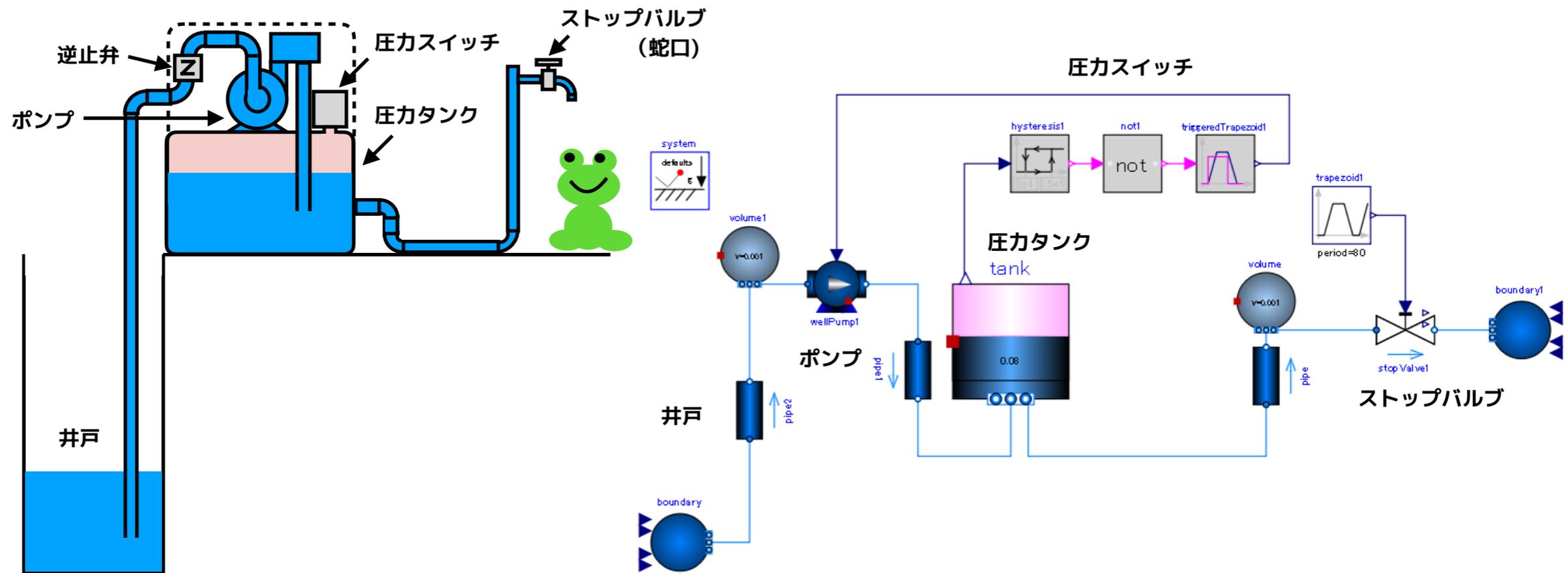


# ハンズオン

## OpenModelica による

### 浅井戸ポンプ給水システムモデル (第2回)



2019/12/14 第16回 Modelica ライブラリ勉強会  
finback

## OpenModelica による浅井戸ポンプ給水システムモデル（第2回）

圧力タンク式の浅井戸ポンプをモデル化して、井戸水を汲み上げて給水するモデルを試作します。

- ポンプ
- ストップバルブ（蛇口）
- 圧力タンク
- 圧力スイッチ（ポンプのオンオフ制御装置）
- 配管系（井戸、パイプ）

などをモデル化して組み合わせます。

第2回は、**井戸**、**圧力タンク**、**圧力スイッチ**をモデル化し**全体モデル**を組み上げます。

参考資料:

Modelica Fluid ライブラリ解説資料

<https://www.amane.to/archives/285>

Modelica Standard Library の SingleGasNasa 純物質理想気体のモデリングについて

<https://www.amane.to/archives/114>

# 本日のメニュー

## 浅井戸

- WellPumpTest3 浅井戸+ポンプ+オープンタンク+バルブ

## 圧カタンク

- 圧カタンク内の空気のモデル化
- 圧カタンク出入口の圧力
- PressureTank 圧カタンクモデル
- PressureTankTest1 単体テスト
- PressureTankTest2 浅井戸+ポンプ+圧カタンク+バルブ

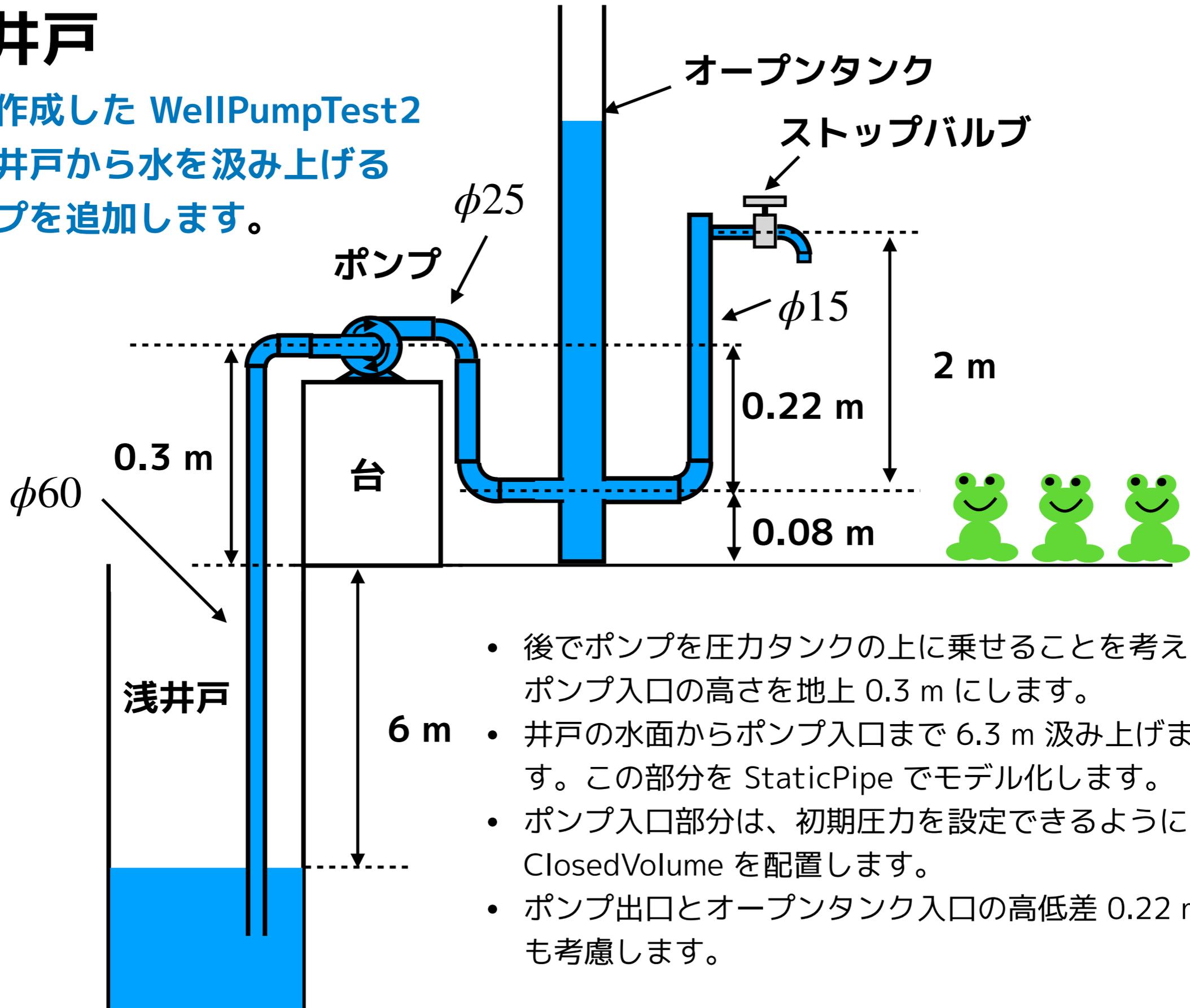
## 圧カスイッチ

- PressureSwitch

## まとめ

# 浅井戸

前回作成した WellPumpTest2  
に浅井戸から水を汲み上げる  
パイプを追加します。



- 後でポンプを圧力タンクの上に乗せることを考え、ポンプ入口の高さを地上 0.3 m にします。
- 井戸の水面からポンプ入口まで 6.3 m 汲み上げます。この部分を StaticPipe でモデル化します。
- ポンプ入口部分は、初期圧力を設定できるように ClosedVolume を配置します。
- ポンプ出口とオープンタンク入口の高低差 0.22 m も考慮します。

# WellPumpTest3

① WellPumpTest2 を複製して WellPumpTest3 を作成し、次のように変更する。

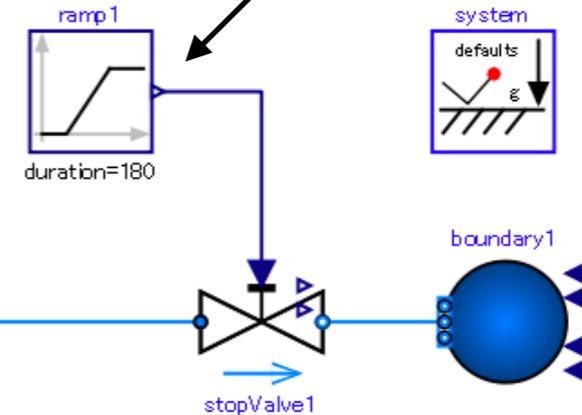
## ClosedVolume (新規追加)

$V = 0.001 \text{ [m}^3\text{]}$   
 $nPorts = 2$   
 $use\_portsData = false$   
 $energyDynamics = FixedInitial$   
 $massDynamics = FixedInitial$   
 $p\_start = system.p\_start - 1000 * 6.3 * Modelica.Constants.g\_n$

ポンプ入口  
初期圧力

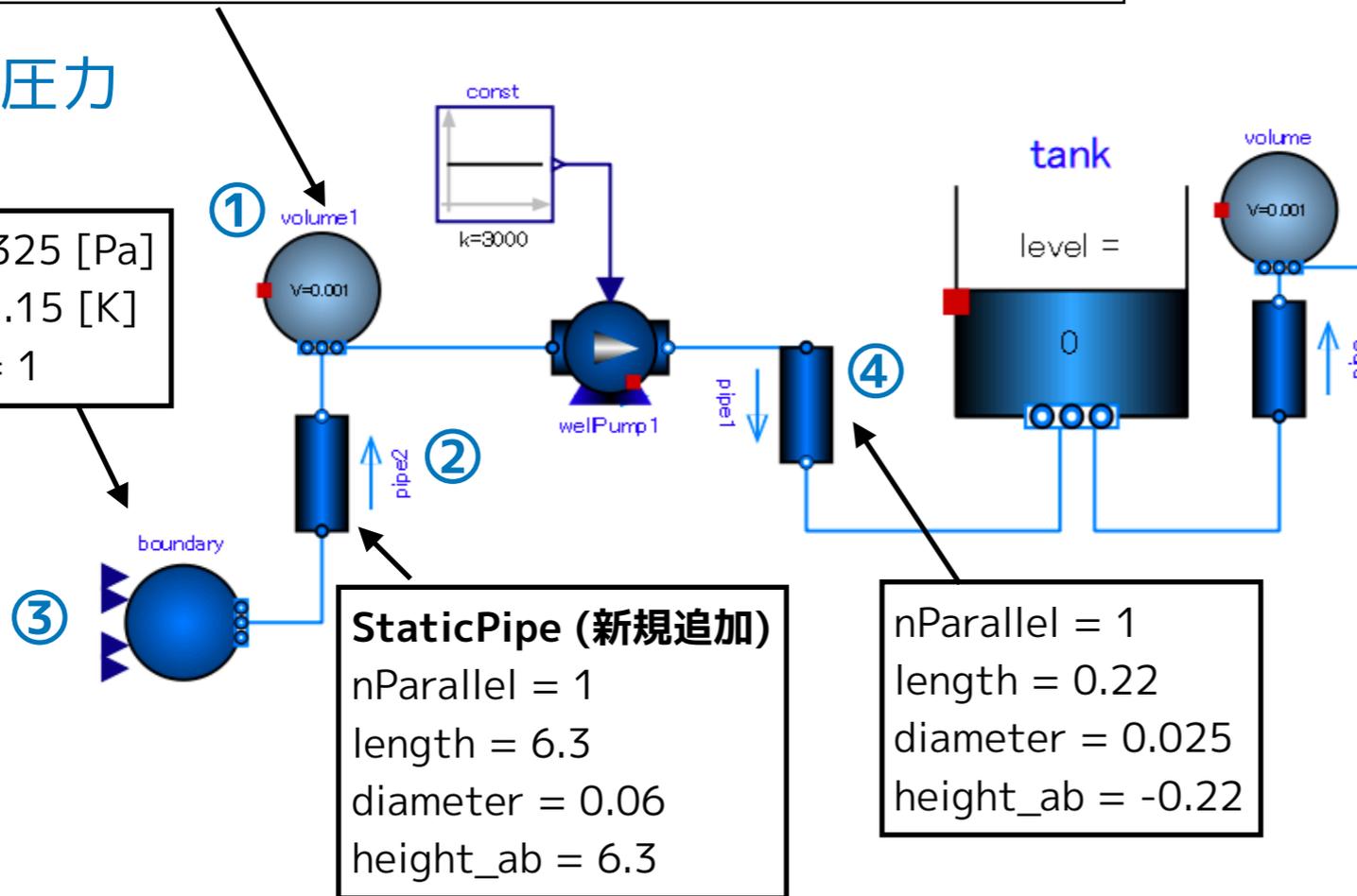
$height = 1$   
 $duration = 180 \text{ [s]}$   
 $offset = 0$   
 $startTime = 3000 \text{ [s]}$

⑤



井戸水面圧力

$p = 101325 \text{ [Pa]}$   
 $T = 2931.15 \text{ [K]}$   
 $nPorts = 1$



**StaticPipe (新規追加)**  
 $nParallel = 1$   
 $length = 6.3$   
 $diameter = 0.06$   
 $height\_ab = 6.3$

$nParallel = 1$   
 $length = 0.22$   
 $diameter = 0.025$   
 $height\_ab = -0.22$

井戸からポンプに水を吸い込むパイプ

ポンプ入口初期圧力

$$p\_start = \text{大気圧} - \rho g \Delta h$$

大気圧 = system.p\_start

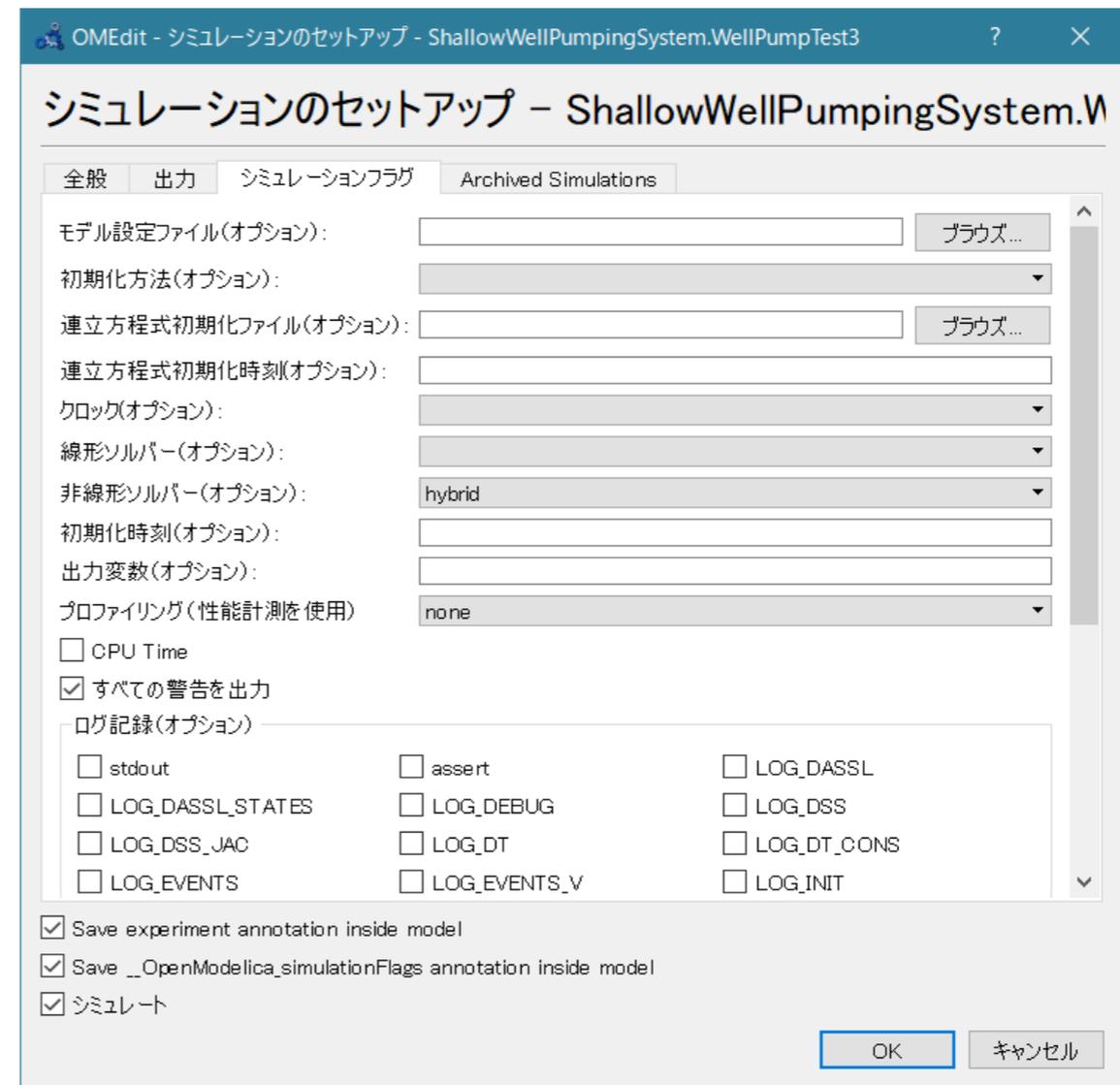
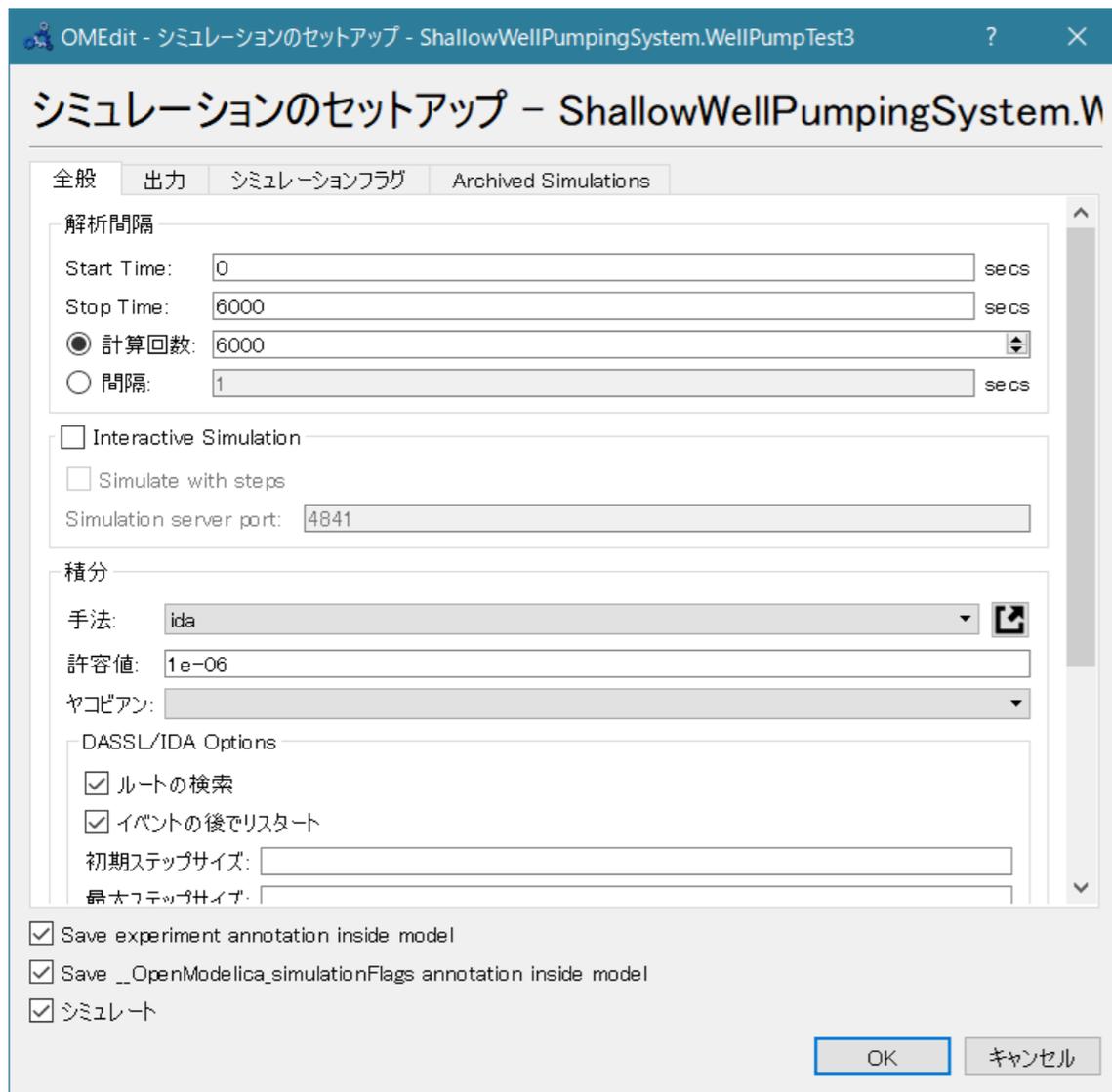
$\rho \sim 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

$\Delta h = 6.3 \text{ [m]}$

## ② テキストビューで Media (流体モデル) を設定する。

```
Version:1.0 StartHTML:0000000107 EndHTML:0000046330 StartFragment:0000000471 EndFragment:0000046292
model WellPumpTest3
...
Modelica.Blocks.Sources.Ramp ramp1(duration = 180, height = 1, offset = 0, startTime = 3000) annotation( ...); ⑤
...
Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipe1( ④
  redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.025, height_ab = -0.22, length = 0.22) annotation( ...);
Modelica.Fluid.Sources.Boundary_pT boundary( ③
  redeclare package Medium = Medium, T = 293.15, nPorts = 1, p = 101325) annotation( ...);
Modelica.Blocks.Sources.Constant const(k = 3000) annotation( ...);
Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipe2( ②
  redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.06, height_ab = 6.3, length = 6.3) annotation( ...);
Modelica.Fluid.Vessels.ClosedVolume volume1( ①
  redeclare package Medium = Medium,
  V = 0.001,
  energyDynamics = Modelica.Fluid.Types.Dynamics.FixedInitial,
  massDynamics = Modelica.Fluid.Types.Dynamics.FixedInitial,
  nPorts = 2,
  p_start = system.p_start - 1000 * 6.3 * Modelica.Constants.g_n,
  use_portsData = false) annotation( ...);
...
```

## ③ シミュレーションを実行する。



Start Time = 0 [s]

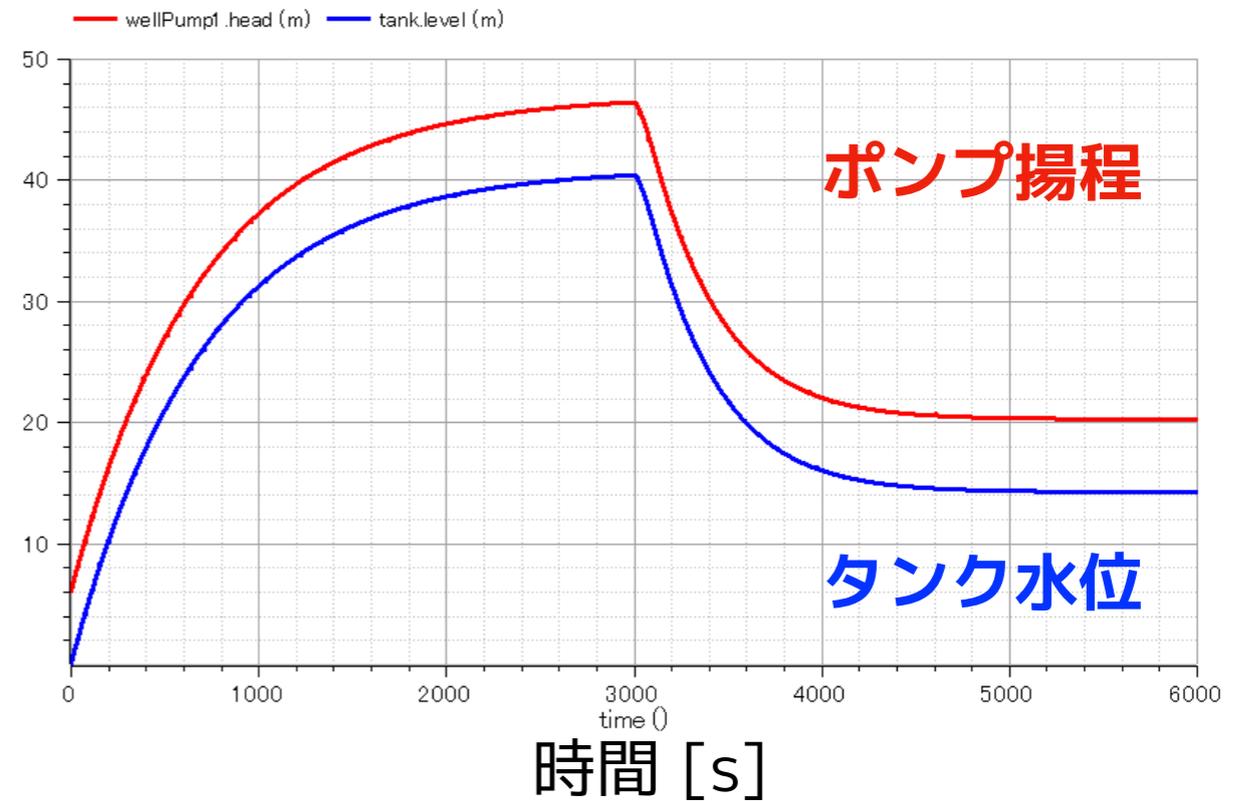
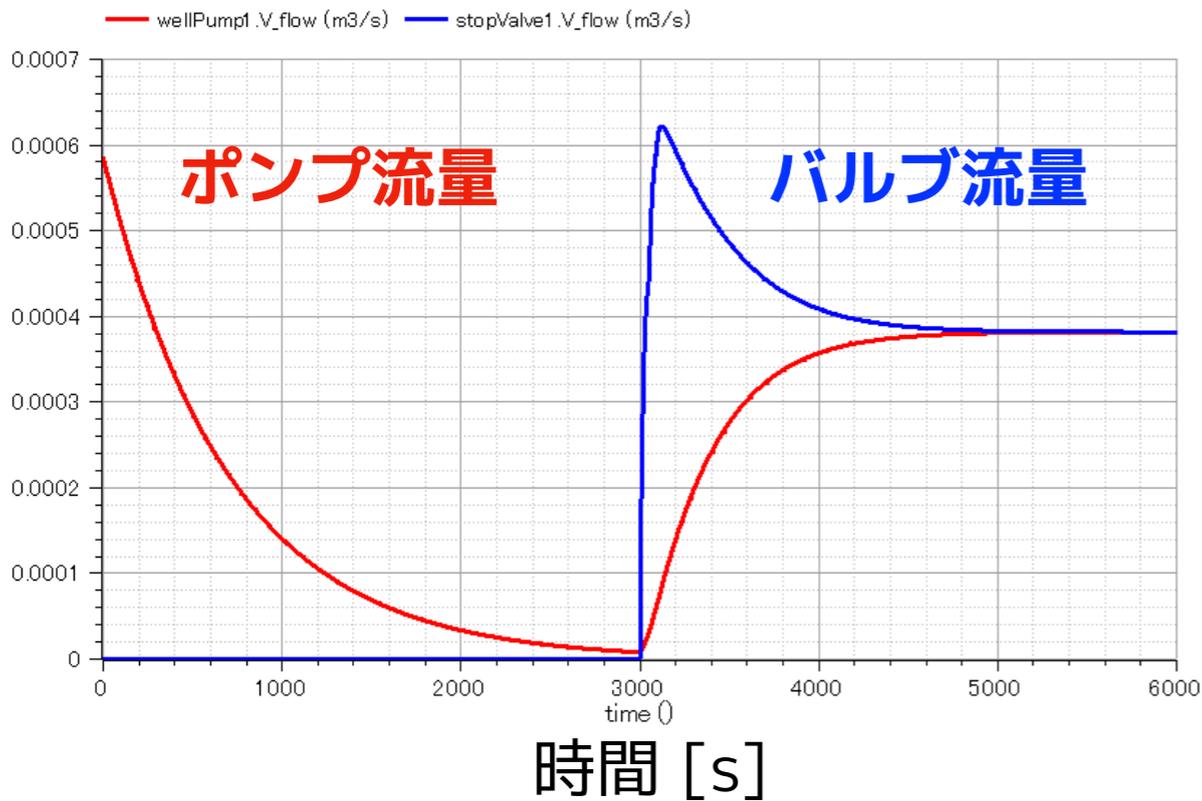
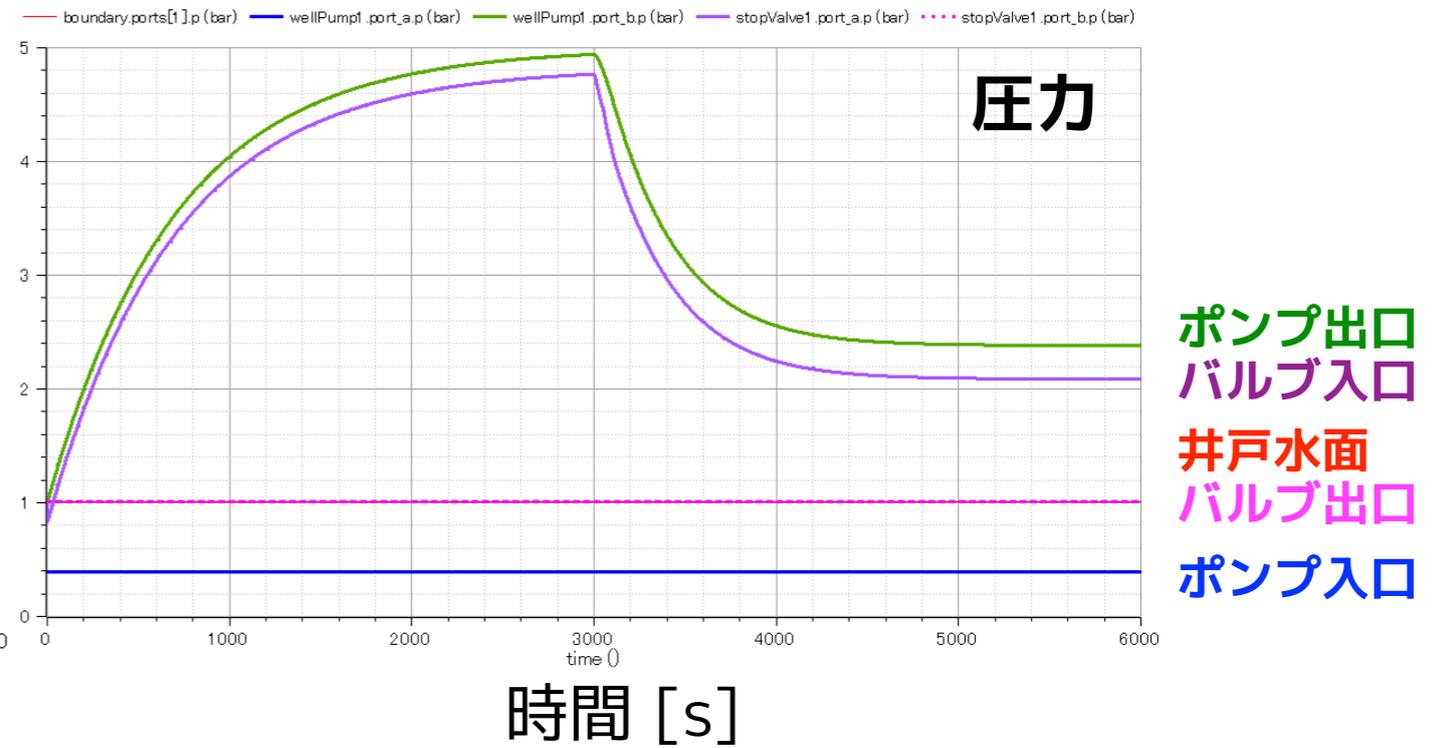
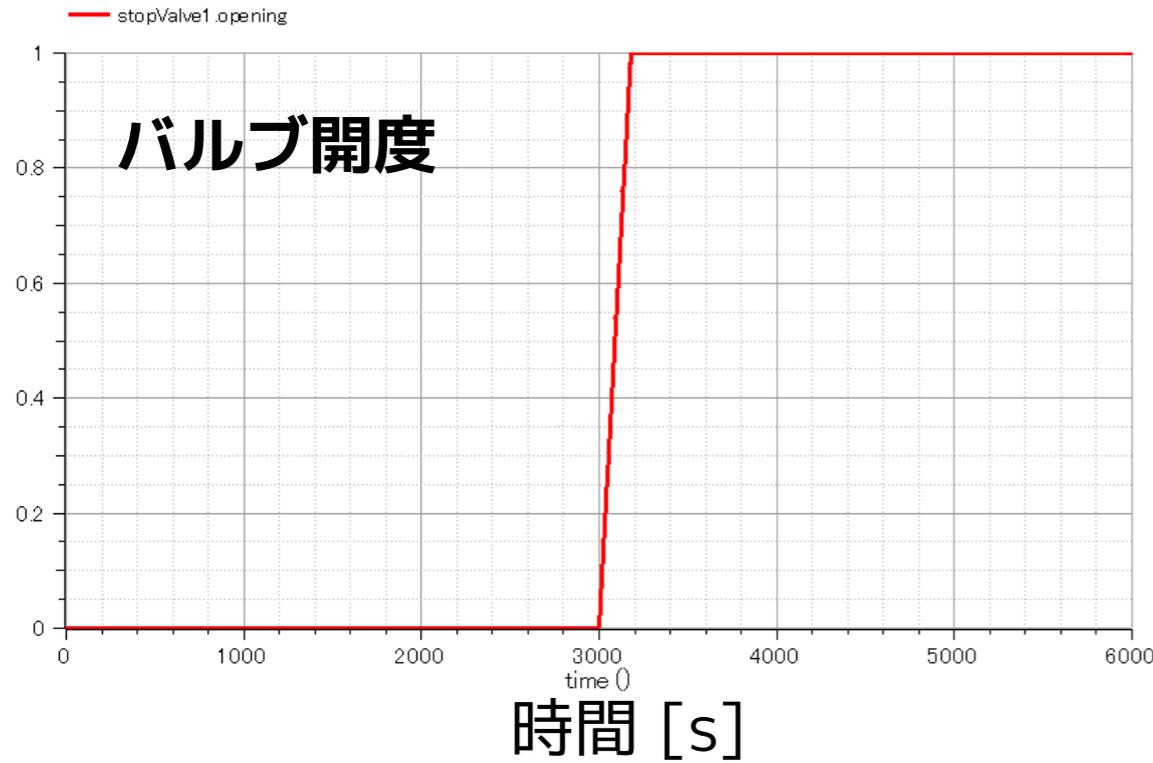
Stop Time = 6000 [s]

計算回数 = 6000

積分手法 ida

非線形ソルバーオプション hybrid

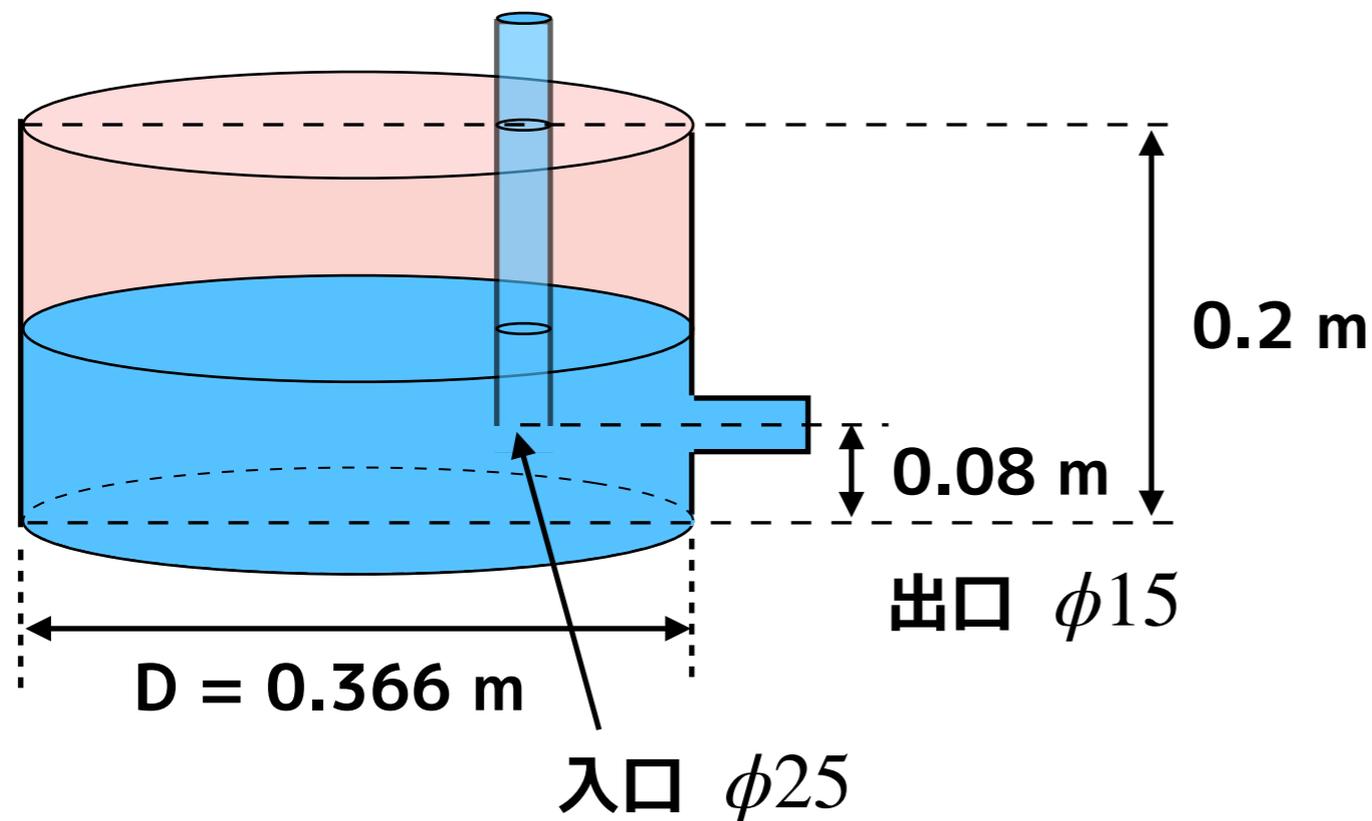
# シミュレーション結果



# 圧力タンク

参考 荏原製作所 25HPO5.25S <https://product-standard-pump.ebara.com/product/detail/P030766>

## 形状情報



タンク全容積  $V = 20 \text{ L} = 0.02 \text{ m}^3$

断面積  $crossArea = 0.1 \text{ m}^2$

高さ  $height = 0.2 \text{ m}$

入口

高さ  $0.08 \text{ m}$

内径  $0.025 \text{ m}$

出口

高さ  $0.08 \text{ m}$

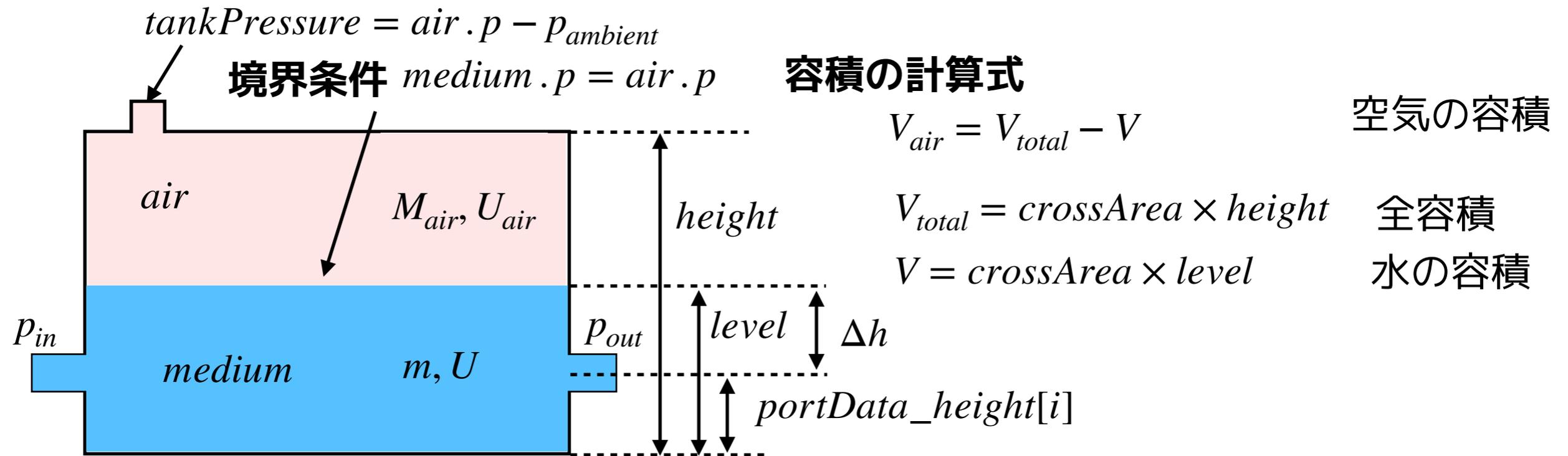
内径  $0.015 \text{ m}$

$$\text{断面積 } crossArea = \frac{\pi D^2}{4} = 0.10521 \text{ m}^2 \sim 0.1 \text{ m}^2$$

$$\text{高さ } height = \frac{V}{crossArea} = 0.2 \text{ m}$$

OpenTank を改造して圧力タンクのモデル PressureTank を作ります。

# 圧カタンク内の空気のモデル化



**空気物性**  $air$  : Modelica.Media.Air.DryAirNasa.BaseProperties

## 空気の状態変数

$$M_{air} = air.d \cdot V_{air} \quad \text{質量}$$

$$U_{air} = air.u \cdot M_{air} \quad \text{内部エネルギー}$$

## 空気の方程式

$$\frac{dM_{air}}{dt} = 0 \quad \text{質量保存式}$$

$$\frac{dU_{air}}{dt} = -Wb_{flow} \quad \text{エネルギー保存式}$$

$$Wb_{flow} = -medium.p \cdot \frac{dV}{dt} \quad \text{水が受ける仕事によるエネルギー}$$

## 容積の計算式

$$V_{air} = V_{total} - V \quad \text{空気の容積}$$

$$V_{total} = crossArea \times height \quad \text{全容積}$$

$$V = crossArea \times level \quad \text{水の容積}$$

## 初期条件

$$air.p = p_{ambient} \quad \text{空気圧力}$$

$$air.T = T_{ambient} \quad \text{空気温度}$$

$$level = level_{start} \quad \text{水位}$$

$$medium.p = p_{ambient} \quad \text{水圧力}$$

$$medium.T = T_{start} = T_{ambient} \quad \text{水温度}$$

# 圧力タンク出入口の圧力

タンク内の静水圧を考慮する。

$$\begin{aligned}
 p_{vessel} &= vessel\_ps\_static[i] \\
 &= \max(0, level - portsData\_height[i]) \cdot system.g \cdot medium.d + air.p \\
 &= \rho g \Delta h + air.p
 \end{aligned}$$

usePortsData = true にすることによって出入口の圧力損失を考慮する。

入口

$$p_{in} + \frac{\dot{m}^2}{2\rho_{in}A_{in}^2} = p_{vessel} + \frac{\dot{m}^2}{2\rho_{vessel}A_{vessel}^2} + \zeta_{in} \frac{\dot{m}^2}{2\rho_{in}A_{in}^2} \quad \zeta_{in} = 1.04$$

静圧      動圧      静圧      動圧      急拡大による圧力損失

$$\Rightarrow p_{in} = p_{vessel} + \left( \zeta_{in} - 1 + \frac{A_{in}^2}{A_{vessel}^2} \right) \frac{1}{2\rho_{in}A_{in}^2} \dot{m}^2$$

出口

$$p_{vessel} + \frac{\dot{m}^2}{2\rho_{vessel}A_{vessel}^2} = p_{out} + \frac{\dot{m}^2}{2\rho_{out}A_{out}^2} + \zeta_{out} \frac{\dot{m}^2}{2\rho_{out}A_{out}^2} \quad \zeta_{out} = 0.5$$

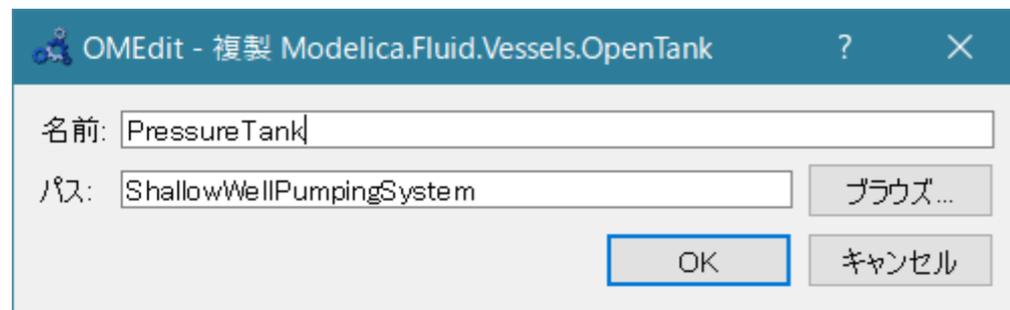
静圧      動圧      静圧      動圧      急縮小による圧力損失

$$\Rightarrow p_{out} = p_{vessel} - \left( \zeta_{out} + 1 - \frac{A_{out}^2}{A_{vessel}^2} \right) \frac{1}{2\rho_{vessel}A_{out}^2} \dot{m}^2$$

# PressureTank

## 圧カタンクをモデル化する

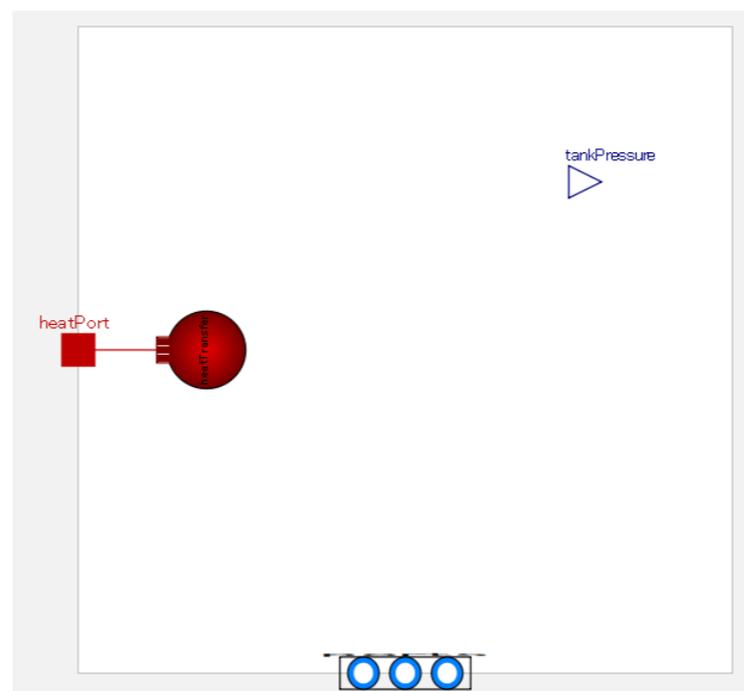
① ライブラリブラウザの Modelica.Fluid.Vessels.OpenTank を右クリックして複製を選択し、PressureTank を作成する。



名前: PressureTank

パス: ShallowWellPumpingSystem

② ダイアグラムビューにして、Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput を貼り付け、名前を tankPressure にする。



### ③ テキストビューで、import 文を追加してスコープを調整し、変数やパラメータなどを編集する。

```
model PressureTank "Simple tank with inlet/outlet ports"
  import Modelica.Constants.pi;
  import SI = Modelica.SIunits;
  import Modelica.Fluid.Types;
  import Modelica.Fluid;
  // Air
  replaceable package Air = Modelica.Media.Air.DryAirNasa;
  Air.BaseProperties air;
  SI.Volume V_air;
  SI.Mass M_air;
  SI.Energy U_air;
  // Tank properties
  SI.Height level(stateSelect = StateSelect.prefer, start = level_start_eps) "Level height of tank";
  SI.Volume V(stateSelect = StateSelect.never) "Actual tank volume";
  // Tank geometry
  parameter SI.Height height = 0.2 "Height of tank";
  parameter SI.Area crossArea = 0.1 "Area of tank";
  parameter SI.Volume V_total = height * crossArea;
  // Ambient
  parameter Medium.AbsolutePressure p_ambient = system.p_ambient "Tank surface pressure" annotation( ...);
  parameter Medium.Temperature T_ambient = system.T_ambient "Tank surface Temperature" annotation( ...);
  // Initialization
  parameter SI.Height level_start(min = 0) = 0.08 "Start value of tank level" annotation( ...);
```

スコープの調整

空気の物性モデルと  
状態変数

形状情報

初期水位

#### ④ 上位モデル PartialLumpedVessel の継承部分のパラメータを設定する。

```
extends Modelica.Fluid.Vessels.BaseClasses.PartialLumpedVessel(  
  final fluidVolume = V,  
  final fluidLevel = level,  
  final fluidLevel_max = height,  
  final vesselArea = crossArea,  
  heatTransfer(surfaceAreas = {crossArea + 2 * sqrt(crossArea * pi) * level}),  
  final initialize_p = false,  
  final p_start = p_ambient,  
  energyDynamics = Modelica.Fluid.Types.Dynamics.FixedInitial,   
  massDynamics = Modelica.Fluid.Types.Dynamics.FixedInitial,   
  nPorts = 2,   
  portsData = {  
    Modelica.Fluid.Vessels.BaseClasses.VesselPortsData(diameter = 0.025, height = 0.08),  
    Modelica.Fluid.Vessels.BaseClasses.VesselPortsData(diameter = 0.015, height = 0.08)},  
  use_portsData = true  
);  
Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput tankPressure annotation( ...);  
...
```

初期温度、圧力を設定値にする。

タンク出入口  
の設定

## ⑤ 空気と容積の方程式を編集する。

```

equation
// Total quantities
V = crossArea * level "Volume of fluid";
medium.p = air.p;
tankPressure = air.p - p_ambient;
V_air = V_total - V;
M_air = air.d * V_air;
U_air = air.u * M_air;
der(M_air) = 0;
// Source termsEnergy balance
if Medium.singleState or energyDynamics == Types.Dynamics.SteadyState then
  Wb_flow = 0 "Mechanical work is neglected, since also neglected in medium model (otherwise unphysical small
temperature change, if tank level changes)";
  der(U_air) = 0;
else
  Wb_flow = -medium.p * der(V);
  der(U_air) = -Wb_flow;
end if;
//Determine port properties
for i in 1:nPorts loop
  vessel_ps_static[i] = max(0, level - portsData_height[i]) * system.g * medium.d + air.p;
end for;
initial equation
if massDynamics == Types.Dynamics.FixedInitial then
  level = level_start_eps;
elseif massDynamics == Types.Dynamics.SteadyStateInitial then
  der(level) = 0;
end if;
air.p = p_ambient;
air.T = T_ambient;
medium.p = p_ambient;
annotation( ...);
end PressureTank;

```

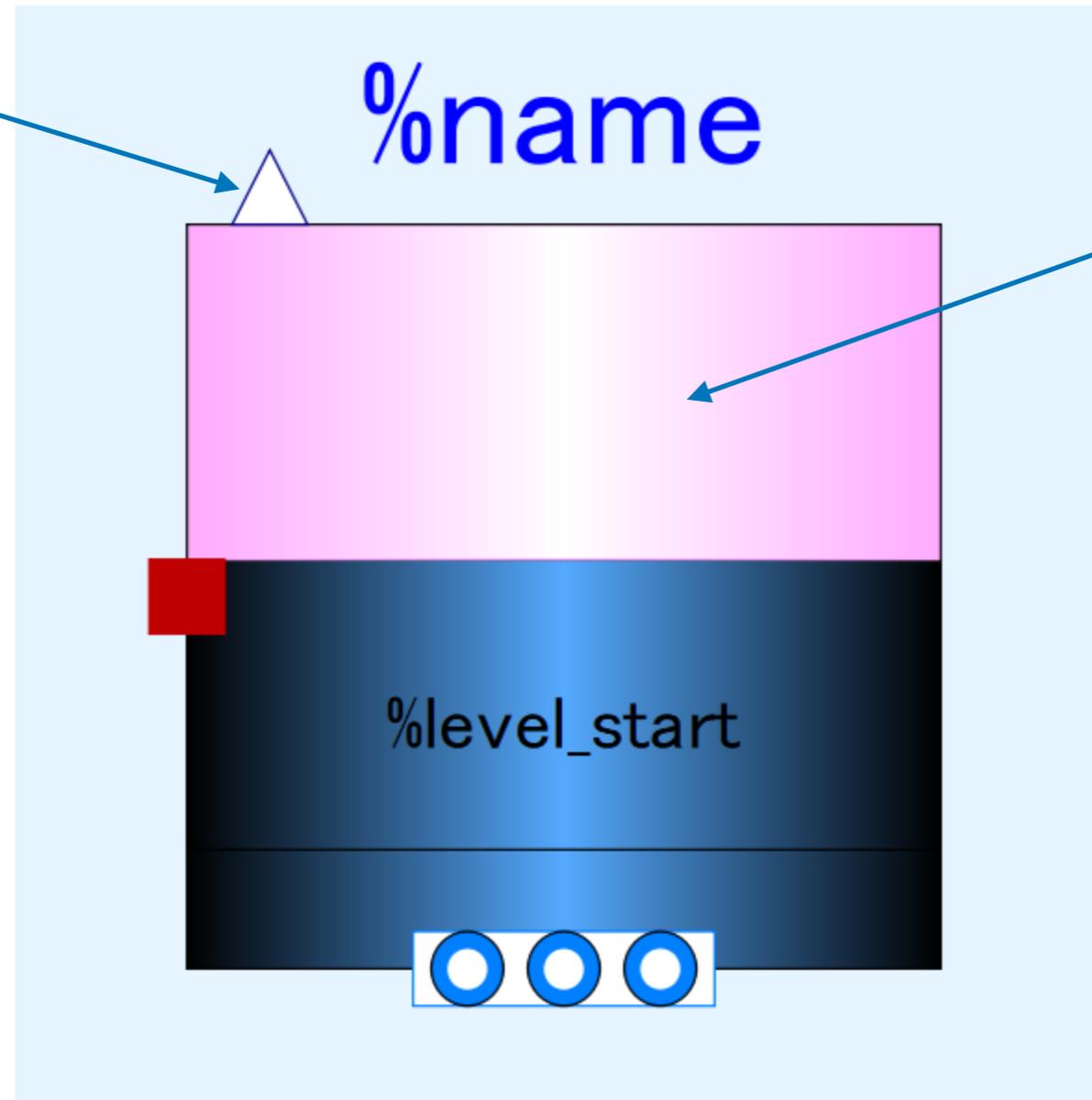
境界条件  
 圧力スイッチへの出力  
 質量と内部エネルギー  
 質量保存式

エネルギー保存式

初期条件

⑥ アイコンビューーに切り替えて、アイコンを編集する。

圧力スイッチへの出力



長方形を描き、  
右クリックして特性を選び  
• 線のスタイル  
• 塗りつぶしタイプ  
などを編集しました。

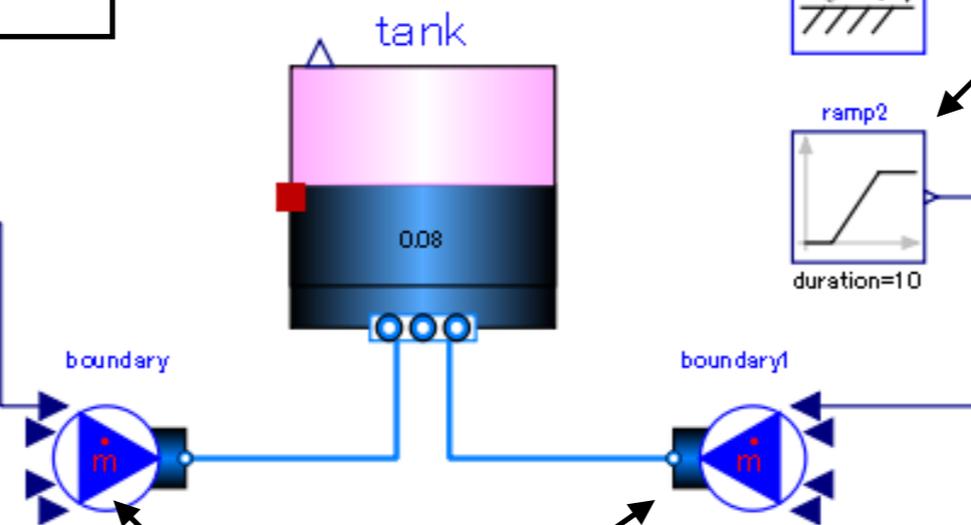
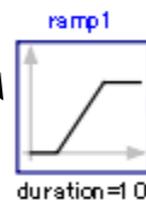
外側の線もいったん削  
除して長方形で書き直  
しました。

お好みでデザインしてください！！

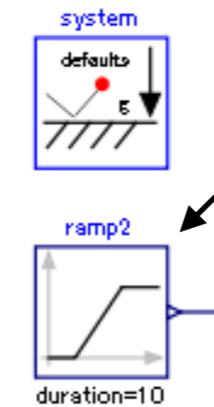
# PressureTankTest1 単体テストモデル

① ライブラリブラウザの ShallowWellPumpingSystem を右クリックし Modelica クラス新規作成を選択して、model PressureTankTest1作り、以下のように配置して編集する。

```
Modelica.Blocks.Source.Ramp  
height = 0.1  
duration = 10  
offset = 0  
startTime = 0
```



```
Modelica.Blocks.Source.Ramp  
height = -0.2  
duration = 10  
offset = 0  
startTime = 120
```

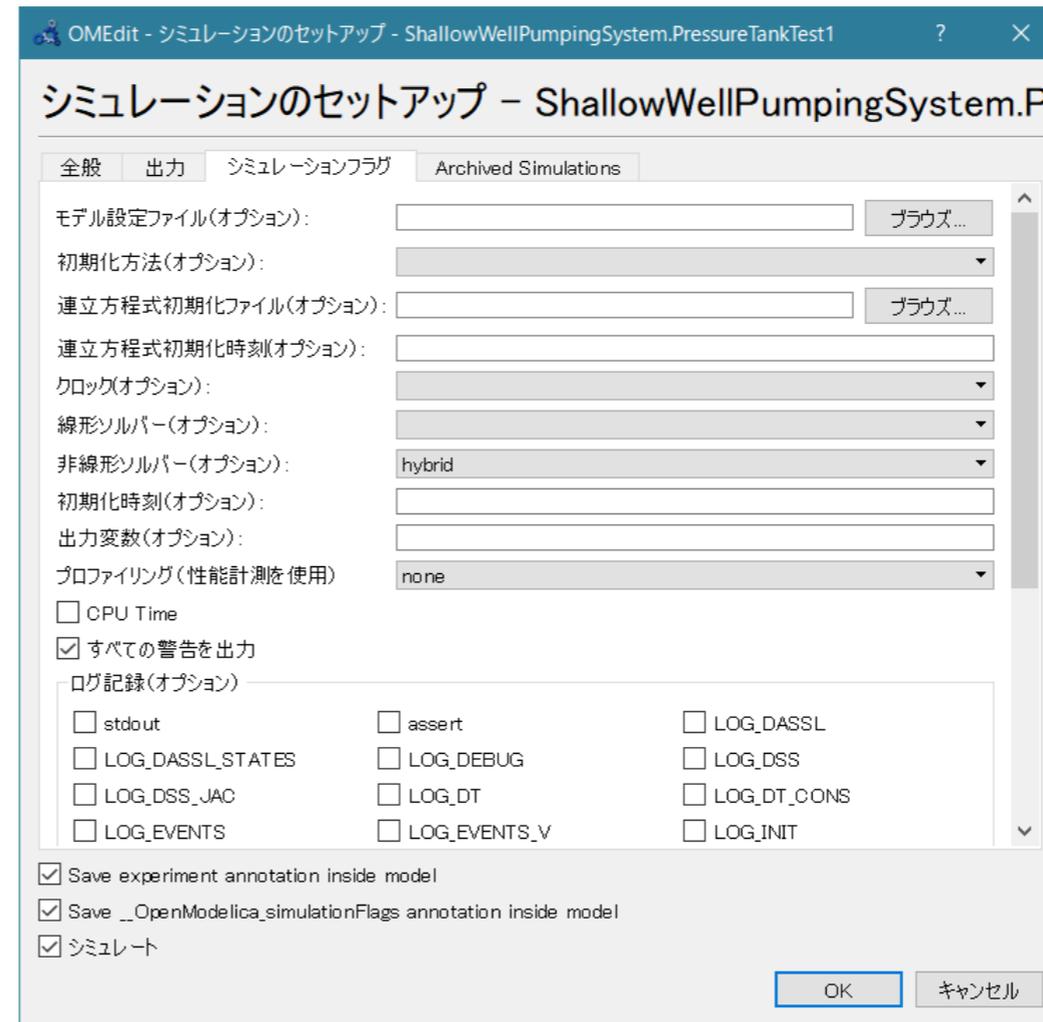
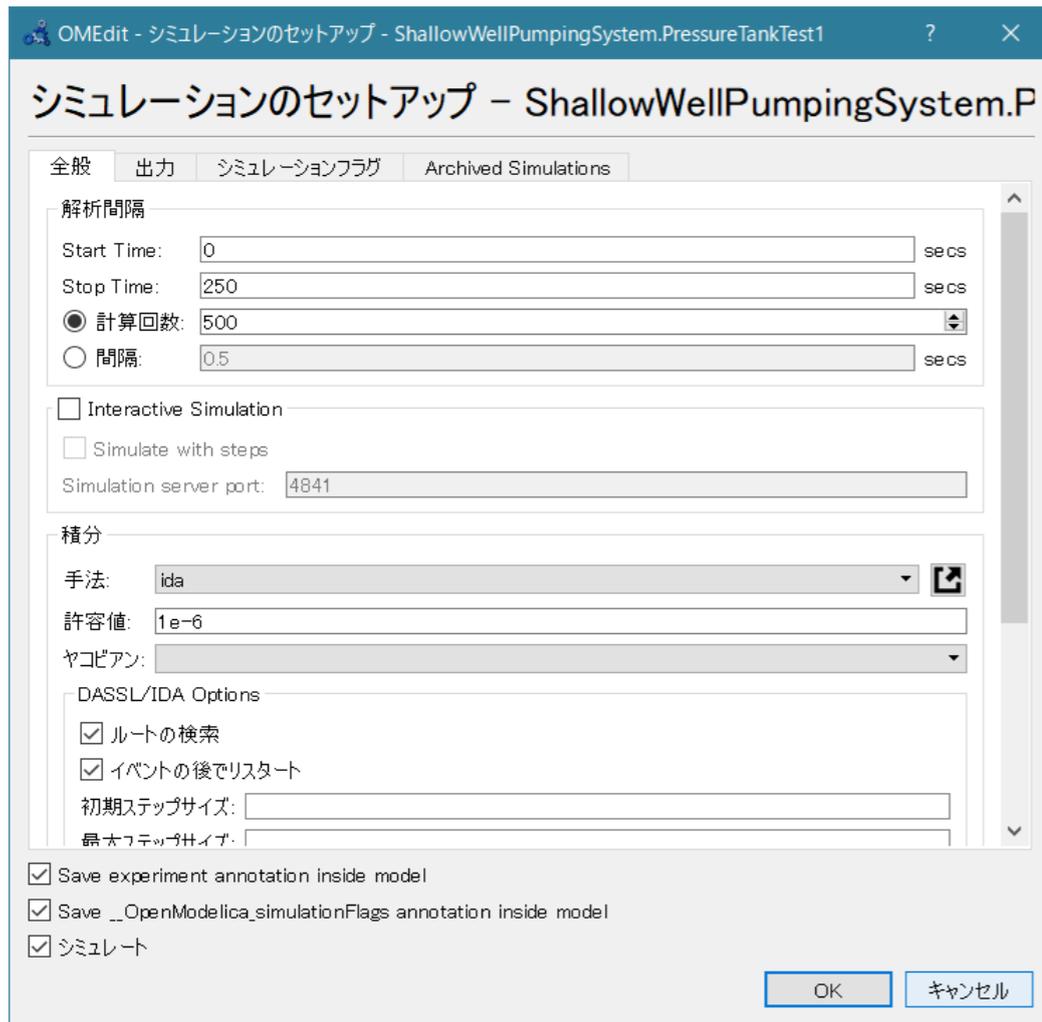


```
Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T  
use_m_flow_in = true  
nPorts = 1
```

## ② テキストビューに切り替えて、Media(流体物性モデル)を設定する。

```
model PressureTankTest1
  replaceable package Medium = Modelica.Media.Water.StandardWater;
  PressureTank tank(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...);
  Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T boundary(
    redeclare package Medium = Medium, nPorts = 1, use_m_flow_in = true) annotation( ...);
  Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T boundary1(
    redeclare package Medium = Medium, m_flow = 0, nPorts = 1, use_m_flow_in = true) annotation( ...);
  Modelica.Blocks.Sources.Ramp ramp1(duration = 10, height = 0.1, offset = 0, startTime = 0) annotation( ...);
  inner Modelica.Fluid.System system annotation( ...);
  Modelica.Blocks.Sources.Ramp ramp2(duration = 10, height = -0.2, offset = 0, startTime = 120) annotation( ...);
equation
  connect(ramp2.y, boundary1.m_flow_in) annotation( ...);
  connect(ramp1.y, boundary.m_flow_in) annotation( ...);
  connect(tank.ports[2], boundary1.ports[1]) annotation( ...);
  connect(boundary.ports[1], tank.ports[1]) annotation( ...);
  annotation( ...);
end PressureTankTest1;
```

## ③ シミュレーションを実行する。



Start Time = 0 [s]

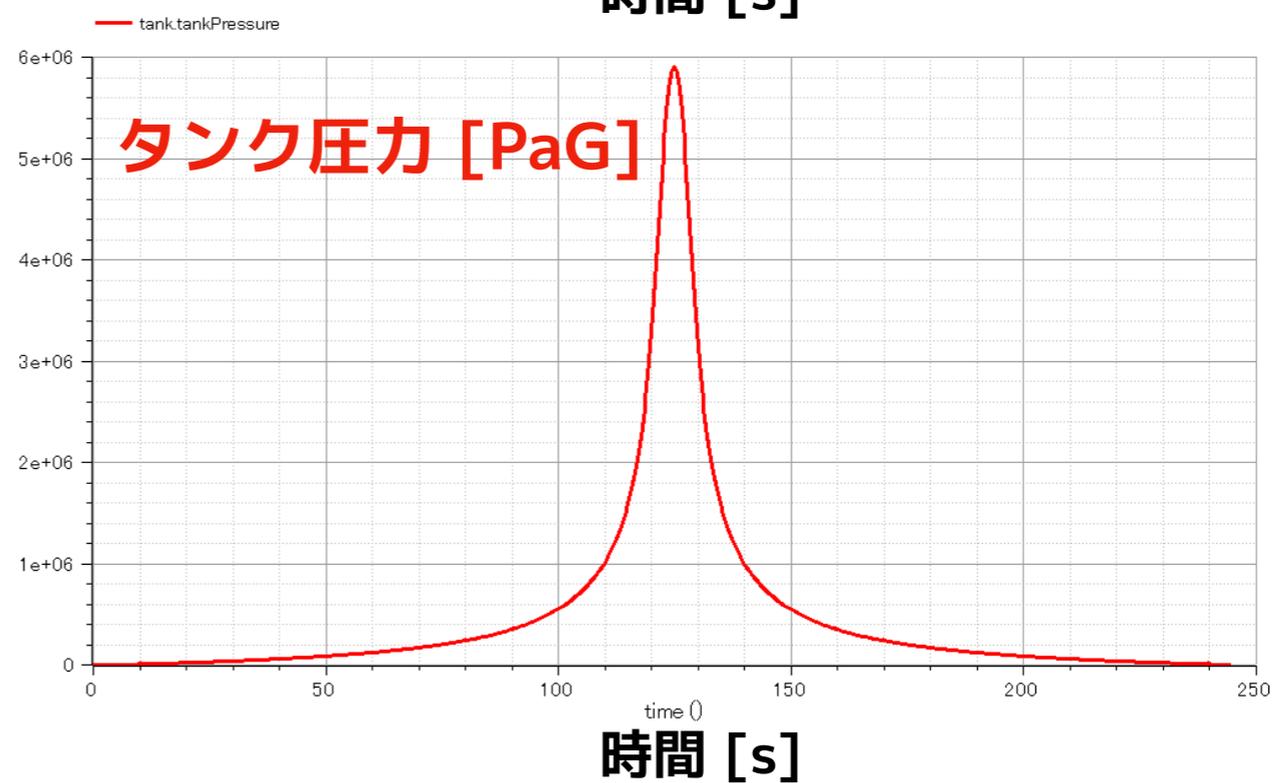
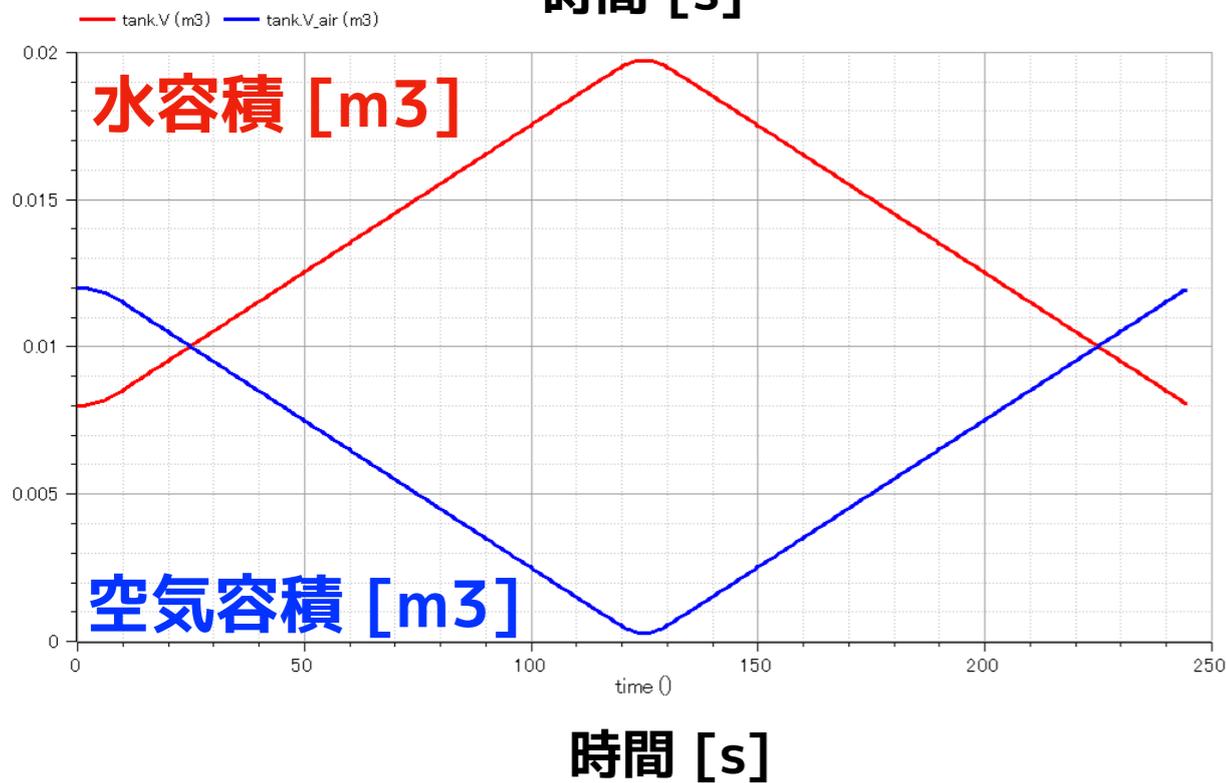
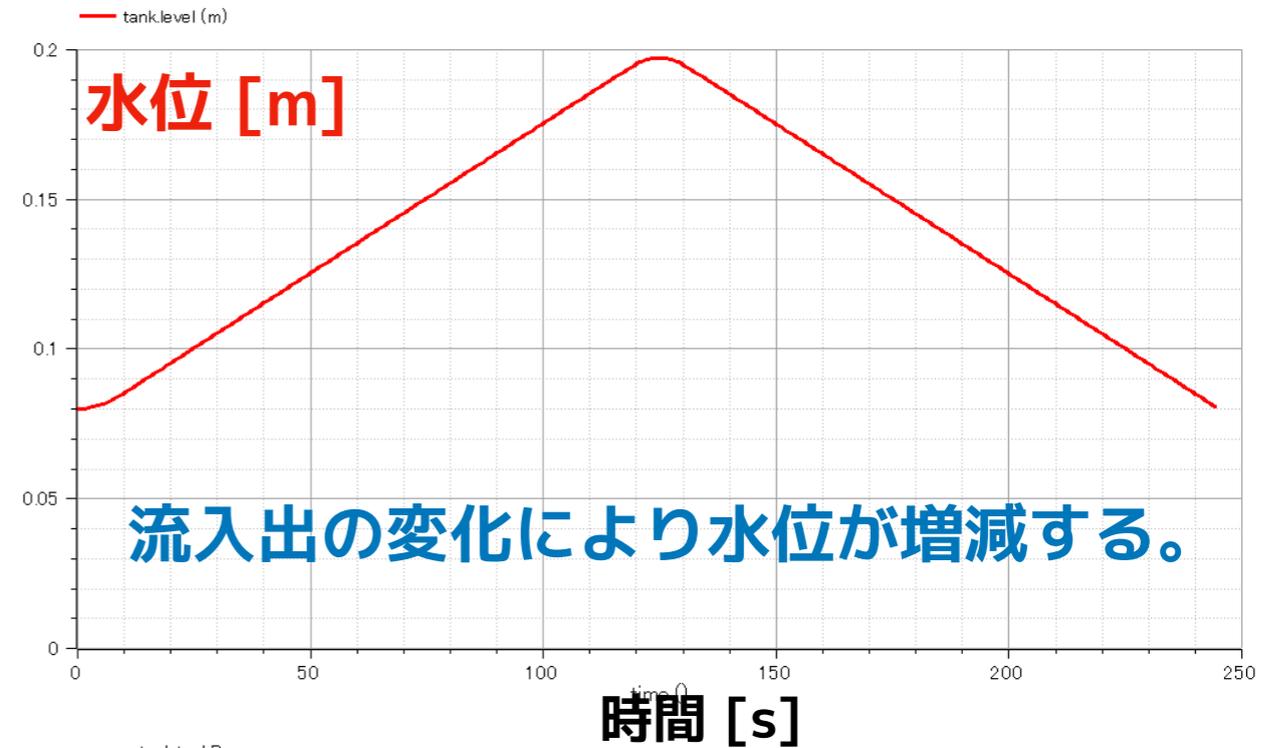
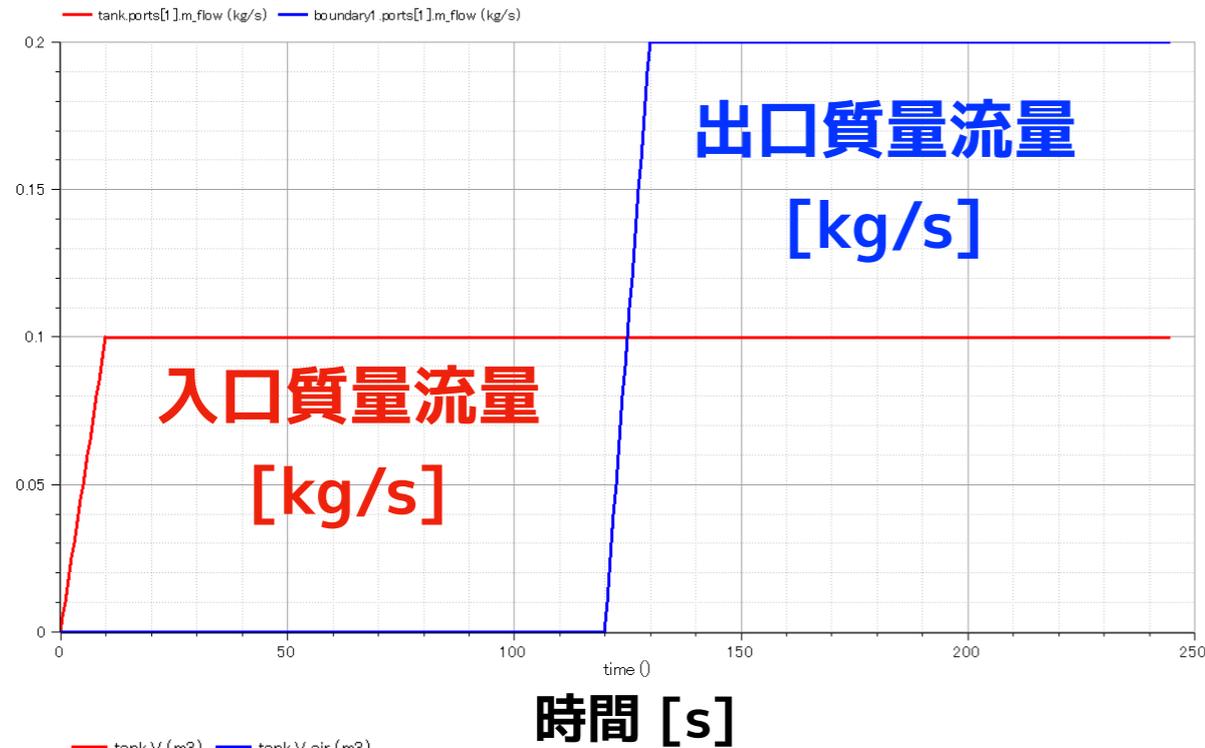
Stop Time = 250 [s]

計算回数 = 500

積分手法 ida

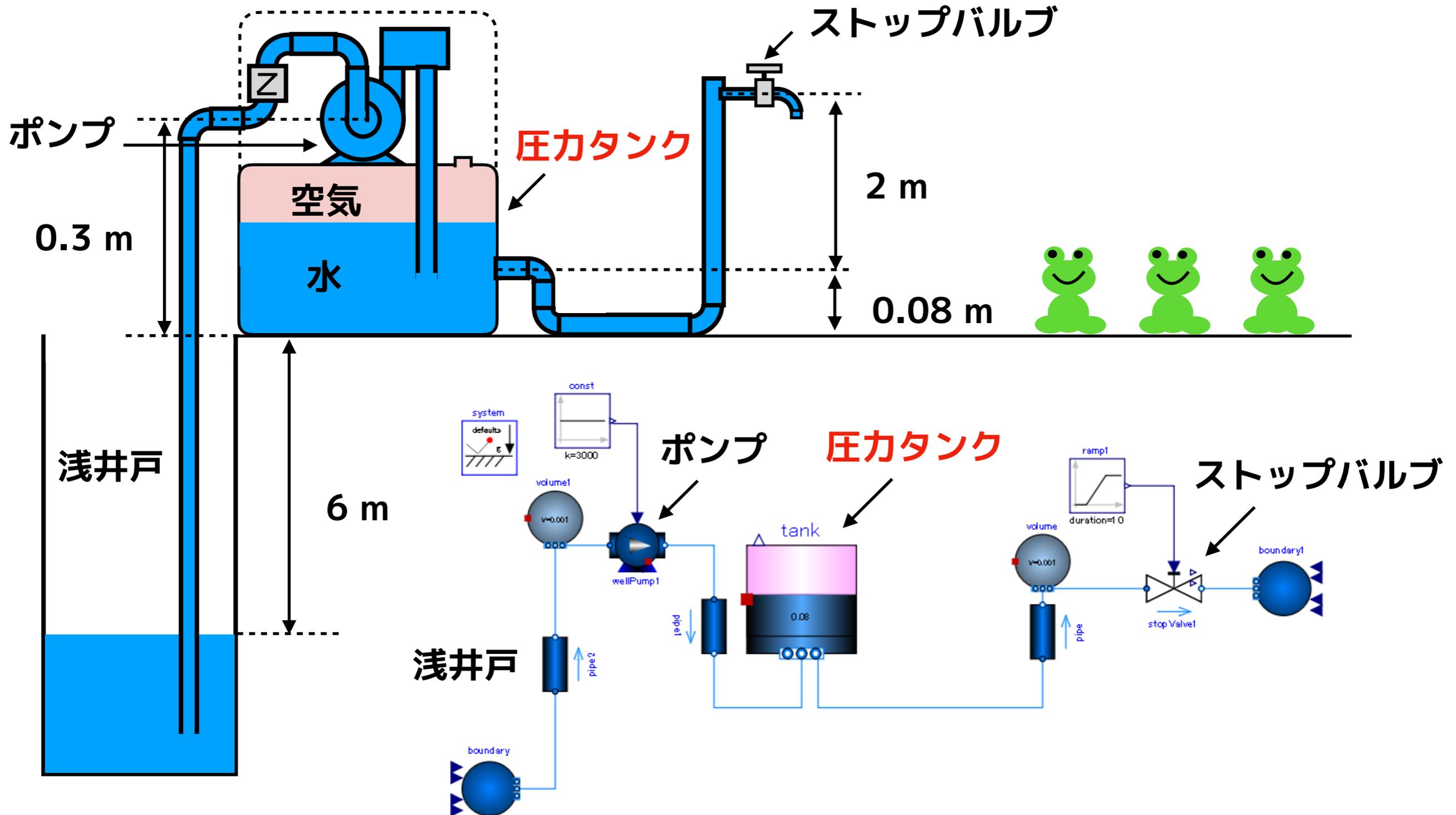
非線形ソルバーオプション hybrid

# シミュレーション結果



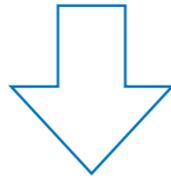
水位が上昇すると空気が圧縮されてタンク圧力が増大することが確認できました。

# PressureTankTest2



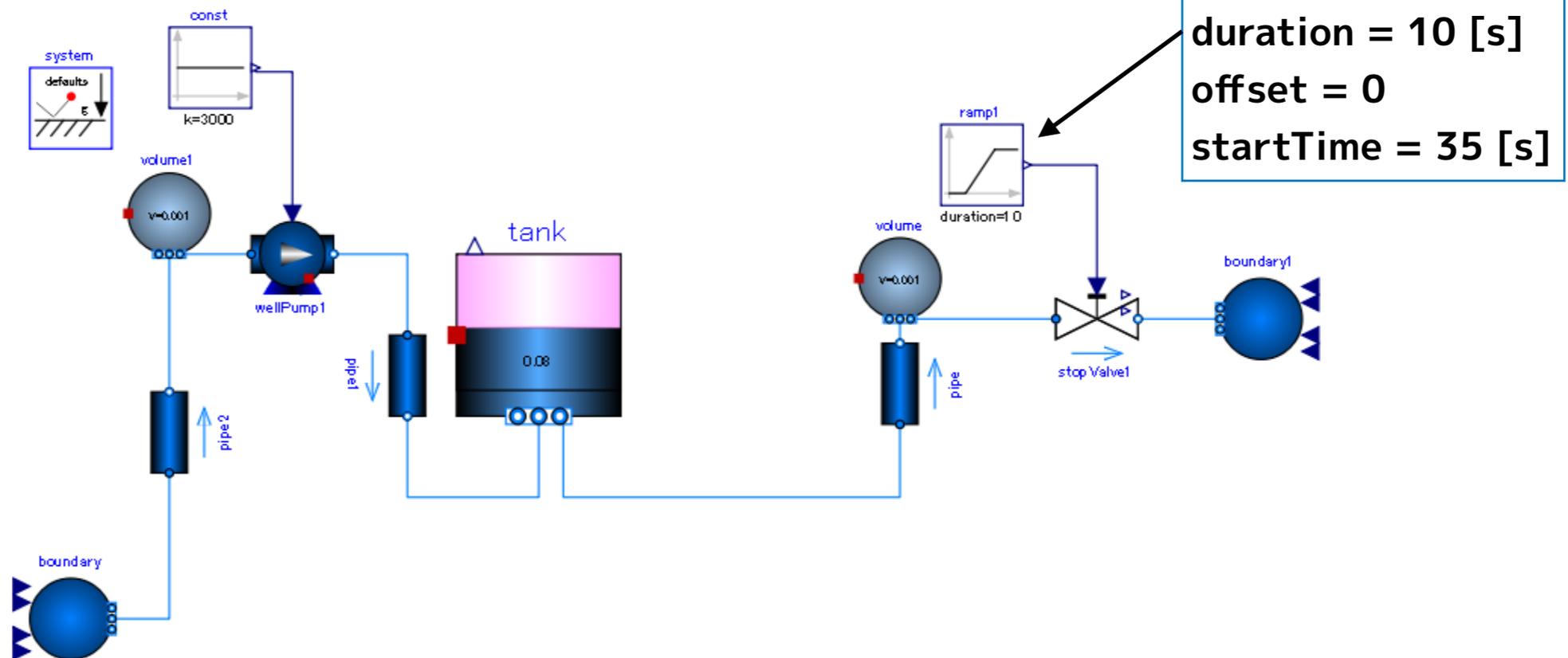
- ① WellPumpTest3 を複製して PressureTankTest2 を作成する。
- ② テキストビューで、OpenTank を探し、PressureTank に置き換え、不要なパラメータを削除する。

```
Modelica.Fluid.Vessels.OpenTank tank(redeclare package Medium = Medium, crossArea = 0.01, ...
```

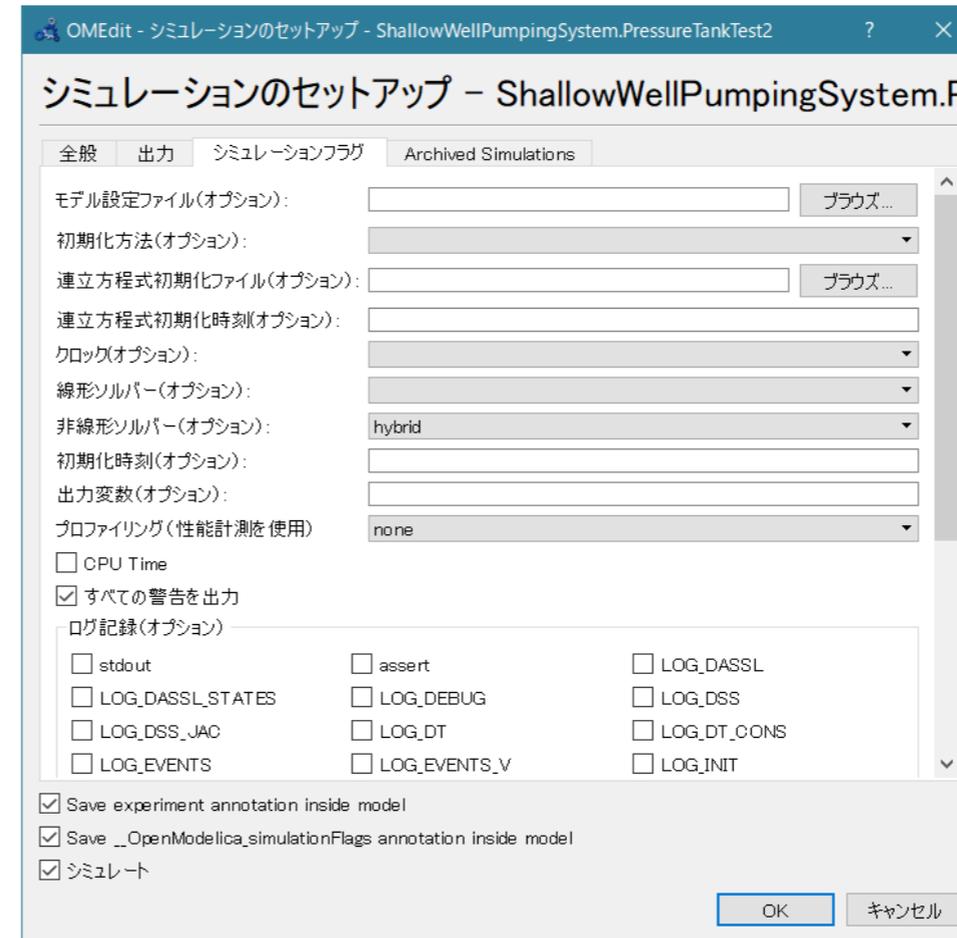
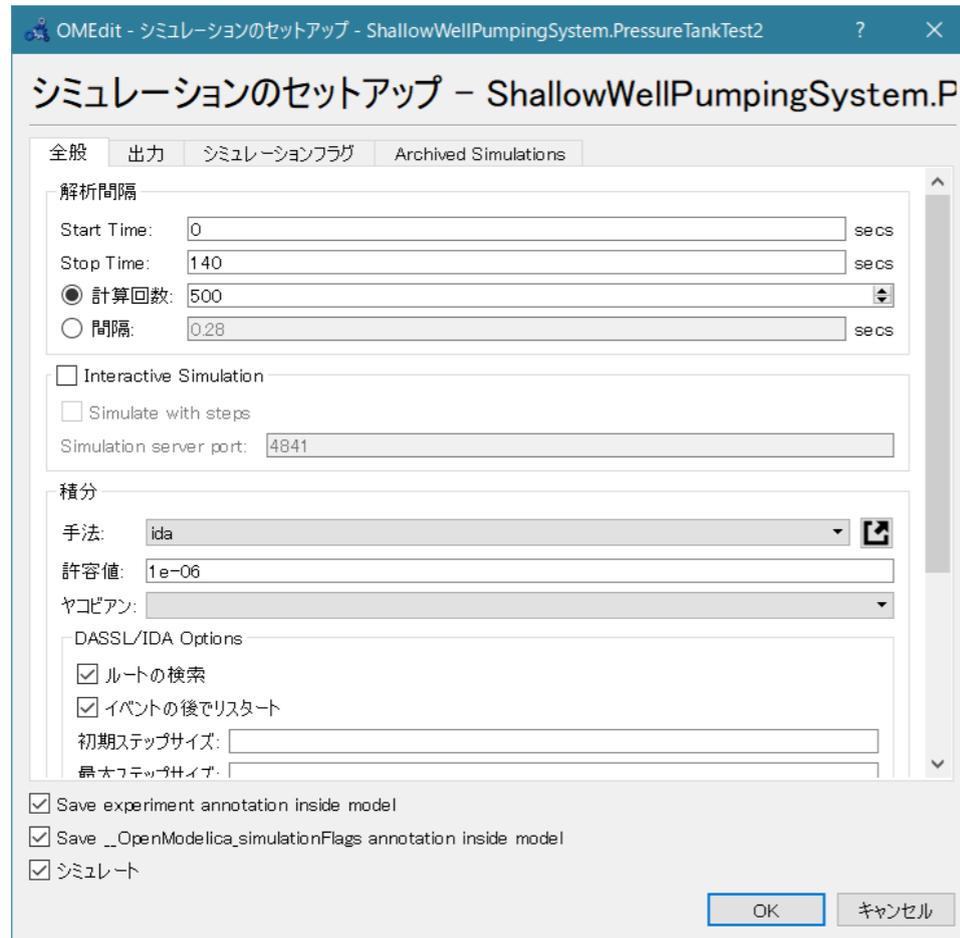


```
ShallowWellPumpingSystem.PressureTank tank(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...);
```

- ③ ramp1 のパラメータを編集する。



## ④ シミュレーションを実行する。



Start Time = 0 [s]

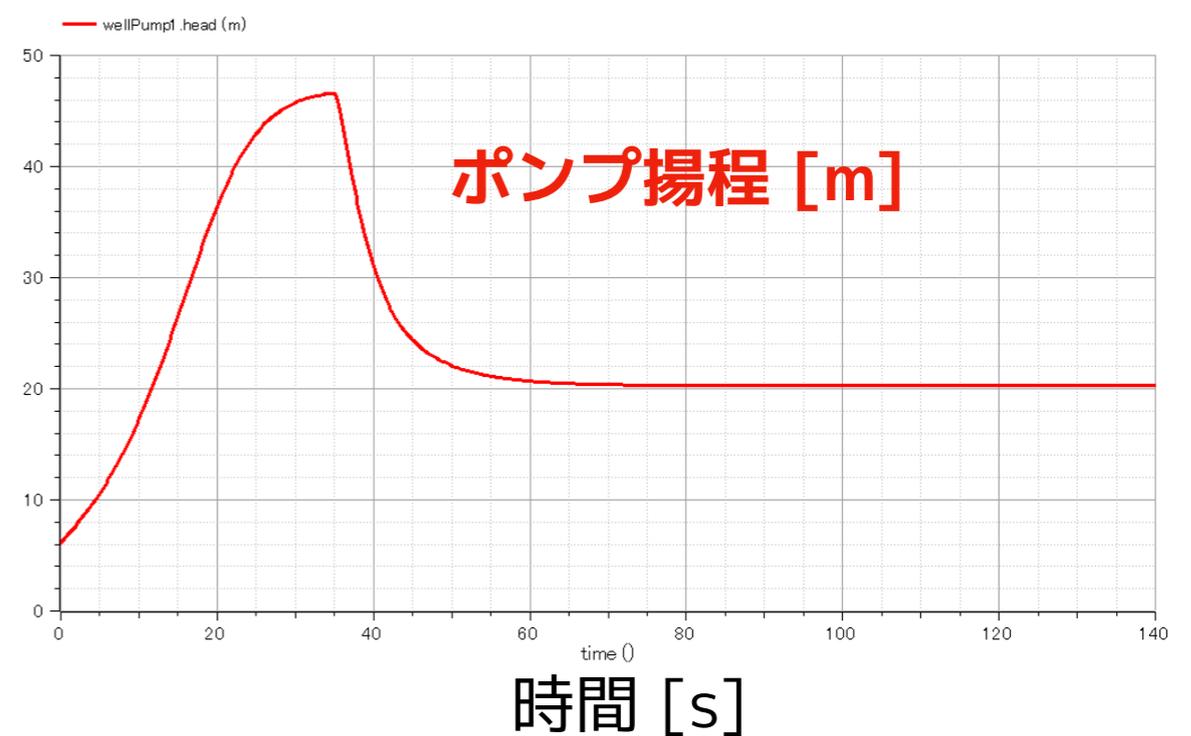
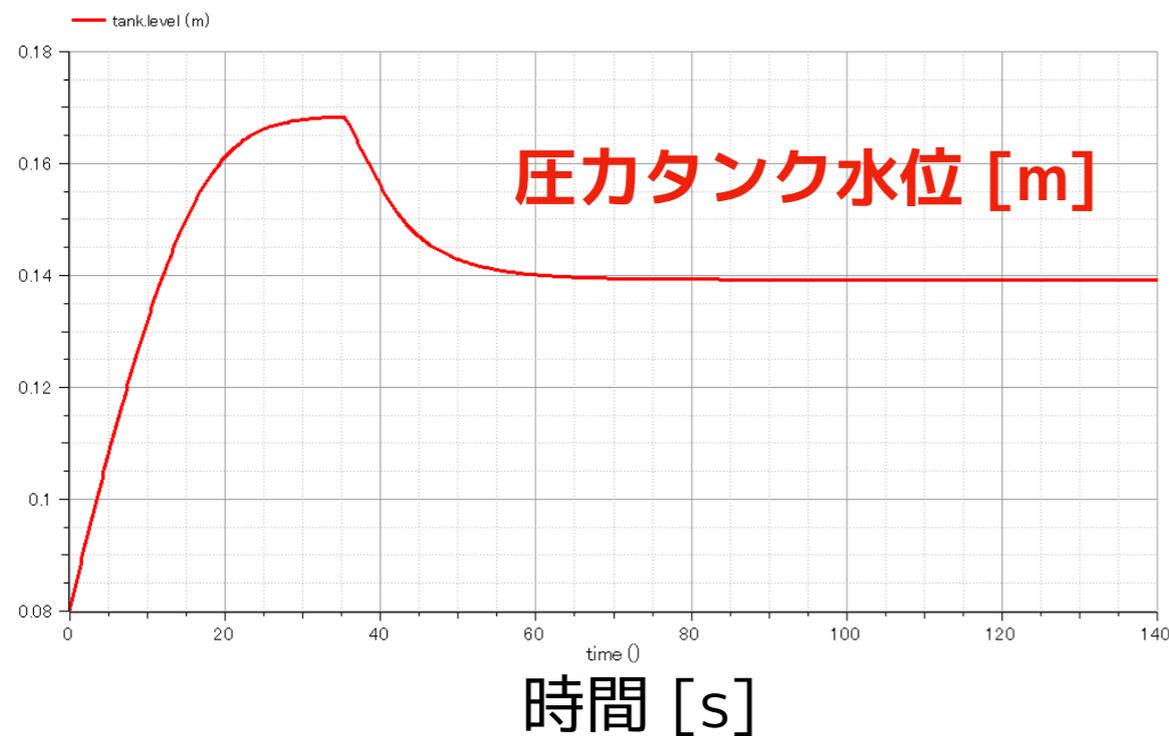
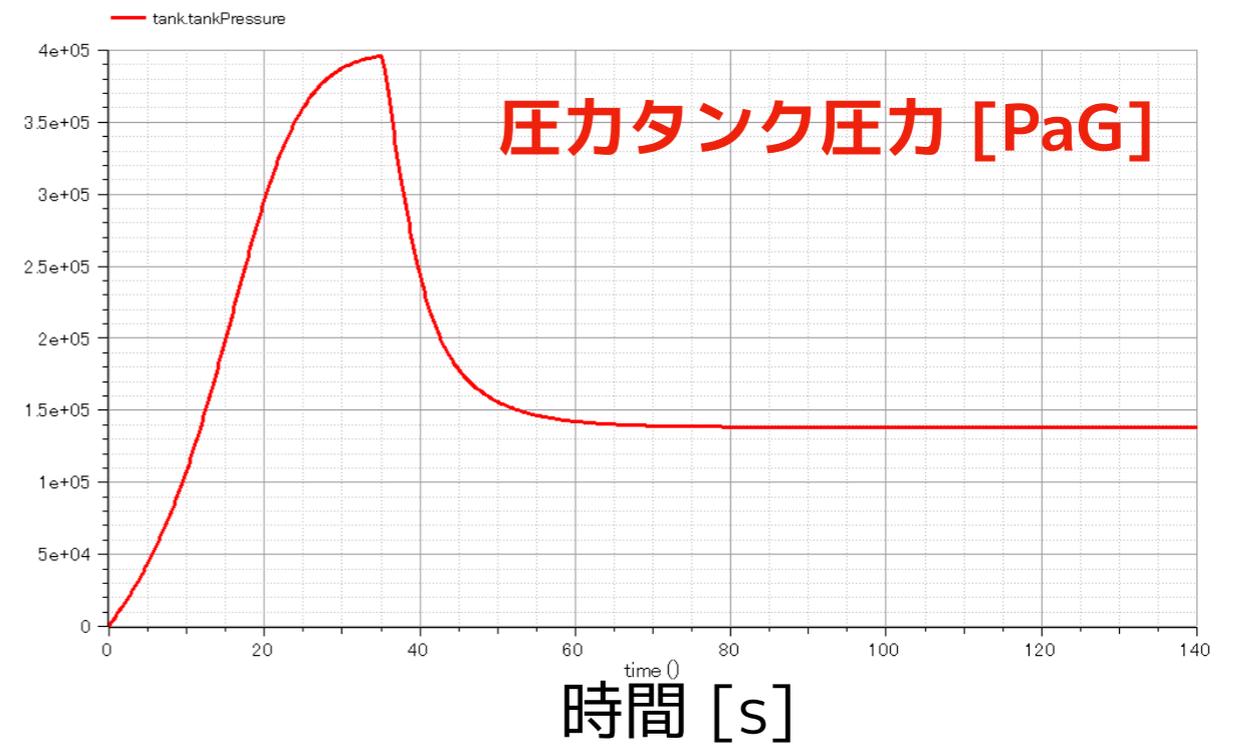
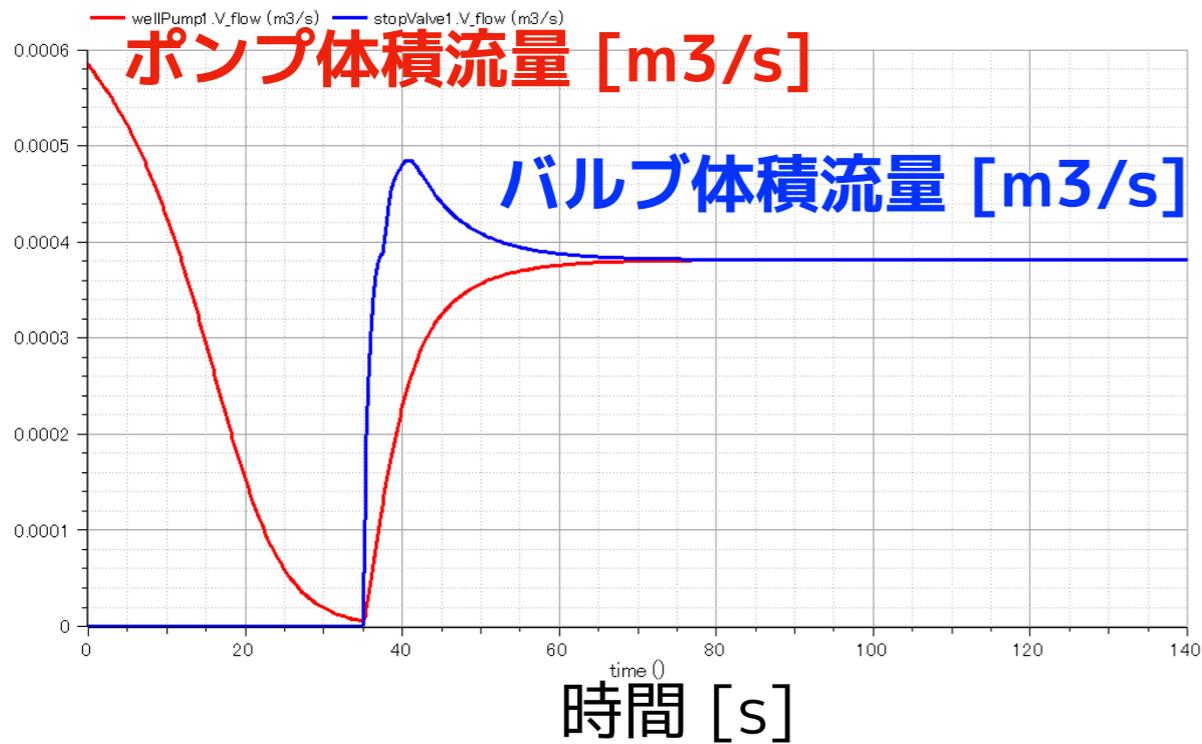
Stop Time = 140 [s]

計算回数 = 500

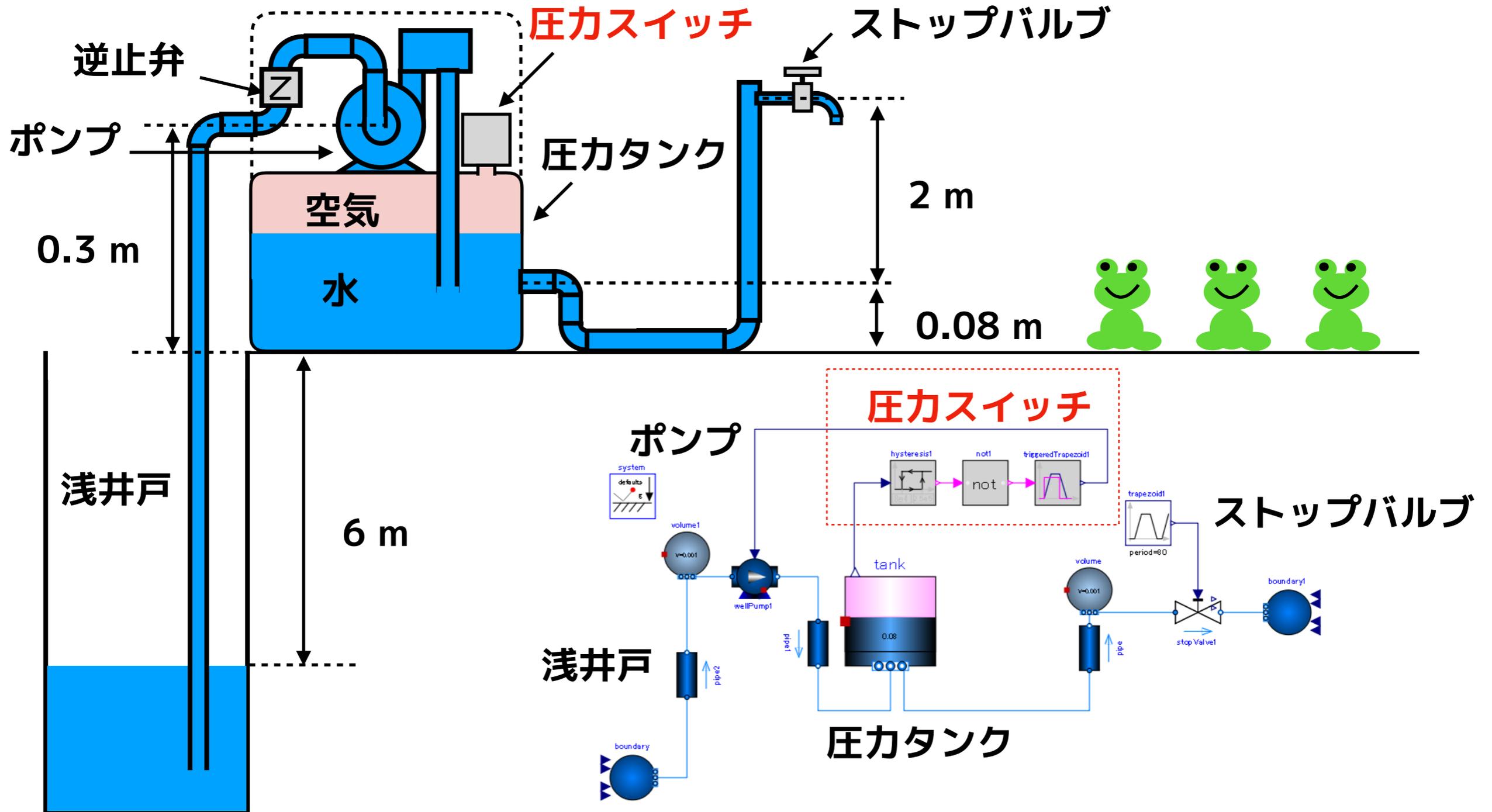
積分手法 ida

非線形ソルバーオプション hybrid

# シミュレーション結果

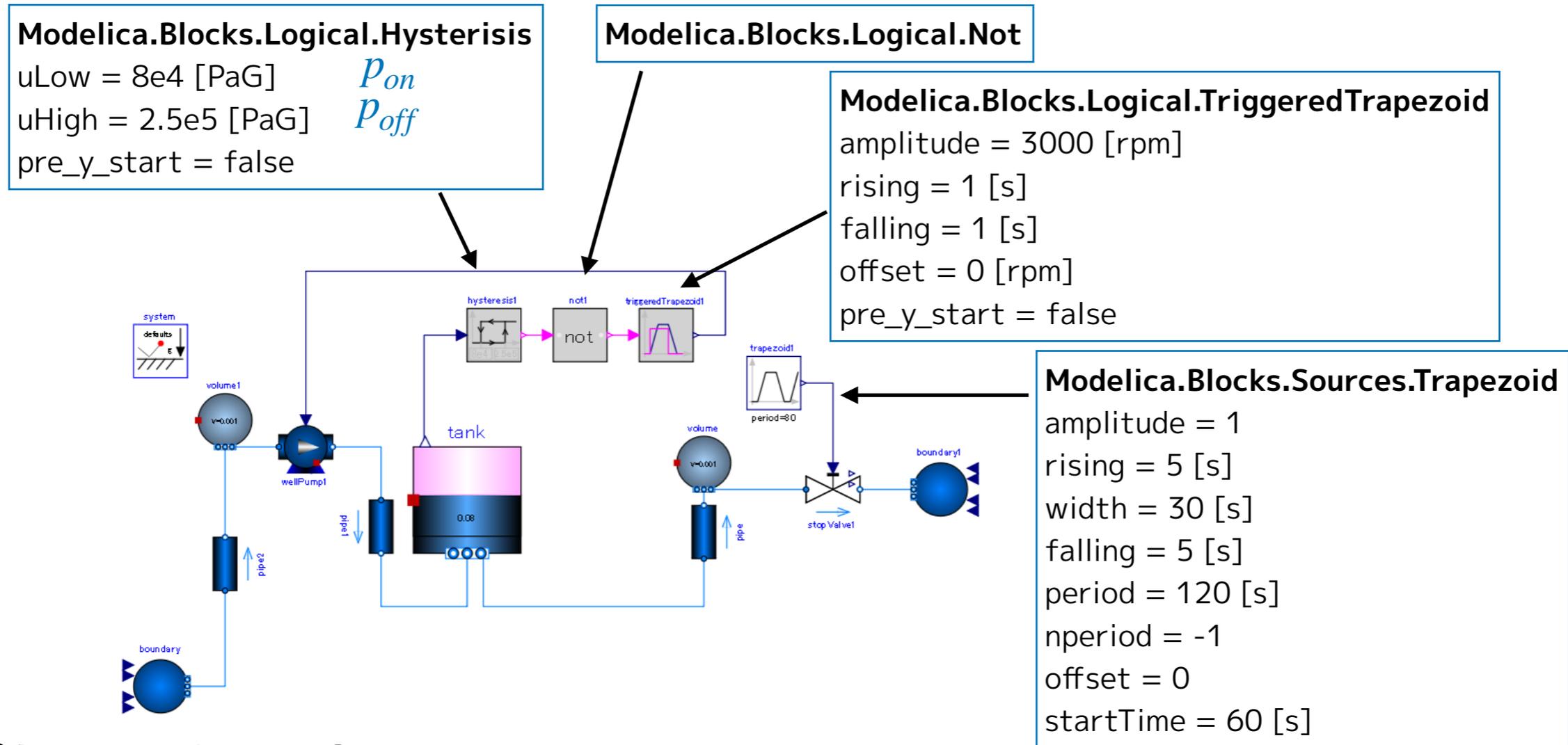


# 圧カスイッチ



# PressureSwitch

① PressureTank2 を複製して PressureSwitch を作り、以下のように編集する。



ポンプがオフになる圧力

$$P_{off} = \rho g(h_{max} - h_{well}) = 2.54223 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5 \text{ [PaG]}$$

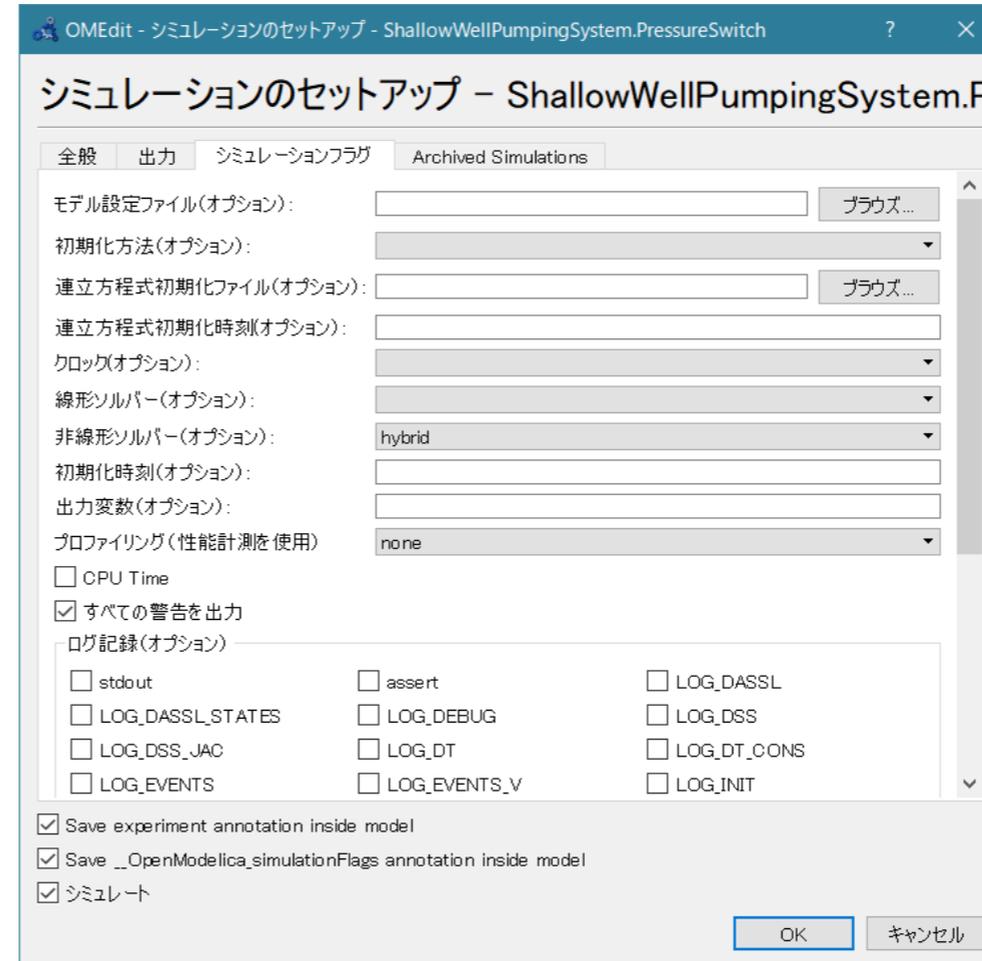
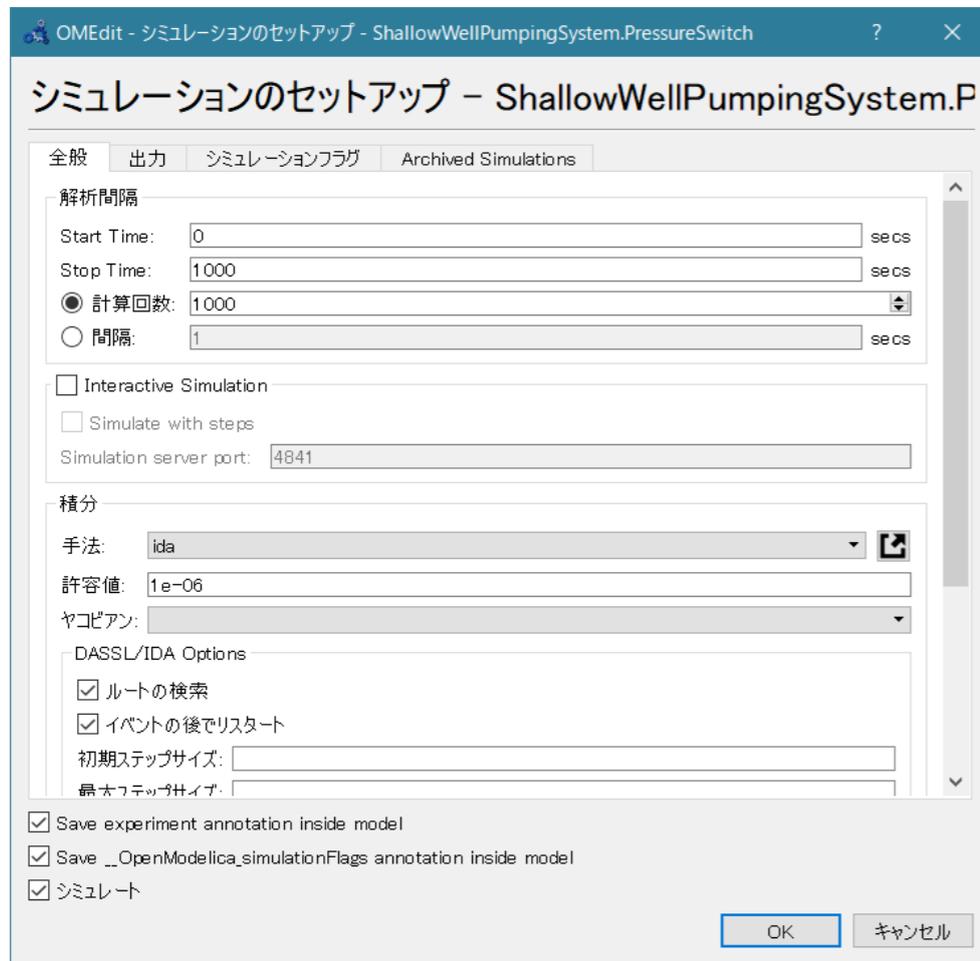
ポンプがオンになる圧力

$$P_{on} = 0.8 \times 10^5 \text{ [PaG]}$$

$\rho$	密度(25°C)	997.062	kg/m <sup>3</sup>
$g$	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
$h_{max}$	最大揚程	32	m
$h_{well}$	井戸深さ	6	m

## 実行してから圧カスイッチの動作を説明する。

## ② シミュレーションを実行する。



Start Time = 0 [s]

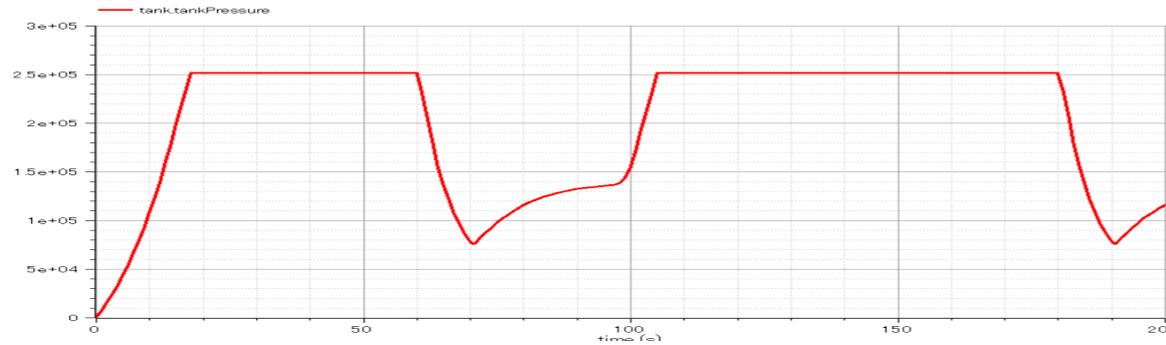
Stop Time = 1000 [s]

計算回数 = 1000

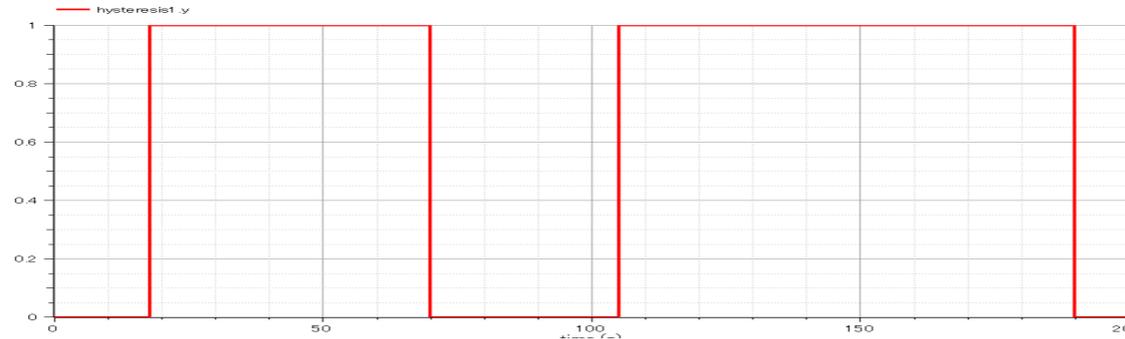
積分手法 ida

非線形ソルバーオプション hybrid

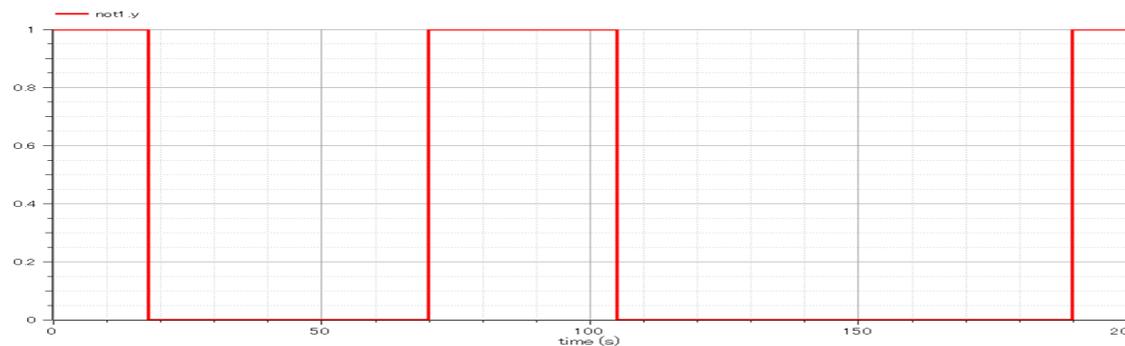
圧カタンク圧力  
[PaG]



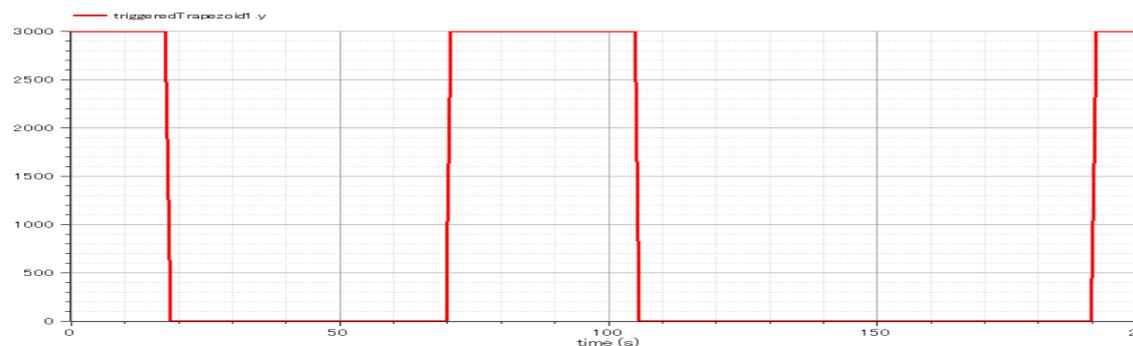
hysteresis1



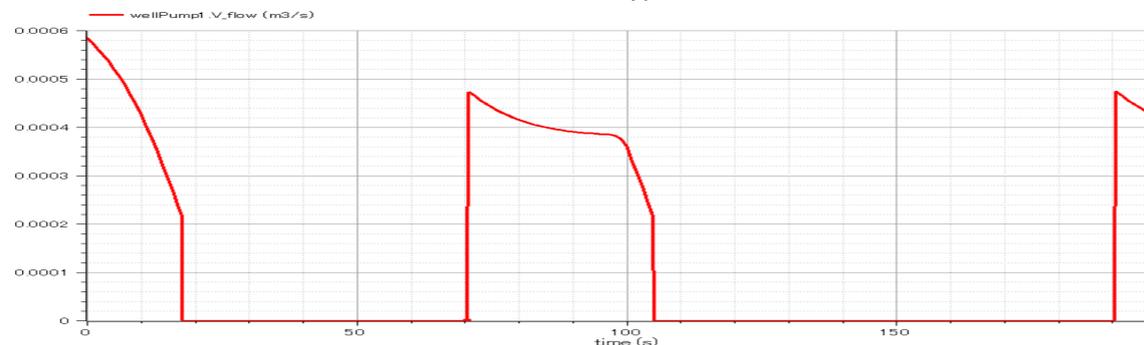
not1



triggerdTrapezoid1  
[rpm]



ポンプ体積流量  
[m3/s]



## 圧カスイッチの動作

圧カタンク

$2.5 \times 10^5$  [PaG] 以上でオン

$0.8 \times 10^5$  [PaG] 以下でオフ

信号反転

$2.5 \times 10^5$  [PaG] 以上でオフ

$0.8 \times 10^5$  [PaG] 以下でオン

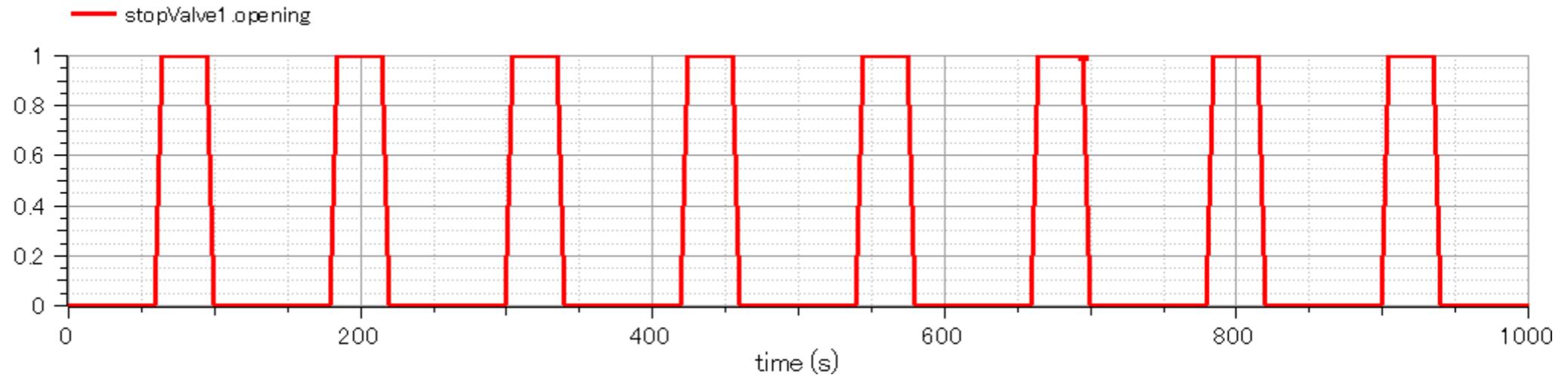
オン/オフ信号をポンプ回転数に変換

立ち上がり(rising) 1 s

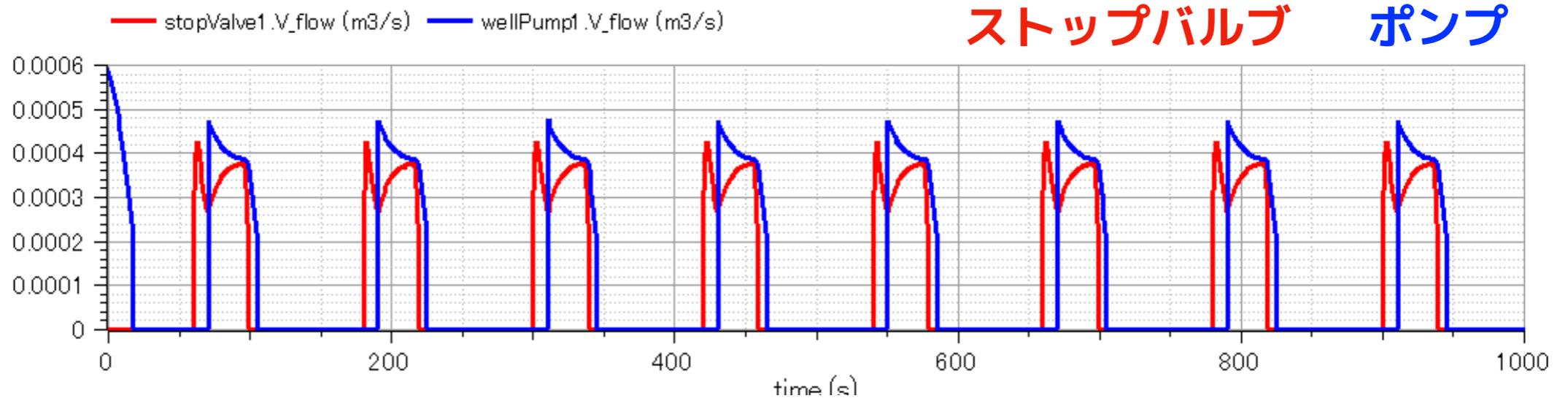
立ち下がり(falling) 1s

# シミュレーション結果

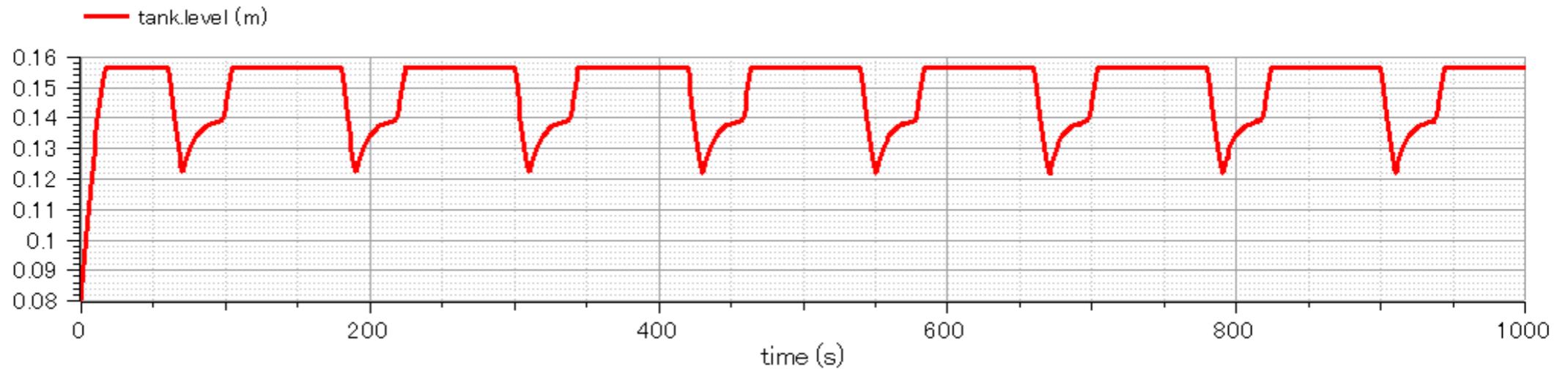
バルブ開度



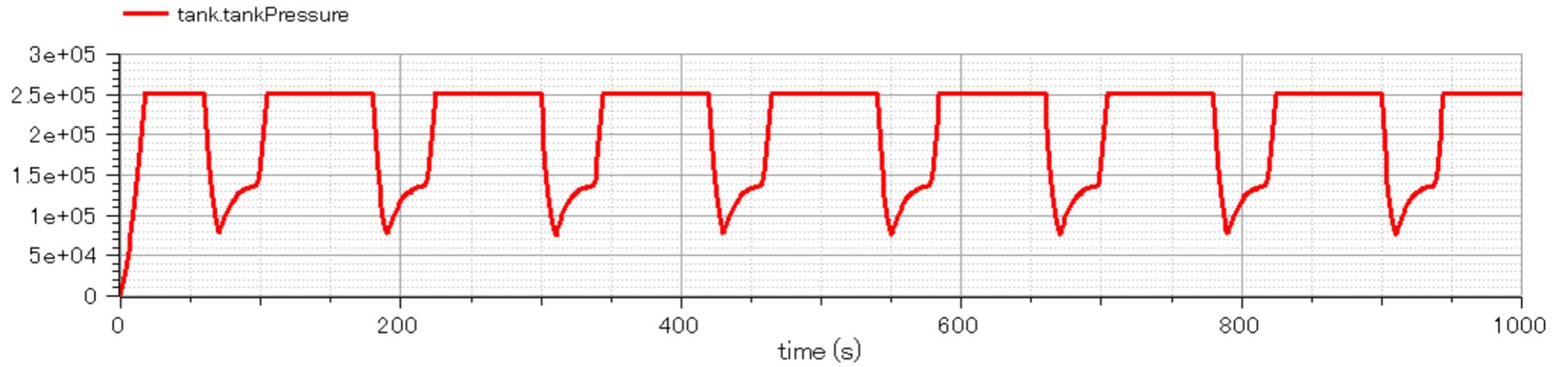
体積流量  
[m<sup>3</sup>/s]



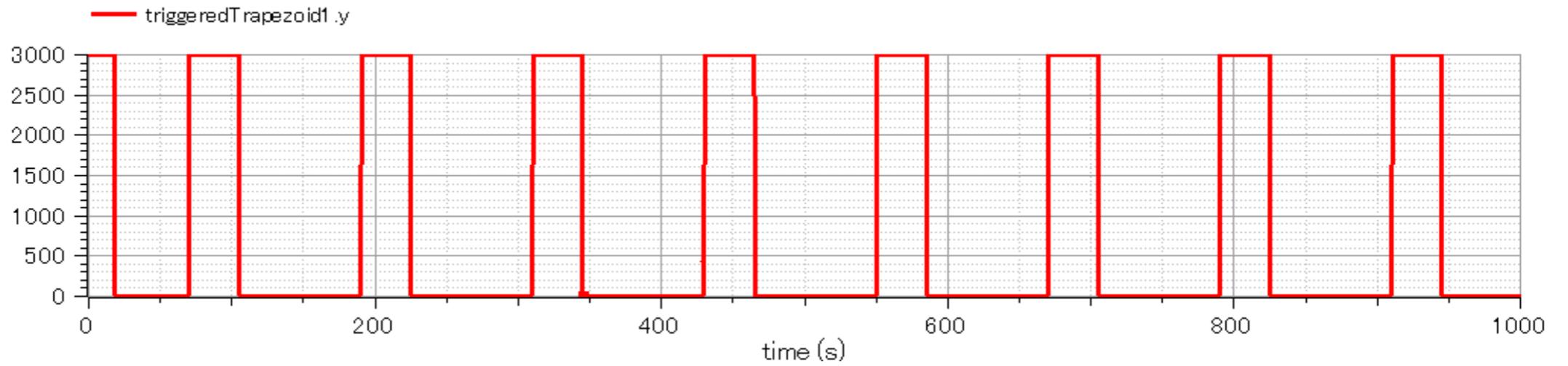
圧カタンク  
水位  
[m]



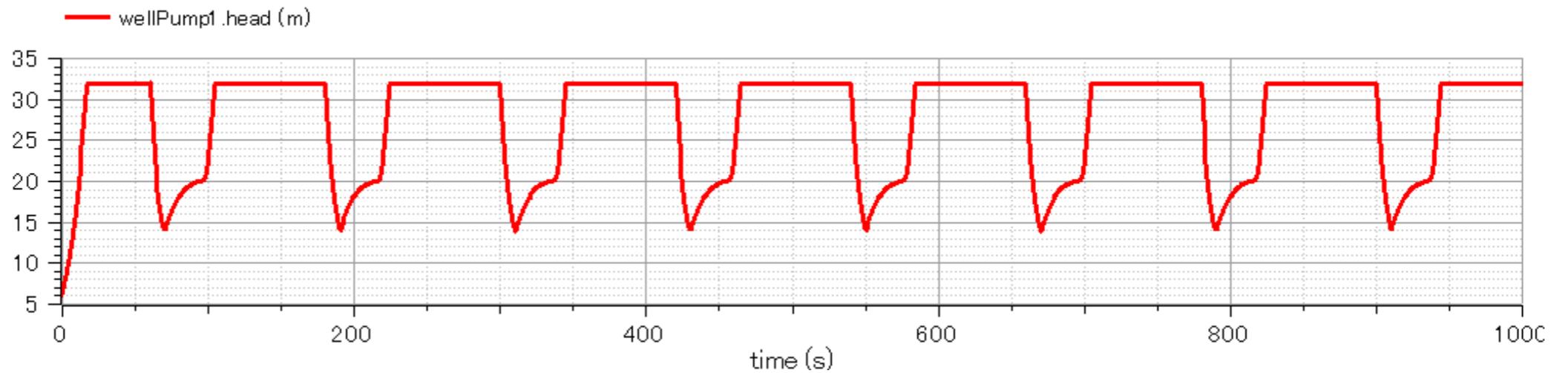
圧カタンク  
圧力  
[PaG]



ポンプ回転数  
[PaG]



ポンプ揚程  
[m]



## まとめ

- ストップバルブ、ポンプ、井戸の給水パイプ、圧力タンク、圧力スイッチに対するモデルを作成し、簡単な浅井戸ポンプ給水システムのモデル化を行った。
- ストップバルブが周期的に開閉する場合に関してシミュレーションを行い、流量や圧力、タンク水位の変化などが得られた。

## 今後の展開

- ポンプのオン/オフ時における回転数の rising time や falling time に対してより現実的なモデル化を行う。
- 台所、洗面台、風呂、トイレなどを想定し、ストップバルブを複数配置してモデル化を行う。

**Licensed by Amane Tanaka under the Modelica License 2**

**Copyright(c) 2019, Amane Tanaka**

**This document is free and the use is completely at your own risk; it can be redistributed and/or modified under the terms of the Modelica license 2, see the license conditions (including the disclaimer of warranty)**

**at <http://www.modelica.org/licenses/ModelicaLicense2>**