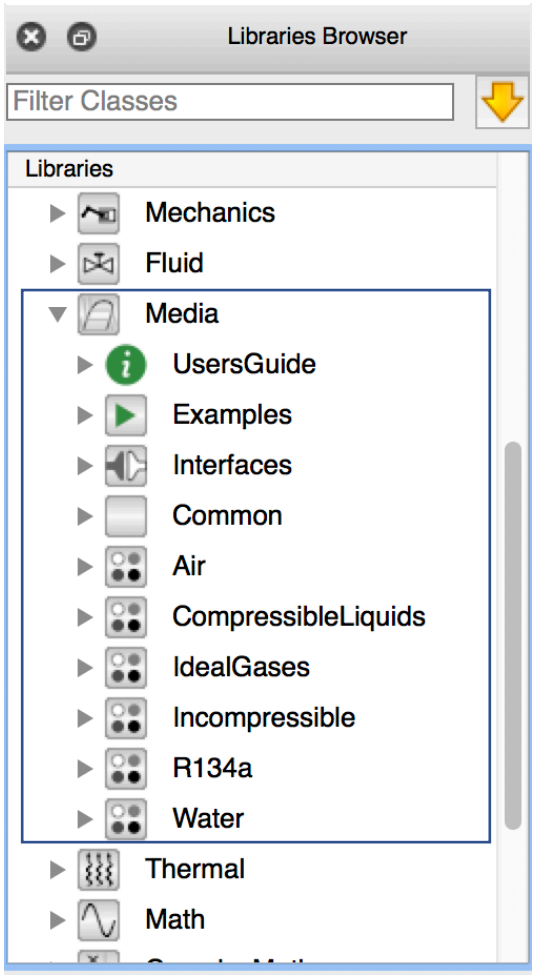
OpenModelica講習中級 Modelica.Fluidライブラリ解説

2. Modelica.Mediaライブラリ

2017年12月7日　田中 周(有限会社アマネ流研)

2. Modelica.Mediaライブラリ



Modelica.Media ライブラリ
物性に関する type, 定数、model、record、function を含む package を集めたものである。

- Air：数種類の空気
- Water: 数種類の水
- IdealGases: 理想気体
  - SingleGases: 純物質 Ar, C2H4, CO2, …
  - MixtureGases: 混合物質 天然ガスなど
- R134a: 冷媒などの２相流体
- Incompressible: 非圧縮性流体　潤滑油など
- CompressibleLiquids: 密度が温度・圧力と線形

…

Contents

Modelica.Media の全体的構成や構成要素について示す。

Modelica.Media ライブラリの構成

MediaExample1 水を温めて水蒸気にする（等圧過程）

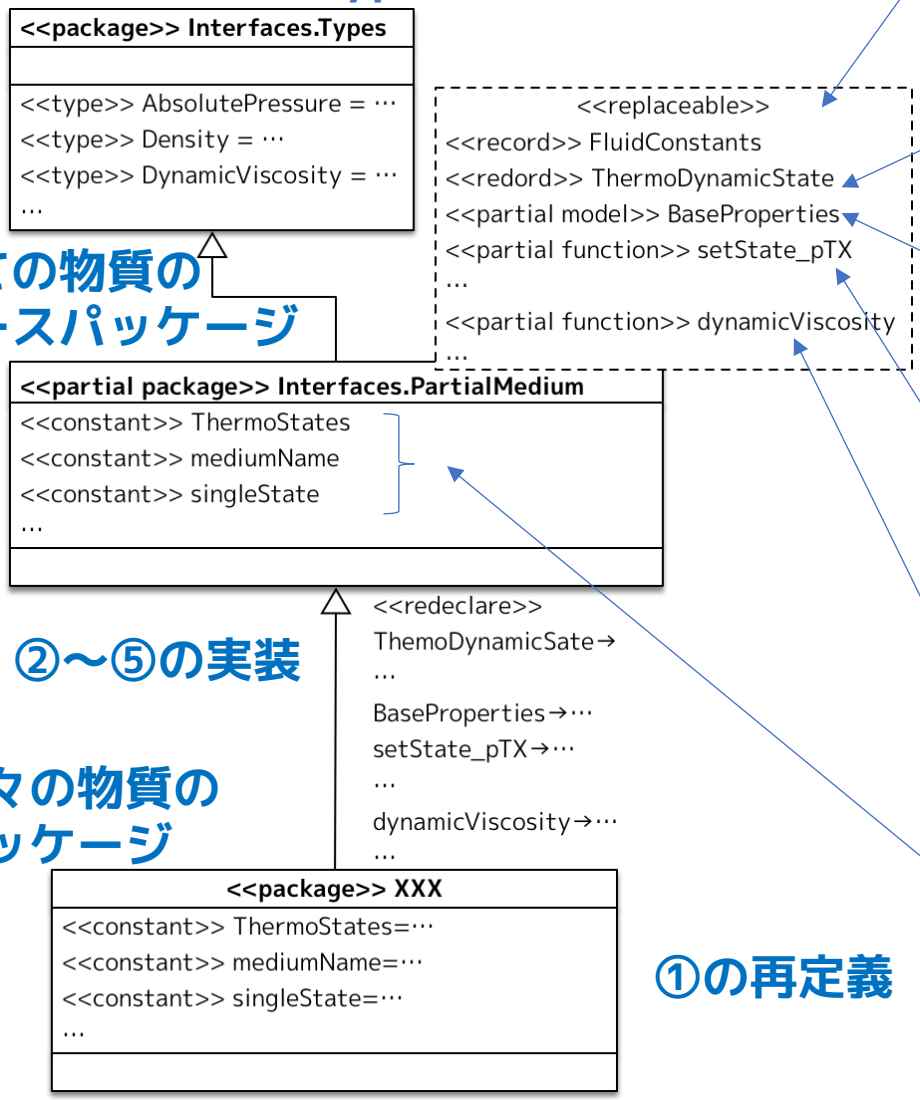
MediaExample2 水を断熱圧縮する。水蒸気を断熱膨張させる。
（等エントロピ過程）

Modelica.Media ライブラリの全体構成(継承関係)

Modelica.Media の基本構成

交換可能な record, model, partial function, …

物性値の型を表す type の宣言



物性パッケージの主な構成要素

②ThermodynamicState
熱力学的状態を表すレコード

③BaseProperties
基本物性モデル

④setStateXXX
熱力学的状態
(ThermodynamicState)
を返す関数

⑤粘性率、熱伝導率
などの**物性関数**

①定数
物質名、成分名、参照状態
デフォルト状態などを示す定数

①定数 物質名、成分名、参照状態、デフォルト状態などを示す定数

PartialMedium の定数
個々の物質パッケージはこれらの定数をカスタマイズする

- 物質名と熱力学的変数特性
- 成分物質の情報
- 微小物質など付加的物質の情報
- reference state
- default state

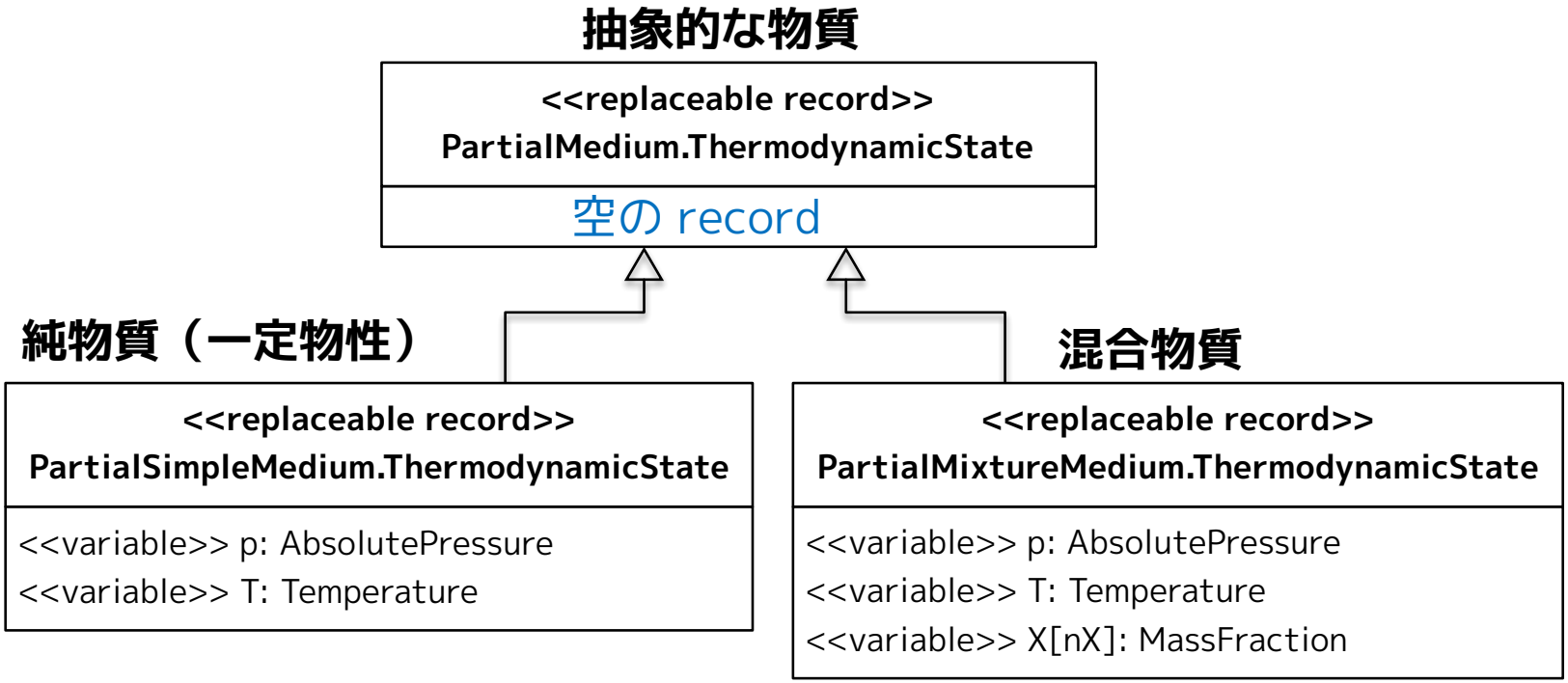
定数名	型	デフォルト値	
mediumName	String	”unusablePartialMedium”	物質名
ThermoStates	IndependentVariables		T, pT, ph, phX, pTX, dTXのいずれか
singleState	Boolean		trueなら物性値が圧力に依存しない
substanceNames[:]	String	{mediumName}	成分名の配列
reducedX	Boolean	true	trueなら質量分率の和が1
fixedX	Boolean	false	trueならX=reference_X
nS	Integer	size(substanceNames, 1)	混合物の成分数
nX	Integer	nS	質量分率の要素数
nXi	Integer	if fixedX then 0 else if reducedX nS -1 else nS	独立な質量分率の要素数
extraPropertiesNames[:]	String	fill(””,0)	付加的物質名(微小物質)
nC	Integer	size(extraPropertiesNames, 1)	付加的物質の成分数
C_nominal[nC]	Real	1.0e-6*ones(nC)	付加的物質の濃度
reference_p	AbsolutePressure	101325 [Pa]	圧力の参照値（基準値）
reference_T	Temperature	298.15 [K]	温度の参照値（基準値）
reference_X[nX]	MassFraction	fill(1/nX, nX)	質量分率の参照値
p_defalut	AbsolutePressure	101325 [Pa]	圧力のデフォルト値
T_default	Temperature	Conversions.from_degC(20)	温度のデフォルト値
h_default	SpecificEnthalpy	specifixEnthalpy_pTX(p_default, T_default, X_default)	比エンタルピのデフォルト値
X_default[nX]	MassFraction	reference_X	質量分率のデフォルト値

② ThermodynamicState

物質の熱力学的状態を決定するのに必要な変数の組を表す record

物質の熱力学的状態は、
２つの熱力学的状態変数と成分物質の質量分率で決定できる。

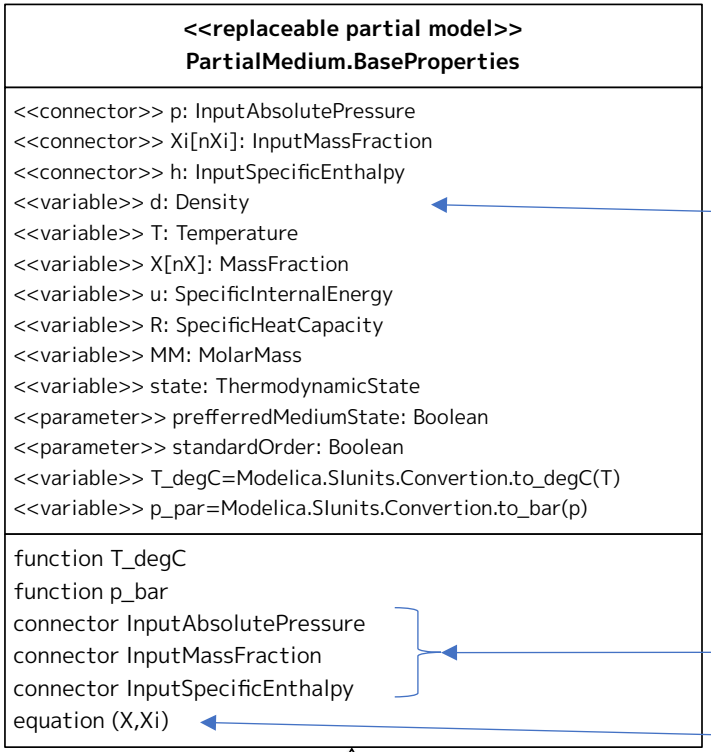
- 圧力p、温度T、密度d、比エンタルピh 、内部エネルギーuのうち２つ
- 混合物質の成分の質量分率ベクトルX[nX]



物質の種類や使いやすさによりT, pT, ph, phX, pTX, dTXなどを選ぶ。

③ BaseProperties

熱力学的状態変数、ガス定数、モル質量などの関係を表す model



p:圧力
d:密度
T:温度
h:比エンタルピ
u:内部エネルギー
R:ガス定数
MM:モル質量
X[nX]: 成分の質量分率
Xi[nXi]:独立な成分の質量分率
state: ThermodynamicState

p, h, X が内部的には入力コネクタになっている

XとXiの方程式が記述されている。

継承先のクラスで
7個の変数 p, d, T, h, u, R, MM に関する
7個の方程式が追加されている。
方程式の内容は物質の種類によって異なる。

④ setState_XXX と setSmoothState

異なる熱力学的状態変数の組み合わせから **ThermodynamicState** を返す関数

継承先のパッケージで algorithm を定義する。

- **setState_pTX(p, T, X)**
- **setState_phX(p, h, X)**
- **setState_psX(p, s, X)**
- **setState_dTX(d, T, X)**

p: 圧力
T: 温度
h: 比エンタルピ
s: 比エントロピ
d: 密度
X[nX]: 質量分率

setSmoothState(x, state_a, state_b, x_small)

2つの状態 state_a と state_b を x±x_small の範囲で滑らかにつなぐ関数。 x は 質量流量か圧力である。

⑤ 物性関数(その1)

record ThermodynamicState を引数として、物性値を返す関数

- *dynamicViscosity(state)*
- *thermalConductivity(state)*
- prandtlNumber(state)
- *pressure(state)*
- *temperature(state)*
- *density(state)*
- *specificEntalpy(state)*
- *specificInternalEnergy(state)*
- *specificEntropy(state)*
- *specificGibbsEnergy(state)*
- *specificHelmholtzEnergy(state)*
- *specificHeatCapacityCp(state)*
- heatCapacity_cp(state)
- *specificHeatCapacityCv(state)*
- heatCapacity_cv(state)
- *isentropicExponent(state)*
- *isentropicEnthalpy(p_sownstream, refState)*
- *velocityOfSount(state)*
- *isobaricExpansionCoefficinet(state)*
- beta(state)
- *isothermalCompressibility(state)*
- kappa(state)
- *molarMass(state)*

⑤ 物性関数(その2)

密度の偏微分を返す関数

- *density_derp_h(state)*
- *density_derh_p(state)*
- *density derp_T(state)*
- *density_derT_p(state)*
- *density_derX(state*)

状態変数から他の状態変数を返す関数

- specificEnthalpy_pTX(p,T,X)
- specificEntropy_pTX(p,T,X)
- density_pTX(p,T,X)
- temperature_phX(p,h,X)
- density_phX(p,h,X)
- temperature_psX(p,s,X)
- density_psX(p,s,X)
- specificEnthalpy_psX(p,s,X)

- 斜線は、PartialMedium では algorithm が定義されていない partial function である。
- これらの物性関数は、オプション的な扱いであり、物質によっては実装不可能なものもある。全てが実装されていなければならないわけではない。

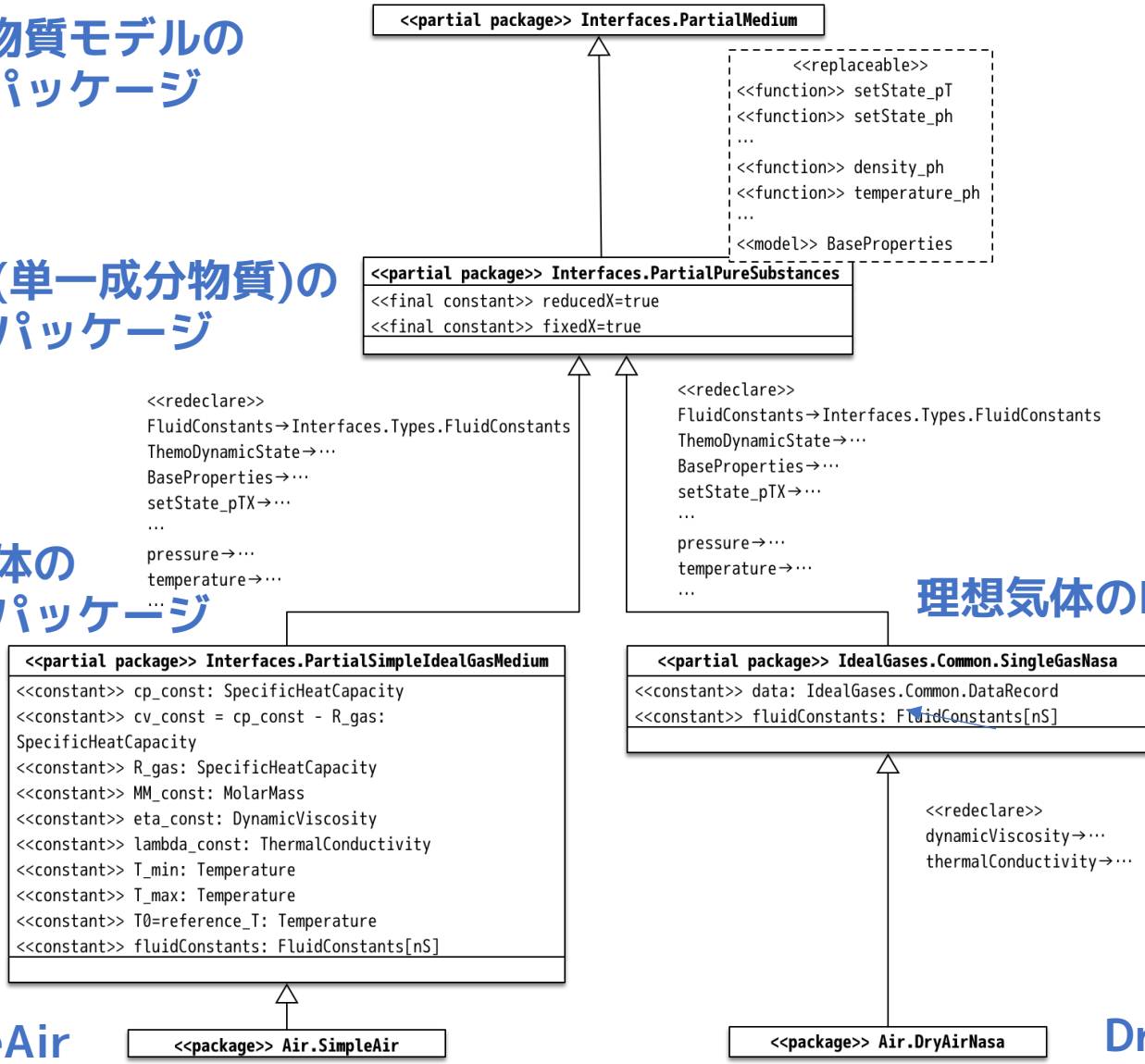
SimpleAir, DryAirNasa の継承関係

全ての物質モデルの
ベースパッケージ

純物質(単一成分物質)の
ベースパッケージ

理想気体の
ベースパッケージ

理想気体のNASAモデル



SimpleAir

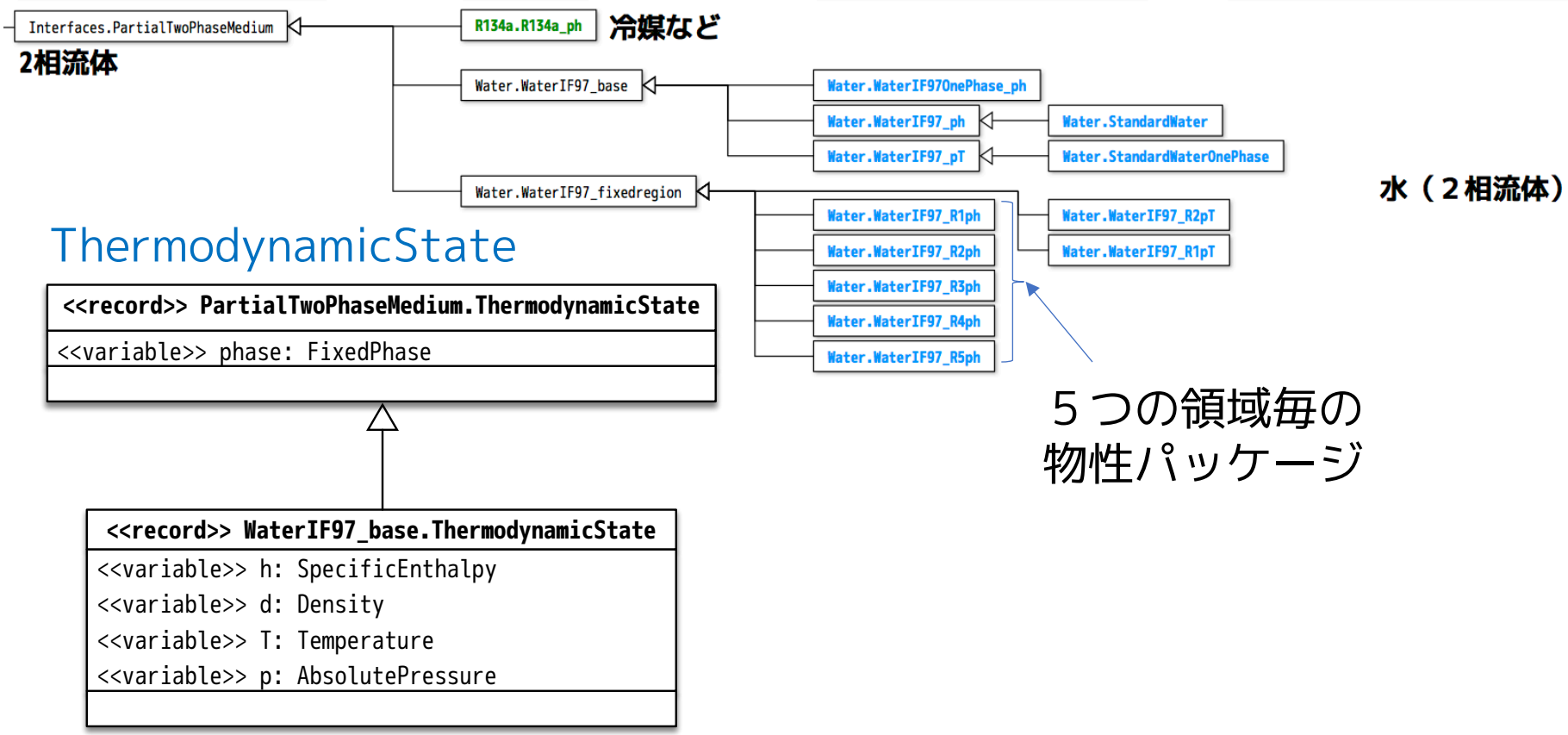
DryAirNasa

水（2相流体)のモデル

実用国際蒸気状態式(IAPWS-IF97)

The International Association for the Properties of Water and Steam　http://www.iapws.org/relguide/IF97-Rev.pdf

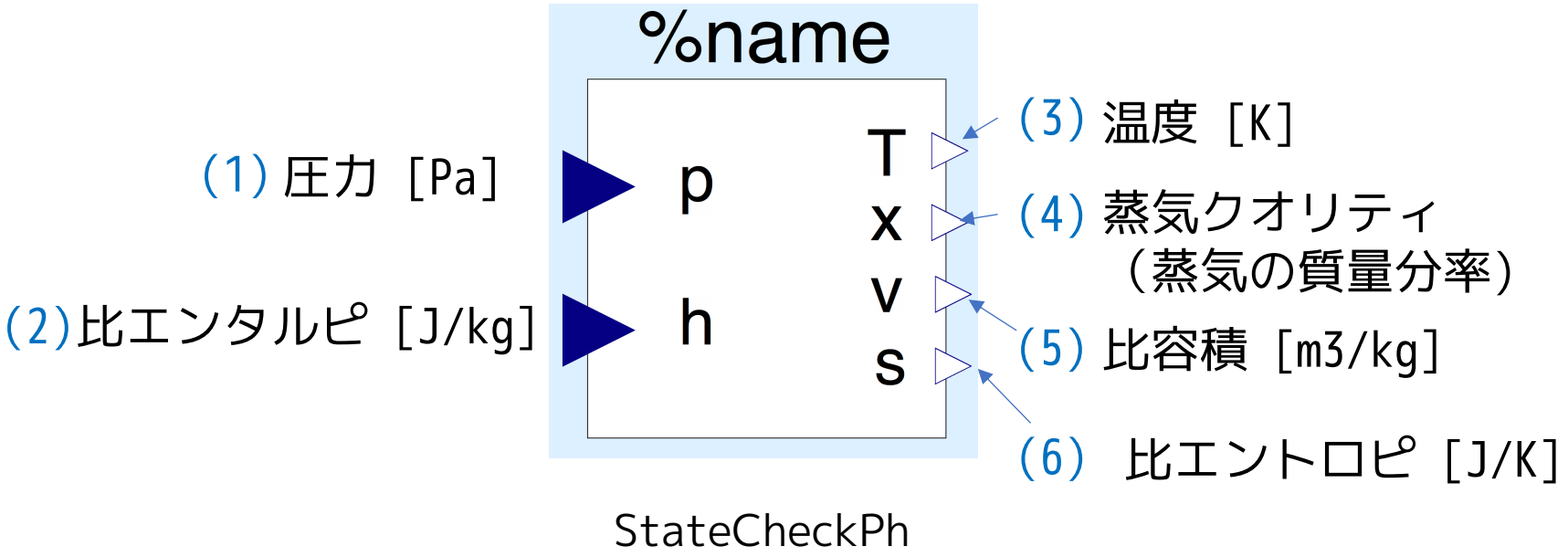
水の状態を５つの領域に分けて記述するモデル



MediaExample1

水を温めて水蒸気にする (等圧過程)

まず、圧力と比エンタルピを入力すると、温度、蒸気クオリティ、比容積、比エントロピを出力するモデルを作成する。



MediaExample1

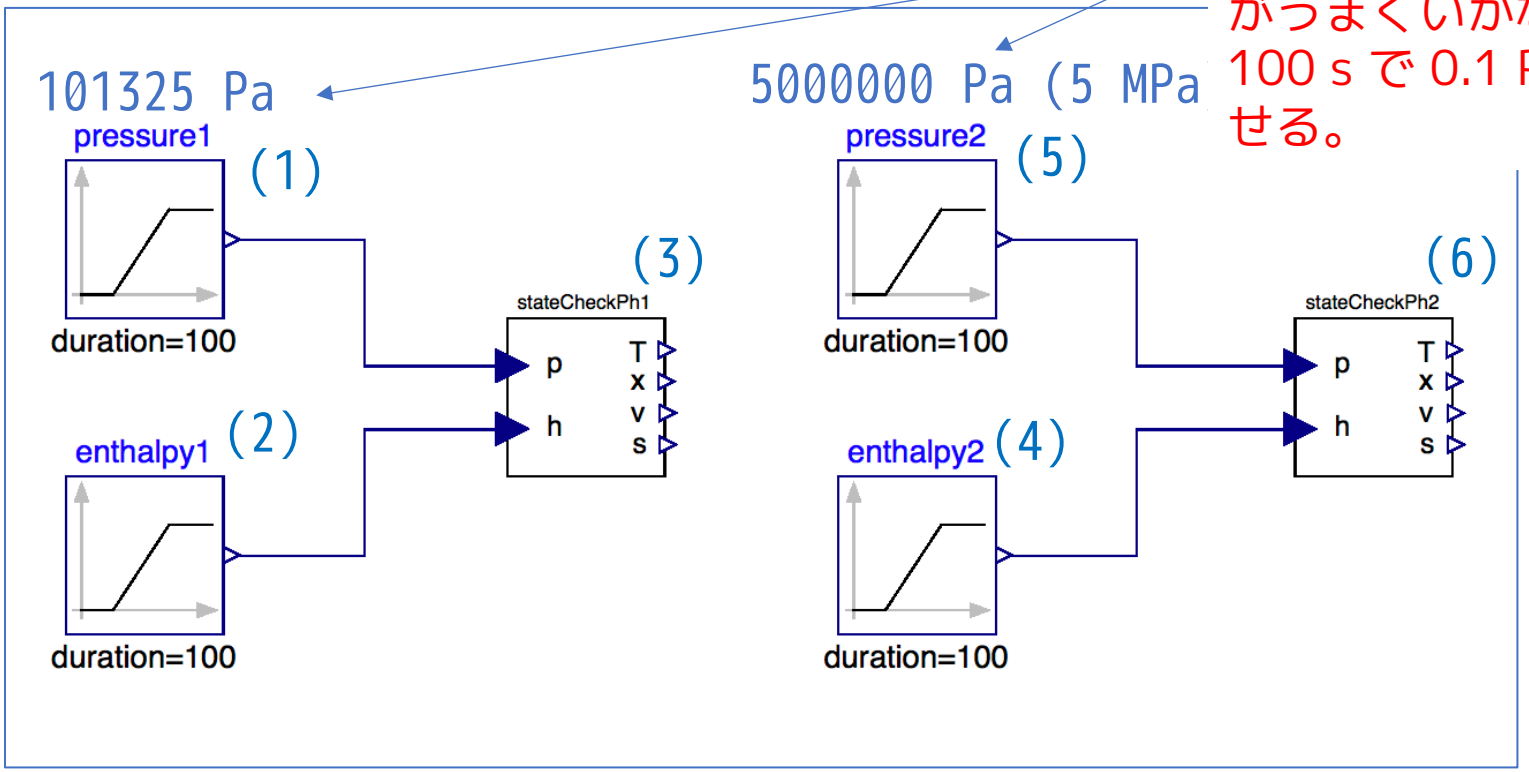
StateCheckPh

```
package MediaExample1

  model StateCheckPh
    replaceable package Medium = Modelica.Media.Water.StandardWater;
    Medium.ThermodynamicState state;
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput p annotation( ...);    (1)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput h annotation( ...);      (2)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput T annotation( ...);     (3)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput x annotation( ...);     (4)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput v annotation( ...);     (5)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput s annotation( ...);     (6)
 equation
    state = Medium.setState_ph(p,h);
    T = state.T;
    x = Medium.vapourQuality(state);
    v = 1/state.d;
    s = Medium.specificEntropy(state);
  annotation( ...);
end StateCheckPh;
```

MediaExample1

これを使って圧力を固定して比エンタルピを上げるモデルを作る
比エンタルピを100 s で 20000 J/kg から 3800000 J/kg まで変化させる。

本当は固定値だが結果のパラメトリックプロットがうまくいかないので 100 s で 0.1 Pa 変化させる。



StateCheckTest1

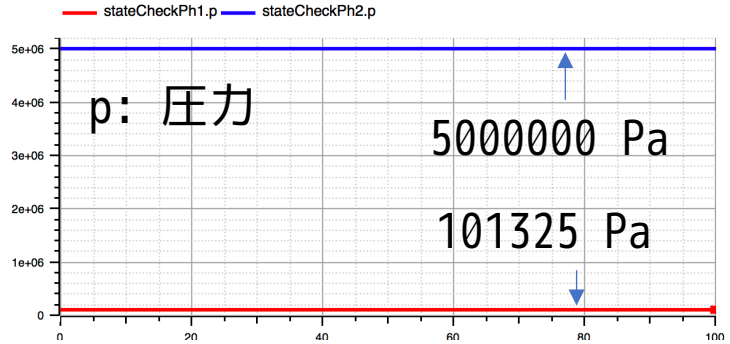
MediaExample1

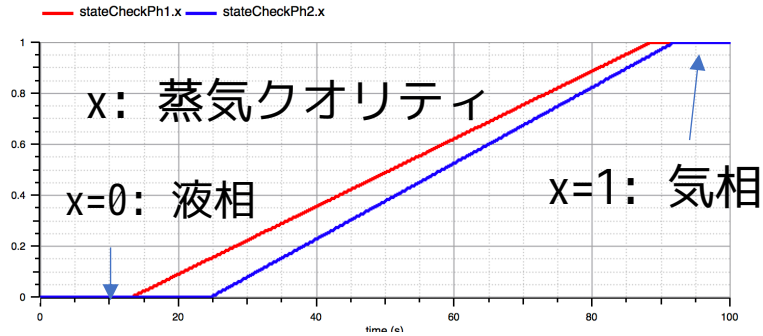
StateCheckTest1

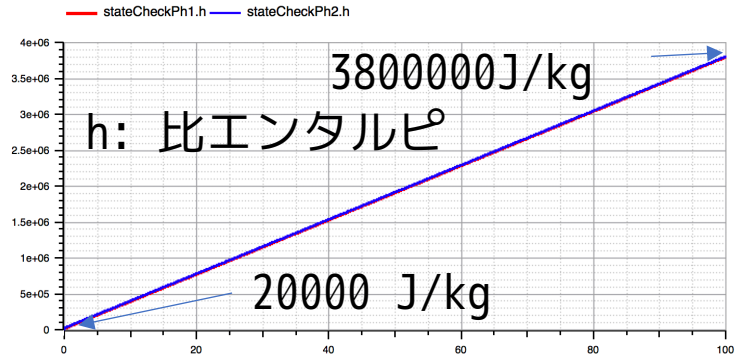
```
model StateCheckTest1
  replaceable package Medium = Modelica.Media.Water.StandardWater;
  Modelica.Blocks.Sources.Ramp pressure1(duration = 100, height = 0.1, offset = 101325,     (1)
   startTime = 0) annotation( ...);
  Modelica.Blocks.Sources.Ramp enthalpy1(duration = 100, height = 3780000, offset = 20000,  (2)
   startTime = 0) annotation( ...);
  MediaExample1.StateCheckPh stateCheckPh1(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...);(3)
  Modelica.Blocks.Sources.Ramp enthalpy2(duration = 100, height = 3780000, offset = 20000,  (4)
   startTime = 0) annotation( ...);
  Modelica.Blocks.Sources.Ramp pressure2(duration = 100, height = 0.1, offset = 5000000,    (5)
   startTime = 0) annotation( ...);
                                                                                            (6)
  MediaExample1.StateCheckPh stateCheckPh2(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...);
equation
  connect(enthalpy2.y, stateCheckPh2.h) annotation( ...);
  connect(pressure2.y, stateCheckPh2.p) annotation( ...);
  connect(enthalpy1.y, stateCheckPh1.h) annotation( ...);
  connect(pressure1.y, stateCheckPh1.p) annotation( ...);
end StateCheckTest1;

annotation( ...);
end MediaExample1;
```

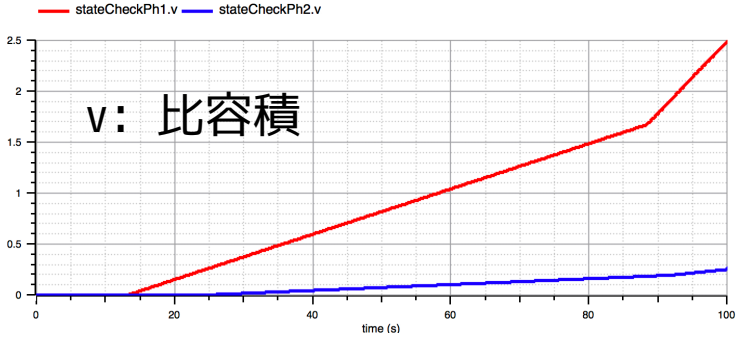
MediaExample1

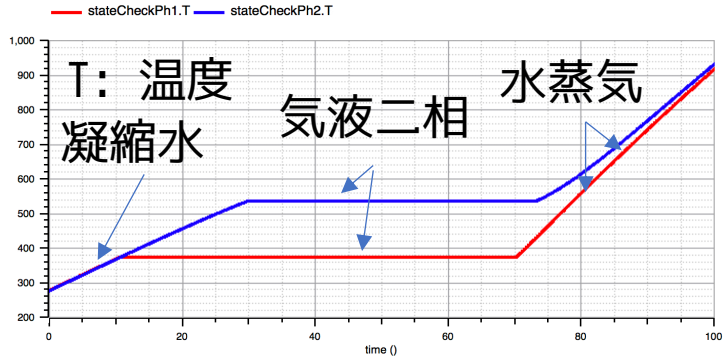
シミュレーション結果

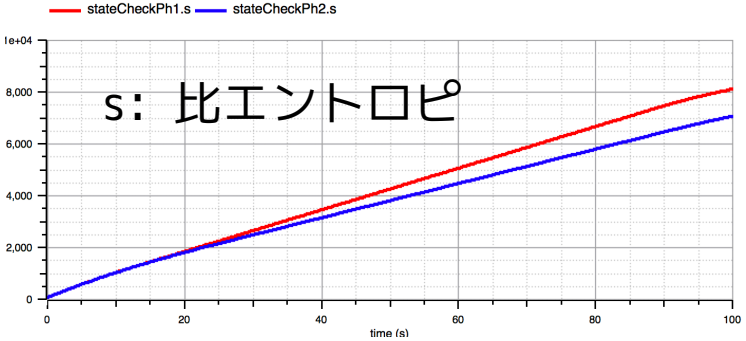








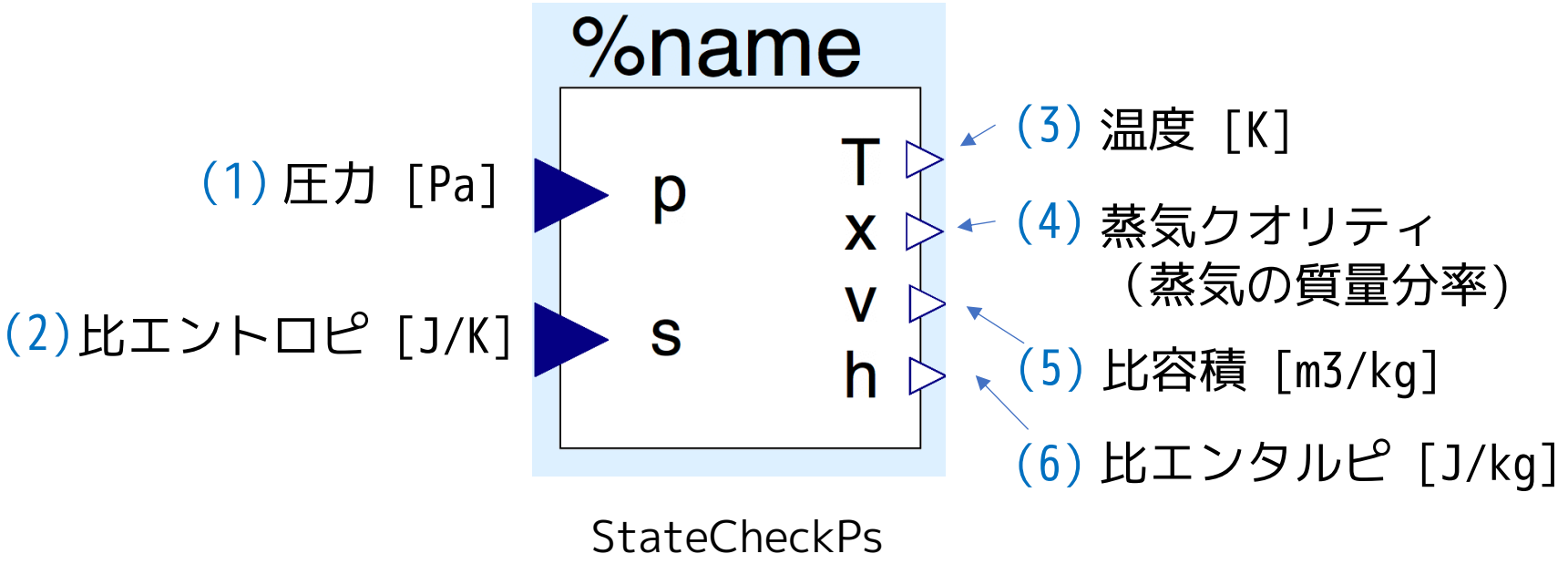




MediaExamle2

水を断熱圧縮する。水蒸気を断熱膨張させる。
(等エントロピ過程)

今度は、圧力と比エントロピを入力すると、温度、蒸気クオリティ、比容積、比エンタルピを出力するモデルを作成する。



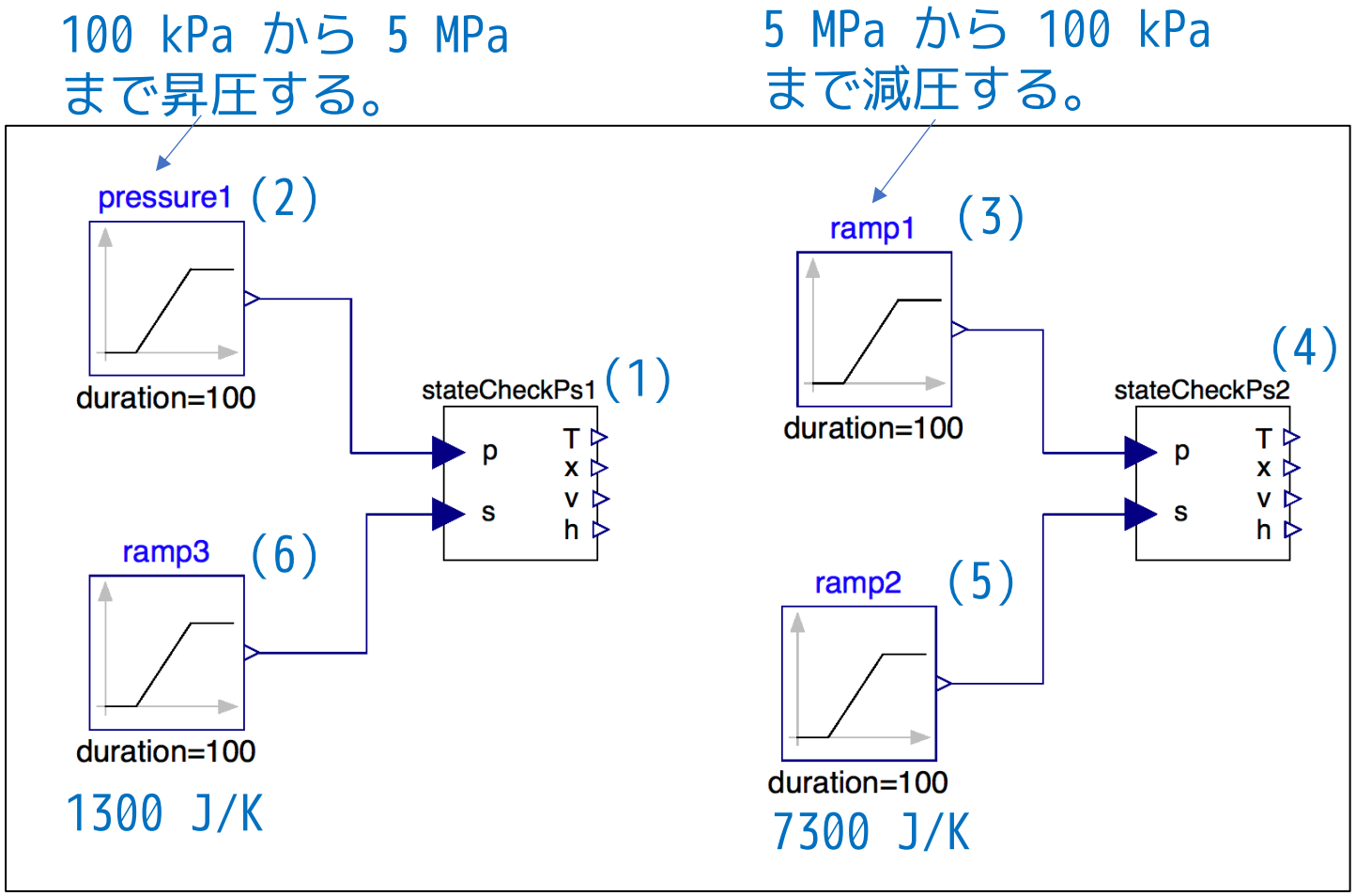
MediaExamle2

StateCheckPs

```
package MediaExample2
  model StateCheckPs
    replaceable package Medium = Modelica.Media.Water.StandardWater;
    Medium.ThermodynamicState state;
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput p annotation( ...);      (1)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput s annotation( ...);      (2)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput T annotation( ...);     (3)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput x annotation( ...);     (4)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput v annotation( ...);     (5)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput h annotation( ...);     (6)
  equation
    state = Medium.setState_ps(p, s);
    T = state.T;
    x = Medium.vapourQuality(state);
    v = 1 / state.d;
    h = state.h;
    annotation( ...);
  end StateCheckPs;
```

MediaExample2

比エントロピを固定して圧力を変化させるモデルを作る。



StateCheckTest2

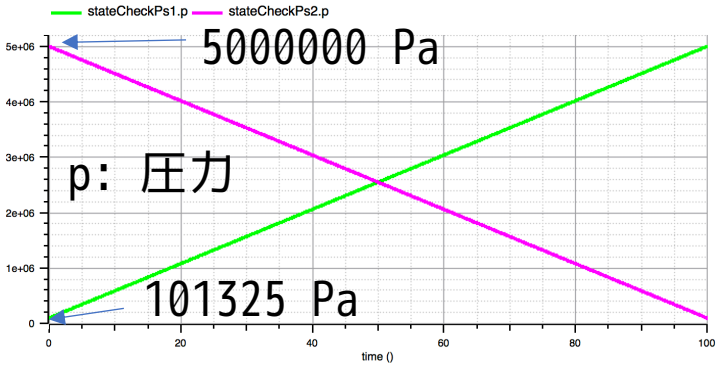
MediaExample2

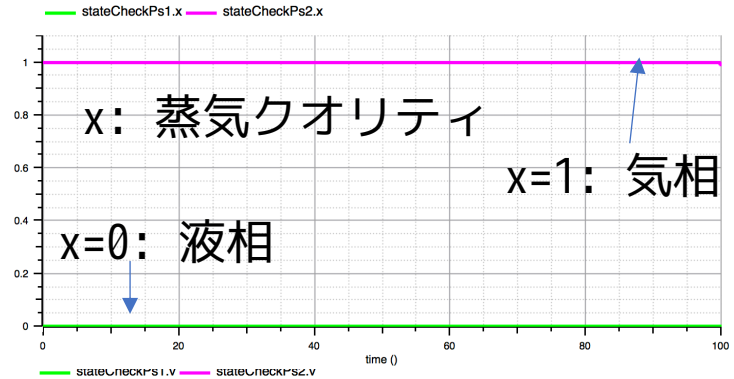
StateCheckTest2

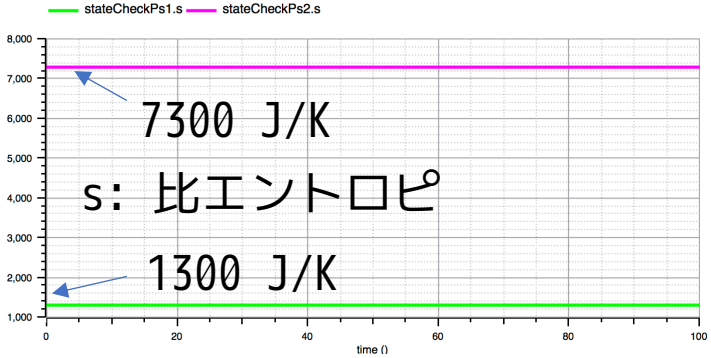
```
  model StateCheckTest2
    replaceable package Medium = Modelica.Media.Water.StandardWater;
    MediaExample2.StateCheckPs stateCheckPs1(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...); (1)
    Modelica.Blocks.Sources.Ramp pressure1(duration = 100, height = 4900000,     (2)
      offset = 100000, startTime = 0) annotation( ...);
    Modelica.Blocks.Sources.Ramp ramp1(duration = 100, height = -4900000,        (3)
      offset = 5000000, startTime = 0) annotation(
    MediaExample2.StateCheckPs stateCheckPs2(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...); (4)
    Modelica.Blocks.Sources.Ramp ramp2(duration = 100, height = 0.001, (5)
      offset = 7300, startTime = 0) annotation( ...);
    Modelica.Blocks.Sources.Ramp ramp3(duration = 100, height = 0.1,     (6)
      offset = 1300, startTime = 0) annotation( ...);
  equation
    connect(ramp3.y, stateCheckPs1.s) annotation( ...);
    connect(ramp2.y, stateCheckPs2.s) annotation( ...);
    connect(ramp1.y, stateCheckPs2.p) annotation( ...);
    connect(pressure1.y, stateCheckPs1.p) annotation( ...);
  end StateCheckTest2;

  annotation( ...);
end MediaExample2;
```

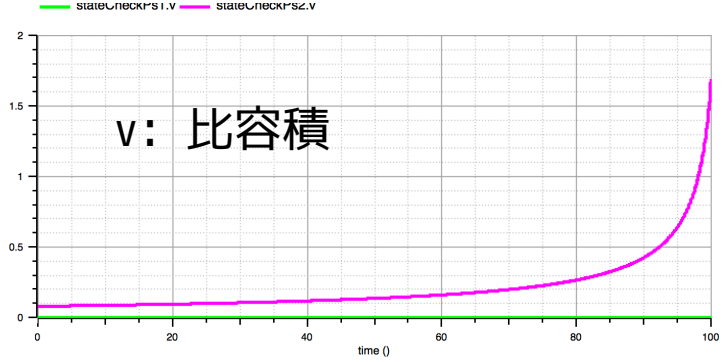
ClassExamle3

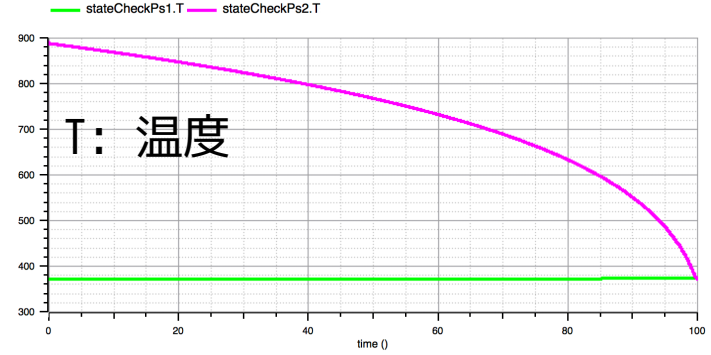
シミュレーション結果

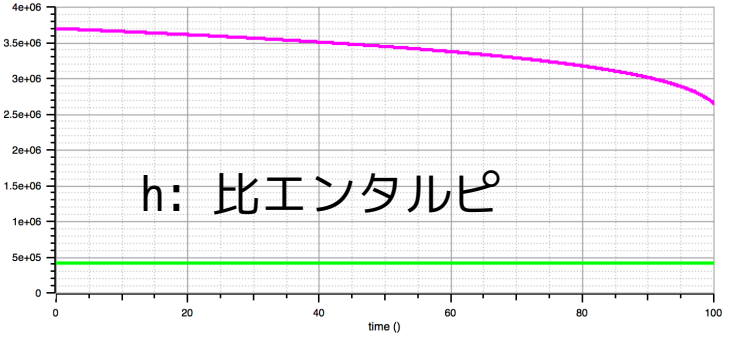




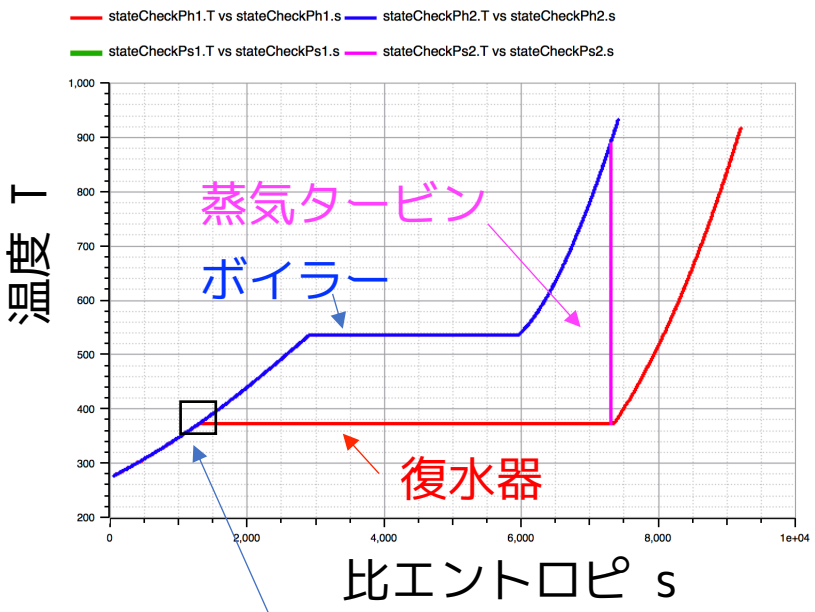


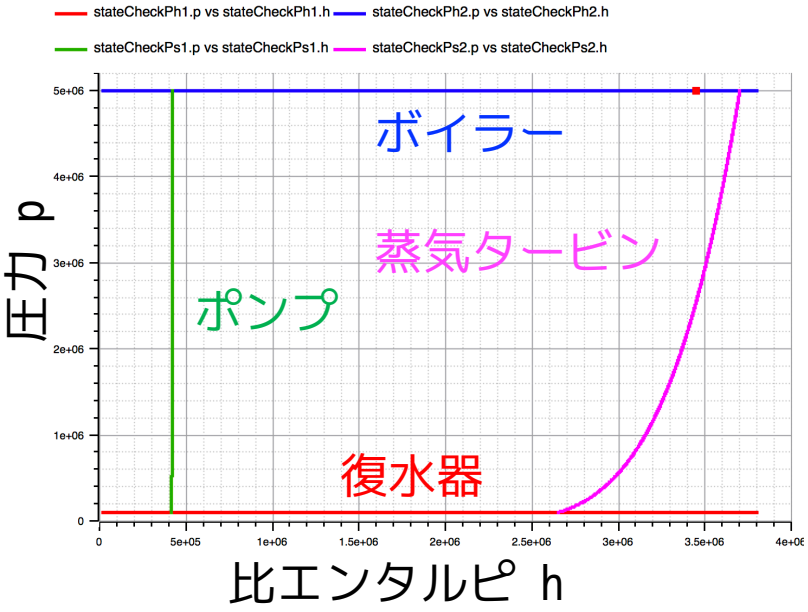


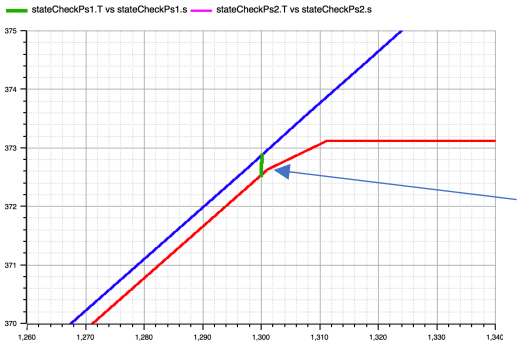




MediaExample2







ポンプ

MediaExample1, MediaExample2 の結果をパラメトリックプロットしてみる。

閉じたループがランキンサイクルを表す。

まとめ

- Modelica.Media の全体構成や構成要素について述べた。
- 水（２相流体）について簡単なモデルを作り、物性値の参照方法を確認した。

- The purpose of this document is introducing Media and Fluid Libraries in the Modelica Standard Library (MSL). This document uses libraries, software, figures, and documents included in MSL and those modifications. Licenses and copyrights of those are written in next page.
- Copyright and License of this document are written in the last page.

Modelica Standard Library License

https://github.com/modelica/ModelicaStandardLibrary/blob/master/LICENSE