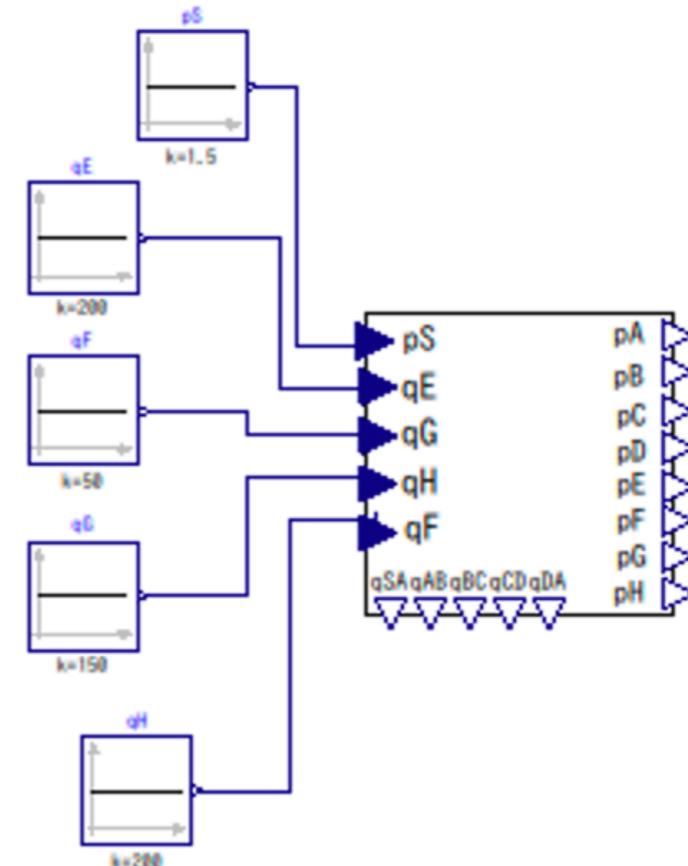
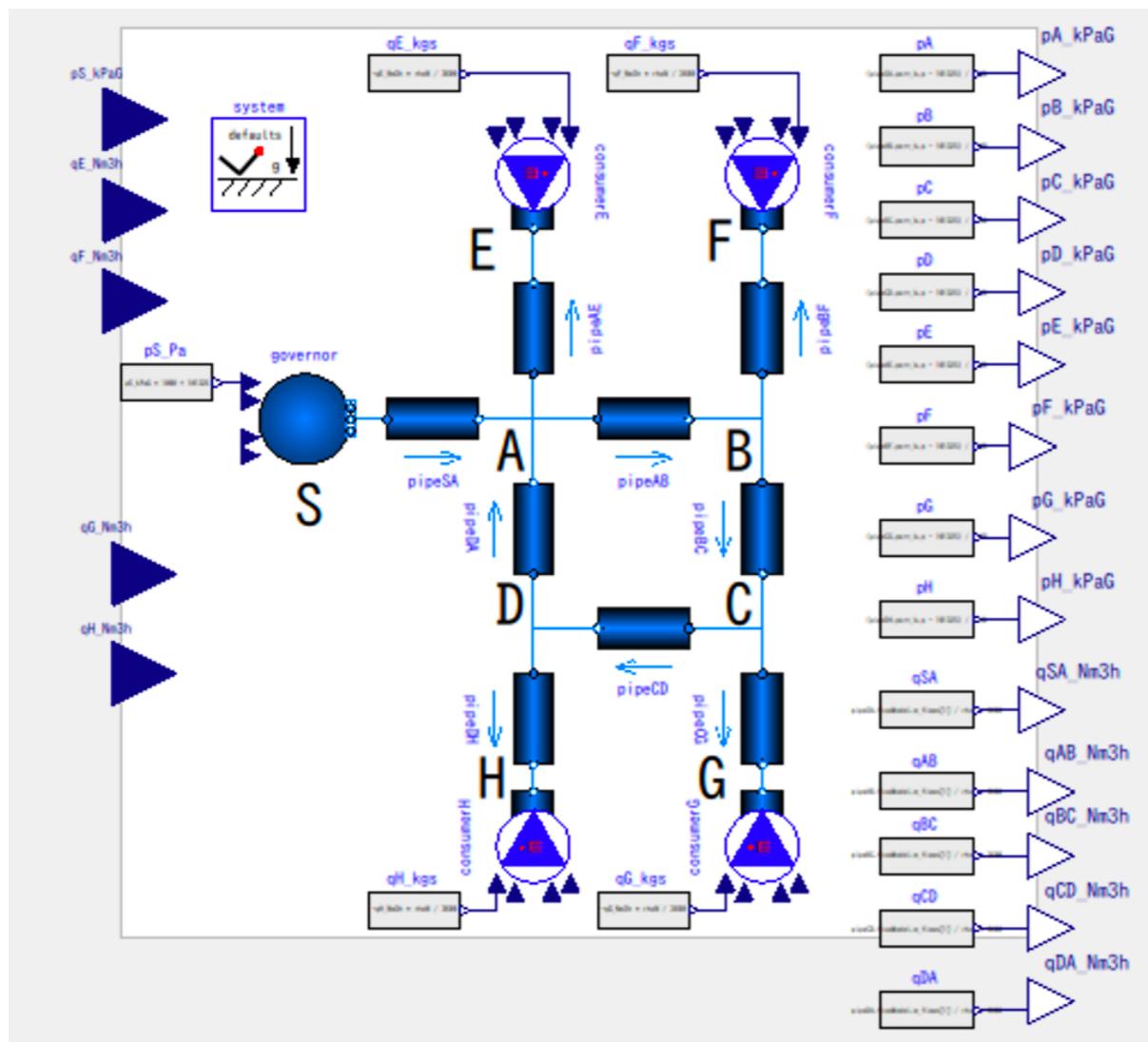


# ハンズオン

## OpenModelicaでガス管路網をモデル化する

2019年4月27日 Modelica ライブラリ勉強会

Finback



- はじめに
- Network1 基本モデル
- Network2 S-A-E のモデル
- Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル
- Network4 全体モデル
- まとめ

# はじめに

- ガスの導管網の解析の目的は、導管の口径や長さ、需要量、整圧器の設定圧力に関する情報をもとに計算を行い、導管内のガスの圧力、流量を把握することである。
- 供給能力の把握、改善方法の検討、新規需要の獲得検討、工事のための切断検討などに利用できる。
  
- 簡単なガス管路網を OpenModelica でモデル化する。
- モデル外部から整圧器圧力や需要量（消費量）を検討できるように、管路網モデルをコンポーネント化する。

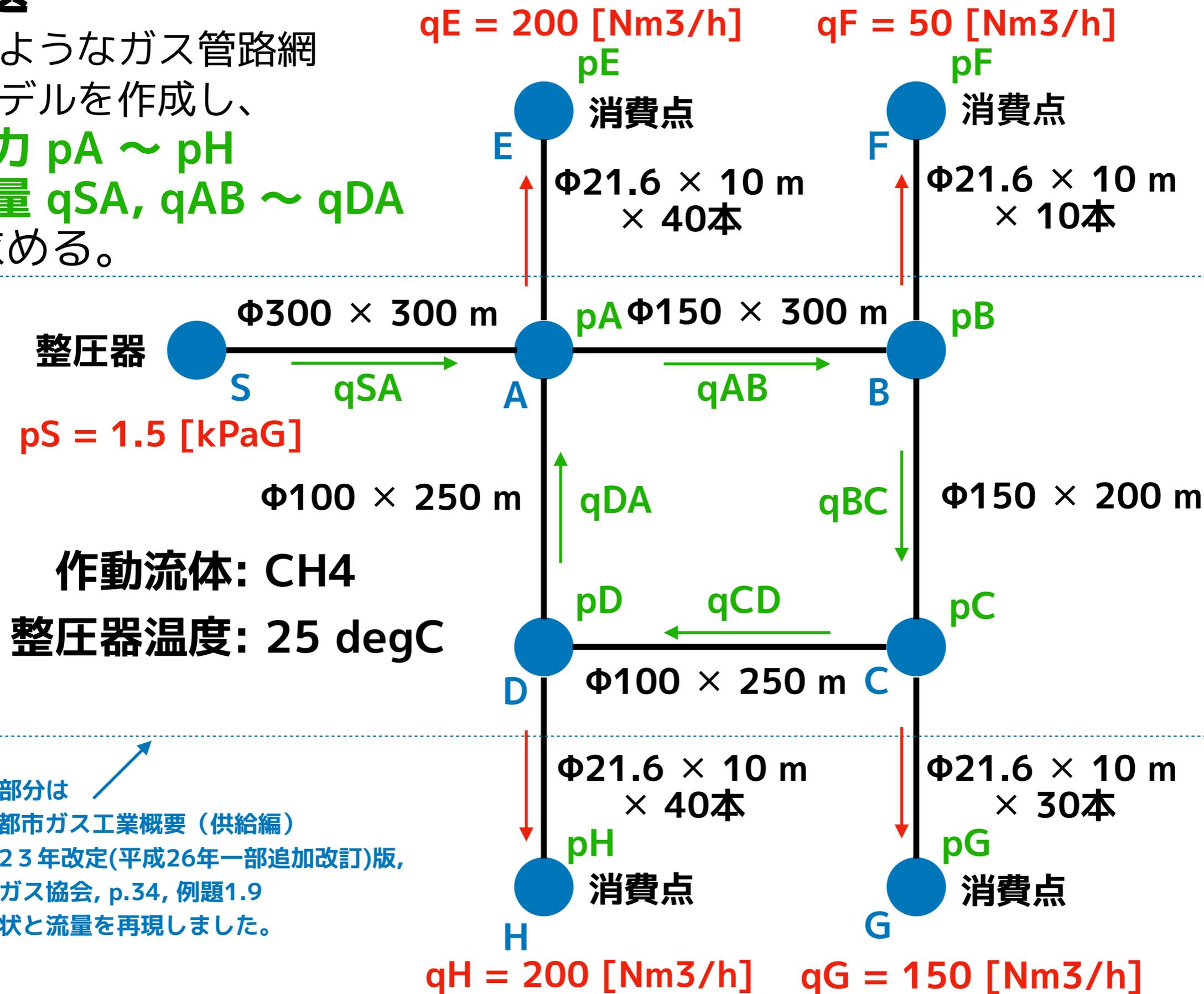
# 問題

次のようなガス管路網  
のモデルを作成し、

圧力  $p_A \sim p_H$

流量  $q_{SA}, q_{AB} \sim q_{DA}$

を求める。



この部分は

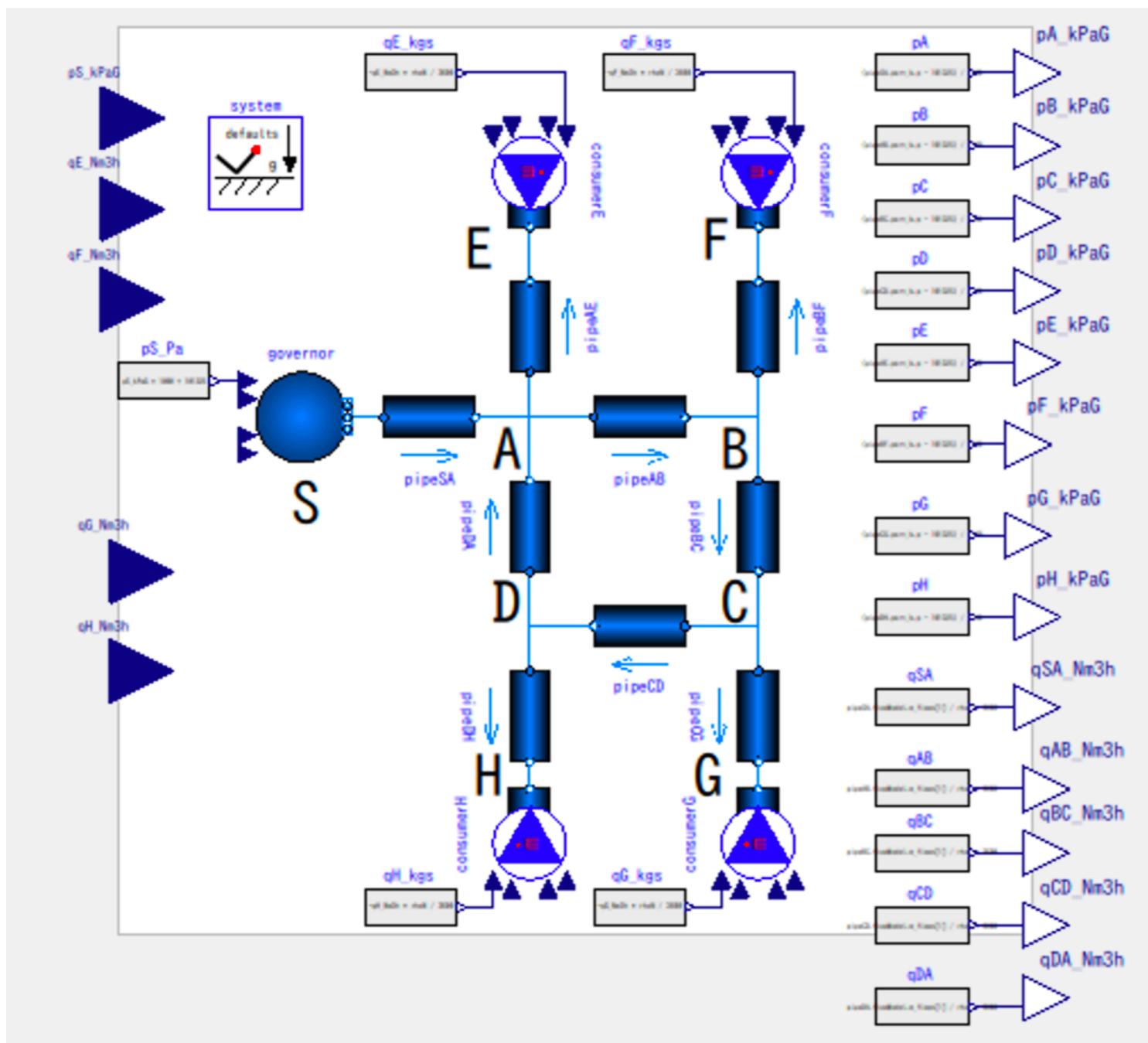
[1] 都市ガス工業概要 (供給編)

平成23年改定(平成26年一部追加改訂)版,

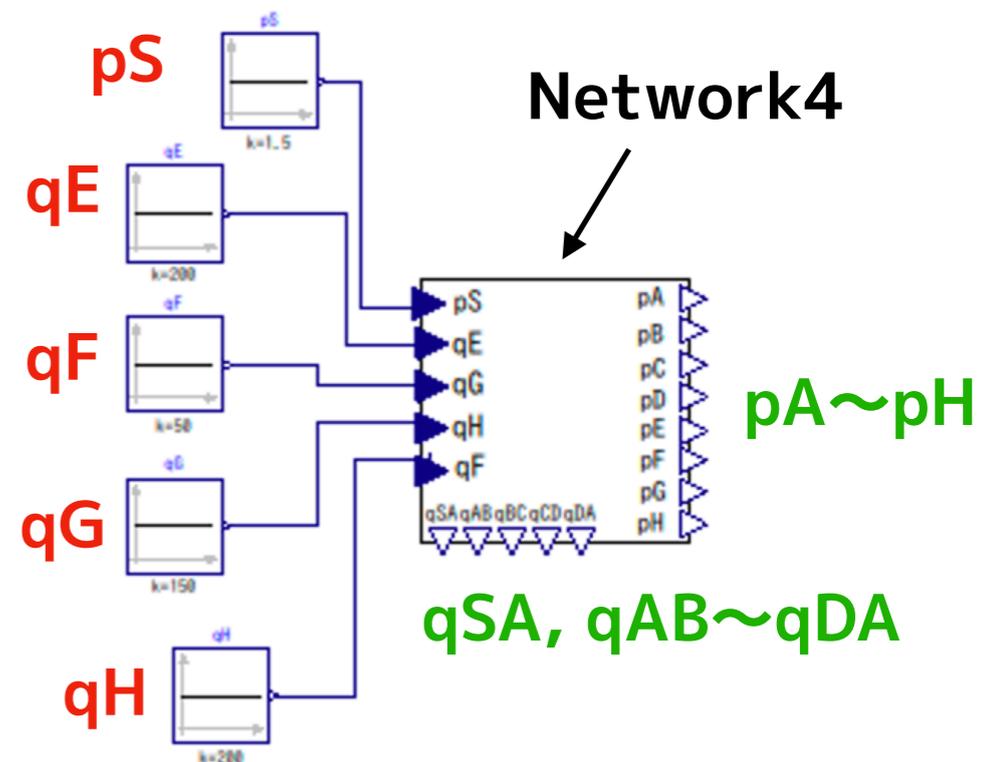
日本ガス協会, p.34, 例題1.9

の形状と流量を再現しました。

# これから最終的に作成するモデル



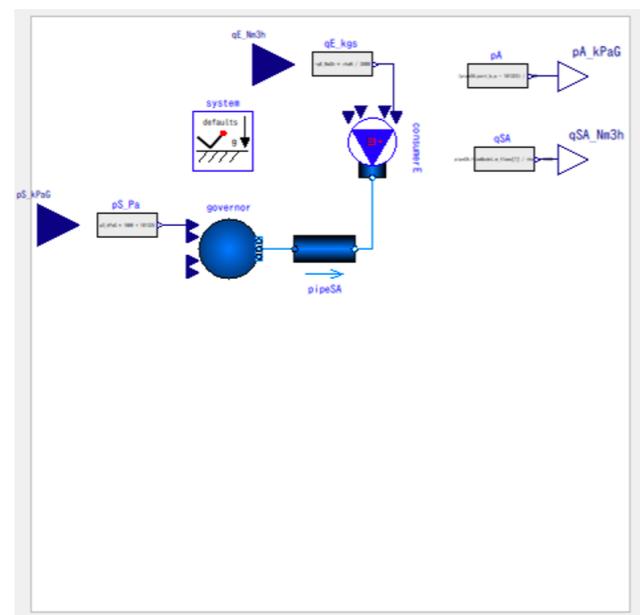
Network4



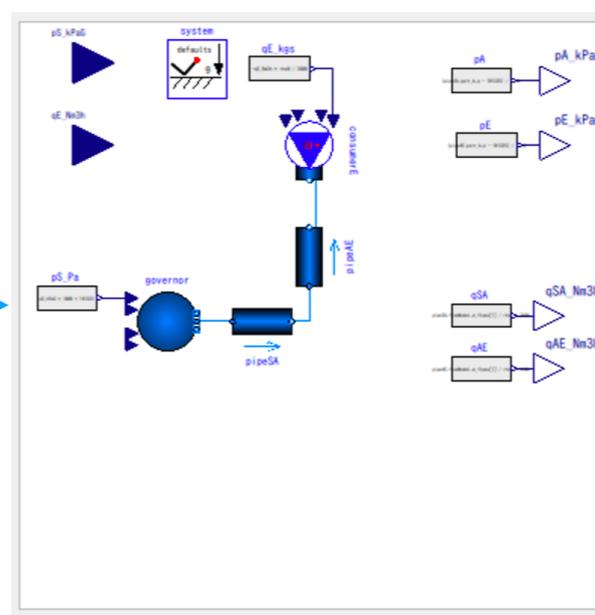
Network4Test

# 本テキストの実習の流れ

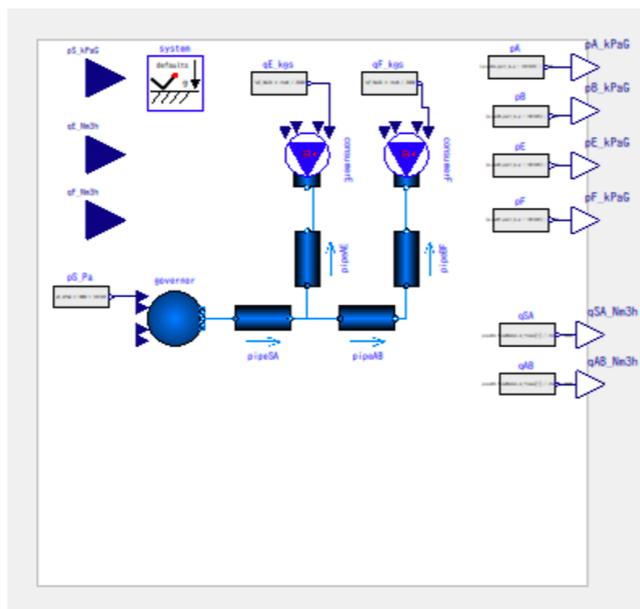
本テキストでは、Network1～Network3までを解説し、Network3のコピーからNetwork4の作成を実習する。



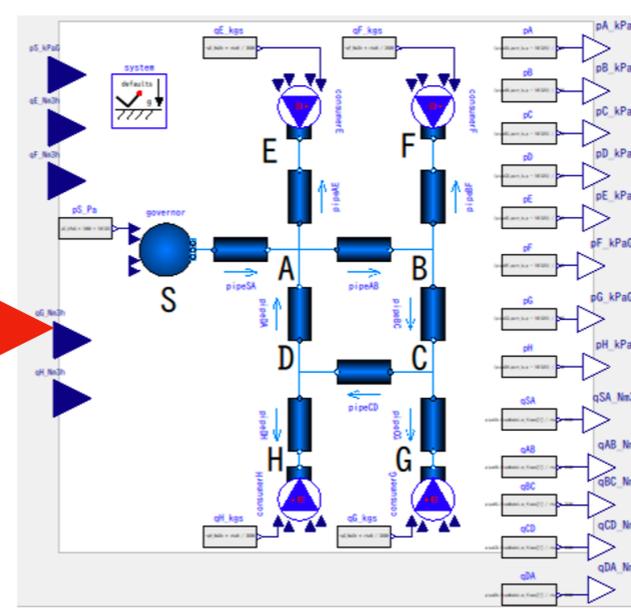
Network1



Network2



Network3

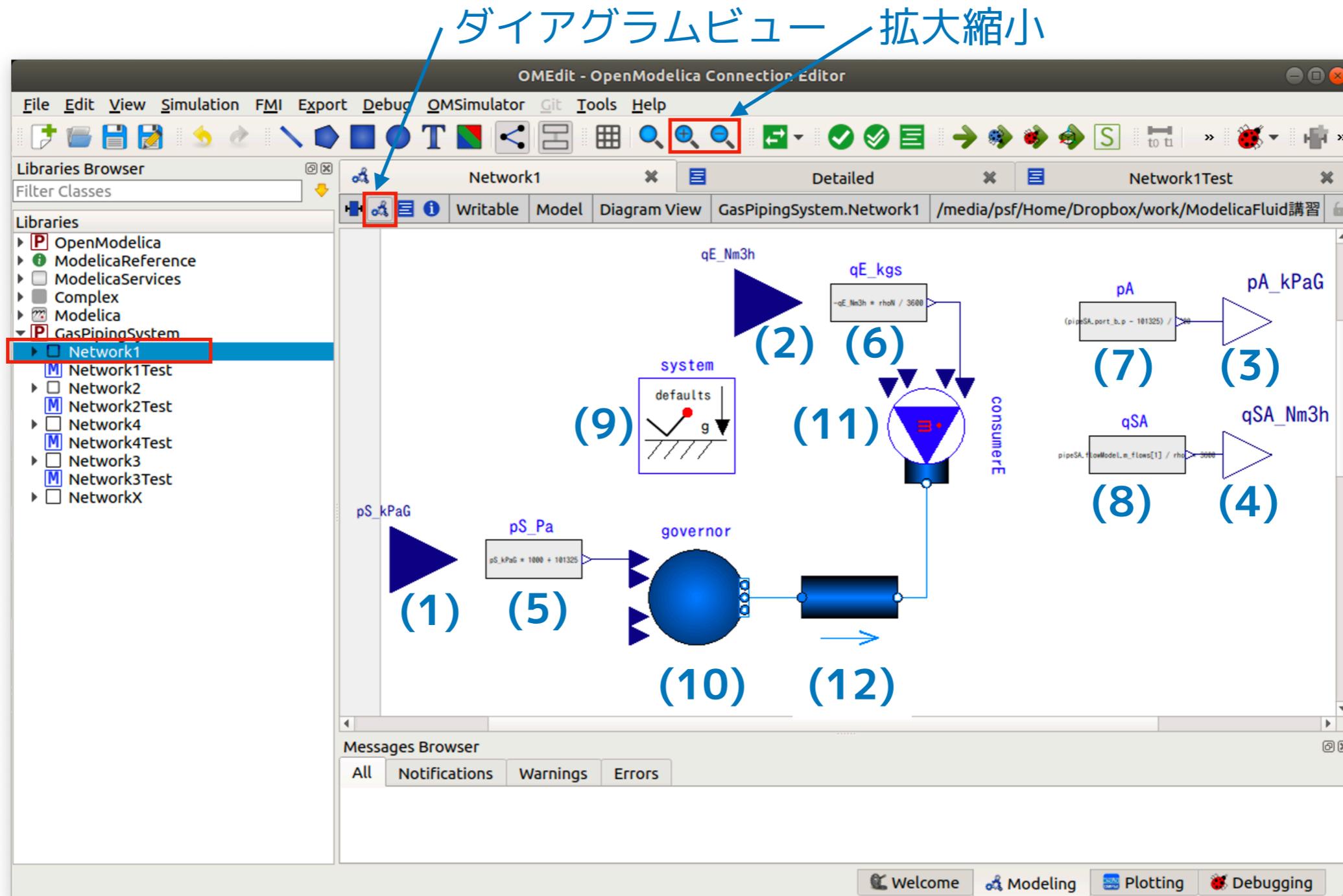


Network4

# Network1 基本モデル

これをベースにして拡張していく。まずは、内容を理解する。

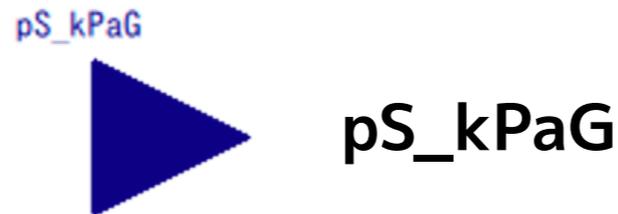
- ① File > Opne Model/Library File(s) で  
GasPipingSystem.mo を開いて ライブラリブラウザの Network1 をダブルクリックする。



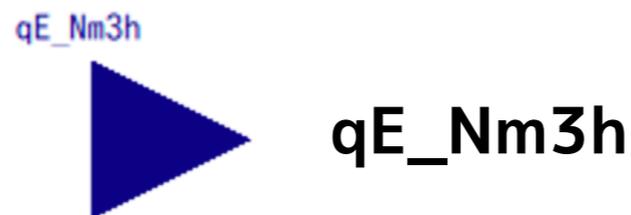
## (1) (2) Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput

外部から実数変数を入力するコネクタ

(1) pS [kPaG] 入力  
整圧器圧力



(2) qE [Nm<sup>3</sup>/h] 入力  
消費点 E の消費量



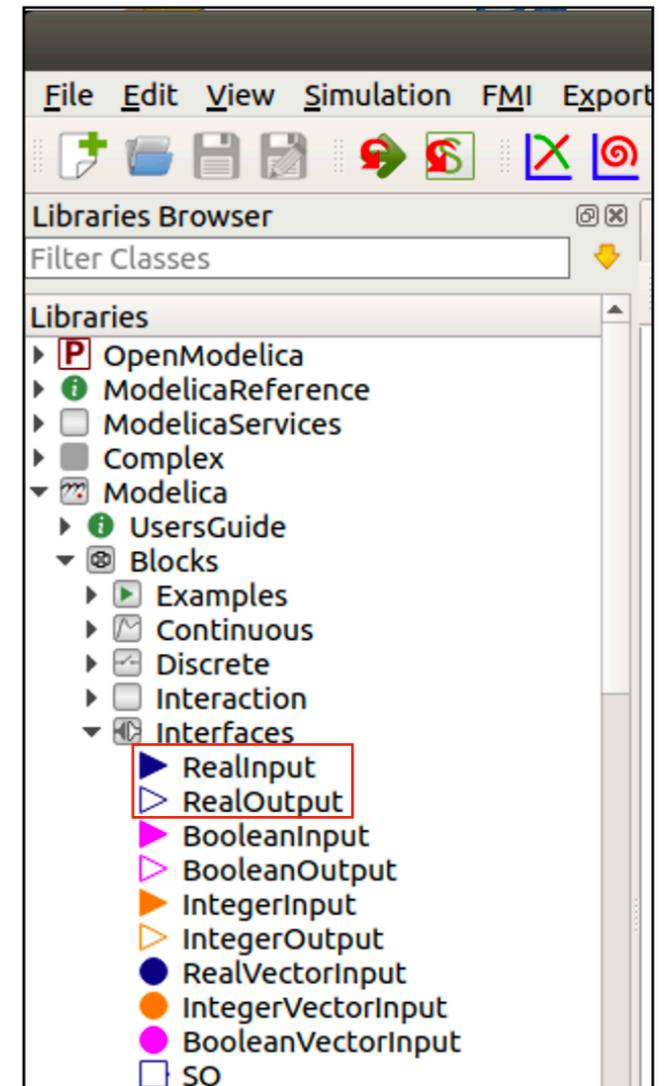
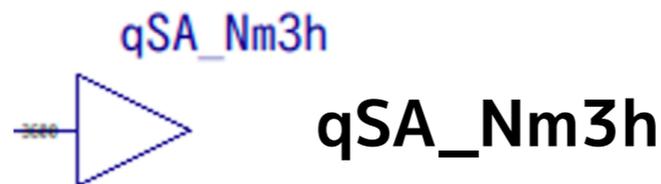
## (3) (4) Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput

外部へ実数変数を出力するコネクタ

(3) pA [kPaG]出力  
A 点の圧力



(4) qSA[Nm<sup>3</sup>/h]出力  
パイプ SA の流量

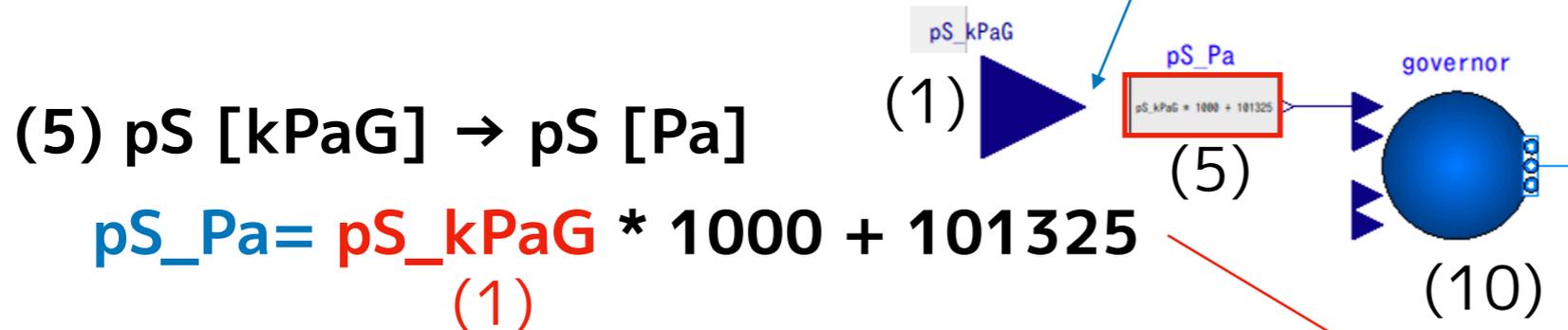


コンポーネントはライブラリブラウザからダイアグラムビューにドラッグして生成します。

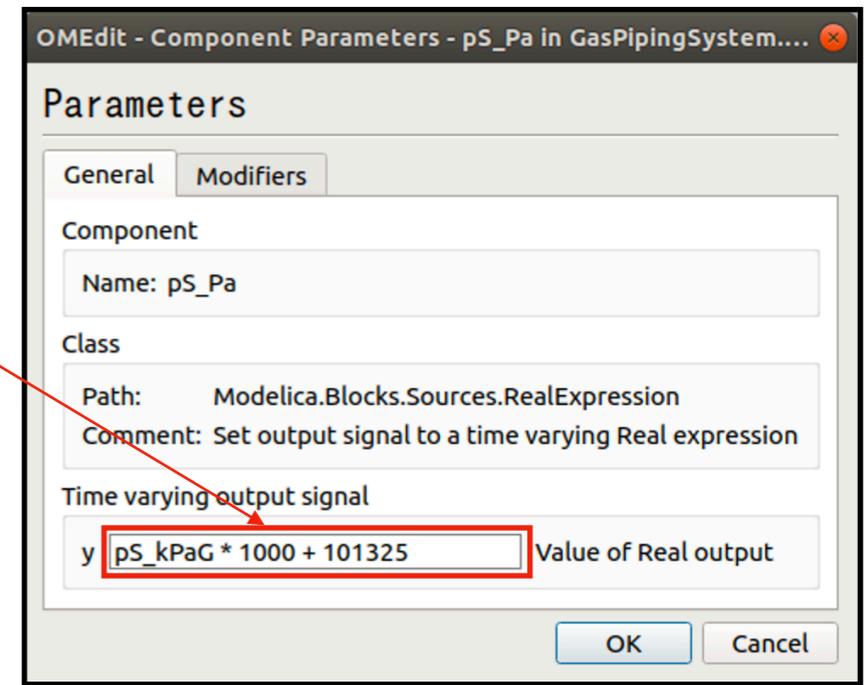
# Network1 基本モデル

## (5)(6)(7)(8) Modelica.Blocks.Sources.RealExpression

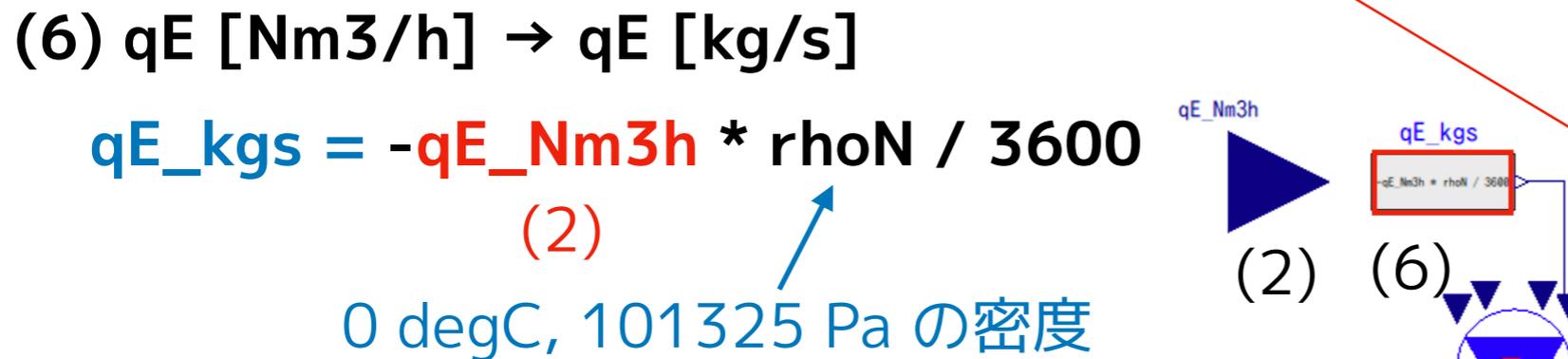
数式で入力信号を生成する。単位変換や計算結果の抽出を行う。



② コンポーネントをダブルクリック  
または  
右クリックしてParameters を選ぶ



パラメータダイアログ  
以下同様な方法でコンポーネント  
パラメータを確認します。



pipeSA.port\_b の圧力を抽出して単位変換する。



pipeSAの質量流量を抽出して単位変換する。

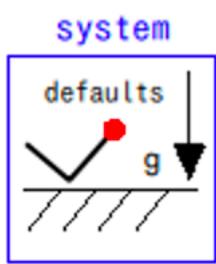
(12)  $qSA\_Nm3h = pipeSA.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$

(12)

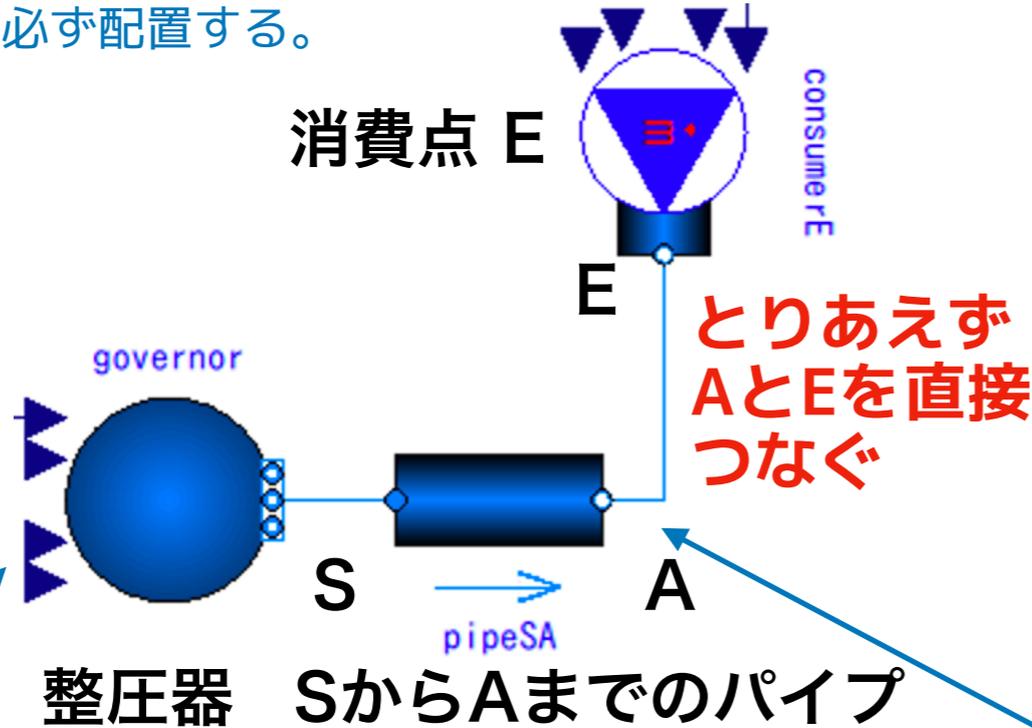
# Network1 基本モデル

## (11) Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource\_T 10

### (9) Modelica.Fluid.System



流体システムのモデルで必ず配置する。



**流量源 (flow source)**

**use\_m\_flow\_in = true**  
**nPorts = 1**

質量流量の入力コネクタを使う。  
ポート (コネクタ) は1個

### (10) Modelica.Fluid.Sources.Boundary\_pT

### (12) Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe

**圧力源 (pressure source)**

**use\_p\_in = true**  
**T = 298.15**  
**nPorts = 1**

圧力の入力コネクタを使う。  
温度 298.15 K (25 °C)  
ポート (コネクタ) は1個

**定常流パイプ (static pipe)**

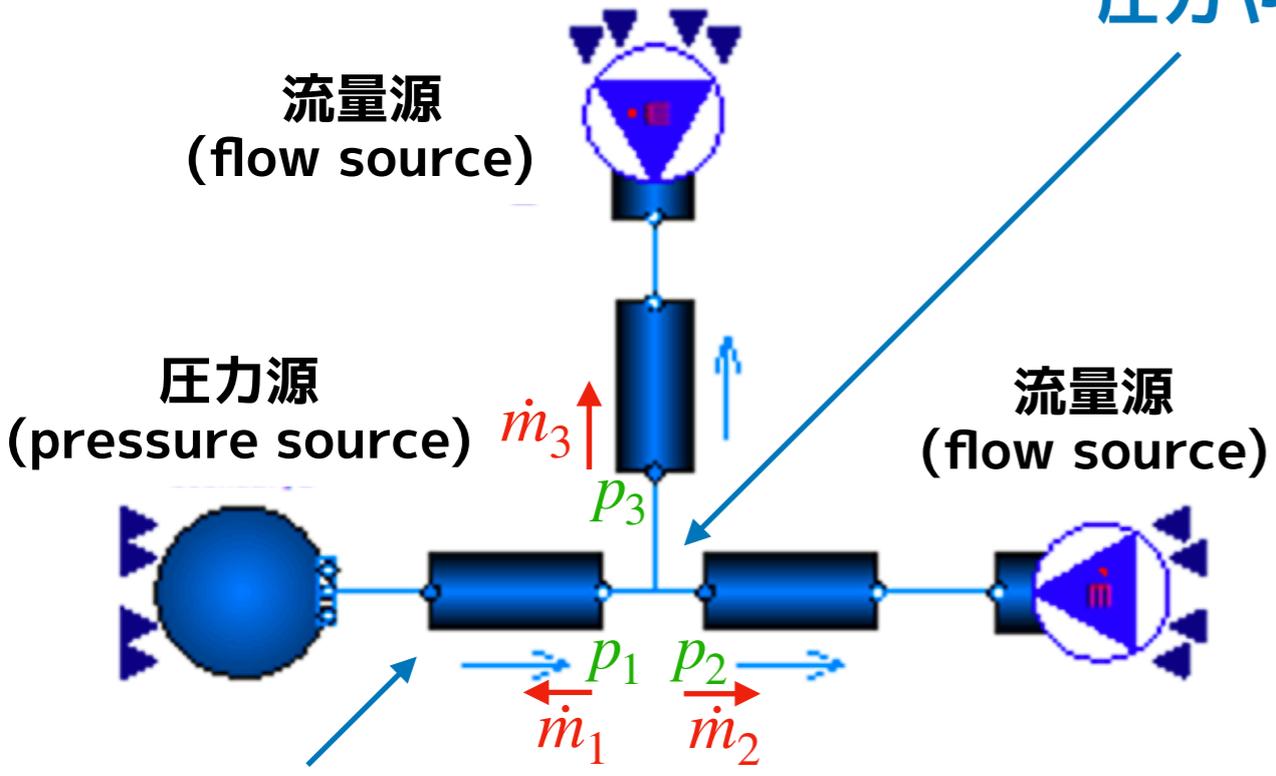
**length = 300**  
**diameter = 0.3**

長さ 300 m  
直径 0.3 m

# Network1 基本モデル

## 物理的モデルの概要

FluidPort で flow model を直接つないでいるので  
 圧力や流量は連立非線形方程式を解いて求められる。



$$\sum_{i=1}^3 \dot{m}_i = 0$$

$\dot{m}_i$  [kg/s]: 質量流量  
 $p_i$  [Pa]: 圧力  
 $h_{outflow_i}$  [J/kg] パイプから流出時のエンタルピー

$$p_1 = p_2 = p_3$$

$$\begin{cases} h_{outflow_i}, & \dot{m} \leq 0 \\ \frac{\sum_{i \neq j} \max(-\dot{m}, 0) h_{outflow_j}}{\sum_{j \neq i} \max(-\dot{m}, 0)}, & \dot{m} > 0 \end{cases}$$

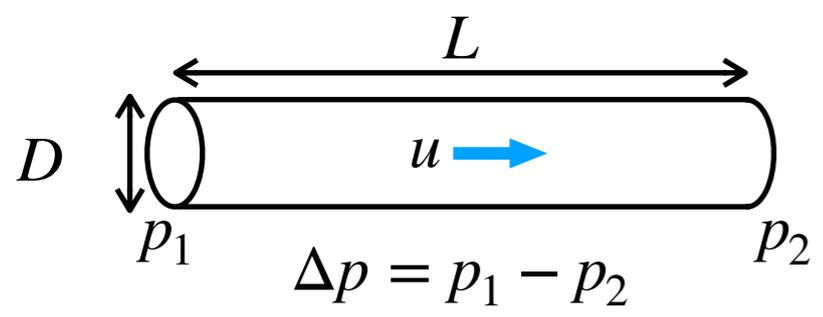
### 圧力流量関係式(非線形方程式)

#### ダルシー・ワイズバッハの式 (Darcy-Weisbach Equation)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \text{ [m}^2\text{]: 断面積}$$

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho u^2}{2} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\dot{m}^2}{2\rho A^2}$$

$\dot{m} = \rho u A$



$D$  [m]: 管径  $L$  [m]: 長さ  $u$  [m/s]: 流速

$\lambda$  : 管摩擦係数 (Darcy's friction factor)  
 $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]: 密度  
 $\mu$  [Pa.s]: 粘性率  
 $d$  [m]: 絶対粗さ (absolute roughness)  
 $\Delta = \frac{d}{D}$  相対粗さ (relative roughness)

## 管摩擦係数の計算方法

レイノルズ数  $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$       相対粗さ  $\Delta = \frac{d}{D}$

$Re < Re_1$  **層流 (laminar flow)**  $Re_1 = 745 \exp \left( \text{if } \Delta < 0.0065 \text{ then } 1 \text{ else } \frac{0.0065}{\Delta} \right)$   
 [Samoilenko 1968; Idelchik 1994, p.81, sect. 2.1.21]

$\lambda = \frac{64}{Re}, u = \frac{\Delta p}{L} \frac{r^2}{8\mu}$       **ハーゲン・ポアズイユ流 (Hagen-Poiseuille flow)**

$Re > Re_2$  **乱流 (turbulent flow)**  $Re_2 = Re_{\text{turbulent}} = 4000$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{d/D}{3.7} \right) = -2 \log_{10} \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + 0.27 \Delta \right)$$

**コールブルック・ホワイトの式 (Colebrook-White Equation)**

$Re_2 \geq Re \geq Re_1$  **遷移領域**

**遷移領域と圧力差が非常に小さいときは流れ適正化(regularization)を行う。**

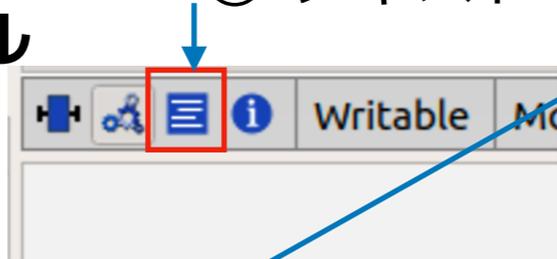
数値解が連続的に得られる処理

下記に計算方法の一部の解説があります。

<https://www.amane.to/wp-content/uploads/2018/12/53edd1aee1c8a8f31ebec6ded67371f5.pdf>

# Network1 基本モデル テキストビュー 太字部分を追加する。

③ テキストビューに切り替える



参照しやすいようにエイリアス SI をつくる。  
交換可能ローカルパッケージとして CH4 を設定する  
標準状態(0 degC, 101325 Pa) の密度 rhoN を求める

```

model Network1
  import SI = Modelica.SIunits;
  replaceable package Medium = Modelica.Media.IdealGases.SingleGases.CH4;
  parameter SI.Density rhoN = Medium.density(Medium.setState_pT(101325, 273.15));
  Modelica.Blocks.Sources.RealExpression pA(y = (pipeSA.port_b.p - 101325) / 1000) annotation( ...); (7)
  Modelica.Blocks.Sources.RealExpression qSA(y = pipeSA.flowModel.m_flows[1] / rhoN * 3600) annotation( ...); (8)
  Modelica.Fluid.Sources.Boundary_pT governor(
    redeclare package Medium = Medium(BaseProperties(p(nominal = 1000000.0))),
    T = 298.15, nPorts = 1, use_p_in = true) annotation( ...); (10)
  Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipeSA(
    redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.3, length = 300) annotation( ...); (12)
  Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T consumerE(
    redeclare package Medium = Medium(BaseProperties(p(nominal = 1000000.0))),
    nPorts = 1, use_m_flow_in = true) annotation( ...); (11)
  Modelica.Blocks.Sources.RealExpression pS_Pa(y = pS_kPaG * 1000 + 101325) annotation( ...); (5)
  Modelica.Blocks.Sources.RealExpression qE_kgs(y = -qE_Nm3h * rhoN / 3600) annotation( ...); (6)
  inner Modelica.Fluid.System system annotation( ...); (9)
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput pS_kPaG annotation( ...); (1)
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput qE_Nm3h annotation( ...); (2)
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput qSA_Nm3h annotation( ...); (4)
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput pA_kPaG annotation( ...); (3)
equation
  connect(pA.y, pA_kPaG) annotation( ...);
  connect(qSA.y, qSA_Nm3h) annotation( ...);
  connect(qE_kgs.y, consumerE.m_flow_in) annotation( ...);
  connect(pS_Pa.y, governor.p_in) annotation( ...);
  connect(pipeSA.port_b, consumerE.ports[1]) annotation( ...);
  connect(governor.ports[1], pipeSA.port_a) annotation( ...);
  annotation( ...);
end Network1;
  
```

コンポーネント

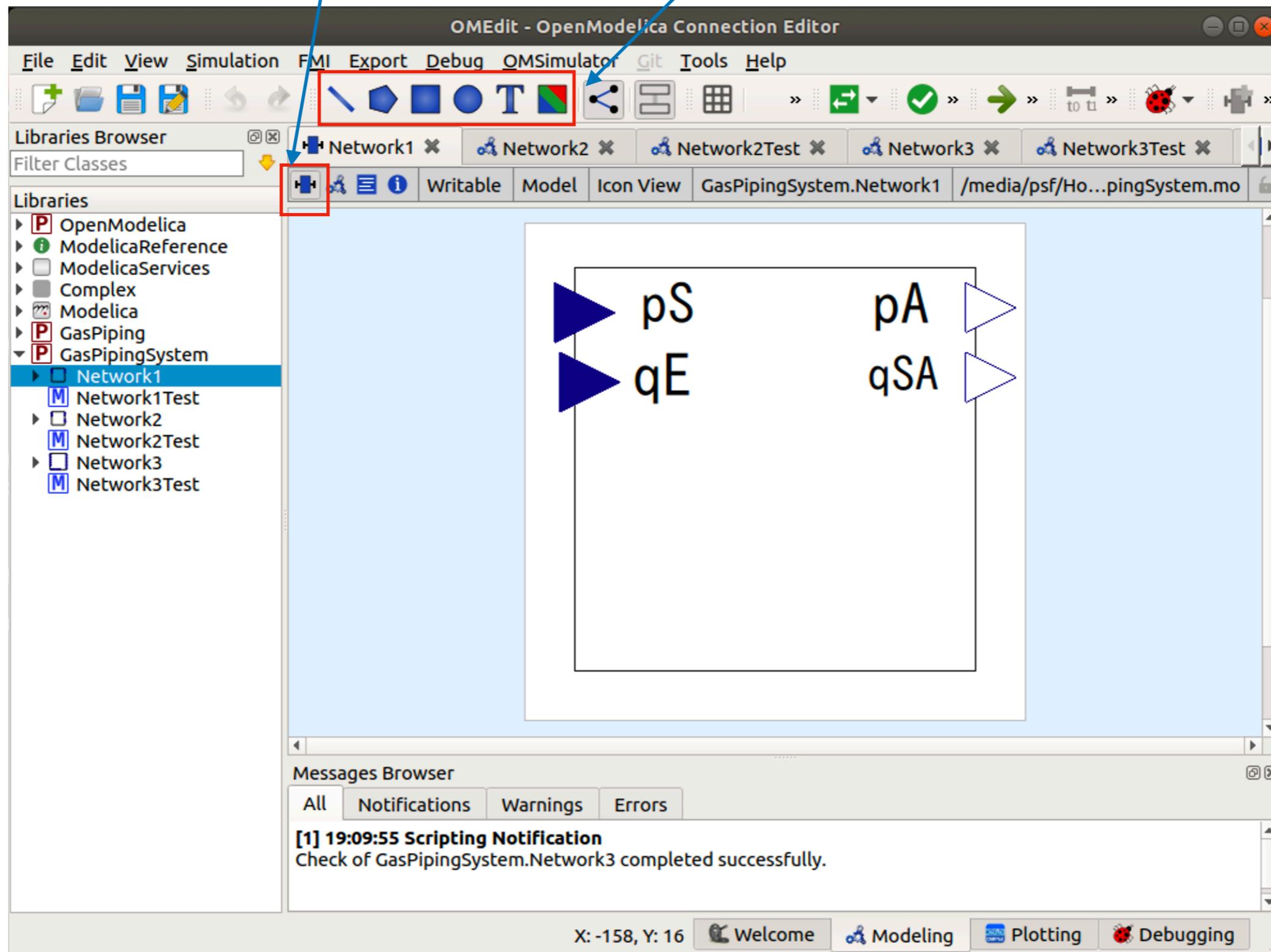
コンポーネントの接続関係

**replaceable, redeclare** については「1. Modelica のクラスの概要」参照  
<https://www.amane.to/wp-content/uploads/2018/12/8ec4f21241c98ee8413280240090c942.pdf>

# Network1 基本モデル アイコンビュー

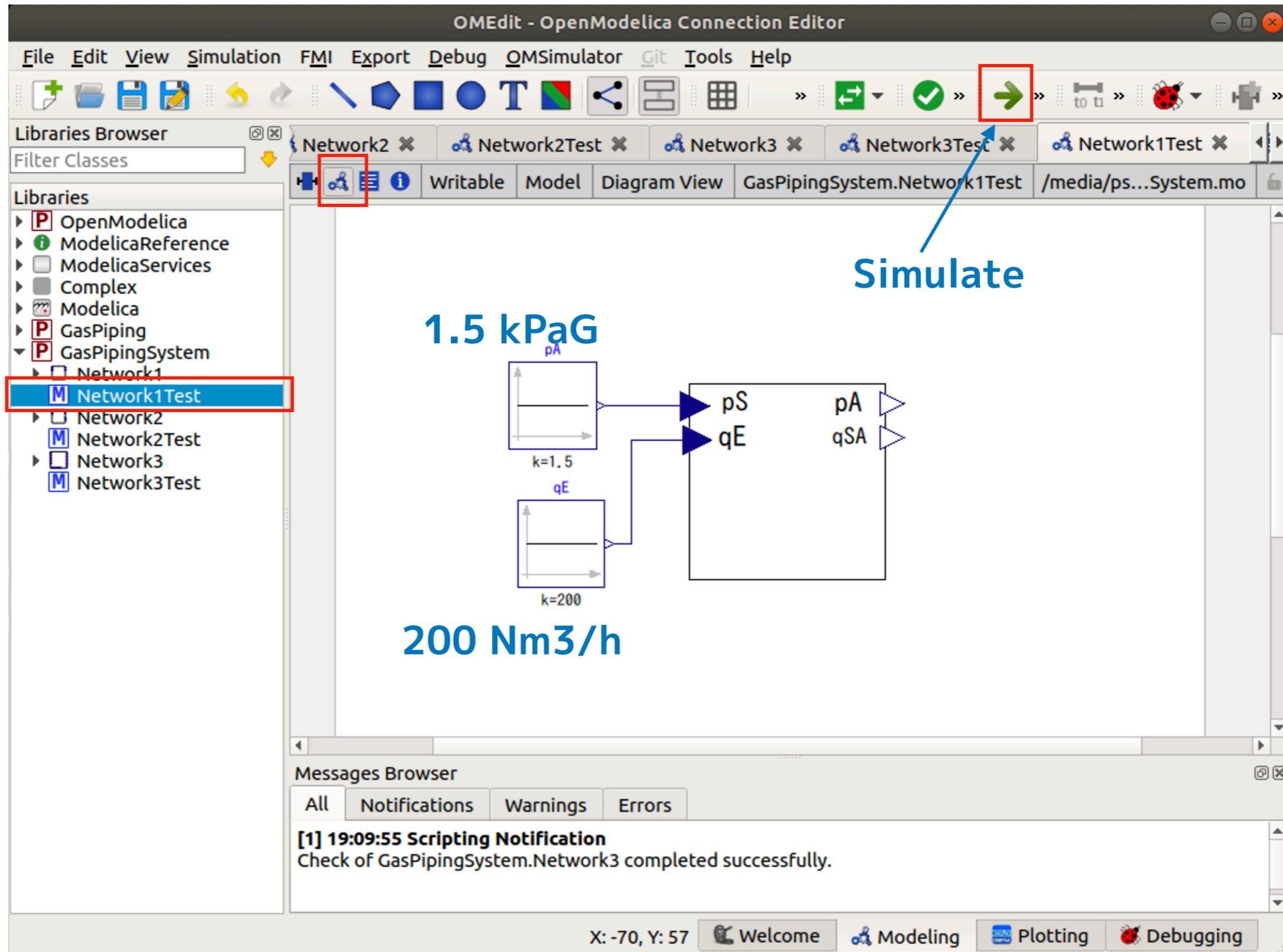
④ アイコンビューに切り替える

アイコン編集ツール



# Network1 基本モデル

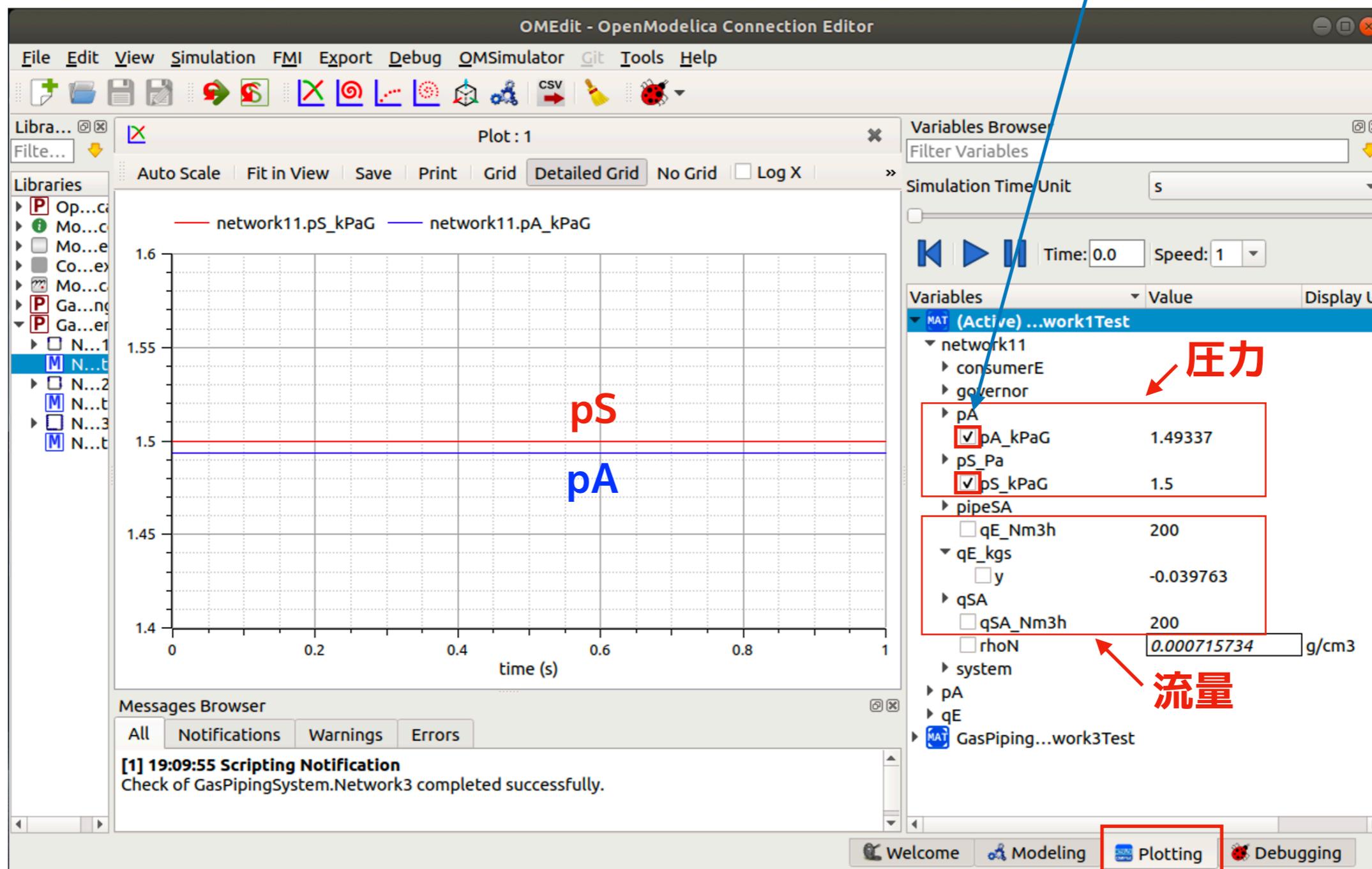
テスト用モデル ⑤ Network1Testをアクティブにし、Simulateをクリックする。



Network1Test

## シミュレーション結果

⑥ チェックして圧力をプロットする。



Network1 Test

Plotting タブ

# Network2 S-A-E のモデル

コンポーネントをコピーして作成する手順を示します。

The screenshot shows the OMEdit - OpenModelica Connection Editor interface. The main workspace displays a network diagram with components labeled S, A, and E. A context menu is open over the 'pipeSA' component, listing actions such as Duplicate, Delete, Rotate, Flip, and Flip Vertical. Three callout boxes provide instructions on how to create new components from existing ones in the diagram.

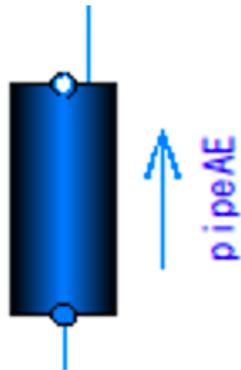
②同様にして pA, pA\_kPaG から作成する。

③同様にして qSA, qSA\_kPaG から作成する。

Parameters	Attributes
+	Open Class
i	View Documentation
+	Duplicate
✗	Delete
↻	Rotate Clockwise
↻	Rotate Anticlockwise
↔	Flip Horizontal
↕	Flip Vertical

① pipeSA を右クリックして Duplicate で作成する。  
右クリックして Attribute で pipeAE にリネームする。

## pipeAE ④パイプの形状パラメータの設定を行う。



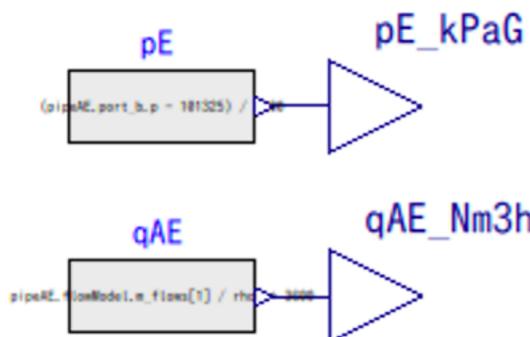
40本並列  
長さ 10 m  
Φ 21.6

1本のパイプの流量は  $q_{AE} / n_{Parallel}$   
レイノルズ数の代表長さは diameter

## ⑤ テキストビューに切り替えて pipeAE の コードの編集を行い、流体を設定する。

```
Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipeAE(  
  redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.0216, length = 10, nParallel = 40) annotation( ...);
```

## ⑥ 圧力と流量の抽出と単位変換を設定する。



$$pE\_kPaG = (\text{pipeAE.port\_b.p} - 101325) / 1000$$

$$qAE\_Nm3h = \text{pipeAE.flowModel.m\_flows}[1] / \rho_{oN} * 3600$$

# Network2 S-A-E のモデル テスト用モデル

⑨ シミュレーションを実行する。

⑦ Network2Testをアクティブにする。

⑧ アイコンのデザインも適宜変更する。

⑨ シミュレーションを実行する。

Messages Browser

All Notifications Warnings Errors

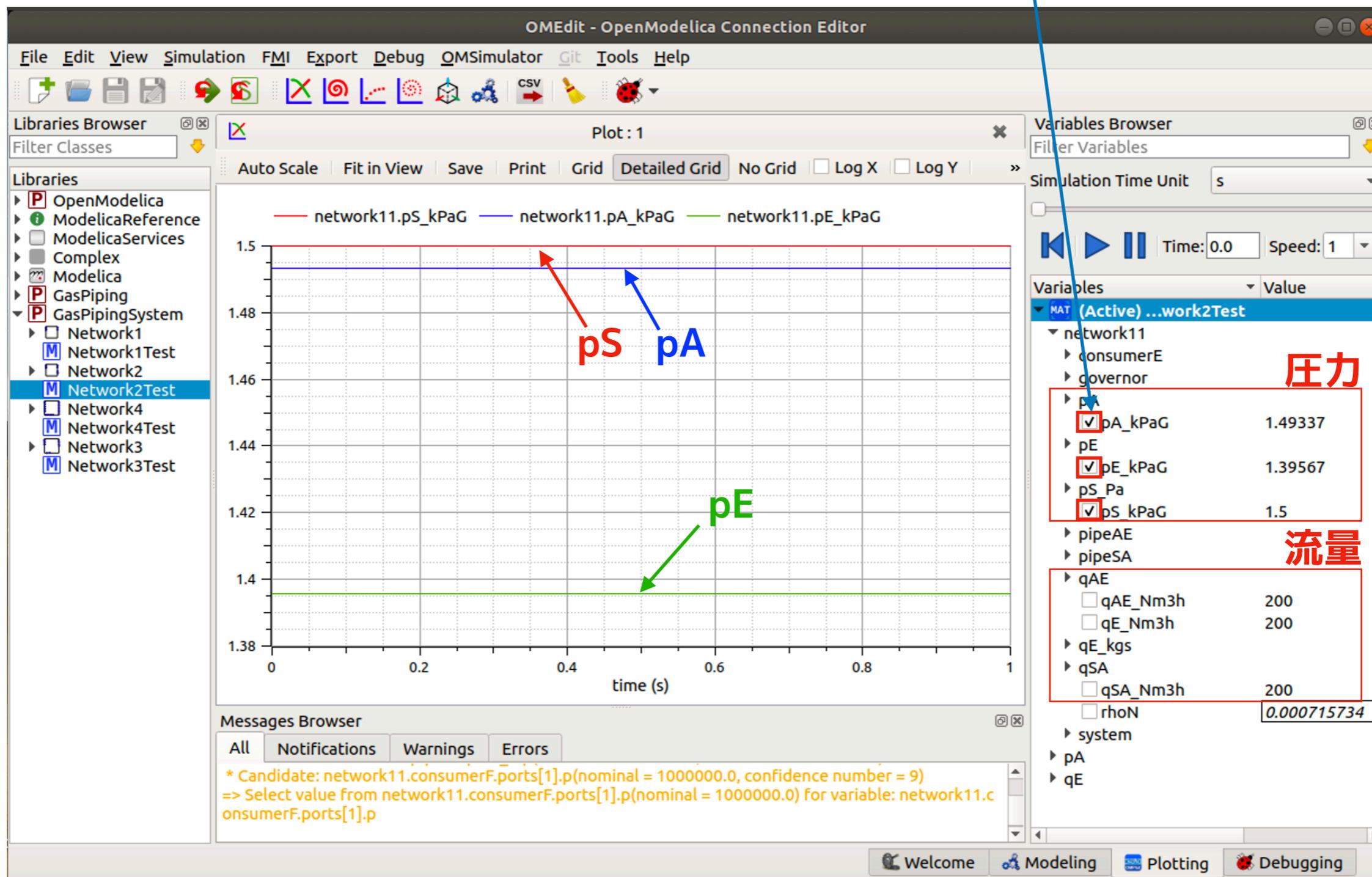
\* Candidate: network11.consumerF.ports[1].p(nominal = 1000000.0, confidence number = 9)  
=> Select value from network11.consumerF.ports[1].p(nominal = 1000000.0) for variable: network11.consumerF.ports[1].p

Welcome Modeling Plotting Debugging

## Network2Test

# Network2 S-A-E のモデル シミュレーション結果

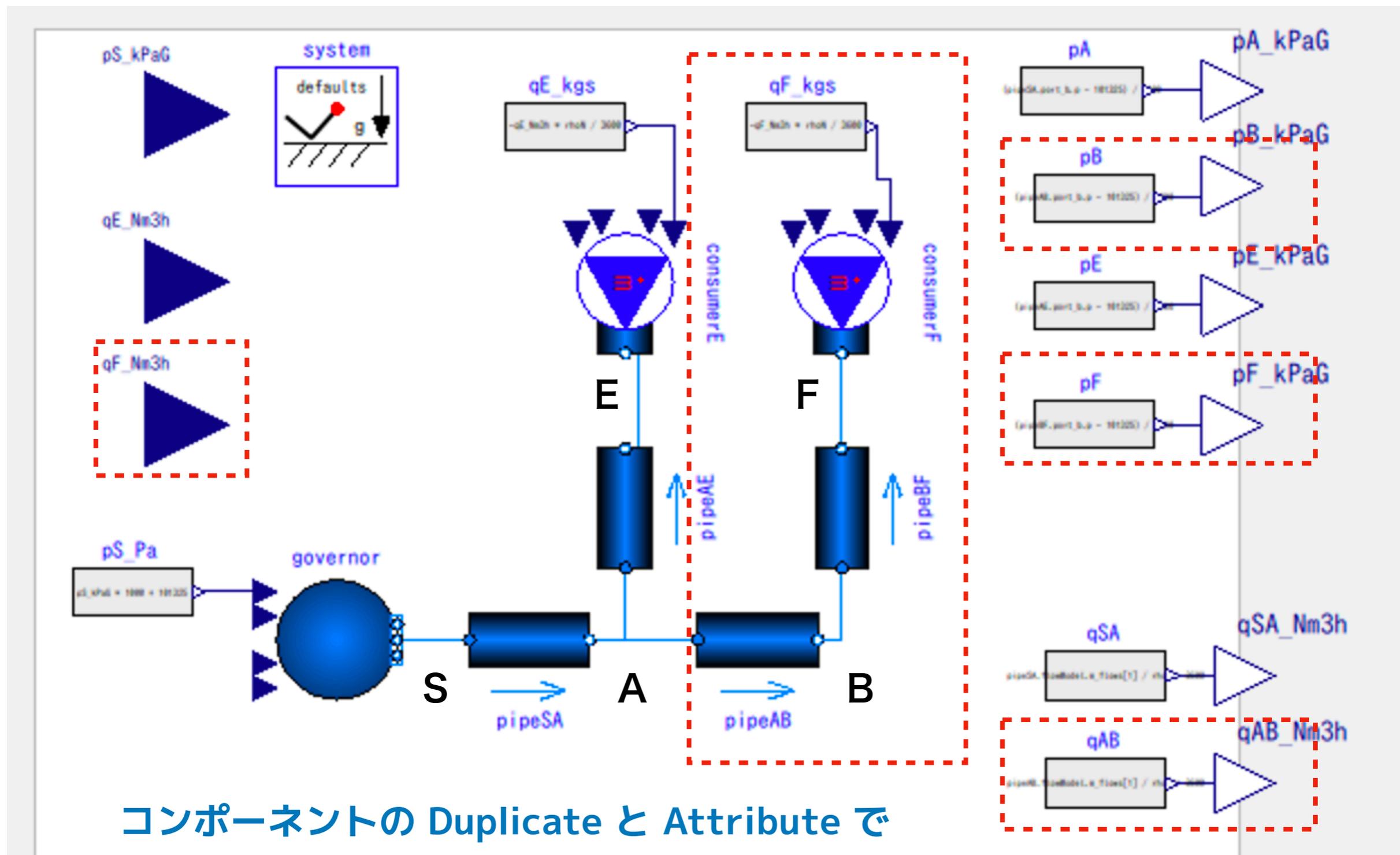
⑩ 圧力をプロットする



Network2Test

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル

コンポーネントをコピーして作成する手順を示します。



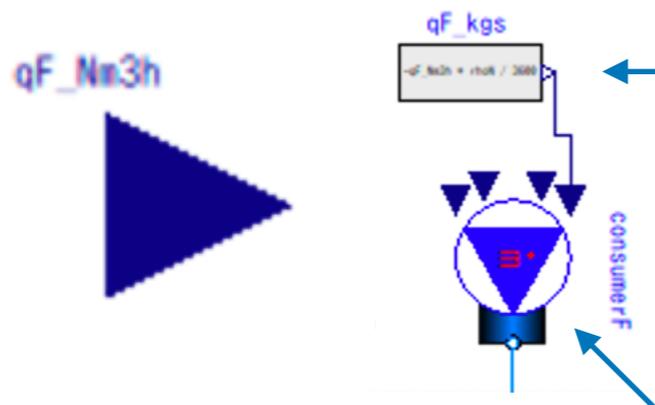
コンポーネントの Duplicate と Attribute で  
赤い点線部分のコンポーネントを作成する。

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル

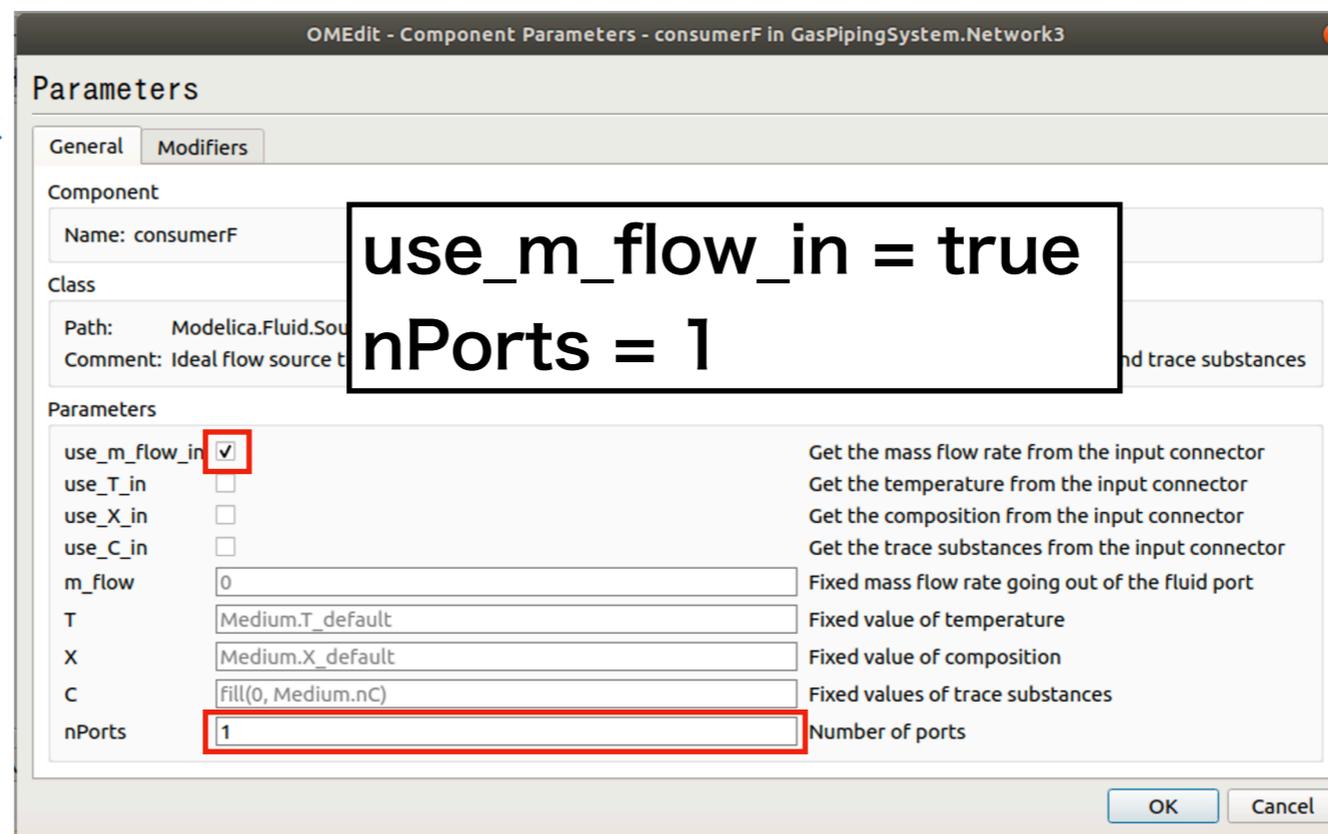
## 消費点の設定

① 質量流量の単位変換を設定する。

$$qF\_kps = -qF\_Nm3h * rhoN / 3600$$



**consumerF** ② 入力端子、ポート数を設定する。

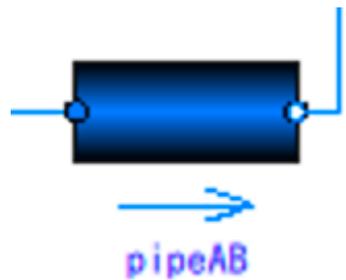


③ 流体を設定する。

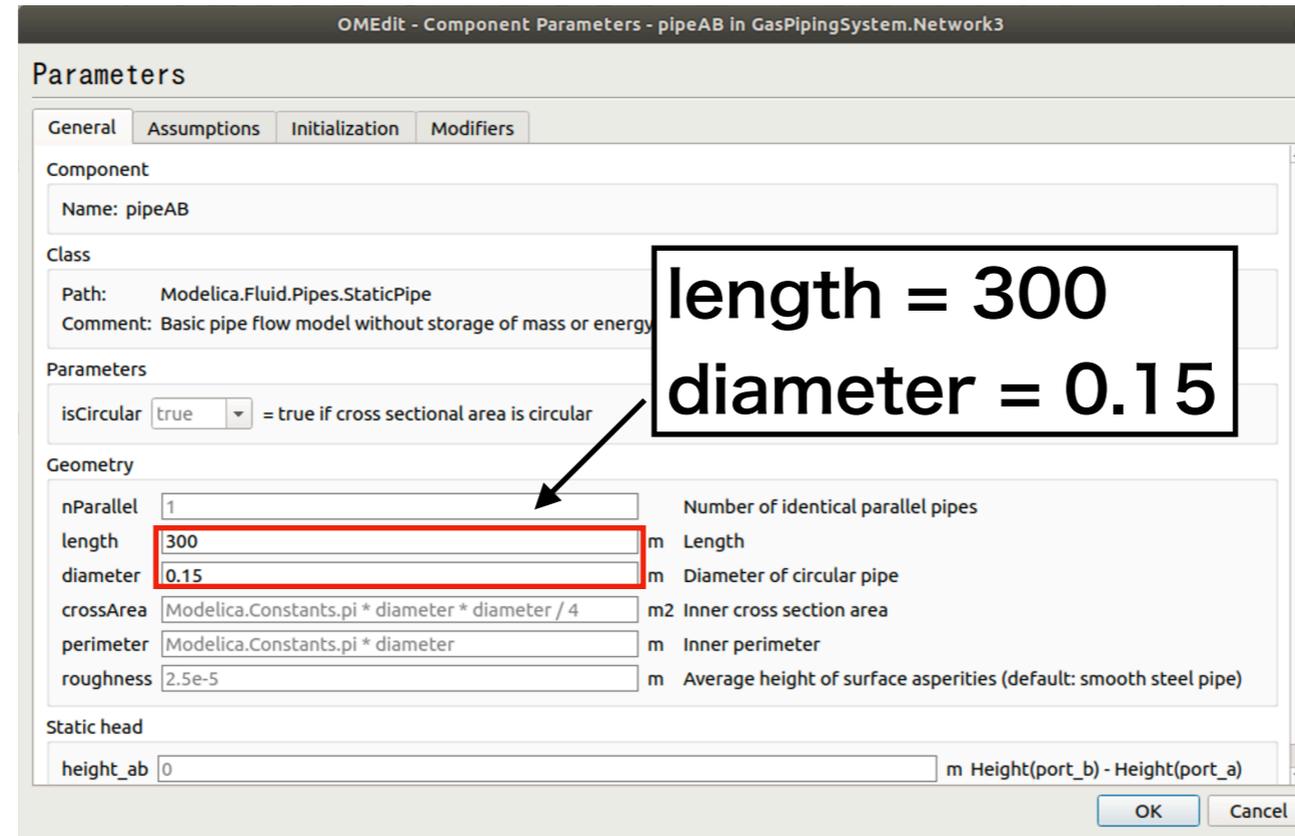
```
Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T consumerF(
  redeclare package Medium = Medium(BaseProperties(p(nominal = 1000000.0))),
  nPorts = 1, use_m_flow_in = true) annotation(...);
```

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル パイプの設定

## コンポーネントの設定を行う



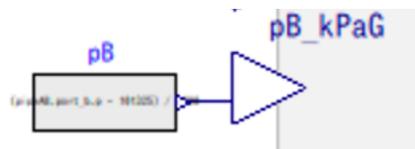
### pipeAB ① パイプの形状パラメータを設定する。



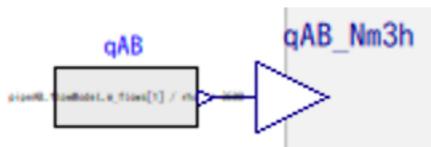
### ② パイプの流体を設定する。

```
Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipeAB(  
  redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.15, length = 300) annotation( ...);
```

### ③ 圧力と流量の抽出と単位変換を設定する。



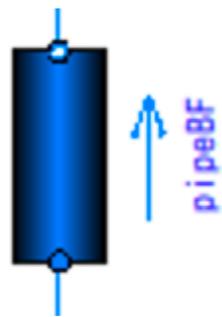
$$pB\_kPaG = (pipeAB.port\_b.p - 101325) / 1000$$



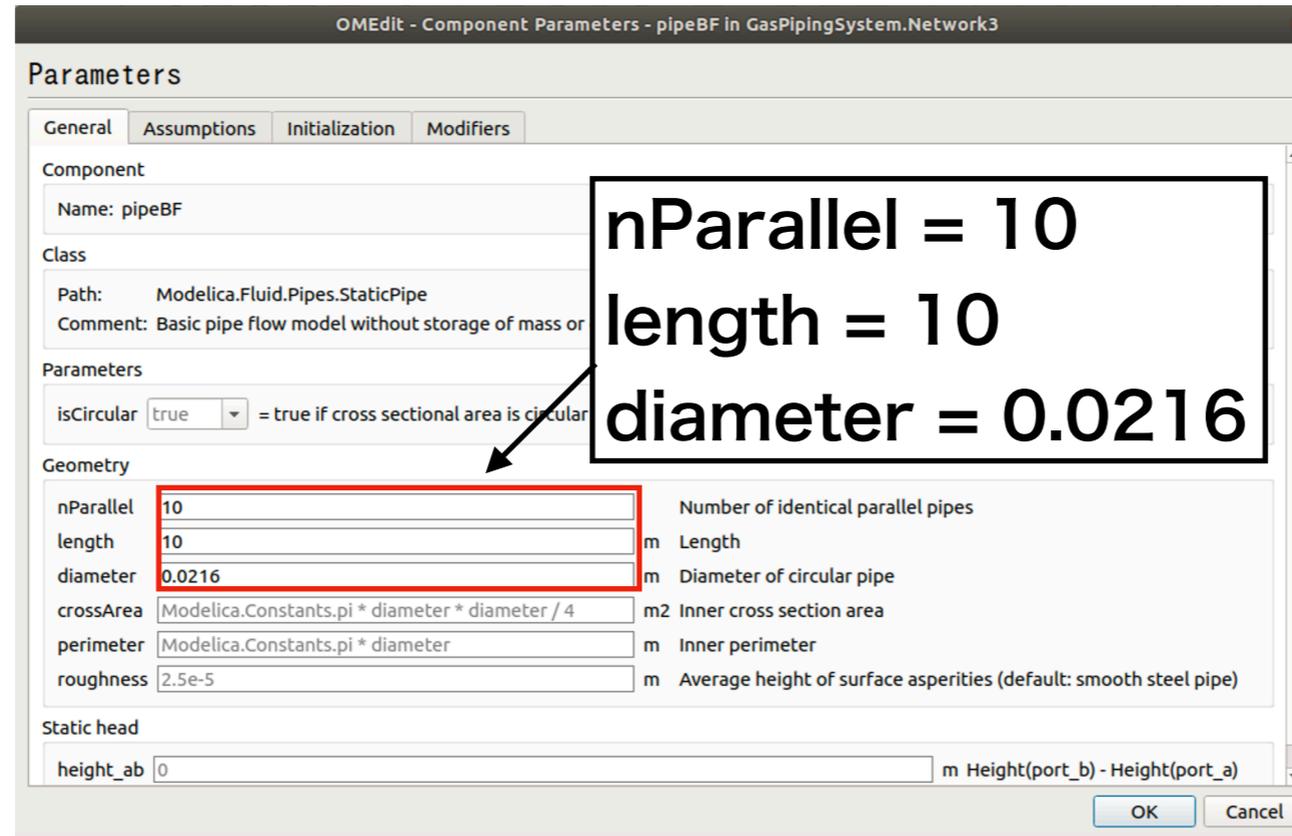
$$qAB\_Nm3h = pipeAB.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル パイプの設定

## コンポーネントの設定を行う



### pipeBF ① パイプの形状パラメータを設定する。



### ② パイプの流体を設定する。

```
Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipeBF(  
  redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.0216, length = 10, nParallel = 10) annotation(...);
```

### ③ 圧力の抽出と単位変換を設定する。



$$pF\_kPaG = (\text{pipeBF.port\_b.p} - 101325) / 1000$$

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル テスト用モデル

OMEdit - OpenModelica Connection Editor

File Edit View Simulation FMI Export Debug QMSimulator Git Tools Help

Libraries Browser

Filter Classes

Libraries

- OpenModelica
- ModelicaReference
- ModelicaServices
- Complex
- Modelica
- GasPipingSystem
  - Network1
  - Network1Test
  - Network2
  - Network2Test
  - Network4
  - Network4Test
  - Network3
  - Network3Test

Network2 Network3 Network3Test

Writable Model Diagram View GasPipingSystem.Network3Test /media/psf/Home/Dropbox/work/Modelic...d/hanson\_20190427/GasPipingSystem.mc

1.5 kPaG

200 Nm<sup>3</sup>/h

50 Nm<sup>3</sup>/h

アイコンも適宜、レイアウトを変更する。

pA

pS

qE

qF

k=1.5

qE

k=200

qF

k=50

qSA qAB

pA

pB

pE

pF

Messages Browser

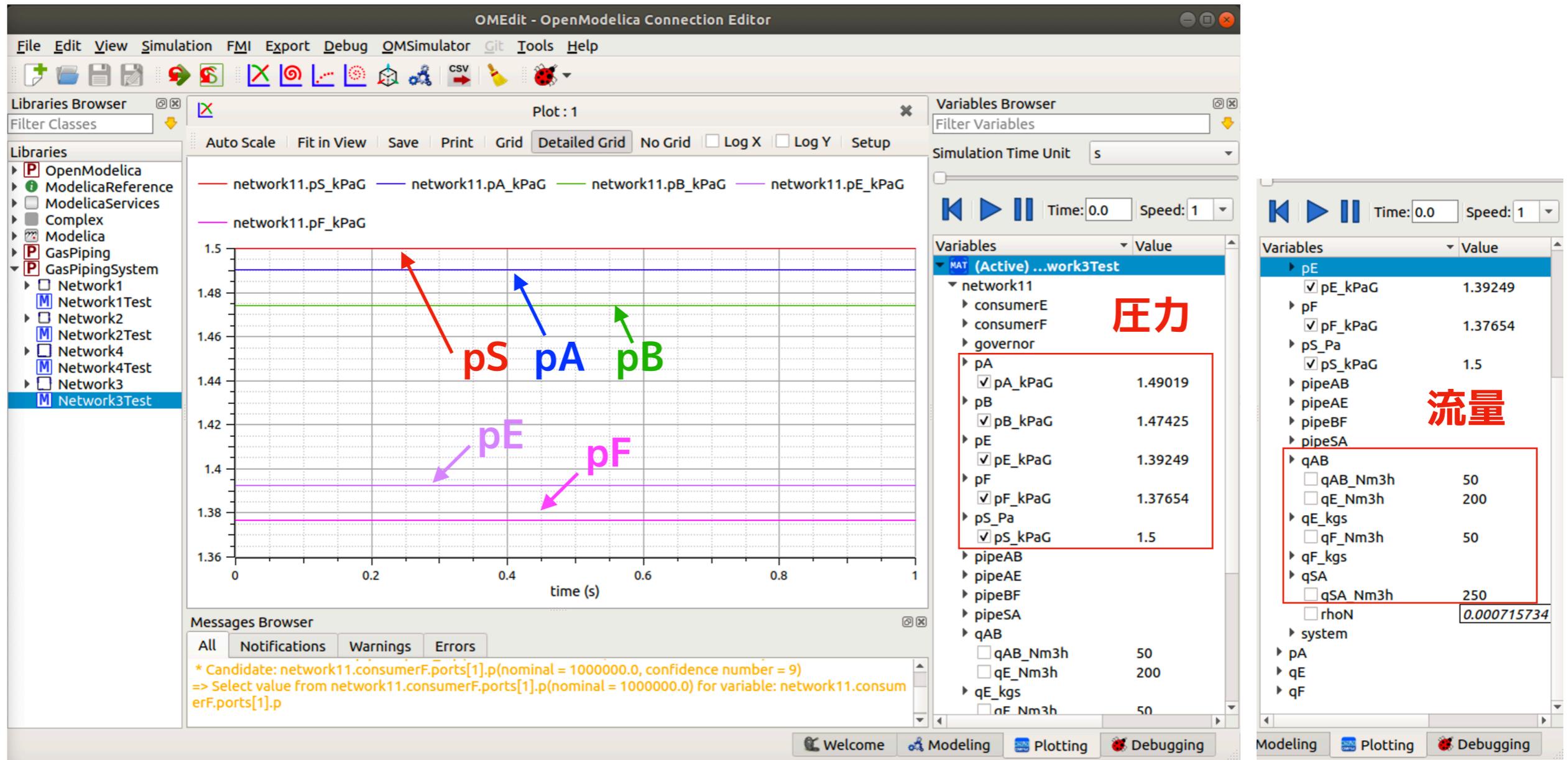
All Notifications Warnings Errors

[3] 07:41:48 Scripting Notification  
info: Logging information has been saved to "/tmp/OpenModelica\_amine/OMEdit//omslog.txt"

X: -63, Y: -25 Welcome Modeling Plotting Debugging

## Network3Test

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル シミュレーション結果



Network3Test

# Network4 全体モデル

Network3 をコピーして  
実習してください！！

## ①コネクタ

pS\_kPaG

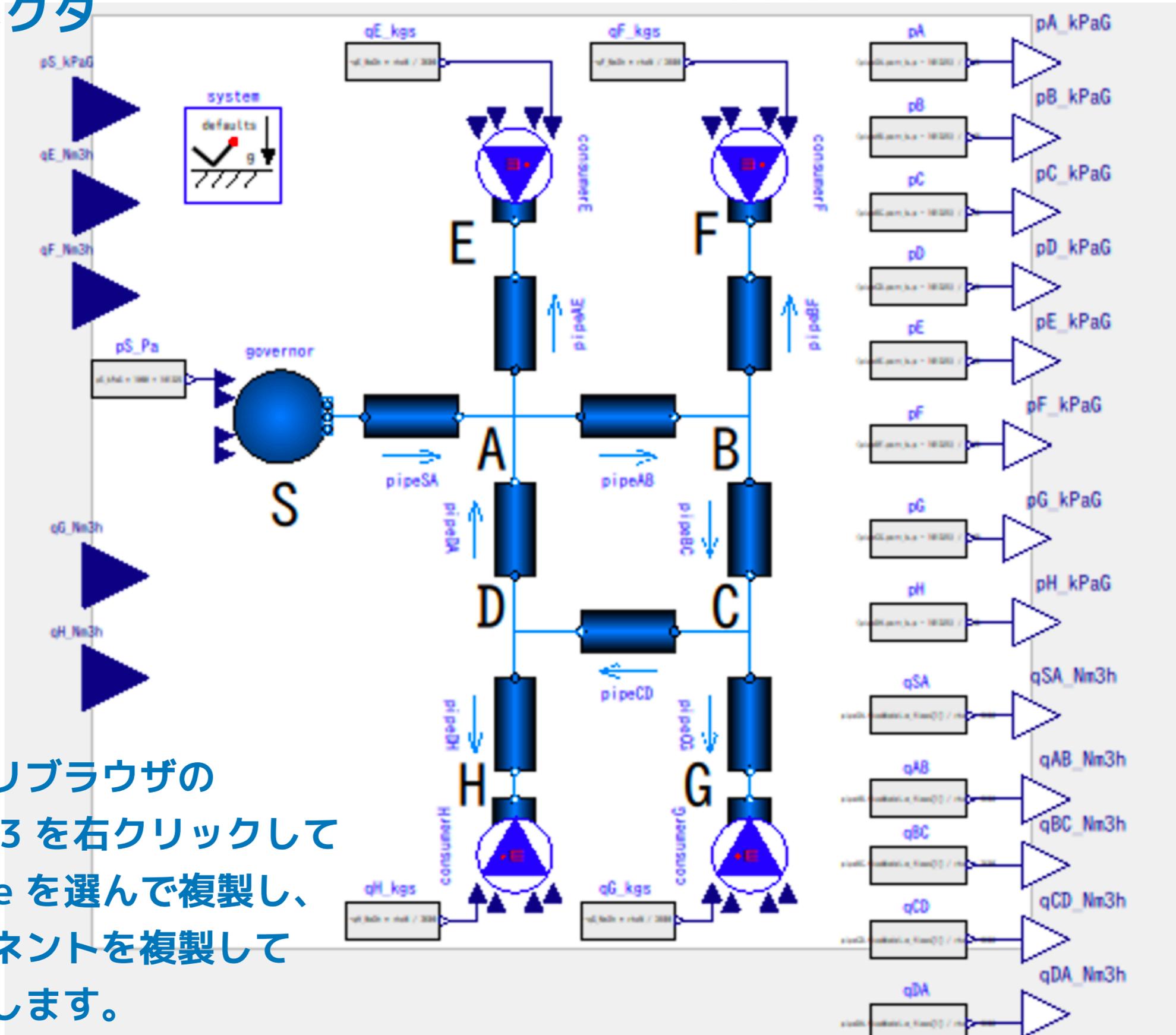
qE\_Nm3h

qF\_Nm3h

qG\_Nm3h

qH\_Nm3h

ライブラリブラウザの  
Network3 を右クリックして  
Duplicate を選んで複製し、  
コンポーネントを複製して  
して編集します。



pA\_kPaG

pB\_kPaG

pC\_kPaG

pD\_kPaG

pE\_kPaG

pF\_kPaG

pG\_kPaG

pH\_kPaG

qSA\_Nm3h

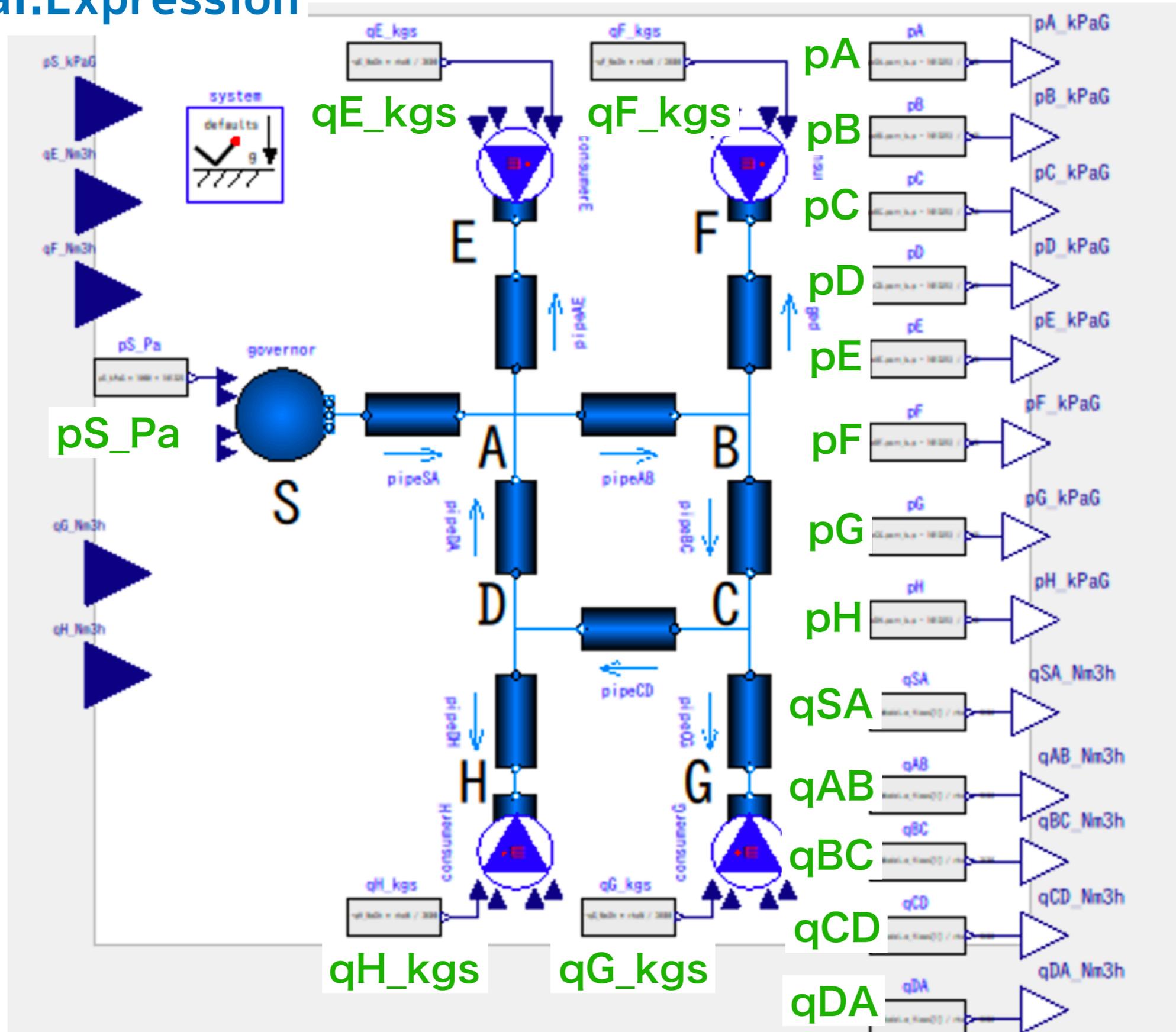
qAB\_Nm3h

qBC\_Nm3h

qCD\_Nm3h

qDA\_Nm3h

② Real.Expression



## Network4 全体モデル

$$pS\_Pa = pS\_kPaG * 1000 + 101325$$

$$qE\_kgs = -qE\_Nm3h * rhoN / 3600$$

$$qF\_kgs = -qF\_Nm3h * rhoN / 3600$$

$$qG\_kgs = -qG\_Nm3h * rhoN / 3600$$

$$qH\_kgs = -qH\_Nm3h * rhoN / 3600$$

$$pA: \quad pA\_kPaG = (pipeSA.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pC: \quad pC\_kPaG = (pipeBC.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pB: \quad pB\_kPaG = (pipeAB.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pD: \quad pD\_kPaG = (pipeCD.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pE: \quad pE\_kPaG = (pipeAE.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pF: \quad pF\_kPaG = (pipeBF.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pG: \quad pG\_kPaG = (pipeCG.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$pH: \quad pH\_kPaG = (pipeDH.port\_b.p - 101325) / 1000$$

$$qSA\_Nm3h = pipeSA.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

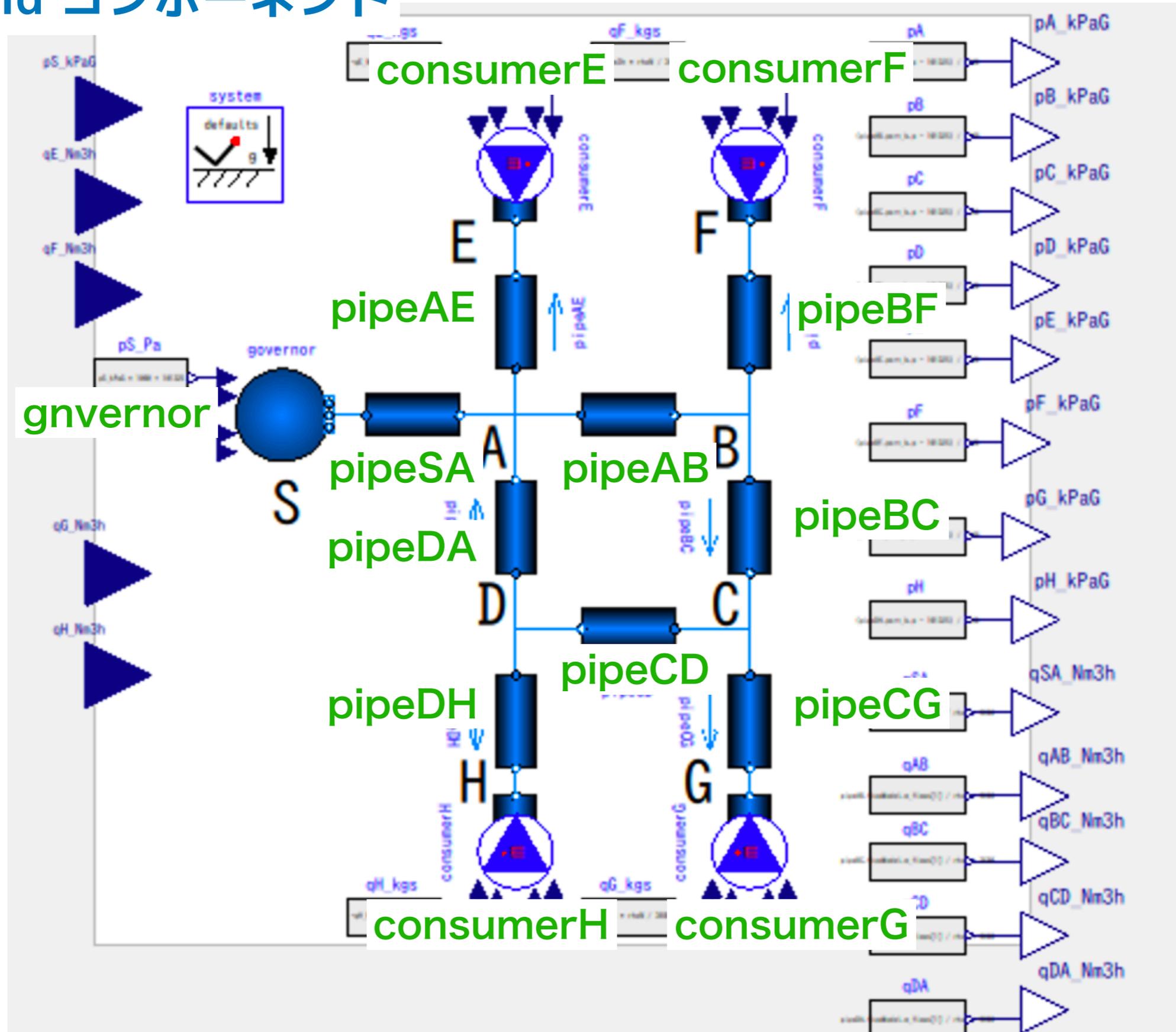
$$qAB\_Nm3h = pipeAB.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

$$qBC\_Nm3h = pipeBC.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

$$qCD\_Nm3h = pipeCD.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

$$qDA\_Nm3h = pipeDA.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

③ Fluid コンポーネント



## governor

```
use_p_in = true
T = 298.15
nPorts = 1
```

## consumerE ~ consumerH

```
use_m_flow_in = true
nPorts = 1
```

## pipeSA

```
length = 300
diameter = 0.3
```

## pipeAB

```
length = 300
diameter = 0.15
```

## pipeBC

```
length = 200
diameter = 0.15
```

## pipeCD

```
length = 250
diameter = 0.1
```

## pipeDA

```
length = 250
diameter = 0.1
```

## pipeAE

```
nParallel = 40
length = 10 [m]
diameter = 0.0216 [m]
```

## pipeBF

```
nParallel = 10
length = 10 [m]
diameter = 0.0216 [m]
```

## pipeCG

```
nParallel = 30
length = 10 [m]
diameter = 0.0216 [m]
```

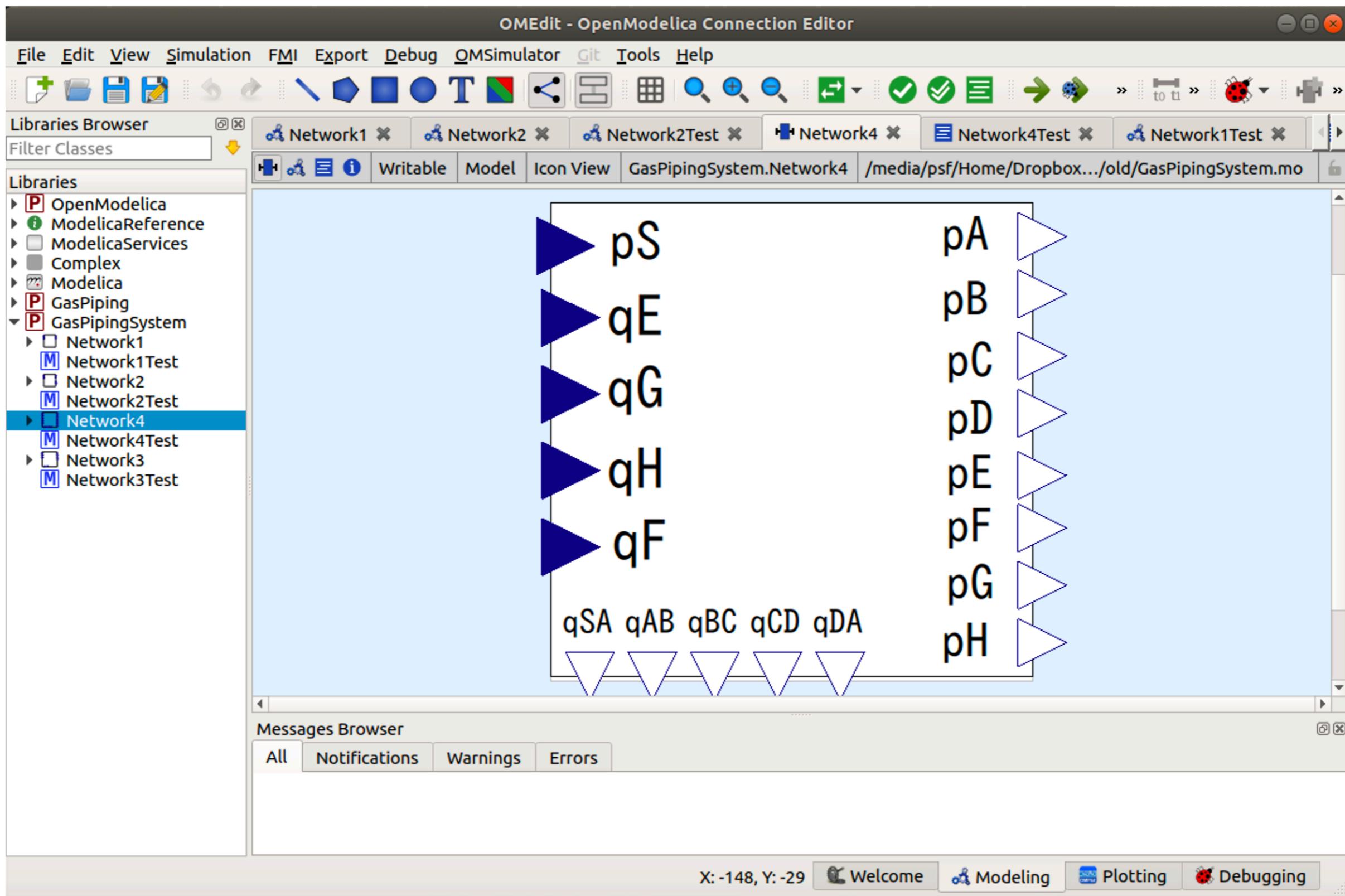
## pipeDH

```
nParallel = 40
length = 10 [m]
diameter = 0.0216 [m]
```

ソースコードも以下と同様に編集します。

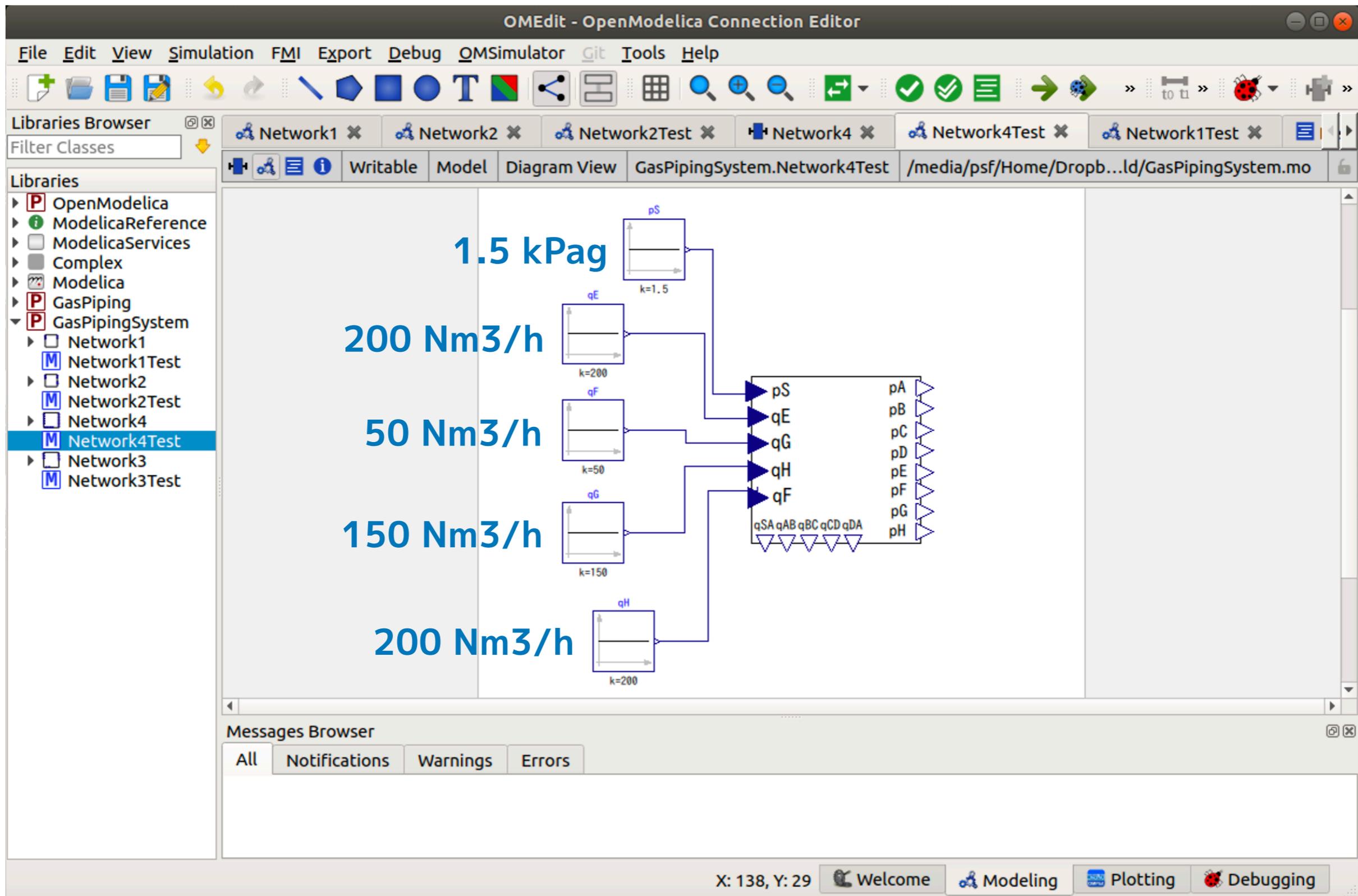
```
Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe pipeCD(
  redeclare package Medium = Medium, diameter = 0.1, length = 150) annotation(...);
```

# Network4 全体モデル アイコンビュー



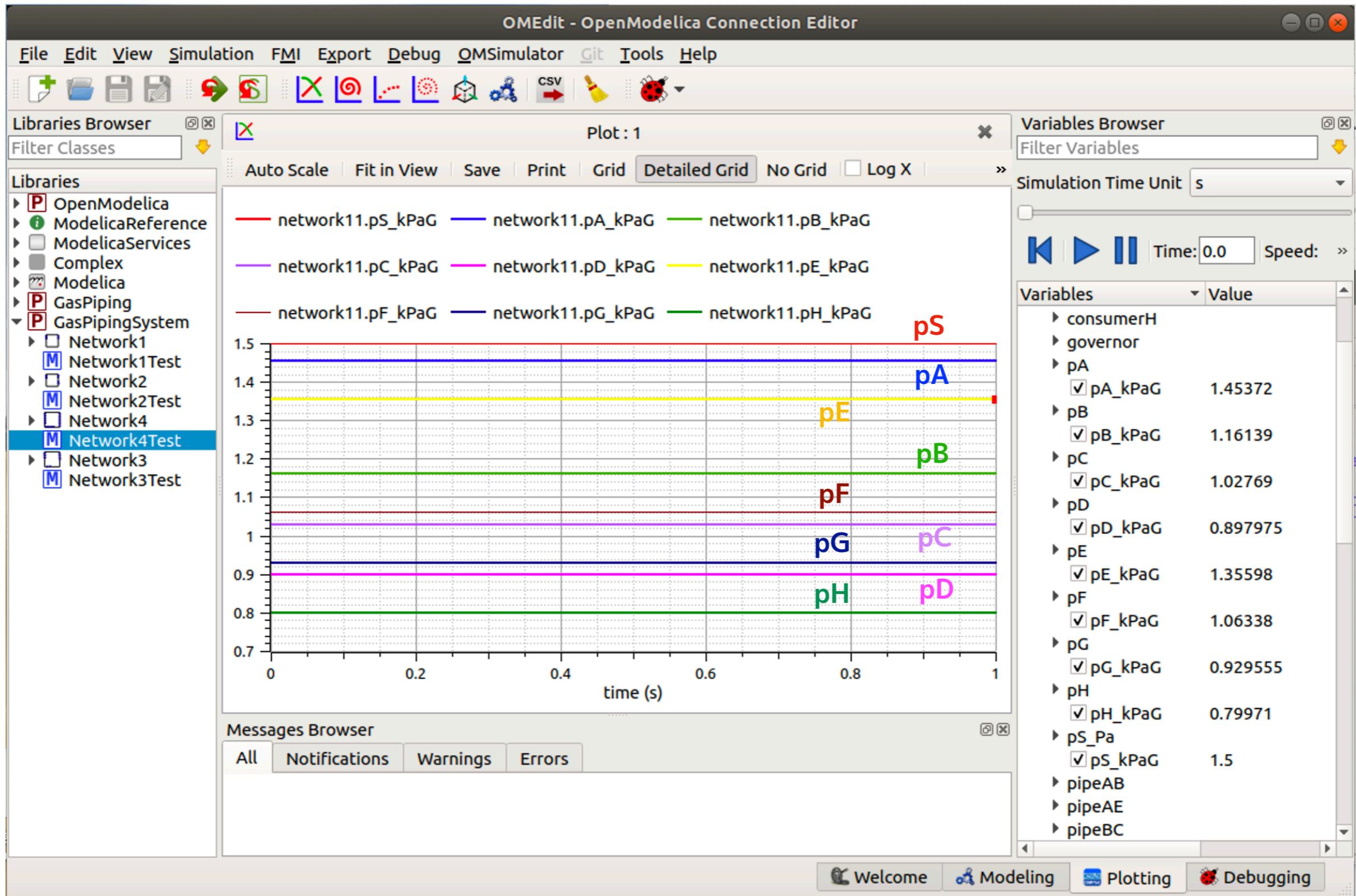
# Network4 全体モデル

## テスト用モデル

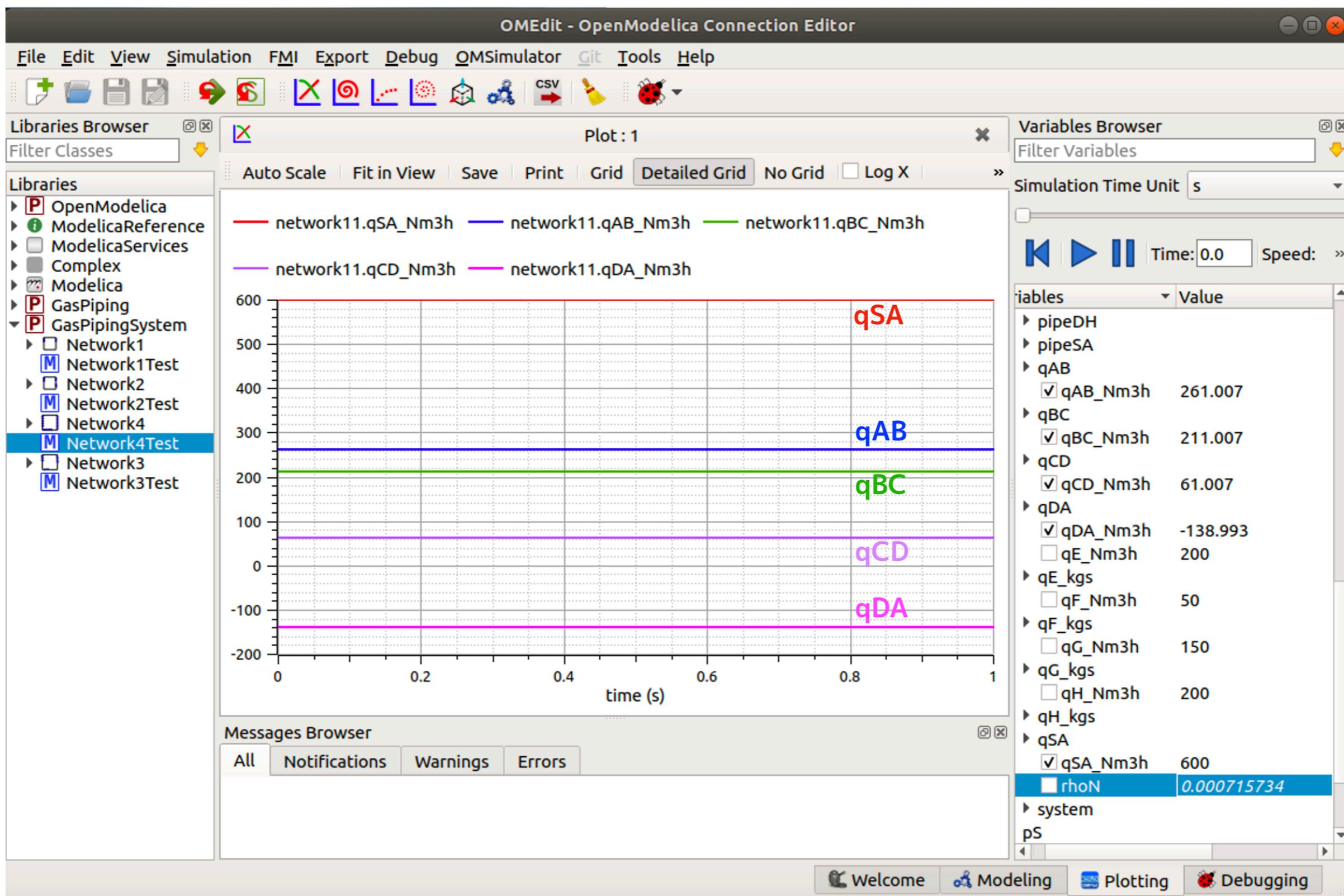


### Netork4Test

## シミュレーション結果 圧力



## シミュレーション結果 流量



## Network4 全体モデル

## シミュレーション結果の比較

## 圧力

	結果 [kPaG]	文献[1] [kPaG]
pS	1.5	1.5
pA	1.45372	1.46
pB	1.16139	1.14
pC	1.02769	1.00
pD	0.897975	0.89
pE	1.35598	
pF	1.06338	
pG	0.929555	
pH	0.79971	

## 流量

	結果 [Nm <sup>3</sup> /s]	文献[1] [m <sup>3</sup> /s]
qSA	600.000	600
qAB	261.007	261
qBC	211.007	211
qCD	61.007	61
qDA	138.993	139

文献[1] 都市ガス工業概要（供給編）  
平成23年改定(平成26年一部追加改訂)版,  
日本ガス協会, p.34, 例題1.9

- 厳密には作動流体物性も計算方法も異なります。
- 文献[1]は、右のような圧力流量関係式を用い、ガス比重  $S=0.60$  で、流量係数  $K$  としてポールの係数 ( $K=0.707$ ) や米花の係数 ( $K=0.782$ ) を用いています。流量の自乗と圧力差が比例し、比例定数が一定です。
- 本シミュレーションモデルでは、比例定数がレイノルズ数やパイプの表面粗さに依存します。流体物性も温度や圧力に依存します。

$$Q = K \sqrt{\frac{1000HD^5}{SLg}}$$

$Q$  [m<sup>3</sup>/h]:流量

$H$  [kPa]:圧力差

$D$  [cm]:管径

$L$  [m]:管長

$g$  [m/s<sup>2</sup>]:重力加速度

# まとめ

- 簡単なガス管路網を OpenModelica でモデル化した。
- モデル外部から整圧器圧力や需要量（消費量）を検討できるように、管路網モデルをコンポーネント化した。

# 応用

- パイプの配置、管径、長さ、消費点の数など、ネットワークの構成を変更してみる。
- 作動流体を都市ガスに変えてみる。
- 各消費点の入力信号を1日の消費量の変化に合わせて変化させてみる。

などが考えられます。ただし、定常流を仮定して解析しているので消費量の時間変動が速い場合は対応できません。

**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>**