

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	2010年3月
コード名	FrontFlow/blue version 6.1
使用言語	Fortran77、Fortran90

### 汎用流体解析コード FrontFlow/blue version 6.1

FrontFlow/blue は非圧縮流体の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次世代IT基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤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た。本バージョンは、2009年6月に公開された FrontFlow/blue version 5.3 の改訂版をベースに、汎用性および機能を大幅に改善させたシステムであり、2010年6月に公開を予定している。本バージョンでは、混合要素対応機能、メッシュの自動Refine機能および高速化技術を実装した新しい流れソルバーを公開する。これにより、メッシュ作成作業負荷の軽減、最大1,000規模の大規模解析、計算の高速化（六面体で最大2倍）が実現される。また、大規模な音響解析を可能とする音響ソルバーも公開する。

### 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、三角柱、ピラミッドおよび四面体要素  
移動・回転座標系/Oversetメッシュ、メッシュの自動 Refine 機能
- 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。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。本バージョンより混合要素メッシュに対応したことにより、メッシュ作成の作業負荷が軽減された。計算コードはベクタマシンおよびスカラマシン上で高速に動作するように最適化されており（新ソルバーについてはスカラマシンにのみ対応であるが、今後ベクタマシンも対応予定）、自動化された最適領域分割・統合処理およびメッシュの自動 Refine 機能の実装によって、1000 億点規模の大規模超並列計算にも対応している。

**流体音響解析**：Curle の式のほか、本バージョンより音響解析ソルバーをサポートする。

**キャビテーション解析**：均質流体モデルに基づくキャビテーション解析機能を実装。

**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。

## 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

**プロペラファンの騒音解析**（左図）：直径 80mm、回転数 3400rpm のファンについて、六面体 500 万メッシュの解析を行い、翼周りの渦構造や翼・ストラット間の干渉を高精度に捉えている。

**乱流予測精度の検証解析**（中央図）：混合メッシュ（三角柱、四面体）を用いたチャンネル内乱流の計算により乱流境界層プロファイルを精度良く予測できることを確認している。

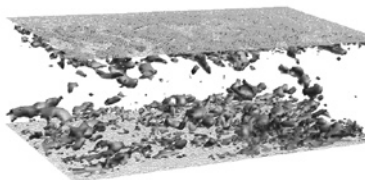
**空力騒音解析**（右図）：音響解析ソルバーの検証計算。計算結果を他の音響解析ソフトと比較し、同等の結果であることを確認している。現状で、64 並列 6000 万メッシュの大規模解析が可能であることを確認している。

## 関連文献

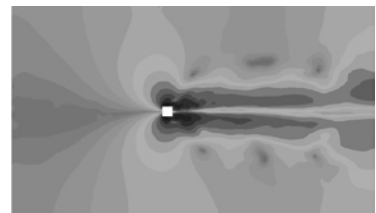
- 1) Kato, C., et al, (2007), *Computers & Fluids*, vol. 36, pp.53-68.



プロペラファンの騒音解析



乱流予測精度の検証解析  
チャンネル内乱流（混合要素を使用）



空力騒音解析  
角柱まわり流れから発生する空力騒音

（執筆責任者：加藤千幸）