

# Modelica によるガス燃焼器モデルと OpenFOAM の熱対流モデル の連成系の試作

## FMI for Co-Simulation の使用例

田中 周<sup>†</sup>

<sup>1</sup> アマネ流研

## A Co-Simulation System Model of A Fuel Combustor Model by Modelica and A Natural Convection Model by OpenFOAM

### An Example of FMI 1.0 for Co-Simulation

Amane TANAKA<sup>\*†</sup>

<sup>\*</sup>Amane Fluid Laboratory

#### Abstract

A Co-Simulation system model using FMI1.0 for Co-Simulation standard for a fuel combustor model and an OpenFOAM CFD convection model is generated. The combustor model is written in Modelica and converted to FMU by using JModelica.org. Master tool of this co-simulation a python script using PyFMI. FMU for OpenFOAM model is achieved by a server script and modified codes of FMUSDK.

**Keywords:** Modelica, OpenFOAM, FMI, ThermoPower, OpenModelica, JModelica.org

## 1. はじめに

Functional Mock-up Interface (FMI)は、動的シミュレーションモデルのモデル交換や連成シミュレーションを行うためのツールに依存しない規格であり、現在、Modelica Associationの傘下で様々な企業や研究所によって開発が続けられている。仕様書やSDKなどが一般に公開され、様々なオープンソースツールや商用ツールが対応している。本発表では、FMI 1.0 for Co-Simulation [1]の規格に従って、OpenModelica (Open Source Modelica Consortium)を用いて作成したガス燃焼器のモデルと OpenFOAM (ESI)による熱対流モデルの連成シミュレーション系を構成した例について報告する。モデル化する対象は、風呂釜で浴槽の水を温めるような現象を想定し、風呂釜部分を Modelica によるガス燃焼器モデルで表し、浴槽部分を OpenFOAM による熱対流モデルで表す。連成シミュレーション系では、マスターツールとして JModelica.org (Modelon AB)を使用し、一部に FMUSDK (QTronic)を改造して作成したインターフェース用の Functional Mock-up Unit (FMU) と Python で作成した通信モジュールを使用する。

## 2. 連成系の概要

### 2.1. ガス燃焼器モデル

Fig. 1 にガス燃焼器モデルを示す。このモデルは OpenModelica を用いて作成した。ガス燃焼部は ThermoPower ライブラリ (Politecnico di Milano) の CombustChamber モデル (発電プラントなどの燃焼室のモデル) のテストモデル TestCC をベースとし、家庭用の風呂釜程度の発熱量となるように燃料ガスと空気の供給量や燃焼室の容積について大幅にスケールダウンし、配管部への伝熱部分を表すため Plenum モデル (断熱壁と伝熱壁をもつ容器) を追加した。CombustionChamber モデルは、燃料ガス ( $CH_4, N_2, CO_2$  の混合ガス) と空気 ( $O_2, N_2, Ar, H_2O$  の混合ガス) が燃焼室内で混合し、 $CH_4$  が完全燃焼して高温の排ガス ( $O_2, Ar, H_2O, CO_2, N_2$  の混合ガス) を排出するプロセスをモデル化する。発熱量は、化学反応  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2$  に伴う組成変化によって生じる各成分の生成エンタルピーの差から自動的に計算されるように設定した。配管部は、

<sup>†</sup> E-mail address of corresponding author: amane@amane.to

Modelica Standard Library (Modelica Association) の Ththermal.FluidHeatFlow の Examples に含まれる SimpleCooling モデルをベースとした。これは、ポンプで供給された水を熱源からの熱伝達によって加熱するモデルであり、この熱源のモデルを上述の Plenum モデルに変更した。本モデルでは、配管系の入り口の水温を入力として与えると、ガスの燃焼によって暖められた配管系出口の水温が出力として得られる。このようにして作成したガス燃焼器モデルを JModelica.org を用いてコンパイルし、FMI 1.0 for Co-Simulation の規格に従う Functional Mock-up Unit (FMU)に変換した。従って、モデルを作成したツールは OpenModelica であるが、FMU に含まれるソルバは JModelica.org のものである。

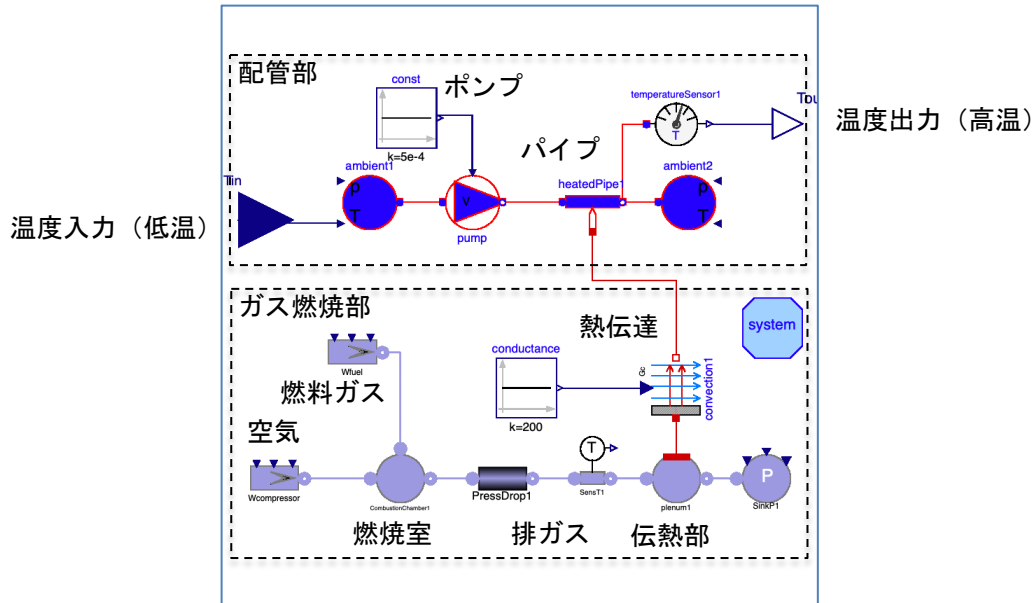


Fig.1 Fuel Gas Combustor Model

## 2.2. 熱対流モデル

Fig.2 に OpenFOAM による熱対流モデルを示す。解析対象は、左側前面の中央部に流入口 (Hot water In)、左側全面の下部に流出部 (Cold water out) がある矩形の容器であり、計算領域を半分にするために左奥の色の濃い面が対称面となっている。本来は暖められたガスが燃焼器内の配管を上昇して水槽に流入するバランス釜のような構成を想定していたため、高温水の流入口が中央にあり、低温水の流出口が下部にある構成になっている。本モデルでは、流入口の流速を一定とした。ガス燃焼器モデルの出口の流入口の温度に設定し、流出口の温度をガス燃焼器モデルの入口温度に設定する。

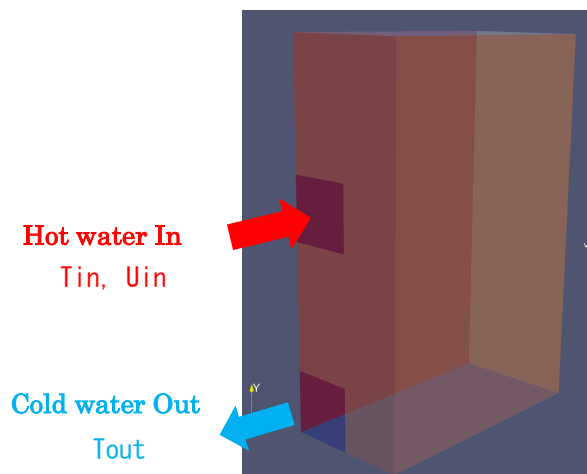


Fig.2 Thermal Convection Model by OpenFOAM

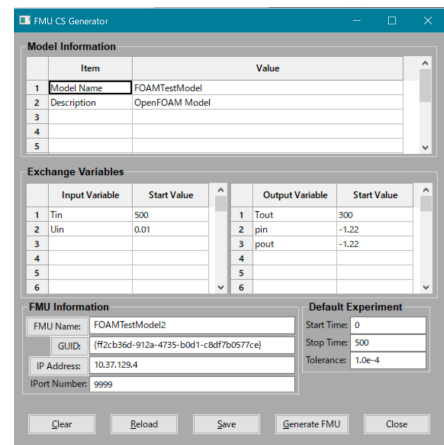


Fig.3 Interface Setting

### 2.3. 連成系

Fig. 4 に連成系の概要を示す。FMI for Co-Simulation では、連成させる個々のモデルのシミュレーションを行うツールをスレーブツール、スレーブツール間の同期や連成シミュレーションの進行を管理するツールをマスターツールと呼ぶ。本連成系ではマスターツールとして JModelica.org (PyFMI)を使用した。これは Python をベースとした Modelica のモデルの作成とシミュレーションの実行を行う環境であり、Python スクリプトを使用することにより FMI 1.0 for Co-Simulation のマスターツールを構成することができる。これを使用して前述したモデルの FMU を読み込んで連成シミュレーションを行う。OpenFOAM のモデルは Linux 上で動作するので Python を用いて作成したサーバープログラムで制御する。そして FMUSDK を改造して作成した FMU を用いてサーバープログラムと通信することによって連成する。

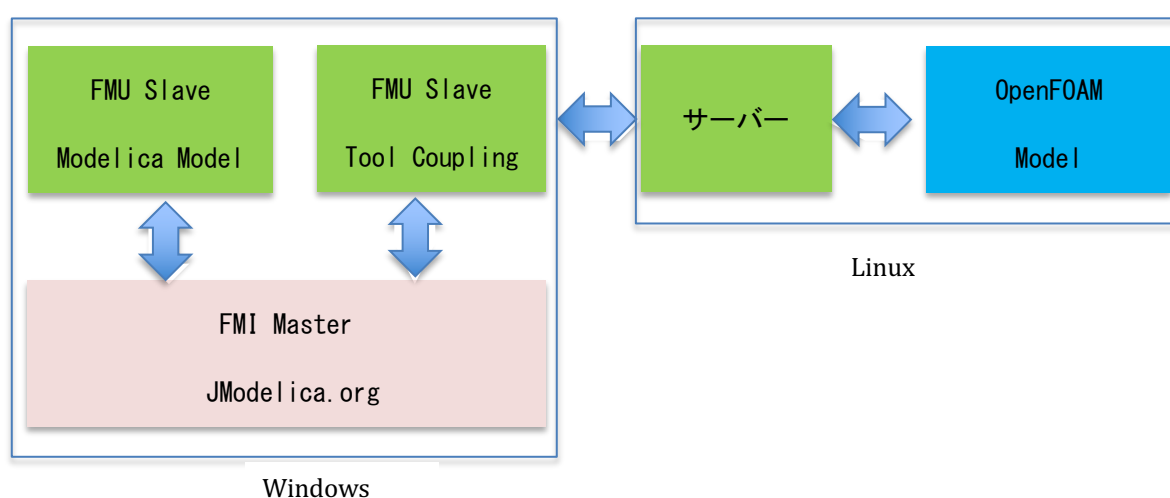


Fig.4 Co-Simulation system

### 3. シミュレーション結果

Fig. 5 に連成シミュレーションの結果のガス燃焼器出入口の水温の時刻歴を示した。また、Fig. 6 に OpenFOAM のシミュレーション結果を示した。

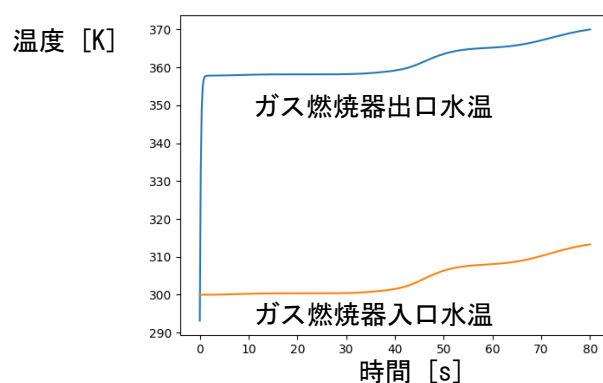


Fig. 5 Water temperatures of inlet and outlet of combustor

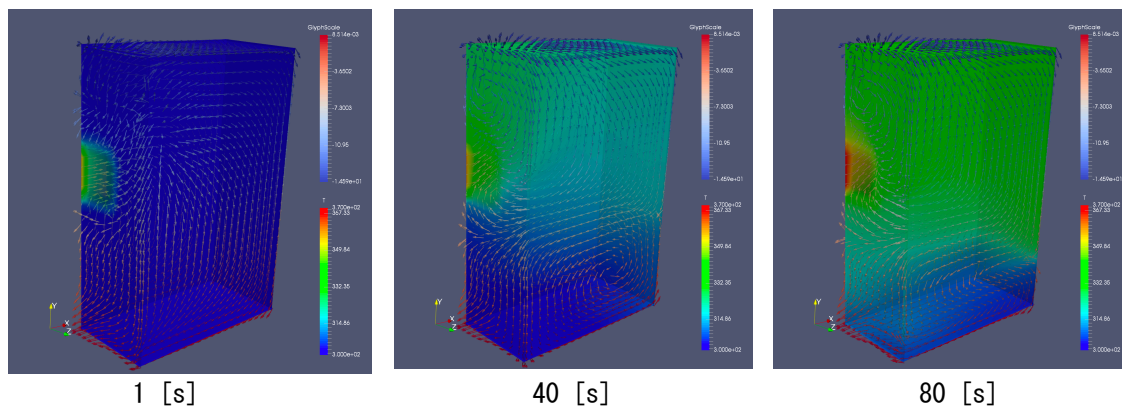


Fig.6 Distributions of temperatures and velocities

#### 4. まとめ

- FMI を使用して、モデルどうしの通信を行うことができた.
- OpenFOAM のモデルは、温度や圧力、流速成分などのスカラー量のデータ交換ができた.
- 今後、現実的な運用に向けてノウハウの蓄積が必要である.

#### 参考文献

- [1] Modelica Association Project FMI, Functional Mock-up Interface for Co-Simulation, ver.1.01, 2017, [https://svn.modelica.org/fmi/branches/public/specifications/v1.0/FMI\\_for\\_CoSimulation\\_v1.0.1.pdf](https://svn.modelica.org/fmi/branches/public/specifications/v1.0/FMI_for_CoSimulation_v1.0.1.pdf), (accessed 2018-11-27).