

コーヒーが冷めないうちになって何秒後？



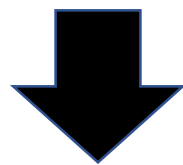


<http://coffee-movie.jp/>

過去に戻る 五つの掟

- 一、過去に戻ってどんなことをしても、現実は変わらない。
- 二、過去に戻っても、この喫茶店を出ることはできない。
- 三、過去に戻れるのは、コーヒーをカップに注いでから、その
コーヒーが冷めてしまうまでの間だけ。
 コーヒーが冷めないうちに飲み干さなければならない。
- 四、過去に戻れる席には先客がいる。
 席に戻れるのは、その先客が席を立った時だけ。
- 五、過去に戻っても、この喫茶店を訪れた事のない人には会う
事ができない。

何秒間過去に戻れるかどうかを、コーヒーを淹れてもらった時から瞬時に判断したい



3D CAEでは計算を流している間に冷めてしまう

1D CAEの出番！！

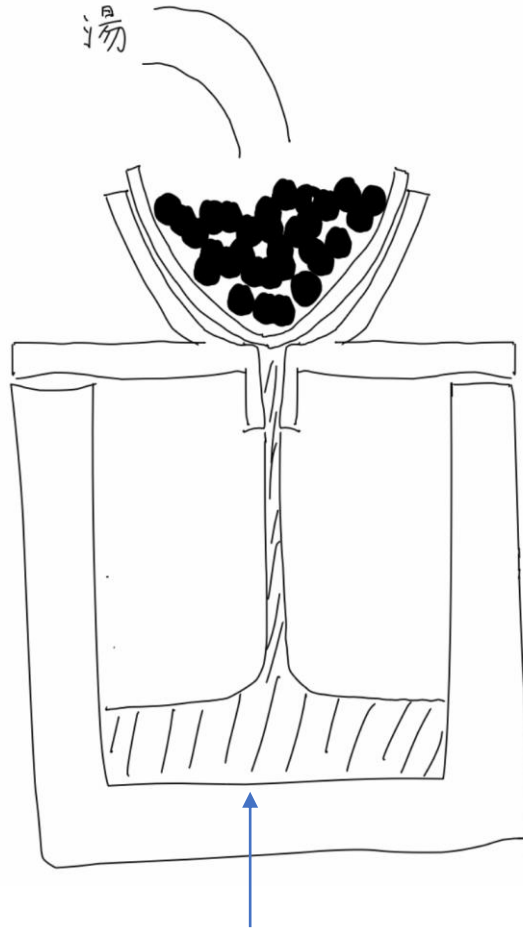
1Dモデル作成の流れ

- ① システム（解析対象の系）を定義する
- ② システムを部品（モデル）に分解する
- ③ モデル間の物理量のやり取りを定義する
- ④ モデル内の計算式を定義する
- ⑤ 実装する

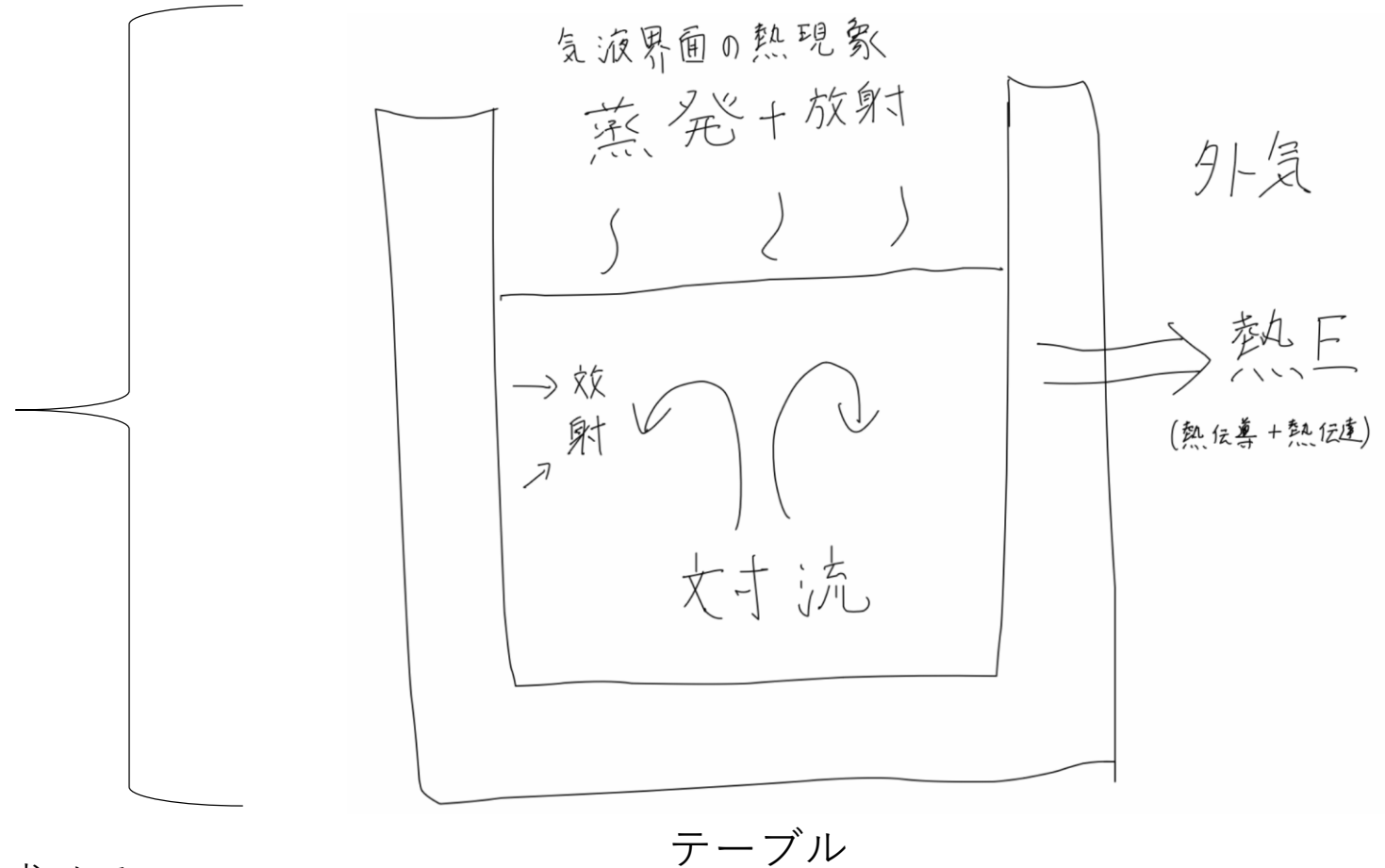
① システム（解析対象の系）を定義する

コップの物理現象

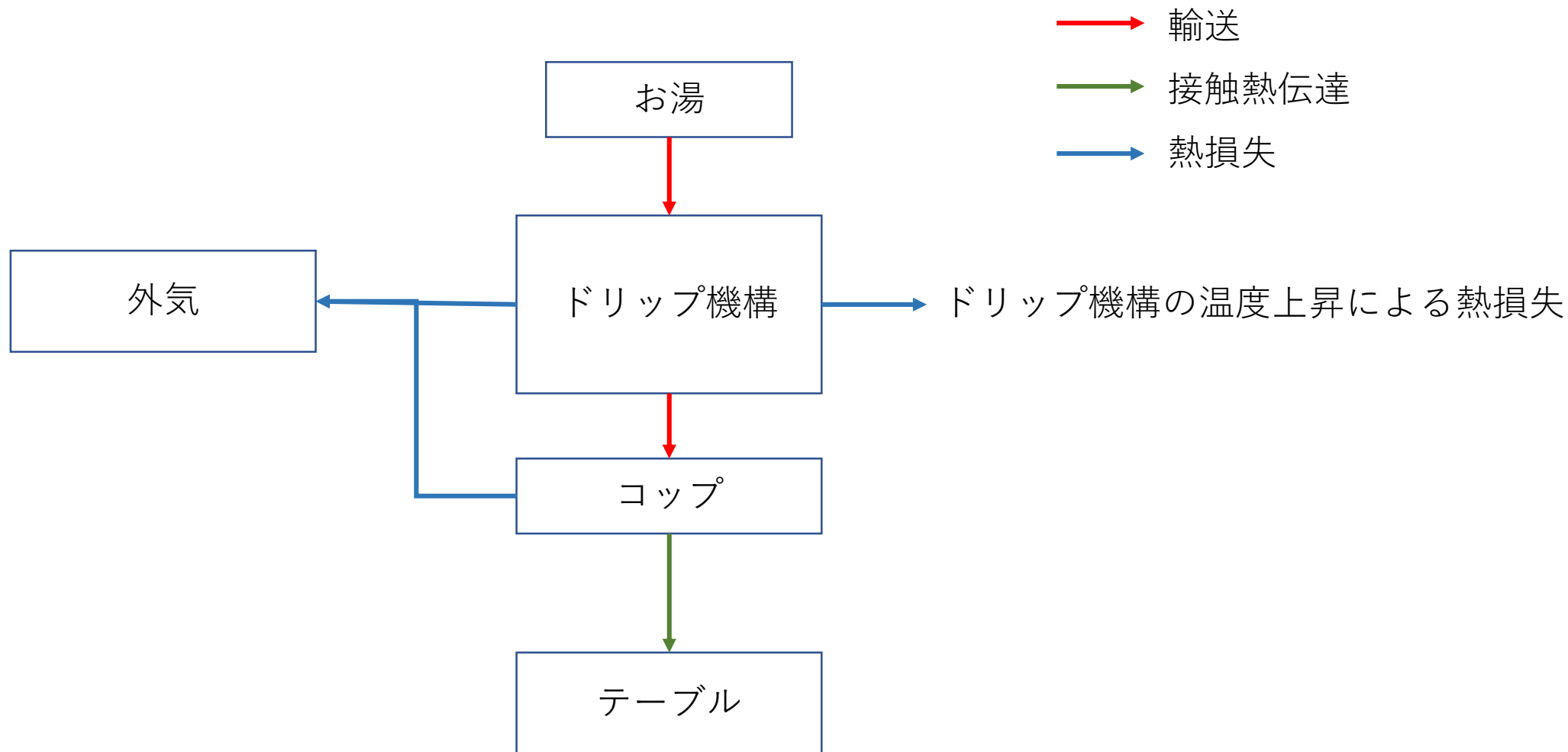
影響が大きい現象についてモデル化する



このコーヒーの温度(熱エネルギー)を求める

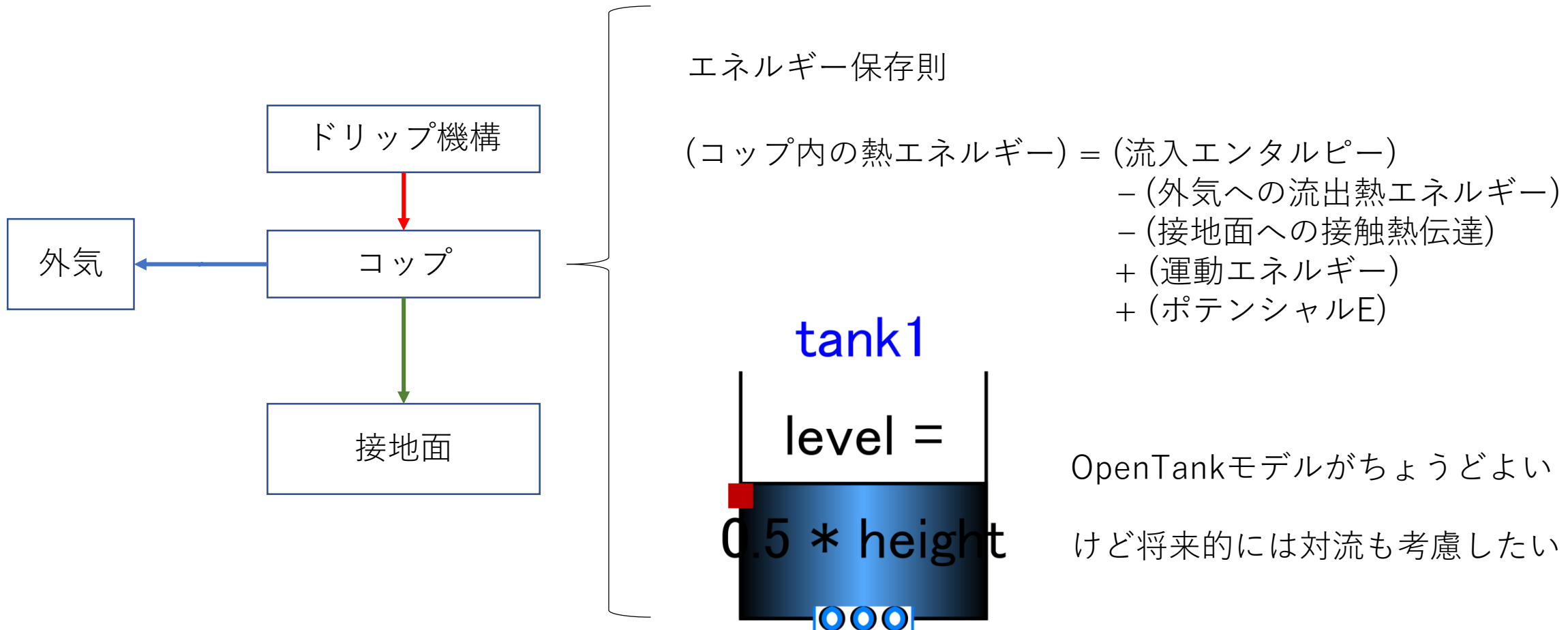


- ② システムを部品（モデル）に分解する
- ③ モデル間の物理量のやり取りを定義する



④ モデル内の計算式を定義する

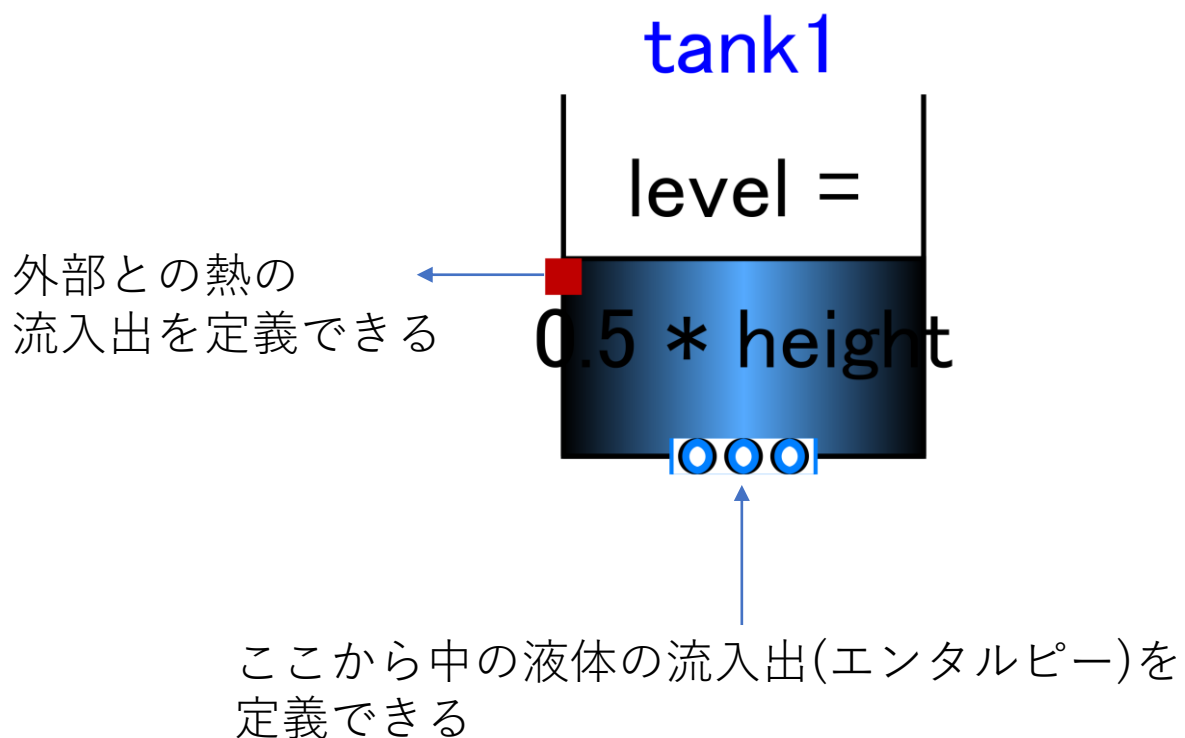
コップブロックに絞って考える



⑤ 実装する

OpenTankの使い方

OpenTankは中の液体の水位が変化する開放系のタンクです



Parameters	
タンクの高さ	height L
タンクの断面積	crossArea $R^2 * 3.14$

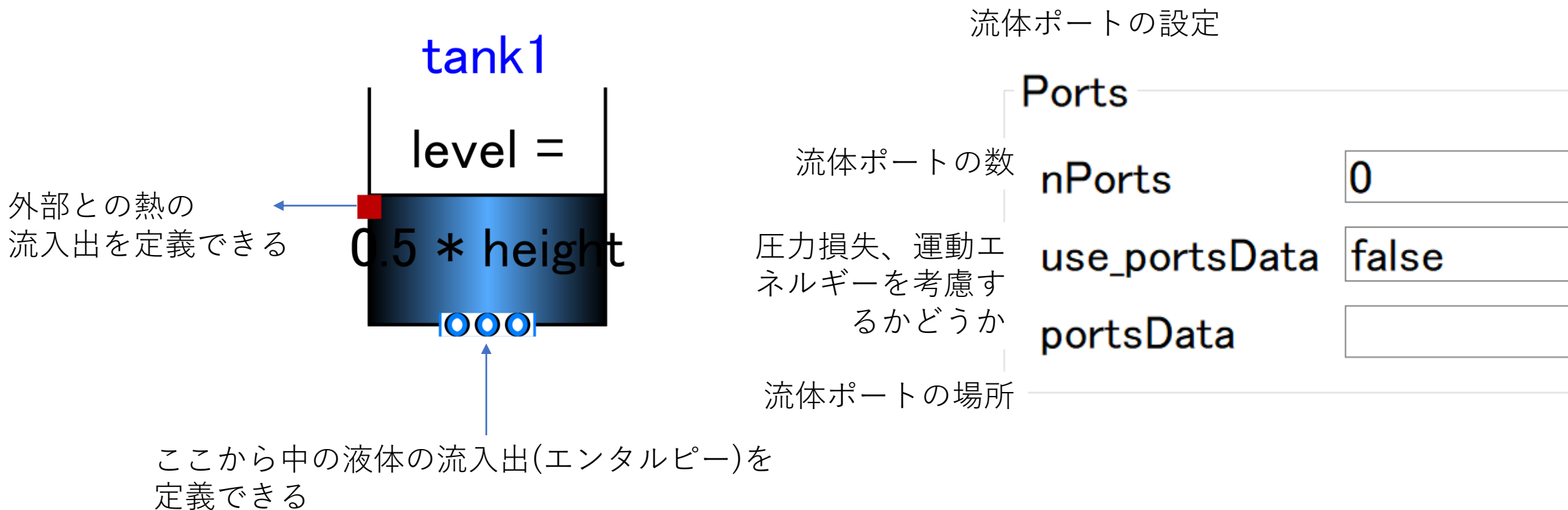
General	Assumptions	Initialization
Parameters		
初期水位	level_start	0.008
初期温度を使用するか どうか	use_T_start	true
	T_start	273.15 + 90
	h_start	if use_T_start then Medium.spe
	X_start	Medium.X_default
初期温度	C_start	fill(0, Medium.nC)

初期水位はlevel.startではないので注意！！

⑤ 実装する

OpenTankの使い方

OpenTankは中の液体の水位が変化する開放系のタンクです



OpenTankの使い方

温度の計算式(エネルギー保存)を確認する

volume モデル

PartialLumpedVolume の方程式(1)

```
equation
  assert(not (energyDynamics<>Dynamics.SteadyState and
    massDynamics==Dynamics.SteadyState) or Medium.singleState,
    "Bad combination of dynamics options and Medium not conserving mass if
    fluidVolume is fixed.");
```

```
// Total quantities
m = fluidVolume*medium.d;
mXi = m*medium.Xi;
U = m*medium.u;
mC = m*C;
```

```
// Energy and mass balances
if energyDynamics == Dynamics.SteadyState then
  0 = Hb_flow + Qb_flow + Wb_flow;
else
  der(U) = Hb_flow + Qb_flow + Wb_flow;
end if;
```

```
if massDynamics == Dynamics.SteadyState then
  0 = mb_flow;
else
  der(m) = mb_flow;
end if;
```

$$\begin{aligned} m &= \text{fluidVolume} \cdot \rho && \text{容器内の全質量} \\ mX_i &= m X_i && \text{成分毎の全質量} \\ U &= m u && \text{全内部エネルギー} \\ mC &= m C && \text{微小物質の全質量} \end{aligned}$$

energyDynamics や
massDynamicsなどの
設定で**方程式**や**初期条件**
を切り替える。

エネルギー保存式

$$\begin{cases} 0 = Hb_{flow} + Qb_{flow} + Wb_{flow} & \text{定常} \\ \frac{dU}{dt} = Hb_{flow} + Qb_{flow} + Wb_{flow} & \text{非定常} \end{cases}$$

質量保存式

$$\begin{cases} 0 = mb_{flow} & \text{定常} \\ \frac{dm}{dt} = mb_{flow} & \text{非定常} \end{cases}$$

引用元
OpenModelica講習中級
Modelica.Fluidライブラリ解説
3. Modelica.Fluidライブラリ

OpenTankの使い方

温度の計算式(エネルギー保存)を確認する

```
// Energy and mass balances
if energyDynamics == Dynamics.SteadyState then
  0 = Hb_flow + Qb_flow + Wb_flow;
else
  der(U) = Hb_flow + Qb_flow + Wb_flow;
end if;
```

エネルギー保存式

定常

$$\begin{cases} 0 = Hb_{flow} + Qb_{flow} + Wb_{flow} \end{cases}$$

非定常

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = Hb_{flow} + Qb_{flow} + Wb_{flow} \end{cases}$$

エネルギー移流項

$$Hb_{flow} = \sum_i \left\{ m_{flow}[i] \cdot actualStream(h_{outflow_i}) \right\} \quad \text{FluidPort からのエンタルピー移流}$$

$$+ \sum_i \left\{ m_{flow}[i] \cdot (0.5 v[i]^2 + gh[i]) \right\} \quad \text{運動エネルギーとポテンシャルエネルギー}$$

$$Qb_{flow} = heatTransfer.Q_flows[1] \quad \text{HeatPort からの伝熱量}$$

引用元

OpenModelica講習中級

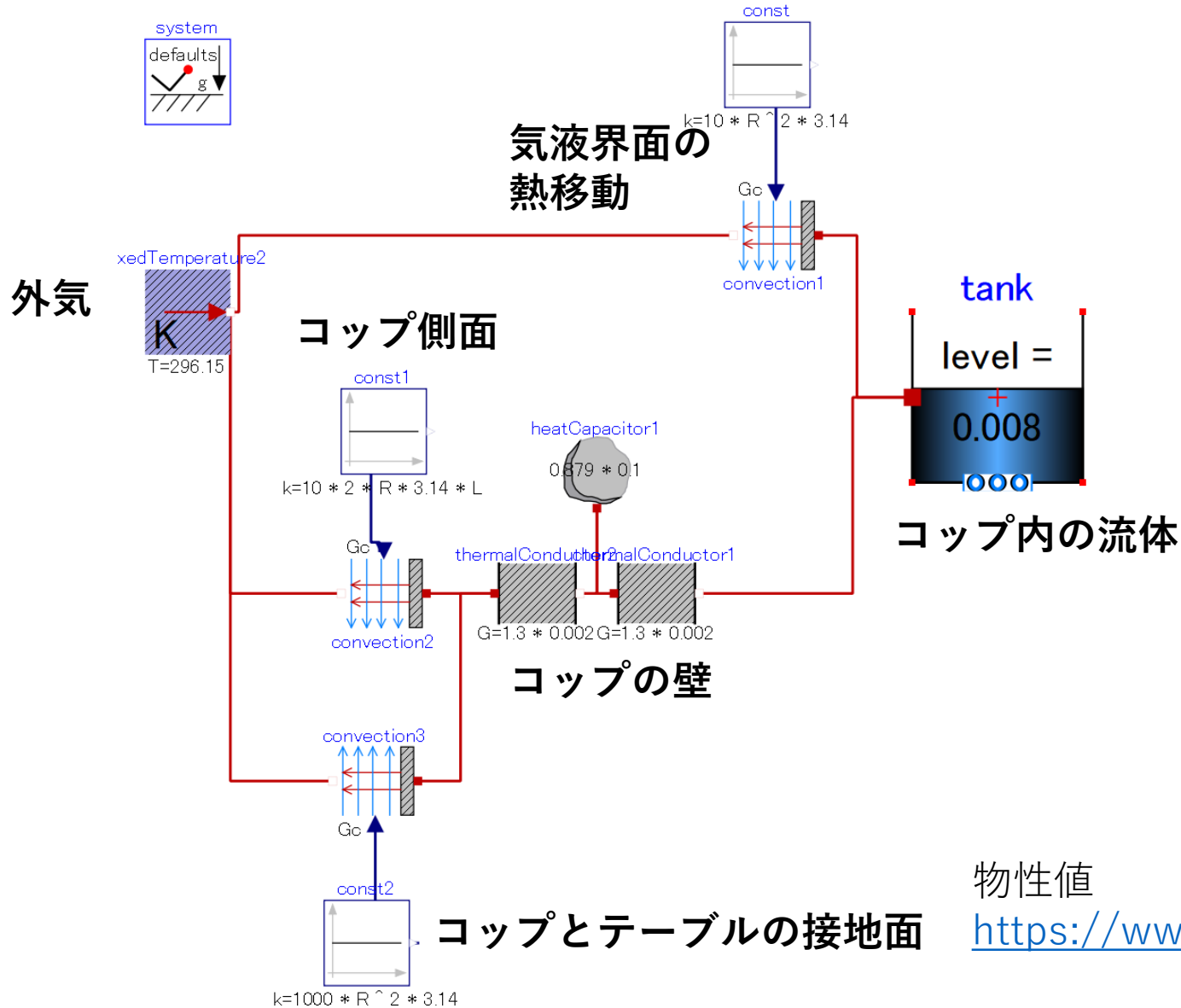
Modelica.Fluidライブラリ解説

3. Modelica.Fluidライブラリ

⑤ 実装する(前回)

コップ部分だけモデル化する

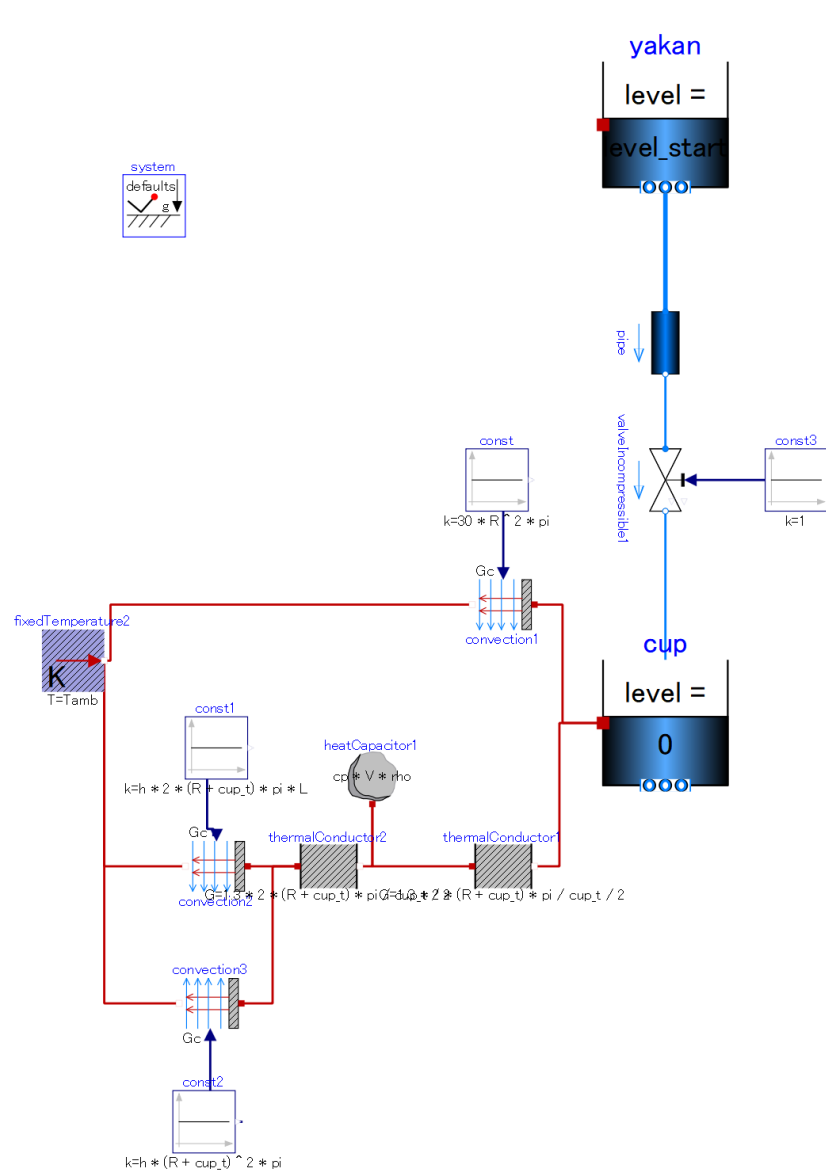
高さ 70 mm
直径 85 mm
初期水位 30 mm
厚み 4mm



物性値

<https://www.hakko.co.jp/qa/qakit/html/h01010.htm>

⑤ 実装する(今回)



前回からの追加
yakanモデル
注ぐ動作を表すバルブ
(高さを考慮)

valveの制御にrampモデル
を使用するとなぜか注ぎ終
わった後にエラー

⑥ 確認する 実験道具



フォン・ミーゼス応力論文公開100周年を
記念して作られたマグカップ

高さ	96 mm
直径	73 mm
初期水位	60 mm
厚み	4mm

熱伝導率	1.6W/(mK)
密度	2200 Kg/m ³
比熱	1050 J/(kgK)

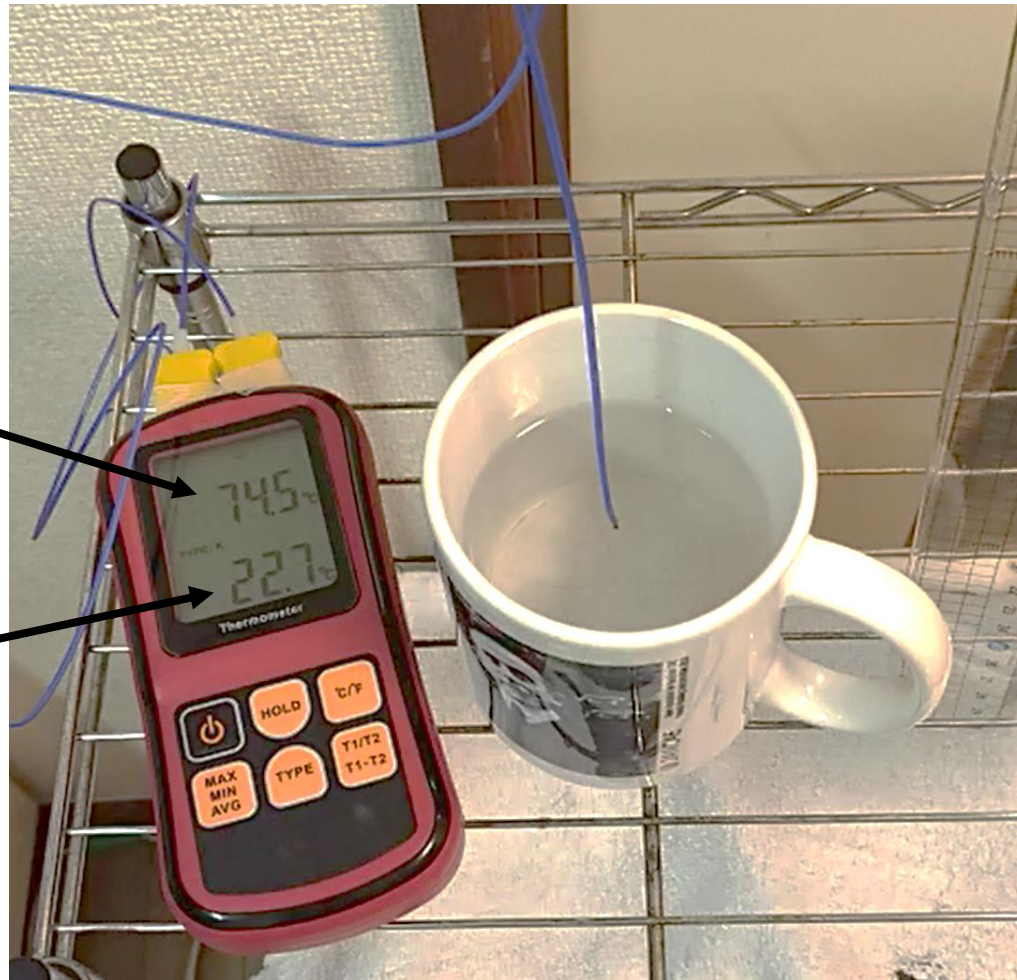
材料物性は以下の
サイト参考

<https://www.hakko.co.jp/qa/qakit/html/h01010.htm>

⑥ 確認する 実験条件

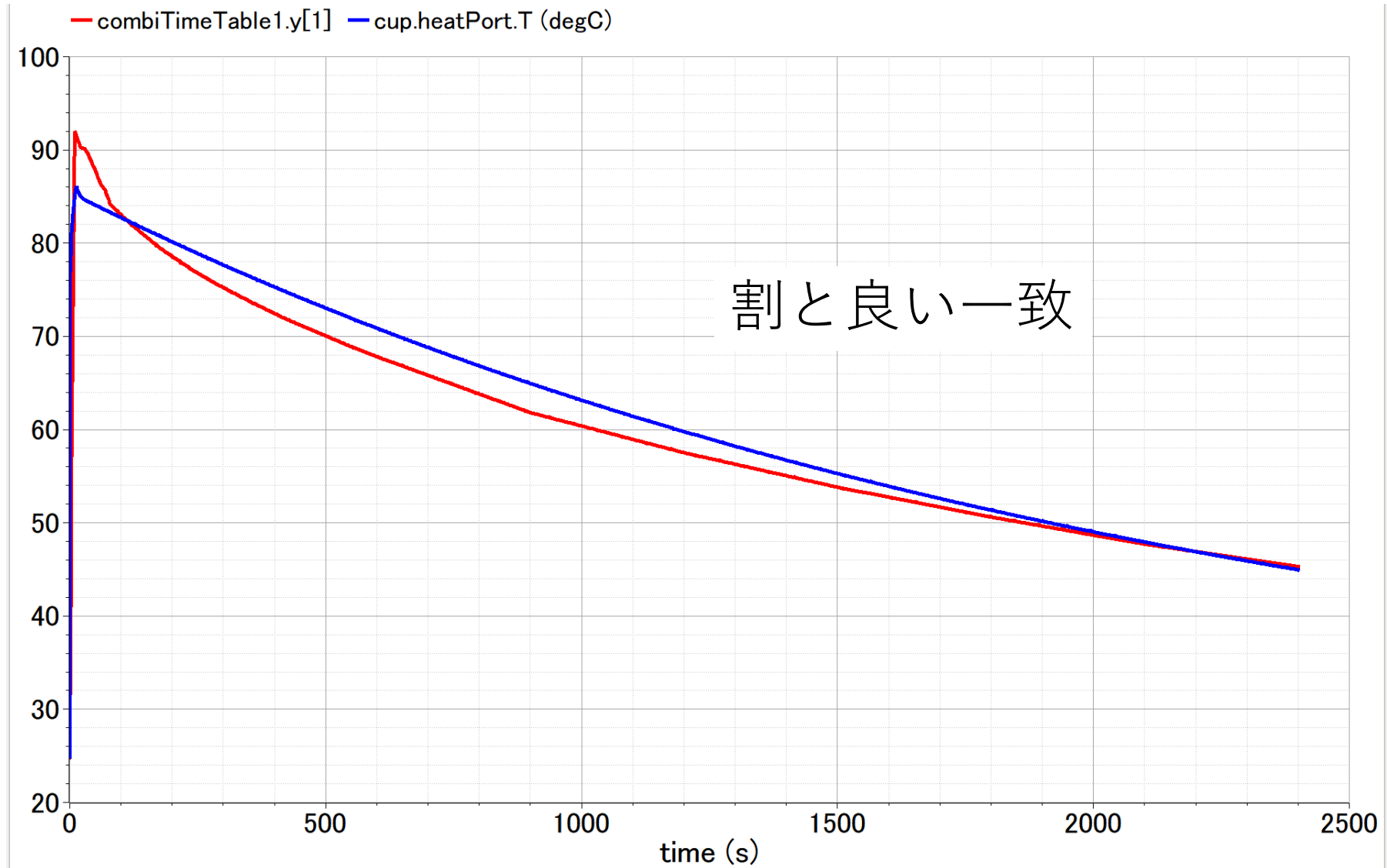
液体温度

大気温度

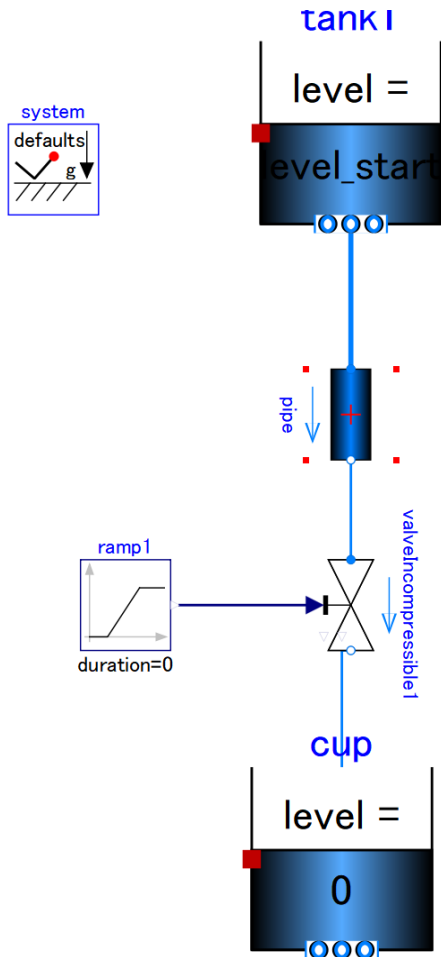


温度計 NCSY14RQ
熱電対 K型

結果



謎のエラー



Matrix singular!

under-determined linear system not solvable!

Matrix singular!

under-determined linear system not solvable!

Matrix singular!

under-determined linear system not solvable!

The initialization finished successfully without homotopy method.

cupの初期温度を23->90°Cに変更すると計算が進んだ。しかし40secで止まった

[Debug more](#)

nonlinear system 466 fails: at t=40.8537

[Debug more](#)

[1] Real tank1.s[1](start=0.085, nominal=1)

[2] Real cup.s[1](start=0.085, nominal=1)

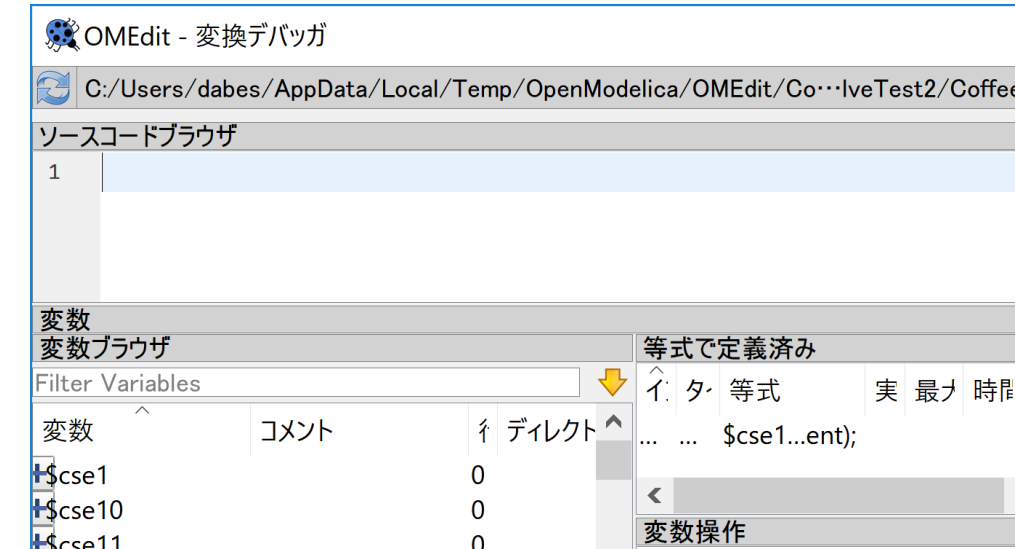
[3] Real cup.ports[1].p(start=5e+006, nominal=1e+006)

[4] Real pipe.flowModel.states[1].p(start=5e+006, nominal=1e+006)

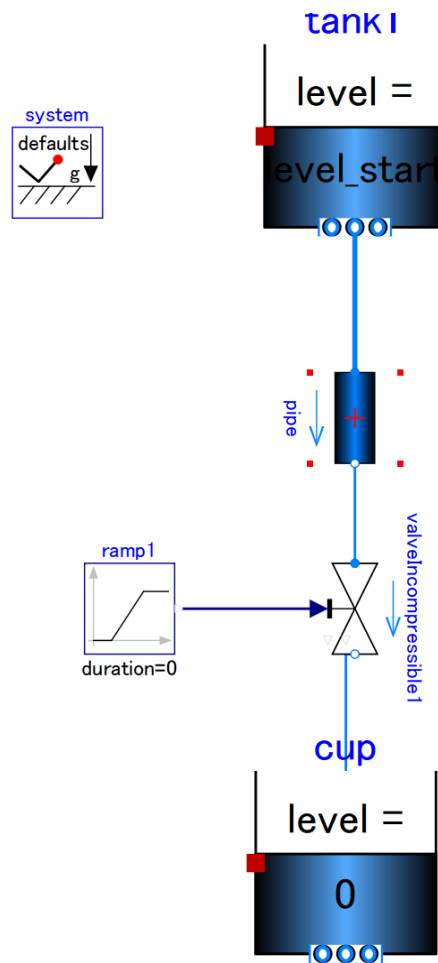
[5] Real pipe.flowModel.states[2].p(start=5e+006, nominal=1e+006)

シミュレーションプロセスが失敗. コード -1で終了.

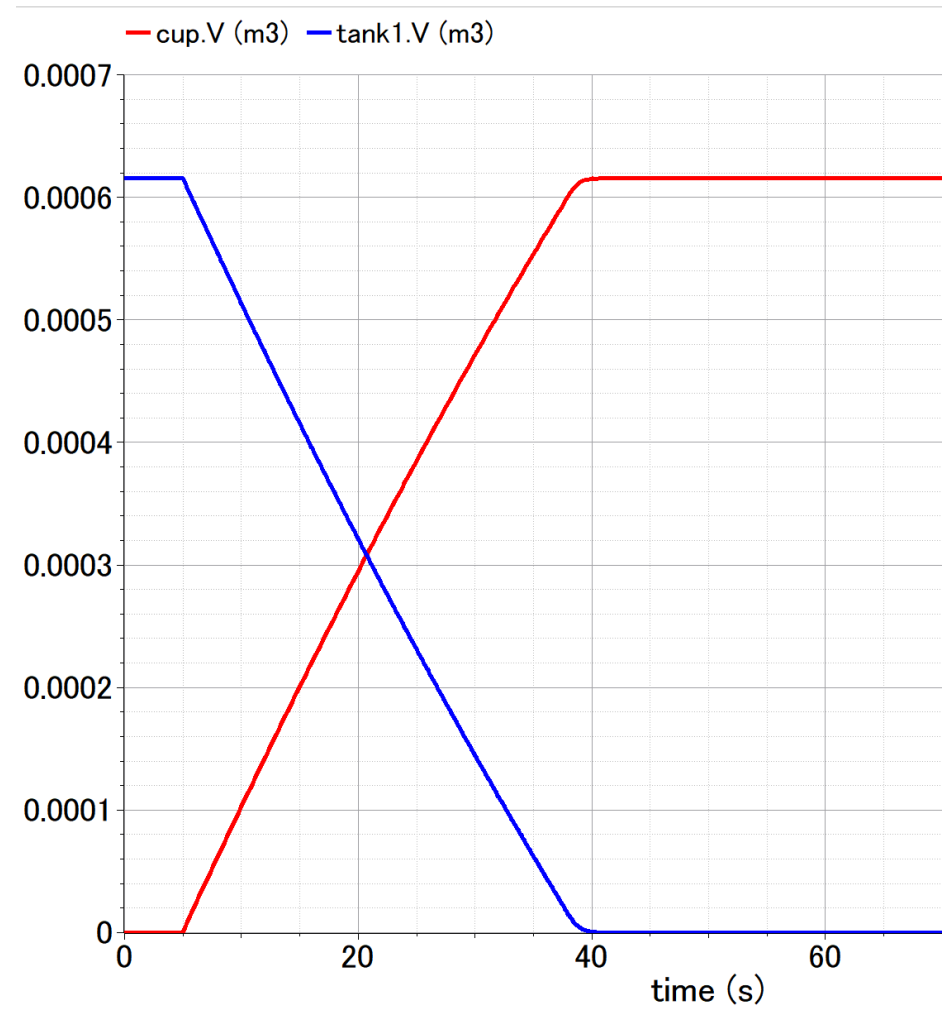
デバッガもこんな感じで役立たず



cupのportsDataの直径5mm->15mmに変わると計算が流れた



ちゃんとバルブの開閉に応じて液体が入れ替わる



今後

自然対流、接触熱伝達考慮

コップ単体の熱応答性を実験で評価

コーヒードリッパーのモデル化

コーヒーの蒸らしなどの制御機構をモデル化

出来れば、対流部分をOpenFOAM(businessPimpleFoam)で計算したい