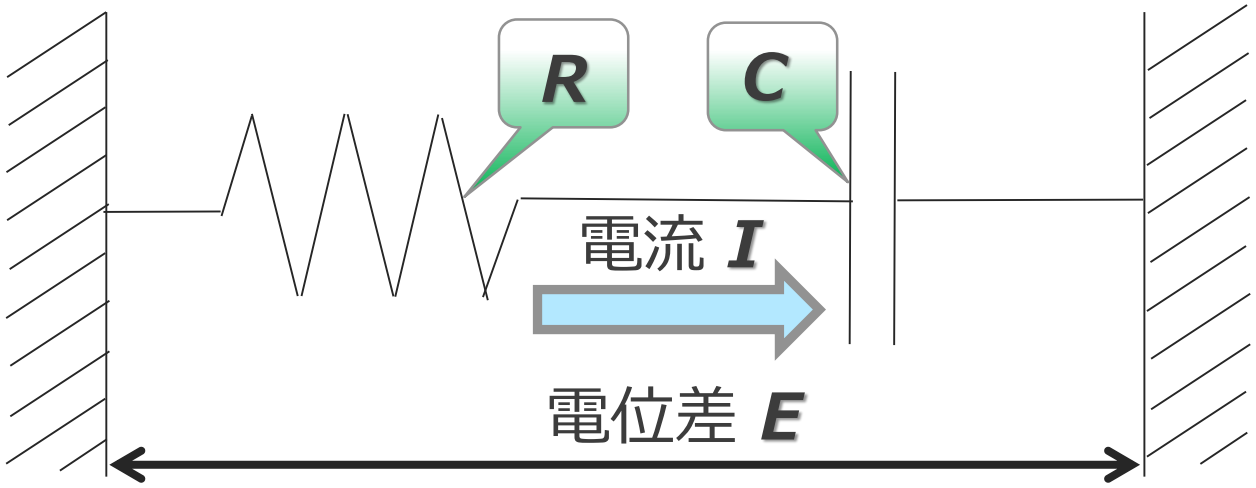
電池により電位差を加える

電位差と抵抗に応じて電流が流れる
(オームの法則)

$$I = E/R$$

コンデンサに電荷が蓄えられる





© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

CYBERNET

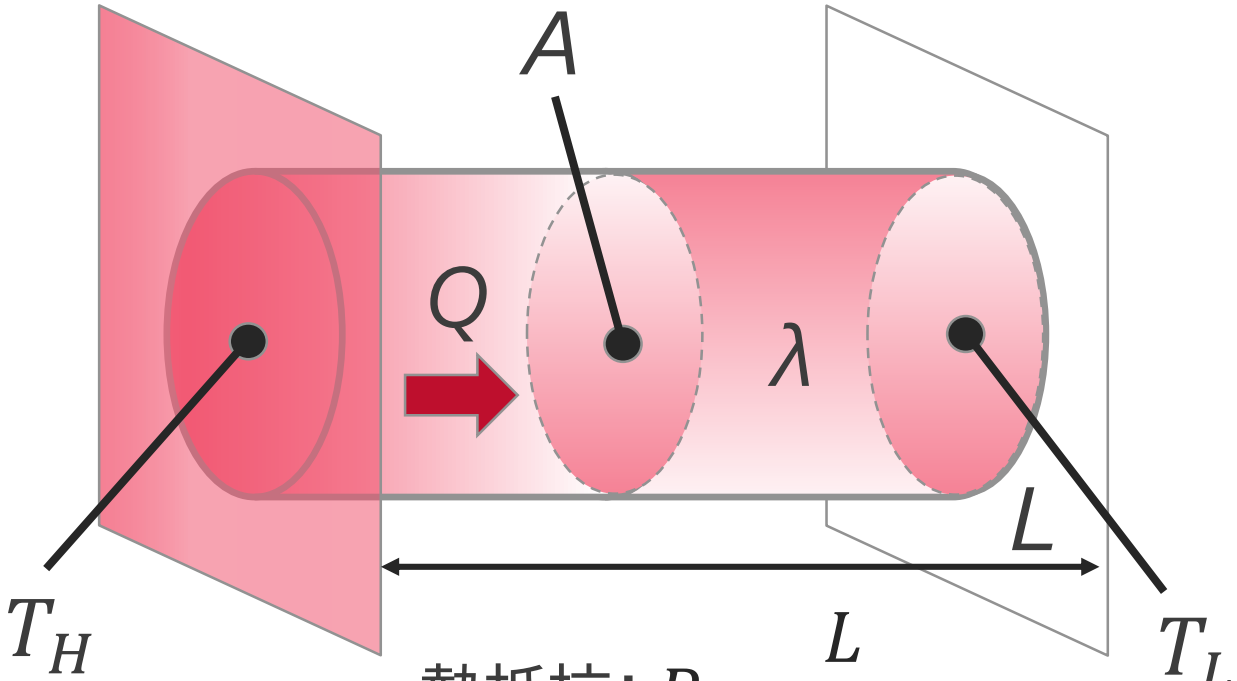
電気回路とのアナロジー(熱回路)

熱源により温度差(T_H-T_L)が発生する

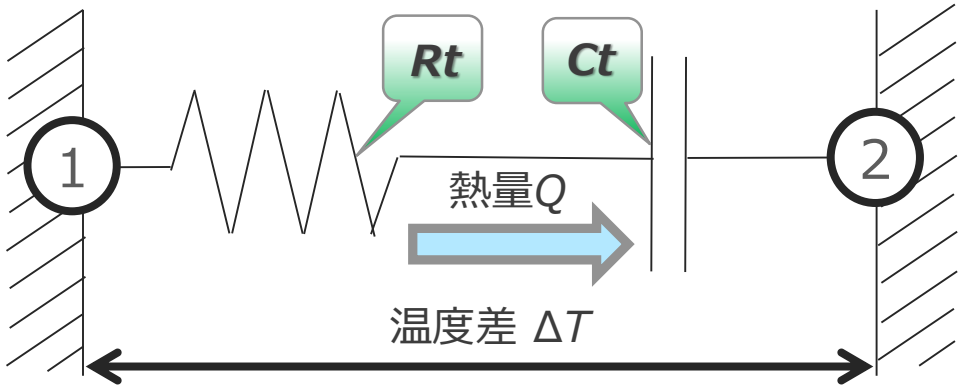
温度差と熱抵抗に応じて
熱量Qが発生する

$$Q = \frac{\Delta T}{Rt}$$

熱容量に応じて熱が蓄えられる



熱抵抗: $R = \frac{L}{\lambda A}$



© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

CYBERNET

電気回路とのアナロジー(流体回路)

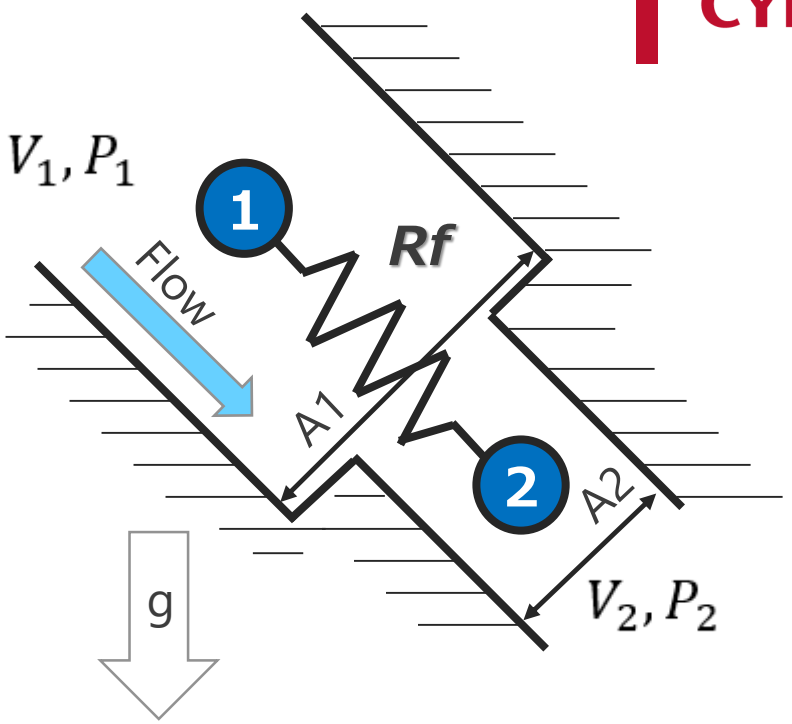
- ベルヌーイの定理を基本に考える

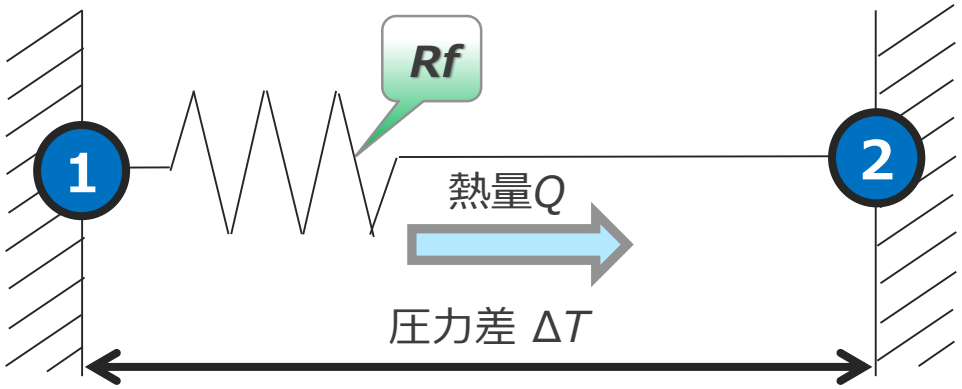
ファンやポンプより圧力差が発生する

圧力差と圧力抵抗(圧力損失)に応じて流れが発生する

$$\sqrt{\Delta P} = \frac{1}{A}\sqrt{K\frac{\rho}{2}} \cdot V = R_f$$

$$R_f = \frac{1}{A}\sqrt{K\frac{\rho}{2}}$$



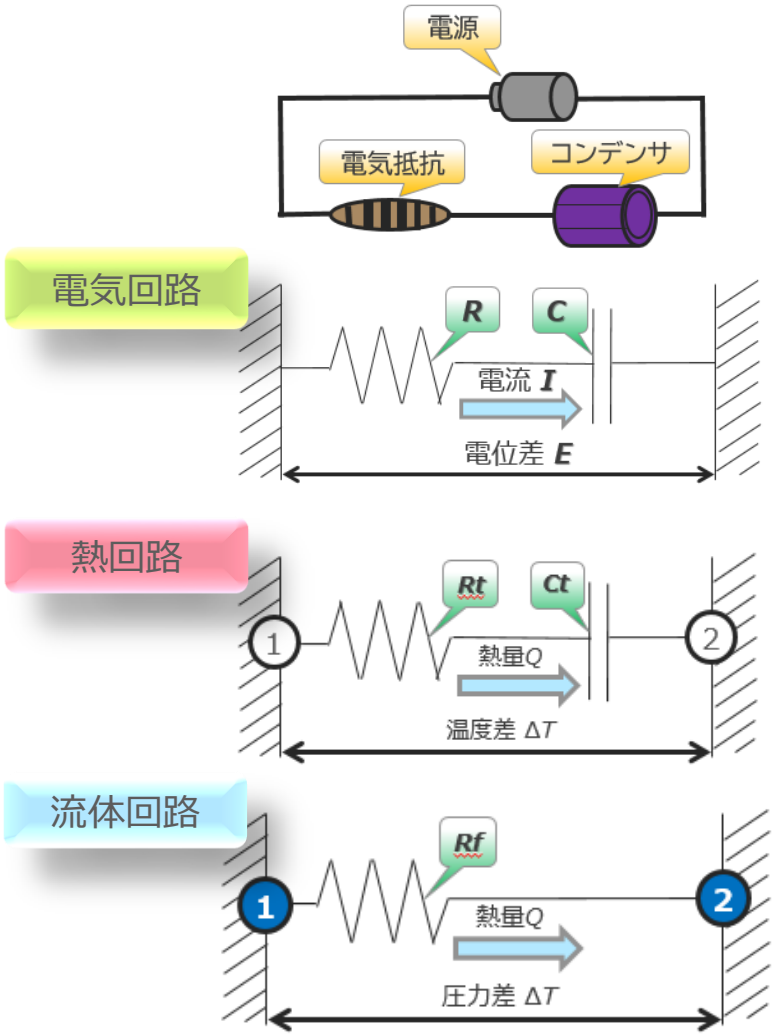


© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

CYBERNET

電気回路とのアナロジー(まとめ)



電気回路	熱回路	流体回路
電位差 E[V]	温度差 ΔT[℃,K]	圧力差 ΔP[Pa]
電流 I[A]	熱量 Q[W]	流量 V[m^3/s]
電気抵抗 R[Ω]	熱抵抗 Rt[K/W]	流体抵抗 Rf[kg^0.5/m^3]
静電容量 C[F]	熱容量 Ct=ρcV[J/K]	—
オームの法則 $I = \frac{E}{R}$	オームの法則 $Q = \frac{\Delta T}{R_t}$	オームの法則 $V = \frac{\sqrt{\Delta P}}{R_f}$
電池	発熱源	ファン・ポンプ

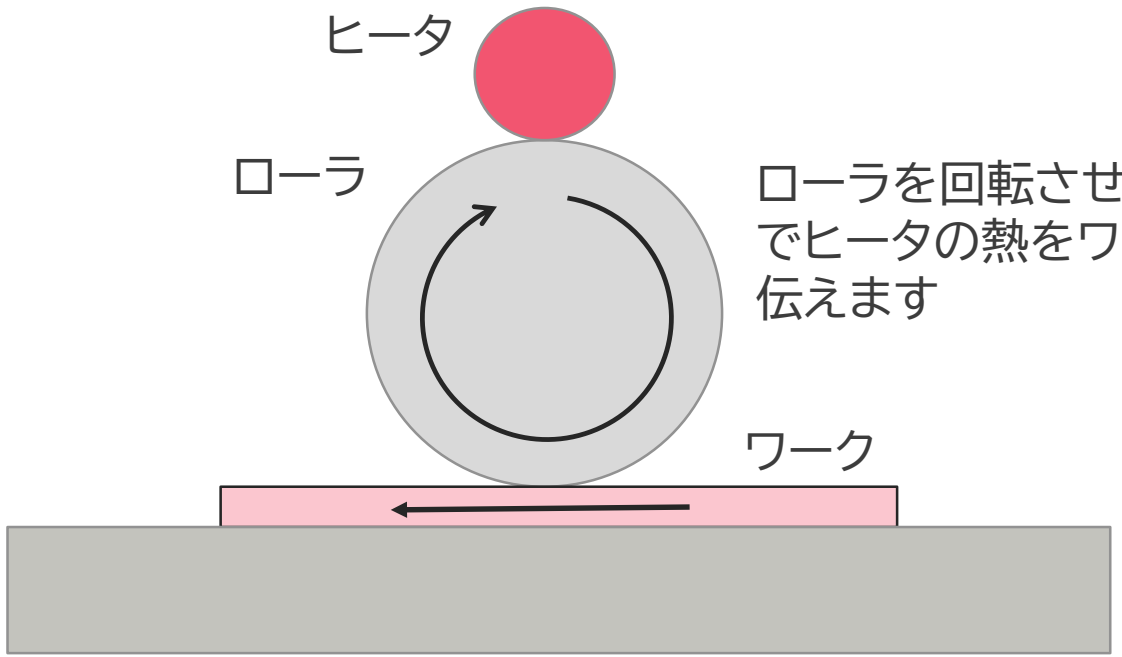
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

CYBERNET

熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる

- 流体回路との連携を目的に熱の輸送効果を熱抵抗で表現する



移動する物体が運ぶ熱量
＝物体の移動量×物体の比熱×物体の温度上昇

流体(空気)に置き換えて考えると

物体(空気)の熱(流)量
＝空気の密度×空気の比熱×風量×空気の温度上昇

熱抵抗=1/空気の密度×空気の比熱×風量

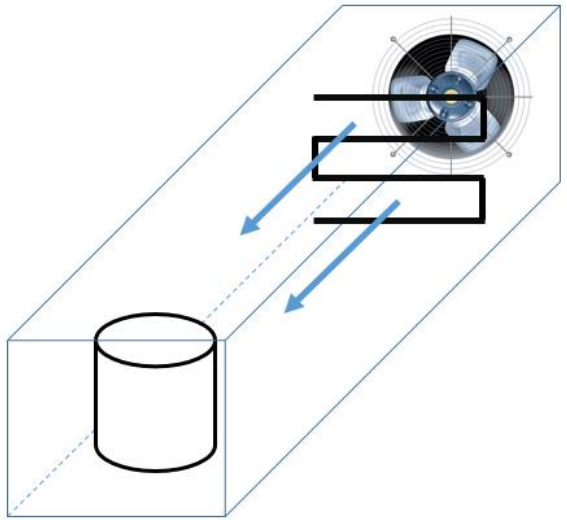
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

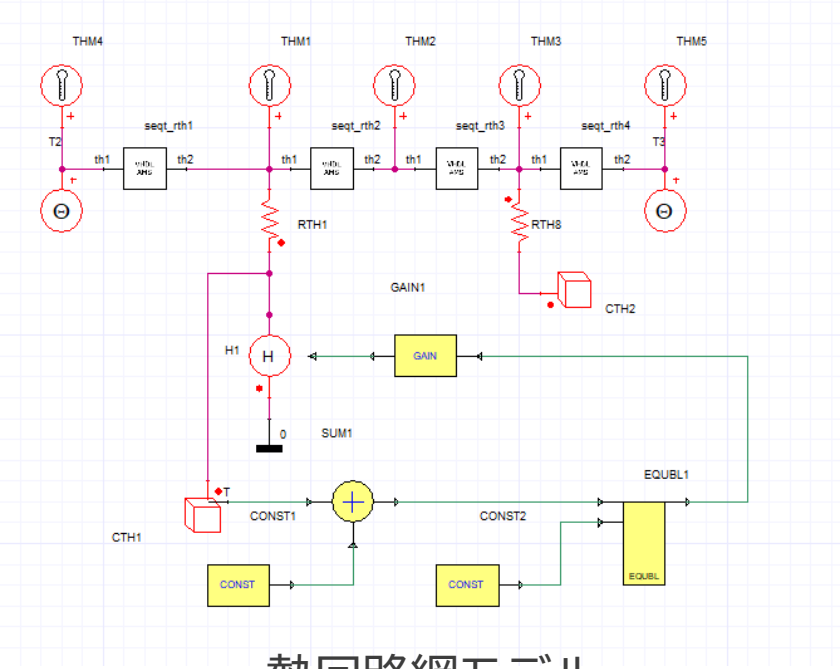
CYBERNET

熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる

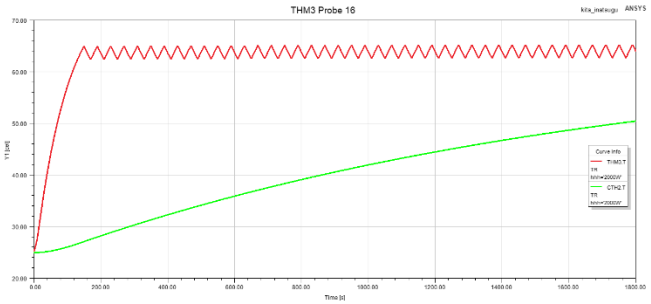
- 簡単な事例を参考に熱の輸送効果を考える(熱風ダクト内に置かれた円筒缶の過熱)
  - 参考資料:熱設計と数値シミュレーション(国峰尚樹+中村篤)　オーム社より
    - ヒータ温度が1000℃を超えると発熱量をOFFにする制御ロジックを入れている



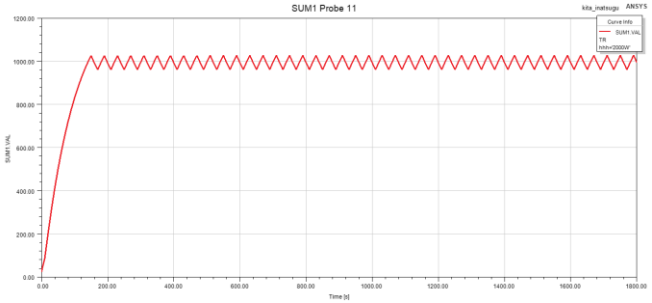
3次元物理モデル



熱回路網モデル



缶と空気の温度結果



ヒータの温度結果

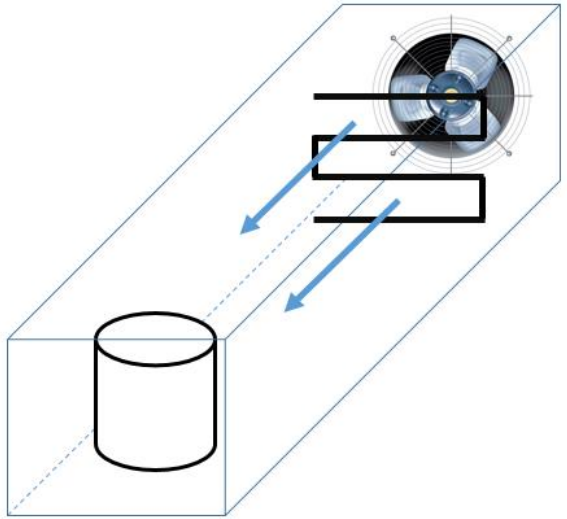
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

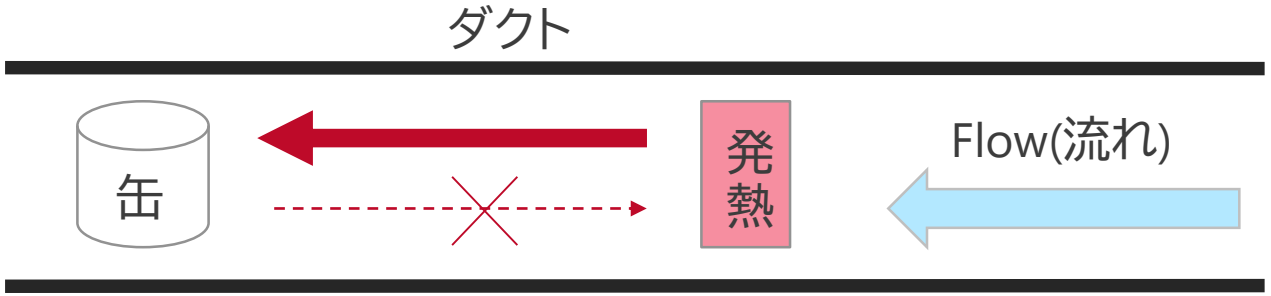
CYBERNET

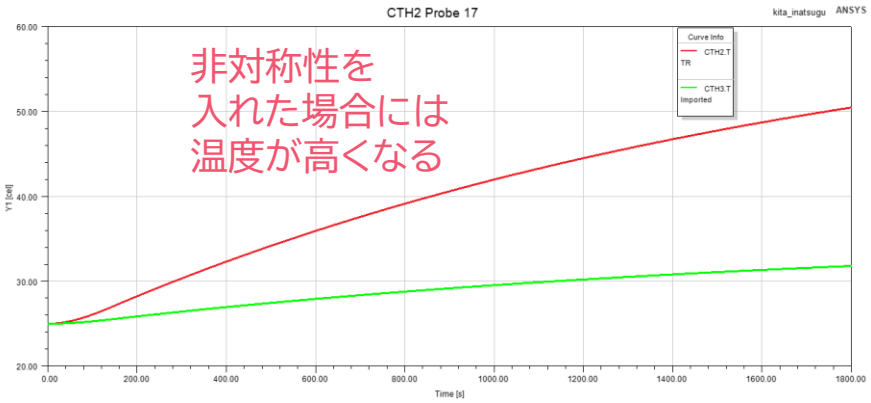
熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる

- 簡単な事例を参考に熱の輸送効果を考える(熱風ダクト内に置かれた円筒缶の過熱)
  - 熱輸送の効果を熱回路網モデルに組み込む場合の注意点
    - 熱輸送による熱抵抗を考慮する場合に非対称性を入れる



3次元物理モデル





熱伝導の非対称性を考慮しないと
温度が低くなってしまう

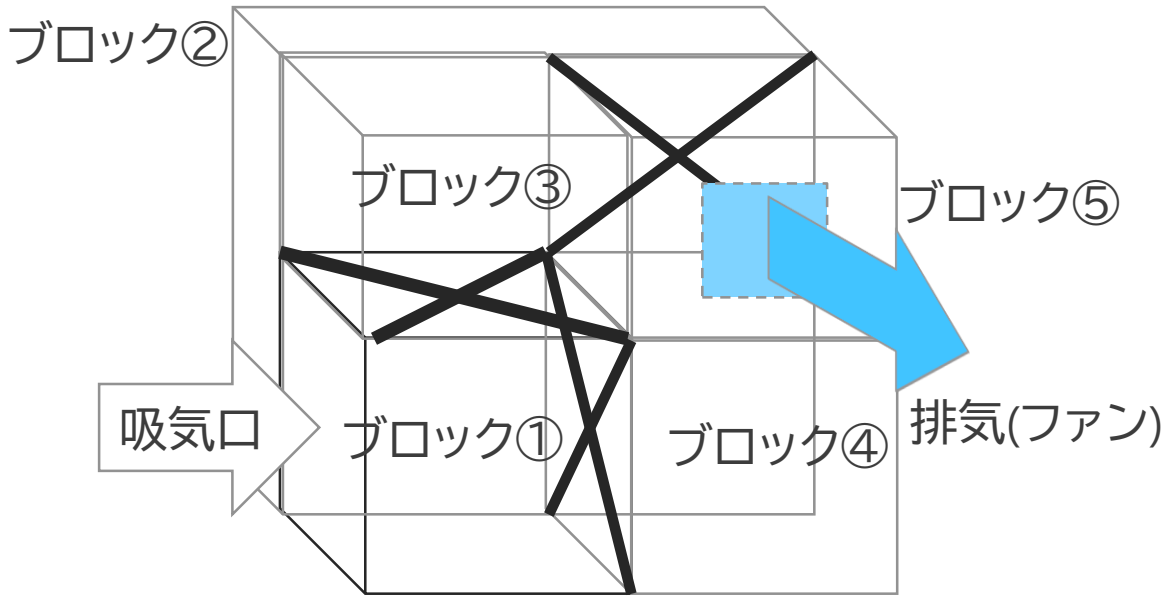
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

CYBERNET

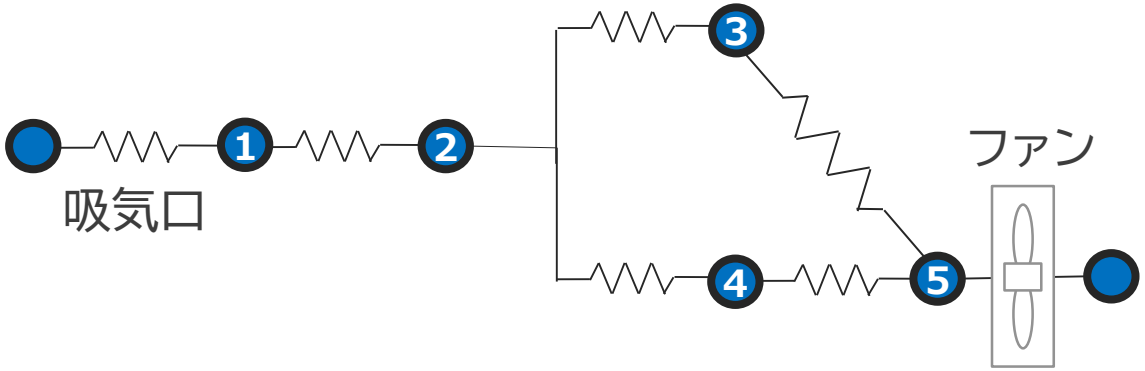
電気回路による流量計算

- 熱回路網の精度を向上させるために流体回路(電気回路)による流量を計算
- 計算した流量を反映した熱輸送による熱伝導や熱伝達を考慮することが可能
  - 参考資料:熱設計と数値シミュレーション(国峰尚樹+中村篤)　オーム社より



5つのブロックに仕切られた装置の例

経路(上):ブロック①⇒ブロック②⇒ブロック③⇒ブロック⑤



経路(下):ブロック①⇒ブロック②⇒ブロック④⇒ブロック⑤

流体回路の例

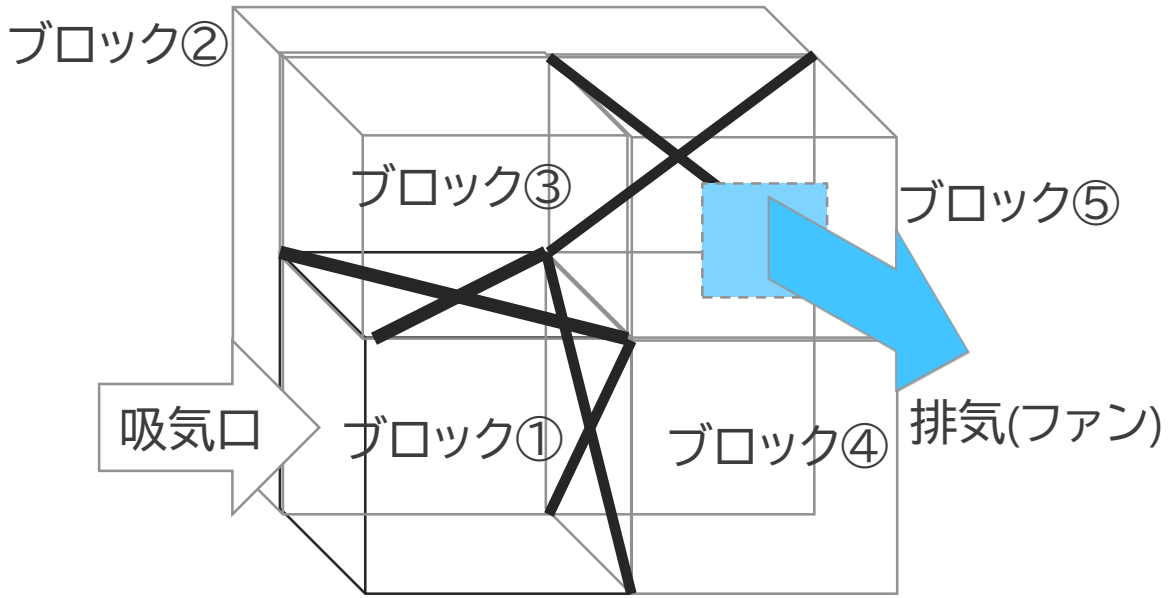
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

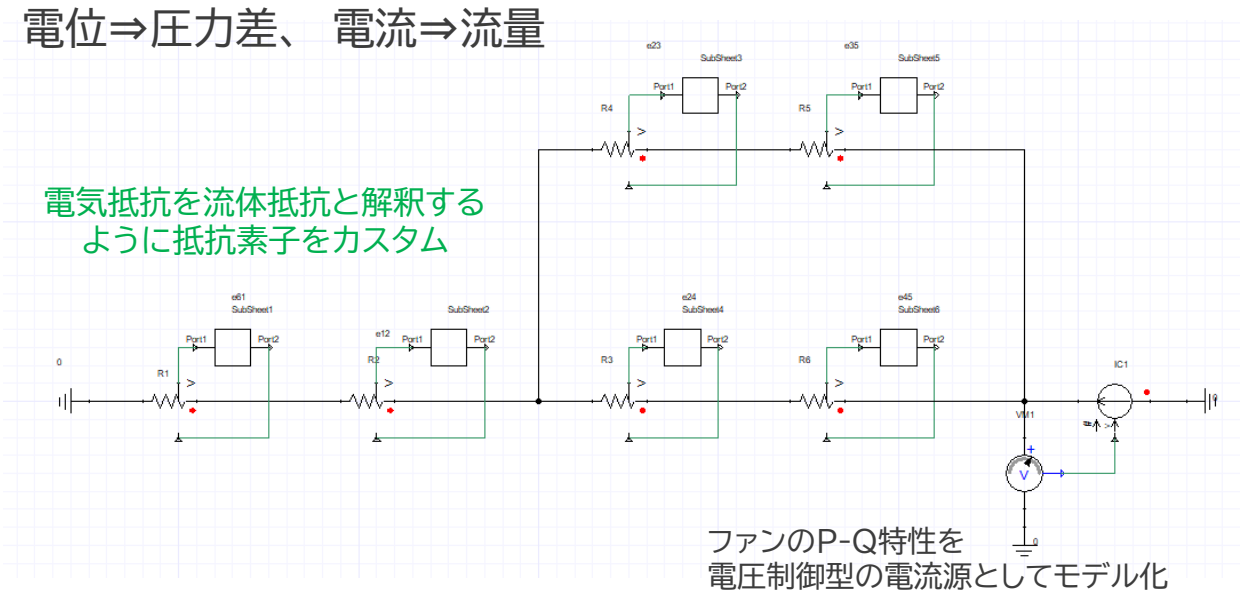
CYBERNET

電気回路による流量計算

- 熱回路網の精度を向上させるために流体回路(電気回路)による流量を計算
- 計算した流量を反映した熱輸送による熱伝導や熱伝達を考慮することが可能



5つのブロックに仕切られた装置の例



ANSYS TwinBuilderによる流体回路のモデル化

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路網法の概要

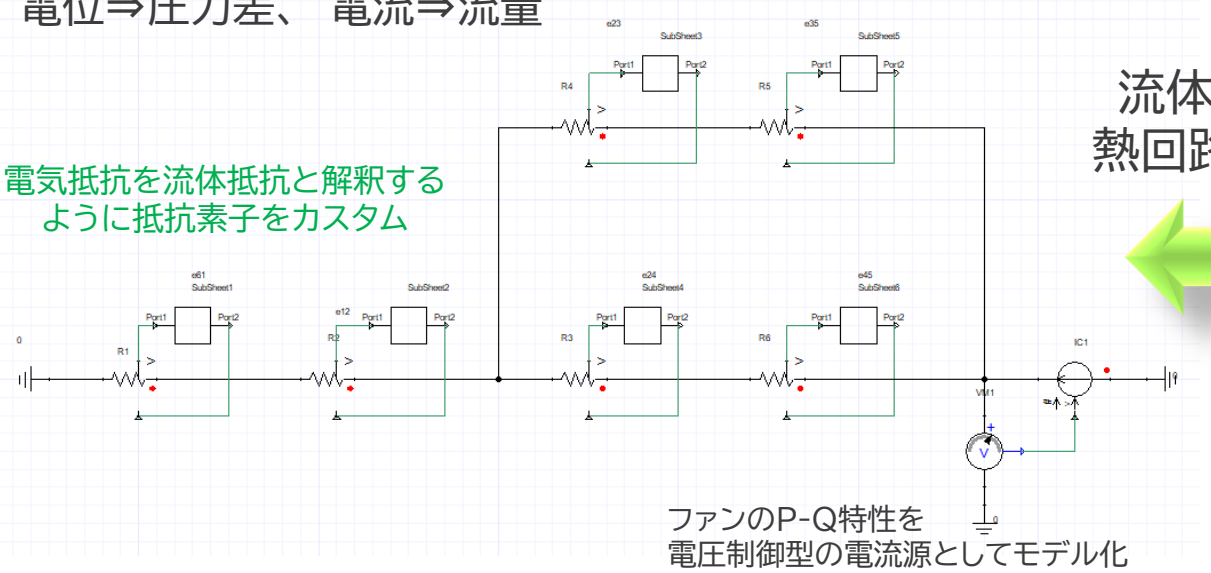
CYBERNET

電気回路による流量計算

- 熱回路網の精度を向上させるために流体回路(電気回路)による流量を計算
- 計算した流量を反映した熱輸送による熱伝導や熱伝達を考慮することが可能

電位⇒圧力差、 電流⇒流量

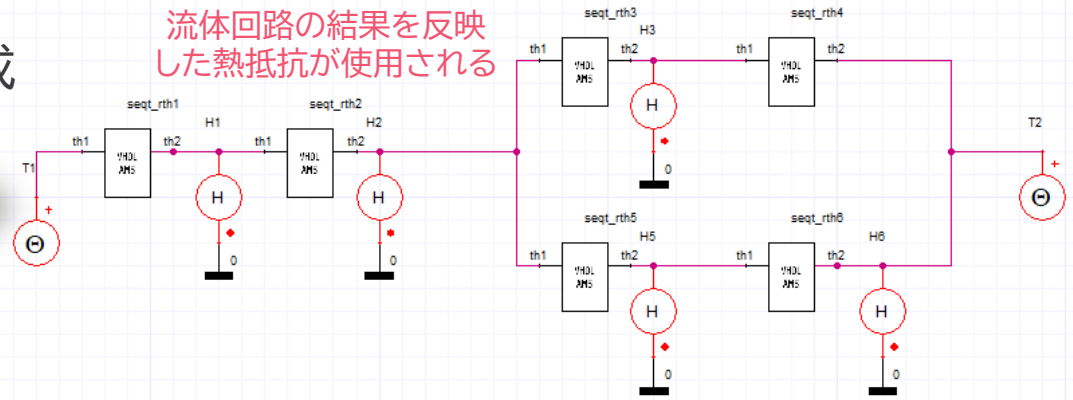
電気抵抗を流体抵抗と解釈する
ように抵抗素子をカスタム



ファンのP-Q特性を
電圧制御型の電流源としてモデル化

流体回路と
熱回路の連成

流体回路の結果を反映
した熱抵抗が使用される



ANSYS TwinBuilderによる流体回路のモデル化

ANSYS TwinBuilderによる熱回路のモデル化

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

アジェンダ

CYBERNET

- はじめに
- 熱回路網法の概要
  - 電気回路とのアナロジー
  - 熱の輸送効果を等価回路で表す
  - 電気回路による流量計算
- ROM技術による電子機器のモデル化
  - ROMとは？
  - モデル化事例紹介
- まとめ

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

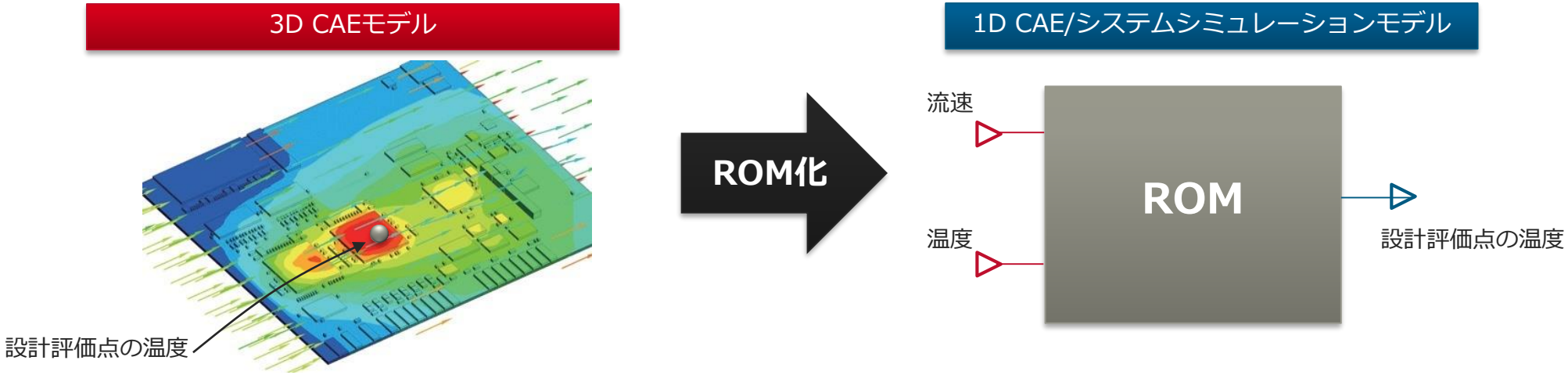
ROM技術による電子機器のモデル化

CYBERNET

ROMとは？

- FEM（有限要素法）や CFD（数値流体解析）などの3D シミュレーションモデルを低次元化して計算量を減らす手法を総称して**ROM** という。
- ROM化されたモデルとは、本質的な動作と支配的な挙動は保持される。
- ROM化されたモデルでのシミュレーションは、計算時間と記憶容量の大幅な削減が可能。

  - Reduced Order Modeling（ROM）または、Model Order Reduction(MOR)という。



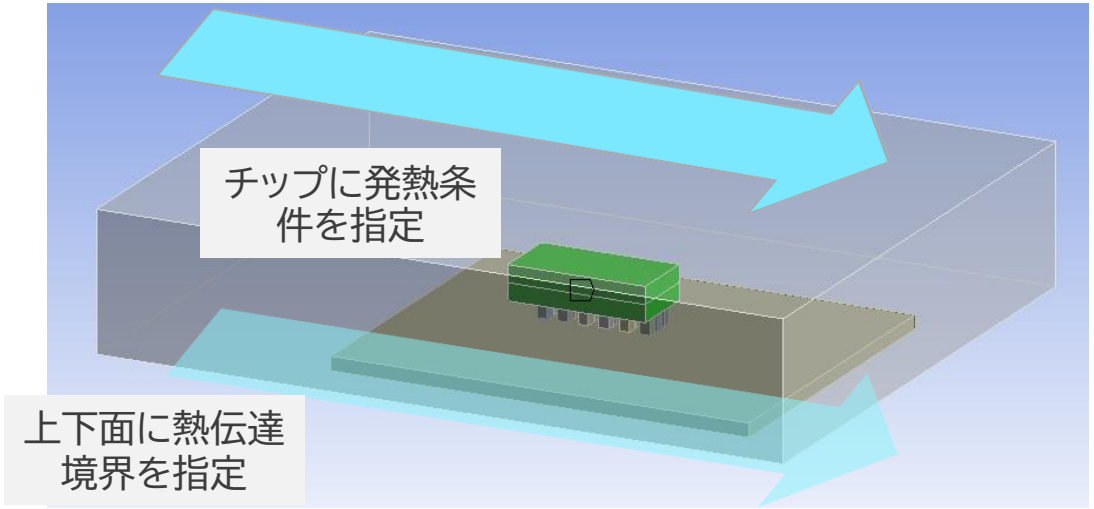
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

ROM技術による電子機器のモデル化

CYBERNET

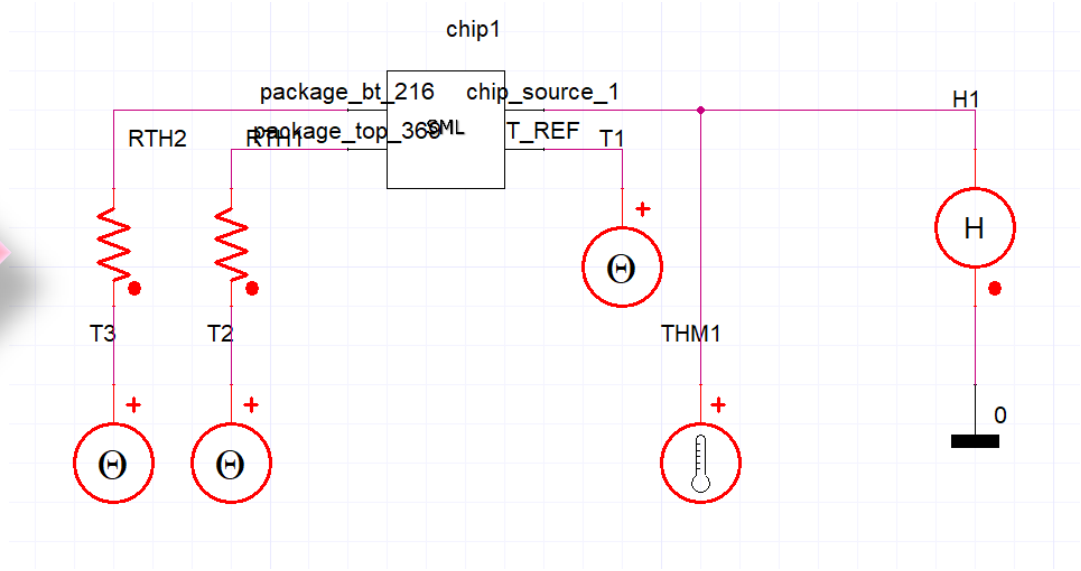
モデル化事例紹介

- 半導体パッケージモデルをROM化(縮退化)して3次元シミュレーション結果と比較
  - ROM化にはMechanicalからマトリクスを取得してクリロフ部分空間法を適用しています。



3次元半導体パッケージモデル

ROM化



縮退モデル(ROMモデル)

※3次元モデルのROM化にはCADFEM社のModel Reduction inside ANSYS ACTを使用しています。
こちらのツールに関してのお問い合わせは当社のユーザーサポートまでお問合せください。

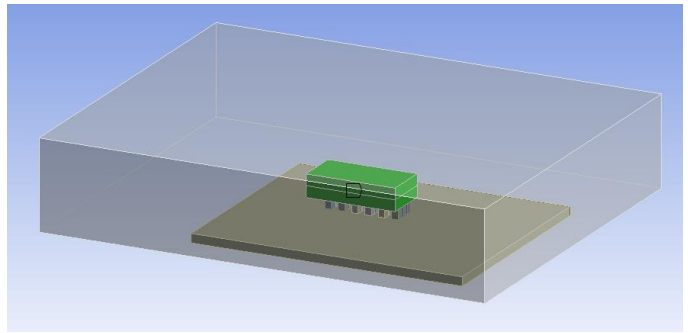
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

ROM技術による電子機器のモデル化

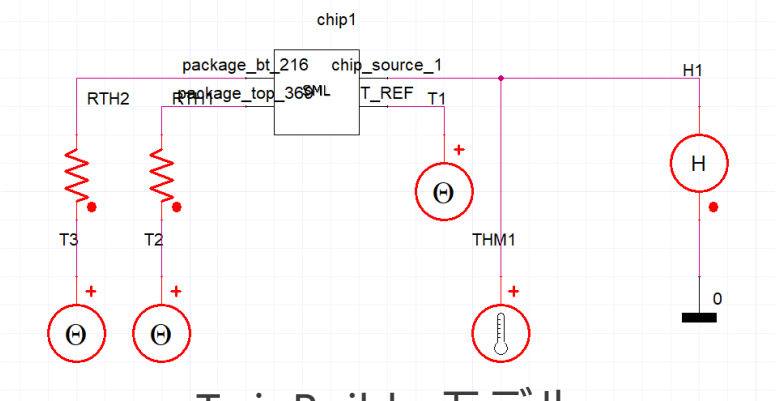
CYBERNET

モデル化事例紹介

▶ 半導体パッケージモデルをROM化(縮退化)して3次元シミュレーション結果と比較

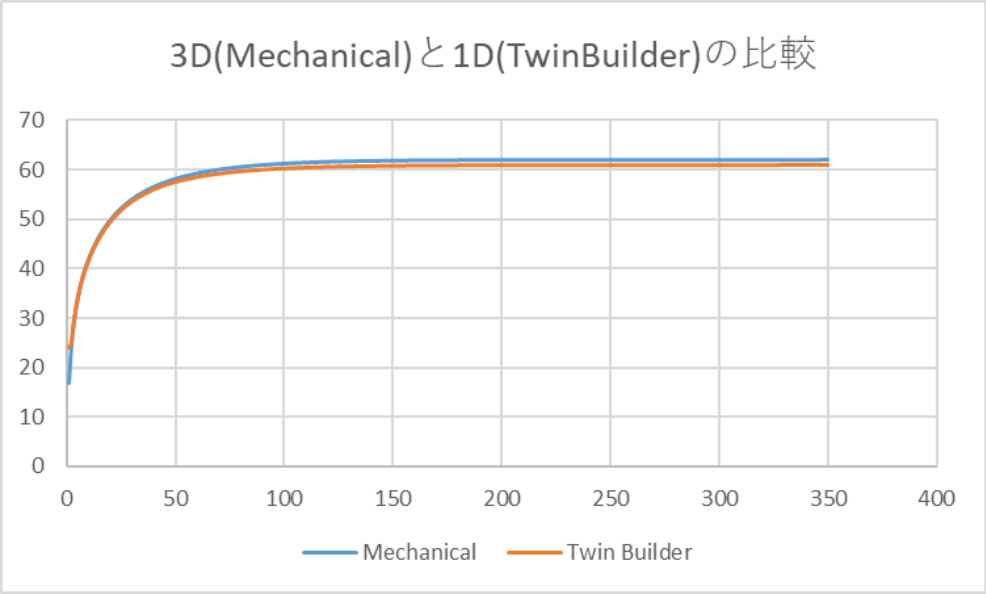


Mechanicalモデル



TwinBuilderモデル

境界条件はチップを発熱させて、モールドしている樹脂の上下面に、熱伝達境界条件を指定しています。



シミュレーション結果の比較

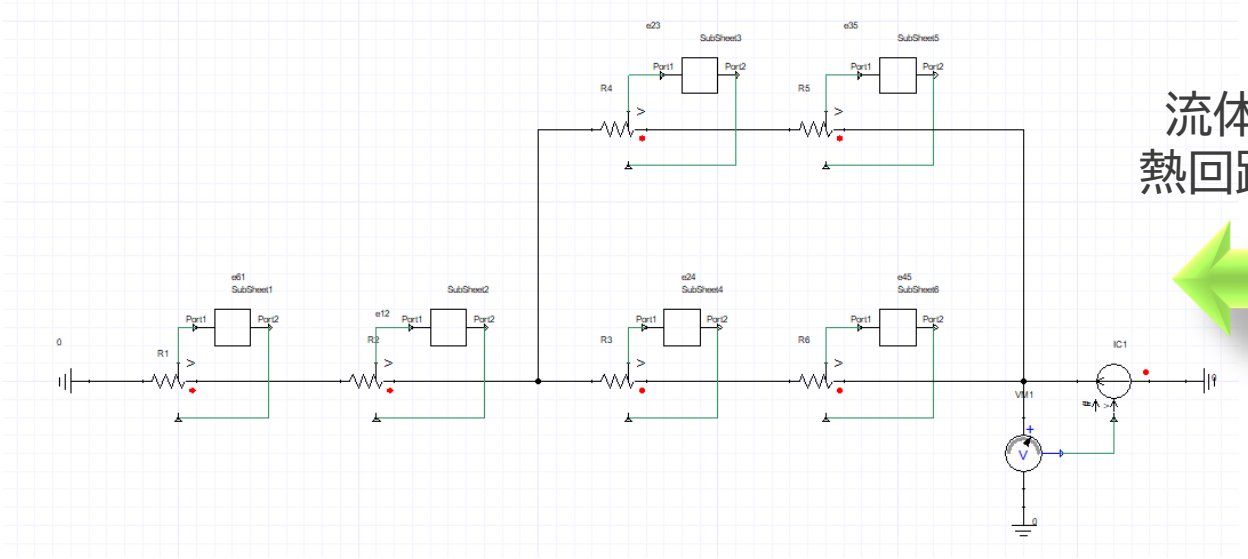
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

ROM技術による電子機器のモデル化

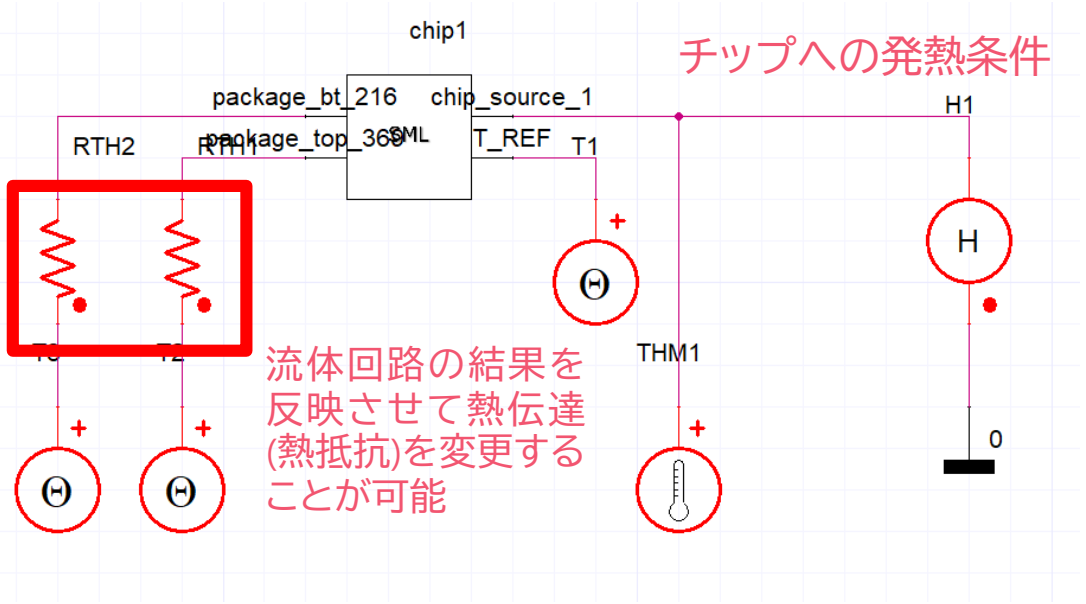
CYBERNET

モデル化事例紹介

- 半導体パッケージモデルをROM化(縮退化)して3次元シミュレーション結果と比較
- 縮退化熱モデルと流体回路モデルとの連成も可能



流体回路と
熱回路の連成



ANSYS TwinBuilderによる流体回路のモデル化

縮退モデル(ROMモデル)

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

まとめ

CYBERNET

- 熱回路網法に関する基本的な考え方をご説明しました。
- 熱回路と流体回路を連成させることの有効性について紹介しました。
- ROMモデルと3次元モデルとの結果比較を行い、ROMによる熱回路モデルの有効性についてご説明をさせていただきました。

© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

つくる情熱を、支える情熱。

CYBERNET

サイバネットシステム株式会社
CAE第1事業部

ホームページ ｜ http://www.cybernet.co.jp/ansys/
お問い合わせ ｜ anssales@cybernet.co.jp