

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	大島伸行、張 会来、坪倉 誠、山田英助、中島卓司、姜 玉雁、岡部壮志
作成年月	2007年4月
コード名	FrontFlow-red version 3.0
使用言語	Fortran90

乱流燃焼解析ソフトウェア FrontFlow-red version 3.0

FrontFlow-red は乱流変動などの非定常現象の高精度予測が可能な Large Eddy Simulation (LES) に基づいた乱流燃焼解析ソフトウェアである。本ソフトウェアは文部科学省次世代 IT 基盤構築プログラム「戦略的革新シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトのもとで開発され、2004年5月に公開された FrontFlow-red の改訂版であり、2007年6月に公開を予定している。本バージョンでは、ソルバーの安定性向上をはかり、新規に開発した Detached Eddy Simulation 乱流モデル、LES-Flamelet 燃焼モデル、粒子追跡モジュール、複数の輻射伝熱モデル、複数の新規ユーザーサブルーチン及び熱系関連ルーチンのベクトル化などの計算機能を追加するとともにユーザーより寄せられた問題点の修正を行った。

コードの主な特徴

- 基礎方程式： 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
- 離散化手法： 節点中心法を用いた有限体積法
- 対応メッシュ： 六面体、三角柱、四角錐、四面体およびこれら要素の混在したメッシュ
- 乱流モデル： LES または RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) モデル
- 燃焼モデル： アレニウスの式による総括反応、素反応モデルおよび渦消散モデル
- 輻射モデル： ゾーン法、モンテカルロ法、有限体積法および実在気体輻射モデル
- 並列計算機能： 領域分割法による大規模計算・自動最適化領域分割統合ツール

コードの概要

本コードは質量、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を基礎方程式とし、節点中心法を用いた有限体積法により空間を離散化した乱流燃焼解析ソフトウェアである。非定常現象の高精度予測が可能な Large Eddy Simulation (LES) により、動力・エネルギー機器の設計において多くの応用ニーズがある燃焼流の予測を可能にする。六面体、三角柱、四角錐、四面体およびこれ

ら要素の混在したメッシュに対応し、三次元の任意の境界形状を取り扱うことができる。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を可能にしている。乱流モデルには RANS または LES モデルが使用可能であり、LES の SGS 応力項には Smagorinsky モデルを採用している。燃焼に関する化学反応モデルはアレニウスの式による総括反応、素反応モデルおよび渦消散モデルを採用している。領域分割法による大規模並列計算機能によって、数百万節点の大規模超並列計算にも対応している。

動作確認プラットフォーム

IA-32/IA-64/Opteron LINUX、SGI Altix、SGI IRIX、HITACHI HI-UX/MPP (SR11000)

解析例

ガスタービン燃焼器流れの実証計算 (図1、図2)：複雑現象を含む非定常乱流場数値解析の工学的応用例として、ガスタービン燃焼器流れの乱流燃焼場を対象とした実証計算を行った。はじめに非燃焼乱流 LES を行い、燃焼反応を伴わない乱流流動予測の精度検証を行った。解析対象は典型的な旋回ノズルを有するモデル燃焼器形状を選択した。ノズル開口幅及びノズル内平均流速による Reynolds 数は $Re=17700$ である。旋回羽根により生成された旋回流により、ノズル出口下流に逆流域が形成されていることがわかる。また、旋回羽根及びノズル出口部で発生するせん断層により乱れが生成され、チャンバ内には発達した乱流場が形成されている。ノズル下流 $1/8D$ (D :ノズル直径)における主流方向平均流速及びその変動強度の半径方向プロファイルについて、供試体実験値との比較を Fig.2.4.6-8 に示す。平均流速においては非常に良い一致を示しており、旋回ノズルによる旋回流入ジェットのプロファイルが捉えられている。また速度変動に関してはピークの絶対値に過小評価が見られるが、分布は定性的に一致する。

輻射を考慮した防火服表面の熱流束の解析 (消防研究センターご協力)：(図3)：消防研究センターにて実施したマネキン火傷実験と同じ条件で数値解析を実施することにより、防火服外部の3次元熱流体環境を明らかにする解析例である。FrontFlow/red に実装された RANS モデルと渦消散燃焼モデル及び、新規開発した輻射伝熱モデルを用い、火傷実験室と同じ寸法の計算領域をとり、中心に実寸大のマネキン人体モデルと、その周辺に8箇所に設置したバーナーを実験と同サイズなメッシュモデルを作成した。バーナーの燃料構成比と流量を実験計測より解析入力条件として設定し、火災中の化学反応と流れ場および伝熱分布を計算する。熱伝達の一部を担う熱輻射をも同時に計算する。その解析結果から、マネキン表面の熱流束分布を求め、実測値と比較し、実証検証を行った。

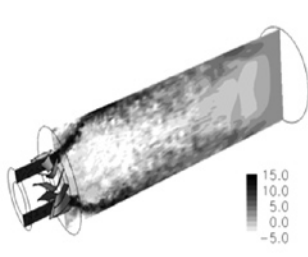


図1 瞬時主流方向速度分布

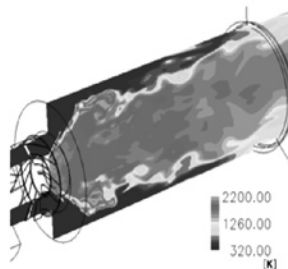


図2 瞬時温度分布

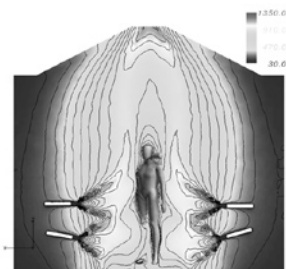


図3 マネキン人体表面熱流束分布と雰囲気ガス温度