

分類	流体シミュレーション
キーワード	乱流、燃焼、LES、有限体積法
開発者	谷口伸行、張会来、畝村毅、山田英助
作成年月	2004年3月
コード名	FrontFlow-Red Ver. 2.0
使用言語	Fortran 90

●乱流燃焼解析ソフトウェア —FrontFlow-Red—

これまで工学乱流場に対する数値解析は、RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) モデルに代表される時間平均解析が主であった。それに対して本ソフトウェアは、乱流変動などの非定常現象の高精度予測が可能である LES (Large Eddy Simulation) モデルに基づいた乱流燃焼解析ソフトウェアである。1億格子点相当の非定常流れの数値解析を実現することで、機器開発において CAD データと同程度の像精度をもった流れ場の予測と先行設計が可能となる。また、流れの非定常性のモデル化により、これまで予測設計が困難であった乱流燃焼に対して数値予測法の実用化を促進する。

●ソフトウェアの概要

三次元の任意の境界形状に対応して、六面体、三角柱、四角錐および四面体の要素を取り扱うことができる。基礎方程式は質量、運動量、エネルギーおよび化学種の各保存方程式および状態方程式であり、空間の離散化は有限体積法に従う。SIMPLE 法に基づく陰解法を採用し、圧縮性流体解析および低マッハ数近似を施した非圧縮性流体解析が可能である。乱流モデルは RANS または LES モデルを採用し、LES の SGS 応力項には Smagorinsky またはダイナミック Smagorinsky モデルを選択できる。燃焼に関する化学反応モデルは総括反応、素反応および渦消散モデルを採用している。

●解析例 (水素-酸素の同軸噴流拡散火炎)

基本的な水素火炎の燃焼解析について示す。図1は解析領域の概観であり、領域全体は円筒状である。Z=0の面に設置した同軸型バーナーの内管から水素を $6.70 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ 、外管から酸素を $1.06 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ の速度で流入させ、両者が混合する一部に一時的な高温点を設けて着火を行った。周囲の境界は勾配0の条件である。燃焼反応には Gutheil らの9化学種、21素反応式のモデルを用いた[1]。輸送係数には Smooke らの簡略化輸送係数モデル (simplified transport model) を用いた[2]。乱流モデルには LES の Smagorinsky モデルを用いてあるが、この燃焼条件では層流火炎が形成される。

図2～4にYZ断面の速度ベクトル、温度およびOH密度の分布を示す。最大速度は $17.3[m\cdot s^{-1}]$ で、ほぼ軸対称に速度が分布しており層流火炎が形成されていることがわかる。温度の分布では内炎の形成も確認でき、OH密度の分布では拡散火炎特有の酸素と水素が混合する狭い領域において密度が高くなるという現象が良好に再現されている。

本ソフトウェアは文部科学省ITプログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクトのもとで開発された。本プロジェクトWEBページ (<http://www.fsis.iis.u-tokyo.ac.jp/>) より2004年5月に公開を予定している。

●参考文献

- [1] N. Peters and B. Rogg (Eds.), Reduced Kinetic Mechanisms for Application in Combustion Systems, Springer-Verlag, Tokyo, pp. 177-195 (1993)
- [2] Smooke, M. D. (Ed.), Reduced Kinetic Mechanisms and Asymptotic Approximations for Methane-Air Flames, Springer-Verlag, Tokyo, pp. 1-28 (1991)

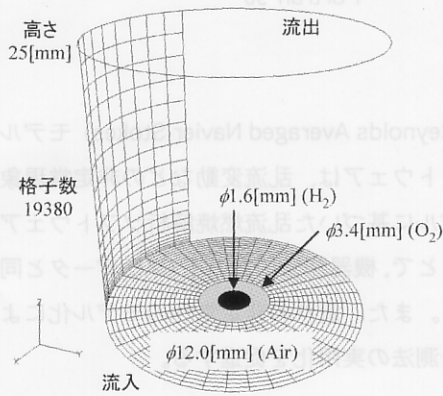


図1 計算領域の概観

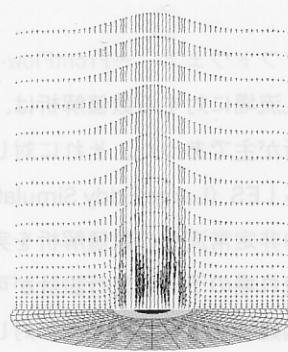


図2 速度ベクトルの分布

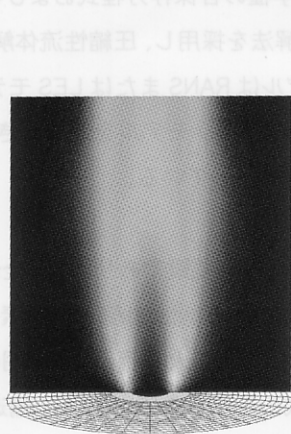


図3 温度の分布

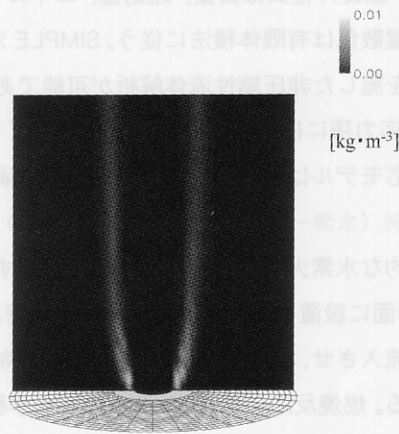


図4 OH密度の分布