



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	2006年6月
コード名	FrontFlow-blue version 4.0
使用言語	Fortran77

### 汎用流体解析コード FrontFlow-blue version 4.0

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、2005年6月に公開された FrontFlow-blue の改訂版であり、2006年6月に公開する。バージョン 4.0 での追加機能は、四面体計算格子のサポート、キャピテーションモデルの実装、等である。

#### 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
- 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
- 流体音響解析： 音響学的類推手法（Curle の式）
- キャピテーション解析： 均質流れの仮定に基づく気泡の発生・消滅モデル

#### 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、キャピ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、数百万～1億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。

#### 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

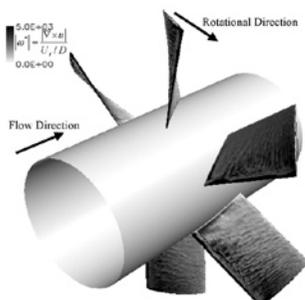
**軸流ファン動翼周りの解析** (左図)：ファンから発生する騒音を精度良く解析するため、翼面上に発達する乱流境界層を解像する大規模なLES解析を行った。解析に用いた計算格子点数は、約3,000万点である。図に示す翼面上における渦度絶対値の分布では、乱流境界層中に現れる縦渦構造が確認できる。これは、乱流境界層中の非定常特性を捉えていることを示唆している。

**物体まわり剥離流れ解析** (中央図)：六面体要素に加え、新たに四面体要素をサポートする。計算コストは自由度ベースで六面体要素と同程度である。また、基礎検証においては、六面体要素による解析と同程度の精度が得られることを確認している。図は、物体まわり剥離流れに対して行った検証結果である。ここでは、物体に作用する流体力を予測できることが確認されている。

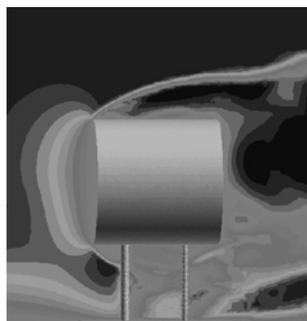
**非定常キャビテーション解析** (右図)：ロケットエンジンポンプ内に装備されるインデューサにおけるキャビテーション流れの解析を行った。図は翼面近傍とインデューサ上流に形成されるキャビティの空間分布を示している。ハブ側前縁部と翼端の広範囲でのキャビテーションの発生が確認できた。

#### 関連文献

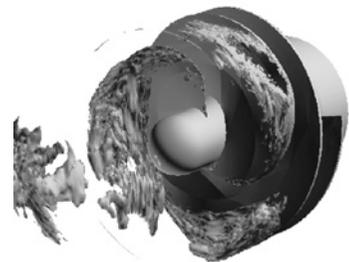
①加藤千幸・他2名、日本機械学会論文集、58-552、B (1992). ②加藤千幸・他3名、日本機械学会論文集 60-569、B (1994). ③加藤千幸、日本機械学会論文集 71-711、B (2005). ④山出吉伸・他3名、第19回数値流体力学シンポジウム学会論文集 E5-4 (2005). ⑤郭陽、加藤千幸、第19回数値流体力学シンポジウム学会論文集 E5-5 (2005). ⑥西村香純・他4名、日本機械学会流体工学部門講演論文集 1515 (2005).



軸流ファン動翼周りの解析  
動翼面上での渦度分布



物体まわり剥離流れ解析  
主流方向速度分布



非定常キャビテーション解析  
ボイド率の空間分布