



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」  
 次世代流体解析システム「FrontFlow-blue version 3.0」  
 -Large Eddy Simulation (LES) に基づく有限要素法流体解析プログラム-  
 IT program MEXT, "Frontier Simulation Software for Industrial Science"  
 Fluid Dynamics Simulation: The Next Generation, "FrontFlow-blue version 3.0"  
 -Finite Element Method program for flow analysis based on Large Eddy Simulation-  
 東京大学生産技術研究所 ————— 計算科学技術連携研究センター

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	2005年3月
コード名	FrontFlow-blue version 3.0
使用言語	Fortran77

### 汎用流体解析コード FrontFlow-blue version 3.0

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、2004年5月に公開された FrontFlow-blue の改訂版であり、2005年6月に公開を予定している。本バージョンでは、安定な行列解法アルゴリズム (Residual Cutting Method) の実装により解析の安定化を実現した。また、運動方程式に陰解法を適用することにより約 50% の計算コストの削減を実現した。

#### 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
- 離散化手法： 時間・空間2次精度 有限要素法
- 対応メッシュ： 8節点6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
- 流体音響解析手法： 音響学的類推 (Curle の式)

#### コードの概要

**流体解析：**本コードは非定常非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を時間・空間ともに2次精度を有する有限要素法により離散化した流体解析コードである。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。さらに、均質流れの仮定に基づくキャビテーションの発生・消滅モデルを実装しており、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。

#### 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/I (Compaq/HP Try64 UNIX)、Sun Solalis、IA-32/IA-64 Linux 等

#### 解析例

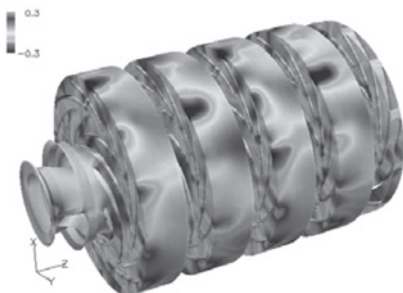
**流体機械内部流れの解析** (左図)：領域分割法および Overset メッシュを用いた超並列計算機上での大規模解析により、流体機械内の非定常流動現象を高精度に予測することができる。図左は多段遠心ポンプ内の設計点における流動を解析した例である。17個の領域、約3,700万要素からなる解析メッシュと Dynamic Overset 機能を用いて解析を行った。圧力脈動のスペクトルは実験結果と良く一致しており、定量的な予測が可能であることを確認した。

**流体音解析** (中央図)：低騒音設計に重要な、流体騒音のスペクトル予測や音源分布の予測が可能である。中央の図はドアミラー周り流れ場における渦度分布である。LES 解析で得られた物体表面の静圧変動データを用い、Curleの式に基づいた音響解析コードにより流体音を予測した。予測結果を実験結果と比較したところ、良好なスペクトル精度が得られることを確認した。

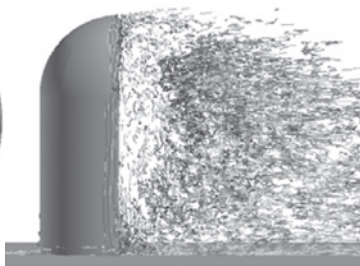
**ファン騒音解析** (右図)：乱れを伴った流れが流入する場合の軸流ファンまわりの流れや発生する騒音を計算した結果である。一般に、乱れを伴った流れが流入すると、迎え角の急激な変動により、ファンから発生する騒音が急増することが知られているが、本解析でもその予測が可能であることを確認した。今後、実験値とのより詳細な比較を実施する予定である。

#### 関連文献

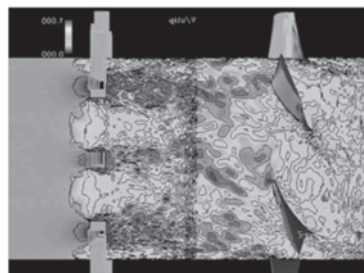
1) 加藤千幸・他2名、日本機械学会論文集 **58**-552、B、pp.2624-2631 (1992). 2) 加藤千幸・他3名、日本機械学会論文集 **60**-569、B、pp.126-132 (1994). 3) Kato, C., et al., *Trans. ASME*, **70**, pp.32-43 (2003). 4) Yamade, Y. et al, *Proceeding of the 6<sup>th</sup> TFEC* (2004). 5) 王 宏、加藤千幸、第18回数値流体力学シンポジウム学会論文集 p80 (2003). 6) Hauke, R. 他2名、第18回数値流体力学シンポジウム学会論文集 p118 (2003).



液体機械内部流れの解析例  
機械表面の圧力変動成分



液体音解析例(1)  
ドアミラー周りの渦構造



液体音解析例(2)  
ファン内部流れにおける渦構造