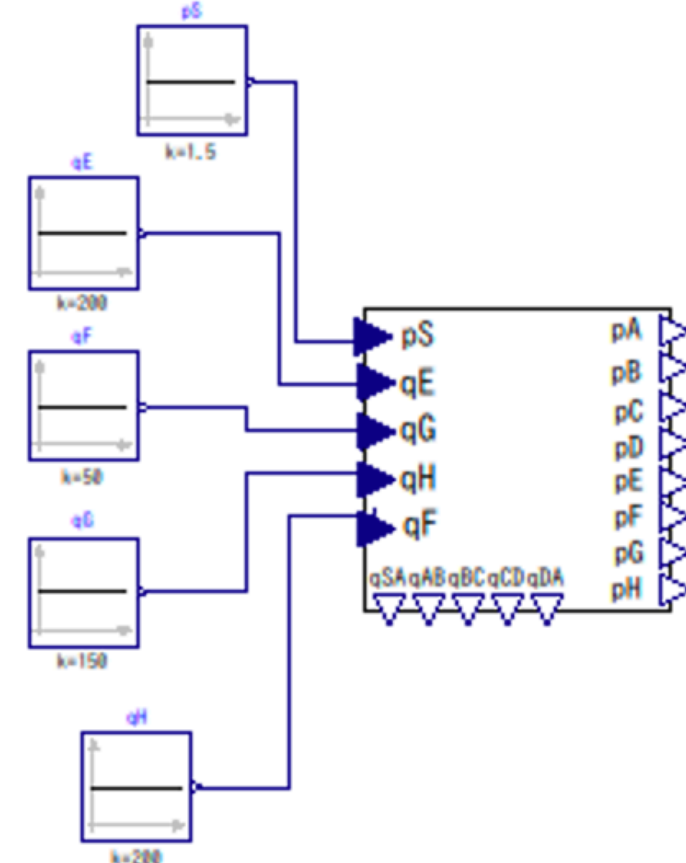
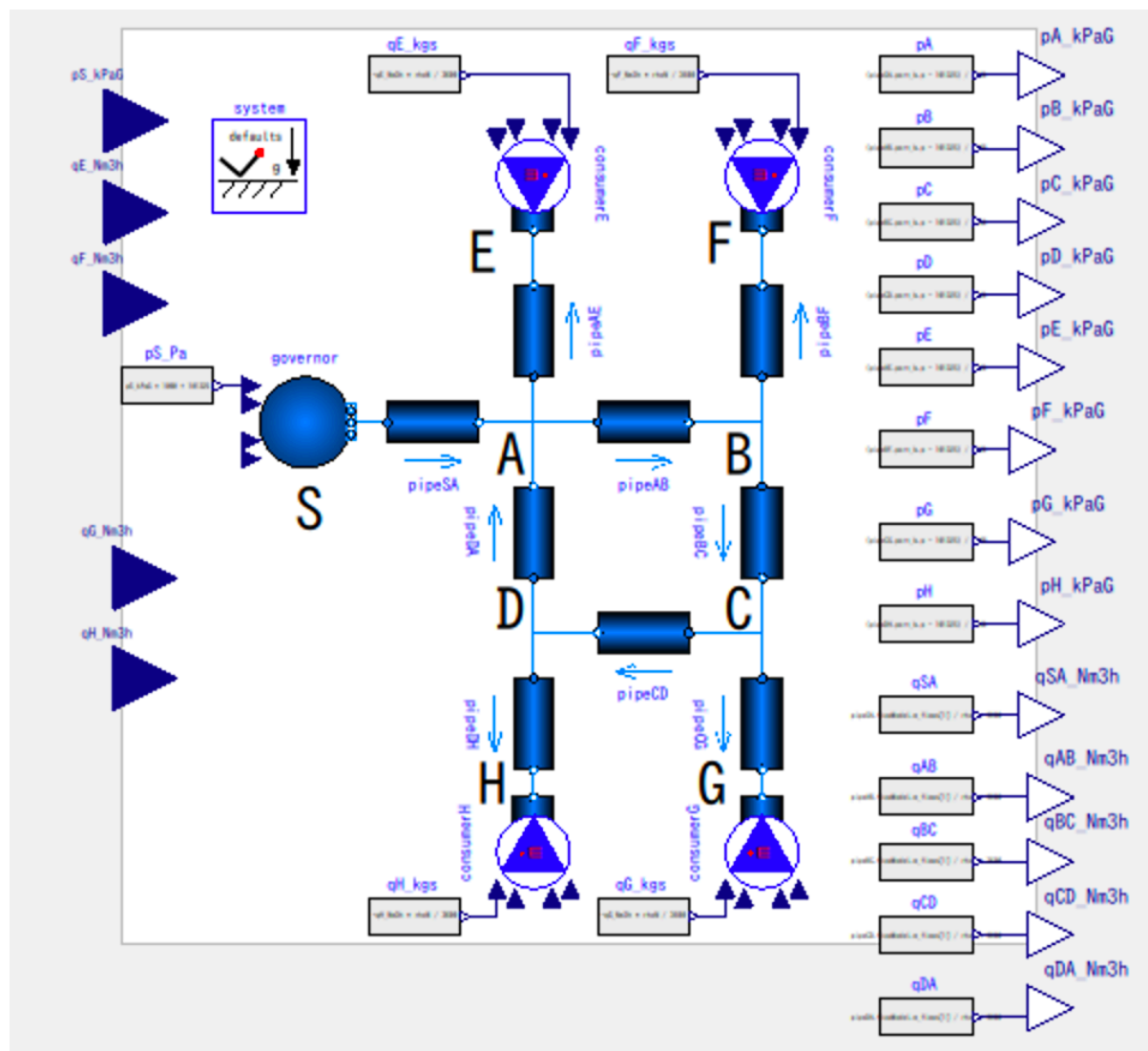


# ハンズオン

## 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
- Network 1 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

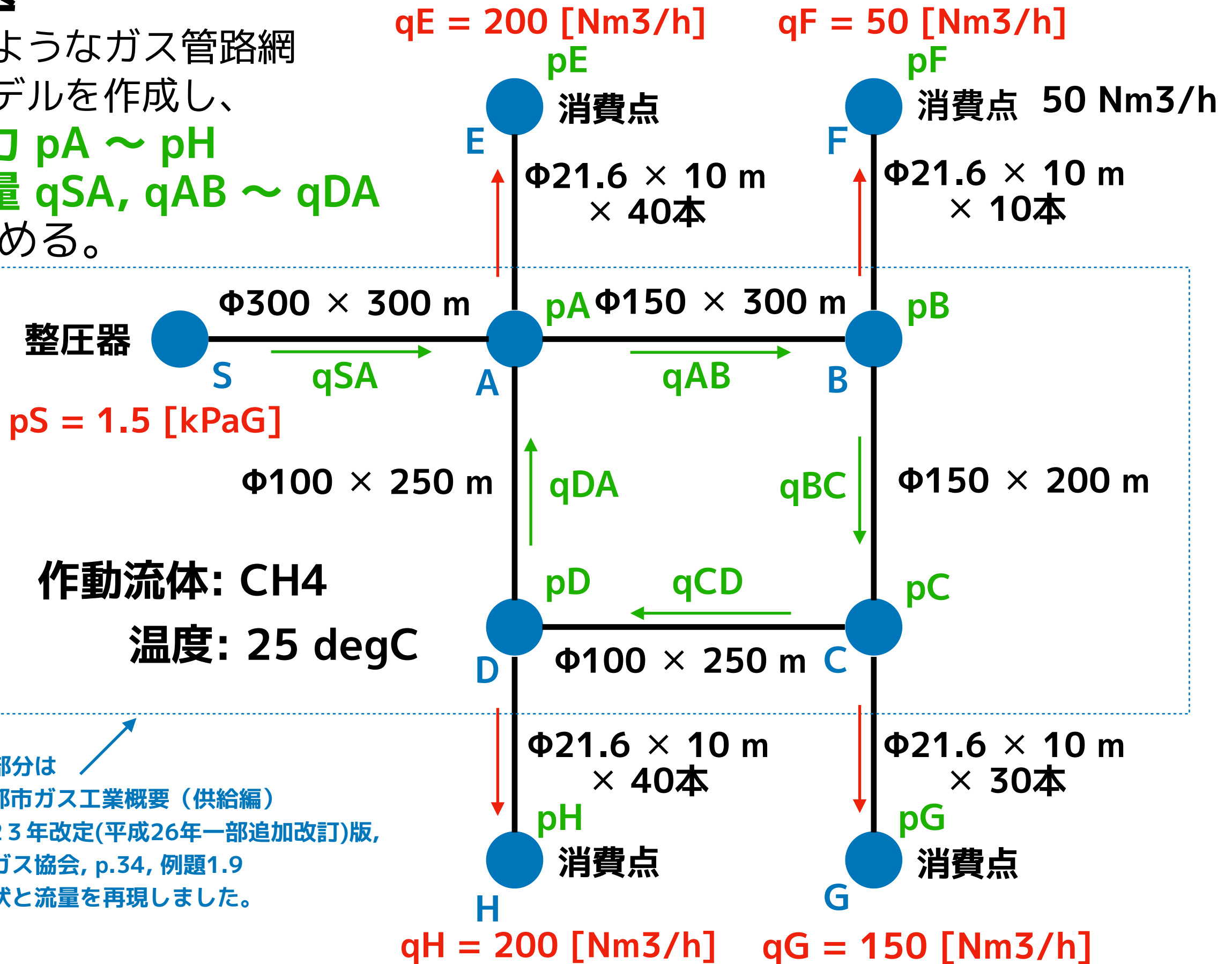
- ガスの導管網の解析の目的は、導管の口径や長さ、需要量、整圧器の設定圧力に関する情報をもとに計算を行い、導管内のガスの圧力、流量を把握することである。
- 供給能力の把握、改善方法の検討、新規需要の獲得検討、工事のための切断検討などに利用できる。
- 簡単なガス管路網を OpenModelica でモデル化する。
- モデル外部から整圧器圧力や需要量（消費量）を検討できるように、管路網モデルをコンポーネント化する。

# 問題

次のようなガスパ路網  
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）

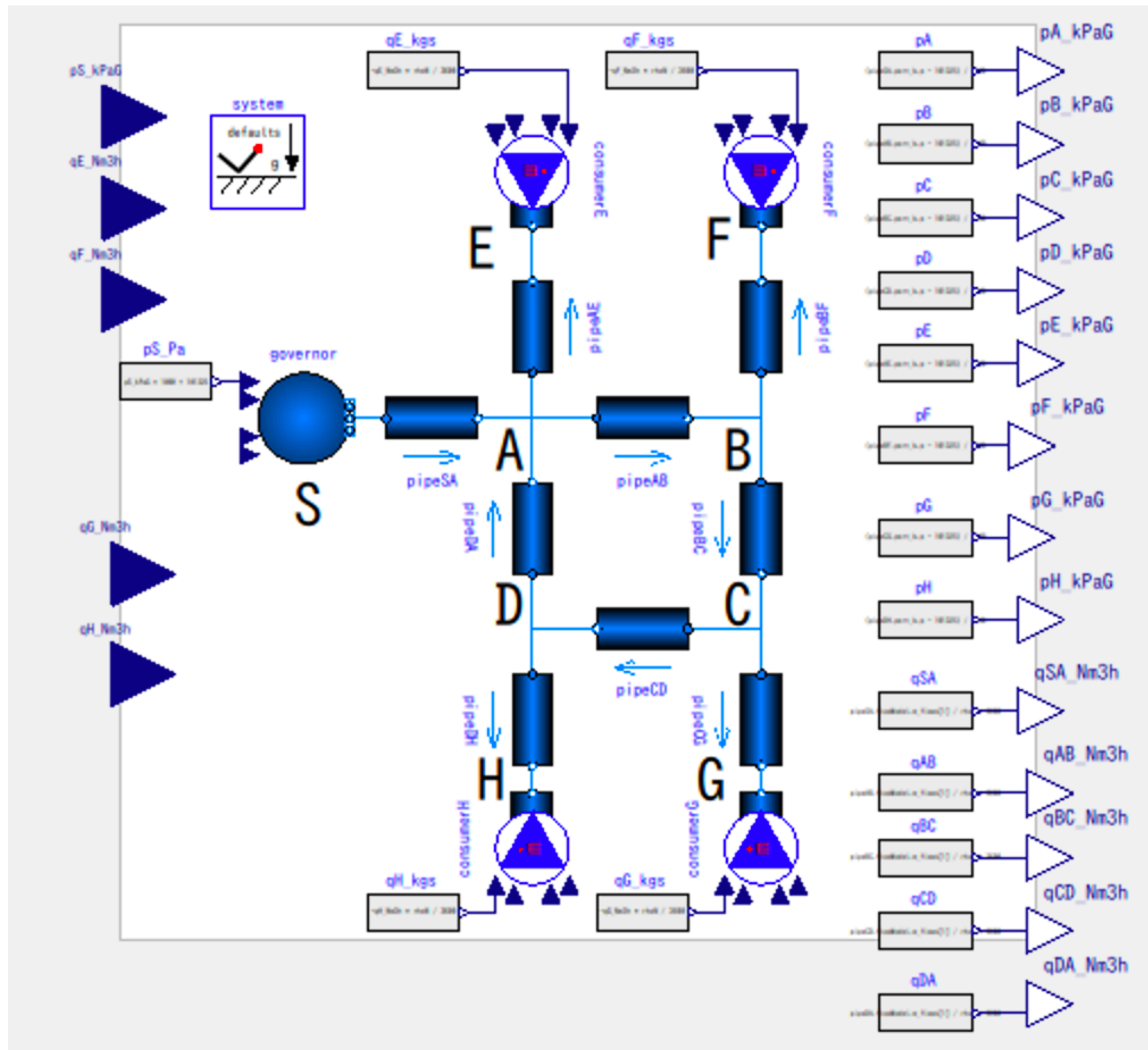
平成23年改定(平成26年一部追加改訂)版,

日本ガス協会, p.34, 例題1.9

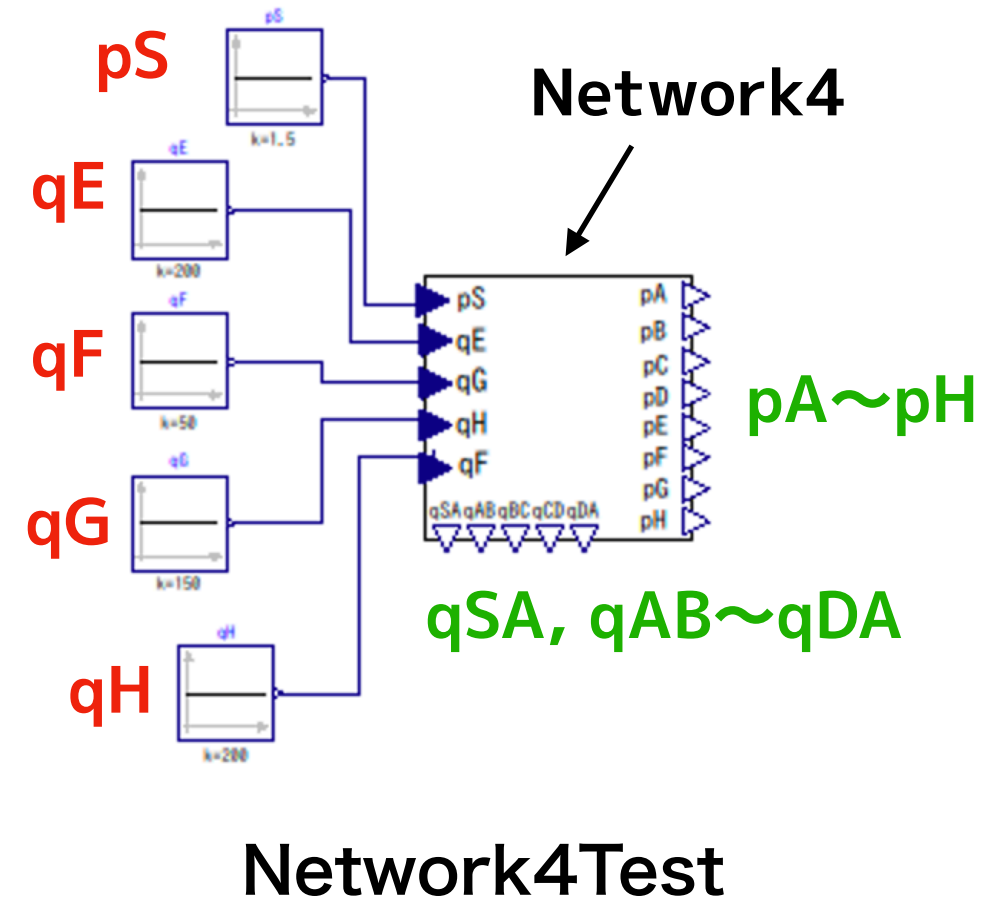
の形状と流量を再現しました。



# これから最終的に作成するモデル

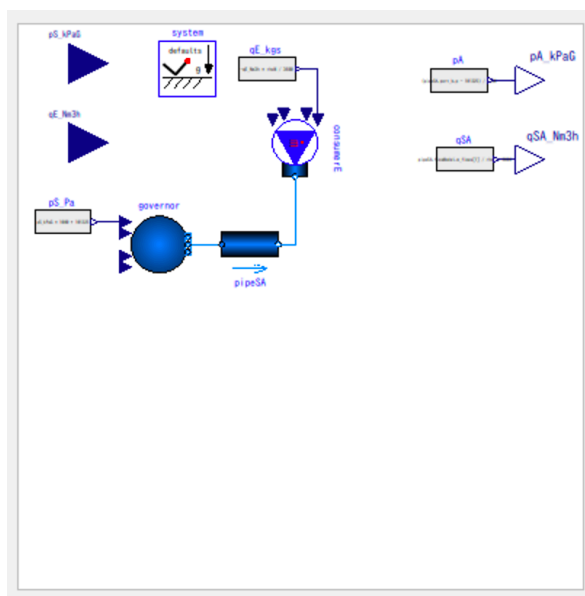


Network4

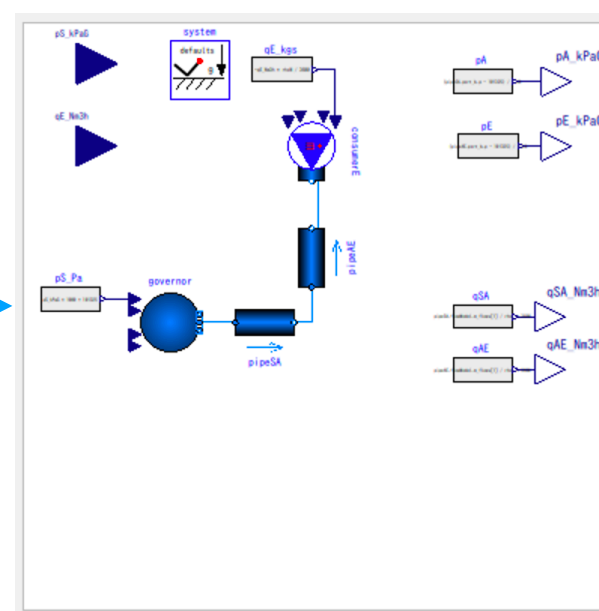


# 本テキストの実習の流れ

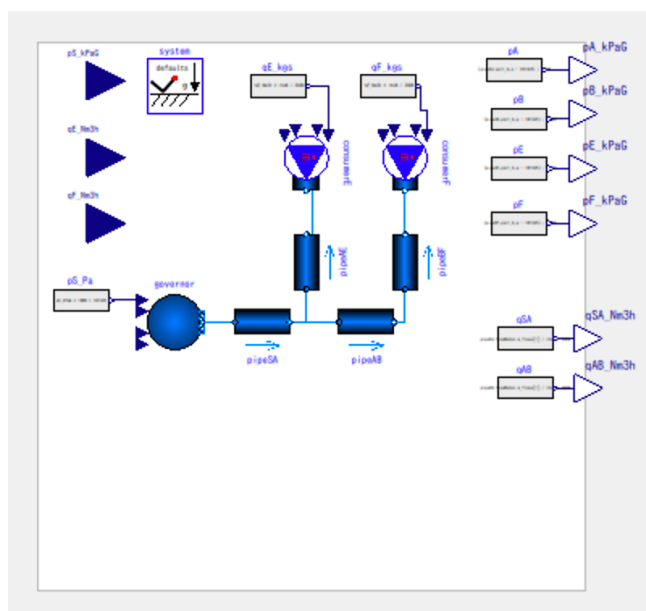
本テキストでは、Network1～Network3までを解説し、  
Network3 のコピーから Network4 の作成を実習する。



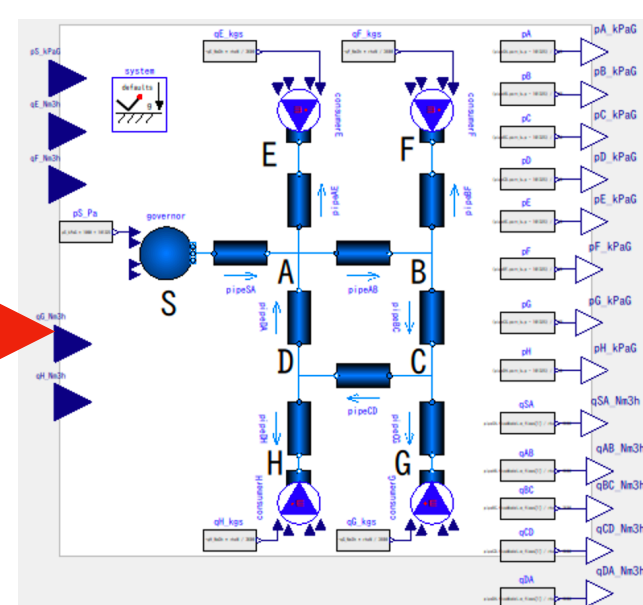
Network1



Network2



Network3

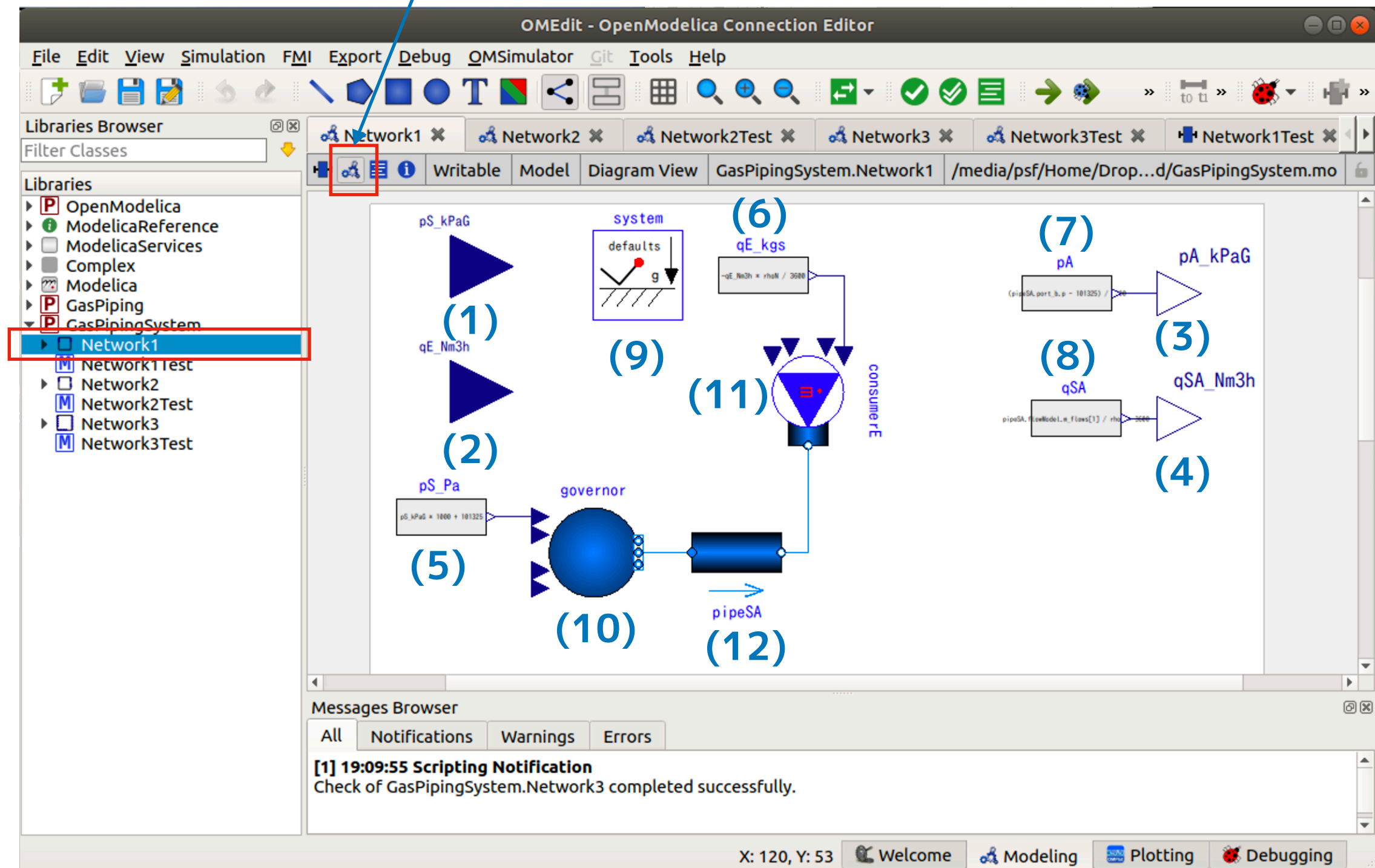


Network4

# 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。

ダイアグラムビュー

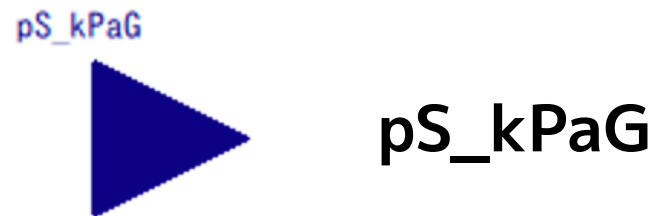


GasPipingSystem.mo を開いて Network1 をアクティブにする。

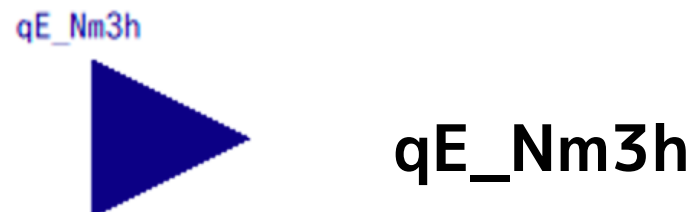
## (1) (2) Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput

外部から実数変数を入力するコネクタ

(1) pS [kPaG] 入力



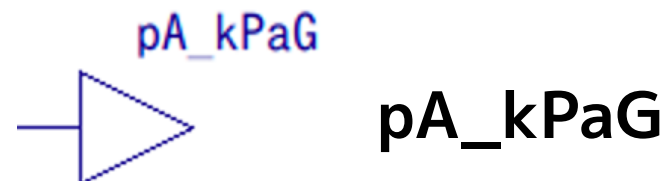
(2) qE [Nm<sup>3</sup>/h] 入力



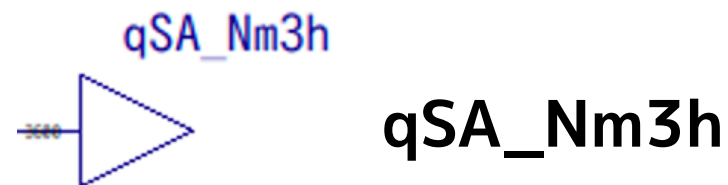
## (3) (4) Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput

外部へ実数変数を出力するコネクタ

(3) pA [kPaG]出力



(4) qSA[Nm<sup>3</sup>/h]出力

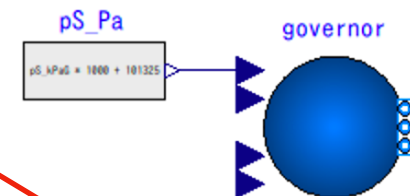


## (5)(6)(7)(8) Modelica.Blocks.Sources.RealExpression

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

(5) pS [kPaG] → pS [Pa]

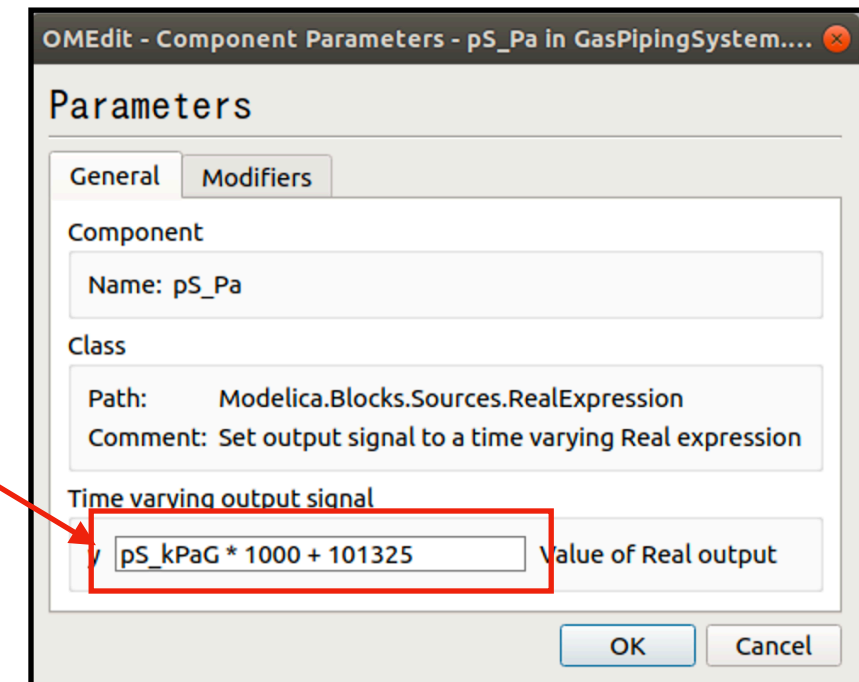
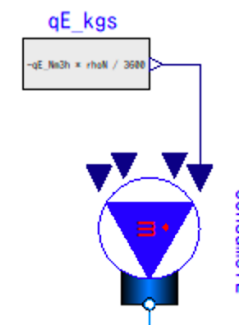
$$pS\_Pa = pS\_kPaG * 1000 + 101325$$



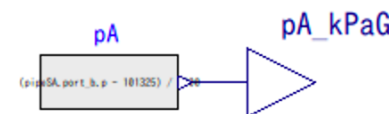
(6) qE [Nm3/h] → qE [kg/s]

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

0 degC, 101325 Pa の密度



(7) pA [Pa] → pA [kPaG]



pipeSA.port\_b の圧力を抽出して単位変換する。

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

(8) qSA [kg/s] → qSA [Nm3/h]



pipeSAの質量流量を抽出して単位変換する。

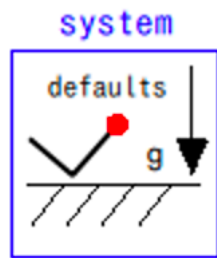
$$qSA\_Nm3h = pipeSA.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

# Network1 基本モデル

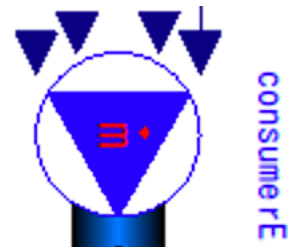
## (11) Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource\_T

10

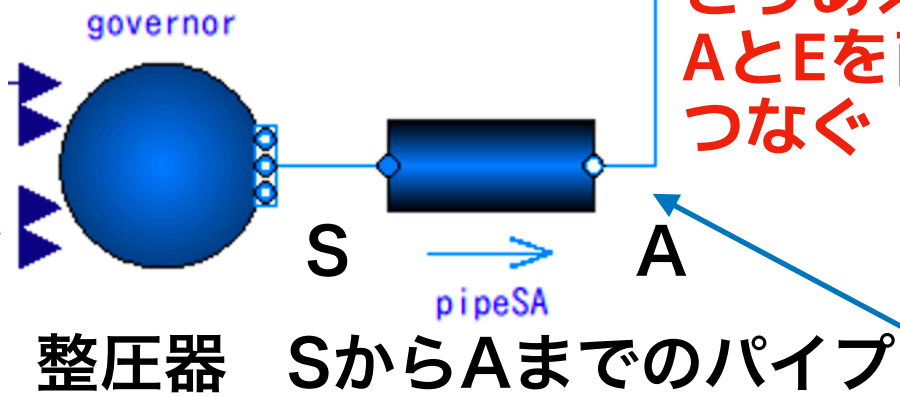
## (9) Modelica.Fluid.System



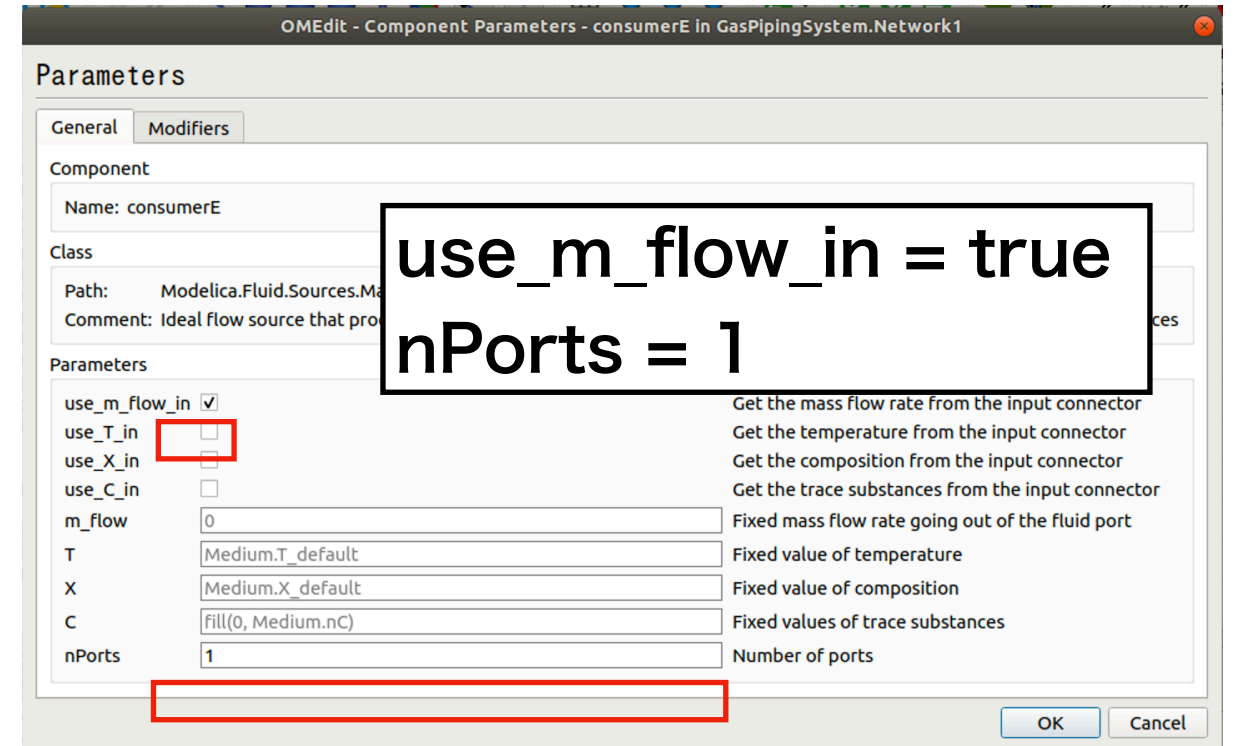
消費点 E



とりあえず  
AとEを直接  
つなぐ



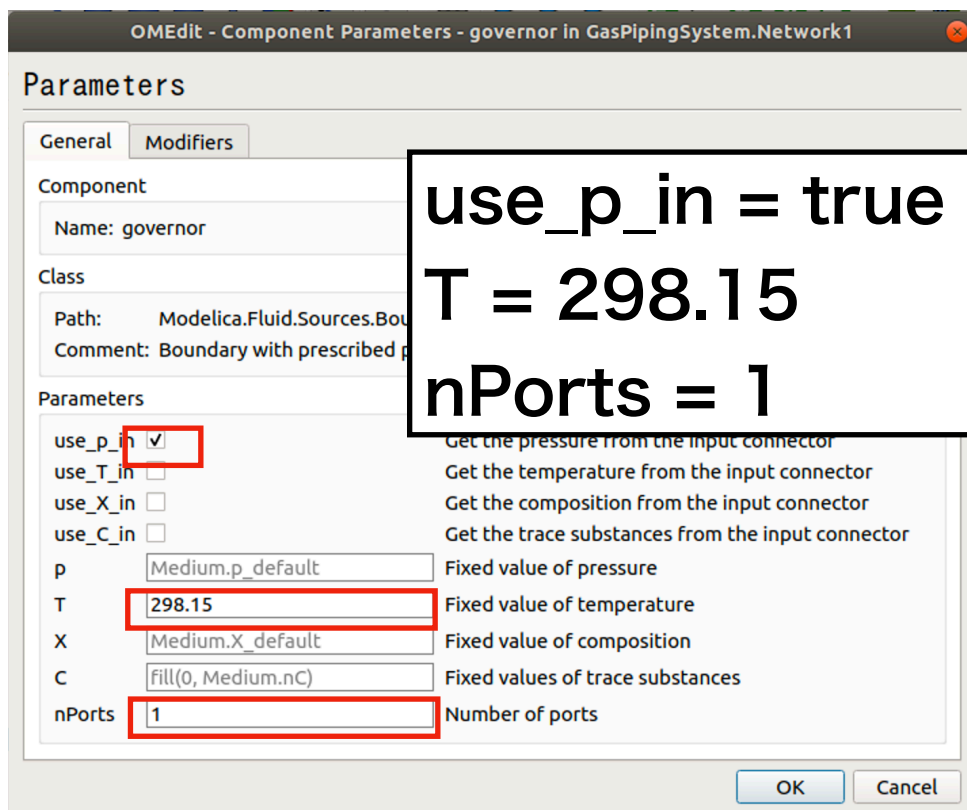
整圧器 SからAまでのパイプ



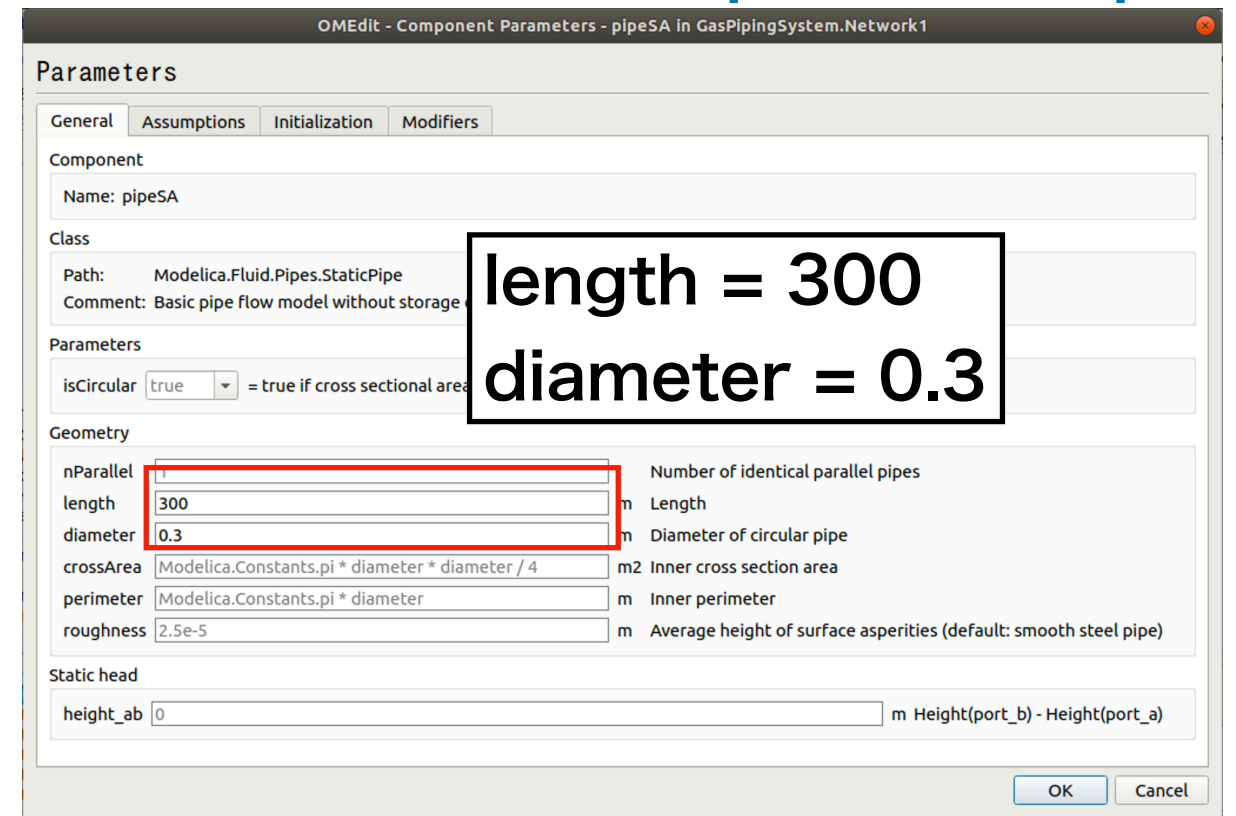
use\_m\_flow\_in = true  
nPorts = 1

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

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



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

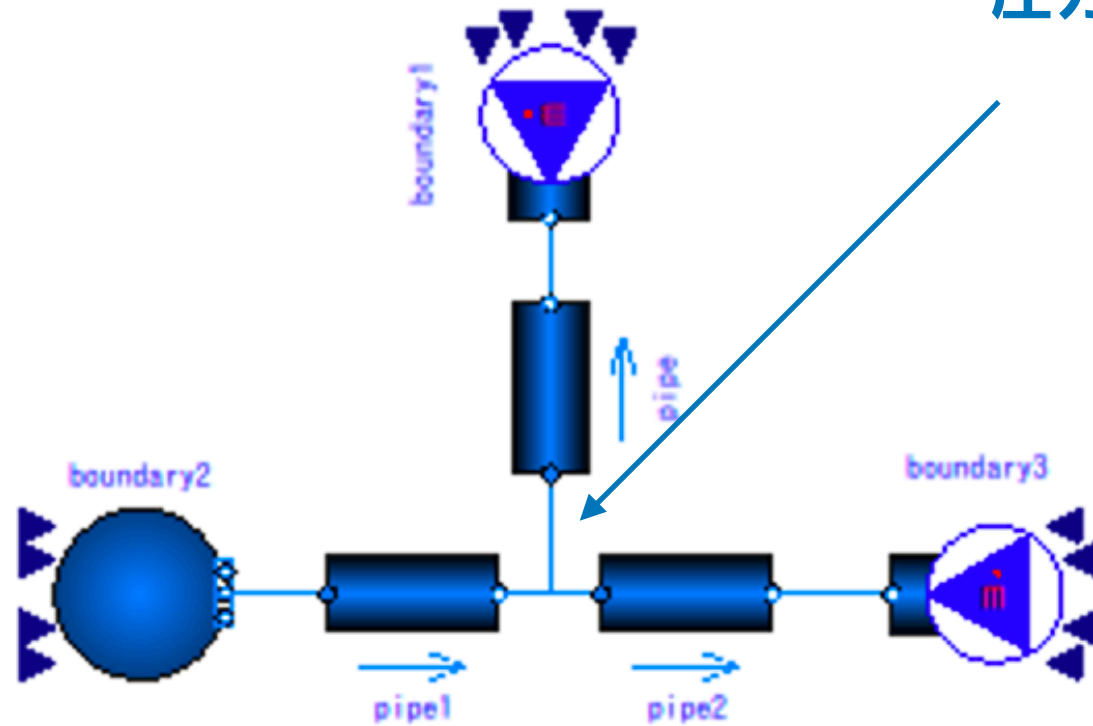


length = 300  
diameter = 0.3



## 計算方法の概要

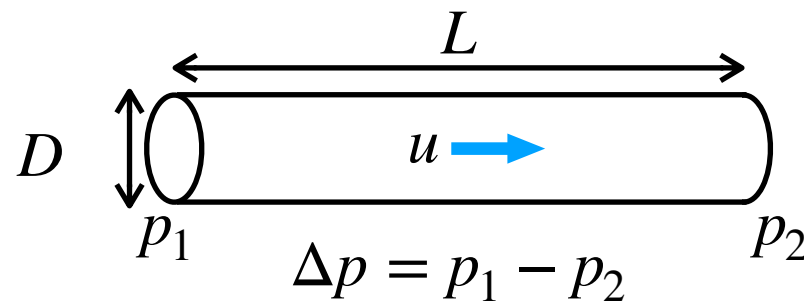
flow model を直接つないでいるので  
圧力や流量は、連立非線形方程式を解いて求められる。



## 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)

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



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

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

$$p_1 = p_2 = p_3$$

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

$\lambda$  : 管摩擦係数 (Darcy's friction factor)

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]: 密度

$\mu$  [Pa.s]: 粘性率

$\varepsilon$  [m]: 絶対粗さ (absolute roughness)

$\Delta = \frac{\varepsilon}{D}$  相対粗さ (relative roughness)

## 管摩擦係数の計算方法

レイノルズ数  $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$

[Samoilenko 1968; Idelchik 1994, p.81, sect. 2.1.21]

$Re < Re_1$  層流 (laminar flow)

$Re_1 = 745 \exp \left( \text{if } \Delta < 0.0065 \text{ then } 1 \text{ else } \frac{0.0065}{\Delta} \right)$

$\lambda = \frac{64}{Re}, u = \frac{\Delta p}{L} \frac{r^2}{8\mu}$

ハーゲン・ポアズイユ流 (Hagen-Poiseuille flow)

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

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

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



# Network1 基本モデル

## ソースコード

太字部分を追加する。

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

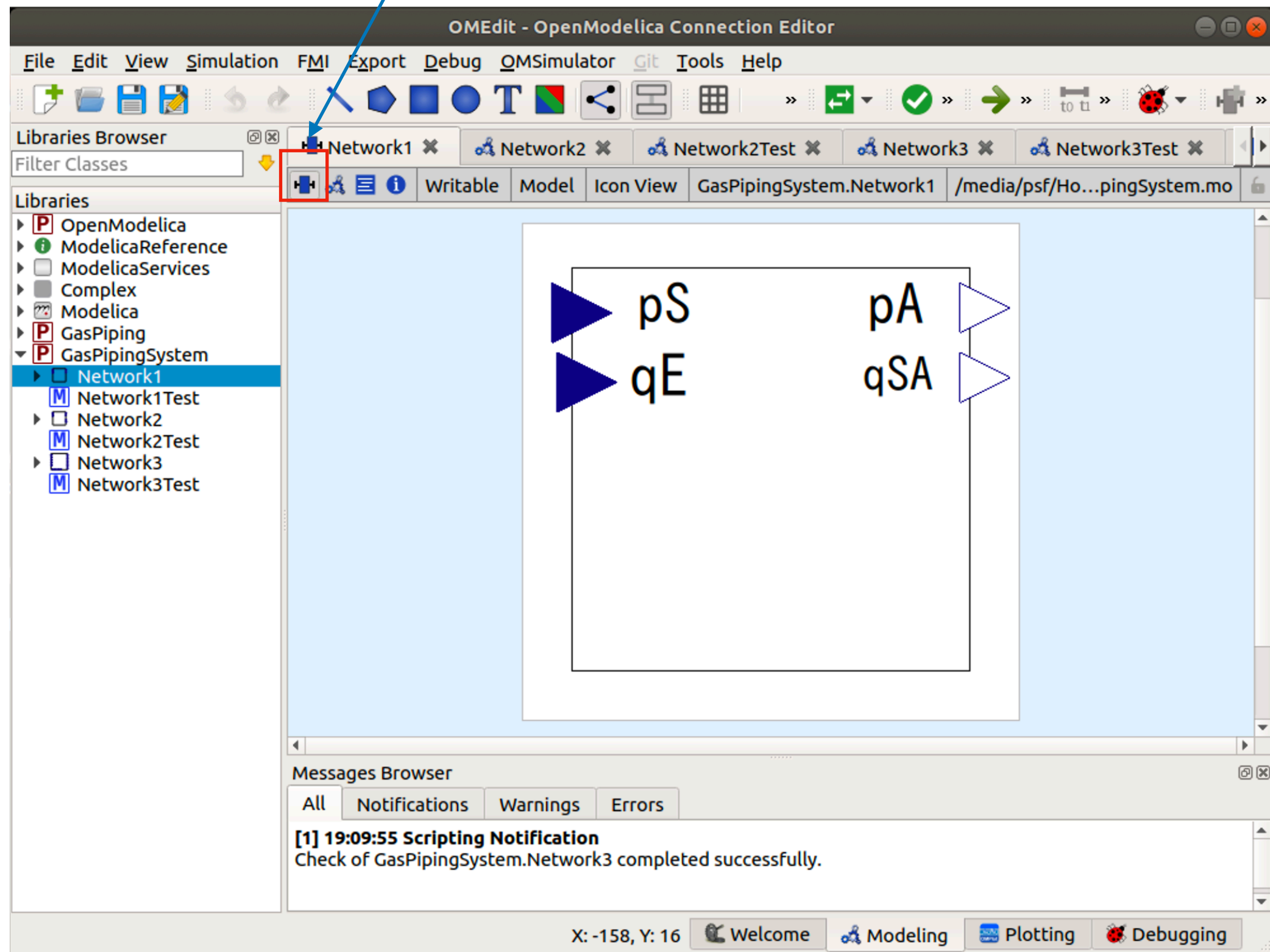
13

```
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;
```

# Network1 基本モデル アイコン

14

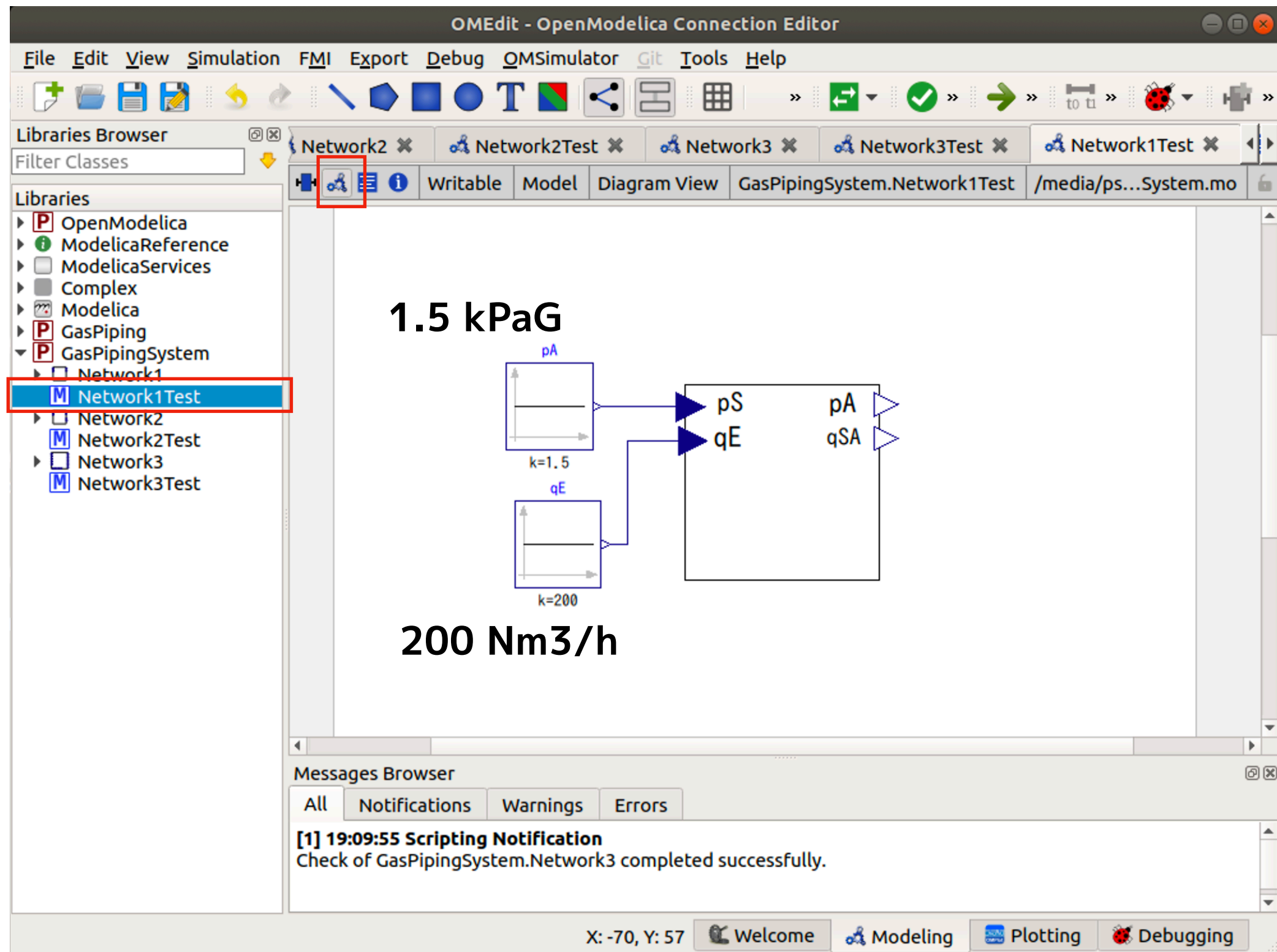
アイコンビュー



# Network1 基本モデル

## テスト用モデル

15

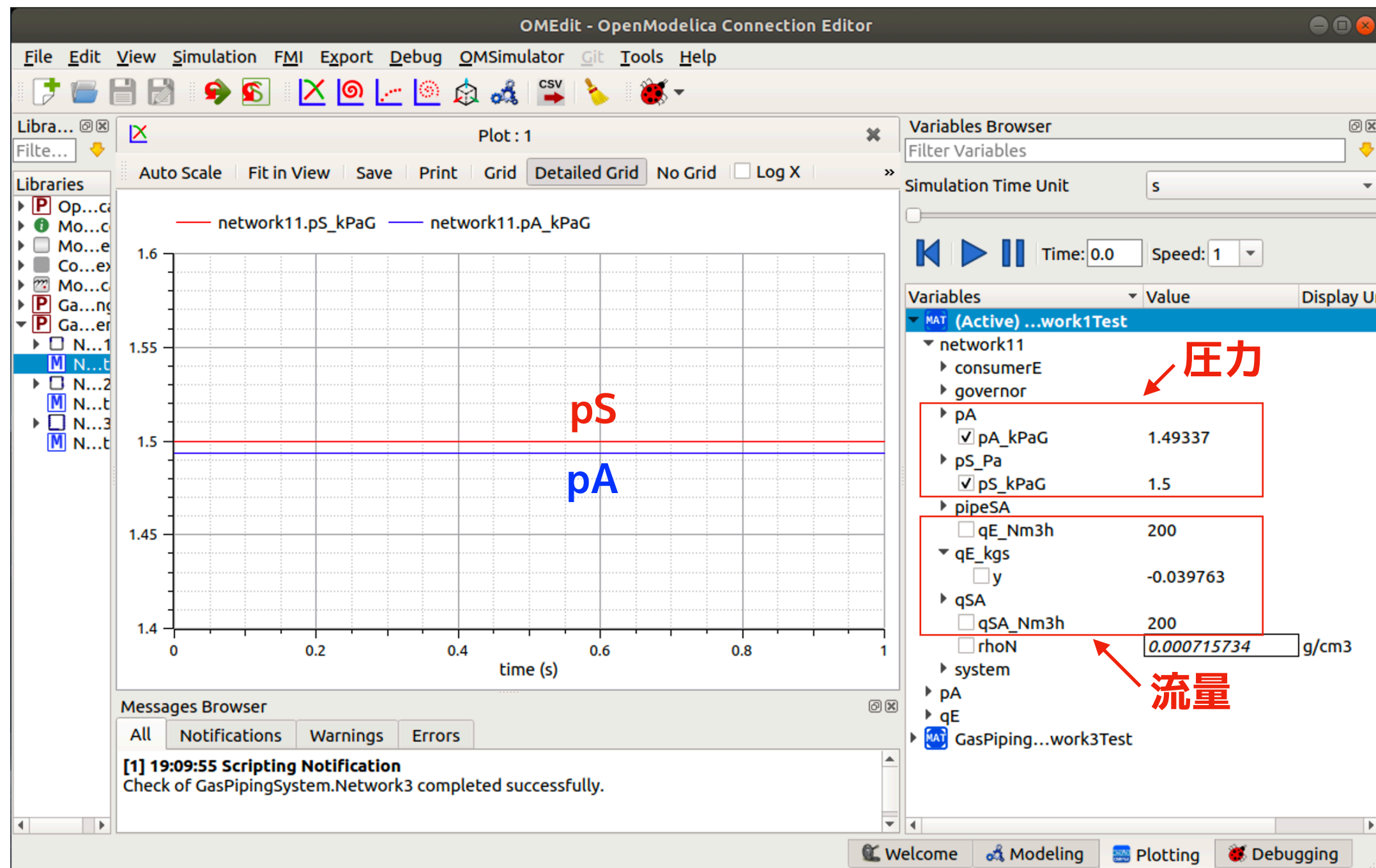


Network1 Test

# Network1 基本モデル

## シミュレーション結果

16

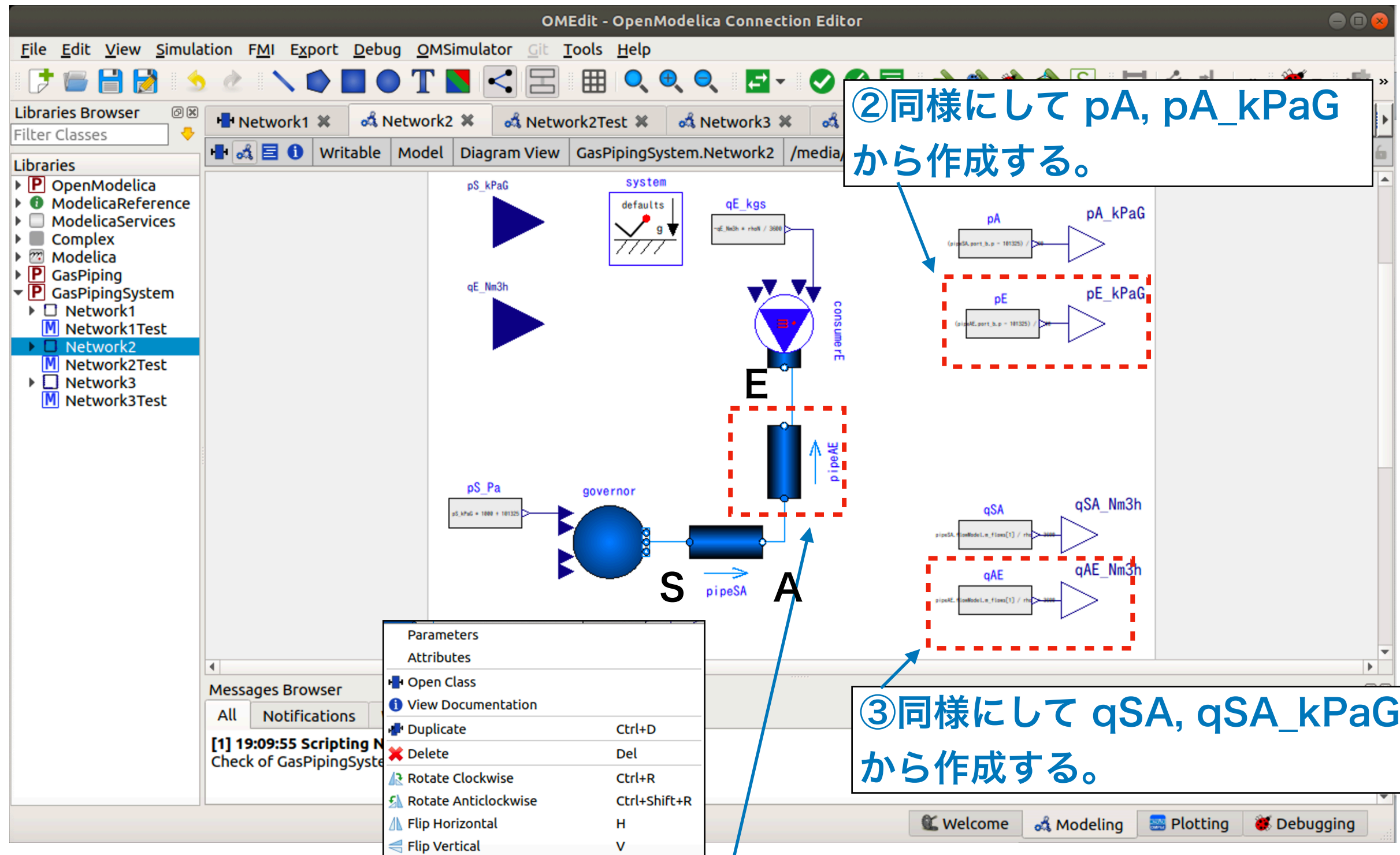


### Network1 Test

# Network2 S-A-E のモデル

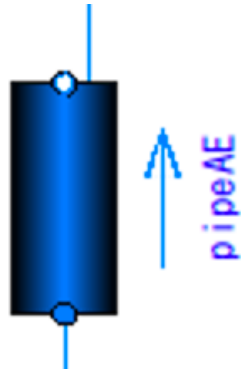
コンポーネントを  
コピーして作成する。

17





## pipeAE



OMEdit - Component Parameters - pipeAE in GasPipingSystem.Network2

Parameters

General Assumptions Initialization Modifiers

Component

Name: pipeAE

Class

Path: Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe  
Comment: Basic pipe flow model without storage of mass or energy

Parameters

isCircular ☐ = true if cross sectional area is circular

Geometry

nParallel	40	Number of identical parallel pipes
length	10	m Length
diameter	0.0216	m Diameter of circular pipe
crossArea	$\text{Modelica.Constants.pi} * \text{diameter} * \text{diameter} / 4$	m <sup>2</sup> Inner cross section area
perimeter	$\text{Modelica.Constants.pi} * \text{diameter}$	m Inner perimeter
roughness	2.5e-5	m Average height of surface asperities (default: smooth steel pipe)

Static head

height\_ab 0 m Height(port\_b) - Height(port\_a)

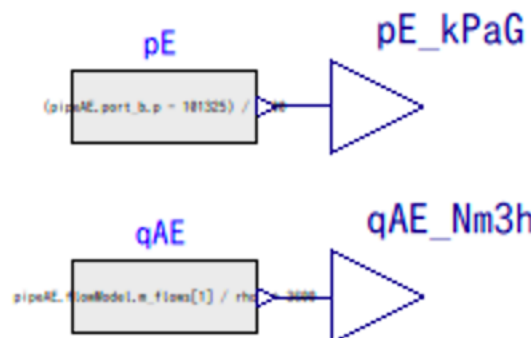
OK Cancel

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

## ソースコードの編集

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

## 圧力と流量の抽出



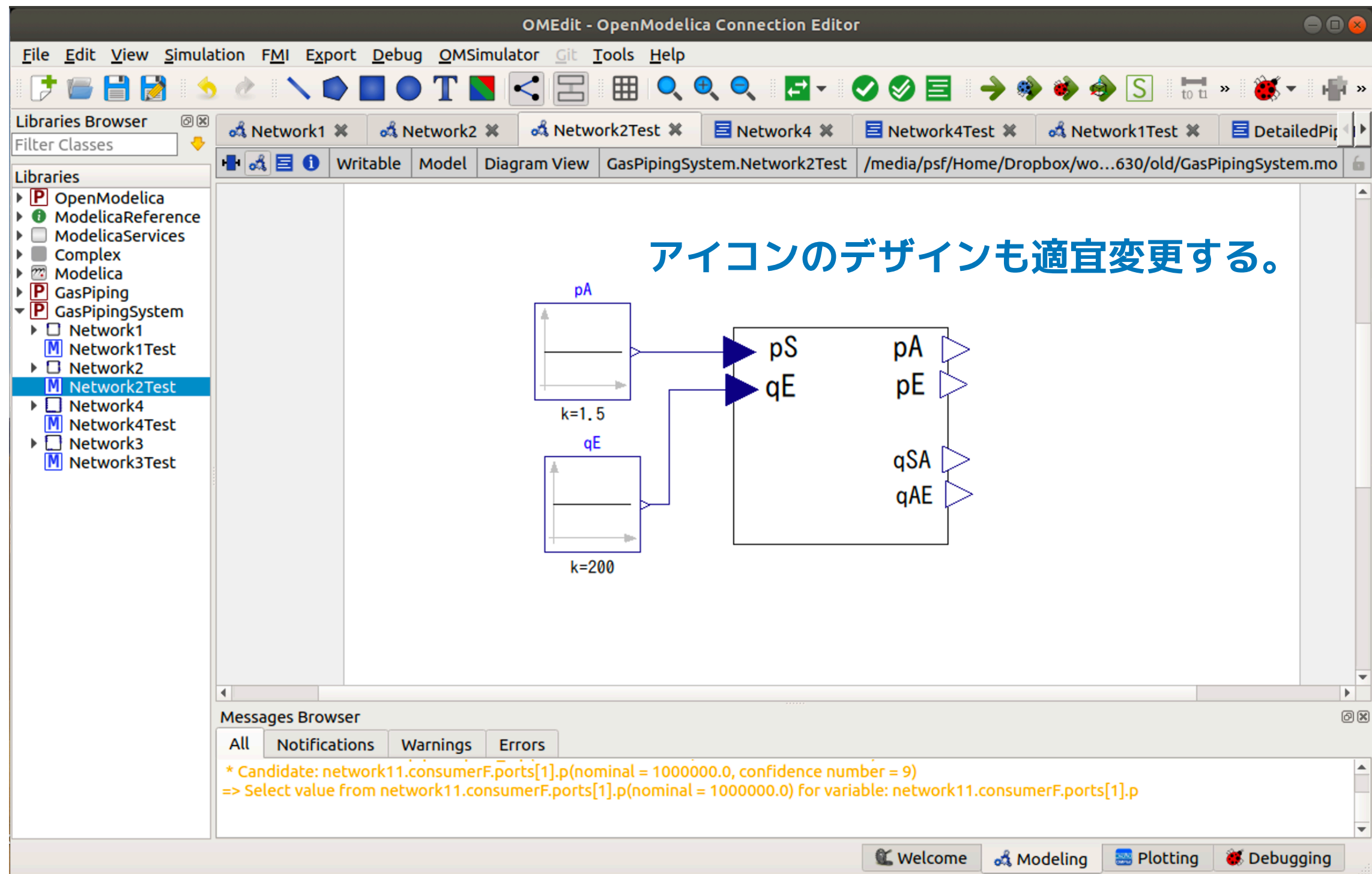
$$pE\_kPaG = (\text{pipeAE.port\_b.p} - 101325) / 1000$$

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

# Network2 S-A-E のモデル

## テスト用モデル

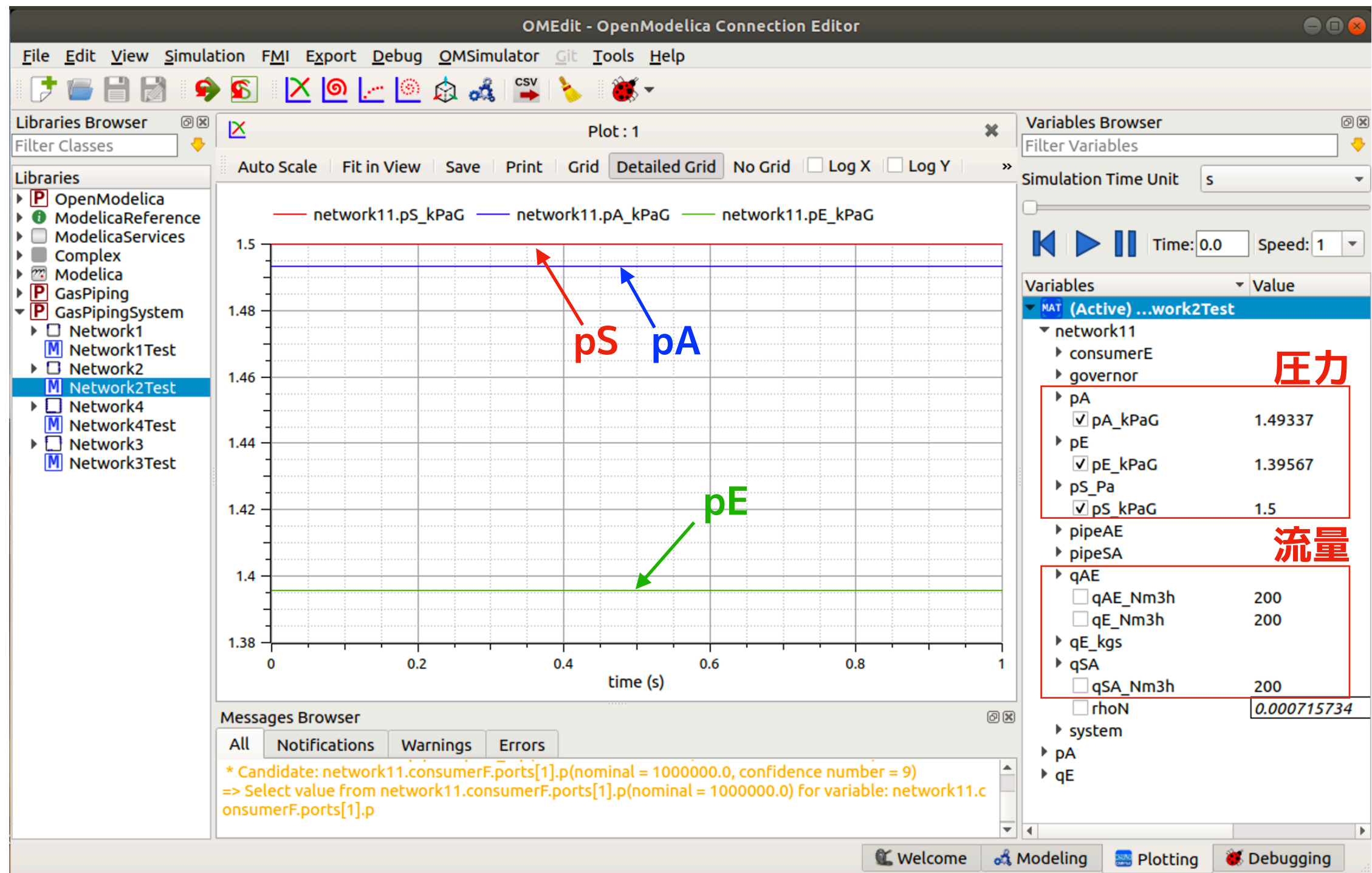
19



Network2Test

# Network2 S-A-E のモデル シミュレーション結果

20



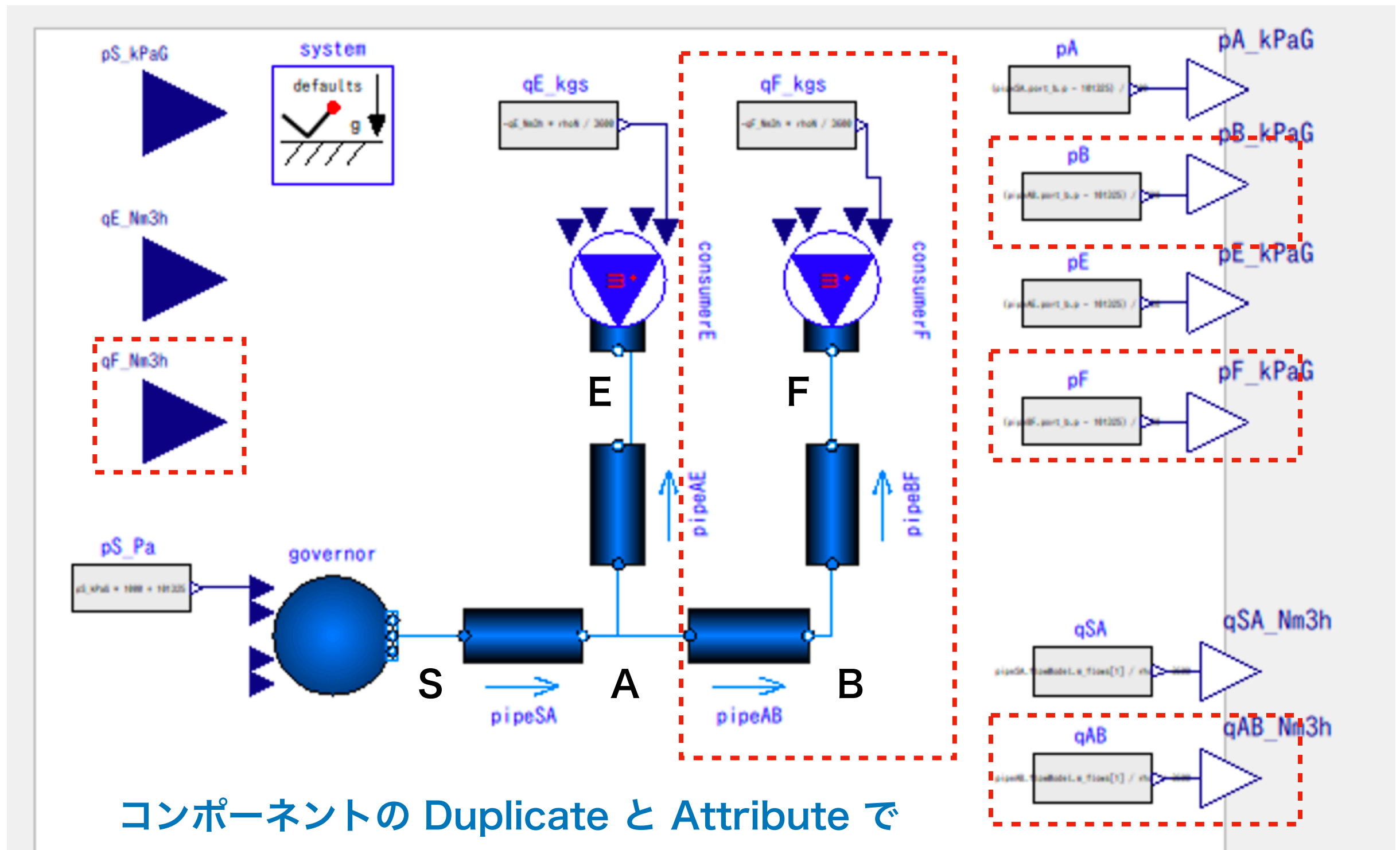
## Network2Test



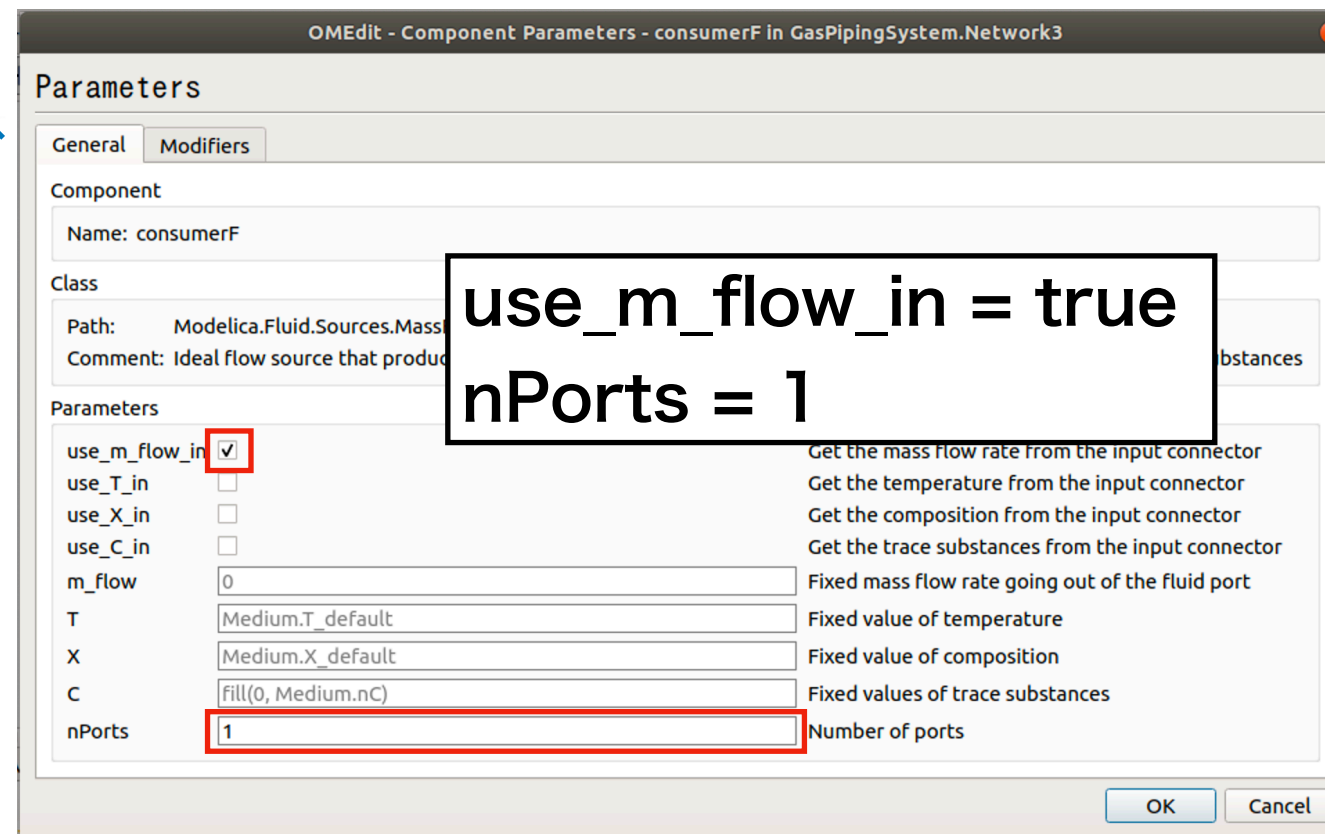
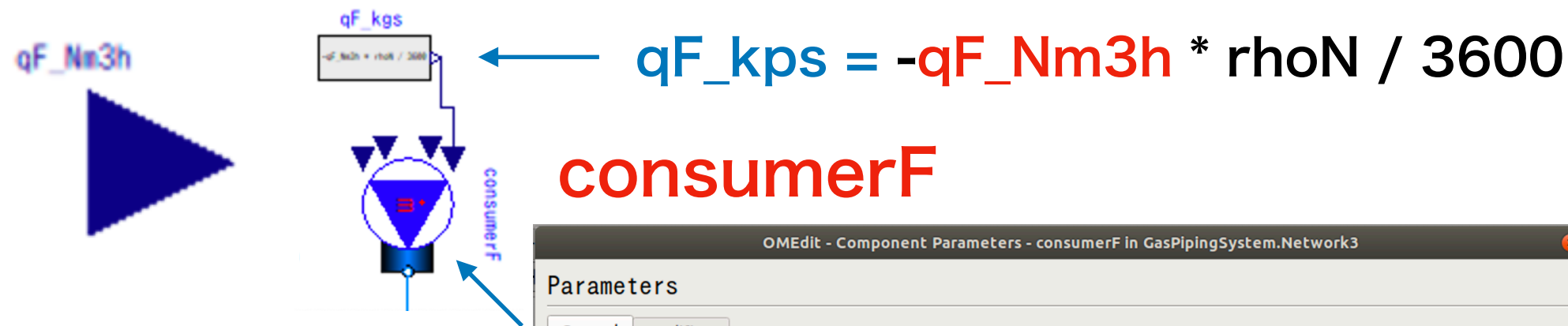
# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル

コンポーネントを  
コピーして作成する。

21

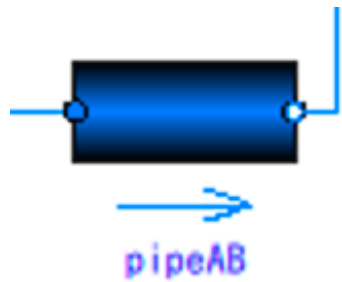


コンポーネントの Duplicate と Attribute で  
赤い点線部分のコンポーネントを作成する。



## ソースコードの編集

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



# pipeAB

OMEdit - Component Parameters - pipeAB in GasPipingSystem.Network3

Parameters

General Assumptions Initialization Modifiers

Component

Name: pipeAB

Class

Path: Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe  
Comment: Basic pipe flow model without storage of mass or energy

Parameters

isCircular ☐ = true if cross sectional area is circular

Geometry

nParallel	1	Number of identical parallel pipes
length	300	m Length
diameter	0.15	m Diameter of circular pipe
crossArea	Modelica.Constants.pi * diameter * diameter / 4	m2 Inner cross section area
perimeter	Modelica.Constants.pi * diameter	m Inner perimeter
roughness	2.5e-5	m Average height of surface asperities (default: smooth steel pipe)

Static head

height\_ab 0 m Height(port\_b) - Height(port\_a)

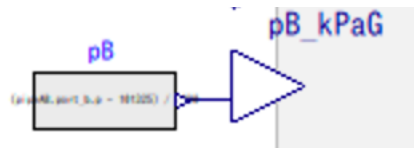
OK Cancel

length = 300  
diameter = 0.15

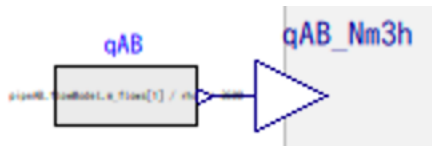
## ソースコードの編集

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

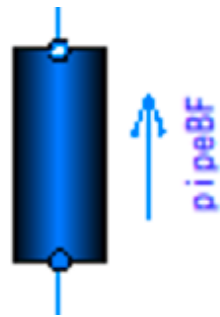
## 圧力と流量の抽出



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



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



pipeBF

OMEdit - Component Parameters - pipeBF in GasPipingSystem.Network3

Parameters

General Assumptions Initialization Modifiers

Component  
Name: pipeBF

Class  
Path: Modelica.Fluid.Pipes.StaticPipe  
Comment: Basic pipe flow model without storage of mass or

Parameters  
isCircular ☒ = true if cross sectional area is circular

Geometry

nParallel	10	Number of identical parallel pipes
length	10	m Length
diameter	0.0216	m Diameter of circular pipe
crossArea	$\text{Modelica.Constants.pi} * \text{diameter} * \text{diameter} / 4$	m2 Inner cross section area
perimeter	$\text{Modelica.Constants.pi} * \text{diameter}$	m Inner perimeter
roughness	2.5e-5	m Average height of surface asperities (default: smooth steel pipe)

Static head  
height\_ab 0 m Height(port\_b) - Height(port\_a)

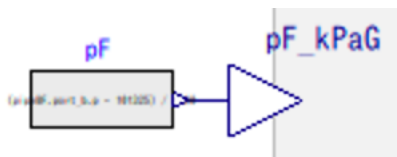
OK Cancel

nParallel = 10  
length = 10  
diameter = 0.0216

## ソースコードの編集

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

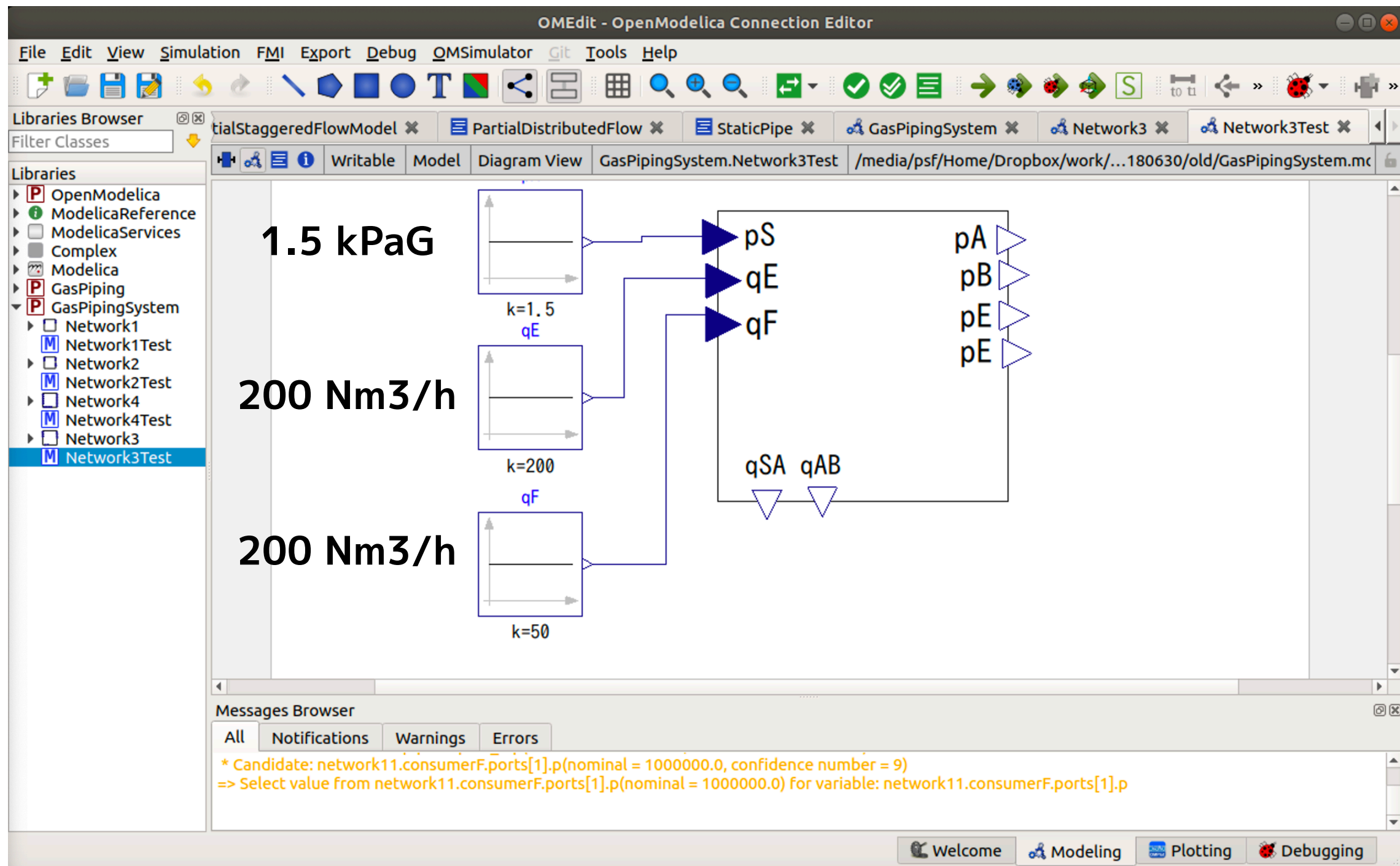
## 圧力の抽出



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

# Network3 S-(A-E)-(B-F) のモデル テスト用モデル

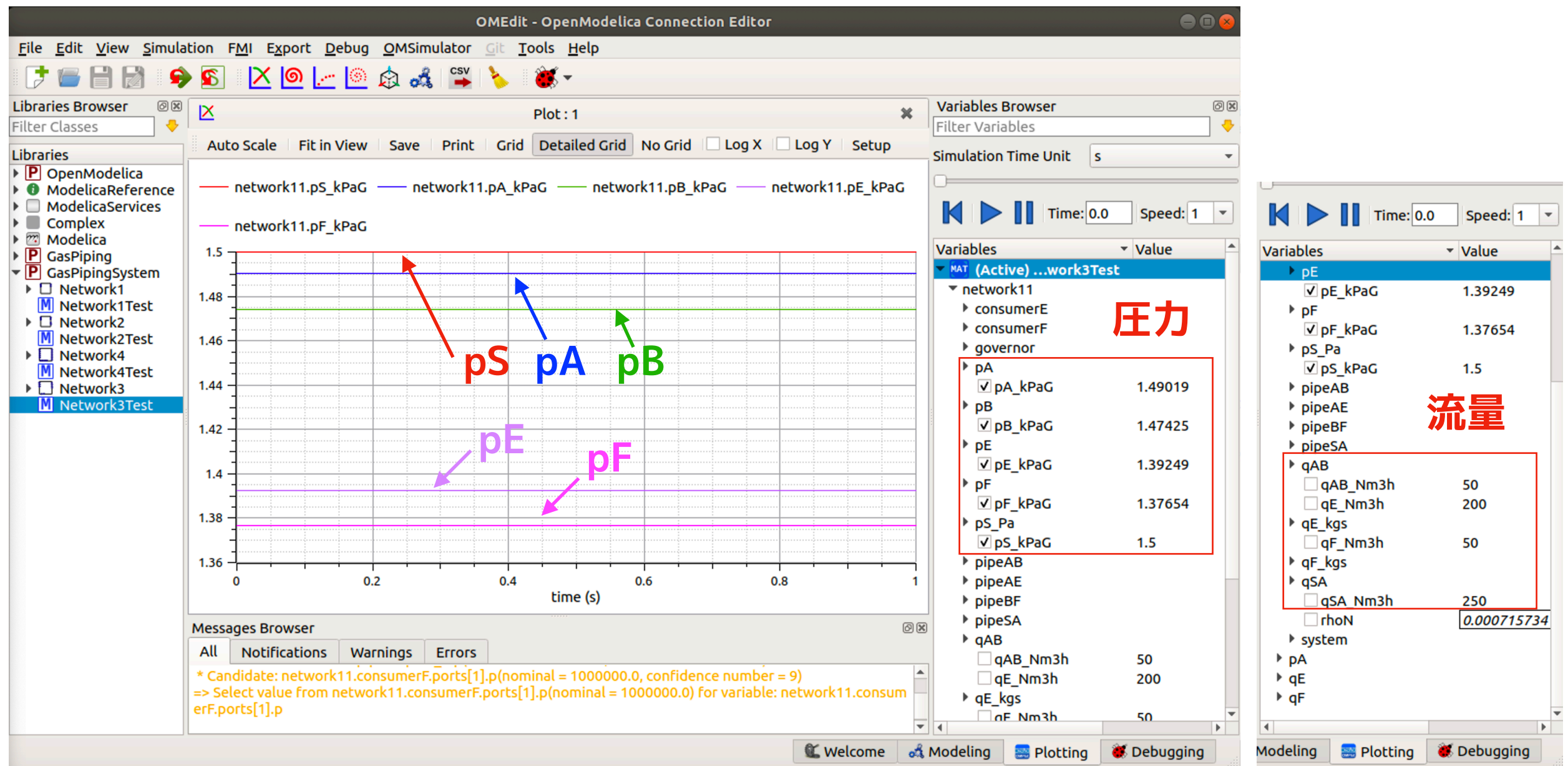
25



Network3Test

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

26



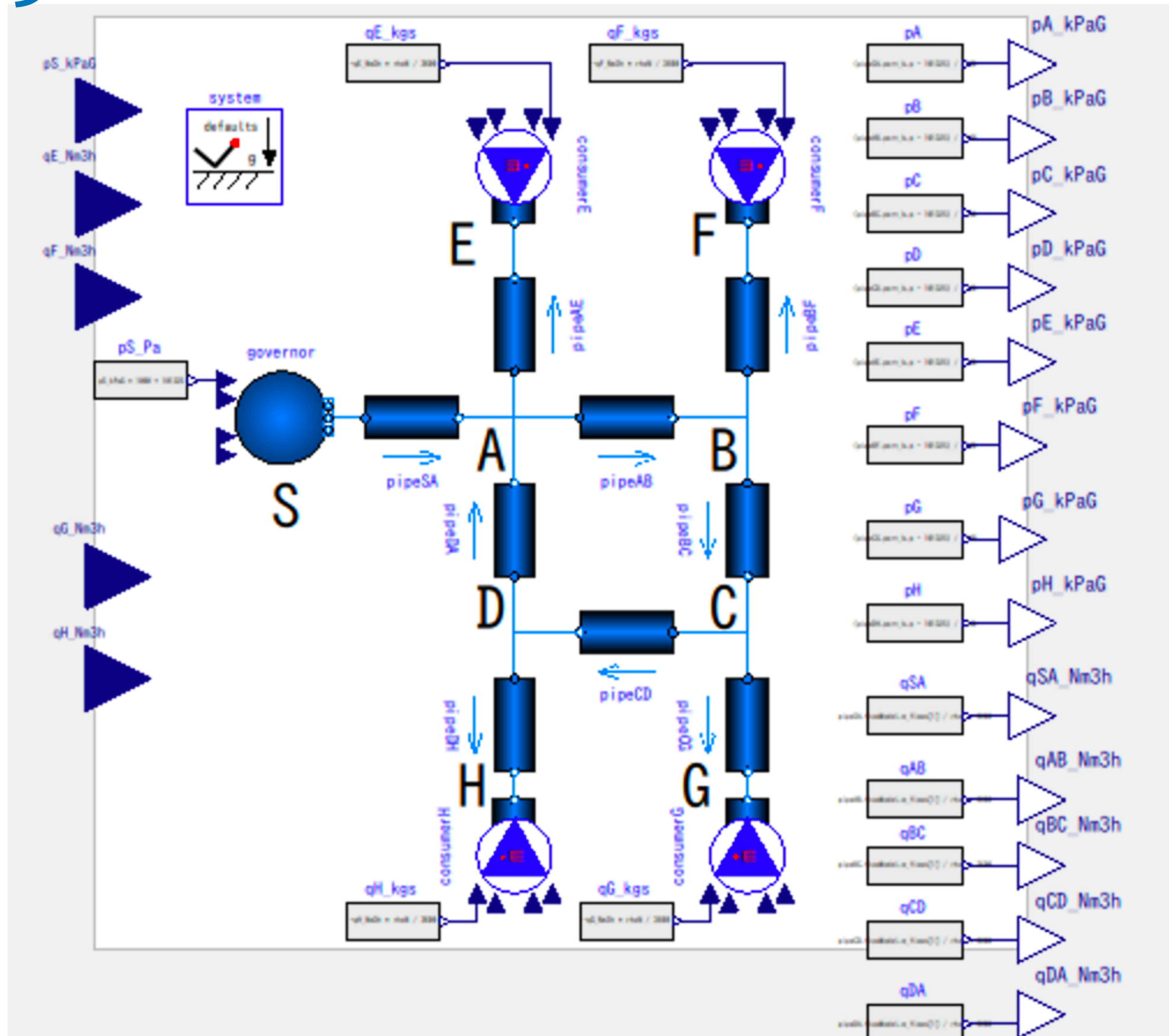
## Network3Test



# Network4 全体モデル コネクタ

Network3 をコピーして  
実習してください！！

27



pS\_kPaG

qE\_Nm3h

qF\_Nm3h

pA\_kPaG

pB\_kPaG

pC\_kPaG

pD\_kPaG

pE\_kPaG

pF\_kPaG

pG\_kPaG

pH\_kPaG

qSA\_Nm3h

qAB\_Nm3h

qBC\_Nm3h

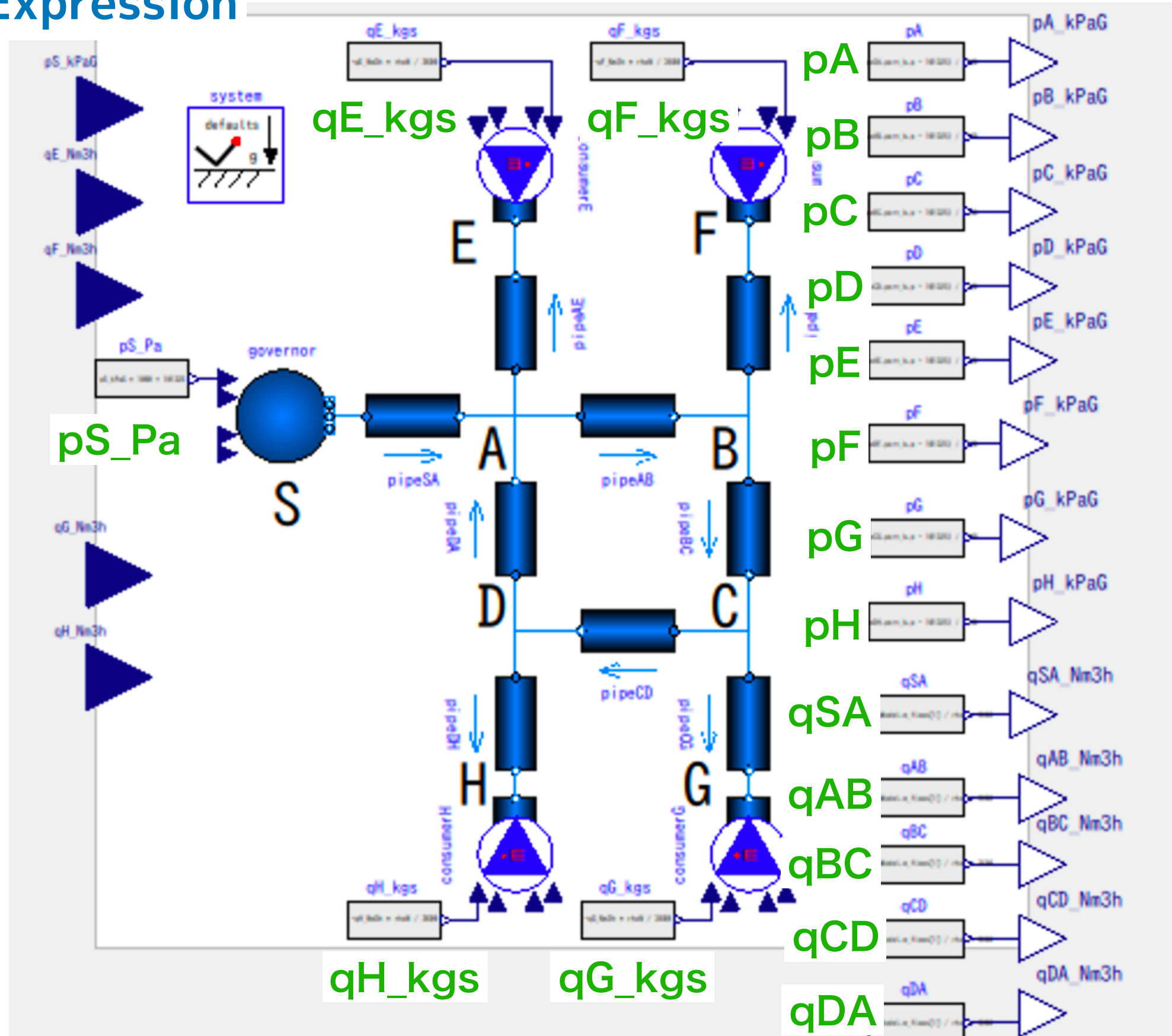
qCD\_Nm3h

qDA\_Nm3h

qG\_Nm3h

qH\_Nm3h

# Real.Expression





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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

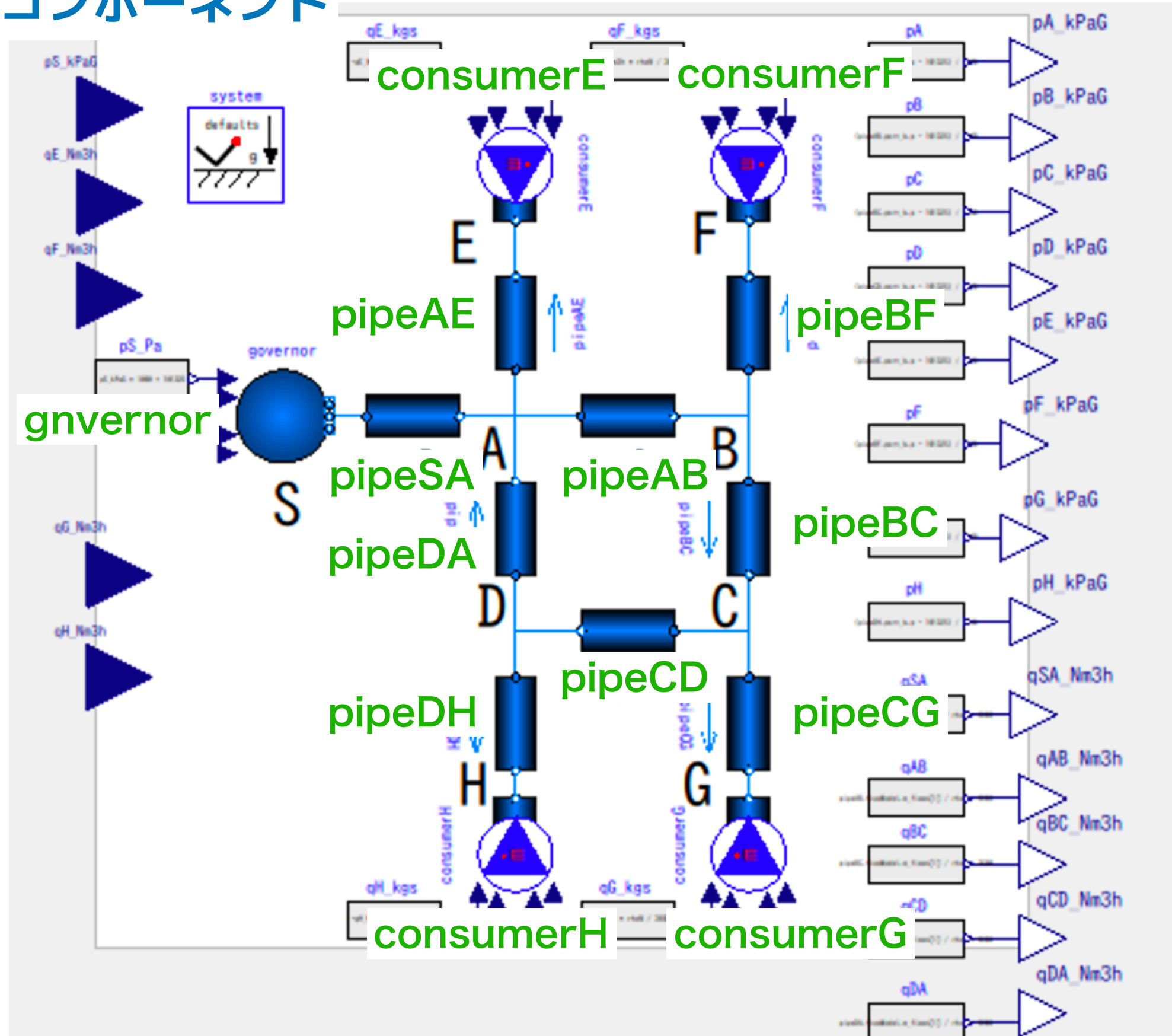
$$qAB\_Nm3h = pipeAB.flowModel.m\_flows[1] / rhoN * 3600$$

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

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

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

# 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

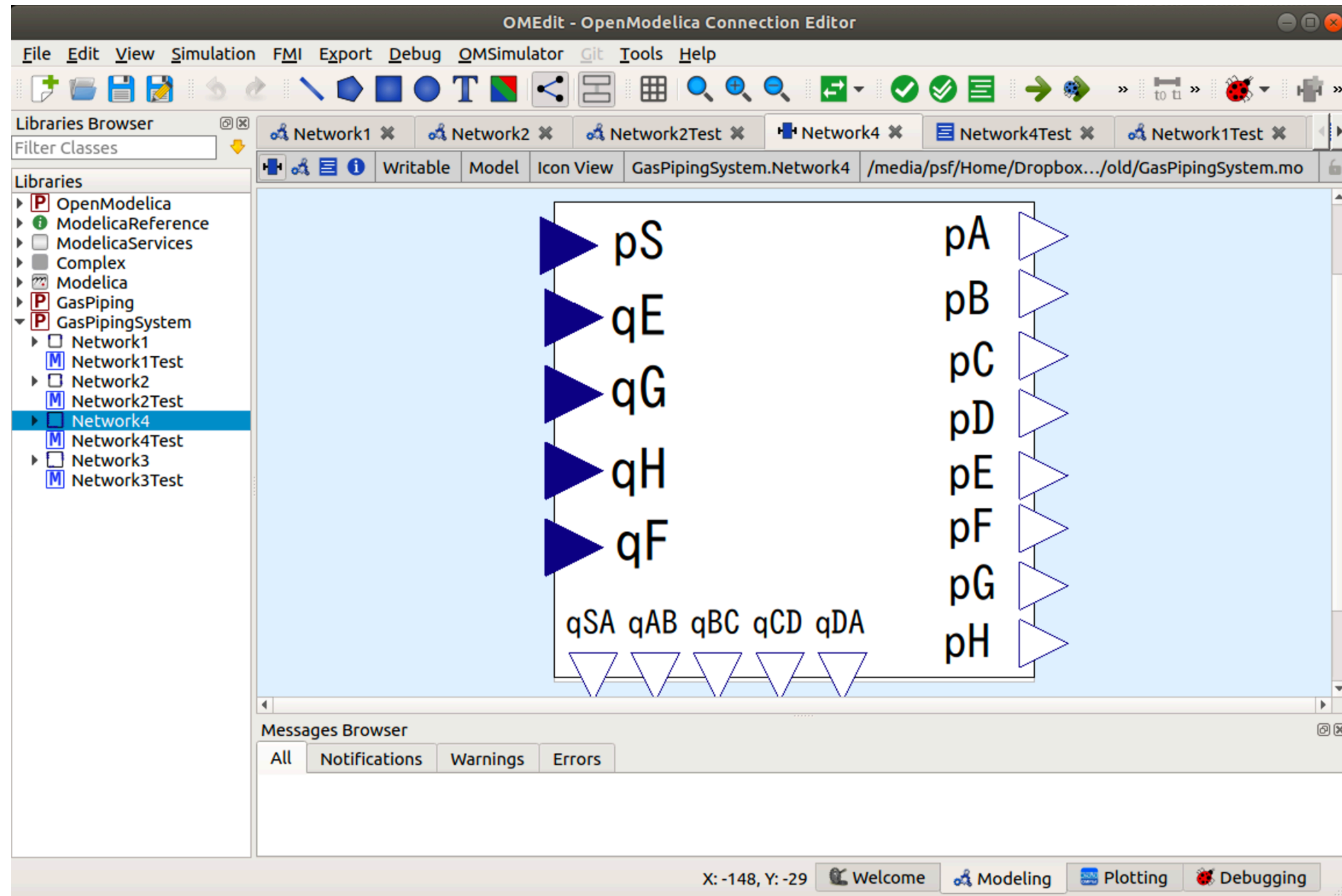
nParallel = 30  
length = 10 [m]  
diameter = 0.0216 [m]

## pipeCG

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

# Network4 全体モデル アイコン

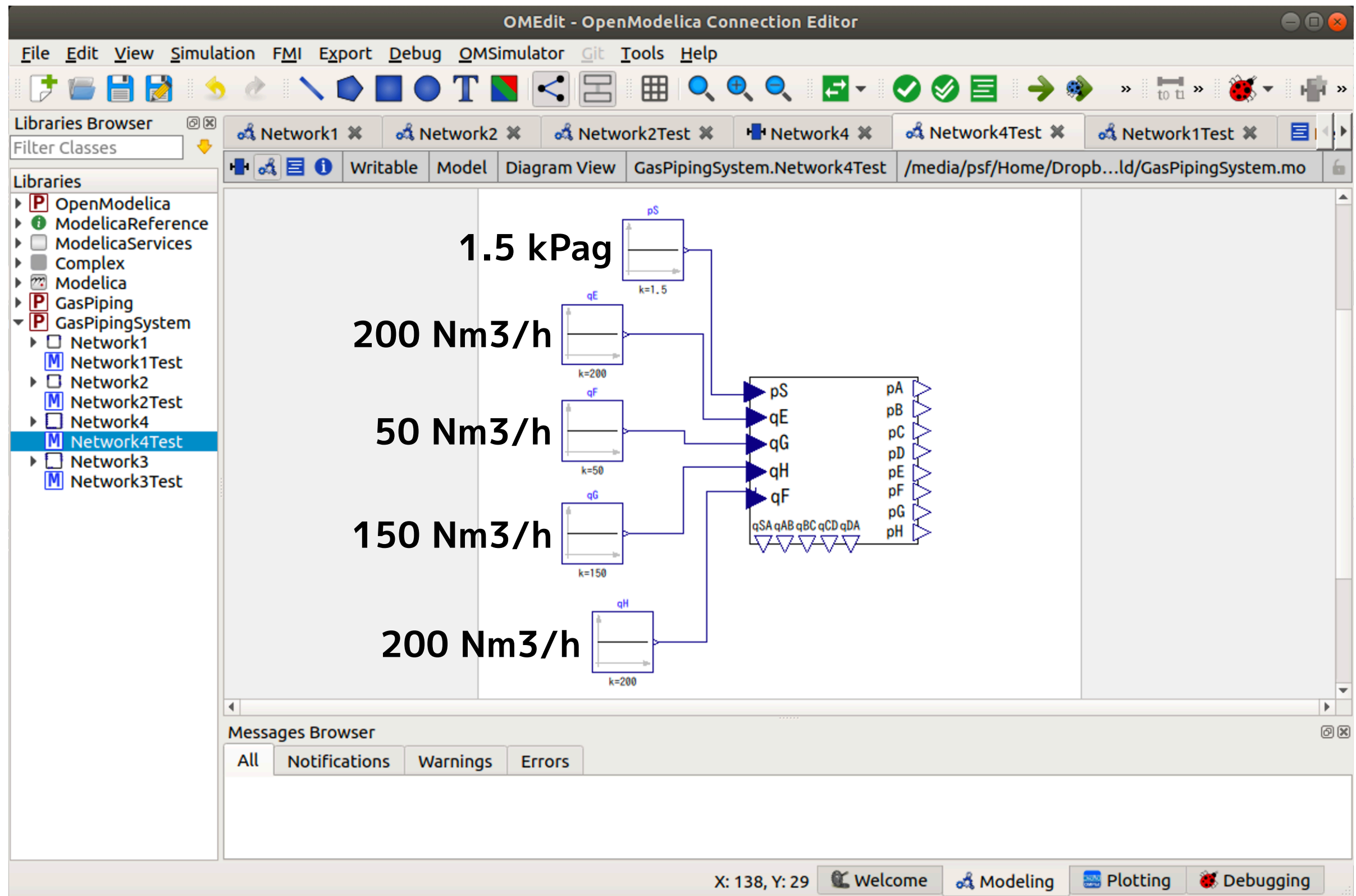
32



# Network4 全体モデル

## テスト用モデル

33



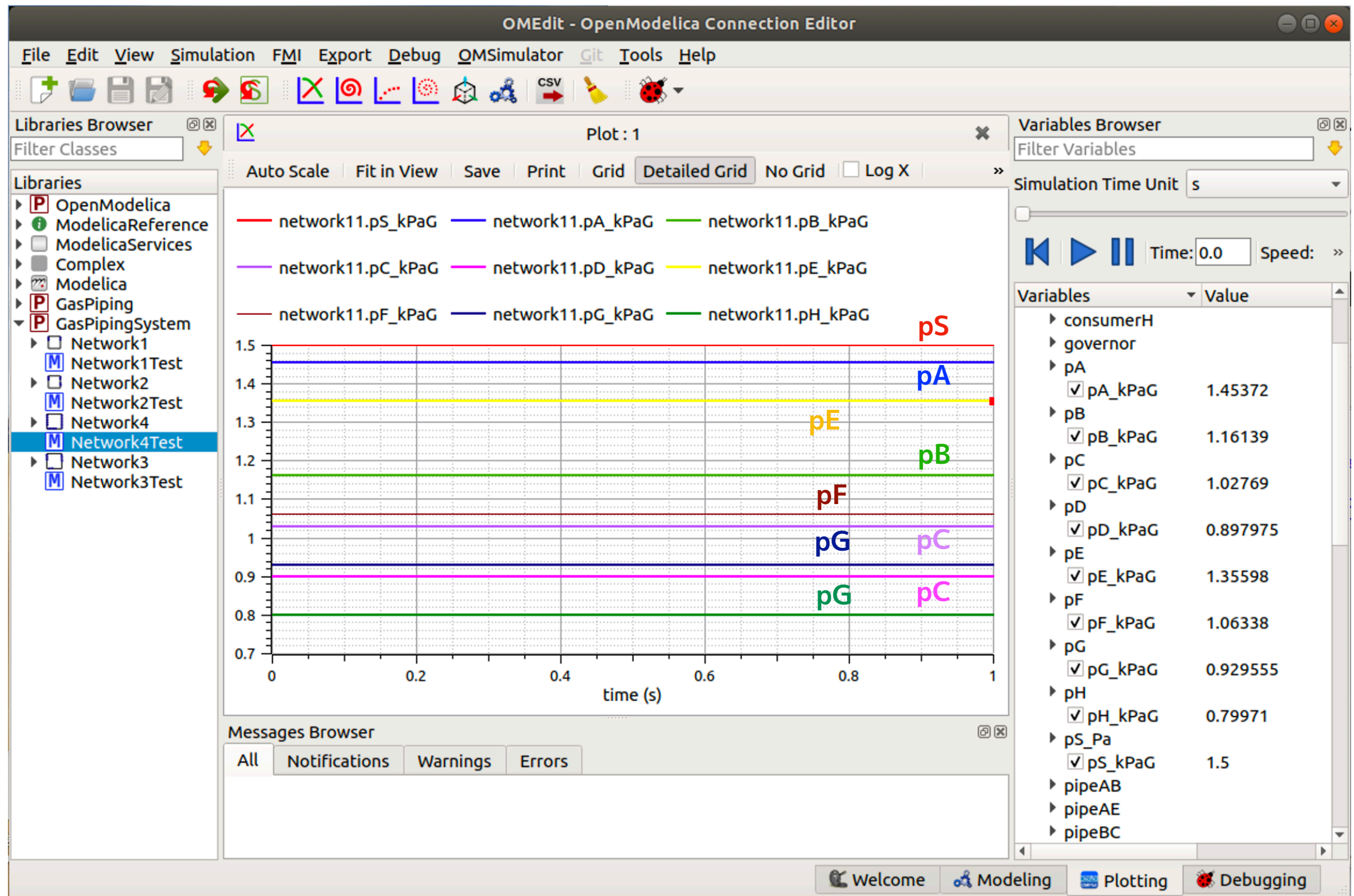
Netork4Test



# Network4 全体モデル

## シミュレーション結果

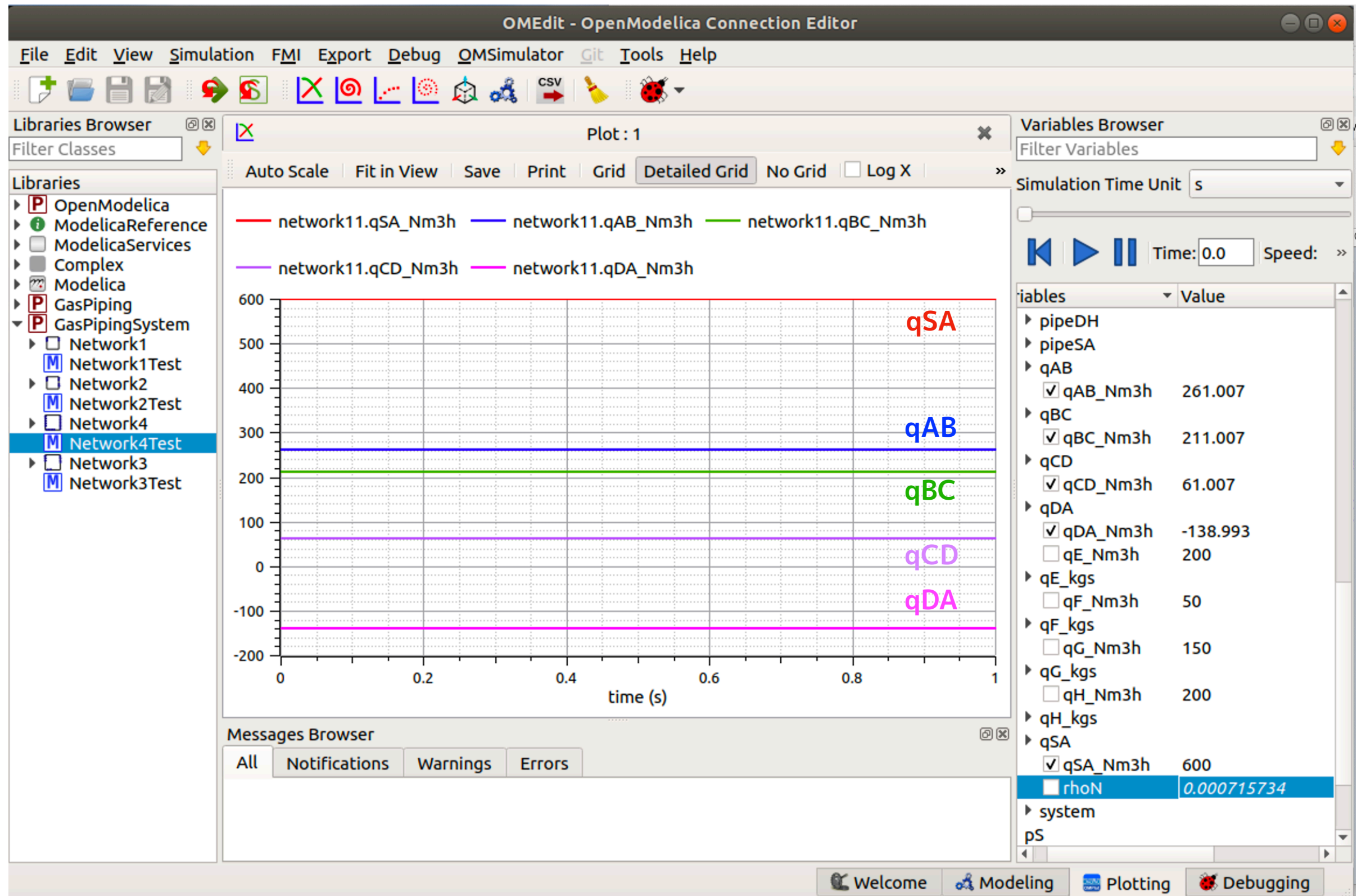
34



# Network4 全体モデル

## シミュレーション結果

35



## 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



# 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。

**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>**