



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、流体音響解析
開発者	加藤千幸 (第2部)
作成年月	2004年3月
コード名	FrontFlow-blue
使用言語	Fortran77

汎用流体解析コード FrontFlow-blue

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。形状適合性に優れた有限要素法による離散化を採用し、ファン/ポンプ等の流体機械や複雑形状まわりの非定常乱流や流れから発生する騒音の予測が可能である。

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た。本プロジェクトの WEB ページより2004年5月に公開を予定している。

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
- 離散化手法： 時間・空間2次精度 上流化有限要素法
- 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 (Curlé 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可能な乱流解析手法である LES により、流体機械の低流量における不安定現象の解析や流体騒音の音源予測が可能である。また、複数の移動・回転座標系の混在に対応した Multi-Frame-of-Reference Dynamic Overset 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、キャビテーション流れのモデル化として、均質流れの仮定に基づく発生・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、Curlé 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 (SR800)、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

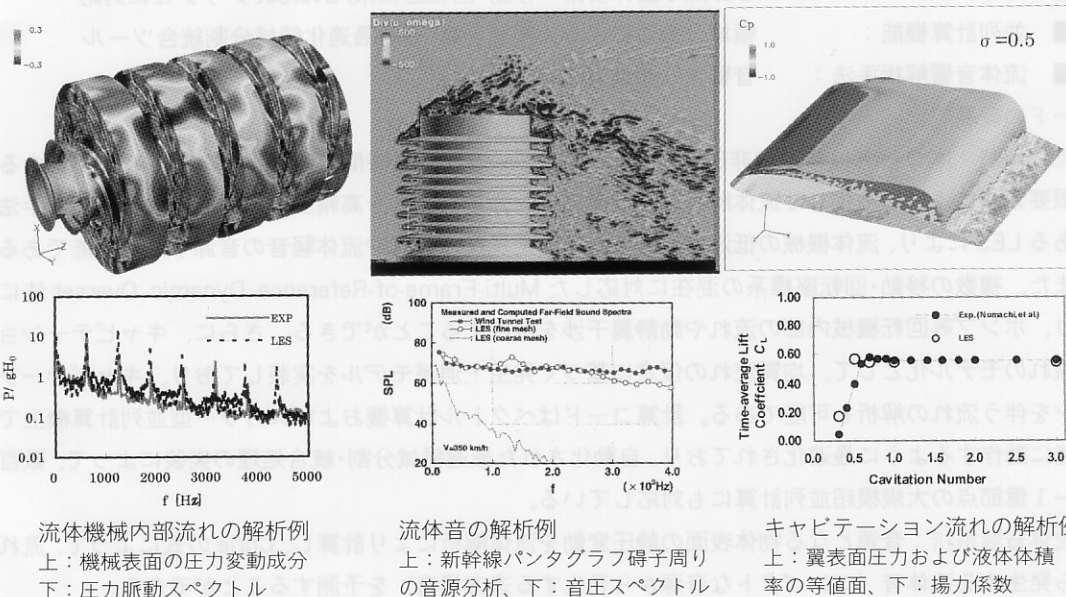
流体機械内部流れの解析(左図)：領域分割法および Overset メッシュを用いた超並列計算機上での大規模解析により、流体機械内の非常常流動現象を高精度に予測することができる。図左は多段遠心ポンプ内の非設計点における流動を解析した例である。17個の領域、約3700万要素からなる解析メッシュと Dynamic Overset 機能を用いて解析を行った。圧力脈動のスペクトルは実験結果と良く一致しており、定量的な予測が可能であることを確認した。

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。中央の上図は新幹線パンタグラフ碍子まわりの流れにおける流体騒音源の分布である。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(下図)。

キャビテーション流れ解析(右図)：ポンプや水車などの流体機械においては、機械の運転条件によりキャビテーションの発生を伴う場合があり、機器の設計段階において、キャビテーションの影響を正確に評価しておくことが重要である。右図は二次元翼 (Clark-Y12%) まわりのキャビテーション流れの解析例であり、揚力係数、抗力係数を定量的に予測できることを確認した。

関連文献

- 1) 加藤千幸・他 2 名、日本機械学会論文集、58-552、B、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., Fans. ASEM, JAM, 70-1、pp.32-43 (2003)。
- 4) 加藤千幸・他 2 名 第16回計算力学講演論文 (2003)。
- 5) 王宏・他 4 名、第19回 TSFD シンポジウム講演論文 p.11-17 (2004)。



流体機械内部流れの解析例
上：機械表面の圧力変動成分
下：圧力脈動スペクトル

流体音の解析例
上：新幹線パンタグラフ碍子周りの音源分析、下：音圧スペクトル

キャビテーション流れの解析例
上：翼表面圧力および液体体積率の等値面、下：揚力係数