

分類	流体シミュレーション
キーワード	LES、有限要素法、流体機械、流体音解析
開発者	加藤千幸（機械・生体系部門）
作成年月	2007年3月
コード名	FrontFlow-blue version 5.0
使用言語	Fortran77

### 汎用流体解析コード FrontFlow-blue version 5.0

FrontFlow-blue は非定常流動を高精度に予測可能な Large Eddy Simulation (LES) に基づいた汎用流体解析コードである。本ソフトウェアは文部科学省ITプログラム「革新的シミュレーションソフトウェアの開発」プロジェクトのもとで開発され、2006年6月に公開された FrontFlow-blue の改訂版であり、2007年6月に公開を予定している。バージョン 5.0 では、Detached Eddy Simulation (DES)、熱輸送解析機能、四面体コードでのオーバーセット機能をサポートするとともに、計算スピードに関して、ベクトル・スカラマシンにおいて約2倍の向上を実現している。

#### コードの主な特徴

- 基礎方程式： 3次元非定常非圧縮性 Navier-Stokes 方程式
- 乱流モデル： LES（標準スマゴリンスキーモデル、ダイナミックモデル）、DES
- 時間積分法： 陽解法、陰解法（Crank-Nicolson 法）
- 離散化手法： 時間・空間2次精度 有限要素法
- 対応メッシュ：六面体、および四面体要素 移動・回転座標系/Overset メッシュに対応
- 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
- その他の機能：流体音響解析、キャビテーション解析、熱輸送解析

#### コードの概要

**流体解析：** FrontFlow-blue は非定常非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を基礎方程式系とした有限要素法による流体解析ソフトウェアである。非定常流れを高精度に予測することが可能な乱流解析手法である LES により、流体機械の内部流れ解析や流体騒音の音源予測が可能である<sup>1)</sup>。本バージョンより、LES と RANS のハイブリッド手法である DES もサポートする。また、複数の静止・回転座標系の混在に対応したオーバーセット法により、ポンプ等回転機械内部の流れや動静翼干渉を解析することができるほか、キャビテーションを伴う流れの解析も可能である。計算コードはベクトル計算機および

スカラー型並列計算機上で高速に動作するように最適化されており、自動化された最適領域分割・統合処理の実装によって、数百万～数億節点の大規模超並列計算にも対応している。

**流体音響解析**：音源となる物体表面の静圧変動を流体解析により計算し、Curleの式によって流れから発生する流体音（コンパクトな音源から発生する遠方場音）を予測することができる。

**キャビテーション解析**：均質流体モデルにより液体体積率の時間発展を計算し、キャビテーションを伴う非定常流れを解析することができる。

**熱輸送解析**：流体と固体中の熱伝導と、流体中の熱対流を考慮した熱輸送解析を行うことができる。流れを非圧縮として扱えるターボ機械内部等の熱輸送を計算対象としている。

### 動作確認プラットフォーム

IBM AIX、HITACHI HI-UX/MPP(SR8000)、HP HP-UX、SGI IRIX、NEC SUPER-UX(SX、地球シミュレータ)、DEC OSF/1 (Compaq/HP Try64 UNIX)、Sun Solalis、IA-32/IA-64 Linux 等

### 解析例

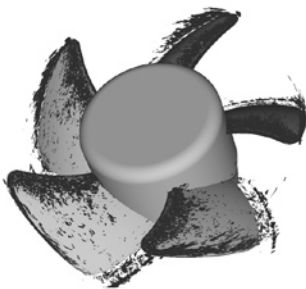
**プロペラファンの空力騒音予測**（左図）：翼端渦や前縁剥離渦などのプロペラファンにおける主要な渦構造が解像され、プロペラファンから発生する広帯域騒音スペクトルの定量的予測が可能となっている。図は、速度勾配テンソルの第二不変量の等値面である。

**斜流ポンプ内部流れ解析**（中央図）：本バージョンより、四面体コードのオーバーセット機能が実装され、四面体コードによるターボ機械の内部流れ解析が可能となった。図は、四面体コードにより、斜流ポンプ表面の圧力分布を予測した結果である。

**非定常キャビテーション解析<sup>2)</sup>**（右図）：フランス水車のドラフトチューブ内部での非定常キャビテーションの振る舞いを解析した。ある瞬間におけるポイド率5%の等値面を描くことで、ランナーの上流で発生するキャビティを可視化している。

### 関連文献

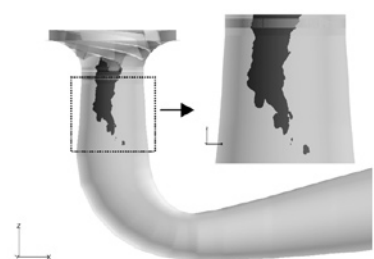
- 1) Kato, C., et al, (2007), *Computers & Fluids*, vol.36, pp.53-68.
- 2) Guo, Y., et al, (2006), *Proceedings of the 23rd I.A.H.R. Hydraulic Machinery*, No.F195.



プロペラファンの空力騒音解析  
渦構造の可視化



(本田技術研究所 提供)  
斜流ポンプ内部流れ解析  
ポンプ表面の圧力分布



非定常キャビテーション解析  
ドラフトチューブ内のキャビティ