システムシミュレーション・ROM体験セミナー

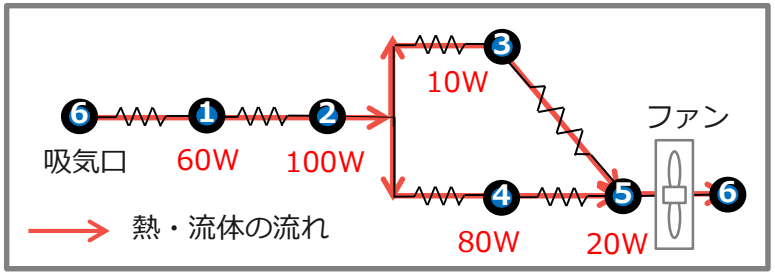
体験例題2
熱回路の等価回路シミュレーション

サイバネットシステム株式会社

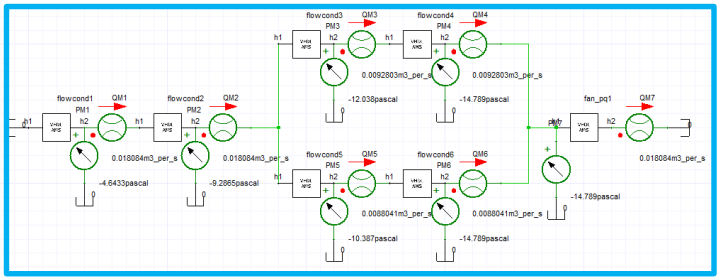
概要

- 目的：熱流体回路の作成方法を確認します。
- 内容：ファンによる熱輸送効果を模擬するため、VHDL-AMSによる素子モデルを用いた熱流体回路を作成します。

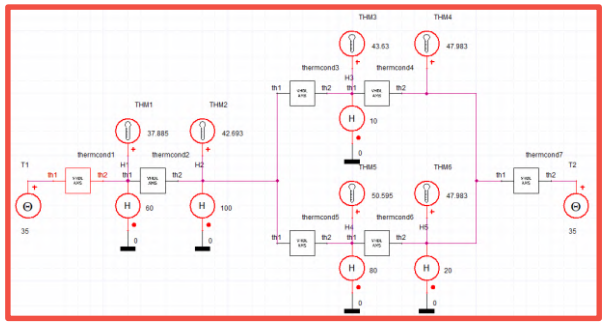
ファンによる熱輸送を表す熱流体回路



流体回路



熱回路



計算の流れ

1. VHDL-AMSで素子モデルを追加
2. 流体回路を作成し、各流体抵抗素子を流れる流量を算出
3. 求めた流量から熱輸送コンダクタンスを算出し、熱回路を作成して各節点での温度を計算

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

Ansys

対応プロダクト

- この体験例題に必要なプロダクトとライセンスは、以下の通りです。

プロダクト	対応可能ライセンス
ANSYS Twin Builder	ANSYS Twin Builder Pro 以上

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

熱回路網法の概要

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

熱回路網法の概要

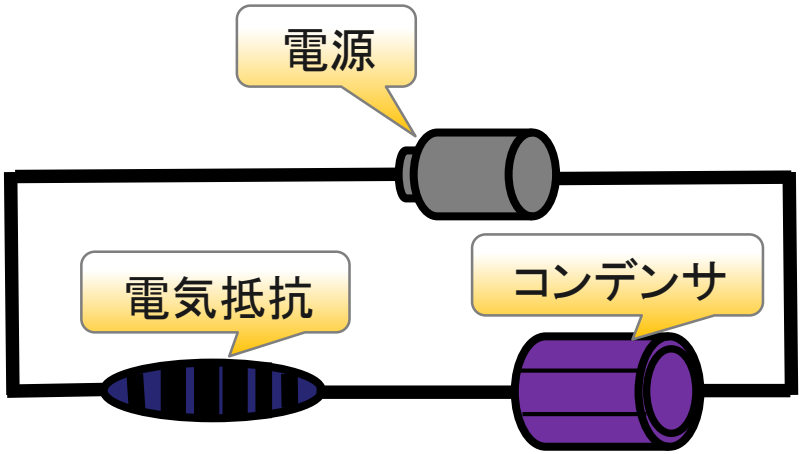
- 電気回路とのアナロジー(電気回路)

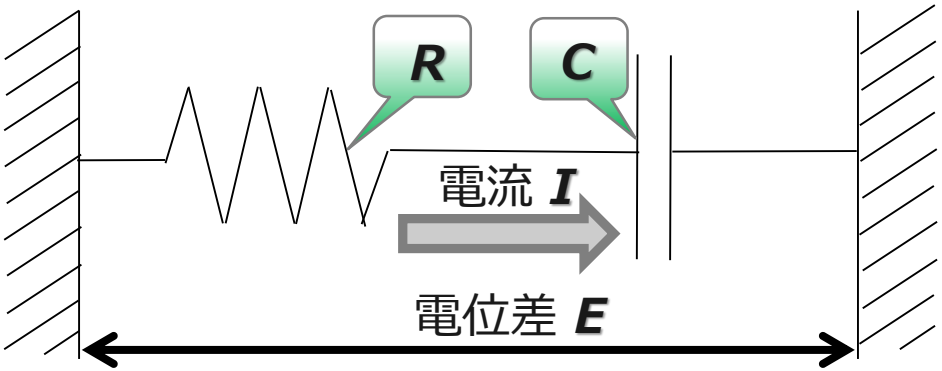
電池により電位差を加える

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





熱回路網法の概要

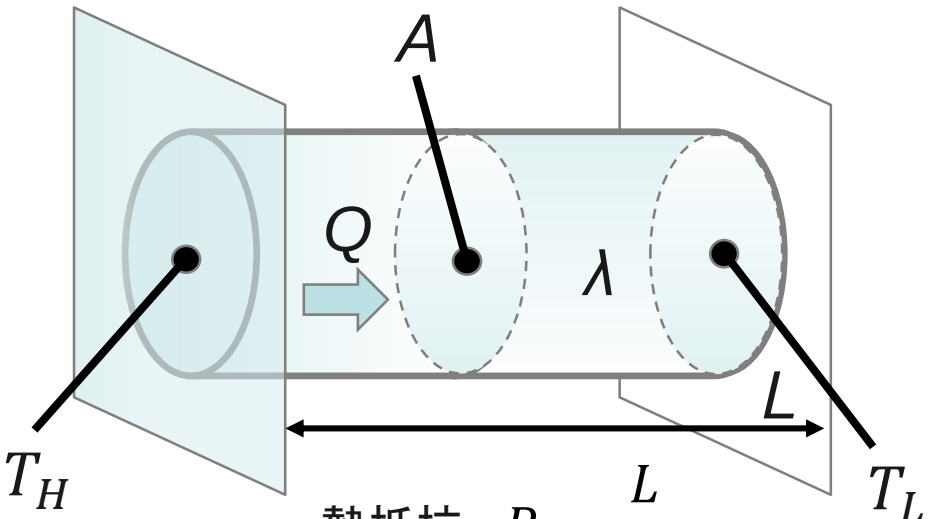
- 電気回路とのアナロジー(熱回路)

熱源により温度差(T_H-T_L)が発生する

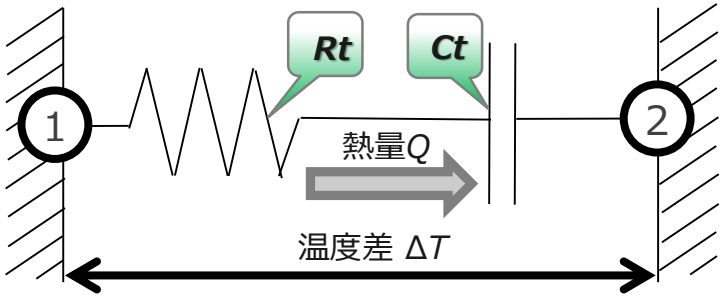
温度差と熱抵抗に応じて
熱量Qが発生する

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

熱容量に応じて熱が蓄えられる

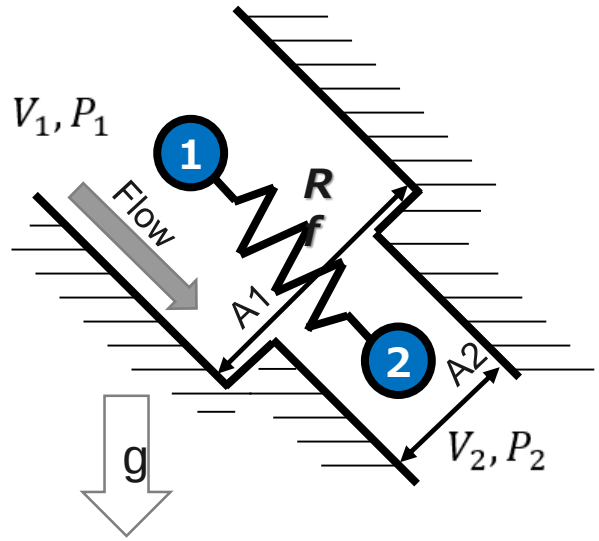


熱抵抗: $R = \frac{L}{\lambda A}$



熱回路網法の概要

- 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

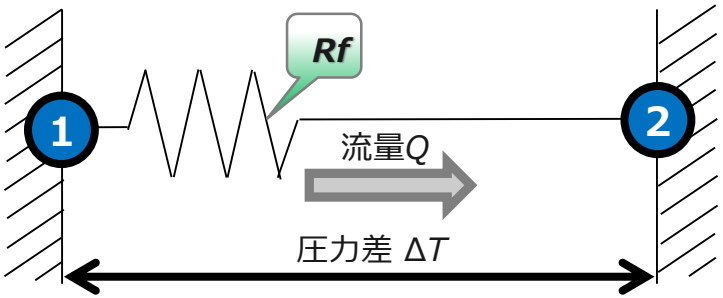


ファンやポンプより圧力差が発生する

圧力差と圧力抵抗(圧力損失)に応じて流れが発生する

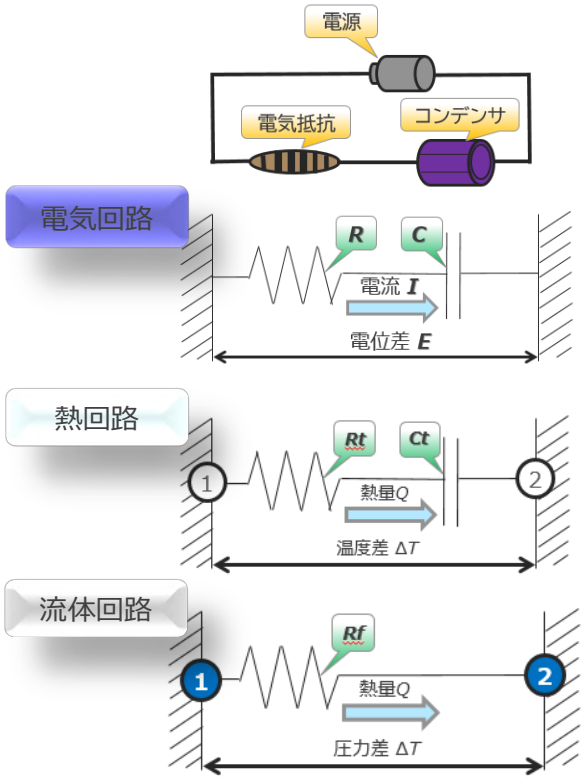
$$\sqrt{\Delta P} = \frac{1}{A}\sqrt{K\frac{\rho}{2}} \cdot V = R_f$$

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



熱回路網法の概要

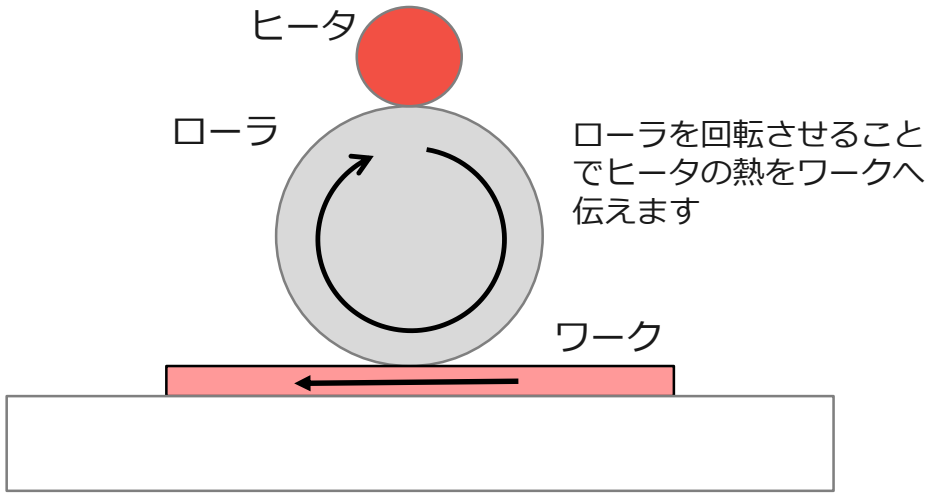
- 電気回路とのアナロジー(まとめ)



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

熱回路網法の概要

- 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

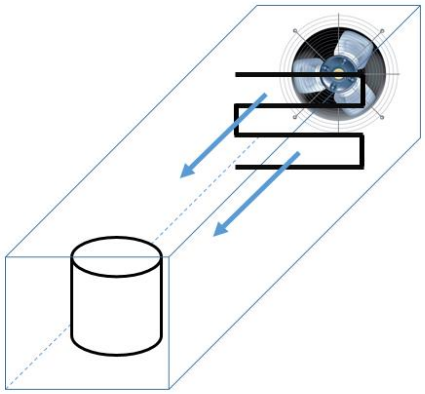
流体(空気)に置き換えて考えると

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

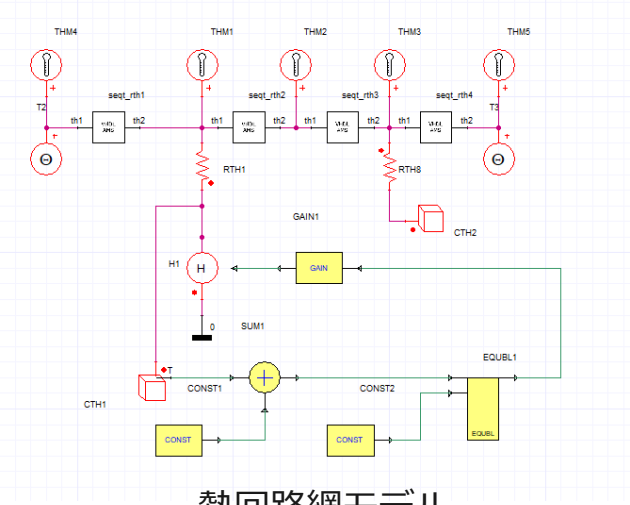
熱抵抗＝**1/(空気の密度×空気の比熱×風量)**

熱回路網法の概要

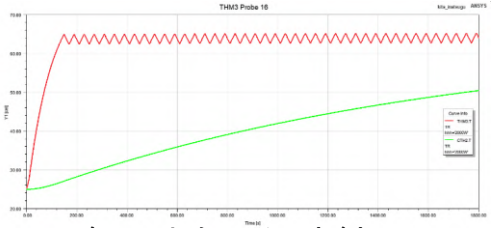
- 熱の輸送効果を熱回路モデルに入れる
  - 簡単な事例を参考に熱の輸送効果を考える(熱風ダクト内に置かれた円筒缶の過熱)
    - 参考資料:熱設計と数値シミュレーション(国峰尚樹+中村篤)　オーム社より
      - ヒータ温度が1000℃を超えると発熱量をOFFにする制御ロジックを入れている



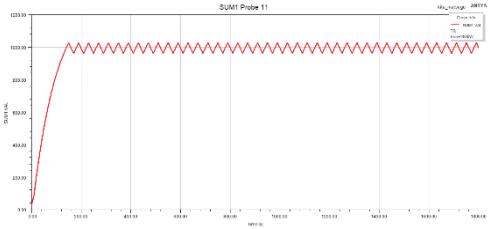
3次元物理モデル



熱回路網モデル



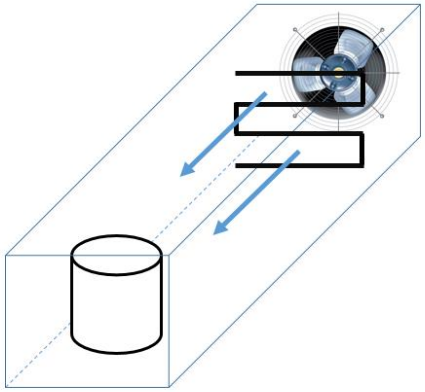
缶と空気の温度結果



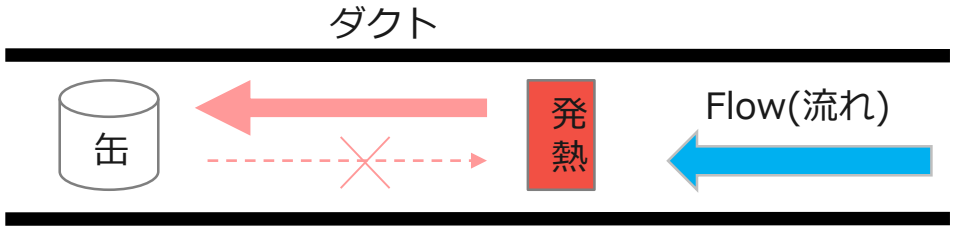
ヒータの温度結果

熱回路網法の概要

- 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



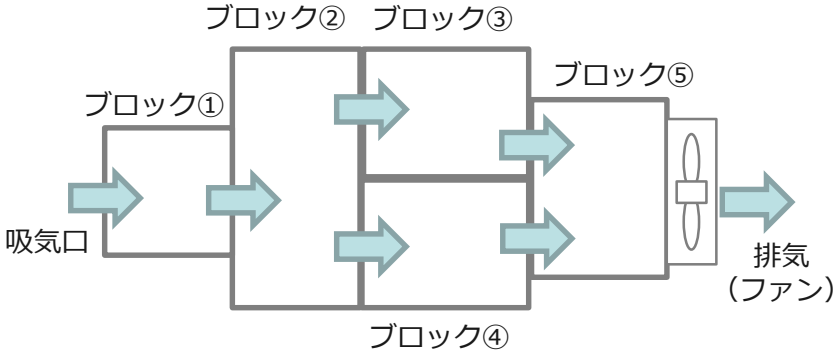
熱伝導の非対称性を考慮しないと
温度が低くなってしまう

例題：筐体内の風量および温度分布の計算

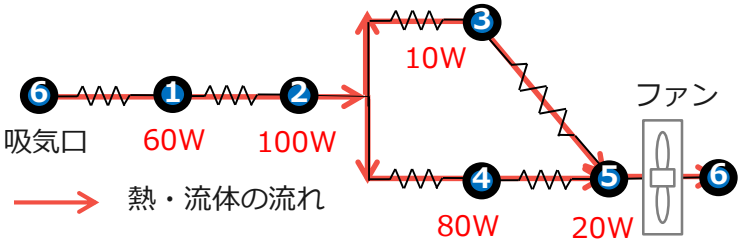
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

筐体の熱流体回路

- 本例題では下図のような複数のブロックに仕切られた筐体を表す熱流体回路を作成し、筐体内の流量と温度を求めます。
  - 冷却ファンによってブロック①の吸気口から空気が流入し、各ブロック間に設けられた開口率20%の通風口（パンチングメタル）を通過しながらブロック⑤で排気されます。
  - 各ブロックには一定の熱量を持った発熱体があり、空気の流れによって吸気側から排気側に向かって熱が輸送されます。



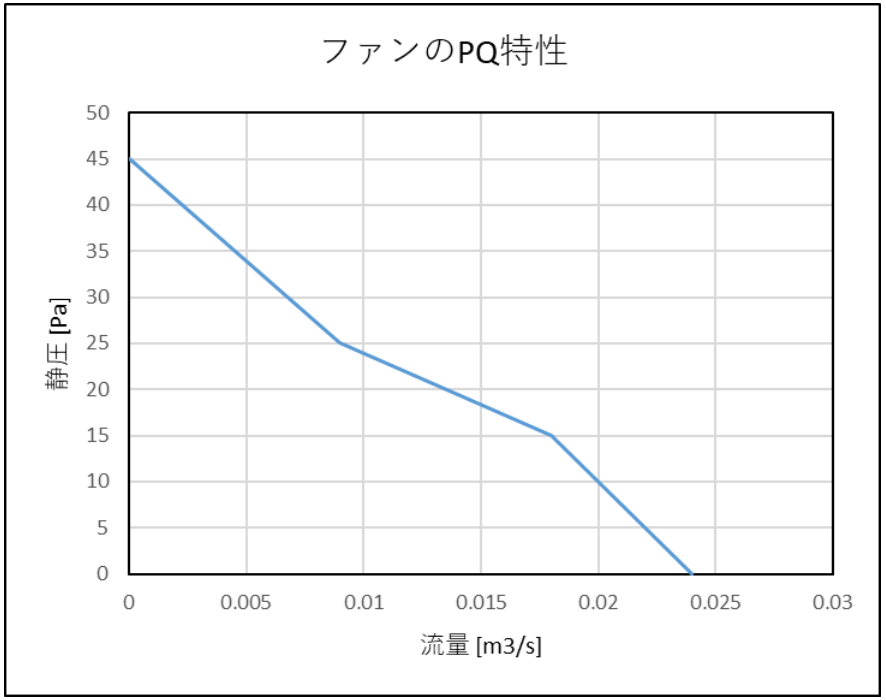
５つのブロックに仕切られた筐体



対応する熱流体回路

ファンのPQ特性

- 使用する冷却ファンは下図のような流量-圧力特性を持つものとして設定します。
  - 一定値ではなく、圧力によって流量が変化する流量ソースとしてモデル化する必要があります。



流量 [m^3/s]	静圧 [Pa]
0	45
0.009	25
0.018	15
0.024	0

VHDL-AMS

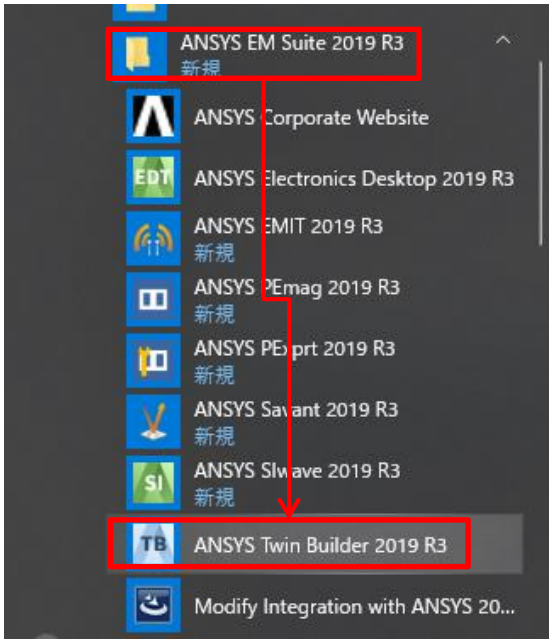
- 熱流体回路用の素子やPQ特性を考慮したファンの素子などは既存のTwin Builderのライブラリには用意されていません。
- そこで、VHDL-AMSによって新たに素子を作成します。
  - VHDL-AMS : Very Highspeed integrated circuit Hardware Description Language-Analog Mixed Signalの略語で、モデル記述言語の一種です。
  - 電気、力学、熱、流体など様々な物理系を表す素子モデルを作成することができます。
  - 本例題では作成済みの素子を読み込む形で回路を作成します。

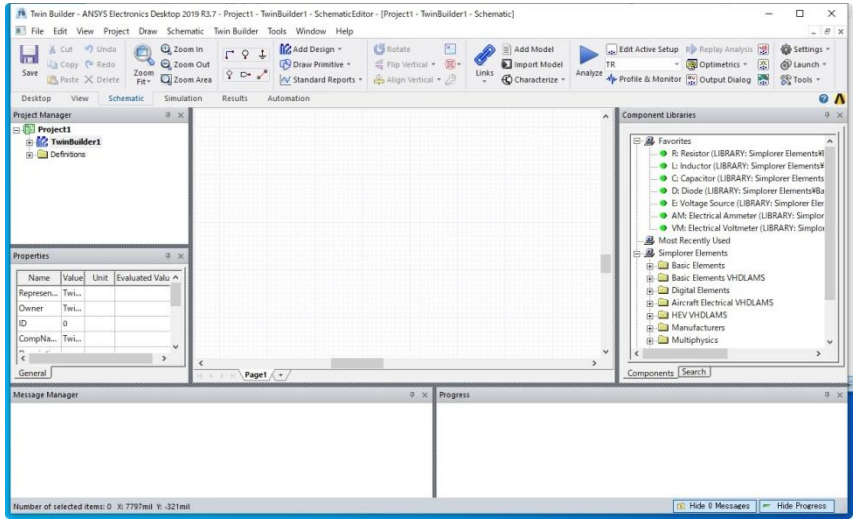
- 以降のページからTwin Builderによる回路の作成手順について説明します。

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

Twin Builderの起動

- ［スタート］
  ＞　［すべてのプログラム］
  ＞　［ANSYS EM Suite 2019 R3］
  ＞　［ ANSYS Twin Builder 2019 R3 ］
  を選択しTwin Builderを起動します。

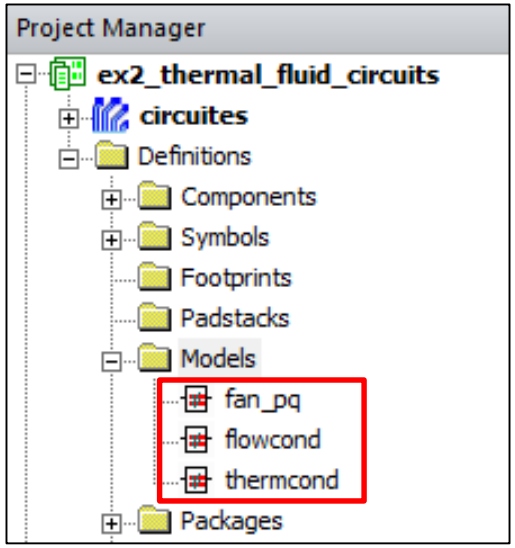




© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

設定ファイルの読み込み

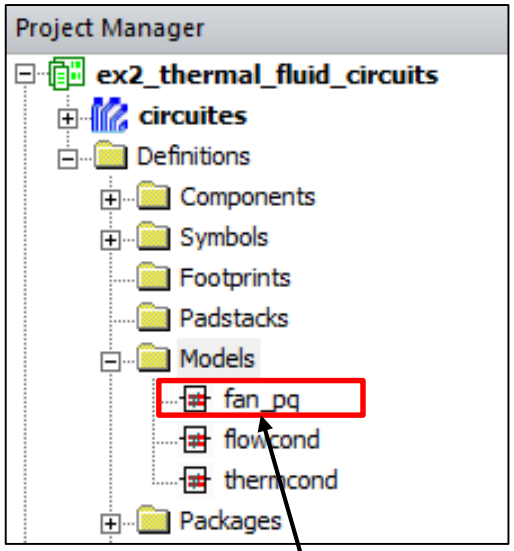
- [File] > [Open] から講師指定のフォルダにある”ex2_thermal_fluid_circuits.aedt”を開きます。
  - 作成済みのVHDLモデルをあらかじめ読み込んでいます。
  - [Definitions] > [Models] に下図のような3つのモデルがあることを確認します。



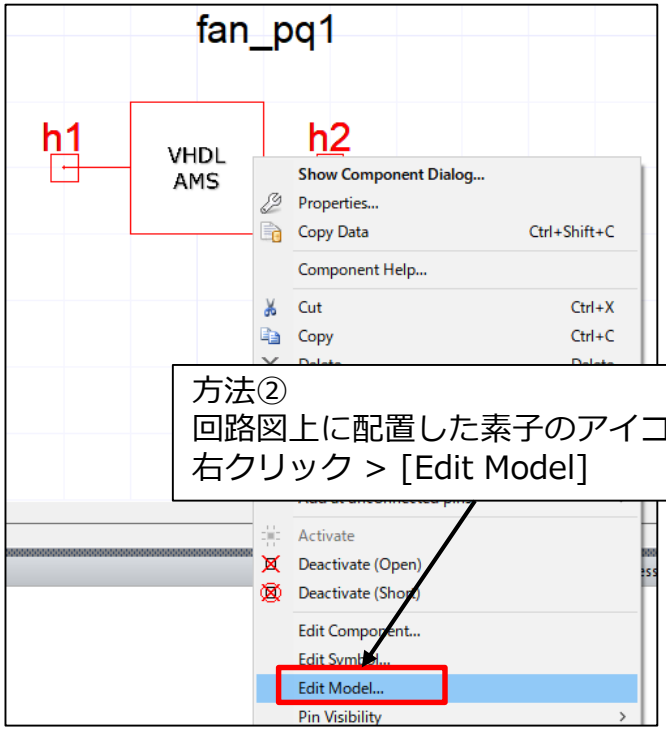
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

VHDLモデルの確認

- モデルの内容は以下の方法で確認できます。



方法①
[Definitions] > [Models] の項目名を
ダブルクリック



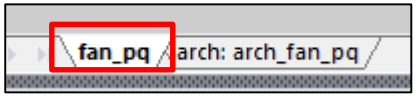
方法②
回路図上に配置した素子のアイコンを
右クリック > [Edit Model]

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

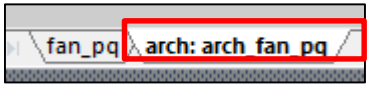
VHDLモデルの確認

- [Definitions] > [Models] > [fan_pq] をダブルクリックして内容を確認します。
  - ファンの挙動を模擬するため、PQ特性のデータに基づき、入力された圧力に応じた流量を出力する素子として定義しています。

```
1   ---------- VHDLAMS MODEL fan_pq ----------
2
3   ---------- ENTITY DECLARATION fan_pq ----------
4   LIBRARY IEEE;
5   USE IEEE.FLUIDIC_SYSTEMS.ALL;
6   USE IEEE.MATH_REAL.ALL;
7   Library FUNDAMENTALS_VDA;
8   USE FUNDAMENTALS_VDA.TLU_VDA.all;
9
10  ENTITY  fan_pq IS
11    PORT(TERMINAL h1, h2 : FLUIDIC);
12  END ENTITY fan_pq;
```




```
1   ---------- ARCHITECTURE DECLARATION arch_fan_pq ----------
2   ARCHITECTURE arch_fan_pq OF fan_pq IS
3
4   QUANTITY p ACROSS q THROUGH h1 TO h2;
5   CONSTANT p_map : real_vector := (0.0,15.0,25.0,45.0);
6   CONSTANT q_map : real_vector := (0.024,0.018,0.009,0.0);
7
8   BEGIN
9       q == lookup_1d(abs(p),p_map,q_map);
10  END ARCHITECTURE arch_fan_pq;
11  ---------- END VHDLAMS MODEL fan_pq ----------
```



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

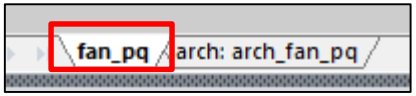
VHDLモデルの確認

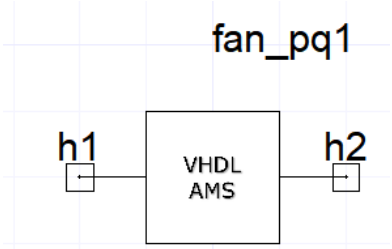
- [Definitions] > [Models] > [fan_pq] をダブルクリックして内容を確認します。
  - fan_pqタブ

```
1   ---------- VHDLAMS MODEL fan_pq ------
2
3   ---------- ENTITY DECLARATION fan_pq -
4   LIBRARY IEEE;
5   USE IEEE.FLUIDIC_SYSTEMS.ALL;
6   USE IEEE.MATH_REAL.ALL;
7   Library FUNDAMENTALS_VDA;
8   USE FUNDAMENTALS_VDA.TLU_VDA.all;
9
10  ENTITY  fan_pq IS
11    PORT(TERMINAL h1, h2 : FLUIDIC);
12  END ENTITY fan_pq;
```

- 必要なライブラリを読み込んでいます。
- [IEE.FLUIDIC_SYSTEMS.ALL] は流体回路の作成に必要なライブラリです。
- [IEE.MATH_REAL.ALL] は数学関数などの使用に必要なライブラリです。
- [FUNDAMENTALS_VDA.TLU_VDA.ALL] は後述のルックアップテーブルを使用するために必要なライブラリです。

- 素子を流れる変数を定義しています。
- ここでは流体回路の変数（流量）であることを宣言しています。





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

VHDLモデルの確認

- [Definitions] > [Models] > [fan_pq] をダブルクリックして内容を確認します。
  - arch:arch_fan_pqタブ

```
1   ---------- ARCHITECTURE DECLARATION arch_fan_pq --------
2   ARCHITECTURE arch_fan_pq OF fan_pq IS
3
4   QUANTITY p ACROSS q THROUGH h1 TO h2;
5   CONSTANT p_map : real_vector := (0.0,15.0,25.0,45.0);
6   CONSTANT q_map : real_vector := (0.024,0.018,0.009,0.0);
7
8   BEGIN
9       q == lookup_1d(abs(p),p_map,q_map);
10  END ARCHITECTURE arch_fan_pq;
11  ---------- END VHDLAMS MODEL fan_pq ----------
```

fan_pq | arch: arch_fan_pq

- 素子の挙動を表現するための変数を定義しています。
- ここでは流体回路の素子としており、”p”を圧力、”q”を流量としています。

- 圧力と流量の配列データを定義しています。これらのデータをルックアップテーブルの入力データとして使用します。
- 独立変数となる圧力のデータは昇順である必要があります。

- ファンを圧力に応じて流量が変化する流量ソースとして表現しています。
- 圧力は負圧になる場合もあるため、絶対値として入力します。
- データ点間の数値は線形補間で求められます。また、最大値以上（最小値以下）の入力に対してはデータの最大値（最小値）がそのまま使用されます。

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

VHDLモデルの確認

- [Definitions] > [Models] > [flowcond] をダブルクリックして内容を確認します。
  - 圧力の二乗根に比例する流体抵抗を持つ素子を定義しています。

```
1   ---------- VHDLAMS MODEL flowcond ----------
2
3   ---------- ENTITY DECLARATION flowcond -------
4   LIBRARY IEEE;
5   USE IEEE.FLUIDIC_SYSTEMS.ALL;
6   USE IEEE.MATH_REAL.ALL;
7
8   ENTITY  flowcond IS
9     GENERIC(
10          area : REAL := 0.045; -- area [m^2]
11          rho : REAL := 1.15; -- density of air
12          beta : REAL := 0.2 -- aperture ratio [
13   );
14    PORT( TERMINAL h1, h2 : FLUIDIC );
15  END ENTITY flowcond;
```

flowcond | arch: arch_flowcond

```
1   ---------- ARCHITECTURE DECLARATION arch_flowcond ----------
2   ARCHITECTURE arch_flowcond OF flowcond IS
3
4   QUANTITY p ACROSS q THROUGH h1 TO h2;
5   CONSTANT zeta : REAL := 2.5*(1.0-beta)/(beta**2); -- pressure
6   CONSTANT cond : REAL := sqrt(2.0*area**2/(zeta*rho)); -- flow
7   BEGIN
8       q == cond*sqrt(p);
9   END ARCHITECTURE arch_flowcond;
10  ---------- END VHDLAMS MODEL flowcond ----------
```

flowcond | arch: arch_flowcond

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

VHDLモデルの確認

- [Definitions] > [Models] > [flowcond] をダブルクリックして内容を確認します。
  - flowcondタブ

```
1   ---------- VHDLAMS MODEL flowcond ---
2
3   ---------- ENTITY DECLARATION flowcon
4   LIBRARY IEEE;
5   USE IEEE.FLUIDIC_SYSTEMS.ALL;
6   USE IEEE.MATH_REAL.ALL;
7
8   ENTITY  flowcond IS
9     GENERIC(
10          area : REAL := 0.045; -- area
11          rho : REAL := 1.15; -- densi
12          beta : REAL := 0.2 -- apertu
13    );
14    PORT( TERMINAL h1, h2 : FLUIDIC );
15  END ENTITY flowcond;
```

flowcond | arch: arch_flowcond

- 必要なライブラリを読み込んでいます。
- [IEE.FLUIDIC_SYSTEMS.ALL] は流体回路の作成に必要なライブラリです。
- [IEE.MATH_REAL.ALL] は数学関数などの使用に必要なライブラリです。

- 流体抵抗（コンダクタンス）の算出に必要なパラメータを定義しています。
- [area] は流路の断面積、[rho] は流体（空気）の密度、[beta] は開口率（圧損係数の計算に使用）です。
- 圧損係数の計算式はパンチングメタルを想定した式を使用しています（次ページ）。

- 素子を流れる変数を定義しています。
- ここでは流体回路の変数（流量）であることを宣言しています。

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

VHDLモデルの確認

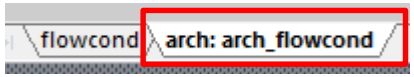
- [Definitions] > [Models] > [flowcond] をダブルクリックして内容を確認します。
  - arch:arch_flowcondタブ

```
1   ---------- ARCHITECTURE DECLARATION arch_flowcond ---
2   ARCHITECTURE arch_flowcond OF flowcond IS
3
4   QUANTITY p ACROSS q THROUGH h1 TO h2;
5   CONSTANT zeta : REAL := 2.5*(1.0-beta)/(beta**2); --
6   CONSTANT cond : REAL := sqrt(2.0*area**2/(zeta*rho));
7   BEGIN
8       q == cond*sqrt(p);
9   END ARCHITECTURE arch_flowcond;
10  ---------- END VHDLAMS MODEL flowcond ----------
```

- 素子の挙動を表現するための変数を定義しています。
- ここでは流体回路の素子としており、”p”を圧力、”q”を流量としています。

- 圧損係数と流体抵抗（コンダクタンス）を下式に基づき算出しています。

- 流量が圧力の二乗根に比例するという関係式を定義しています。



流量と圧力の関係

$$Q = \underbrace{\sqrt{\frac{2A^2}{\zeta\rho}}}_{\text{流体抵抗の逆数（コンダクタンス）}}\sqrt{P}$$

圧損係数（パンチングメタル）

$$\zeta = 2.5 \times \frac{1-\beta}{\beta^2}$$

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

VHDLモデルの確認

- [Definitions] > [Models] > [thermcond] をダブルクリックして内容を確認します。
  - 流体による熱輸送効果を表現するため、一方向にのみ熱が流れる熱抵抗素子を定義しています。

```
1   ---------- VHDLAMS MODEL simmodel ----------
2
3   ---------- ENTITY DECLARATION simmodel ----------
4   LIBRARY IEEE;
5   USE IEEE.THERMAL_SYSTEMS.ALL;
6   USE IEEE.MATH_REAL.ALL;
7
8   ENTITY thermcond IS
9       GENERIC (
10          flrt : real := 0.001; -- flowrate [m^3/s]
11          rho : real := 1.15; -- density [kg/m^3]
12          spec : real := 1000.0 -- specific heat capa
13      );
14      PORT (TERMINAL th1,th2 : THERMAL);
15  END ENTITY thermcond;
```

thermcond | arch: arch_thermcond

```
1   ---------- ARCHITECTURE DECLARATION arch_thermcond -------
2   ARCHITECTURE arch_thermcond OF thermcond IS
3       QUANTITY t1 ACROSS th1;
4       QUANTITY h1 THROUGH THERMAL_REF TO th1;
5
6       QUANTITY t2 ACROSS th2;
7       QUANTITY h2 THROUGH THERMAL_REF TO th2;
8
9       CONSTANT cond : real := rho*spec*flrt; -- thermal cond
10   BEGIN
11
12          h1 == 0.0;
13          h2 == cond*(t1 - t2);
14
15  END ARCHITECTURE arch_thermcond;
16  ---------- END VHDLAMS MODEL thermcond ----------
```

thermcond | arch: arch_thermcond

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

VHDLモデルの確認

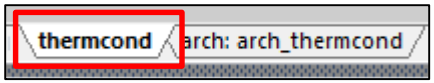
- [Definitions] > [Models] > [thermcond] をダブルクリックして内容を確認します。
  - thermcondタブ

```
1   ---------- VHDLAMS MODEL simmodel ------
2
3   ---------- ENTITY DECLARATION simmodel -
4   LIBRARY IEEE;
5   USE IEEE.THERMAL_SYSTEMS.ALL;
6   USE IEEE.MATH_REAL.ALL;
7
8   ENTITY thermcond IS
9       GENERIC (
10          flrt : real := 0.001; -- flowrat
11          rho : real := 1.15; --density [
12          spec : real := 1000.0 -- specifi
13      );
14      PORT (TERMINAL th1,th2 : THERMAL);
15  END ENTITY thermcond;
```

- 必要なライブラリを読み込んでいます。
- [IEE.THERMAL_SYSTEMS.ALL] は熱回路の作成に必要なライブラリです。
- [IEE.MATH_REAL.ALL] は数学関数などの使用に必要なライブラリです。

- 熱抵抗（熱輸送コンダクタンス）の算出に必要なパラメータを定義しています。
- [flrt] は流量、[rho] は流体（空気）の密度、[spec] は流体（空気）の比熱です。

- 素子を流れる変数を定義しています。
- ここでは熱回路の変数（熱流）であることを宣言しています。



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

VHDLモデルの確認

- [Definitions] > [Models] > [thermcond] をダブルクリックして内容を確認します。
  - arch:arch_thermcondタブ

```
1   ---------- ARCHITECTURE DECLARATION arch_thermc
2   ARCHITECTURE arch_thermcond OF thermcond IS
3       QUANTITY t1 ACROSS th1;
4       QUANTITY h1 THROUGH THERMAL_REF TO th1;
5
6       QUANTITY t2 ACROSS th2;
7       QUANTITY h2 THROUGH THERMAL_REF TO th2;
8
9       CONSTANT cond : real := rho*spec*flrt;
10   BEGIN
11
12          h1 == 0.0;
13          h2 == cond*(t1 - t2);
14
15  END ARCHITECTURE arch_thermcond;
16  ---------- END VHDLAMS MODEL thermcond --------
```

thermcond | arch: arch_thermcond

- 素子の挙動を表現するための変数を定義しています。
- ここでは素子の端子ごとの温度と熱流をそれぞれ”t1, t2”および”h1, h2”と定義しています。

- 下式に基づき熱抵抗（熱輸送コンダクタンス）を算出しています。

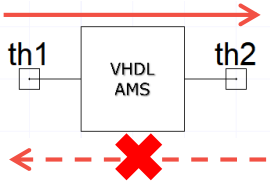
- 素子の端子ごとに熱流を別々に定義しています。
- 今回の場合、流体による熱輸送効果を模擬するため、右側の端子にのみ温度差に比例した熱流が流れるように一方向性の熱抵抗素子として定義しています。

熱輸送コンダクタンス

$$G = \rho c Q$$

密度×比熱×流量

熱流の流れ（一方向）

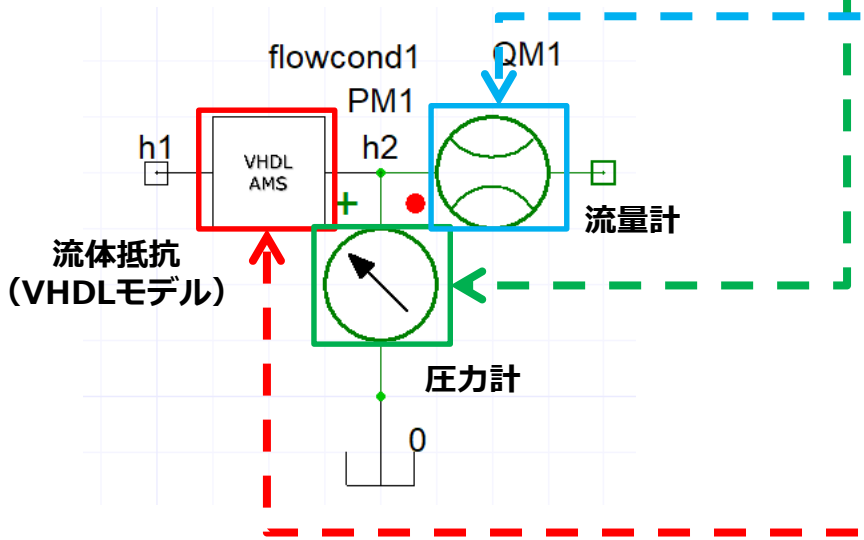


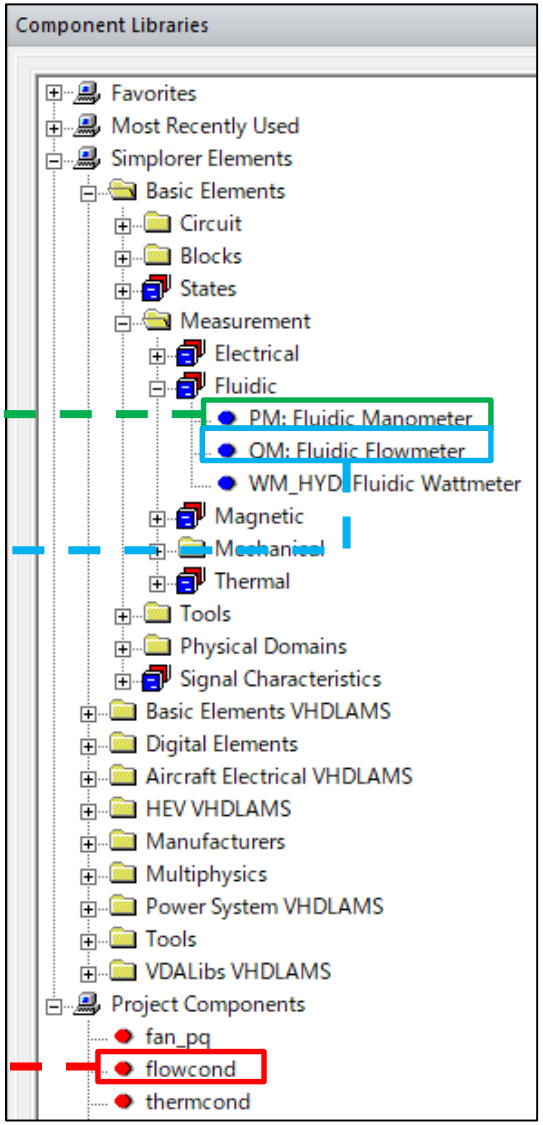
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

Ansys

流体回路の作成

- “circuits”をダブルクリックしてデザイン画面に戻り、下図のような回路を作成します。
  - 基本的な回路の作成手順については【例題1：Ansys Twin Builder の基本操作】をご参照ください。

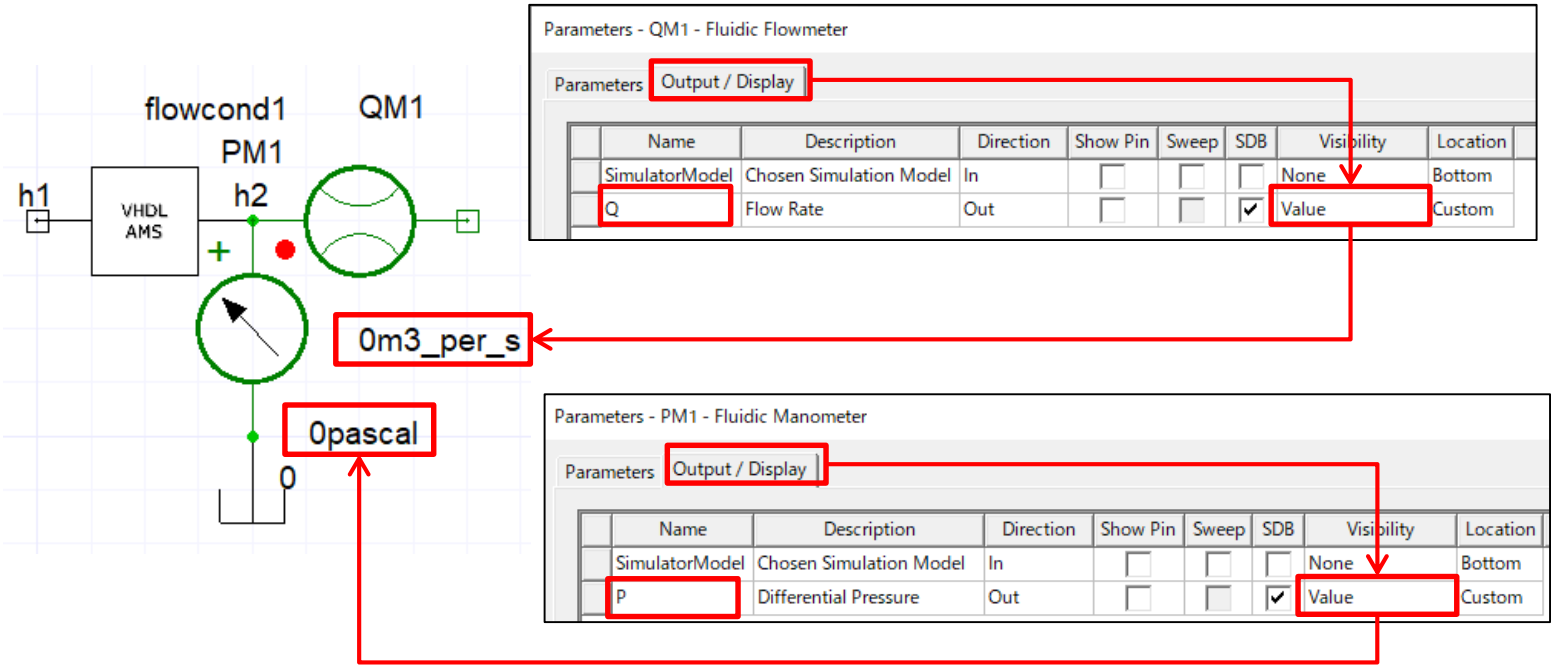




© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

流体回路の作成

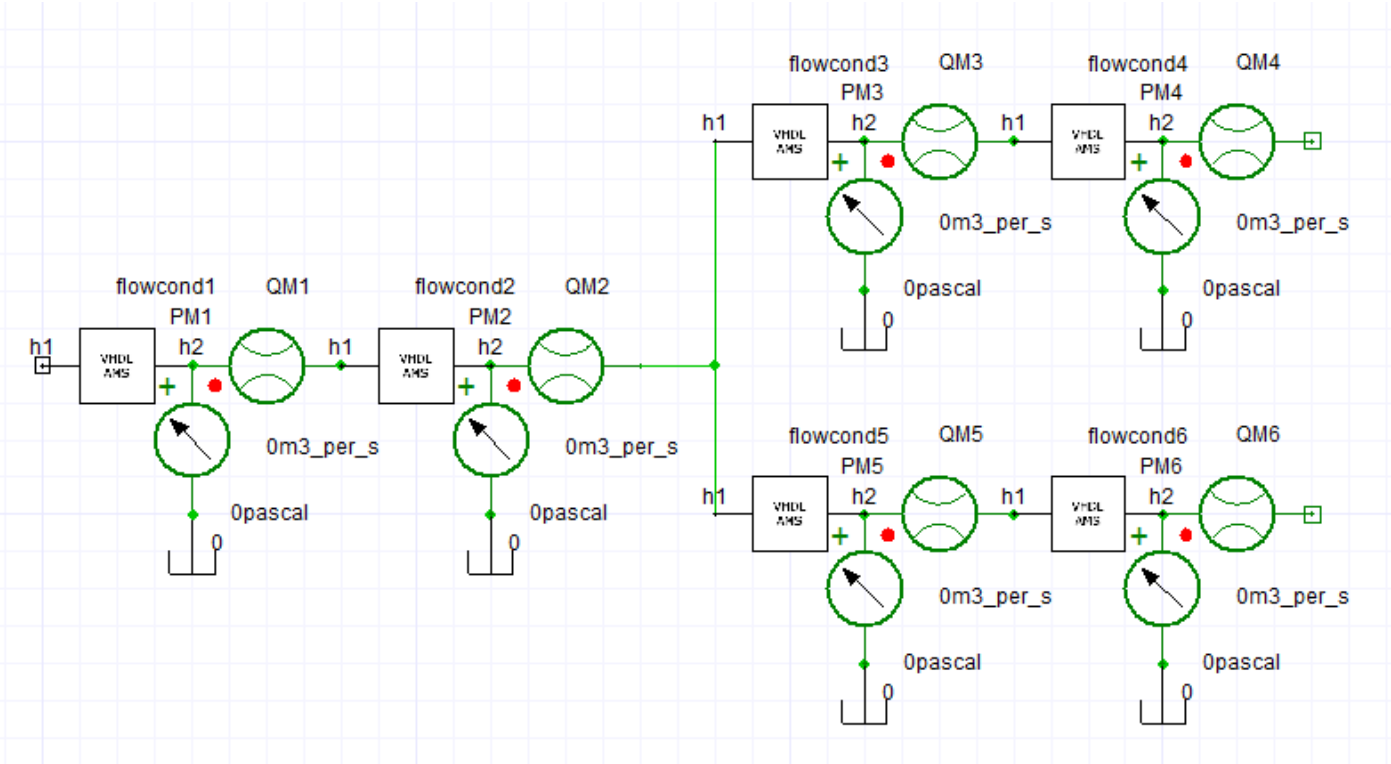
- 圧力と流量の値を回路図上で表示するように設定します。
  - 素子をダブルクリックし、[Output/Display] タブで表示したい量を [Visibility] > [Value] に変更します
    - 表示される数値はドラッグで移動できます。



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

流体回路の作成

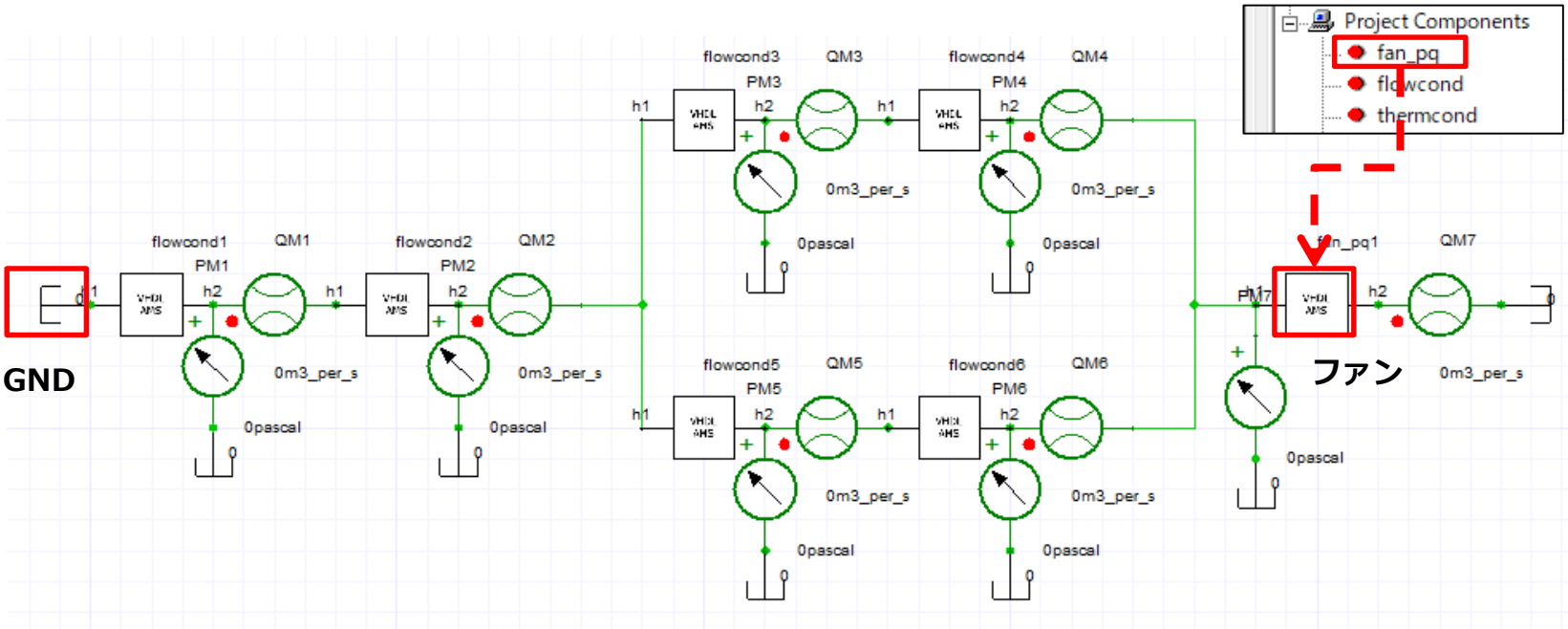
- 作成した回路を矩形選択でコピーして下図のような回路を作成します。
  - 同じ構成のブロックを合計6個配置します。



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

流体回路の作成

- 回路の右側にファンの素子を追加し、最終的に下図のような回路を作成します。

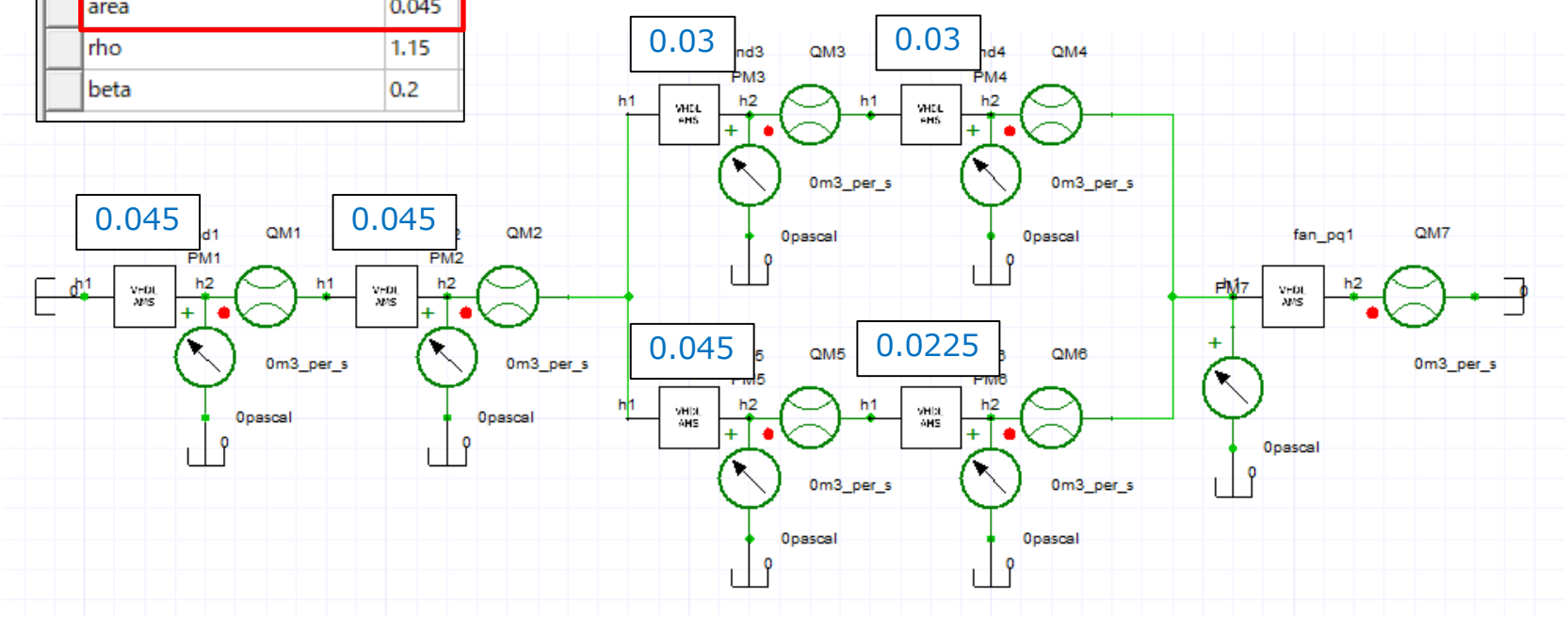


© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

流体回路の作成

- 各流体抵抗の断面積を下図のように設定します。
  - 空気の密度（rho）と開口率（beta）はそのままとします。

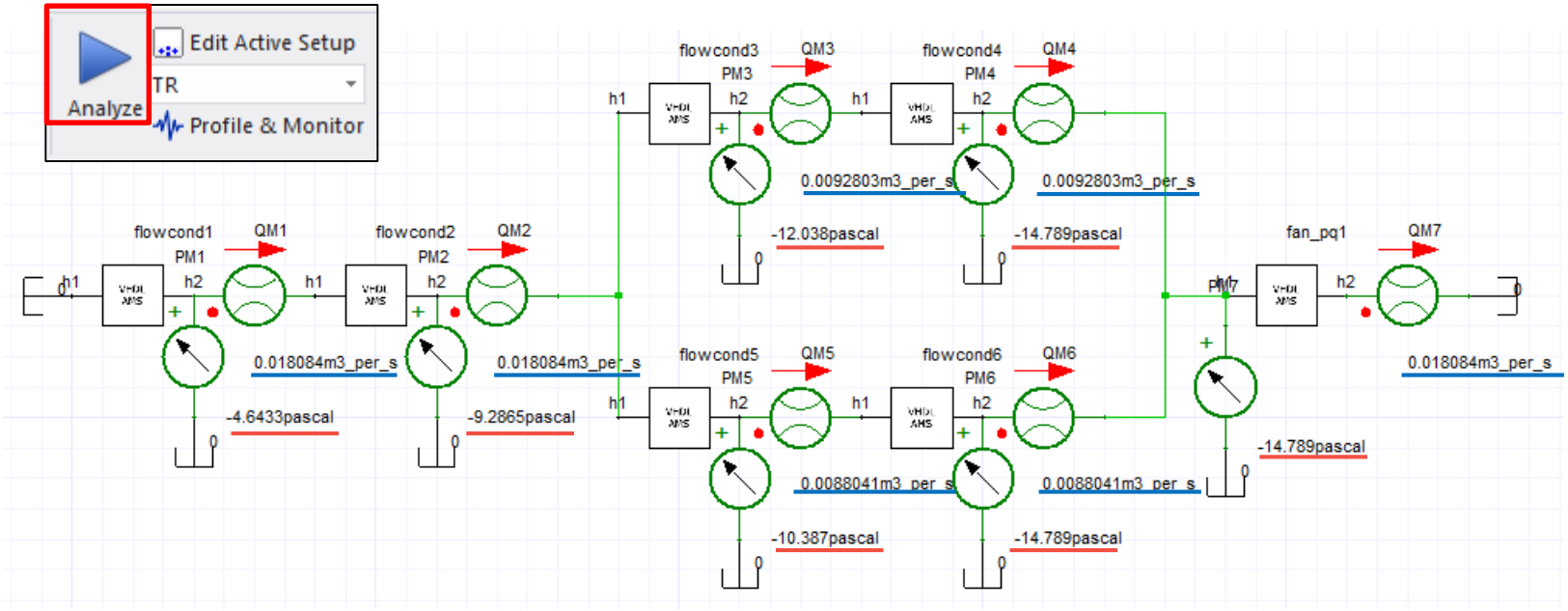
Name	Value
area	0.045
rho	1.15
beta	0.2



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

流体回路の作成

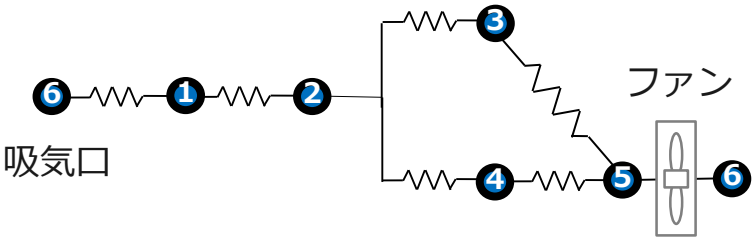
- [Analyze] ボタンをクリックして計算を実行すると、各抵抗素子における圧力と流量の値が表示されます。
  - 入口側を大気圧（GND）に取っているため、圧力の結果は負圧になります。



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

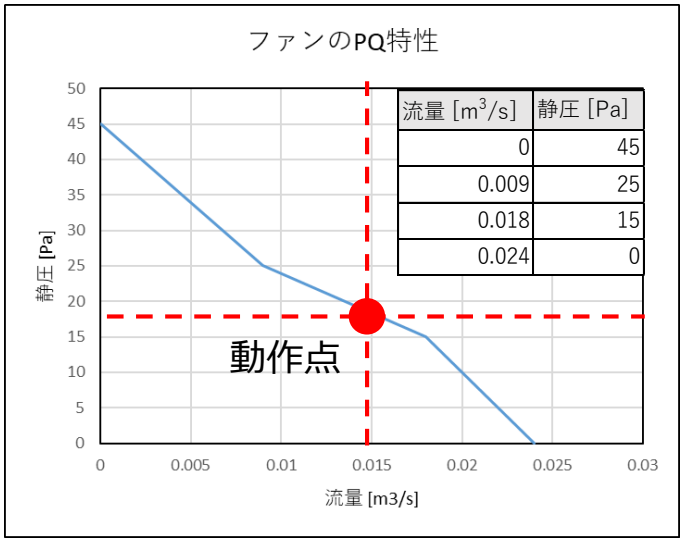
流体回路の計算結果

- 計算結果をまとめると下表のようになります。
  - ファンの流量と圧力の値から、ファンの動作点が最大流量の75%程度であることがわかります。



計算結果

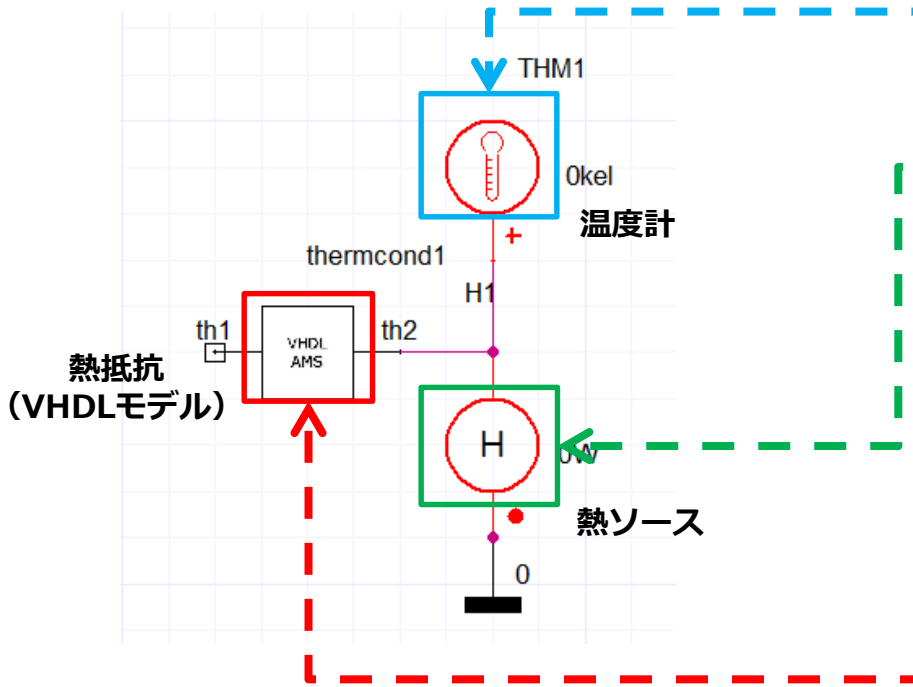
節点	圧力 [Pa]	流量 [m³/s]
⑥→①	4.6433	0.0180844
①→②	9.2865	0.0180844
②→③	12.038	0.0092803
③→⑤	14.789	0.0092803
②→④	10.387	0.0088041
④→⑤	14.789	0.0088041
ファン	**14.789**	**0.0180844**

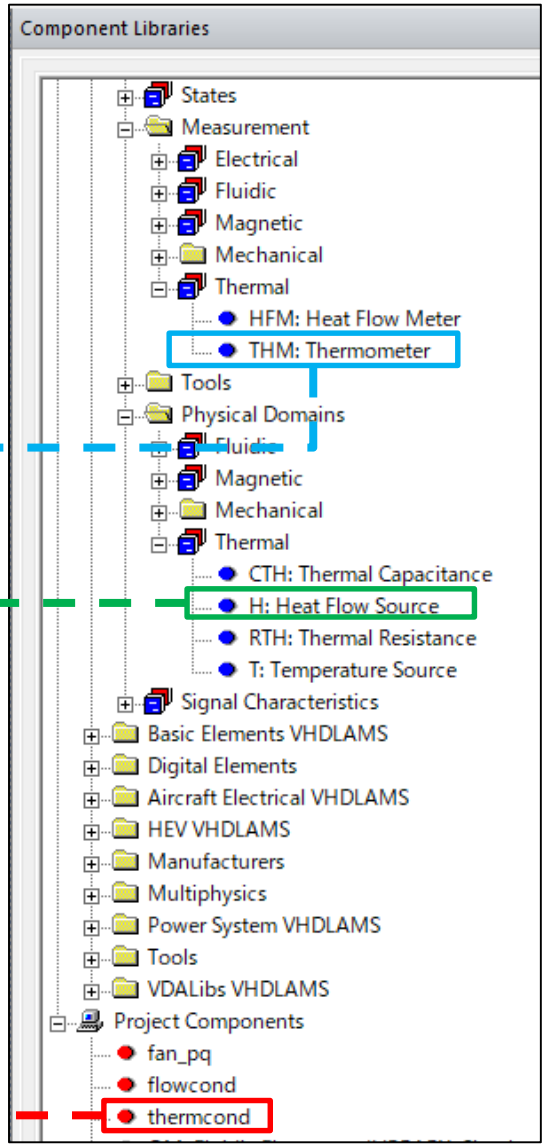


© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路の作成

- 作成済みの流体回路の下側のスペースに下図のような熱回路を作成します。
  - 先程と同様の手順で温度計の温度（T）と熱ソースの熱流（H）を回路図上に表示します。

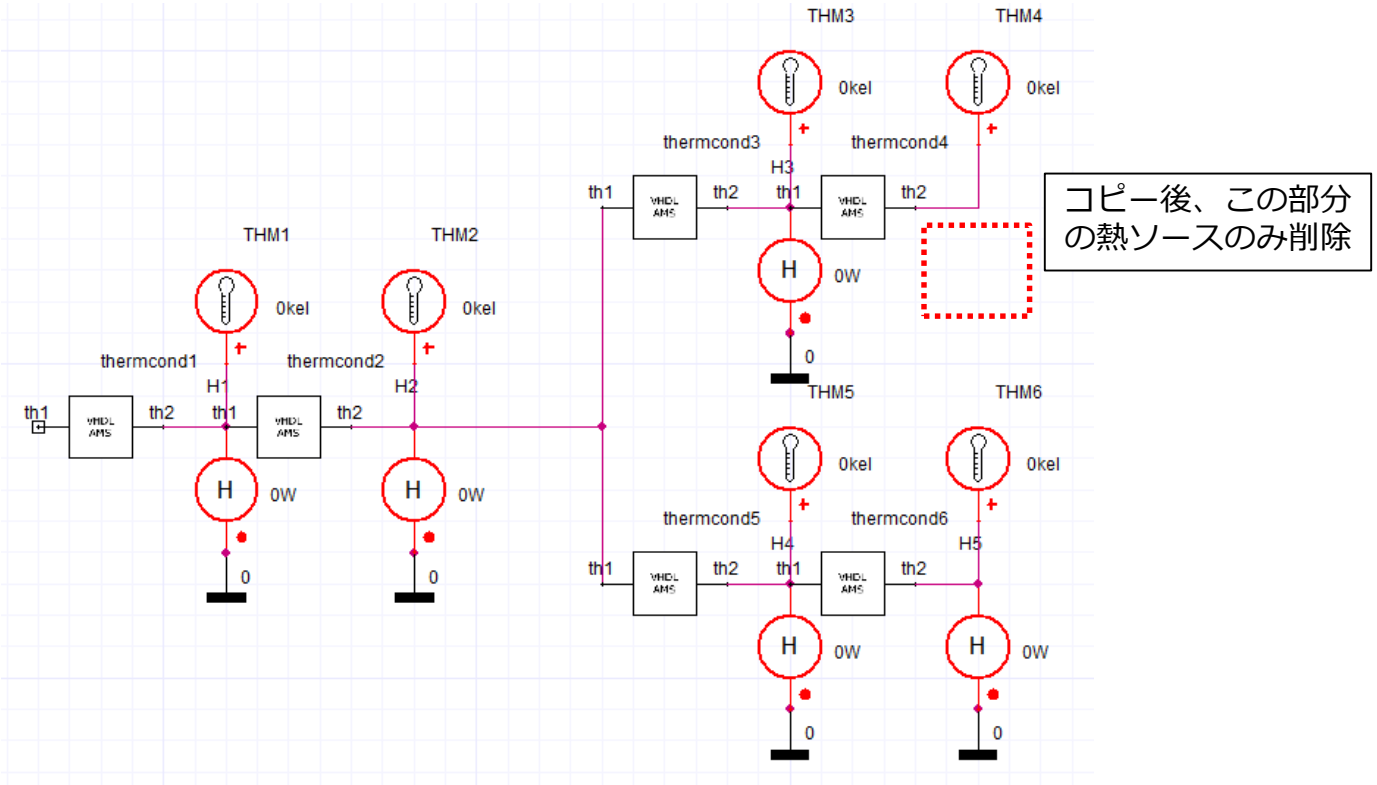




© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路の作成

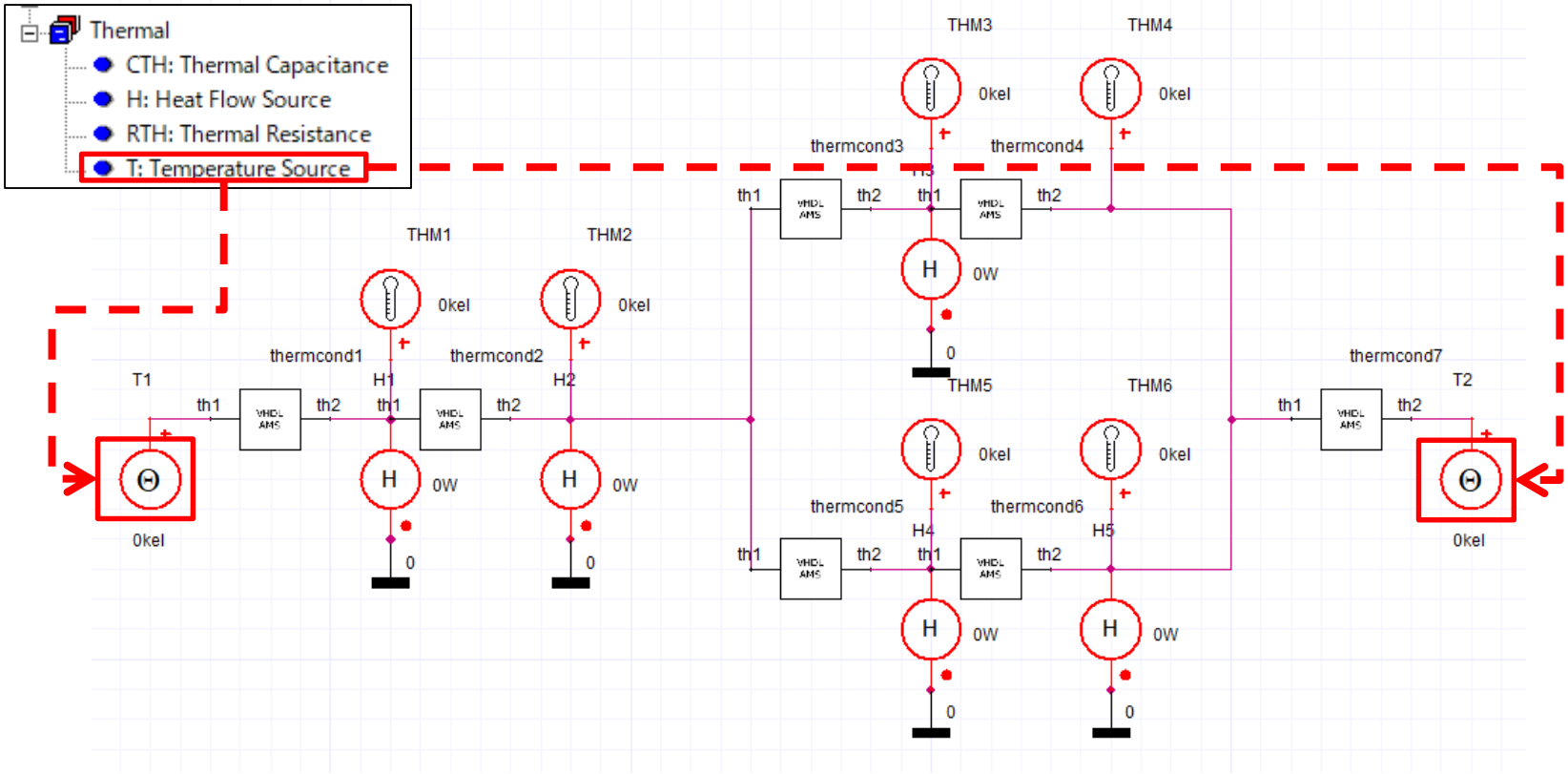
- 作成した回路を矩形選択でコピーして下図のような回路を作成します。
  - 同じ構成のブロックを合計6個配置します。



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

熱回路の作成

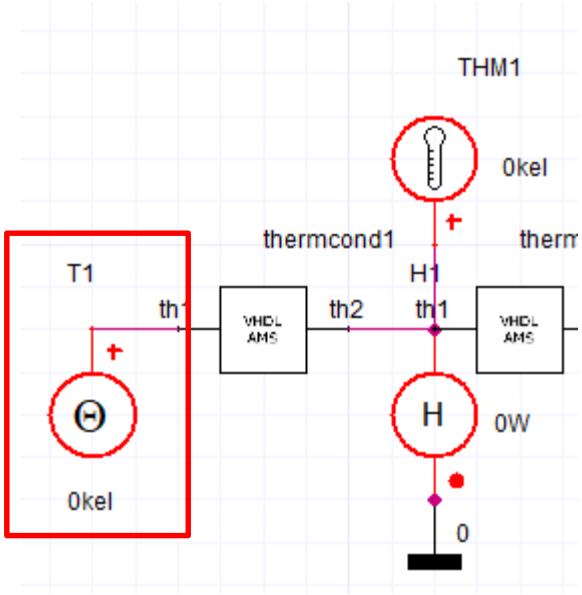
- 温度ソースなどを追加し、最終的に下図のような回路を作成します。

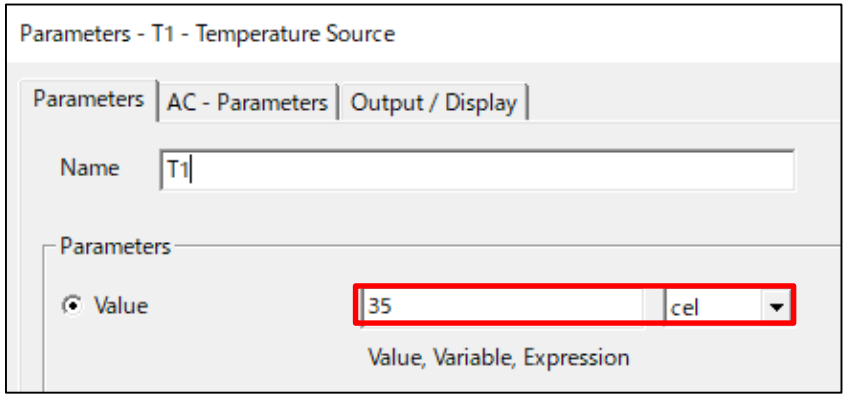


© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路の作成

- 温度ソースの値を雰囲気温度を 35 [C] に設定します。
  - 右端の温度ソースも同様に設定します。

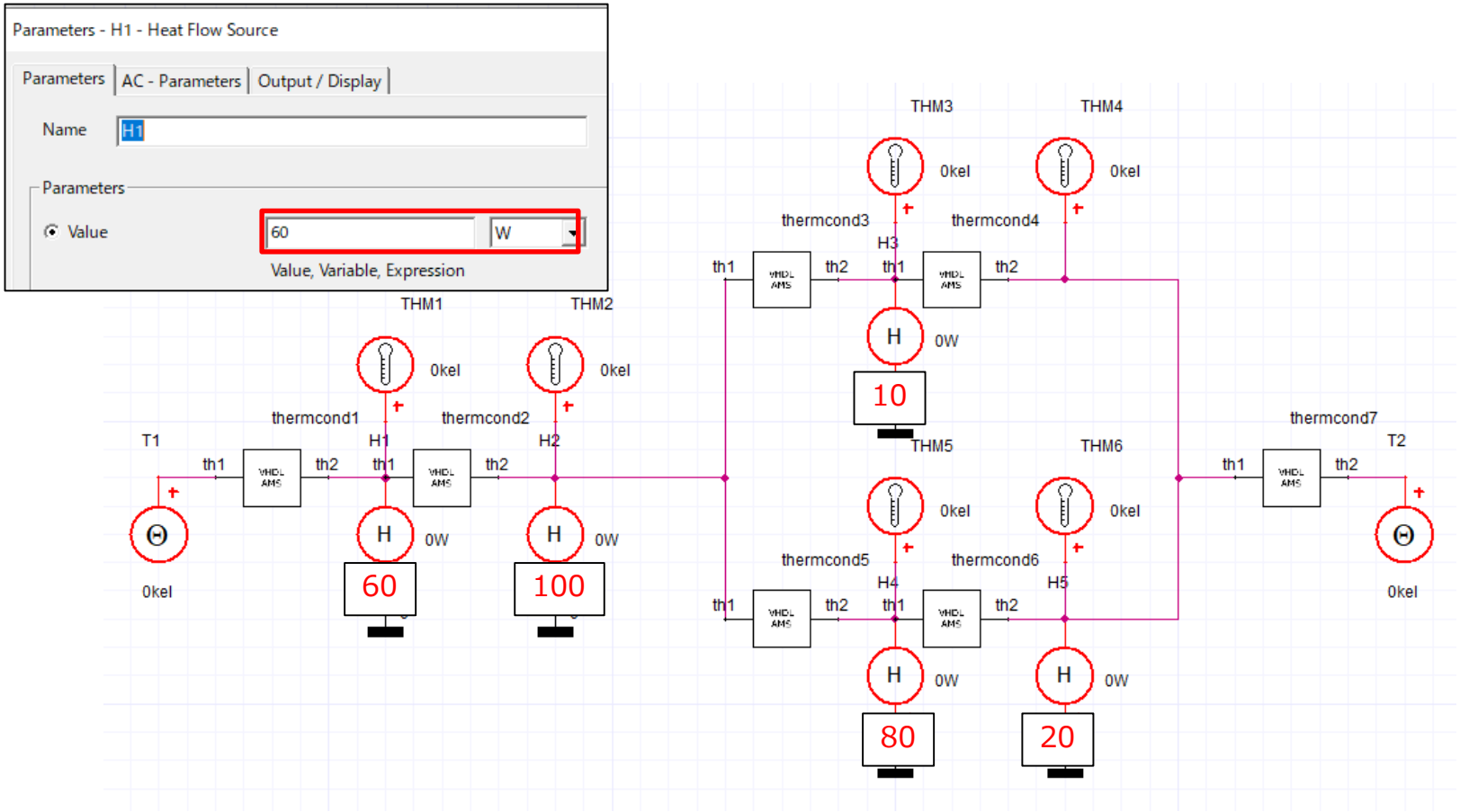




© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路の作成

- 各熱ソースの値を下図のように設定します。

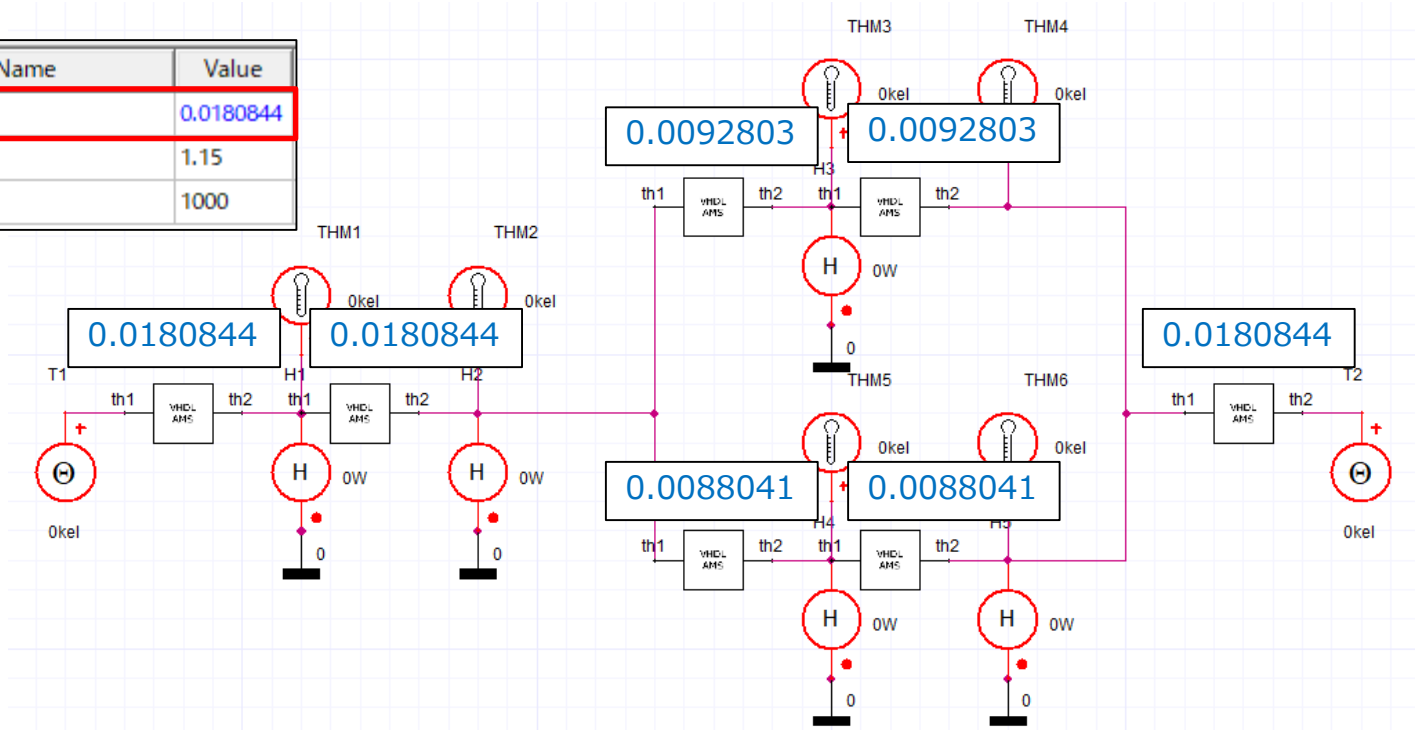


© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路の作成

- 各熱抵抗の流量を下図のように設定します。
  - 作成済みの流体回路の対応する流量値を用いて熱輸送コンダクタンスを計算します。
  - 空気の密度（rho）と比熱（spec）はそのままとします。

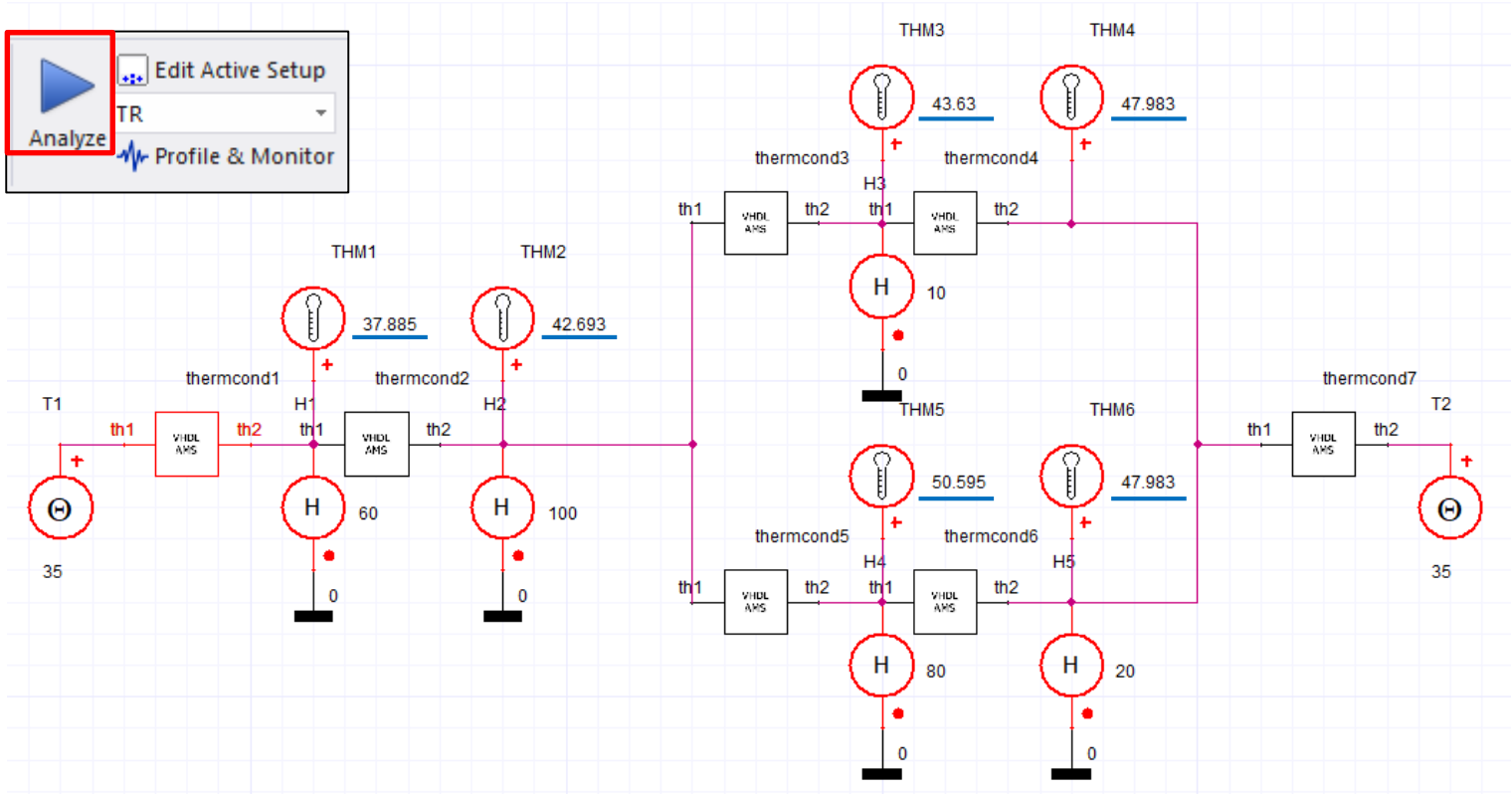
Name	Value
flrt	0.0180844
rho	1.15
spec	1000



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

熱回路の作成

- [Analyze] ボタンをクリックして計算を実行すると、各抵抗素子における温度の値が表示されます。



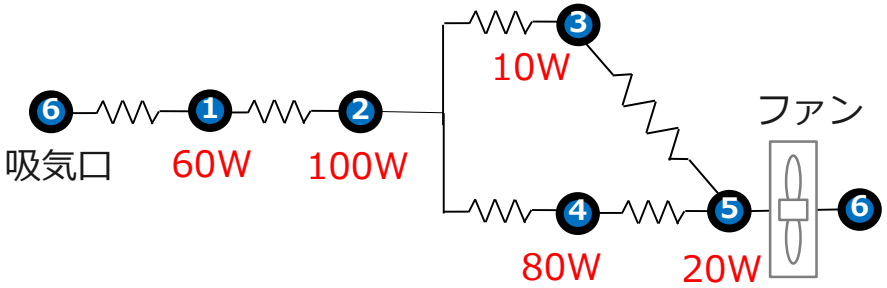
© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

熱回路の作成

- 計算結果をまとめると下表のようになります。
  - 空気の熱輸送効果により、下流側に行くほど温度が高くなり、流れ方向にのみ熱が移動している様子が確認できます。
  - 流量が小さく、発熱量の大きな節点4で温度が最大値を取ることがかります。

計算結果

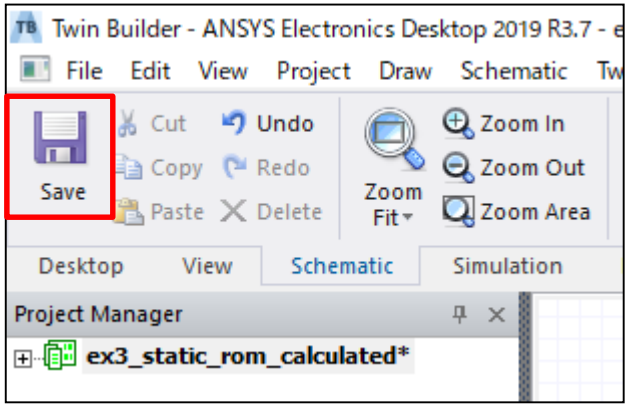
節点	温度 [C]
⑥	35
①	37.885
②	42.693
③	43.63
④	**50.595**
⑤	47.983

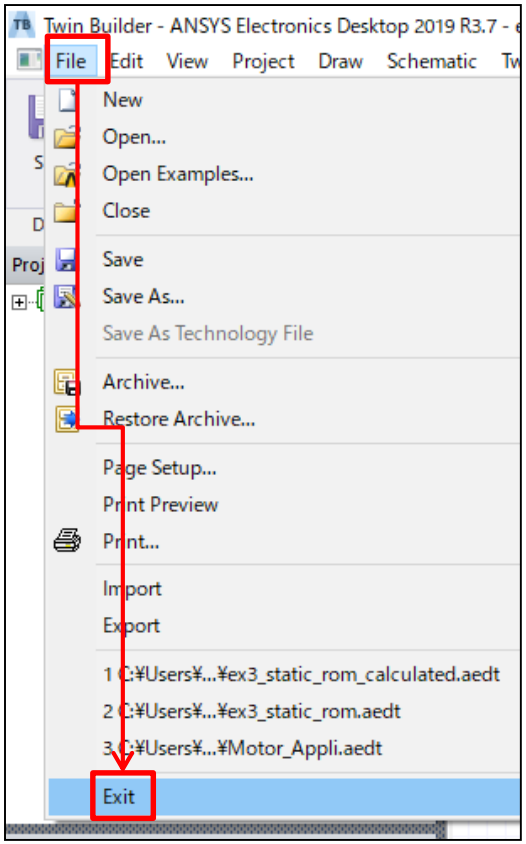


© 2020 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

Twin Builderの終了

- [Save] ボタンをクリックして設定を保存し、[File] > [Exit] からTwin Builderを終了します。





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

まとめ

- ファンによる熱輸送効果を模擬するため、VHDL-AMSによる素子モデルを用いた熱流体回路を作成し、簡単なシミュレーションを行いました。
  - VHDL-AMSによって通常のライブラリにはない素子を作成することで、熱輸送効果を考慮した熱流体回路を作成できます。
  - ファン特性、流体抵抗、発熱量などのパラメータを変更することで様々な条件下における熱流体回路シミュレーションを実施できます。

参考資料

- 国峰尚樹,中村篤,『熱設計と数値シミュレーション』,オーム社（2015）

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