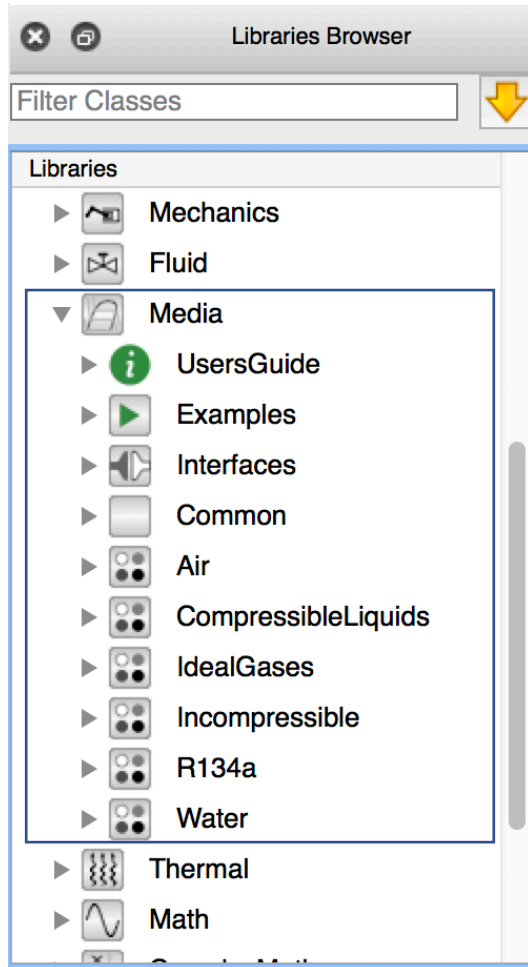


OpenModelica講習中級 Modelica.Fluidライブラリ解説

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

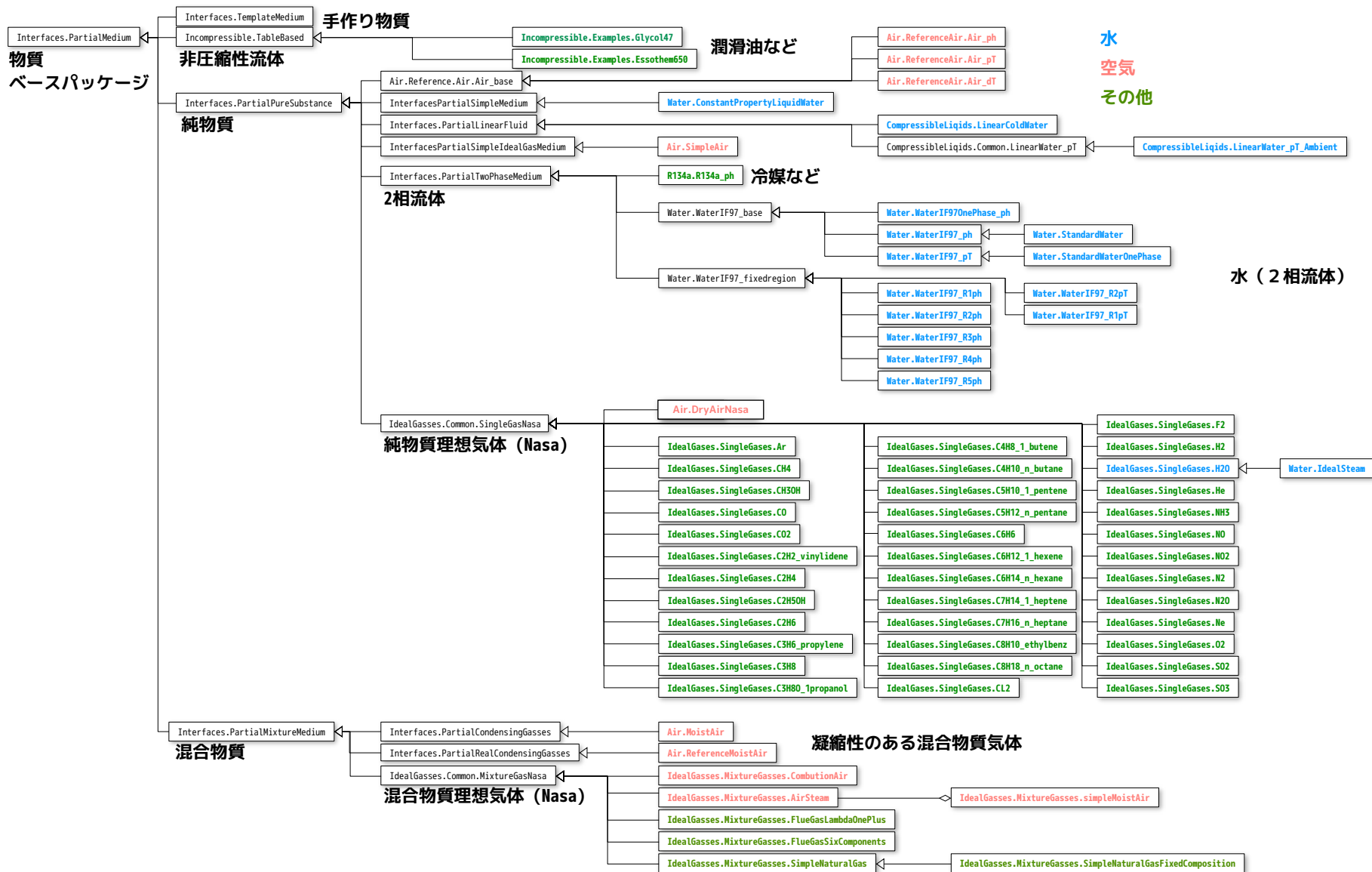
Modelica.Media の全体的構成や構成要素について示す。

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

物性値の型を表す type の宣言

```
<<package>> Interfaces.Types
<<type>> AbsolutePressure = ...
<<type>> Density = ...
<<type>> DynamicViscosity = ...
...
```

```
<<replaceable>>
<<record>> FluidConstants
<<record>> ThermoDynamicState
<<partial model>> BaseProperties
<<partial function>> setState_pTX
...
<<partial function>> dynamicViscosity
...
```

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

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

全ての物質の
ベースパッケージ

```
<<partial package>> Interfaces.PartialMedium
<<constant>> ThermoStates
<<constant>> MediumName
<<constant>> singleState
...
```

②～⑤の実装

個々の物質の
パッケージ

```
<<redeclare>>
ThermoDynamicState→...
BaseProperties→...
setState_pTX→...
...
dynamicViscosity→...
...
```

①の再定義

```
<<package>> XXX
<<constant>> ThermoStates=...
<<constant>> MediumName=...
<<constant>> singleState=...
...
```

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

定数名	型	デフォルト値	
ThermoStates	IndependentVariables		T, pT, ph, phX, pTX, dTXのいずれか
mediumName	String	“unusablePartialMedium”	物質名
substanceNames[:]	String	{mediumName}	成分名の配列
extraPropertiesNames[:]	String	fill(“” ,0)	付加的物質名(微小物質)
singleState	Boolean		trueなら物性値が圧力に依存しない
reducedX	Boolean	true	trueなら質量分率の和が1
finxedX	Boolean	false	trueならX=reference_X
reference_p	AbsolutePressure	101325 [Pa]	圧力の参照値
reference_T	Temperature	298.15 [K]	温度の参照値
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
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
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

② ThermodynamicState

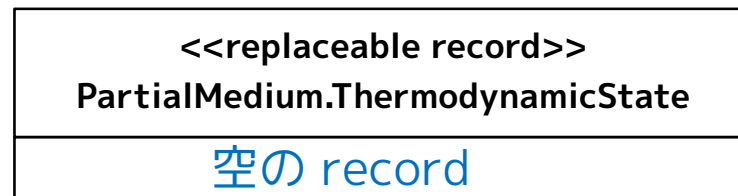
物質の熱力学的状態を決定するのに必要な変数の組を表す record

物質の熱力学的状態は、

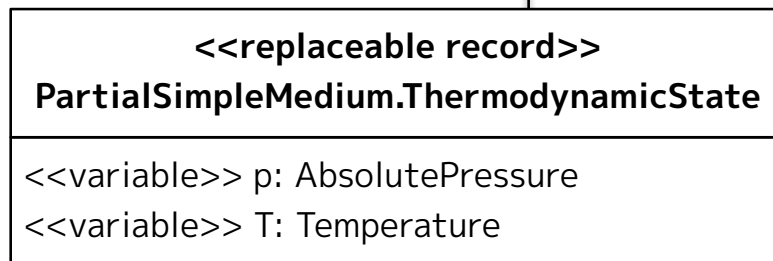
2つの熱力学的状態変数と成分物質の質量分率で決定できる。

- 圧力 p 、温度 T 、密度 d 、比エンタルピー 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 $X[nX]$

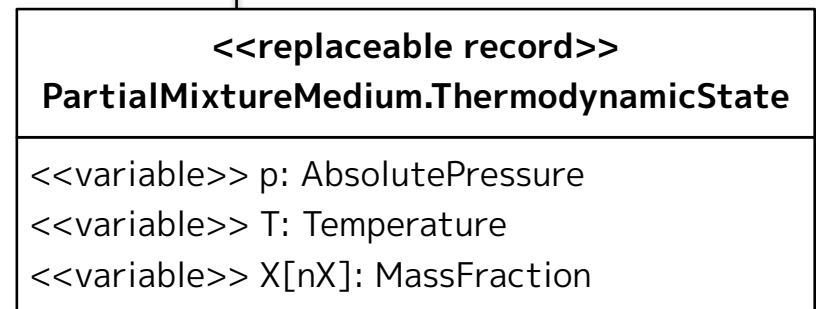
抽象的な物質



純物質（一定物性）



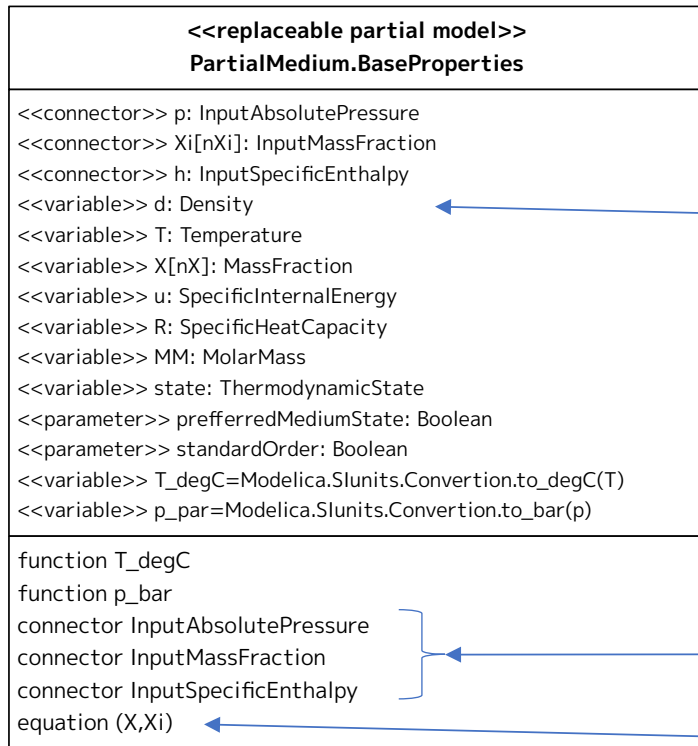
混合物質



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

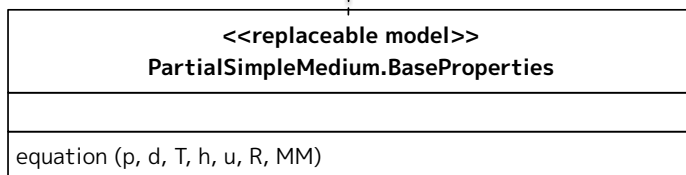
熱力学的状態変数、ガス定数、モル質量などの関係を表す model



p:圧力
d:密度
T:温度
h:比エンタルピー
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 $x \pm x_small$ 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

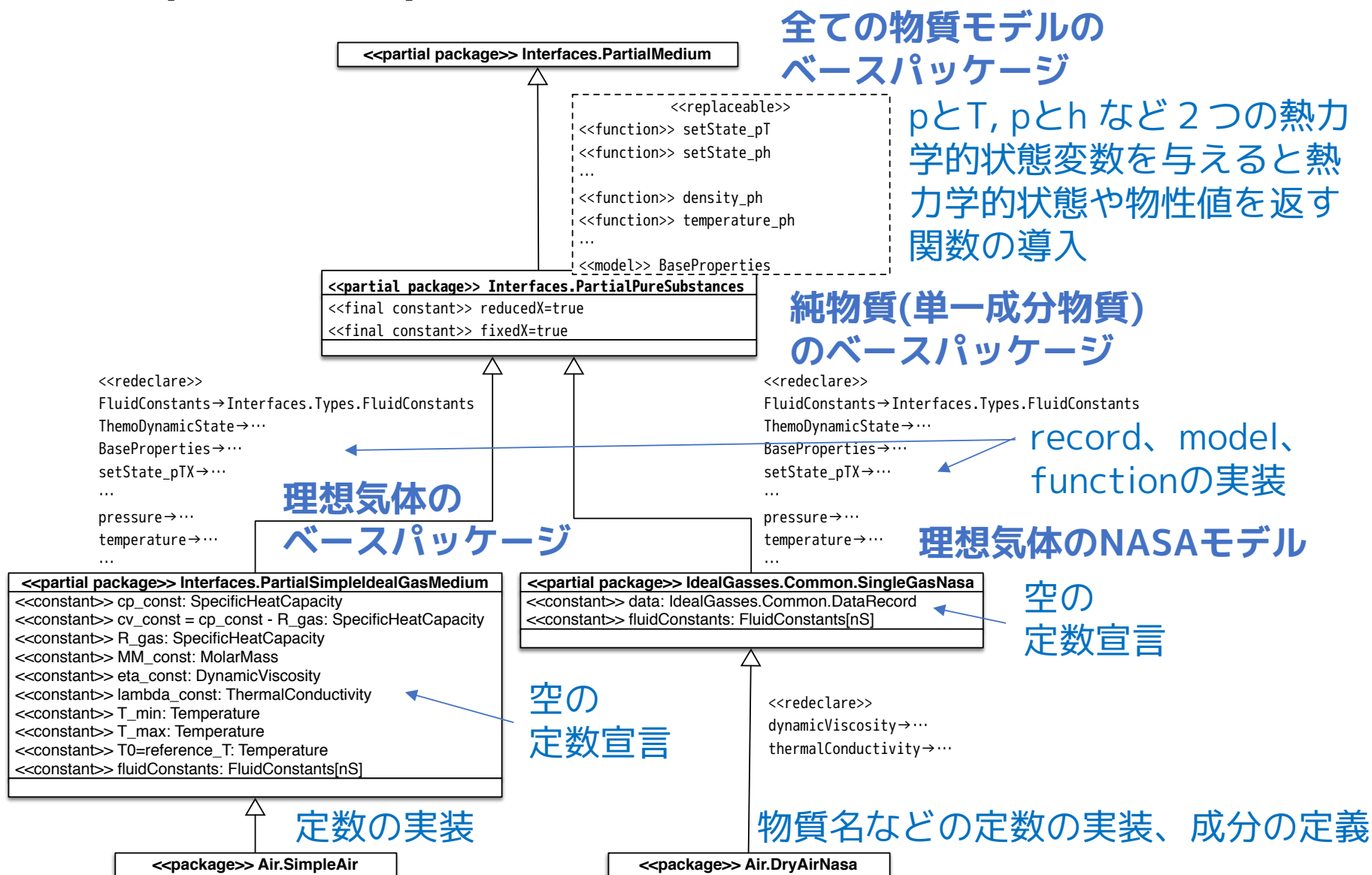
- *density_derp_h(state)*
- *density_derh_p(state)*
- *density_derp_T(state)*
- *density_derT_p(state)*
- *density_derX(state)*

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

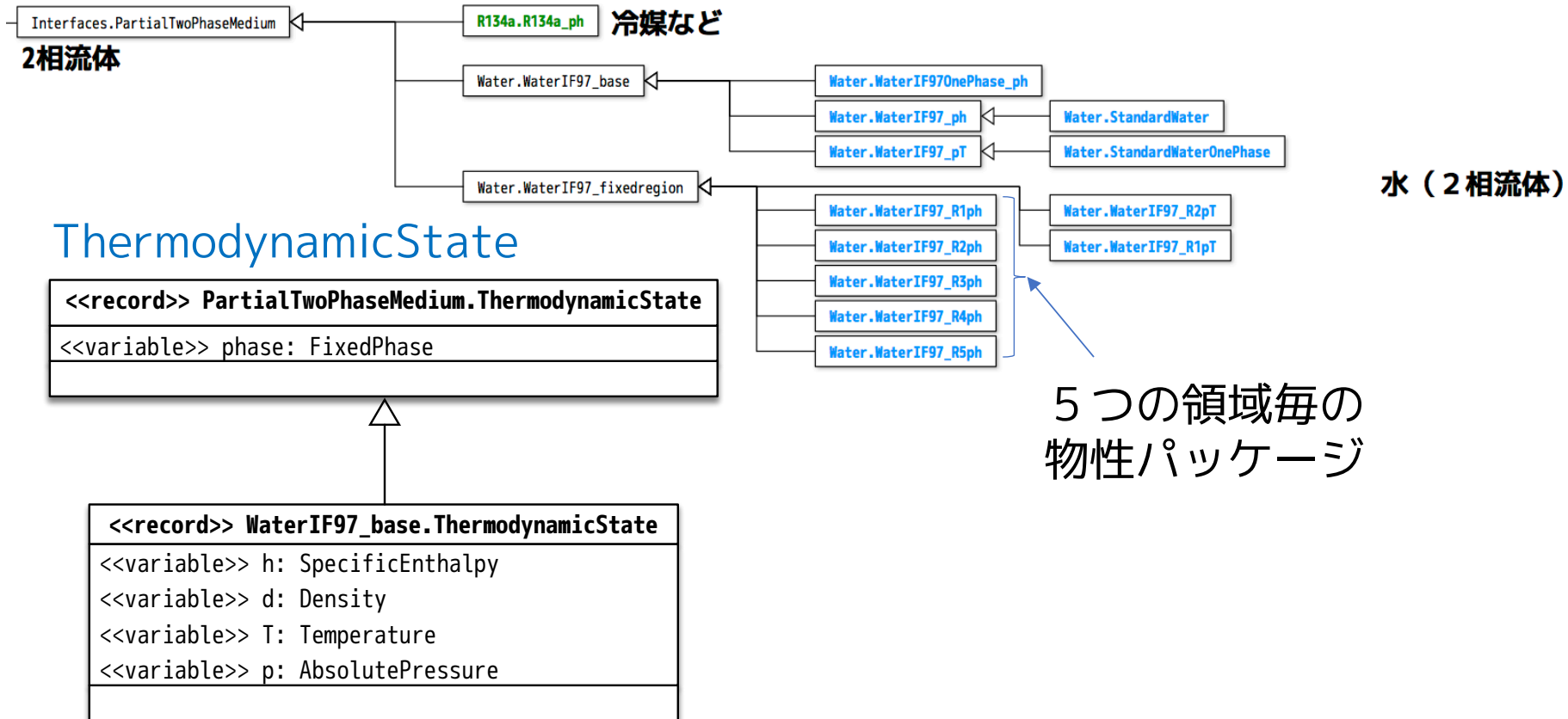


水（2相流体）のモデル

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>

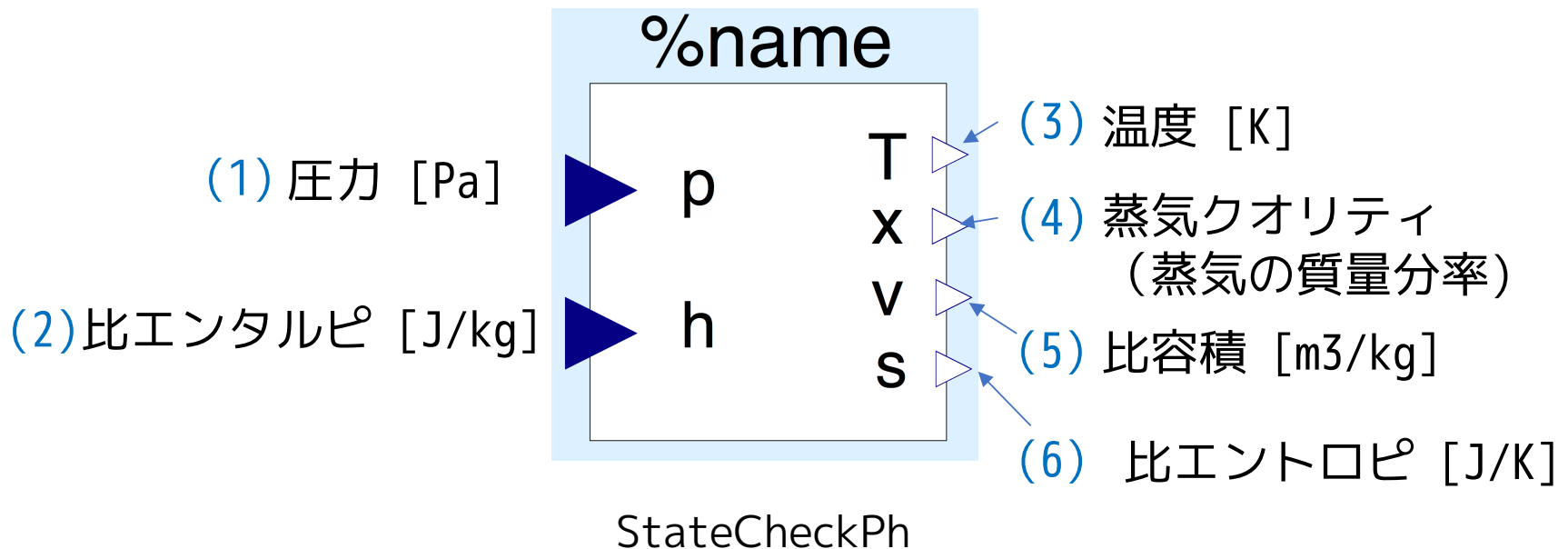
水の状態を 5 つの領域に分けて記述するモデル



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

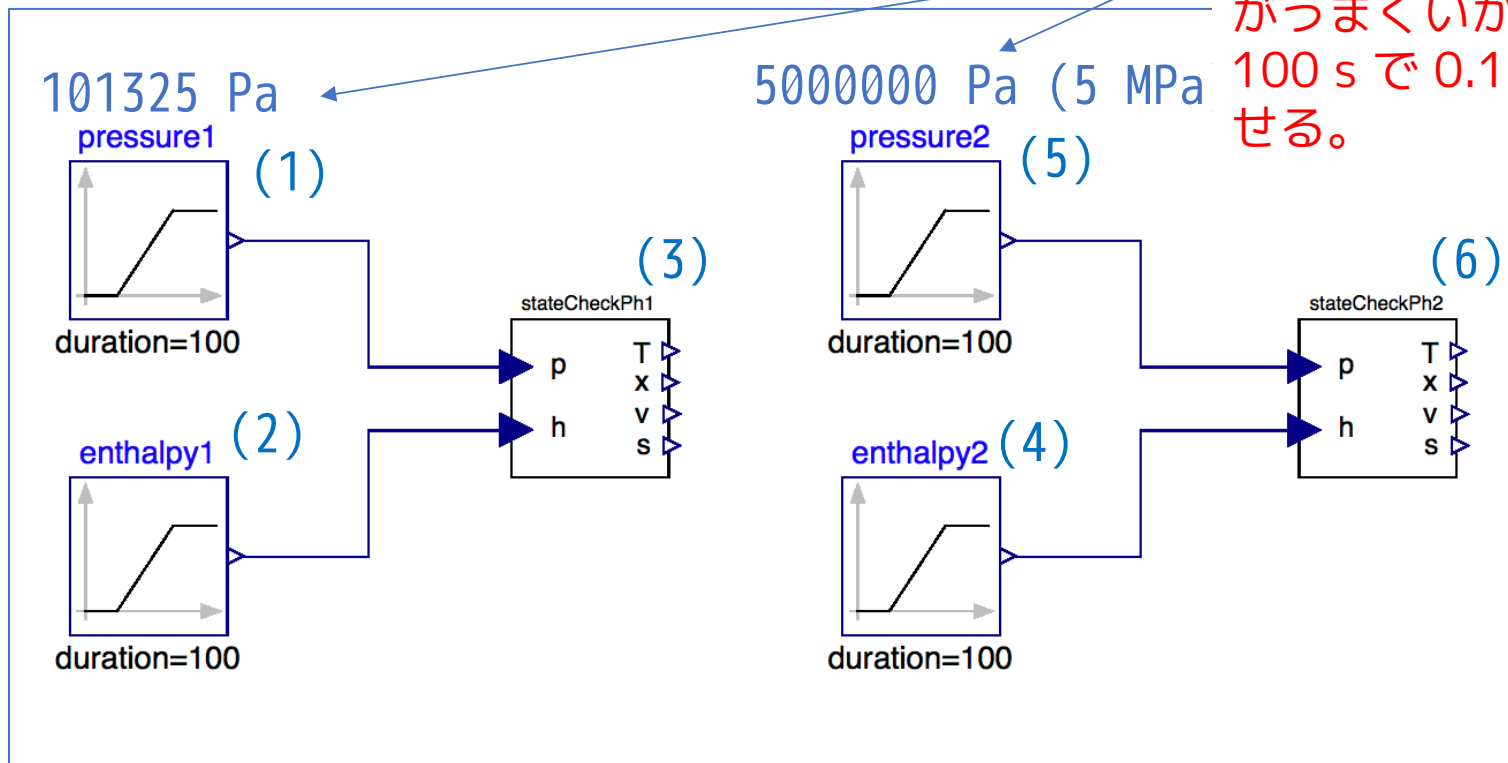
```
package MediaExample1

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

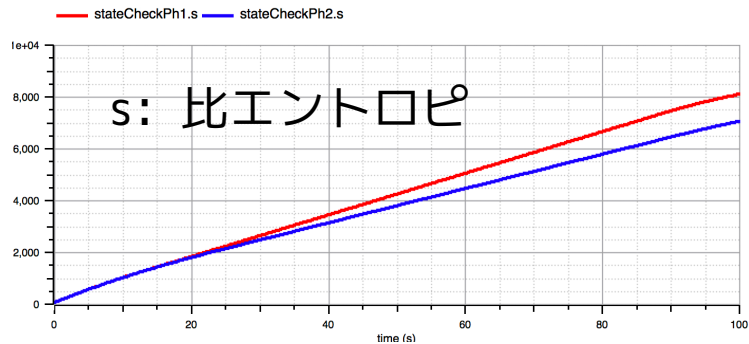
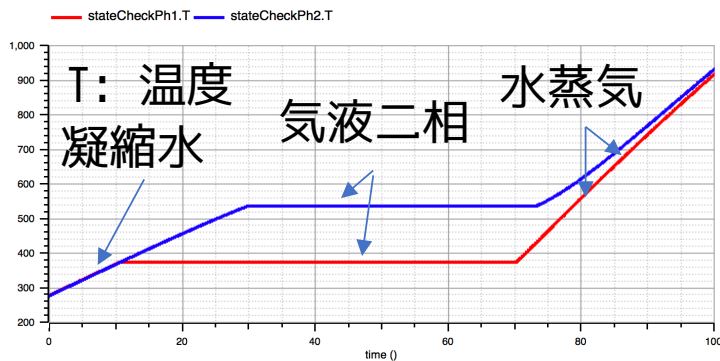
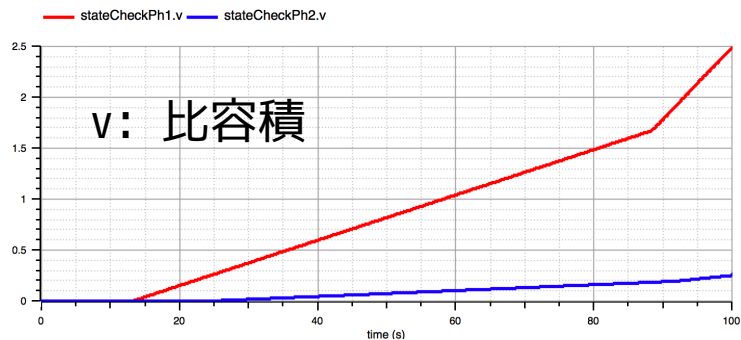
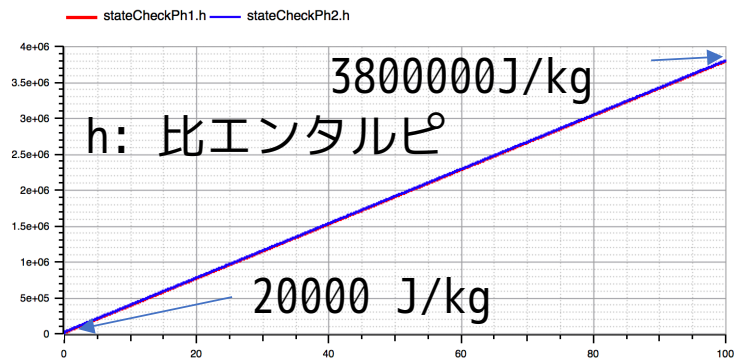
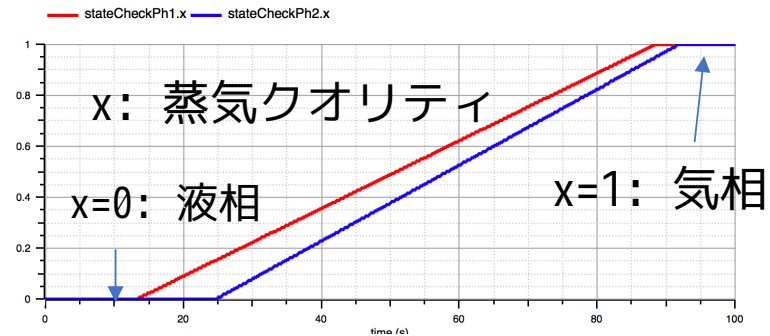
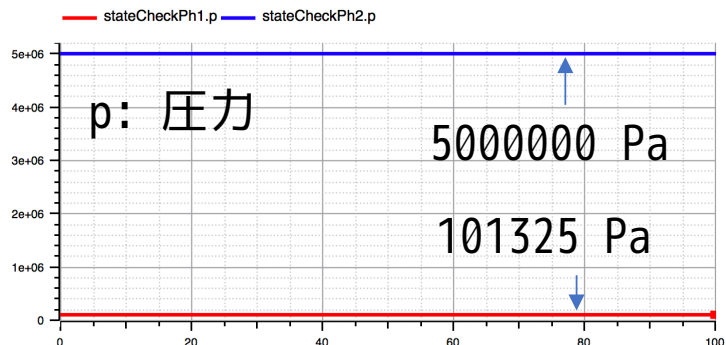
StateCheckTest1

```
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

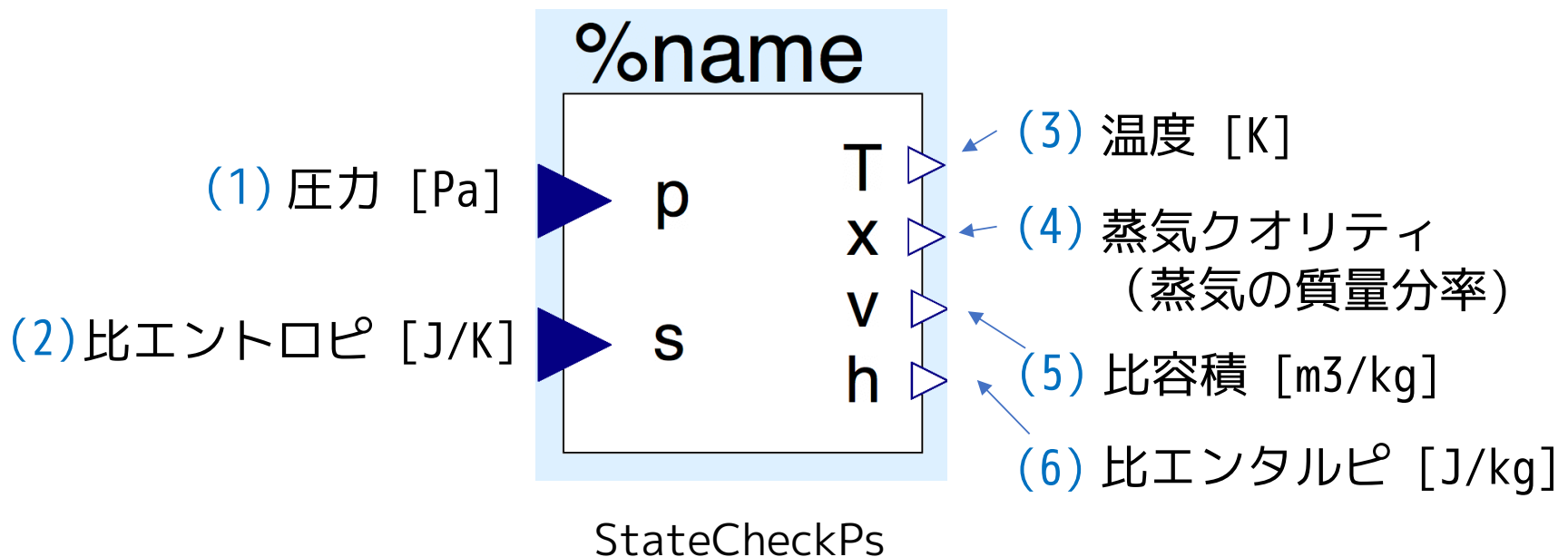
シミュレーション結果



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)

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。



MediaExample2

StateCheckPs

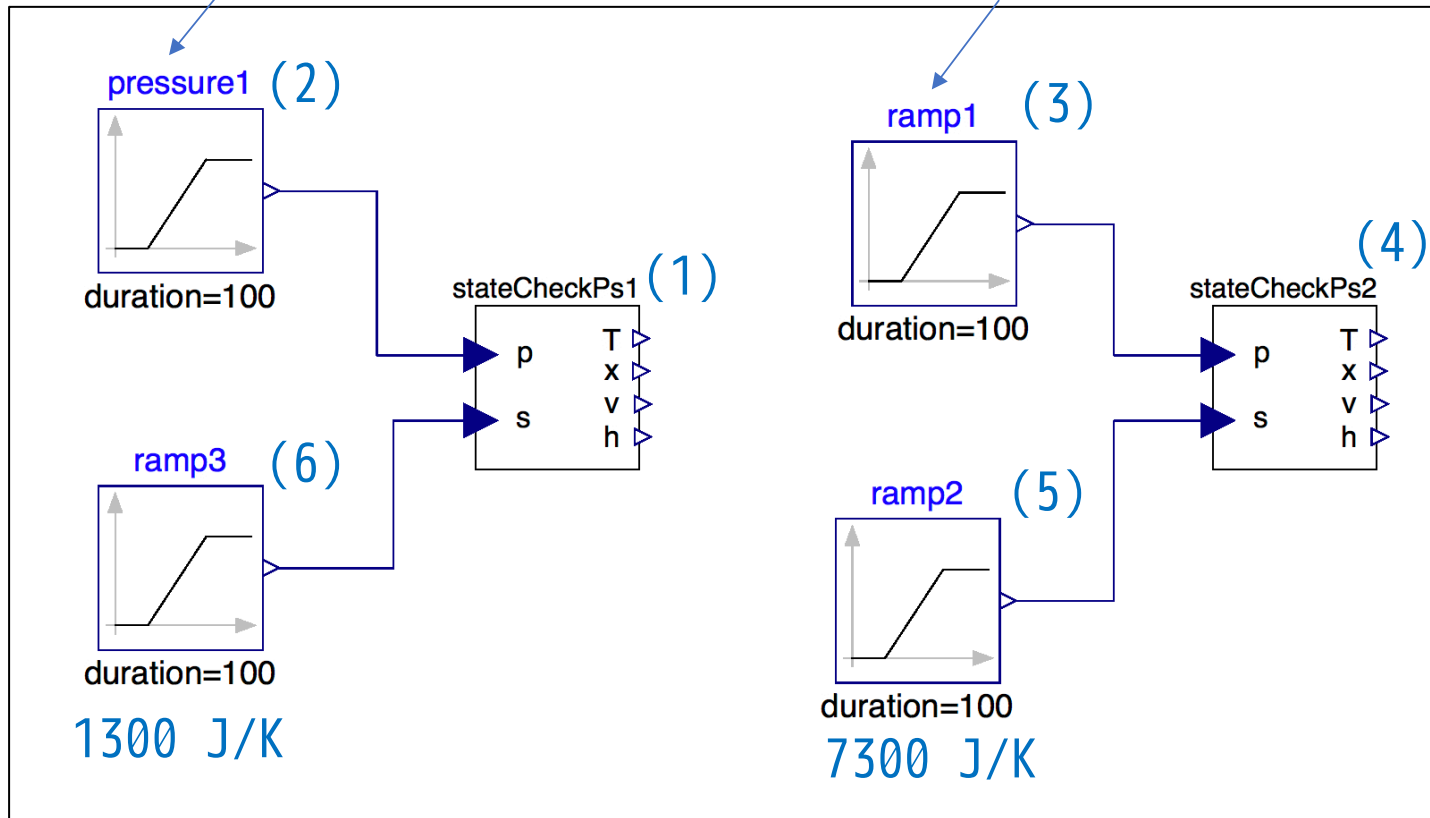
```
package MediaExample2
  model StateCheckPs
    replaceable package Medium = Modelica.Media.Water.StandardWater;
    Medium.ThermodynamicState state;
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput p annotation( ...);      (1)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput s annotation( ...);      (2)
    Modelica.Blocks.Interfaces.RealOutput 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。

100 kPa から 5 MPa
まで昇圧する。

5 MPa から 100 kPa
まで減圧する。



StateCheckTest2

MediaExample2

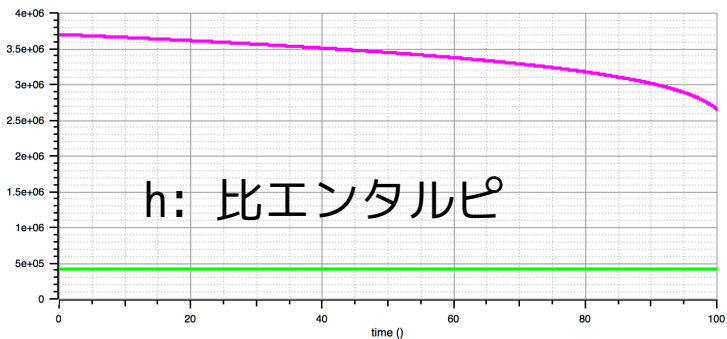
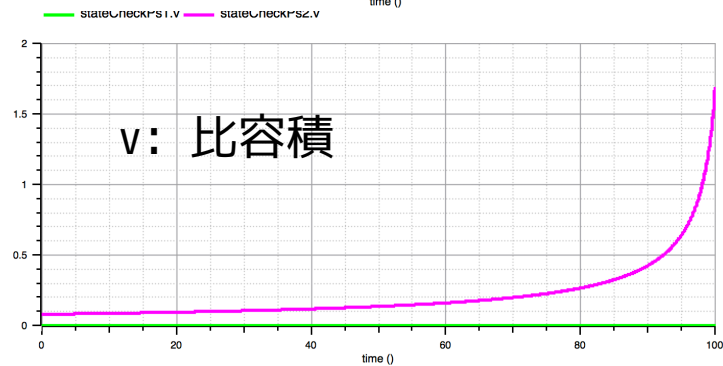
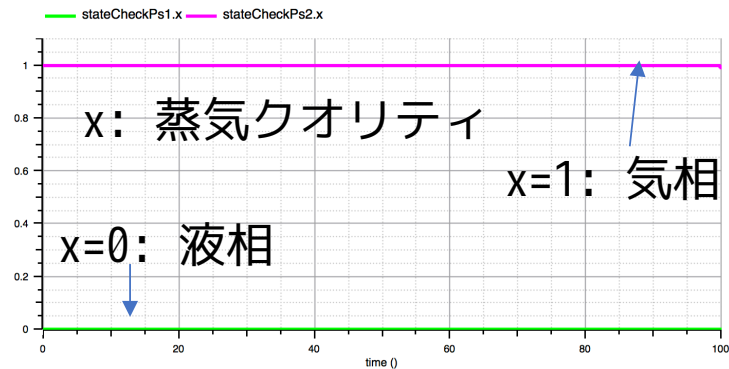
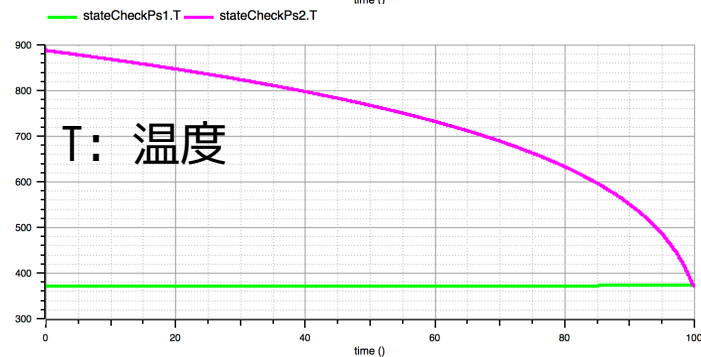
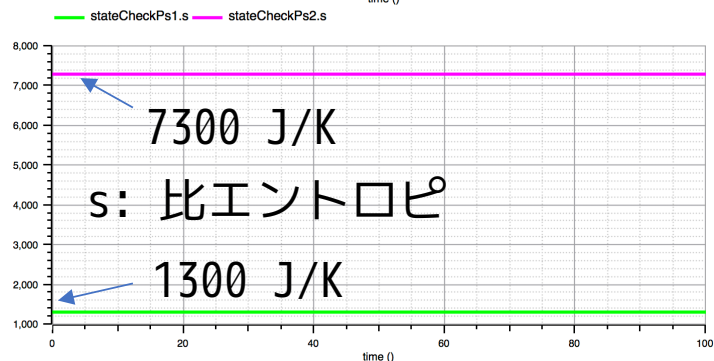
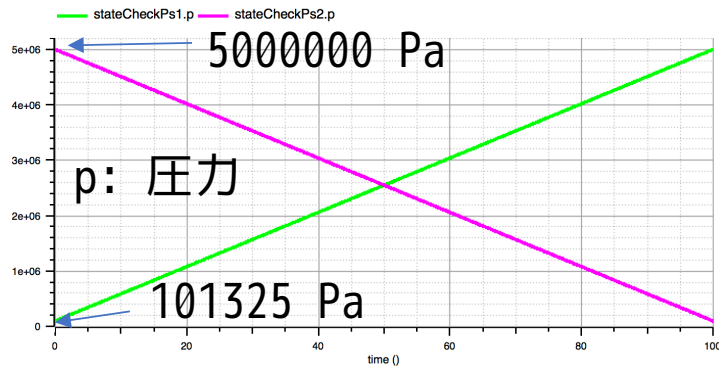
StateCheckTest2

```
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( (4)
  MediaExample2.StateCheckPs stateCheckPs2(redeclare package Medium = Medium) annotation( ...);
  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;

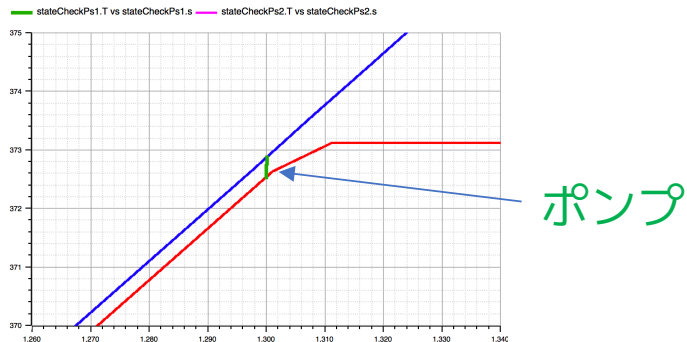
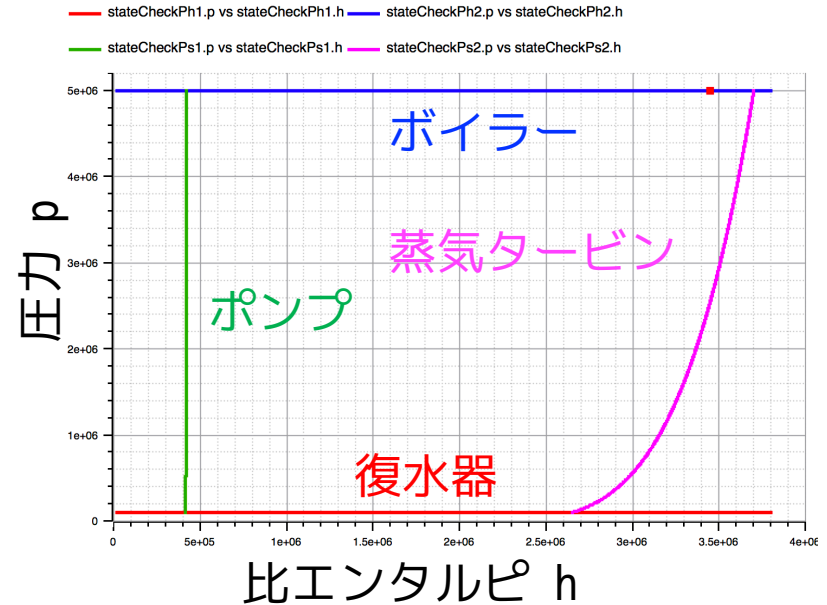
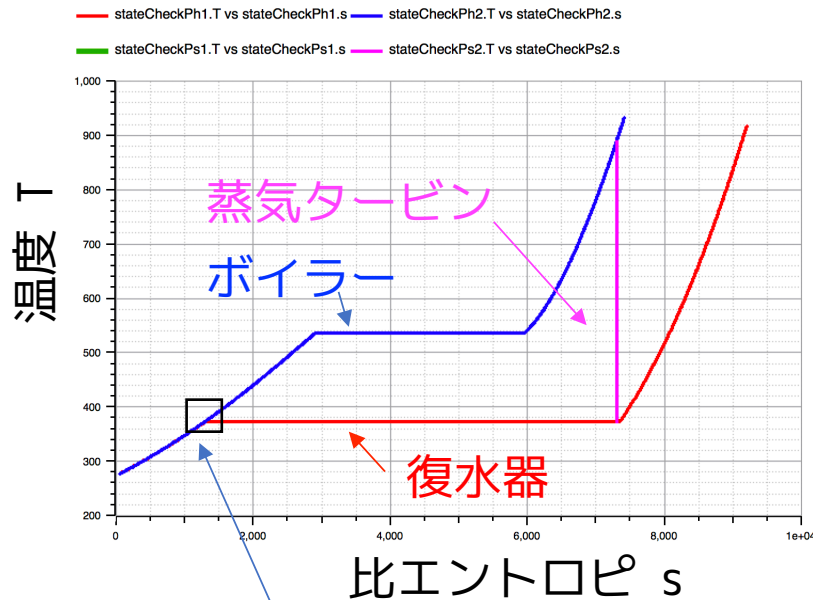
annotation( ...);
end MediaExample2;
```

ClassExample3

シミュレーション結果



MediaExample2



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

閉じたループがカルノーサイクルを表す。

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。