



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	2009年3月
コード名	FrontFlow-blue version 5.3
使用言語	Fortran77

汎用流体解析コード FrontFlow-blue version 5.3

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「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、2007年12月に公開された FrontFlow-blue の改訂版であり、2009年6月に公開を予定している。バージョン 5.3 では、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」プロジェクトで開発した流れソルバーの高速化技術を四面体ソルバーに実装することにより、約2倍の高速化を実現している。

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。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

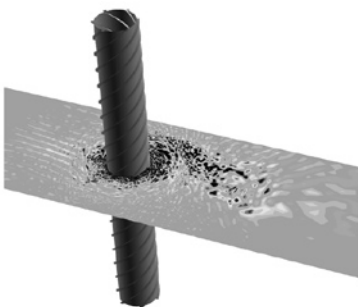
回転円柱まわり流れ解析 (左図)：マグナス風車の揚力発生部である回転円柱まわり流れ解析を行い、円柱表面に設置されたフィンの効果による揚力上昇のメカニズムが解明された。

ゴルフボールまわり流れ解析 (中央図)：ディンプル形状、回転条件、速度等の諸条件とゴルフボールの空力性能の関係を高精度に予測するため、ゴルフボールまわりの流れ解析を行なった。

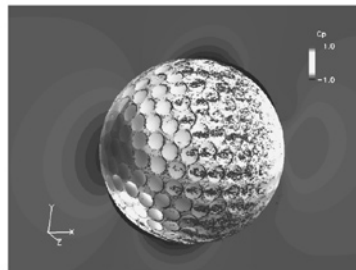
斜流ポンプ内部流れ解析 (右図)：斜流ポンプ不安定特性の解明および全流量域における水力性能の高精度予測を目的に斜流ポンプ内部流れ解析を実施した。不安定特性を含め、水力性能を高精度に予測できることが確認された。

関連文献

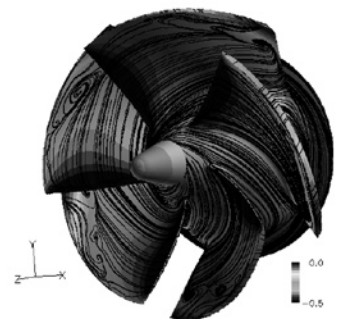
1) Kato, C., et al, (2007), *Computers & Fluids*, vol.36, pp.53-68.



回転円柱まわり流れ解析
渦度の回転軸成分



ゴルフボールまわり流れ解析
圧力分布および渦の可視化



斜流ポンプ内部流れ解析
羽根車表面の圧力および流線
(株式会社日立製作所 提供)