



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(旧姓 谷口)、張 会来、坪倉 誠、山田英助、富永卓司、姜 玉雁、大西慶治
作成年月	2006年6月
コード名	FrontFlow-red version 2.8
使用言語	Fortran90

### 乱流燃焼解析ソフトウェア FrontFlow-red version 2.8

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 IT 基盤プログラム「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、2006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、新規に複数の RANS 乱流モデル、LES-Flamelet 燃焼モデル、圧力境界条件、非整数化学量論係数、任意反応指数と圧力依存性素反応モデル、NASA 熱物性フォーマットの自動読み込み、火災シミュレーション用の壁面熱分解境界、構造物との熱連成と、弱マッハ数近似、複数の新規ユーザサブルーチン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おこなった。

#### 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
- 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、数億要素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 (SR8000)、HP-UX、IBM AIX、NEC SR-6、SR-8、Windows XP、Windows 2000

#### 解析例

**ガスタービン燃焼器流れの実証計算** (左図)：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。

**外力場(磁場)の影響による素反応** (右図)：FrontFlow/red に磁場から誘起される磁気力を組み込んだ素反応燃焼の計算例を示す。重力と同様に運動量の保存方程式の外力項に磁気力を付加して計算を行った。FrontFlow/red ではこの外力項にユーザーサブルーチンが用意されており、本計算ではその機能を利用して磁気力を考慮した。

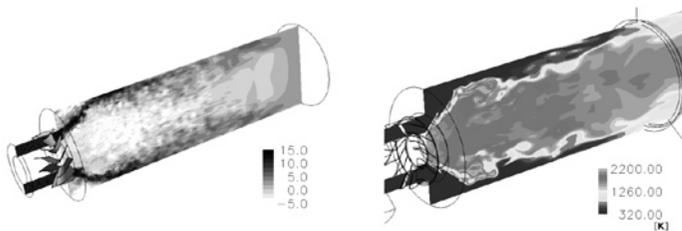


Fig. 1 (L) An instantaneous stream-wise velocity distribution.  
Fig. 2 (R) Instantaneous temperature distribution

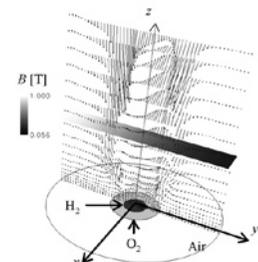


Fig. 3 Magnetically induced change in flow velocity on yz-plane