

オープンCAE勉強会@富山（第64回）

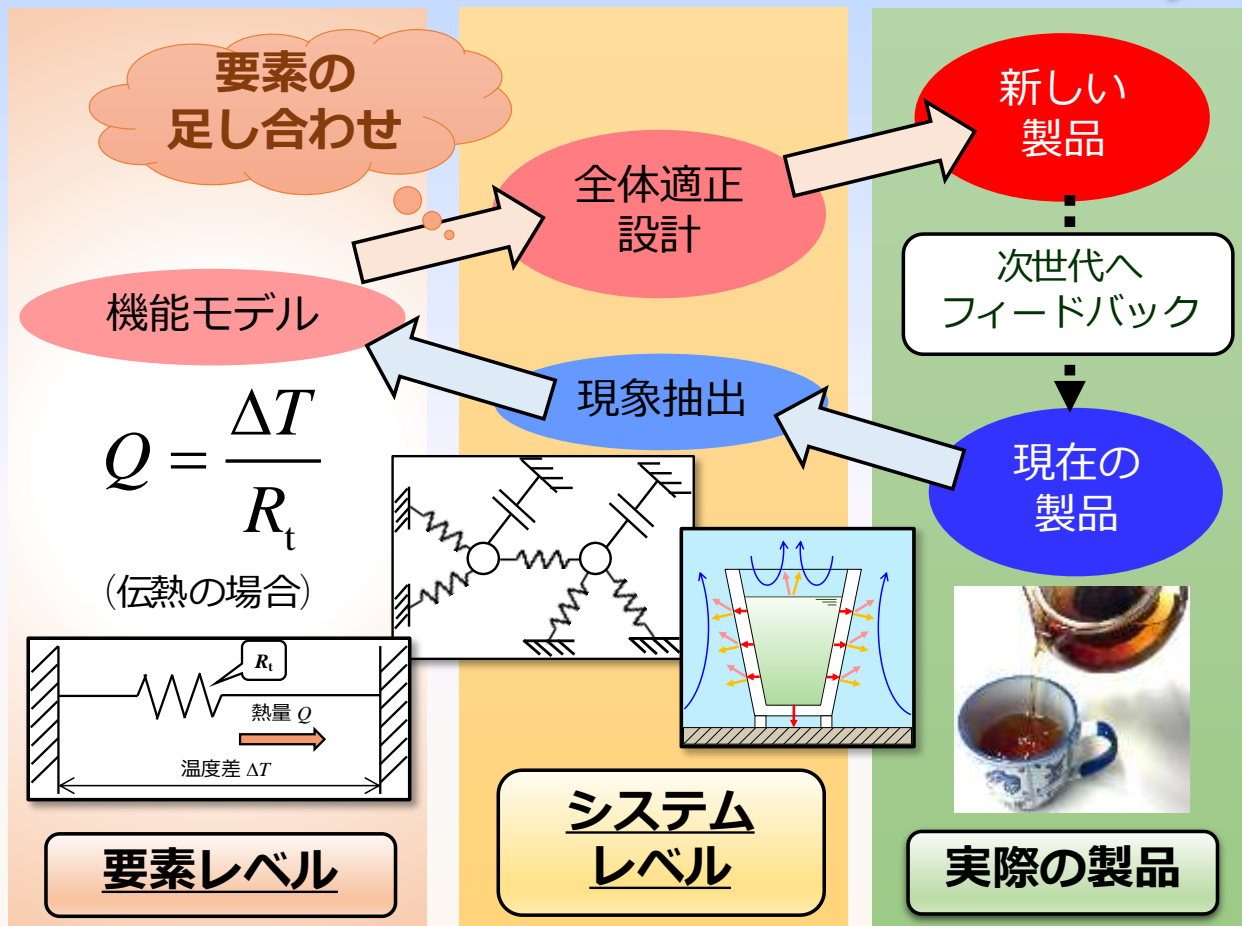
(Jun. 16th, 2018 @大学コンソーシアム富山「駅前キャンパス」)

1DCAE概念に基づく 熱流体問題への OpenModelica解析の導入

***福江 高志**

1DCAEとリバーズ1DCAE^{[1][2]}:

新規製品設計 → 1DCAE



実際の製品で発生する伝熱をシステムレベルで切り分ける



切り分けた伝熱プロセス各々に、そのレベルを規定する「機能モデル」を当てはめる。



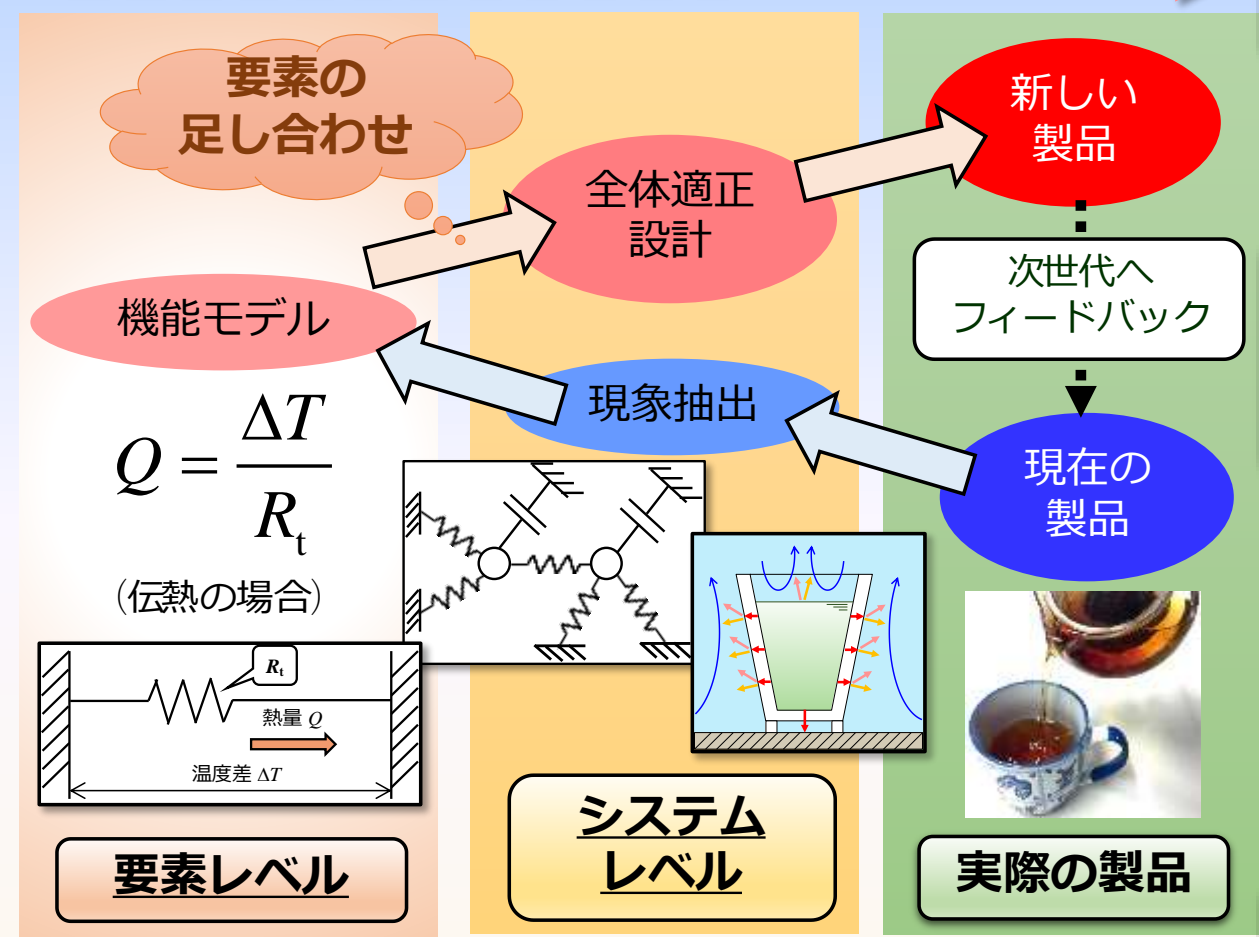
機能モデルに基づき熱設計を行い、全体適正設計へ展開する

実現象の次元縮退 (Model-Order Reduction: MOR)
→ リバーズ1DCAE

- [1] 大富, “ものづくりとひとづくりのための1DCAE”, 設計工学, 51-3 (2016), 129-138.
[2] 福江, “「二重の紙コップ」を科学する ~ 伝熱と1DCAE ~”, 日本機械学会誌, Vol. 120, No. 1188 (2017), 20-23.

1DCAEとリバーズ1DCAE^{[1][2]}:

新規製品設計 → 1DCAE



Modelicaでシミュレーションする？

- システムレベルの物理現象の繋がり
- 要素レベルの機能モデル

➡ 対象の現象次第
➡ 自動ではやってくれない

Modelicaを運用する：
・ 現象の抽出
・ 機能モデルあてはめ
MOR: Model-Order Reduction の実施必須

実現現象の次元縮退 (Model-Order Reduction: MOR)
➡ リバーズ1DCAE

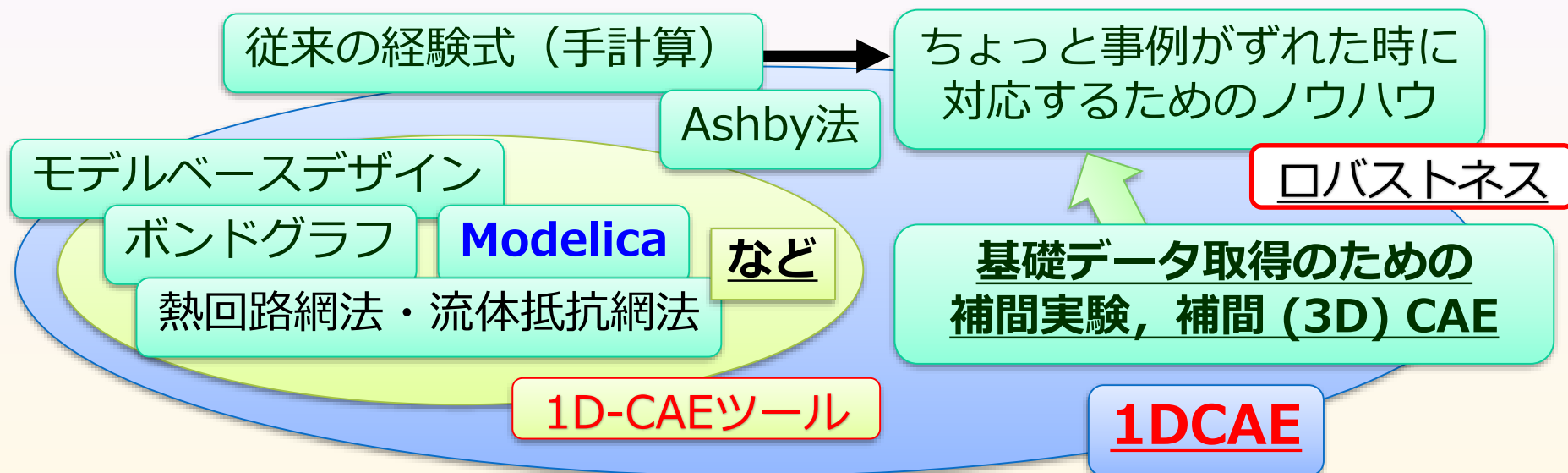
[1] 大富, “ものづくりとひとづくりのための1DCAE”, 設計工学, 51-3 (2016), 129-138
[2] 福江, “「二重の紙コップ」を科学する ~ 伝熱と1DCAE ~”, 日本機械学会誌, Vol. 12

1DCAE概念：

「**物事の本質を的確に捉え、見通しの良い形式でシンプルに表現する**」^[3]
に基づく上流設計を実現する中で、OpenModelicaを
運用するためのプロセスを、熱流体問題を事例に追う。

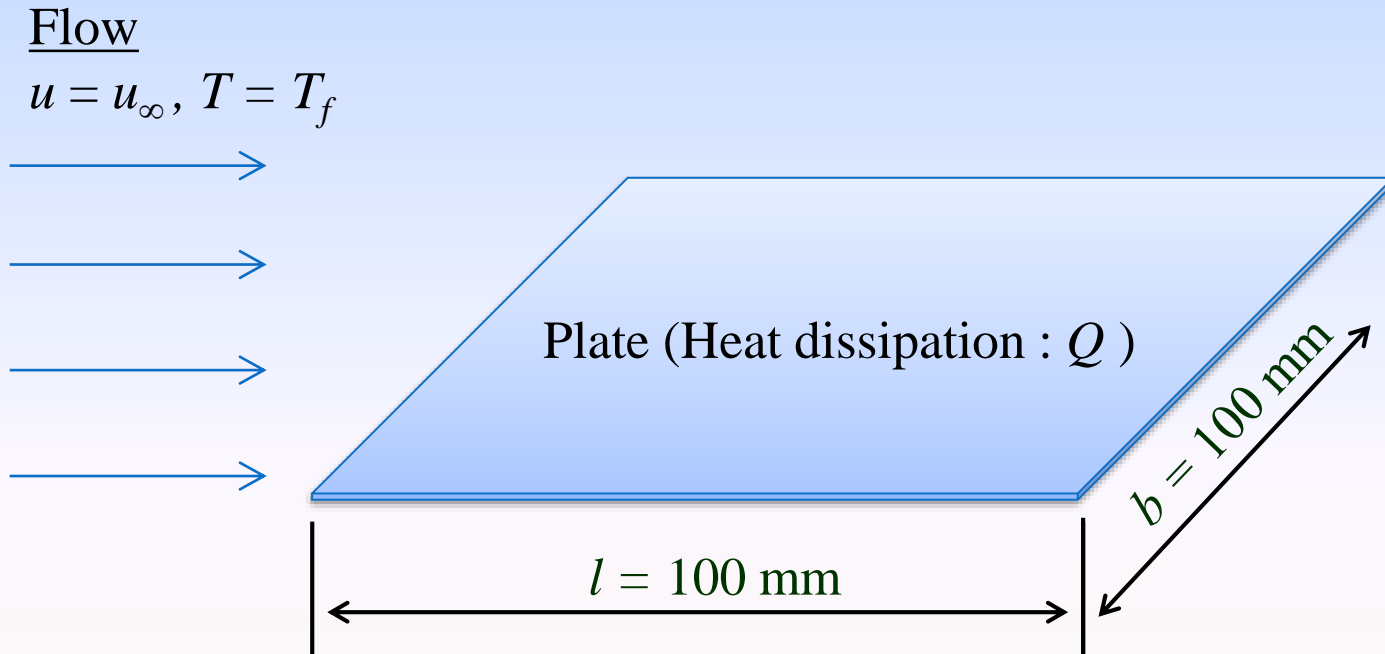
- ① 解析対象で発生する現象の切り分け
- ② 機能モデルの構築
- ③ OpenModelica 内での1D-CAE解析モデルの構築と解析
- ④ 結果の確認 までの流れを確認。

**注) 1DCAE：設計の上流段階から適用可能な製品の価値や機能を
起点とした考え方および手法の概念, ツール**^[3]



[1] 最初の事例：

一様の流速の空気の中に置かれた加熱平板



① 何を解きたいのか（何を求めたいのか？）を明確化する

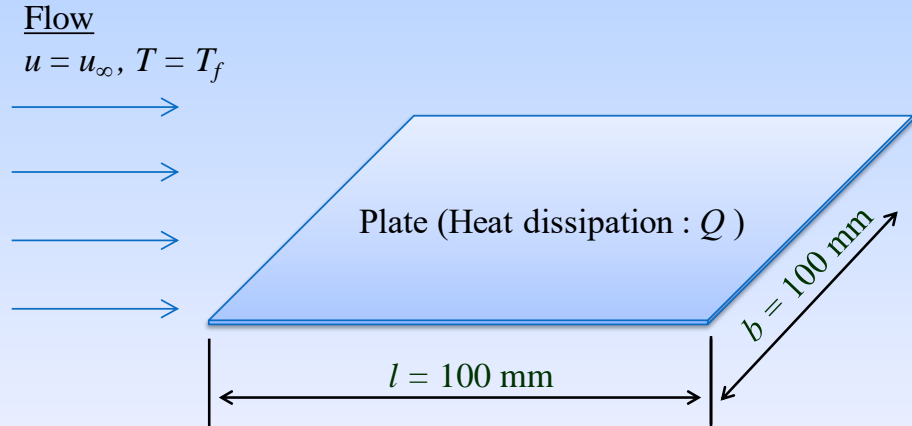
- 当座のゴールを明確にして「欲を出さずに」モデル化する.
 - ※ 結局、誤差要因が絡み合って客観的な信頼性評価が...
- 最初から「何もかもを一度に求める」ようにするのは大変.
 - ※ 3D-CAE も同じこと.

[1] 最初の事例 :

では、今回は平板の
温度上昇値を予測するとして…

① 解析対象で発生する 現象の切り分け

- ゴールになる目標を
「もっとも簡単に」追えるように
起こっている物理現象の切り分けを行う。



輸送現象（流れ・伝熱）においては…？（※ 福江談）

熱や流体になりきって、流れやエネルギーのフローを「上流から下流へ」追う。

伝熱

- 上流：発熱体（熱源）
- 下流：宇宙 周囲環境
- パス：伝熱 3 形態

どちらを優先に
考えるかは
ゴールによる

流れ

- 上流？：駆動源 (fan, pump…)
- 下流？：出口
- パス：流路

Depend
on 流れ系

[1] 最初の事例 :

輸送現象（流れ・伝熱）においては…？（※ 福江談）

熱や流体になりきって, 流れやエネルギーのフローを「上流から下流へ」追う.

伝熱

- 上流 : 発熱体 (熱源)
- 下流 : 宇宙 周囲環境
- パス : 伝熱 3 形態

どちらを優先に
考えるかは
ゴールによる

流れ

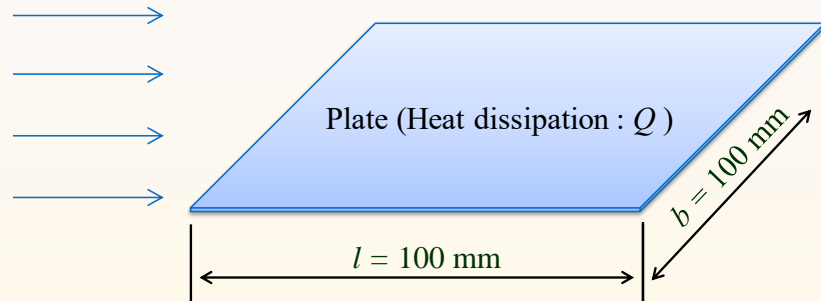
- 上流? : 駆動源 (fan, pump...)
- 下流? : 出口
- パス : 流路

Depend
on 流れ系

今回の場合 :

- 発熱は板の中を
拡散して空気へ伝達する.
- 空気は一様に流れて
熱を奪い, 下流に流れる.

Flow
 $u = u_{\infty}, T = T_f$

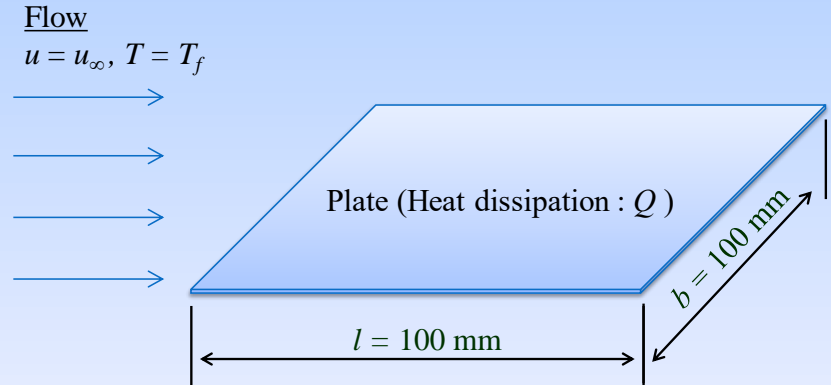


※ 板の中の熱伝導は?? (考える or 考えない?)

[1] 最初の事例 (convection1.mo) :

- 発熱は板の中を拡散して空気へ伝達する.
- 空気は一様に流れて熱を奪い, 下流に流れる.

※ 板の中の熱伝導は考えない.



② 機能モデルの構築

- 発熱は板の中を拡散して空気へ伝達する.
- 空気は一様に流れて熱を奪い, 下流に流れる.

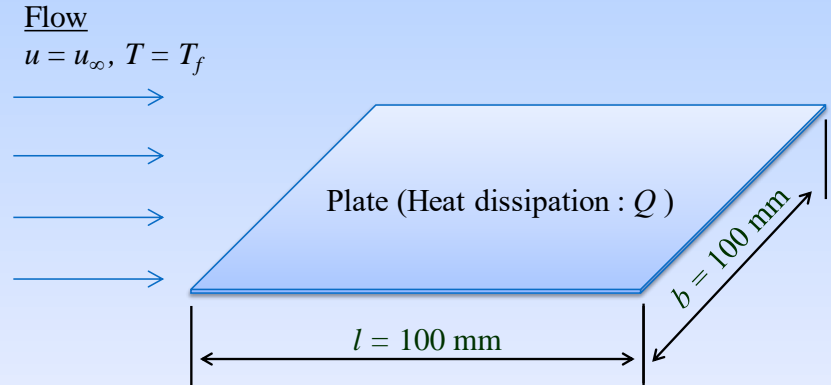
※ 板の中の熱伝導は考えない.

- 流れは一様流れで, その中に加熱平板が置かれる.
- 平板上の強制対流熱伝達.
- 層流か? 乱流か?
- 作動流体は?
- 平板温度一定? 熱流束一定?

満たす機能モデルを (A) 探す (B) 作る (ノウハウの醸成 by EFD or 3D-CAE)

[1] 最初の事例 :

- 発熱は板の中を拡散して空気へ伝達する.
- 空気は一様に流れて熱を奪い, 下流に流れる.



※ 板の中の熱伝導は考えない. ➡ ゴールに対し必要かどうかで判断.

② 機能モデルの構築

温度一定の平板上の平均熱伝達率式^[4]

$$Nu_m = \frac{h_m l}{\lambda} = 0.664 \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \text{Re}_l^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Re}_l = \frac{u_\infty l}{\nu}$$

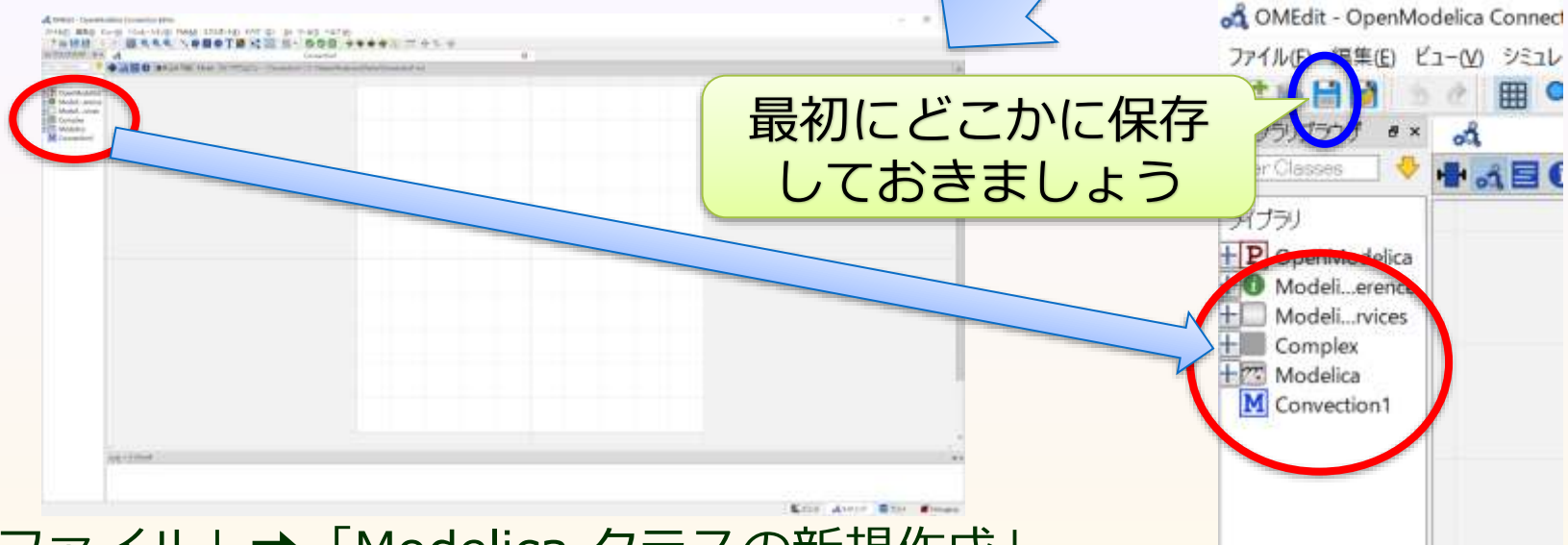
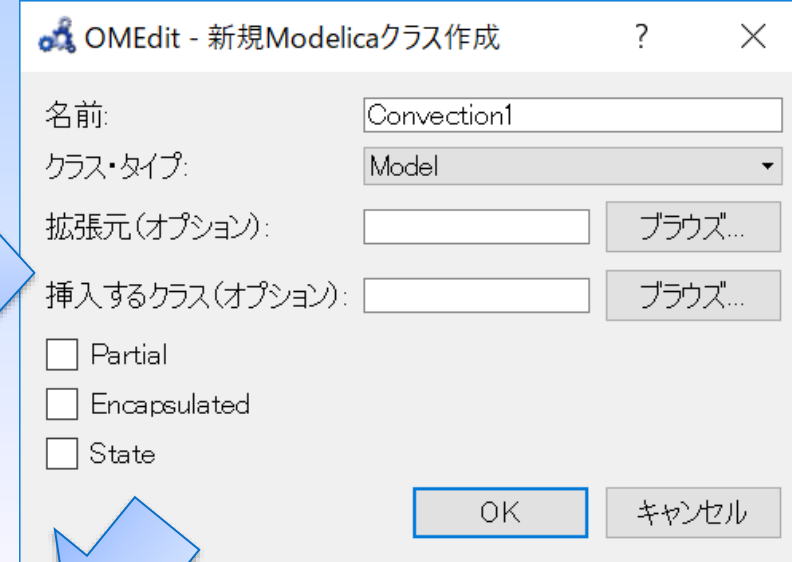
$$h_m = \frac{Q}{A(T_w - T_f)} = \frac{Q}{lb(T_w - T_f)}$$

[4] 望月, 村田, 伝熱工学の基礎 (2003), 日新出版, 81-84.

- 流れは一様流れで, その中に加熱平板が置かれる.
- 平板上の強制対流熱伝達.
- 層流か? 乱流か?
- 作動流体は? 水
- 平板温度一定? 熱流束一定?

満たす機能モデルを (A) 探す (B) 作る (ノウハウの醸成 by EFD or 3D-CAE)

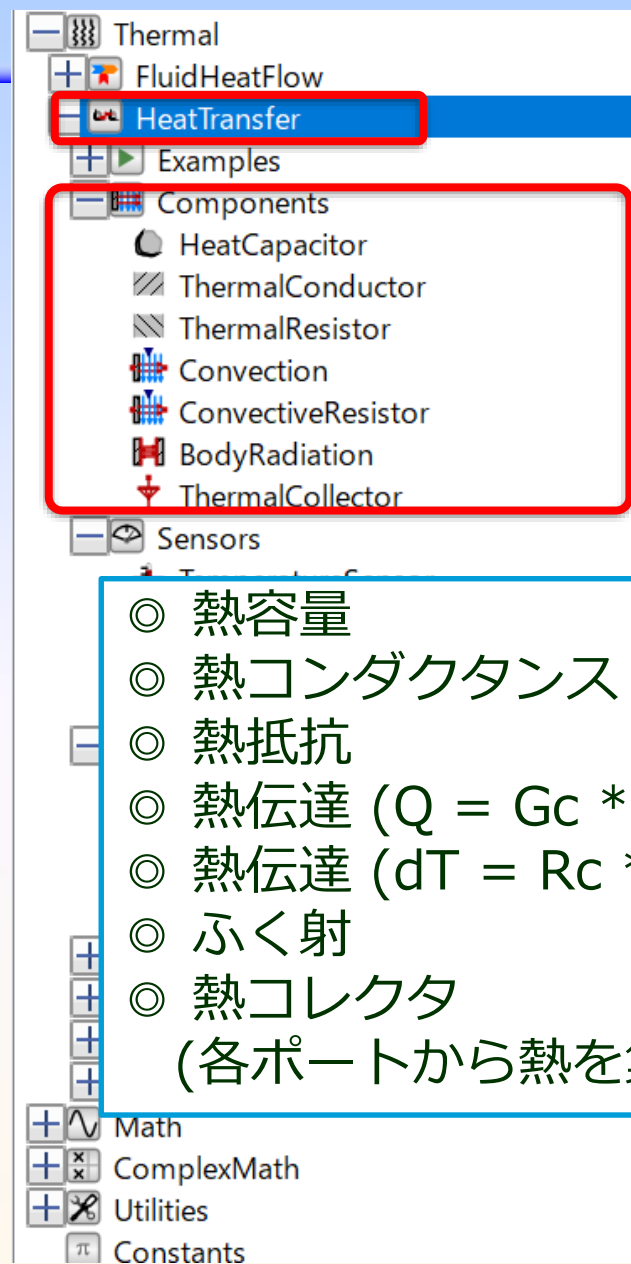
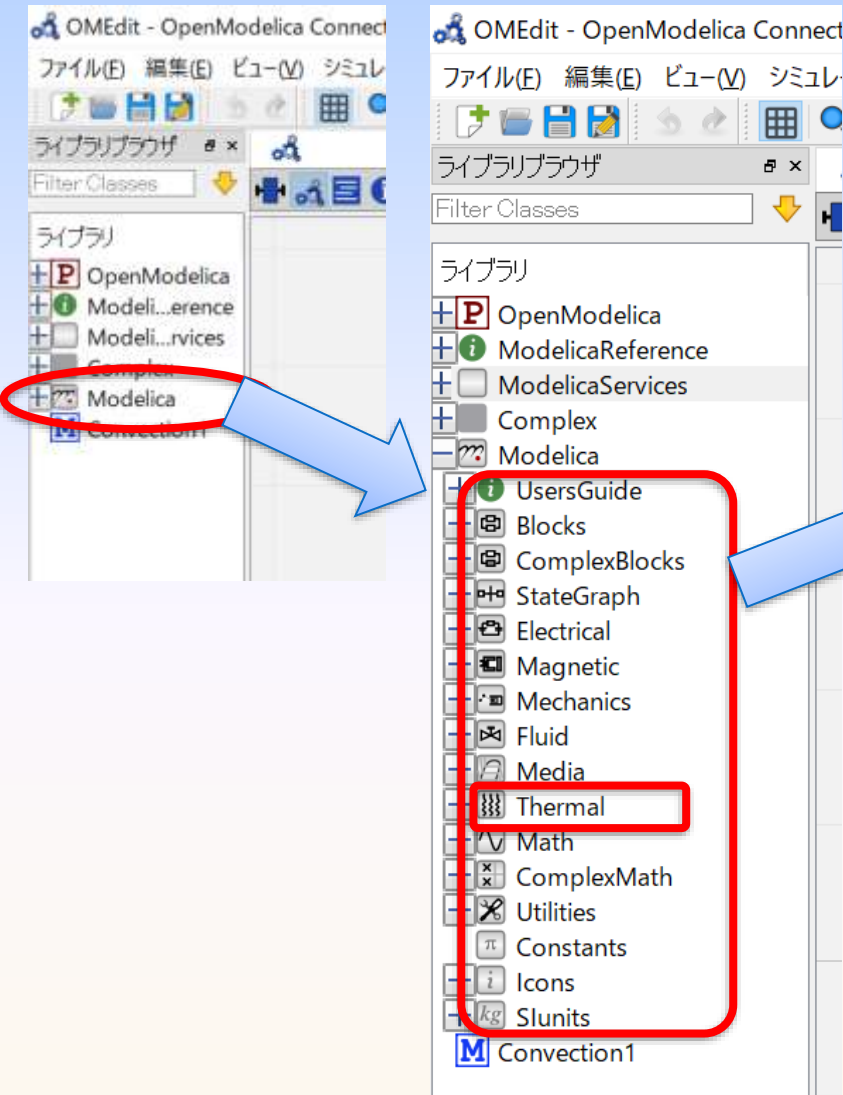
まずは OpenModelica を立ち上げてみましょう。



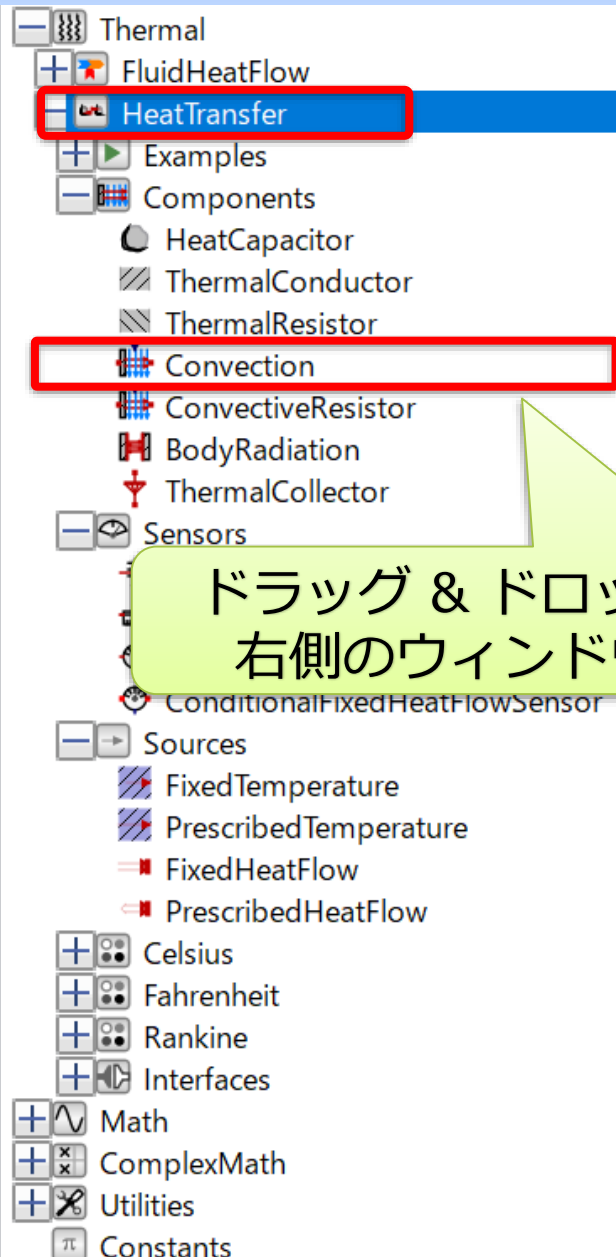
➤ 「ファイル」 ➡ 「Modelica クラスの新規作成」

注) ファイル名に日本語は NG. (ファイルパスにも入らないように)

ライブラリの確認 :

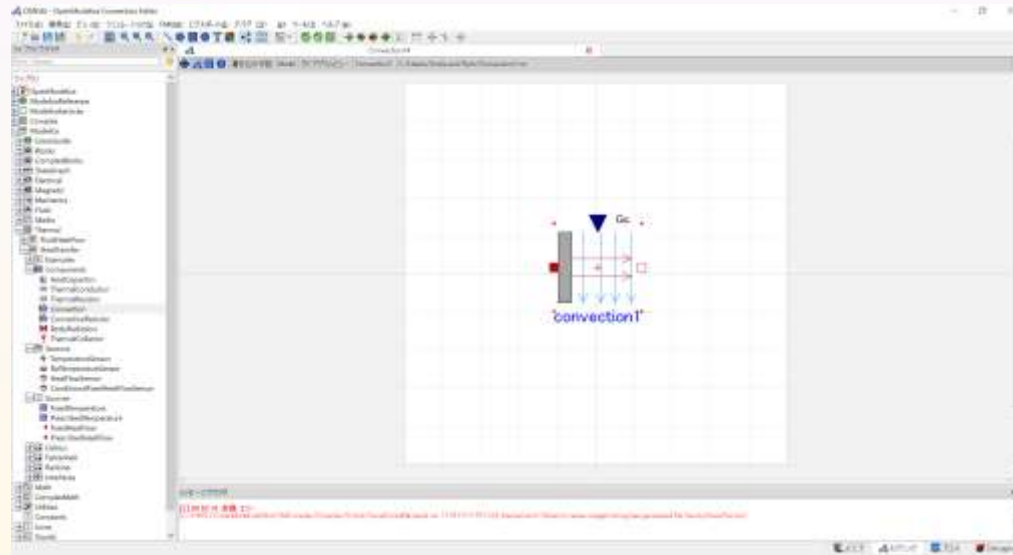
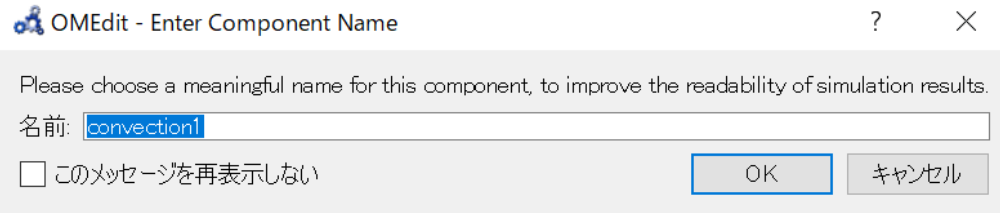
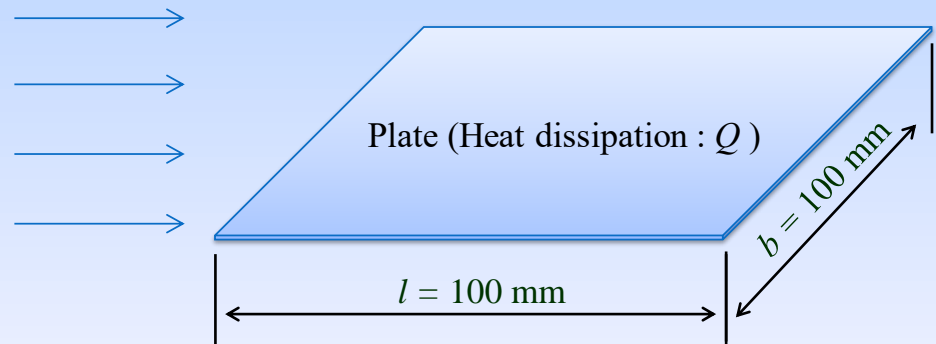


実際に作ってみる：



Flow

$$u = u_{\infty}, T = T_f$$



ここで注意：各 Library の機能に注意する

OMEdit - コンポーネントパラメータ - convection1 in Conve... ? X

パラメータ

General Modifiers

コンポーネント

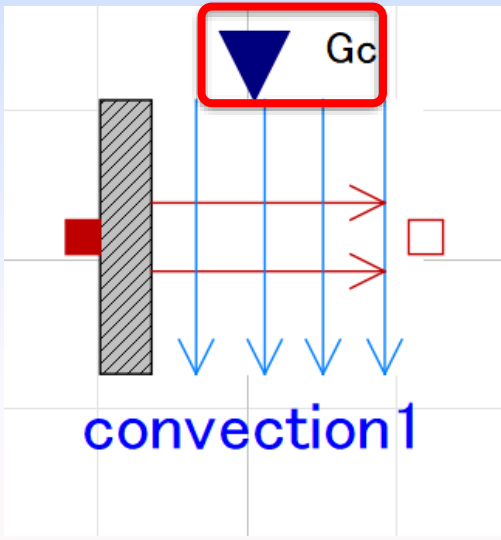
名前: convection1

クラス

パス: Modelica.Thermal.HeatTransfer.Components.Convection

コメント: Lumped thermal element for heat convection (Q_flow = Gc*dT)

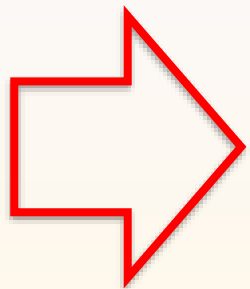
OK キャンセル



$$Nu_m = \frac{h_m l}{\lambda} = 0.664 Pr^{\frac{1}{3}} Re_l^{\frac{1}{2}}$$

$$Re_l = \frac{u_{\infty} l}{\nu}$$

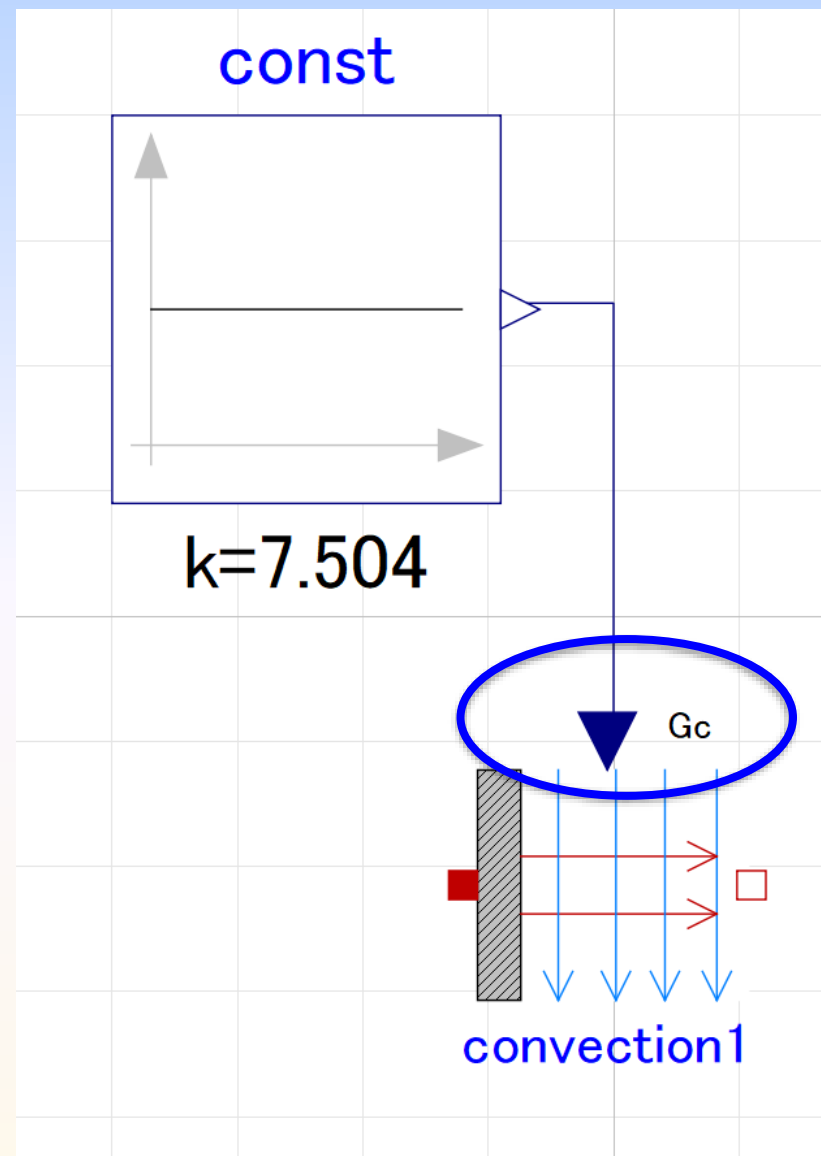
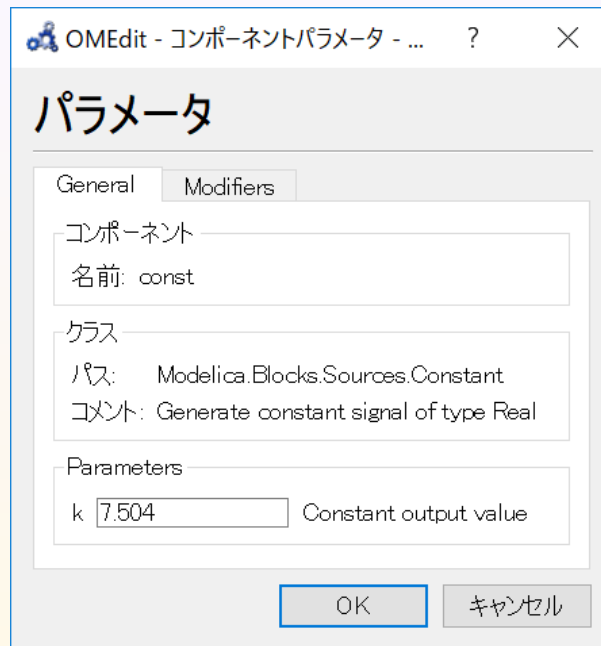
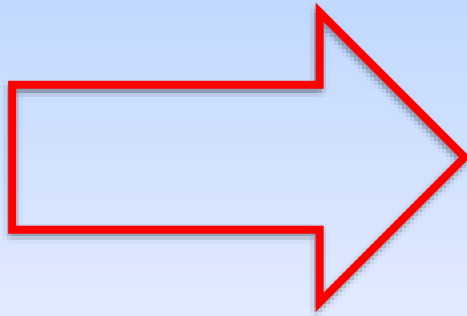
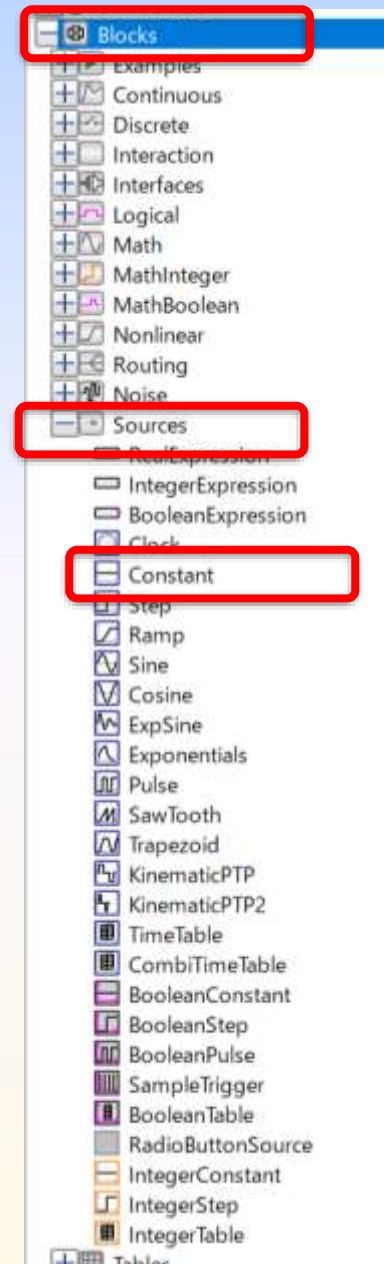
$$h_m = \frac{Q}{A(T_w - T_f)} = \frac{Q}{lb(T_w - T_f)}$$



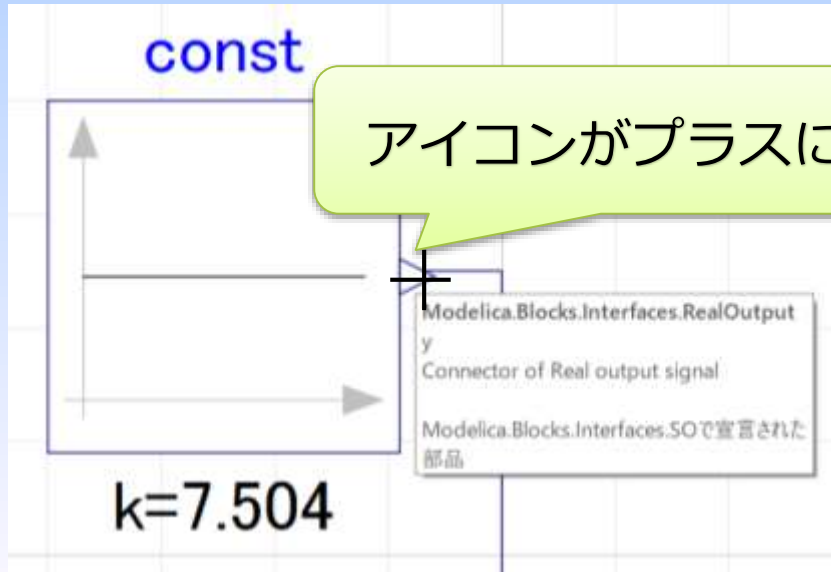
$$Q = \underbrace{h_m A}_{Gc?} (T_w - T_f)$$

: 熱コンダクタンス (対流熱伝達)

ということは : Gc には熱コンダクタンスを入れる。



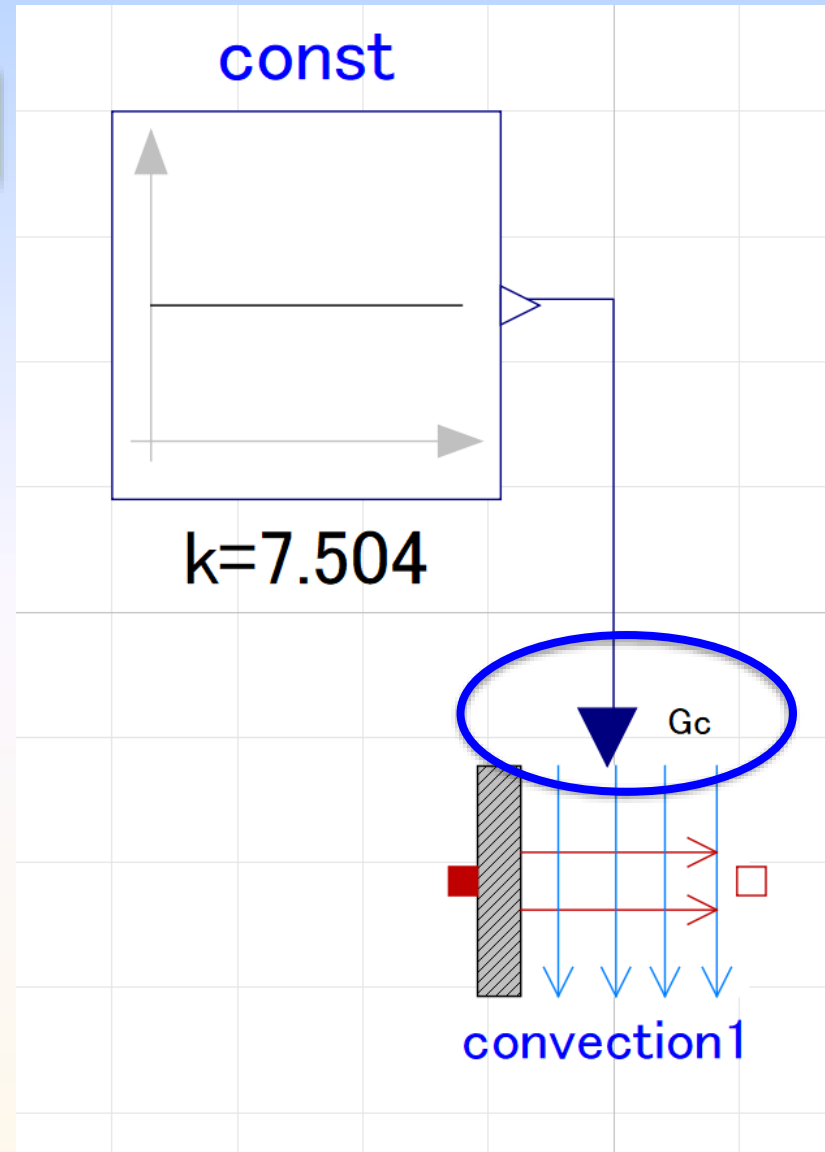
ということは : G_c には熱コンダクタンスを入れる。



クリックしてドラッグする

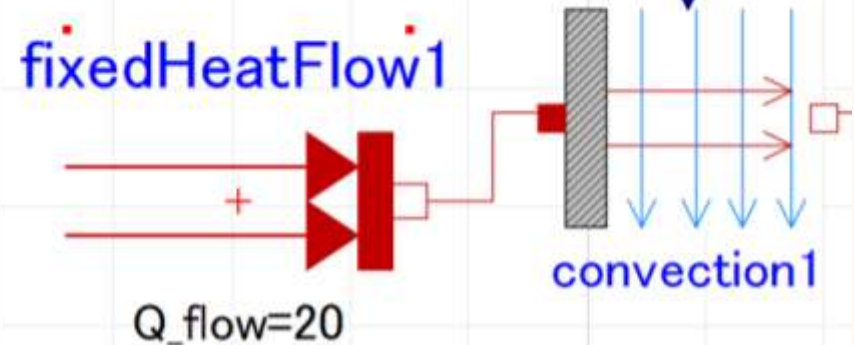
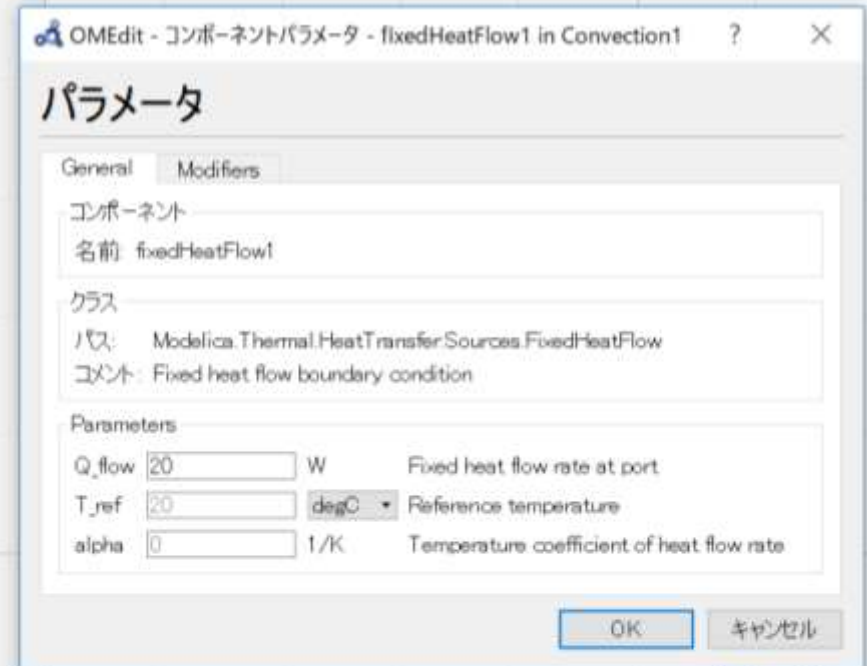
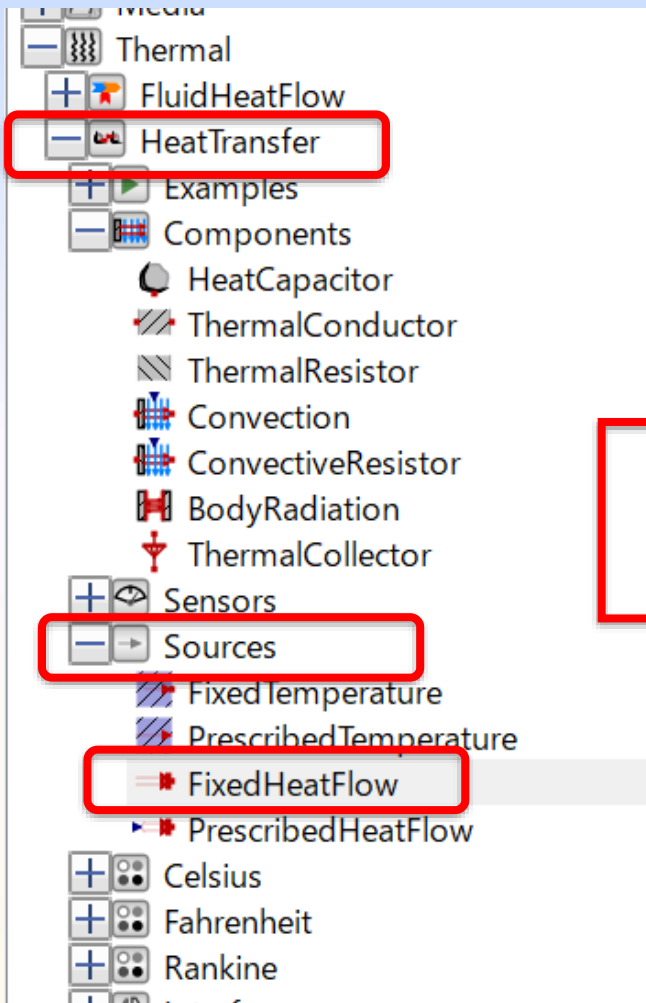
ラインが引けるようになる

G_c につなげ, ▼をクリックし接続



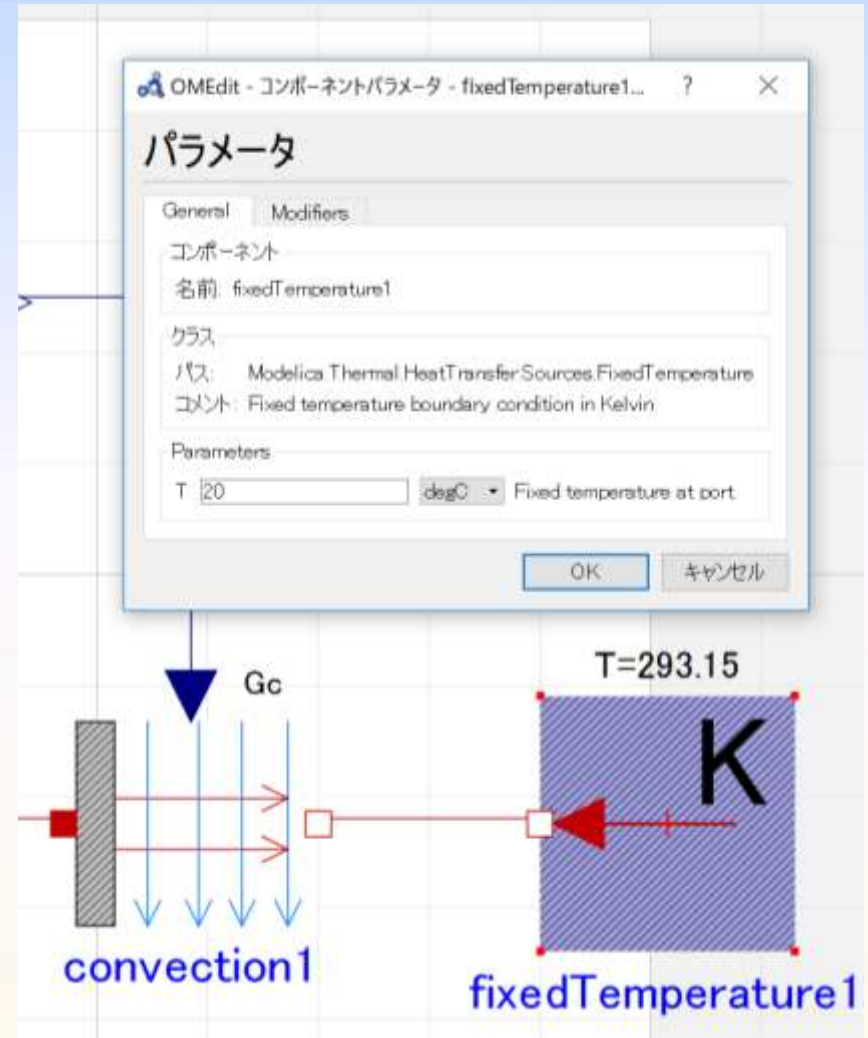
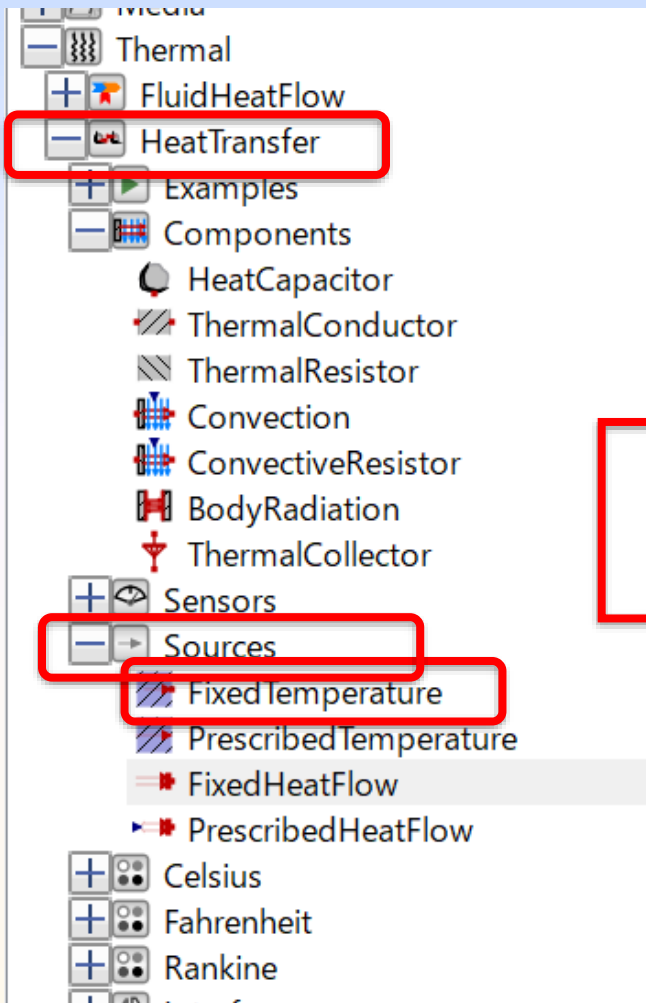
パーツを増やしていきましょう。

① 板の発熱 : FixedHeatFlow



パーツを増やしていきましょう。

③ 空気の温度 : FixedTemperature



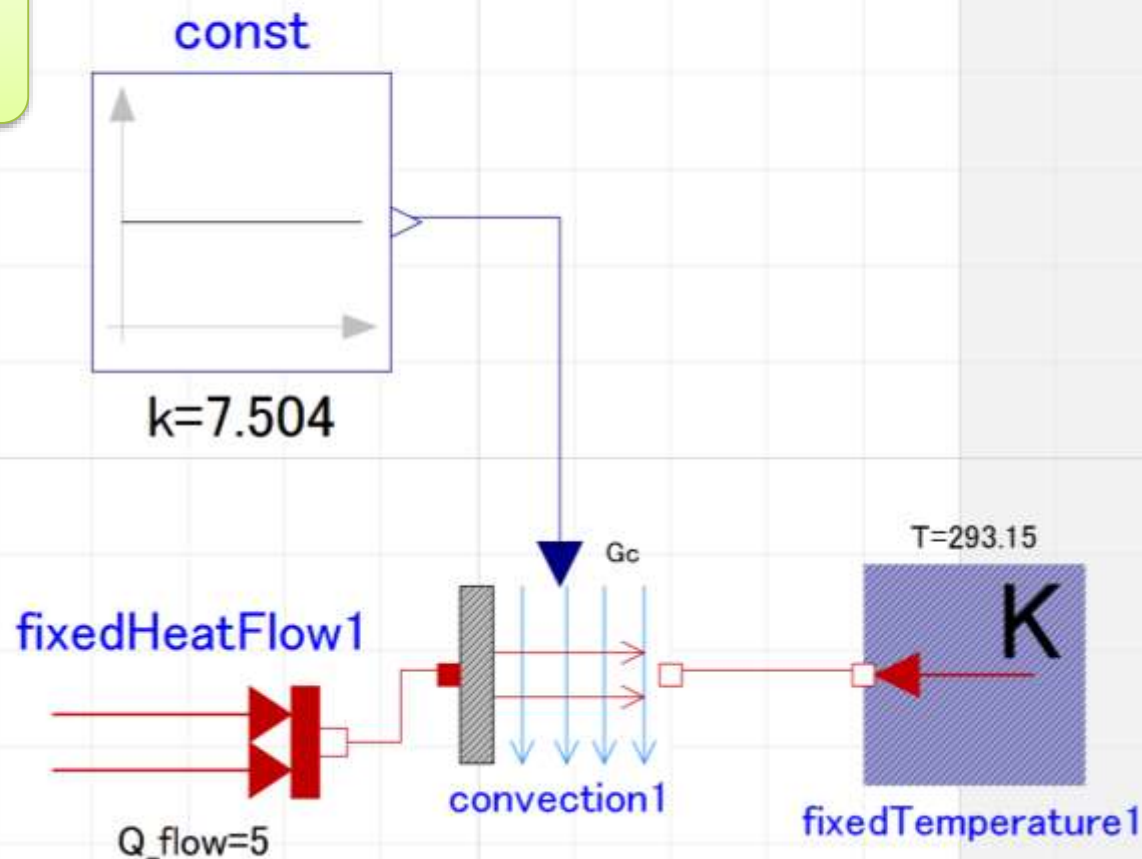
③ OpenModelica 内での1D-CAE解析モデルの構築

パーツを増やしていきましょう。

解析してみましょう：

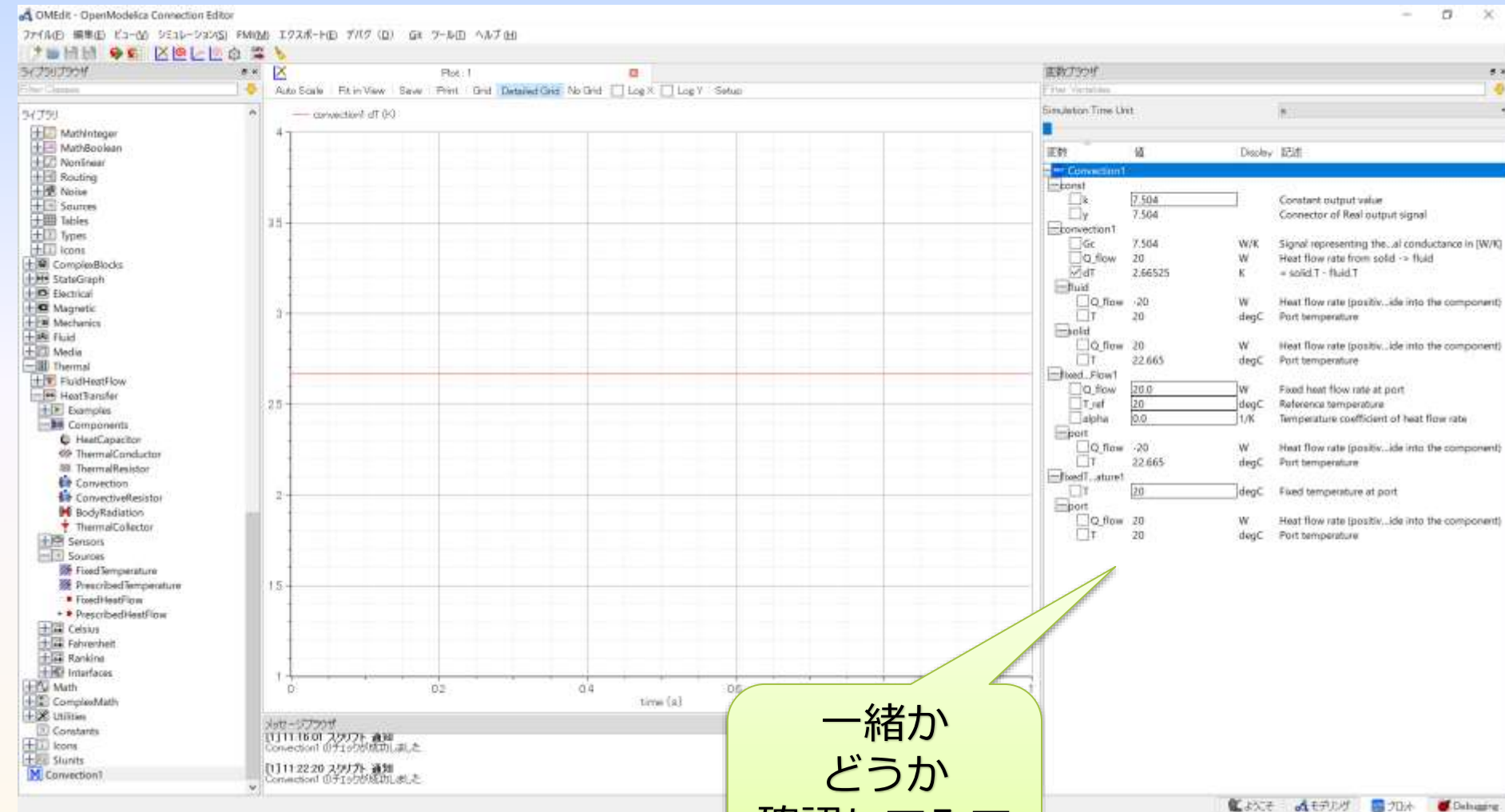
②解析

①モデル
チェック



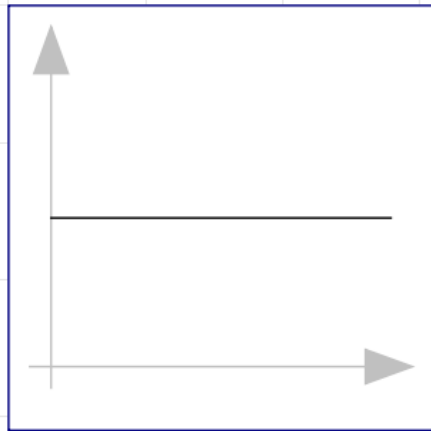
理論値と一緒にになったどうか確認：

④ 結果の確認



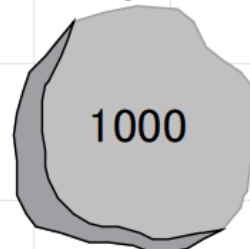
+a : 非定常解析 (convection2.mo)

const



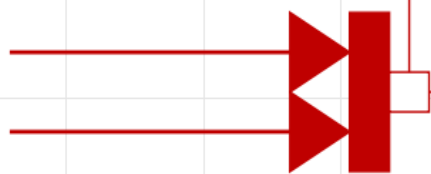
$k=7.504$

heatCapacitor1



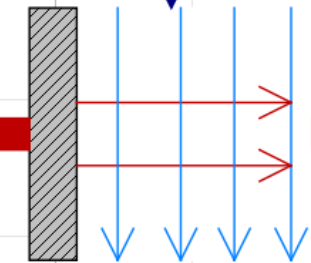
HeatCapacitor
をいれて
適当な熱容量を
設定してみて
ください

fixedHeatFlow1



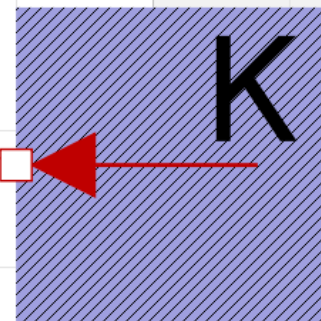
$Q_{\text{flow}}=20$

G_c



convection1

$T=293.15$



fixedTemperature1

+a : 非定常解析 (熱容量)

CSVも
選べる



シミュレーション
の
セットアップ

シミュレーションのセットアップ - Convection2

全般 出力 シミュレーションフラグ アーカイブされたシミュレーション

解析間隔

開始時刻: 0 secs

終了時刻: 1 secs

☒ 計算回数: 500

☐ 間隔: 0.002 secs

積分

手法: classl

許容値: 1e-6

☐ Save experiment annotation inside model

☐ Save _OpenModelica_simulationFlags annotation inside model

☒ シミュレート

OK

キャンセル

+a : 非定常解析 (熱容量)

OMEdit - OpenModelica Connection Editor

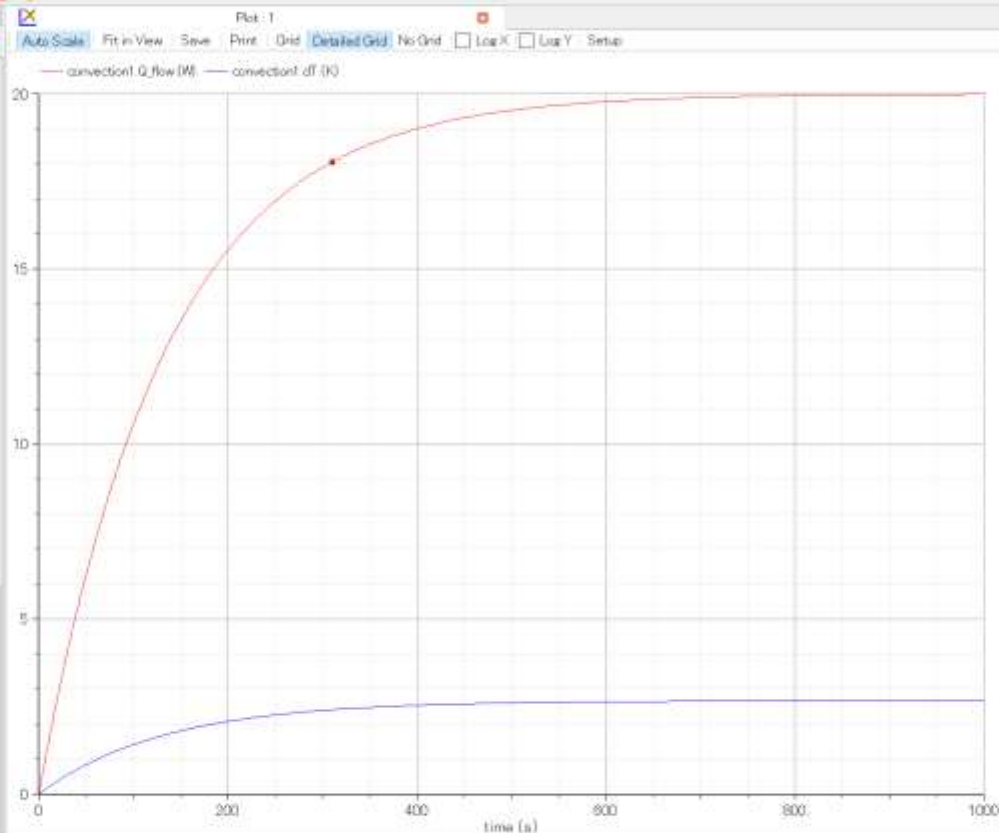
ファイル(F) 編集(E) ビュー(V) シミュレーション(S) FMIM(I) エクスポート(E) デバッグ(D) 設定(S) ツール(T) ヘルプ(H)

ライブラリブラウザ

Filter Classes

アイコン

- MathBoolean
- Nonlinear
- Routing
- Noise
- Sources
- Tables
- Types
- Icons
- ComplexBlocks
- StateGraph
- Electrical
- Magnetic
- Mechanics
- Fluid
- Media
- Thermal
 - FluidHeatFlow
 - HeatTransfer
 - Examples
 - Components
 - HeatCapacitor
 - ThermalConductor
 - ThermalResistor
 - Convection
 - ConvectiveResistor
 - BodyRadiation
 - ThermalCollector
- Sensors
- Sources
 - FixedTemperature
 - PrescribedTemperature
 - FixedHeatFlow
 - PrescribedHeatFlow
- Units
 - Celsius
 - Fahrenheit
 - Rankine
 - Interfaces
- Math
- ComplexMath
- Utilities
- Constants
- Icons
- Stanis
- Convection1
- Convection2



メッセージブラウザ

[11:11:24.18 変換 警告]

Assuming fixed start value for the following 1 variable:
heatCapacitor1.T VARIABLE.min = max(0.0, max(0.0, 0.0)) start = 293.15 unit = "K" nominal = 300.0 "Temperature of element" type: Real

変数ブラウザ

Filter Variables

Simulation Time Unit

変数	値	Display	記述
Convection2			
convection1			
Q_flow	W		Heat flow rate from solid -> fluid
dt	K		= solid.T - fluid.T
fluid			
solid			
fixed_flow1			
fixed_temperature1			
port			
heatCapacitor1			