

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」
 —Large Eddy Simulation (LES)に基づく有限要素法流体解析プログラム—
 IT program of MEXT, "Frontier Simulation Software for Industrial Science"
 Fluid Dynamics Simulation: The Next-Generation, "FrontFlow"
 —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

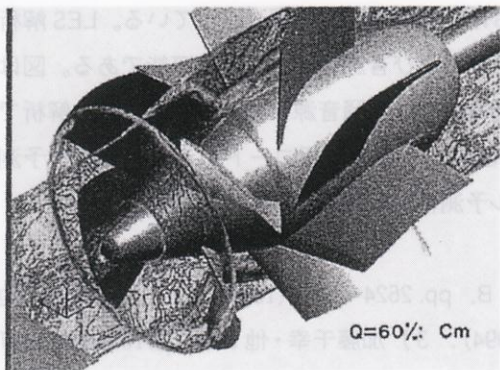
分類	流体シミュレーション
キーワード	LES、流体音響解析、有限要素法、並列計算
開発者	加藤千幸 (第2部)
作成年月	2003年3月
コード名	FrontFlow/blue
使用言語	Fortran 77

汎用流体解析コード —FrontFlow/blue—

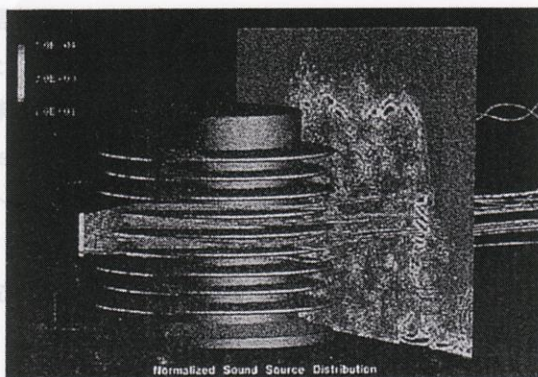
FrontFlow/blue は非圧縮性流体の非定常流動を高精度に予測可能な Large Eddy Simulation (LES) に基づいた汎用流体解析コードである。形状適合性に優れた有限要素法による離散化を採用し、ファン/ポンプ等の流体機械や複雑形状物体周りの非定常乱流の解析および流れから発生する騒音の予測が可能である。

～コードの主な仕様～

- 基礎方程式： 三次元非定常非圧縮 Navier-Stokes 方程式
- 離散化手法： 時間・空間二次精度 上流化有限要素法
- 対応メッシュ： 八節点・六面体要素 移動・回転座標系/Overset メッシュに対応
- 領域分割： 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
- ベクトル/超並列計算： ベクトル計算機/超並列計算機による高速計算・PC クラスタに対応



流体機械 (ポンプ) 内部の流動解析例



新幹線パンタグラフ碍子周りの流れと音源分布

- 入出力データ形式： 汎用データフォーマット GF (General File) 形式
- 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：本コードは基礎方程式である非定常非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を時間・空間ともに二次精度を有する上流化有限要素法により離散化した有限要素法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、流体機械の低流量域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。LES のサブグリッドスケール・モデルとして、壁面減衰関数を用いた標準 Smagorinsky モデルおよび Germano らにより提案された Dynamic Smagorinsky モデルが実装されている。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 Mesh 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。計算コードはベクトル計算機およびスカラ型超並列計算機上で高速動作するよう最適化されており、自動化された最適領域分割・統合処理を実装した領域分割法によって、数百万～1億節点規模の大規模超並列計算に対応する。

流体音響解析：流体解析により音源を計算し、Lighthill の音響理論から導かれた Curle の式によって流れから発生する流体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,
DEC OSF/1 (Compaq/HP Tru64 UNIX), Sun Solaris, IA-32/IA-64 Linux 等

解析例

流体機械内部流れの解析 (解析例 1：流体機械内部の流動解析/前ページ左)：超並列計算機上での領域分割法および Overset メッシュを用いた大規模解析により、流体機械内の乱流を伴う非定常流動現象を高精度に解析することができる。図は FrontFlow/blue により流体機械の非設計点 (低流量域) における不安定流動を解析した例である。5つの領域、約500万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い、不安定流動現象を予測した。また、実験結果 (LDV 計測) と比較を行い、良好な精度で予測が行われたことを検証した。

流体騒音解析 (解析例 2：新幹線パンタグラフ碍子周りの流れと音源分布/前ページ右)：流体騒音の予測と低減は、流体機械や高速車両における低騒音設計における重要な設計課題となっている。LES 解析によって、低騒音設計に重要な、流体騒音のスペクトル予測および音源分布の予測が可能である。図は新幹線パンタグラフ碍子まわりの流れにおける流線の一部および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。予測結果は実験結果と比較され、良好なスペクトル予測精度が得られることを確認した。

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) 加藤千幸・他3名、第16回生研 NST シンポジウム講演論文集、pp.48-59 (2001)。
- 4) Kato, C., et al., Trans. ASME, J. Applied Mech., 70-1, pp. 32-43 (2003)。