

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー



2012年11月22日(木)開催

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

<http://www.advancesoft.jp/>

本日のプログラム



- 13:30～13:35 当社のご紹介
- 13:35～14:00 Advance/FrontFlow/redの概要
- 14:00～14:45 新機能のご紹介&開発ロードマップ
- ・セル中心法追加
 - ・スライディング機能の安定性強化、
 - ・複数マテリアルAMG高速化
 - ・Ghost Fluid法を用いた圧縮性二相流解析機能
 - ・レベルセット法
- 14:45～15:00 (休憩)
- 15:00～16:00 ユーザー様事例紹介
- ・大規模解析例
 - パンタグラフ周りの流動解析(並列数1024での性能評価)
 - ・カスタマイズによる詳細解析例
 - ガスタービン燃焼器内の現象解明をめざした対向衝突噴流混合の解析
 - 降下火山灰影響評価のための噴煙柱の数値流体解析
 - ・原子力分野での活用例
 - 超臨界圧流体のクロスフロー量への影響評価(非公開)
 - アクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関して
 - その他数件
- 16:00～16:15 プリポストプロセッサAdvance/REVOCAPの機能・改良
- 16:15～16:45 流体との連成が可能な音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise
価格及び関連サービス紹介
- 17:00～18:00 懇親会

アドバンスソフト株式会社について

2012年11月22日(木)開催

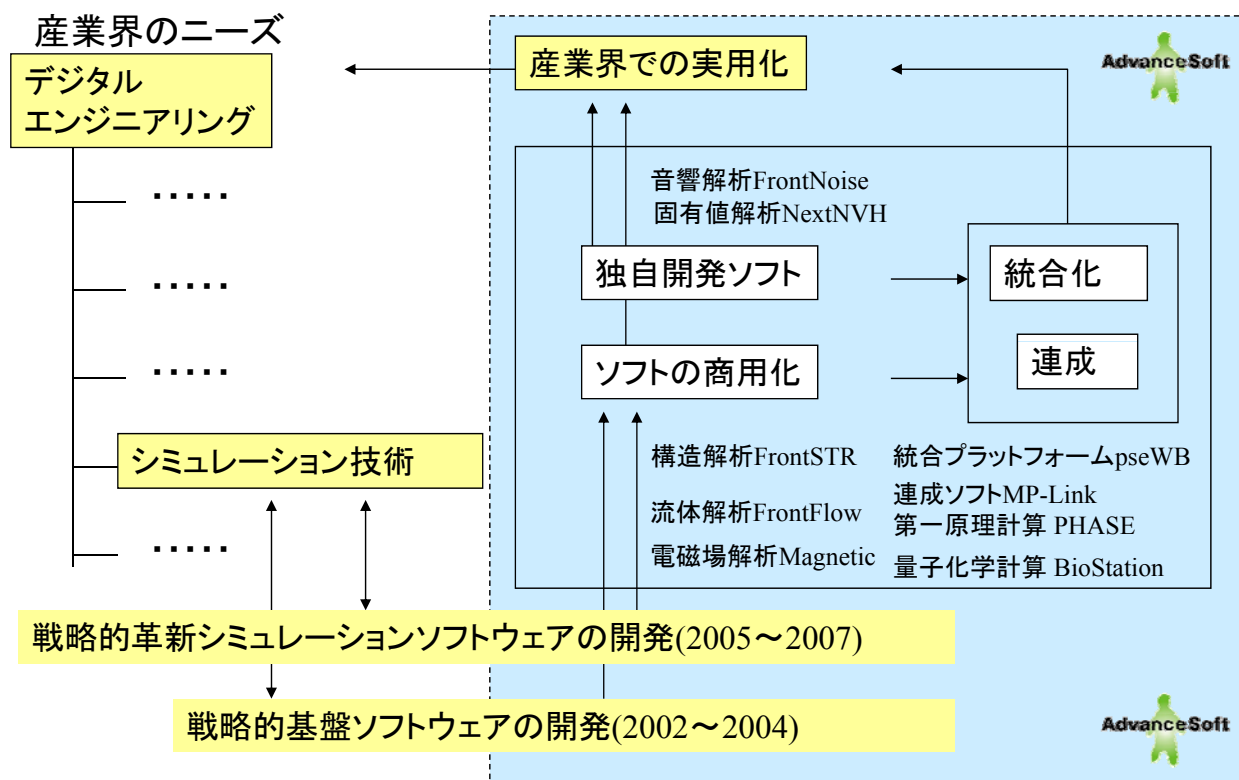
技術第3部

中森 一郎



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

アドバンスソフトとは



会社概要



名称 アドバンスソフト株式会社

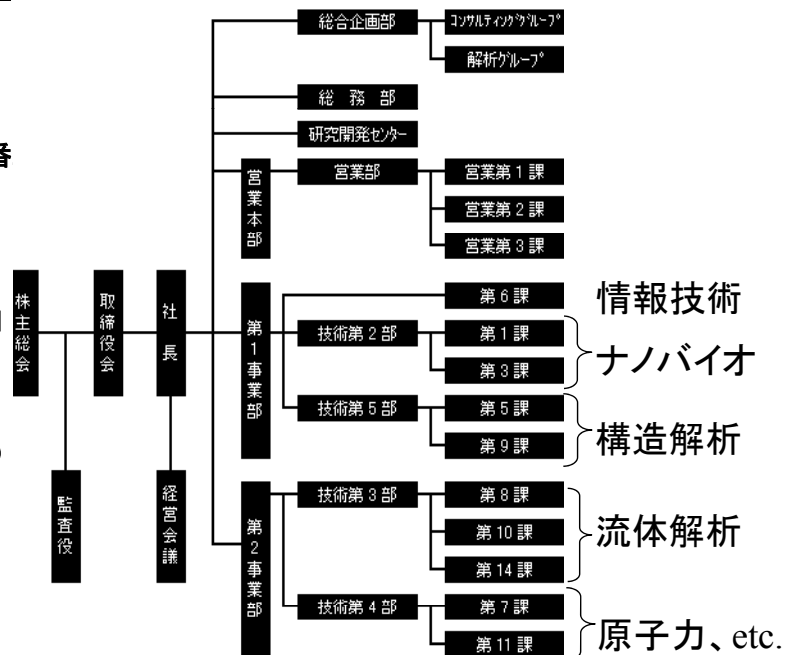
英文名 AdvanceSoft Corporation

本社 〒107 - 0052
東京都港区赤坂1丁目9番
第16興和ビル南館 7階
TEL: 03 - 5570 - 1680
FAX: 03 - 5570 - 1684

設立 2002年（平成14年）4月24日

資本金 3,724万円

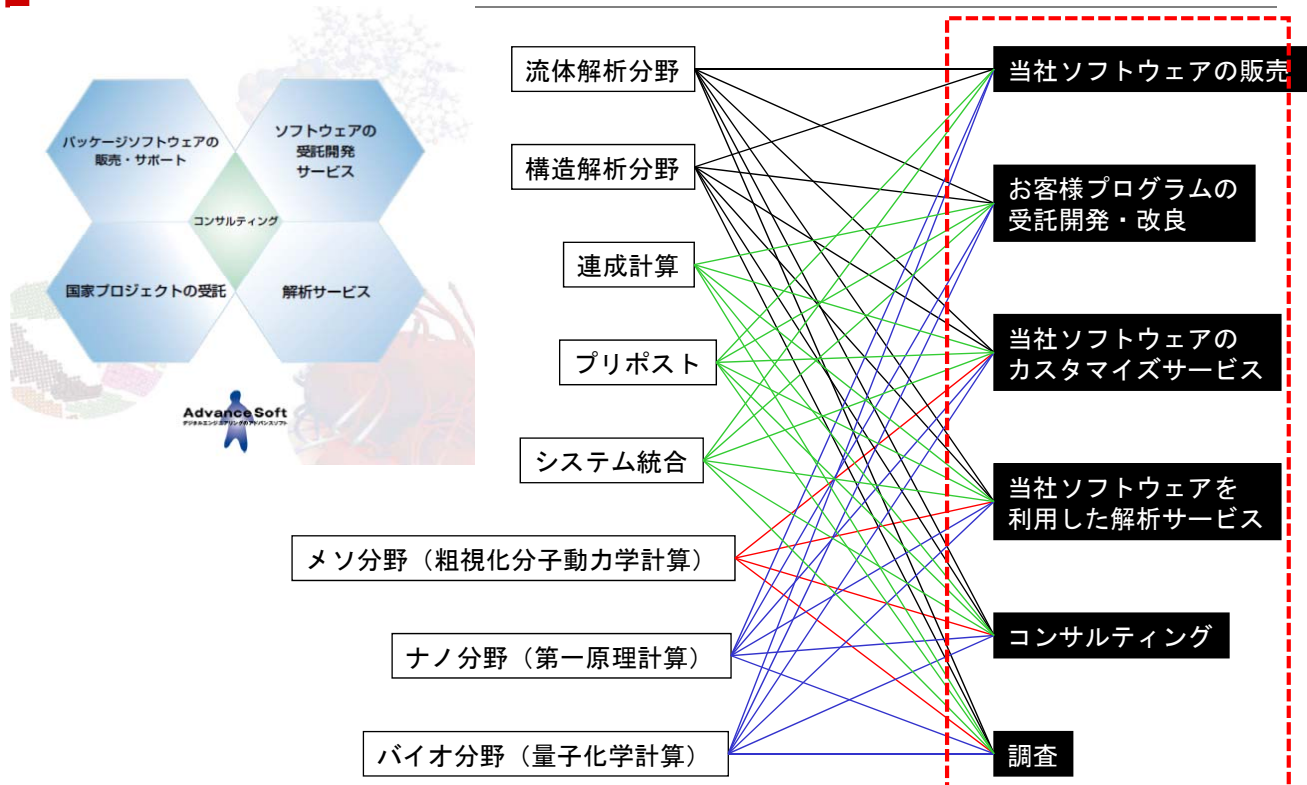
従業員数 63名（2012年10月1日現在）



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

3

アドバンスソフトの事業分野と事業内容



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

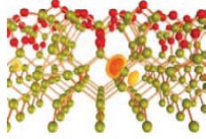
4

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア



ナノ

Advance/PHASE

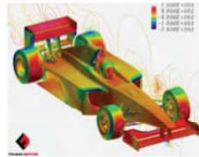


Advance/TFLAGS

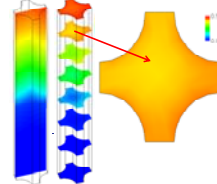


流体

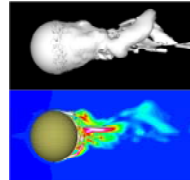
Advance/FrontFlow/red



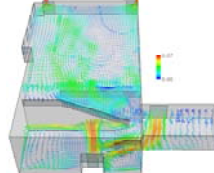
Advance/FrontFlow/MP



Advance/FrontFlow/FOCU

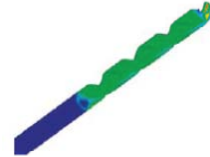


Advance/EVE SAYFA



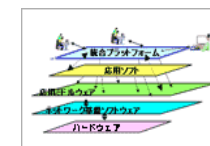
構造

Advance/FrontSTR



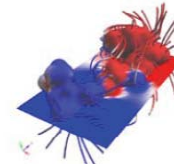
統合プラットフォーム

Advance/PSE Workbench

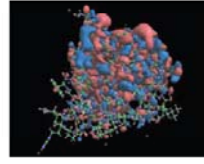


バイオ

Advance/BioStation

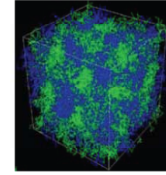


Advance/ProteinDF

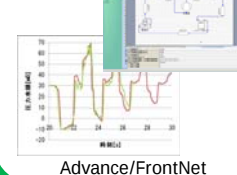


メゾ

Advance/OCTA



管路系



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

5

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア



ソフトウェア名称	解析内容
Advance/FrontFlow/red	流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/MP	気液二相流解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/FOCUS	高速流解析ソフトウェア
Advance/EVE SAYFA	都市安全・環境シミュレータ
Advance/FrontNet	管路系1次元流体解析ソフトウェア
Advance/FrontSTR	汎用構造解析ソフトウェア
Advance/FrontNoise	騒音解析ソフトウェア
Advance/REVOCAP	構造解析・流体解析プリポストプロセッサ
Advance/PSE Workbench	統合プラットフォーム
Advance/PHASE	第一原理バンド計算ソフトウェア
Advance/DESSERT	半導体デバイスシミュレータ
AMDS(Advance/MaterialDesignSystem)	材料設計統合システム
ABaS(Advance/BatteryDesignSystem)	2次電池CADシステム
ADBS(Advance/BioStation)	大規模タンパク質の量子化学計算解析ソフトウェア
Advance/ProteinDF	大規模タンパク質の全電子計算ソフトウェア
Advance/OCTA	ソフトマテリアル統合シミュレータ
TFLAGS	薄膜成長シミュレータ

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

6

アドバンスソフトの流体解析ソフトウェア



アドバンスソフトで開発した流体解析ソフトウェア

流体解析ソフトウェア

Advance/FrontFlow/red
Advance/FrontFlow/MP(気液二相流)

高速流解析ソフトウェア

Advance/FrontFlow/FOCUS

管路系流体解析ソフトウェア

Advance/FrontNet/ Ω (液体)
Advance/FrontNet/ Γ (気体)
Advance/FrontNet/TP(気液二相流)

専用流体解析ソフトウェア

Advance/EVE SAYFA(都市安全)
Advance/FrontNoise(騒音)
超音速二相流解析ソフトウェア
M-SphyR(生体血流)
塗布乾燥シミュレータ

業務で利用している他機関の流体解析ソフトウェア

原子力安全解析 RELAP5, TRACE, COBRA
火災解析 FDS, CFAST
気象・大気拡散解析 RAMS, HYPACT

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

7

本日のプログラム



13:30~13:35 当社のご紹介

13:35~14:00 Advance/FrontFlow/redの概要

14:00~14:45 新機能のご紹介&開発ロードマップ

- ・セル中心法追加
- ・スライディング機能の安定性強化、
- ・複数マテリアルAMG高速化
- ・Ghost Fluid法を用いた圧縮性二相流解析機能
- ・レベルセット法

14:45~15:00 (休憩)

15:00~16:00 ユーザー様事例紹介

- ・大規模解析例
 - パンタグラフ周りの流動解析(並列数1024での性能評価)
- ・カスタマイズによる詳細解析例
 - ガスタービン燃焼器内の現象解明をめざした対向衝突噴流混合の解析
 - 降下火山灰影響評価のための噴煙柱の数値流体解析
- ・原子力分野での活用例
 - 超臨界圧流体のクロスフロー量への影響評価
 - アクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関して
- その他数件

16:00~16:15 プリポストプロセッサAdvance/REVOCAPの機能・改良

16:15~16:45 流体との連成が可能な音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise
価格及び関連サービス紹介

17:00~18:00 懇親会

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

8



<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

AdvanceSoft



流体解析ソフトウェア Advance/Flow/red最新動向セミナー

9

Advance/FrontFlow/redの概要

2012年11月22日(木)開催

技術第3部

杉中 隆史



Advance/FrontFlow/redとは



- ・3次元の熱流体解析ソフトウェア
- ・圧力、速度、温度(固体熱伝導を含む)、物質拡散、燃焼、騒音、キャビテーション、粒子挙動を解析するためのソフトウェア

Advance/FrontFlow/redの特長

- ①文部科学省のプロジェクトで開発したFrontFlow/redをアドバンスソフトが改良・実用化したソフトウェア → 国産のソフトウェア

世界トップ水準のシミュレーションソフトウェアを作る国家プロジェクト

「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクト（2002～2004年度）

「革新的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(2005～2007年度)

東大生産技術研究所が中核拠点

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)

← アドバンスソフトが
主要な開発を担当

Advance/FrontFlow/red Ver5.0 (現在)

← アドバンスソフトが
改良・実用化

- ②ラージ・エディ・シミュレーション (LES) による流体解析
③開発技術者によるお客様のサポート
④柔軟なカスタマイズ対応 → お客様が必要とする機能の追加

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

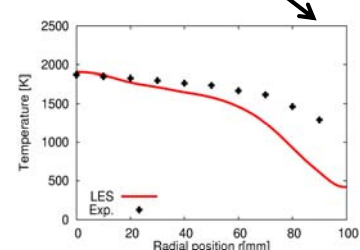
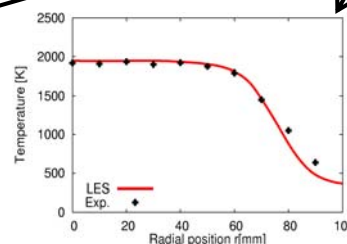
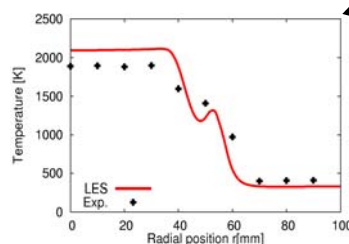
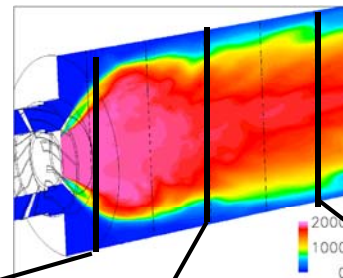
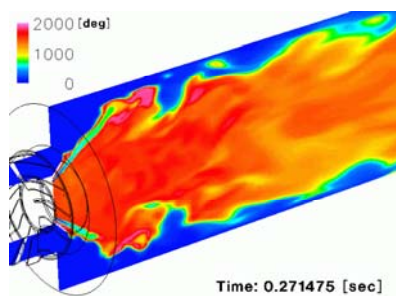
3

Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～燃焼解析

(例) ガスタービンの燃焼解析

温度(計算結果)

時間平均温度(計算結果)



時間平均温度(計算結果と実験結果)

ご協力: 三菱重工業株式会社、北大工 大島先生

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

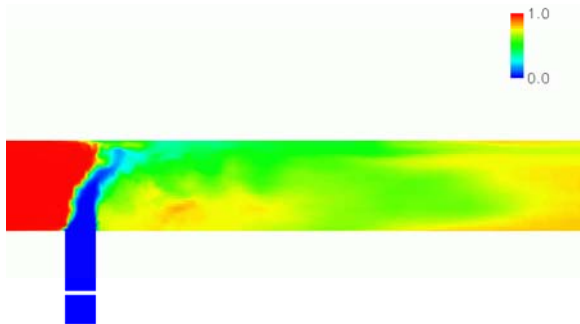
4

Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～温度解析



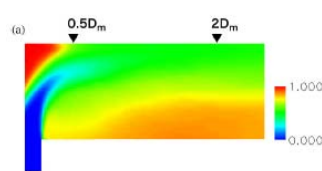
(例) 配管合流部における温度の混合解析

温度(計算結果)

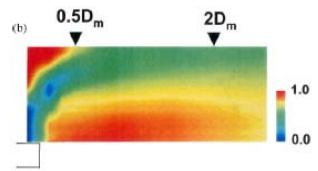


温度の時間平均値

(計算結果)

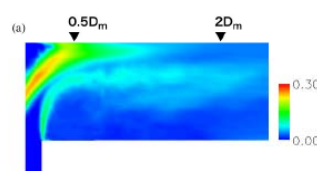


(実験結果)

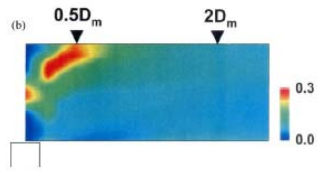


温度の変動強度

(計算結果)



(実験結果)



出典: 畝村他, "FrontFlow/Red によるT字形配管合流部における温度変動のラージ・エディ・シミュレーション", 第18 回数値流体力学シンポジウム (2004)

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

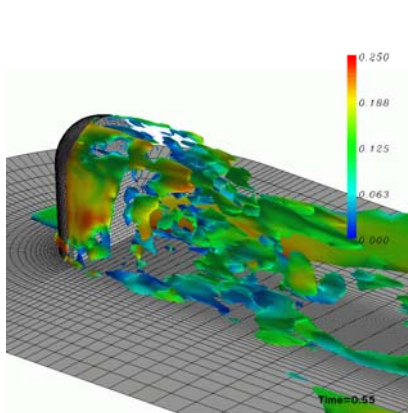
5

Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～騒音解析

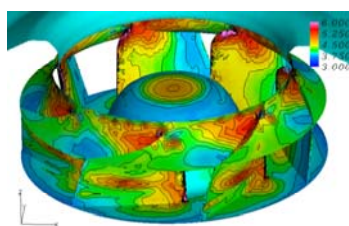


(例1) ドアミラーの騒音解析 (例2) ファンの騒音解析

ヘリシティ(計算結果)

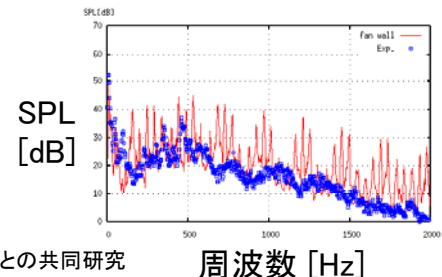


変動圧力(計算結果)



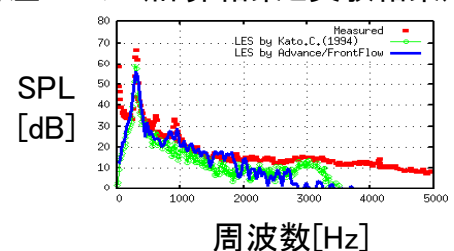
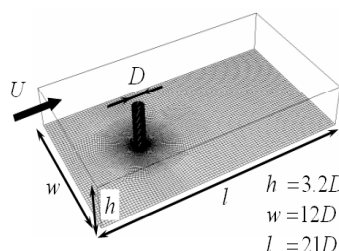
東プレ株式会社様との共同研究

音圧レベル(計算結果と実験結果)



(例3) 円柱周りの騒音解析

音圧レベル(計算結果と実験結果)



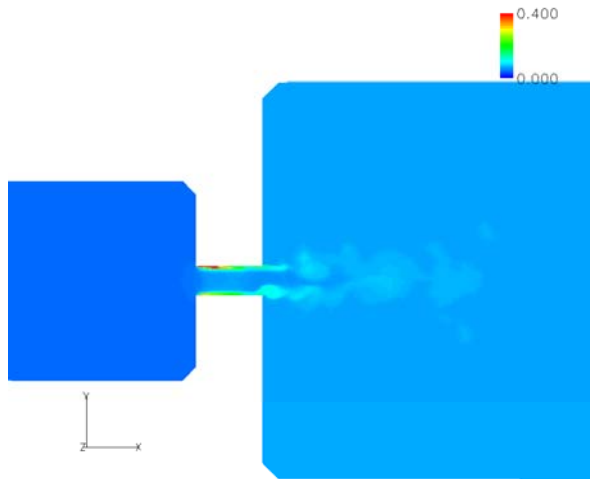
作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

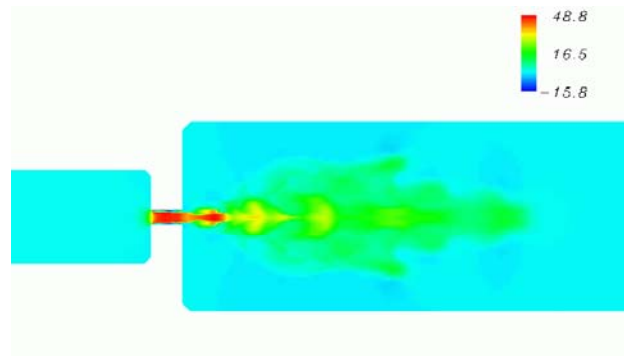
6

(例)オリフィス出口のキャビテーション解析

ボイド率(計算結果)

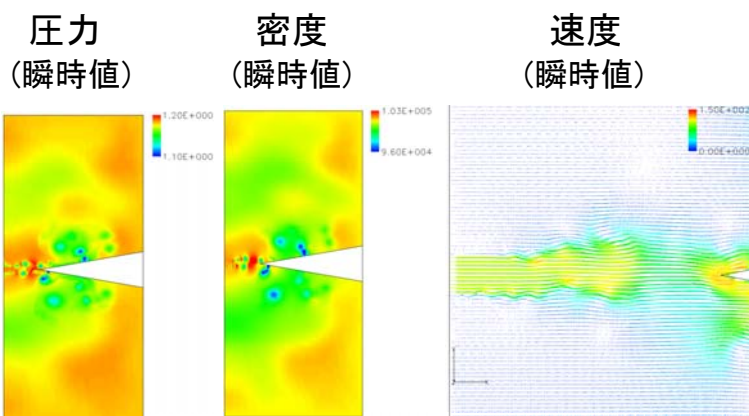


速度(計算結果)

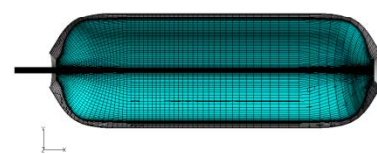
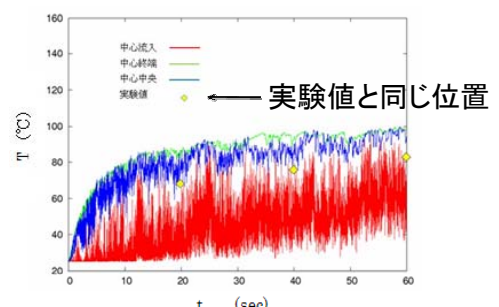


(例1) エッジトーンの圧力変動解析

(例2) 水素タンク急速充填時の温度解析(実在気体の状態方程式)



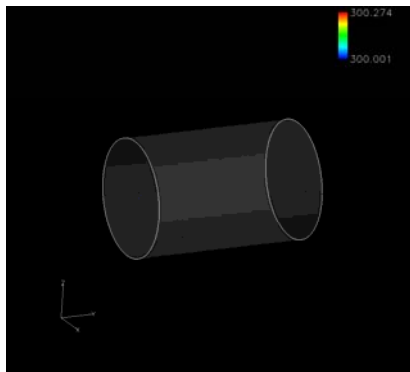
容器モデル形状


温度時間変化
(計算結果と実験結果)


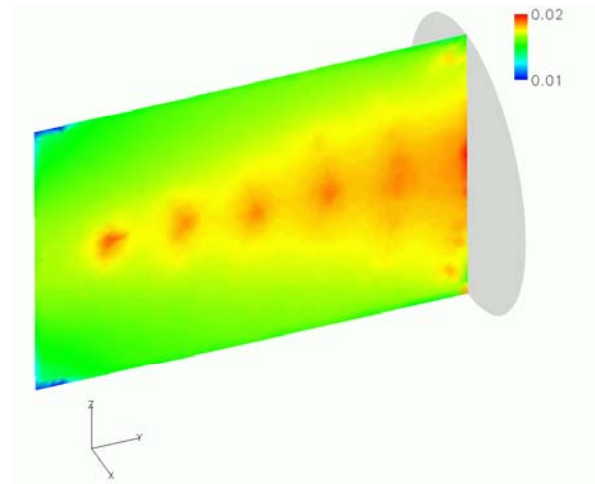
委託解析: 日本自動車研究所(JARI)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「水素社会構築共通基盤整備事業」の一環

(例) スプレーの液滴蒸発解析 (液滴と気体の相互作用を考慮)

液滴の温度



液滴が蒸発して発生した蒸気の質量分率

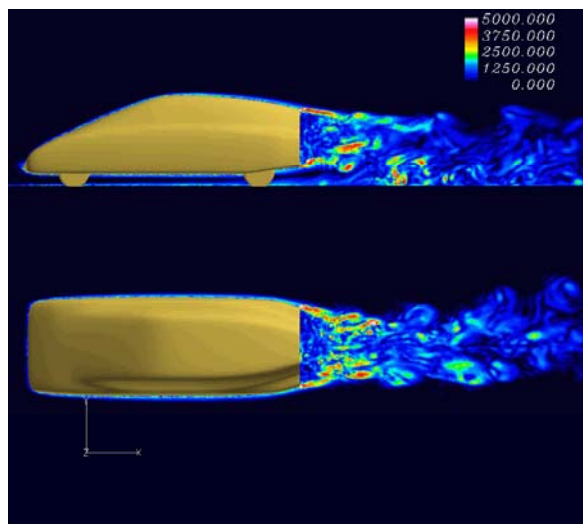
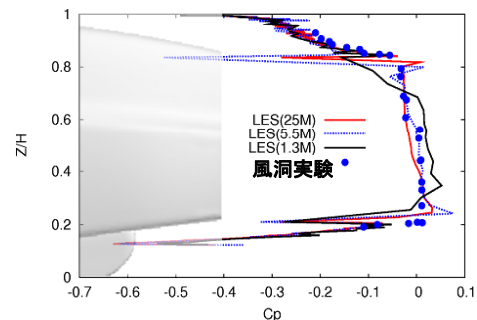


作成: 技術第3部 2012年11月

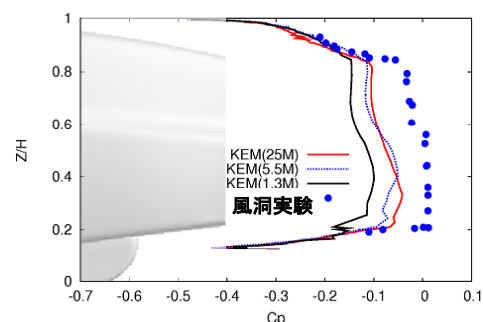
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

9

(例) 車体背後の壁面圧力の解析

ラージ・エディ・シミュレーション
と実験結果の比較

k-ε モデルと実験結果の比較



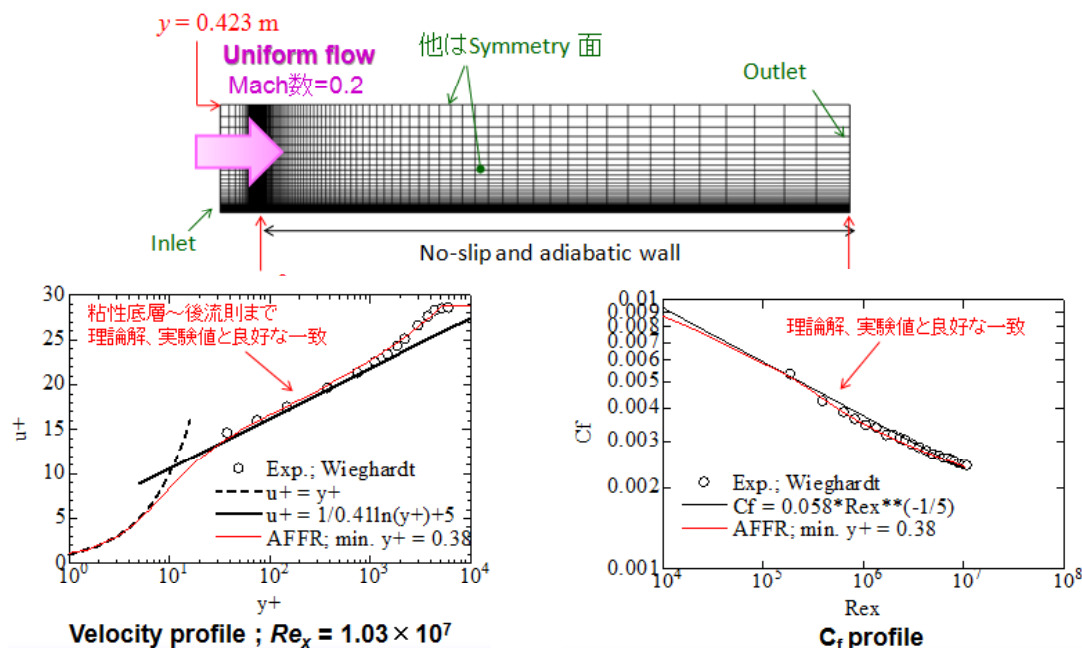
ご提供: 東京大学 生産技術研究所様 革新的シミュレーションPJ

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

10

(例) SST k- ω モデルによる平板の摩擦抗力係数の解析



作成: 技術第3部 2012年11月

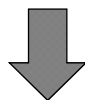
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

11

Advance/FrontFlow/redの機能

新バージョンに導入する機能と開発中の機能

- ・セル中心法の追加
- ・スライディング機能の安定化
- ・複数マテリアルAMGの高速化
- ・Ghost Fluid法を用いた圧縮性二相流解析
- ・レベルセット法



「新機能のご紹介&開発ロードマップ」で説明

Advance/FrontFlow/redの機能



項目	Advance/FrontFlow/red Ver5.0の機能
物理モデル	基本機能 : 定常／非定常／非圧縮性／圧縮性／低Mach数近似／強制対流／自然対流／固体-流体間の熱伝導(固体内部の複数材質を含む)
	乱流モデル : LES(標準Smagorinskyモデル、Dynamic Smagorinskyモデル)／DES(RANSはSSTモデルあるいはSpalart-Allmarasモデル)／DNS／低レイノルズ数型 $k-\varepsilon$ モデル／高レイノルズ数型 $k-\varepsilon$ モデル／RNG $k-\varepsilon$ モデル／CHEN $k-\varepsilon$ モデル／SSTモデル／渦粘性一定／低レイノルズ数効果を考慮した2層ゾーンモデル(Enhanced Wall Treatment)
	放射 : 有限体積法(壁面放射の波長依存)／モンテカルロ法／ゾーン法
	ガス燃焼・化学反応モデル : 素反応(逆反応、三体反応、圧力依存、ユーザー定義)／渦消散／総括反応(スス生成含む)／flameletモデル
	表面反応モデル : 素反応／Sticking吸着モデル／LHER表面総括反応モデル／Bohmプラズマモデル／マルチサイト(保存・非保存則アルゴリズム)／マルチ反応メカニズム／マルチバルク成長
	物性値 : 一定値／Sutherlandモデル／簡略化モデル／kinetic theory／実在ガスモデル
	粒子追跡機能(Euler-Lagrangian 2way) : 固体粒子と流体(気体でも液体でも可)の二相流／液滴と気体の二相流／液滴蒸発モデル

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

13

Advance/FrontFlow/redの機能



項目	Advance/FrontFlow/red Ver5.0の機能
物理モデル	騒音(乱流音) : Lighthill-Curlモデル／Ffowcs Williams and Hawkingモデル
	キャビテーション : 均質流モデル
	多孔質体モデル : ダルシー則／べき乗則
	自由表面 : VOF法(RANSと併用)／表面張力／壁の濡れ性
対応メッシュ	6面体(ヘキサ)／4面体(テトラ)／3角柱(プリズム)／4角錐(ピラミッド)／これらメッシュの混合／不連続接合格子／厚みのない壁
メッシュ関連	スライディングメッシュ機能(不連続接合格子)／移動格子／重合格子(現バージョンは1CPUのみに対応)
離散化	有限体積法／節点中心法
アルゴリズム	SIMPLE法／Rhie-Chow補間法による圧力振動の抑制／Muzaferijaの手法による拡散項の精度向上
時間積分法	Euler陽解法／Euler陰解法／2次精度Crank-Nicolson法／2次精度Adams-Bashforth法／3次精度Adams-Moulton法／4次精度Runge-Kutta陽解法

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

14

Advance/FrontFlow/redの機能



項目	Advance/FrontFlow/red Ver5.0の機能
素反応計算 ソルバー	Operator Splitting Method／ODEソルバー
移流項の 離散化 スキーム	1次精度風上差分／2次精度風上差分／2次精度風上差分＋リミタ(TVD法)／ 2次精度中心差分／3次精度風上差分＋リミタ(TVD法)／ 2次精度中心差分および3次精度風上と1次精度風上のブレンド
並列計算	領域分割法による並列計算／並列数を変えたりスタート(省メモリ化)
前処理	省メモリ化
メッシュ生成	ADAP／市販メッシャーとの連携についてはお気軽にご相談ください。
可視化ツール	ADAP／Paraview／市販可視化ソフトとの連携についてはお気軽にご相談ください。
ユーザー サブルーチン	初期値(流体と粒子)／境界条件／質量のソース項／運動量のソース項／エネルギーのソース項／蒸発速度／気相反応／表面反応／移動格子／輸送係数／実在 ガスモデルのパラメータ設定／輻射特性／ポスト処理
OS	Linux／(*Windows)／等 (*Windows 版は並列計算に対応しておりません。

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

15

Advance/FrontFlow/redの動作環境



OS	①Red Hat Enterprise Linux 5.x ②Red Hat Enterprise Linux 4.x ③CentOS 5.x (フリー) ④CentOS 4.x (フリー)
メモリ	100万～400万節点の解析では16GBのメモリが必要
ハードディスク	計算規模や計算結果の保管の状況によって異なる。250GB以上を推奨 インストール時には800MB程度が必要
MPIライブラリ	①Intel MPI(ver 2.0以上) ②MPICH1(ver 1.2.7p1) (フリー) ③MPICH2(ver 1.0以上) (フリー) ④OpenMPI (ver 1.4以上) *HP-MPIに対応していません。
Fortran90/95 コンパイラ (ユーザーサブ ルーチン使用 時に必要)	①インテル® Cluster Studio Linux 版 [C/C++/Fortran コンパイラ、デバッガ、Math Kernel Library、MPIライブラリ、 レースアナライザ／コレクタ付属、Intel プロセッサには最適] http://www.intel.co.jp/jp/software/products/ ②PGI WorkStation [C/C++/Fortran コンパイラ、デバッガ、プロファイラ、AMD Core Math Library、 MPICH1.2.7付属、AMD64/Intel64 の両方で優れている] http://www.softtek.co.jp/SPG/Pgi/pgi-price.html

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

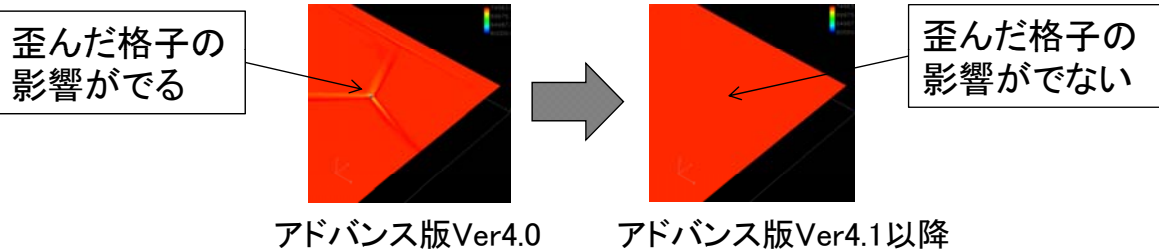
16

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

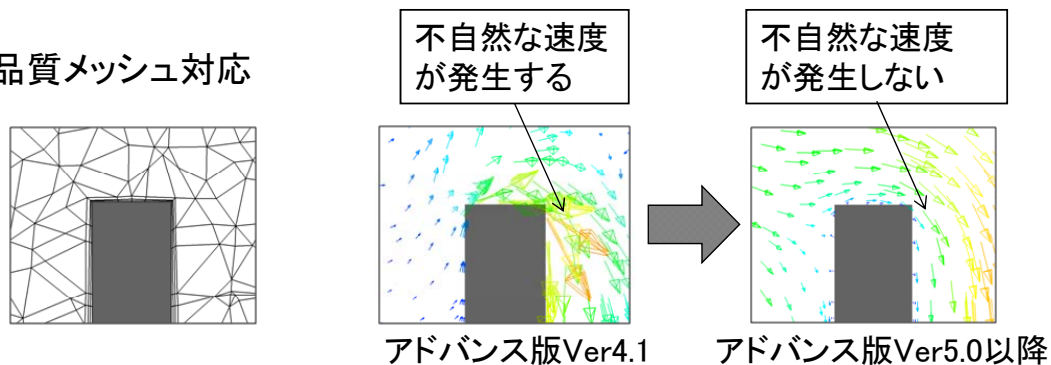


計算安定性が向上

- ・勾配計算方法の改良→歪みが大きい格子での勾配の計算が正確



- ・低品質メッシュ対応



FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



計算速度が向上

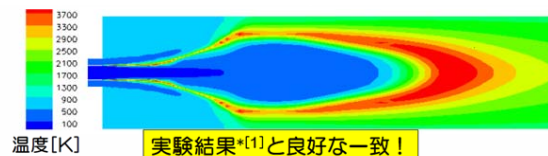
- ・AMGソルバー^(*)の導入(アドバンス版Ver4.1以降)
 - 圧力ポアソン方程式がアドバンス版Ver4.0より数倍向上
- ・時間項を使用しないSIMPLE法の導入(アドバンス版Ver4.1以降)
 - 定常計算がVer4.0より数倍、乱流平板の計算ではVer4.0より12.6倍向上
- ・壁面距離計算方法の変更(アドバンス版Ver4.1以降)
 - 前処理が500万要素でVer4.0より100倍以上向上
- ・CPU内マルチコアの並列化効率の向上(アドバンス版Ver4.1以降)
- ・素反応計算の高速化 → Operator Splitting Methods、ODEソルバーの導入(アドバンス版Ver4.1以降)
- ・不連続接合格子の追加(アドバンス版Ver4.1以降)
 - 格子数を減らして計算時間の短縮

(*) 九州大学情報基盤研究開発センター 西田 晃 先生が開発したAMGの線形ソルバーを利用できます。
 利用をご希望の方は、以下のサイトからダウンロードしてください(アドバンスソフトがお手伝いいたします)。
<http://www.ssisc.org/>
 インターフェイスはAdvance/FrontFlow/redに入れています。

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

解析機能が追加

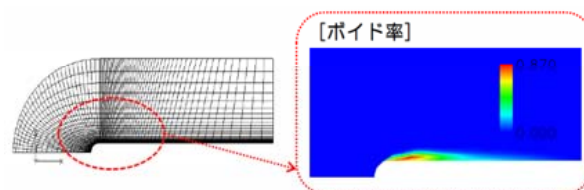
- ・実在流体方程式の追加(アドバンス版Ver4.0以降)
→ 超臨界圧燃焼解析に対応



*[1] Proceedings of the 2nd International Workshop on Rocket Combustion Modeling, DLR, 2001.

ご提供: 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 様

- ・キャビテーションモデルの追加(アドバンス版Ver4.0以降)



剥離によるキャビテーション発生 of 解析

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

19

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

- ・低レイノルズ数効果を考慮した温度壁関数の追加(アドバンス版Ver4.0以降)
- ・噴霧二相流における液滴蒸発モデルの追加(アドバンス版Ver4.0以降)
- ・DESモデル(LESとRANSのハイブリッドモデル)の追加(アドバンス版Ver5.0以降)
- ・SST $k-\omega$ モデルの追加(アドバンス版Ver4.1以降)
→ 境界層の剥離計算の精度が向上

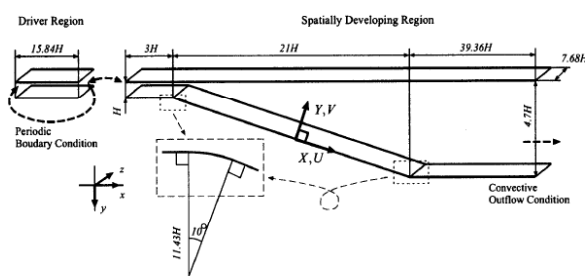
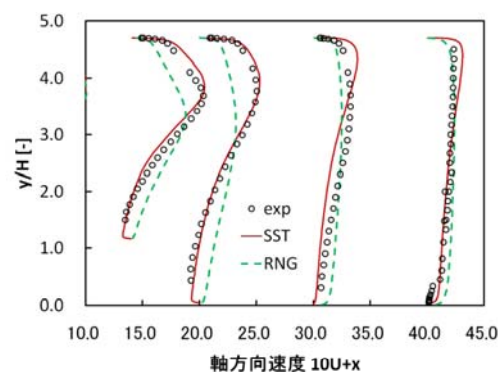


Fig. 1 Computational domains and boundary conditions



アドバンス版FFrによる非対称ディフューザー解析(SST $k-\omega$ とRNG $k-\varepsilon$)

作成: 技術第3部 2012年11月

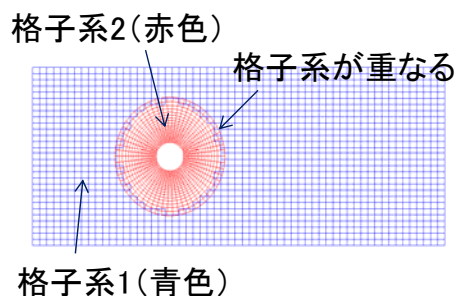
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

20

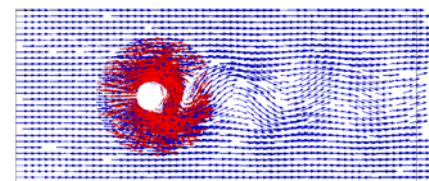
FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



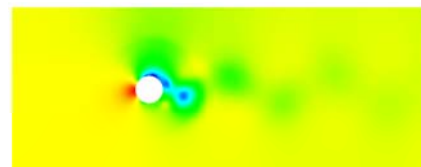
- ・マルチフレーム機能(回転系の定常解析)の追加(アドバンス版Ver5.0以降)
- ・壁面放射特性の波長依存性機能の追加(アドバンス版Ver5.0以降)
- ・VOF法(自由表面)解析機能の追加(アドバンス版Ver4.0以降)
- ・重合格子法(異なる格子系を重ねる計算手法)の追加(アドバンス版Ver5.0以降)



速度分布



圧力分布



作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

21

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



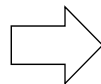
その他

前処理はメインソルバーより多くのメモリを必要

前処理で使用するメモリ

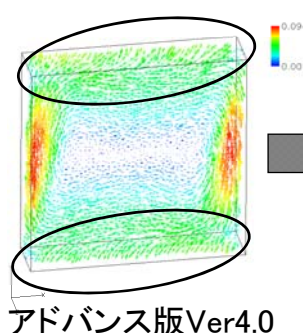
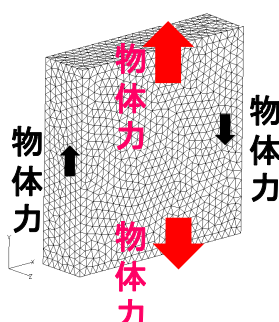
- ・省メモリ化(アドバンス版Ver5.0以降)

計算モデル
約325万 節点
約320万 要素

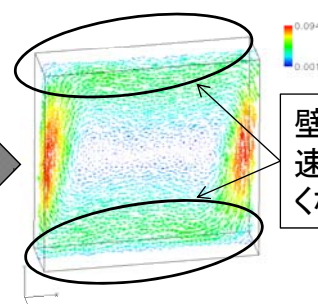


並列数	Ver 4.1	Ver 5.0
1	約 6.1 GB	約 2.0 GB
8	約 6.4 GB	約 0.79 GB
32	約 6.4 GB	約 0.79 GB

- ・壁方向に大きい物体力がある計算が可能



アドバンス版Ver4.0



アドバンス版Ver4.1以降

作成: 技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

22

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



- ・厚みのない壁(アドバンス版Ver4.0以降)
- ・リスタート計算時に並列数を変える機能(アドバンス版Ver4.1以降)
 - 空いているCPUを有効活用
- ・セル数、節点数の入力が不要(アドバンス版Ver5.0以降)
- ・各境界からの質量・熱の収支を出力(アドバンス版Ver5.0以降)

iter,	time,	Wall,	Inflow,	Symmetry,	Outflow,	Farfield,	Body,	Tire,
1,	1.00000E-04,	0.00000E+00,	2.98373E+02,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00
2,	2.00000E-04,	0.00000E+00,	3.07261E+02,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00
3,	3.00000E-04,	0.00000E+00,	3.14484E+02,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00,	0.00000E+00

- ・流出境界で逆流が生じた時にメッセージを出力(アドバンス版Ver5.0以降)

CAUTION! Inverse flow is occurring in outlet boundary. Boundary number= 6

新機能の紹介と開発ロードマップ

2012年11月22日(木)開催
技術第3部
大西 陽一



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

もくじ



1.新機能のご紹介

- 1-1. ロバスト性の向上 セル中心法の導入
- 1-2. スライディング機能の安定性強化
- 1-3. ソルバーの高速化 複数マテリアルAMG高速化
- 1-4. レベルセット法
- 1-5. Ghost Fluid法を用いた圧縮性二相流解析機能

2.開発ロードマップ

1-1 ロバスト性の向上 セル中心法の導入

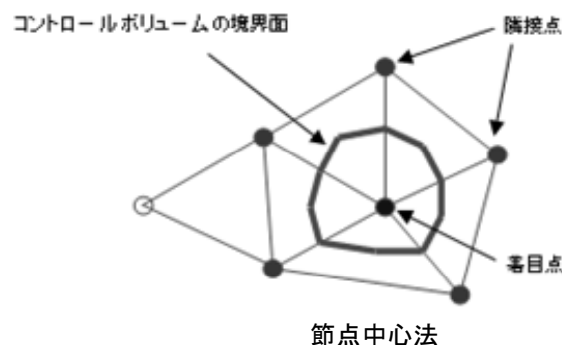
有限体積法： 節点中心法

- これまで、Advance/FrontFlow/red では節点中心法による離散化を採用してきた。

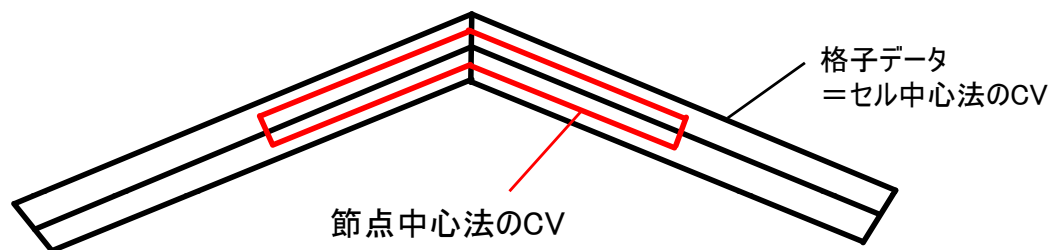
節点中心法

格子データの節点の周りにコントロールボリューム (CV) を構築する。
物理量は、構築したCVの重心に定義する。

長所： コントロールボリュームあたりの境界面数が多くなることによる
精度が高くなることが期待できる。



節点中心法の問題点



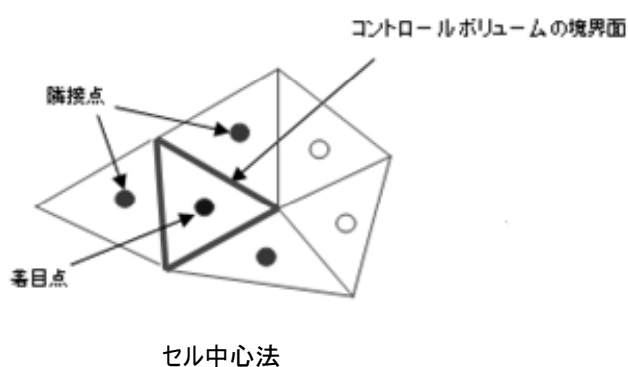
- 節点中心法では、節点を中心にコントロールボリューム(CV)を構築する。その際に凹型のCVが構築されることがある。
- アスペクト比が非常に大きな格子ではCV重心がCV外にはみ出す場合もあり、計算の安定性・精度を下げる要因になる。

有限体積法：セル中心法

セル中心法

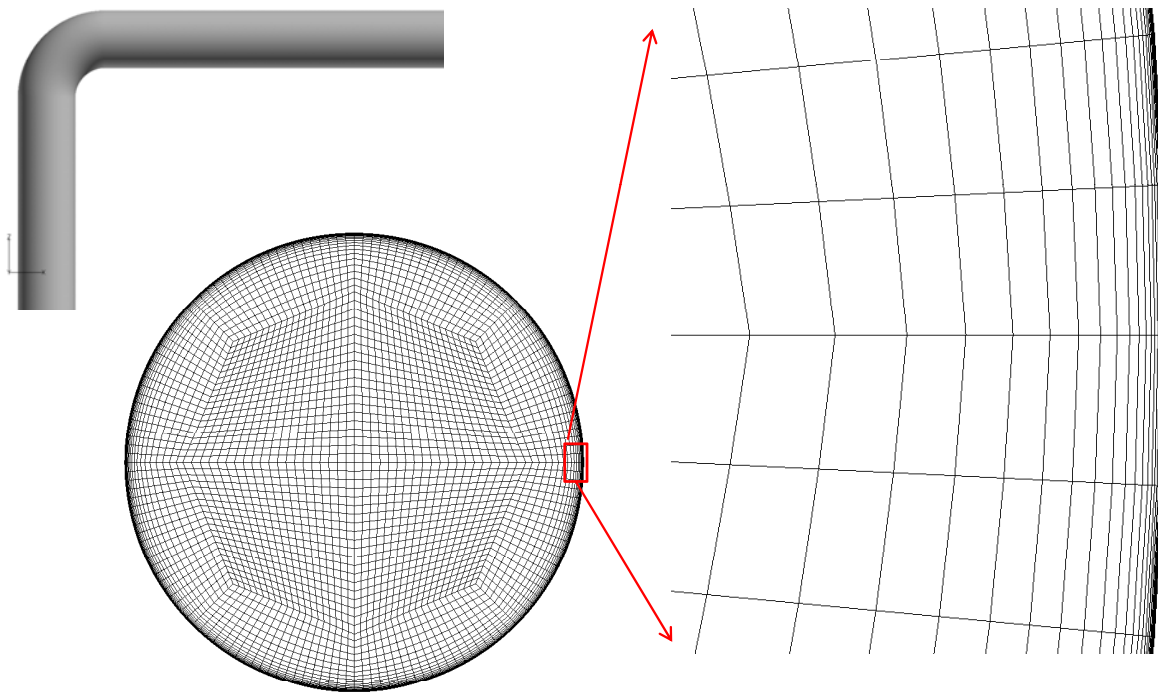
格子データのセルをコントロールボリューム (CV) にする。
物理量は、セルの重心に定義する。

長所： ユーザが作成した格子データをそのまま用いるため、
凹型などの望ましくないコントロールボリュームを避ける
ことができる。



- 次バージョンから、
節点中心法・
セル中心法の
選択が可能

曲がり管 格子データ



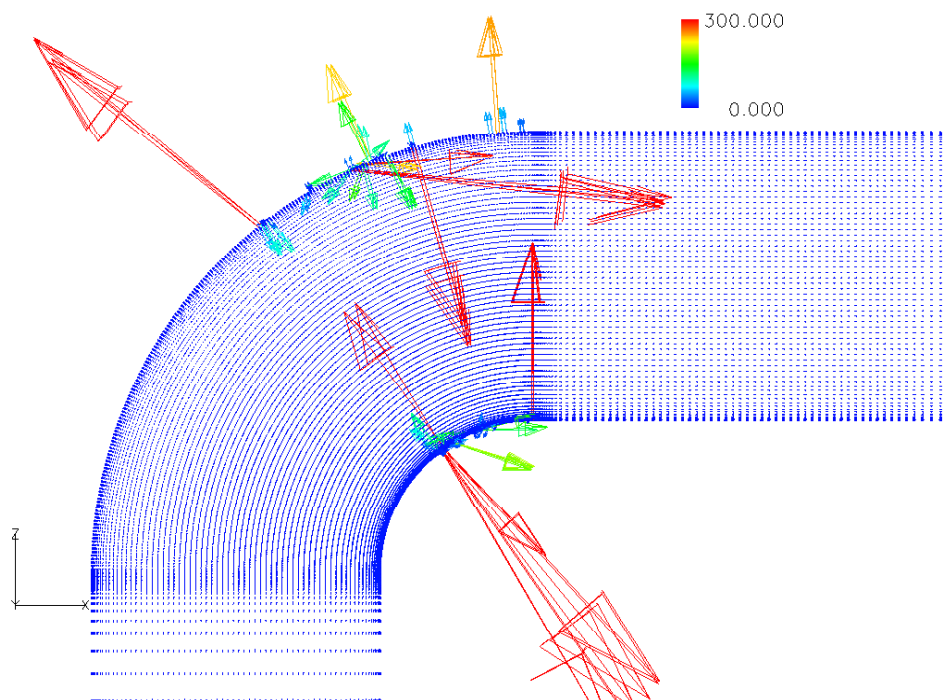
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

7

節点中心法での計算発散例



■ 曲がり管 発散直前の速度ベクトル

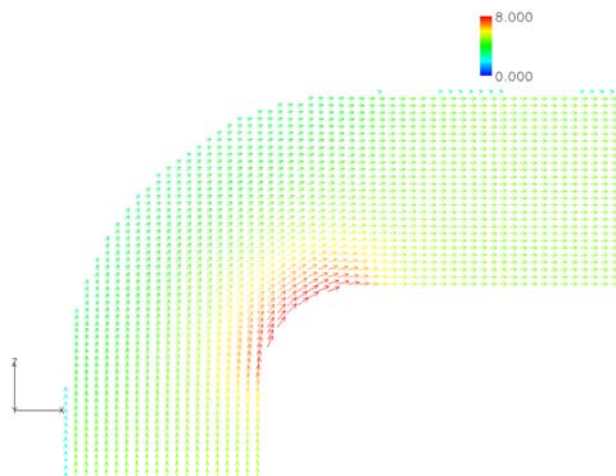


流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

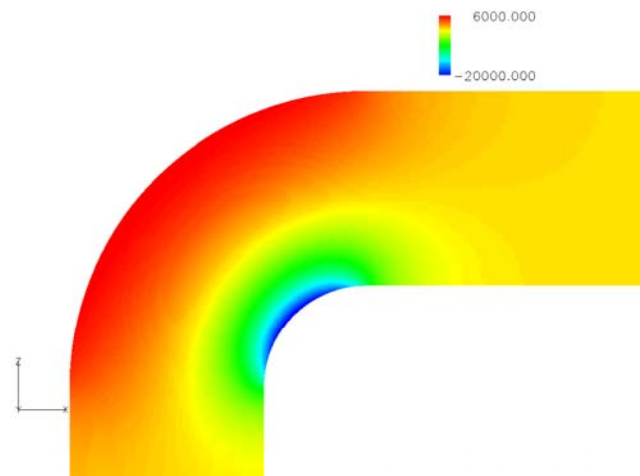
8

同一計算条件でのセル中心法

- 節点中心法で発散した計算が、セル中心法では収束



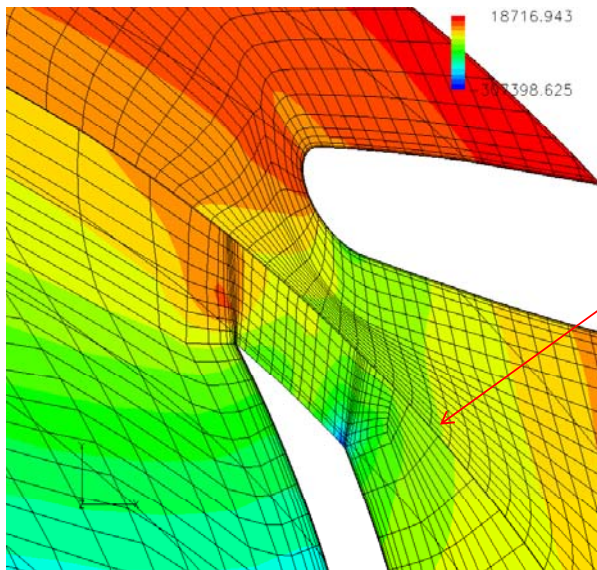
速度ベクトル



圧力分布

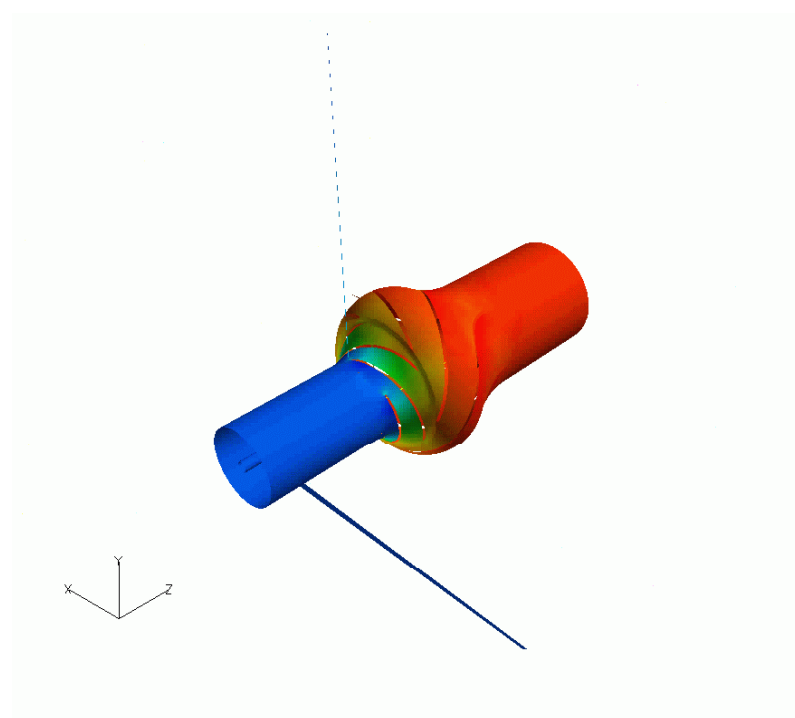
1-2 スライディング機能の安定性の強化

スライディング機能の強化

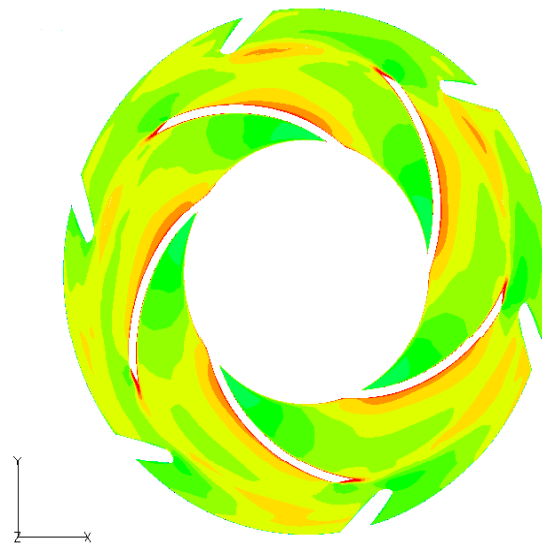


1. スライディング境界面における圧力勾配補間法の改善
2. スライディング境界面で回転系、静止系への速度変換の不具合をなくす

計算結果 壁面圧力



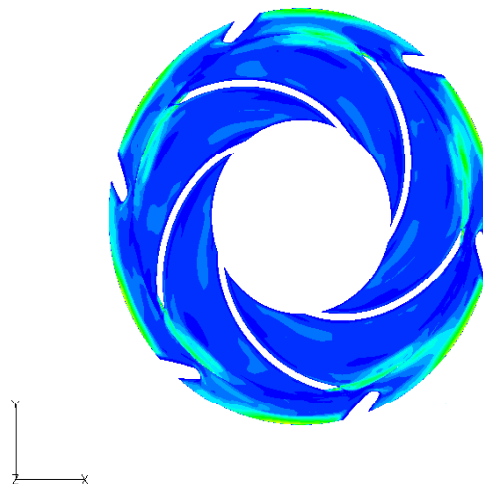
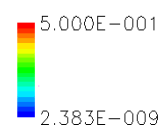
計算結果 速度



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

13

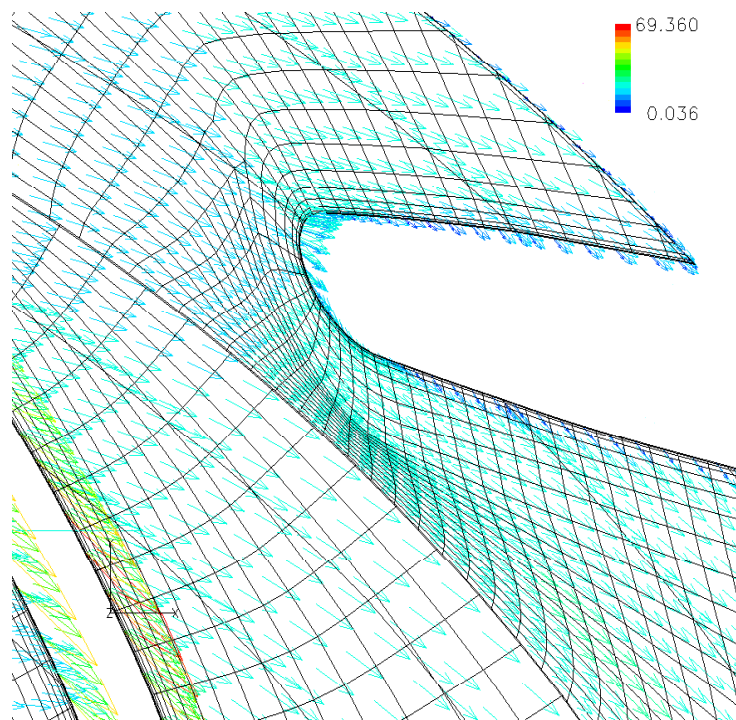
計算結果 SGS 渦粘性



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

14

計算結果 速度ベクトル



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

15

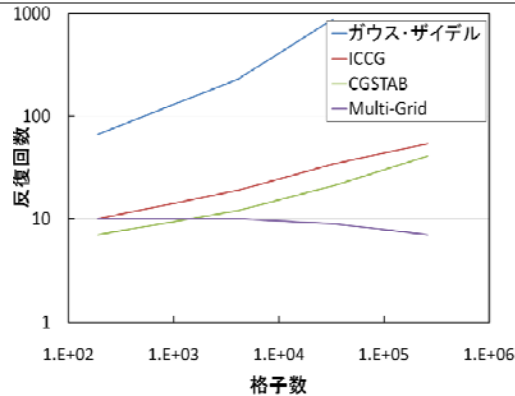


1-3 ソルバーの高速化 複数マテリアルAMGの導入

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

16

AMGの概要1



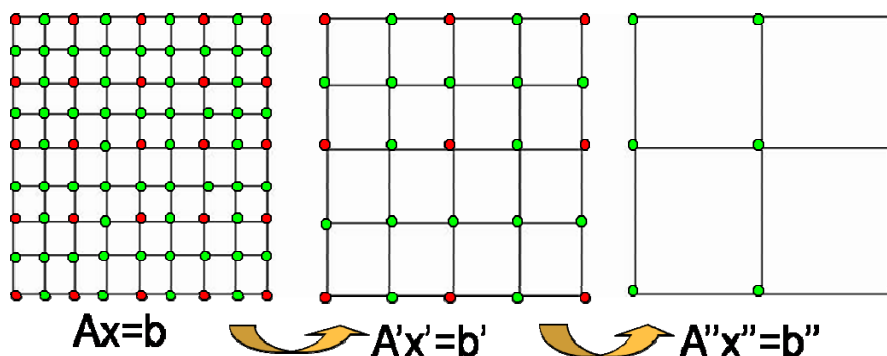
L1誤差を 10^{-4} 未満となるのに要する各解放の反復回数
ノイマン条件下の3次元ポアソン方程式

J.H.ファーツィガー 「コンピュータによる流体力学」より

- うまく機能する問題に対しては、計算量 $O(n)$
但し n は未知数の数
 - 問題サイズに依存しないで反復回数一定
- 領域並列性がある
 - 問題サイズに比例してプロセッサ数を増やせば大きい問題に対してもほぼ一定時間で収束する

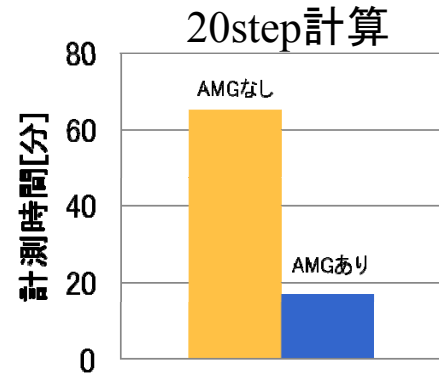
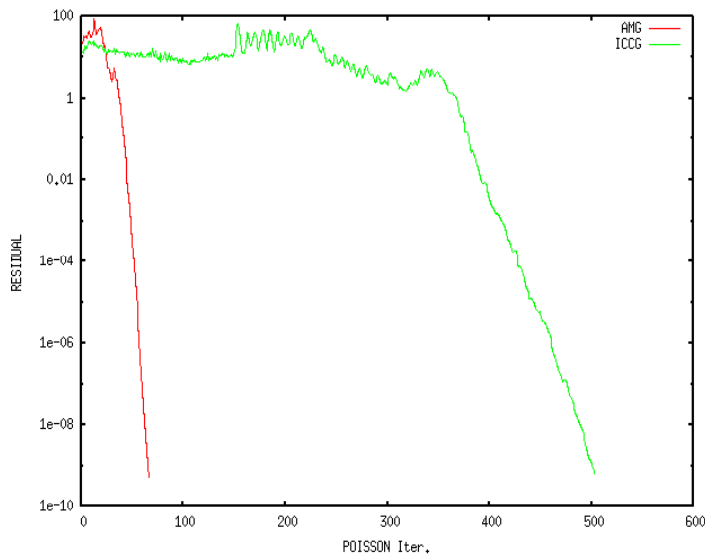
AMGの概要2

- 複数のメッシュを使用
- それぞれのメッシュによりサイズの異なる問題行列が生成される



単一マテリアルでのAMGの効果

T字管 100万節点



1CPU計算

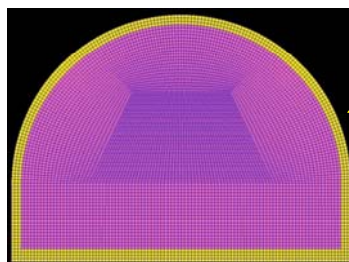
AMGあり: 66回

AMGなし (ICCG): 503回

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

19

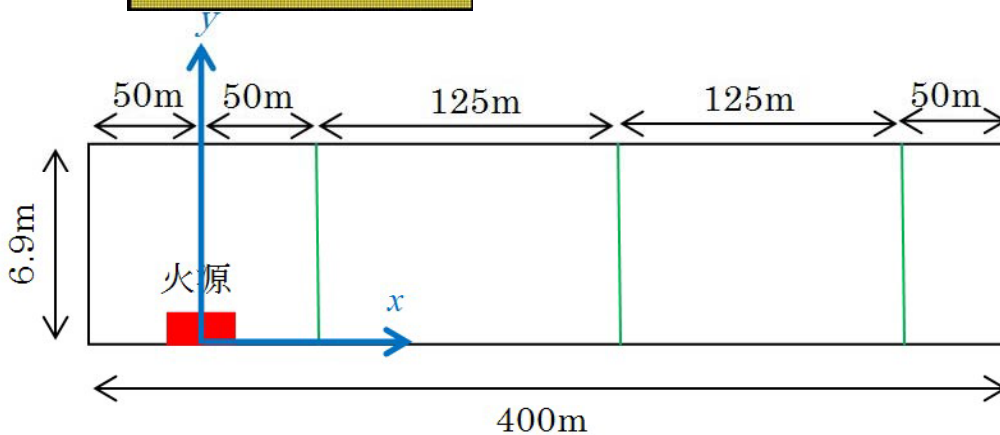
複数マテリアルへのAMGの拡張（固体を含む計算）



コンクリート

事例は、鉄道総合技術研究所様よりご提供いただきました。

トンネル格子 x軸方向分割様式



格子数 2,859,520

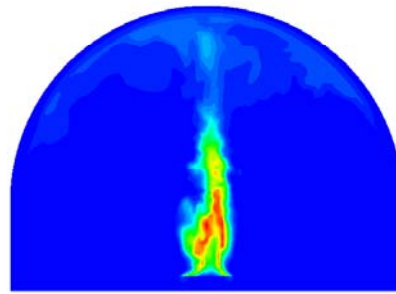
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

20

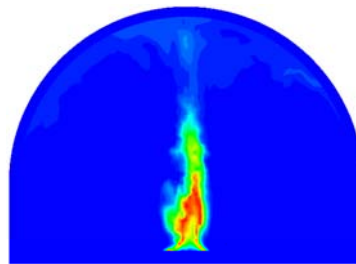
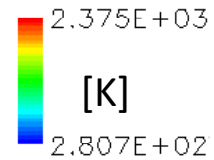
T=100秒での結果



LES,
火炎面モデルを使用



温度分布 [K]



CO2 質量分率 [-]



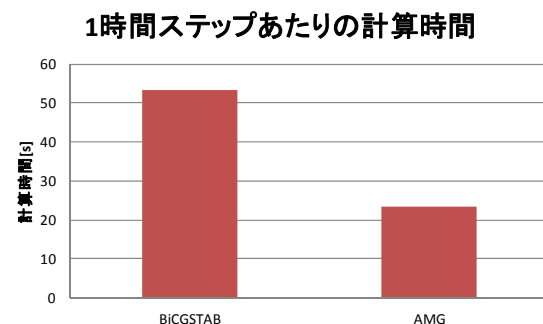
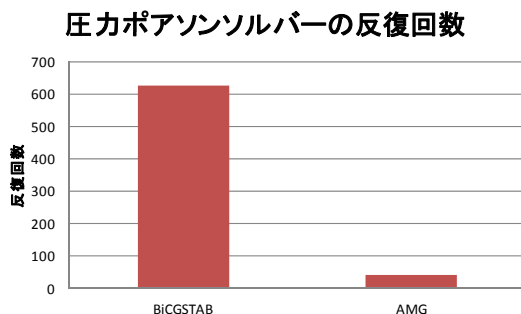
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

21

AMGの効果



残差 $1e-10$ 以下になるまでの反復回数と計算時間を
BiCGSTAB法とAMG法で比較



反復回数はAMGを使用することで625回から42回に減少し
1step当たりの計算時間は、2倍以上高速化

1-4 新機能のご紹介 レベルセット法

LEVEL SET法の導入

VOF値の移流方程式をとりて自由表面位置を陰的に捕獲する手法は時間とともにVOF界面がぼやけるために、界面をシャープに定義することが出来なくなる。

LEVEL SET法は、界面からの距離関数 ϕ をステップごとに求めて、界面位置を修正する手法である。

界面位置を常に1セルで捕らえることが出来る。

LEVEL SET法の概要



自由界面からの距離 ϕ を時間stepごとに以下の距離関数の式に従って再初期化する。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \text{sign}(\phi)(1 - |\nabla \phi|)$$

上記の式の左辺の時間項が $1\text{E-}6$ 以下になった時を定常解とする。

離散化して解く場合は以下のように表現しなおす。

$$\frac{\phi^m - \phi^{m-1}}{\Delta t_*} + \vec{W} \cdot \nabla \phi = \text{sign}(\phi)$$

$$\vec{W} = \frac{\text{sign}(\phi)}{|\nabla \phi|} \nabla \phi$$

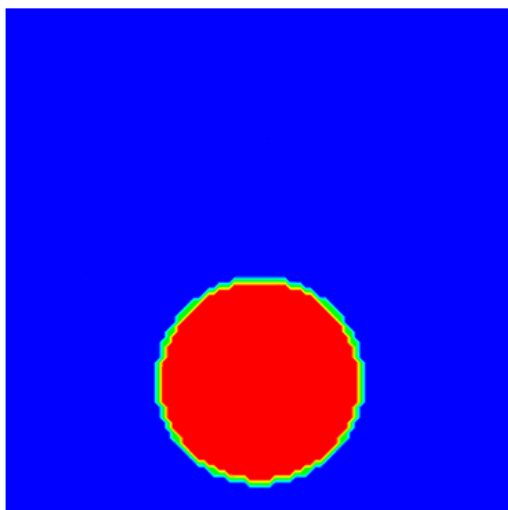
W の値に対する風上法を用いて離散化して解いた。
定常になるまで m 回は反復させて解く

LEVEL SET法の計算例

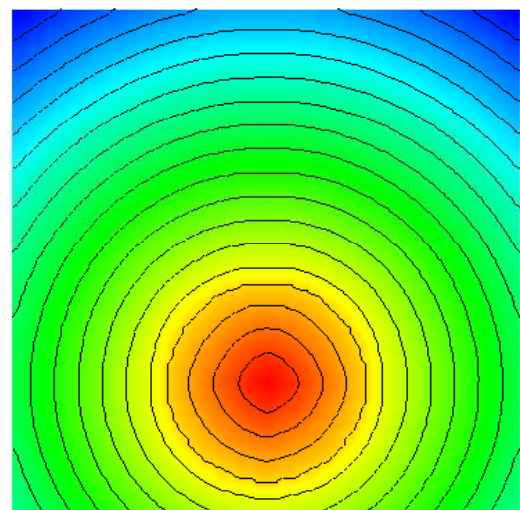


1次風上

再初期化方程式の時間刻みは流体の10倍
の時間刻みを使用し、オイラー陰解法を使用した。
右辺が $1\text{e-}6$ 以下になるまで307stepかった



VOF値 α



距離関数 ϕ

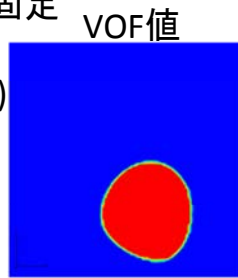
LEVEL SET法の計算例

速度は以下で固定

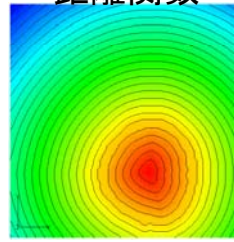
$$U = \sin(x) * \cos(y)$$

$$V = -\cos(x) * \sin(y)$$

100step

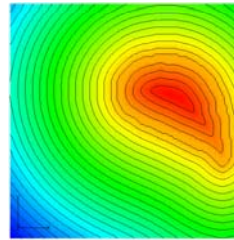
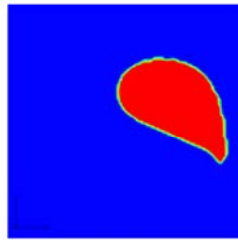


距離関数

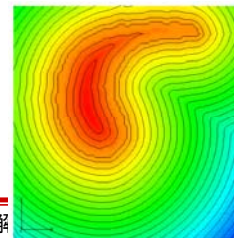
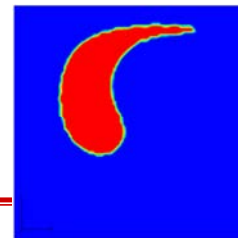


界面追跡は
CICSAM法を使用し、
 $\Delta t = 5E-3$ で
1000step進めた。

500step



1000step



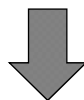
流体解

FrontFlow/red最新動向セミナー

27

LEVEL SET法の計算例

距離関数としてのレベルセット関数の性質を生かした
応用も可能



ユーザー様事例紹介で適用例をご紹介します

1-5 圧縮性二相流への挑戦

Ghost Fluid法を用いた圧縮性二相流機能

自由界面を含む圧縮性二相流解析

気液界面を含む解析の需要は高い。
しかしほとんどの市販ソルバーの界面捕獲法は
非圧縮を仮定したVOF法に限定される。

その原因は、界面を挟んで不連続となる量の打切り誤差が
大きく、わずかな密度変化でもたちまち発散するため。

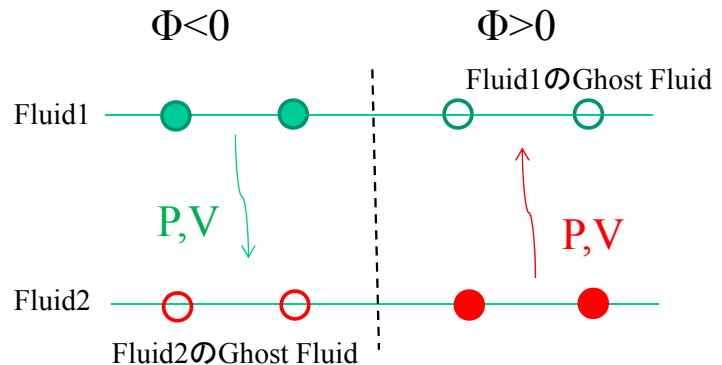
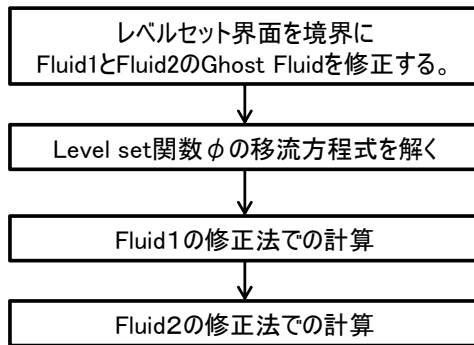
アドバンスソフト社では、これを克服するべく
Ghost Fluid法を用いた圧縮性二相流解析手法を
企業様と共同で開発に取り組んでいる。

Ghost Fluid法の導入

Ghost Fluid法とは

不連続な分布による数値振動を避けるため、仮想的な流体(Ghost Fluid)をおく。

2種類の流体を考え、それぞれ別々の状態方程式を満たすとし、それぞれ独立の単相流として解く。



オリジナルのGhost Fluid法は

Ghost Fluidの法線速度、圧力は相手側のReal Fluidの速度圧力で置き換えるが
水-空気では振動が大きいの、水のGhost Fluidの速度は水から
空気のGhost Fluidの圧力は空気から持ってくるようにして安定化した。

水と空気の1次元ショックチューブ問題

計算条件

界面の左側が水、右側が空気である二相流に関する衝撃波管問題を計算した。

4mの計算領域を200分割し、界面は最初、3mの位置にある。界面を挟んで左側と右側の状態は、

$\rho_L = 1000 [\text{kg/m}^3]$, $P_L = 10E5 [\text{Pa}]$ 、

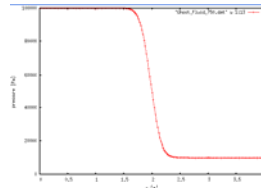
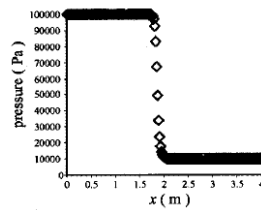
$\rho_R = 0.1189 [\text{kg/m}^3]$, $P_R = 10E4 [\text{Pa}]$ 、

なお水に関してはTait型の状態方程式に従うとした。

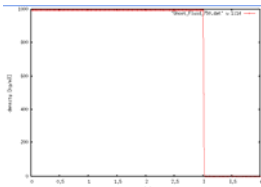
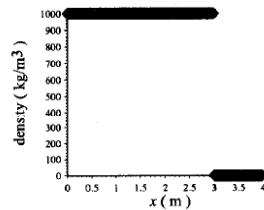


1次元ショックチューブ検証結果

圧力

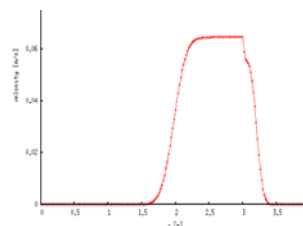
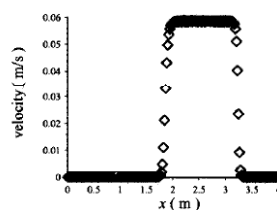


密度



密度比10000の
計算に成功

速度



高比良先生らの結果※

AFFrの結果

※ 日本機械学会論文(B編)72巻723号より抜粋

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

33

2 Advance/FrontFlow/red 開発ロードマップ

機能開発 1

■ 複雑形状対応

- 任意多面体(ポリヘドラル)のセル中心法
- 移動・変形格子

■ 混相流

- Ghost Fluid法、Level set法などによる自由界面を含む流れ
- オイラー多相流モデル
- 液膜モデル

機能開発 2

■ 既存機能の強化

- ポーラスモデル、オーバーセット法の並列対応
- 出力項目の強化
- ユーザーサブルーチン機能の強化
- チュートリアルの実装
- ロバスト性、計算精度、高速化のさらなる向上

今後の展開

■ 流体-構造連成

Advance/FrontSTRとの連成解析機能

■ 流体-音響連成

Advance/FrontNoiseとの連成機能

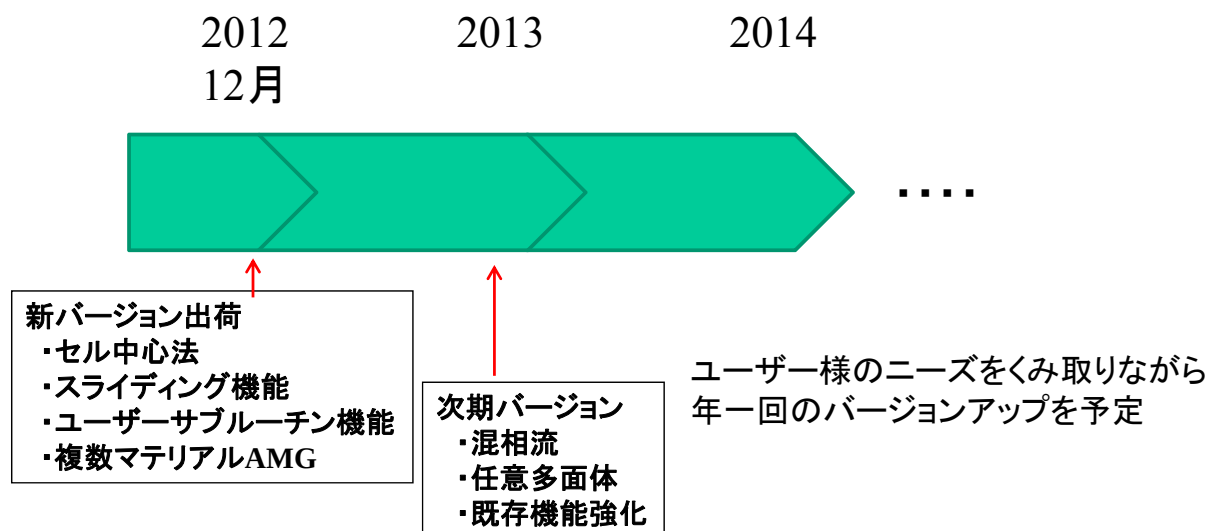
■ プリポスト

ParaView等を利用したサービスの提供

■ 大規模解析サービス

スパコン等での大規模検証解析を実施

リリーススケジュール



ユーザー様事例紹介

2012年11月22日(木)開催

技術第3部

塩谷 仁



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

紹介事例一覧



- パンタグラフ周り流動解析における並列性能のテスト
(公益財団法人 鉄道総合技術研究所様)
- ガスタービン燃焼器内の現象解明を目指した対向衝突噴流混合の解析
(重工業メーカー I様)
- 降下火山灰影響評価のための噴煙柱の数値流体解析
(一般財団法人 電力中央研究所様)
- 原子炉施設のアクシデントマネジメントに係る知識ベースの整備における
Advance/FrontFlow/redの利用
(独立行政法人 原子力安全基盤機構様)
- IFMIF リチウムターゲット施設の工学設計のための熱流動解析
(独立行政法人 日本原子力研究開発機構様)

パンタグラフ周り流動解析における 並列性能のテスト

**2012年11月22日(木)開催
技術第3部**

目的

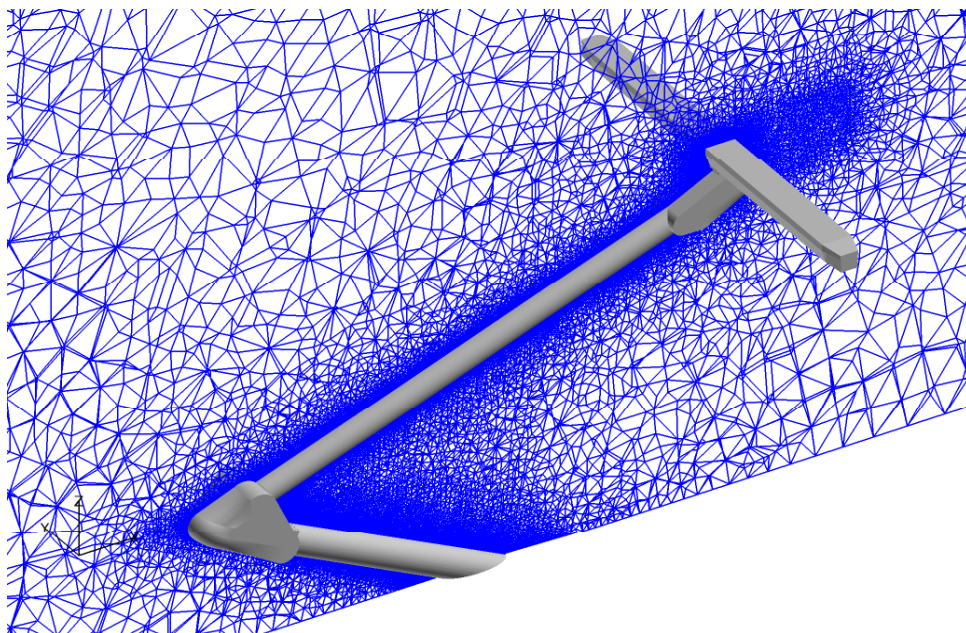
- ・パンタグラフの騒音低減のためのシミュレーションツールとして、Advance/FrontFlow/redの並列性能をテストする。
- ・節点数164万のモデルを使用して、並列数2、4、8、16、32、64、128、256、512、1024で計算する。

解析概要 ～解析手法

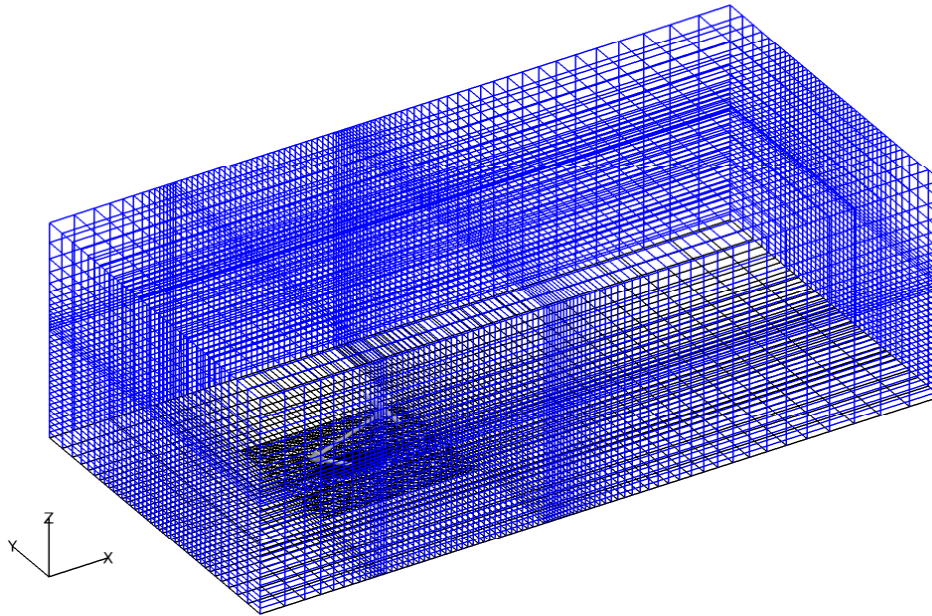


項目	内容
支配方程式	非圧縮性Navier-Stokes方程式
乱流モデル	標準Smagorinskyモデル
壁面境界	Spalding則
解析格子	非構造格子
空間離散化	2次精度風上法
時間刻み	0.0001秒
並列数	2、4、8、16、32、64、128、256、512、1024
節点数	1,643,920

解析概要 ～パンタグラフ形状とメッシュ



解析概要 ～解析領域とメッシュ

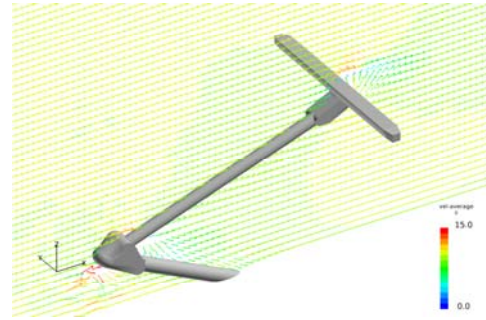


解析概要 ～速度分布の計算結果

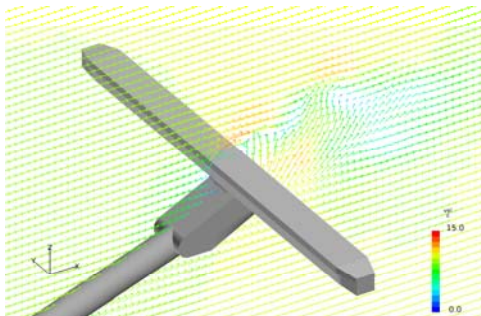
瞬時速度



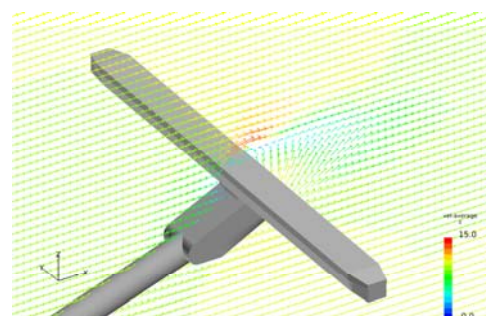
時間平均速度



瞬時速度(拡大図)



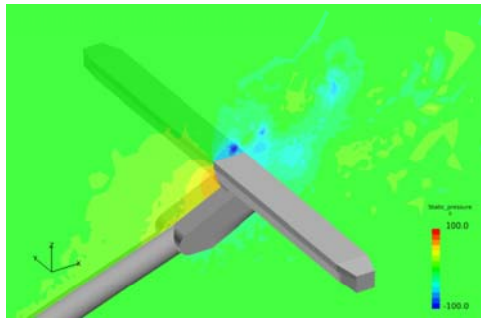
時間平均速度(拡大図)



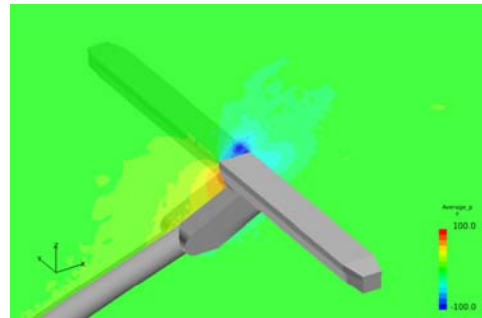
解析概要 ～圧力分布と音圧レベルの計算結果



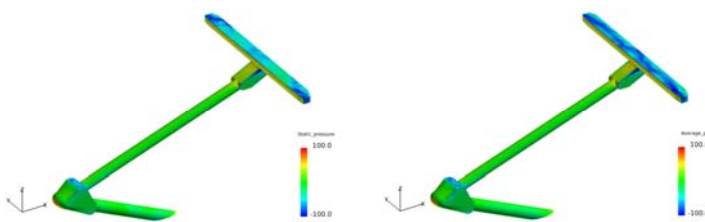
瞬時圧力



時間平均圧力

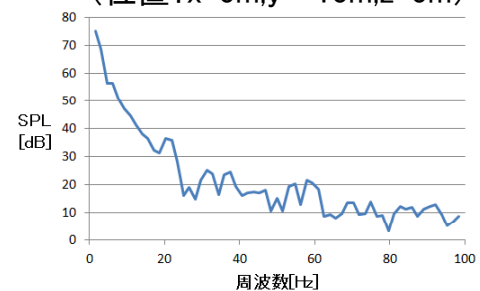


固体表面の瞬時圧力 固体表面の時間平均圧力



音圧レベル

(位置: $x=0\text{m}, y=-10\text{m}, z=0\text{m}$)

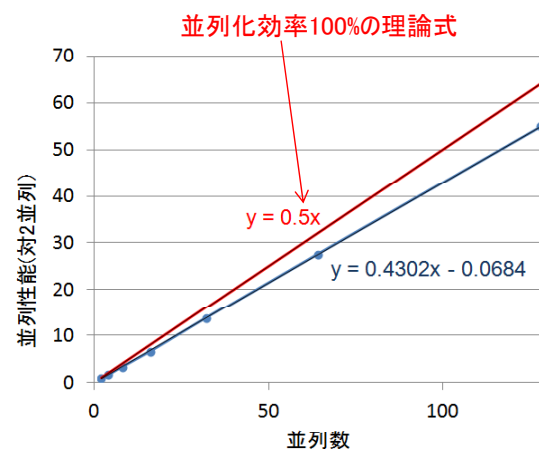
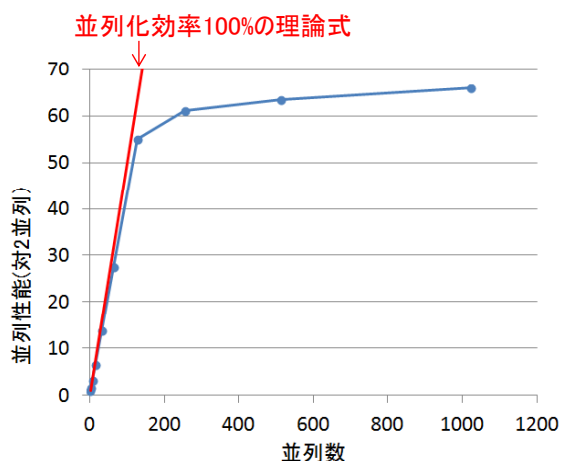


作成:*****部 *****年**月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

9

並列性能のテスト結果



- ・節点数164万のモデルでは有効な最大並列数は128である。
- ・本モデルでは並列数が128を超えると、CPU間の通信時間が増えるために、並列性能が上がりなくなった。

結論



- ・パンタグラフ周りの流動解析を並列数2、4、8、16、32、64、128、256、1024でテストした結果、節点数164万のモデルでは有効な最大並列数は128である。
- ・節点数が多くなると有効な最大並列数が増えるため、Advance/FrontFlow/redは、数百万やそれ以上の節点数のモデルでは128以上の並列数を有効に利用できることが予想できる。

謝辞



事例紹介に関連して公益財団法人鉄道総合技術研究所様に多大なるご協力をいただきました。
この場をお借りして、改めてお礼申し上げます。

ガスタービン燃焼器内の現象解明を目指した 対向衝突噴流混合の解析

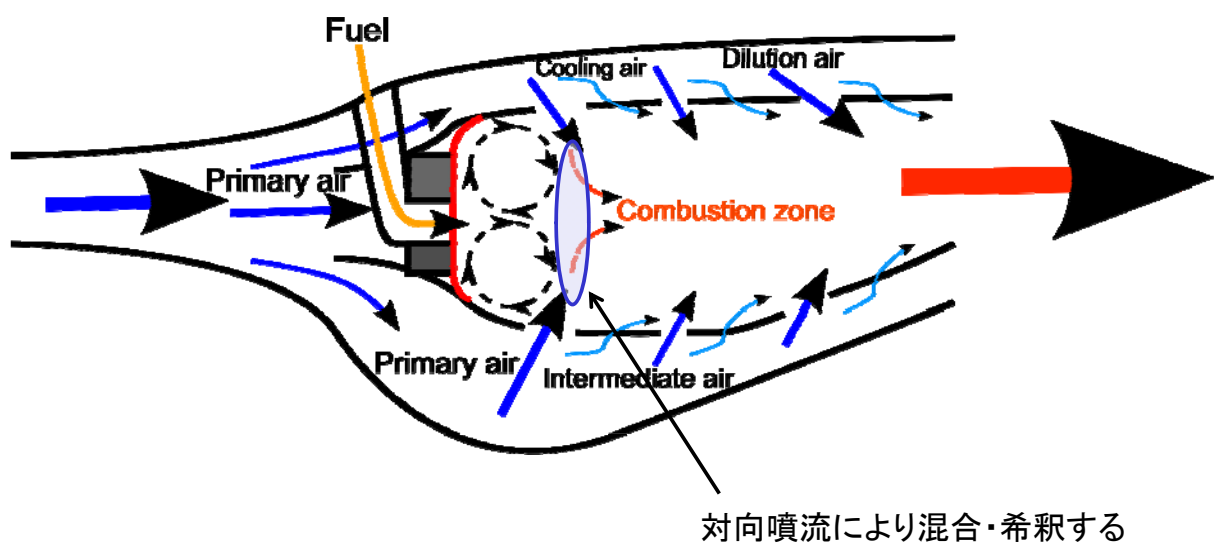
2012年11月22日(木)開催
技術第3部

第40回日本ガスタービン学会定期講演会(2012/10/18)にて発表済

流体解析ソフトウェア Advance/Flow/red最新動向セミナー

13

背景 航空用ガスタービン燃焼器



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Combustor_diagram_airflow.png

実験による出口温度分布計測結果とCFDが一致しない
ケースが多い⇒衝突噴流流れが原因と推定

目的と実施内容



目的

- 対向衝突噴流混合現象の解明
- パラメータ(境界・形状条件)の影響度合い解明
- 流体利用機器の混合性能向上

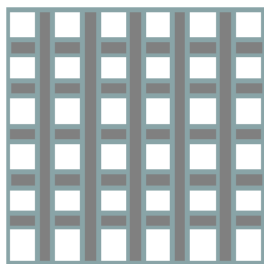
実施内容

- 矩形ダクト内対向衝突噴流の解析

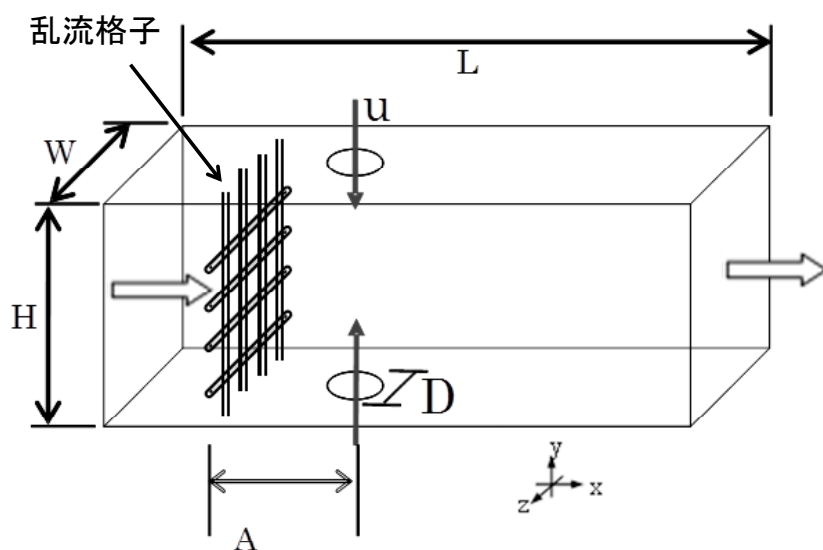
解析形状



乱流格子1 角柱
(□5mm、間隔20mm)



乱流格子2
(□8.3mm、間隔33.3mm)



($D=20$ 、 $L=590$ 、 $W=100$ 、 $H=100$ 、 $A=100$)
格子開口率 43.75%

解析ケース

噴流 $Re=2.0 \times 10^4$

運動量比 J	噴流速度 V_j [m/s]	主流速度 V_m [m/s]	最大貫徹力 Y_{max}/H	} 乱流格子あり
4	20	10	0.46	
9	20	6.67	0.69	
16	20	5	0.92	
64	20	2.5	1.84	

運動量比 $J=(\rho_j V_j^2)/(\rho_m V_m^2)$

※運動量比Jが同じ場合主流に流入する噴流の軌道が一致するとされている

最大貫徹力 $Y_{max}=1.15D J^{0.5}\sin\theta$

解析手法

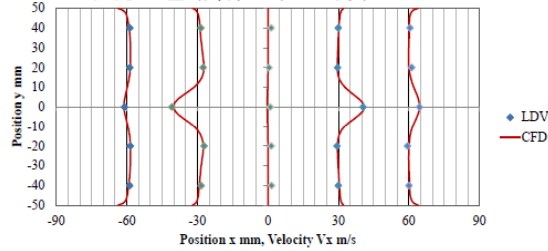


項目	内容
支配方程式	非圧縮性Navier-Stokes方程式
乱流モデル	Dynamic Smagorinskyモデル
噴流流入条件	ランダム摂動
壁面境界	Spalding則
解析格子	非構造格子
空間離散化	2次精度中心差分法 +20% 1次精度風上差分法のブレンド
並列数	64~100
格子数	300万
最小格子幅	0.2[mm]
平均格子幅	2[mm]

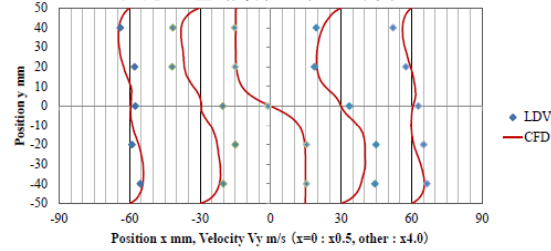
精度確認（主流なし）



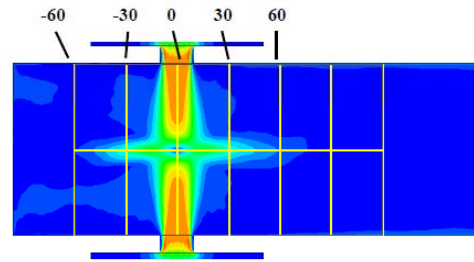
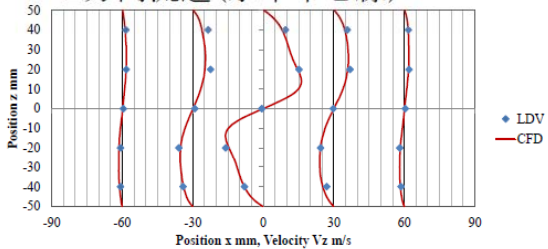
X方向流速（鉛直中心線）



Y方向流速（鉛直中心線）



Z方向流速（水平中心線）

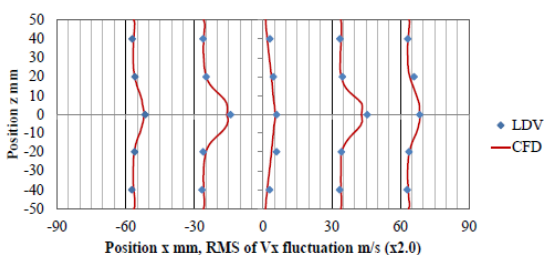


ほぼ定量的な一致が見られる

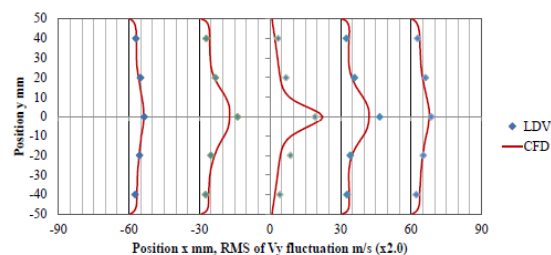
精度確認（中心線上変動RMS）



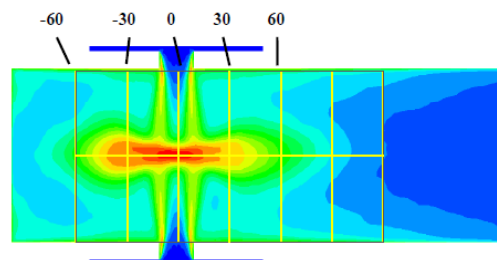
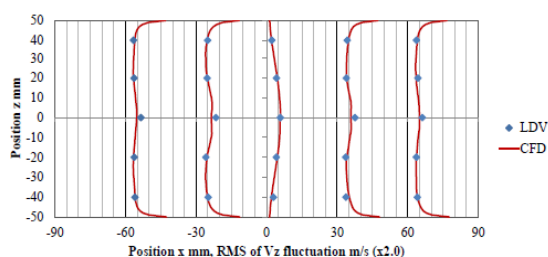
X方向流速RMS（鉛直中心線）



Y方向流速RMS（鉛直中心線）

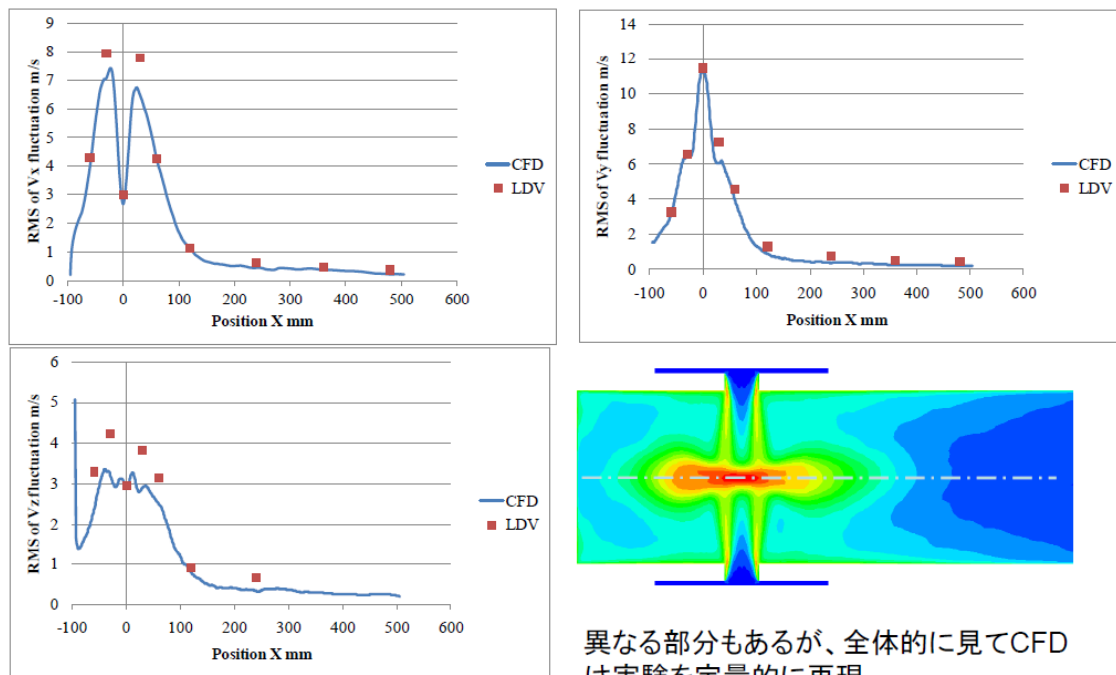


Z方向流速RMS（鉛直中心線）



変動速度RMSは定量的に一致

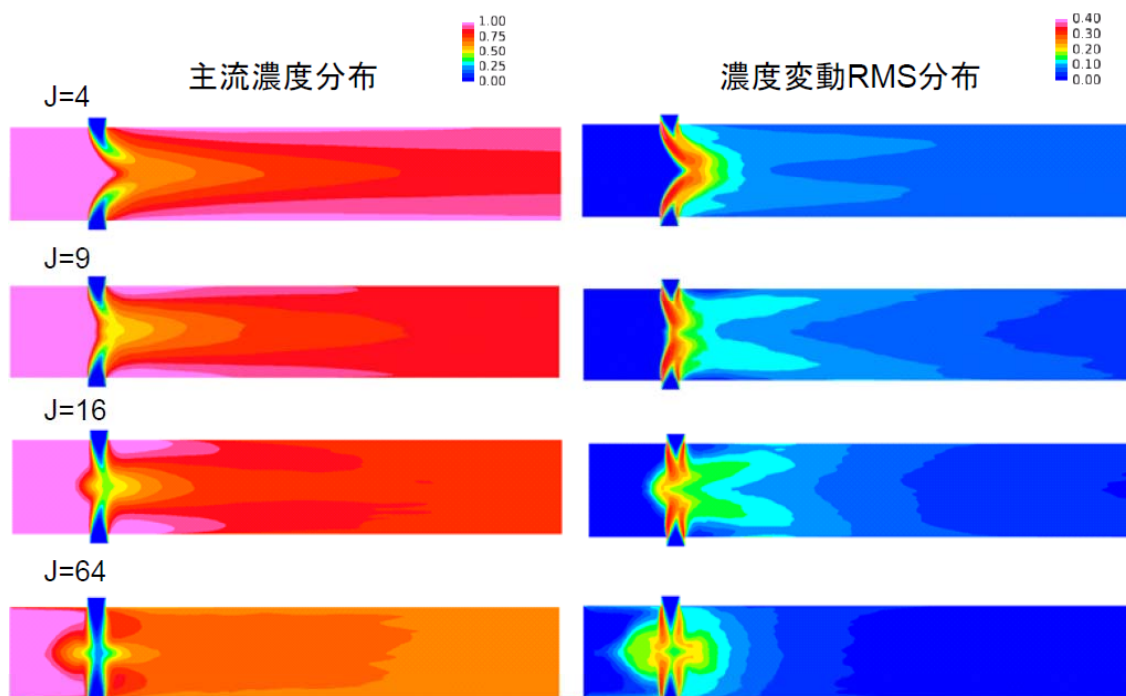
精度確認（流れ方向軸上流速RMS）



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

21

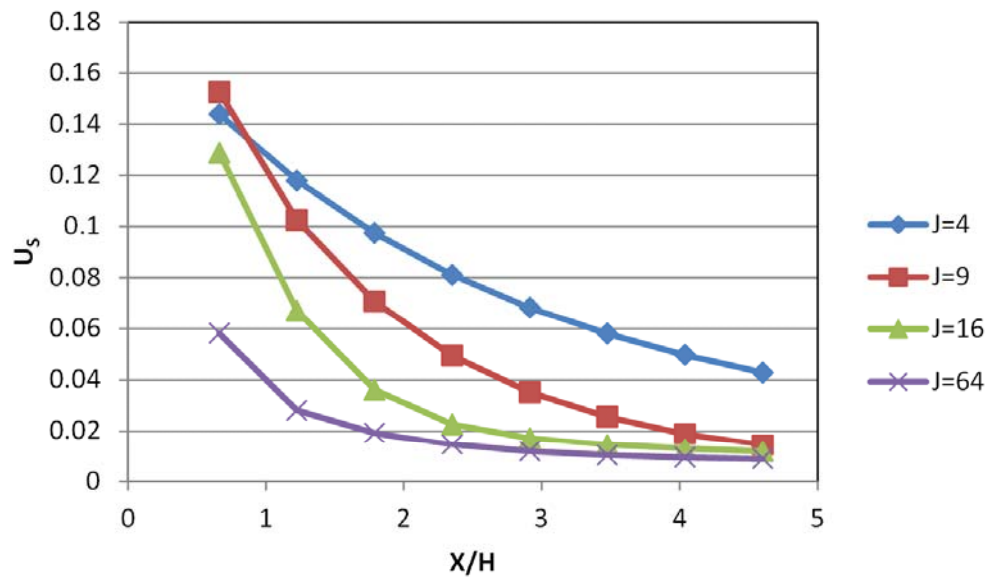
解析結果 時間平均分布(乱流格子なし)



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

22

JとUsの関係(乱流格子なし)



未混合度 U_s

※混合されていない度合いを示す指標

$$U_s = C_{rms} / C_{avg}$$

$$C_{avg} = (w_j/w_m)/(1+w_j/w_m)$$

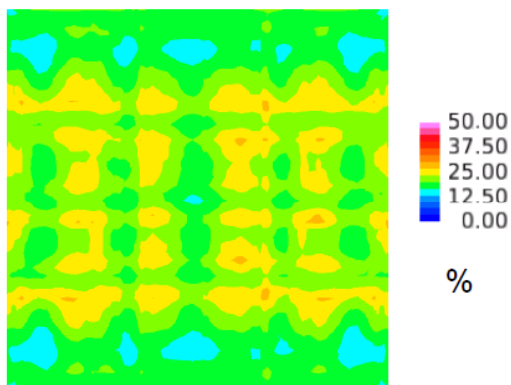
$$C_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{C}_i - C_{avg})^2}$$

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

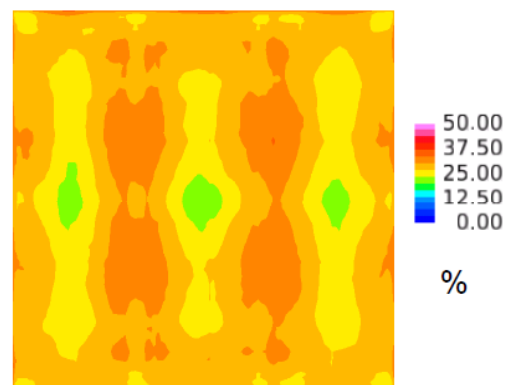
23

噴流直前の乱流強度

乱流格子1

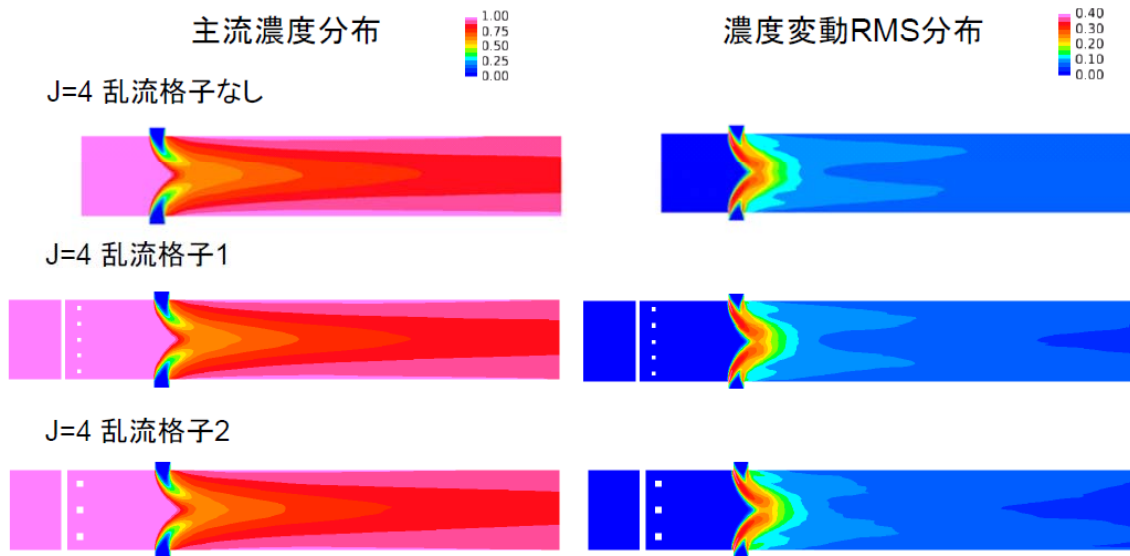


乱流格子2



乱流格子1は約15%、乱流格子2は約30%の乱流強度
(主流平均速度基準)

解析結果 時間平均分布 J=4

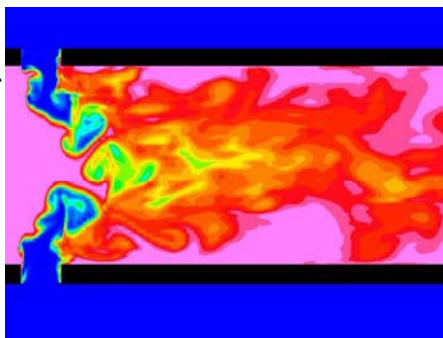


定性的な違いは現れない

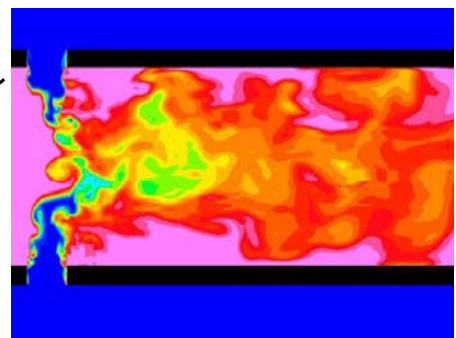
混合の様子(中心縦断面)



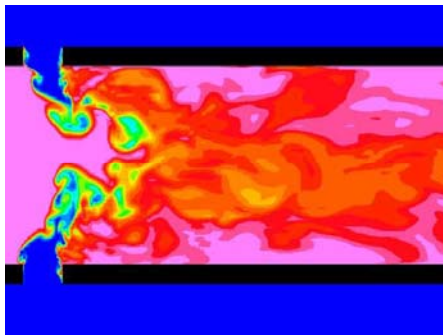
J=4
乱流格子なし



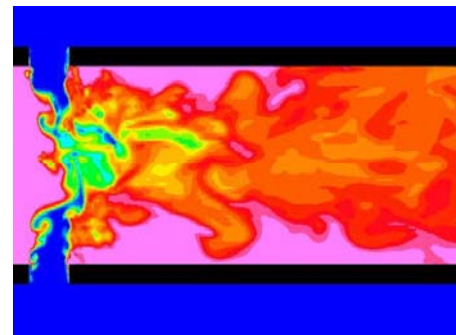
J=9
乱流格子なし



J=4
乱流格子2



J=9
乱流格子2



結果・考察



- 横風を受ける対向噴流を解析し、運動量比 J と乱流格子が混合へ与える影響を検討した
- $J=4$ において特徴的に混合が悪くなる現象を確認した
- $J=4$ では上下噴流が衝突しないため、混合が悪くなると考えられる
- J が大きいケースでは、上下噴流が衝突し、衝突面で混合が促進されたり、低濃度の塊が毎回異なる方向に放出されるために混合が大きいと推測した
- 主流に乱流格子を導入した結果、 $J=4$ のほうが $J=9$ よりも混合が促進された。これは $J=9$ では噴流衝突による混合が支配的か、または主流流速が低いため、流速変動値が小さいためと推測できる
- 乱流格子によって定性的に噴流が影響を受けることは無かった。これは主流乱れ度が小さいためと思われる

謝辞



事例紹介に関連して重工業メーカーI様に
多大なるご協力をいただきました。
この場をお借りして、改めてお礼申し上げます。

降下火山灰影響評価のための 噴煙柱の数値流体解析

本件は電力中央研究所様からの受託案件
として実施されました。

2012年11月22日(木)開催
技術第3部

背景

火山噴火に伴い発生する降下火山灰の影響の適切な評価と対策が
電力事業における発電・流通設備の健全性確保のために重要である。



多様な噴煙形状(噴煙柱、火砕流等)を決定づける重要な要素である
上昇過程での乱流混合のモデリングについての十分な知見がない



多様な噴煙形状を再現するための非定常三次元噴煙柱解析コードを開発し
噴煙形状に及ぼす乱流モデルの影響を評価する。

基礎方程式1 質量保存

気体成分と様々な粒径の火砕物を複数の相に分類して、それぞれの相に対する熱流動を評価する多流体近似を採用し、公開版FFrをベースに拡張。

$$\text{ガス相: 質量保存} \quad \frac{\partial \varepsilon_g \rho_g}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\varepsilon_g \rho_g u_{g,i}) = 0$$

$$\text{粒子相: 質量保存} \quad \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_k \rho_k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\varepsilon_k \rho_k u_{k,i}) = 0 \quad k = 1, \dots, N$$

$$\text{ガス相: 化学種} \quad \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g y_s) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\varepsilon_g \rho_g y_s u_{g,i}) = 0 \quad s = 1, \dots, M$$

$$\varepsilon_g + \sum_{k=1}^N \varepsilon_k = 1 \quad \sum_{s=1}^M y_s = 1 \quad \begin{array}{l} \varepsilon: \text{体積分率} \\ y: \text{ガス相の質量分率} \end{array}$$

$$\rho_g = \frac{P_g}{RT_g} \quad \rho_k = \text{一定}$$

基礎方程式2 運動方程式

$$\begin{aligned} \text{ガス相} \quad & \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g u_{g,i}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\varepsilon_g \rho_g u_{g,j} u_{g,i}) = -\varepsilon_g \frac{\partial}{\partial x_i} P + \varepsilon_g \frac{\partial}{\partial x_j} \tau_{g,ij} + \varepsilon_g \rho_g g \\ & + \sum_{k=1}^N D_{g,k} (u_{k,i} - u_{g,i}) \end{aligned}$$

ガス相応力テンソル

ガス-粒子間のドラッグフォース

$$\begin{aligned} \text{粒子相} \quad & \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_k \rho_k u_{k,i}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\varepsilon_k \rho_k u_{k,j} u_{k,i}) = -\varepsilon_k \frac{\partial}{\partial x_i} P + \frac{\partial}{\partial x_j} \tau_{k,ij} + \varepsilon_k \rho_k g \\ & + \sum_{k=1}^N D_{g,l} (u_{k,i} - u_{g,i}) + \sum_{l=1}^N D_{k,l} (u_{k,i} - u_{l,i}) \end{aligned}$$

粒子相応力テンソル

ガス-粒子間のドラッグフォース 粒子-粒子間のドラッグフォース

$k, l = 1, \dots, N,$
 $l \neq k$

基礎方程式2 エネルギー方程式

$$\text{ガス相} \quad \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_g \rho_g h_g) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\varepsilon_g \rho_g u_{g,j} h_g) = \varepsilon_g \frac{\partial}{\partial t} P + \varepsilon_g u_{g,j} \frac{\partial}{\partial x_j} P +$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{g,e} \varepsilon_g \frac{\partial}{\partial x_j} T_g \right) + \sum_{k=1}^N Q_k (T_k - T_g)$$

$$\text{粒子相} \quad \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_k \rho_k h_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\varepsilon_k \rho_k u_{k,j} h_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{k,e} \varepsilon_k \frac{\partial}{\partial x_j} T_k \right) - \sum_{k=1}^N Q_k (T_k - T_g)$$

$$k = 1, \dots, N$$

$$T_g = \frac{h_g}{Cp_g}, T_k = \frac{h_k}{Cp_k}$$

Q_k : ガス-粒子間の熱伝達係数

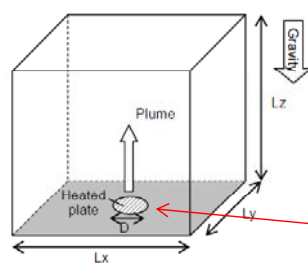
$k_{g,e}$: ガス相有効熱伝導率

$k_{k,e}$: 粒子相有効熱伝導率

Cp_g : ガス相比熱

Cp_k : 粒子相相比熱

検証解析1 単相流浮カプルーム概要



500Kの熱源

格子系	格子間隔 dx/D (=dy/D)	格子間隔 dz/D (min, max)	領域サイズ Lx/D, Ly/D, Lz/D	総格子点数 nx x ny x nz	熱源・噴出口の直 径 D [m]
GSP1	0.067	0.015~0.1	4.0, 4.0, 5.0	60x60x100	0.3
GSP2	0.033	0.01~0.07	2.5, 2.5, 5.0	75x75x150	0.3
GSP3	0.033	0.005~0.035	2.5, 2.5, 5.0	75x75x300	0.3

数値解析手法

運動量、化学種、エネルギーの対流項、

すべて2次中心差分

時間積分法

運動量は3次精度陰解法、その他は、1次精度オイラー陰解法

乱流モデル

標準スマゴリンスキーモデル

検証解析1 単相流浮カプルーム計算結果

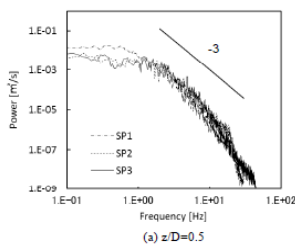


図2 中心軸上の鉛直方向速度の
パワースペクトル

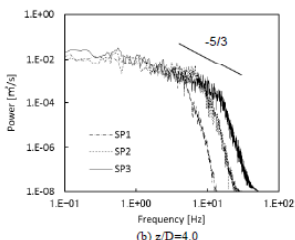


図2 中心軸上の鉛直方向速度の
パワースペクトル

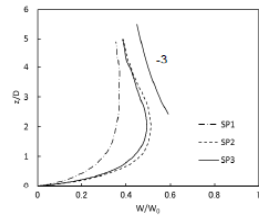


図3 中心軸上の平均速度の鉛直分布

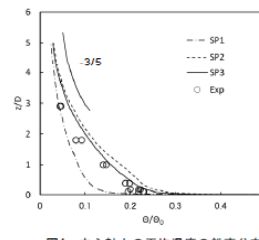


図4 中心軸上の平均温度の鉛直分布
(実験値 (Exp) は須藤ら (2007) による.)

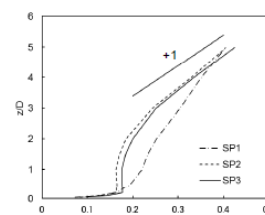


図5 速度半値幅の鉛直分布

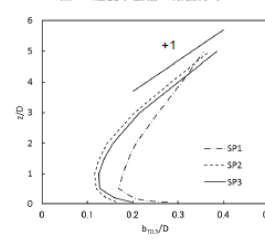


図6 温度半値幅の鉛直分布

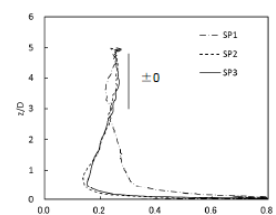


図7 中心軸上の速度乱れ強さの鉛直分布

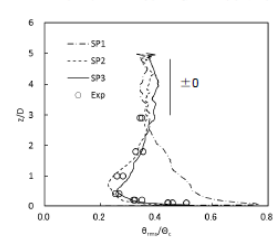


図8 中心軸上の温度乱れ強さの鉛直分布
(実験値 (Exp) は須藤ら (2007) による.)

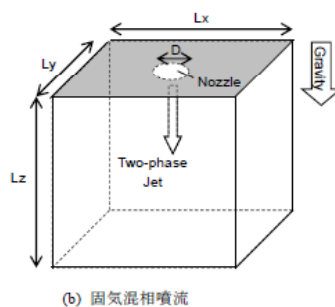
※電中研 研究報告N12003より抜粋

浮カプルームの主要なスペクトル帯域を捉えた格子系を用いれば
本コードにより発達した浮カプルームの熱流動性を良好に再現できることを示している。

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

35

検証解析2 固気混相噴流 概要



(b) 固気混相噴流

気相14.9m/s、粒子相6.407m/sで噴出

粒子:
粒径 5.8e-5 [m]
体積分率0.001
密度 2520[kg/m³]

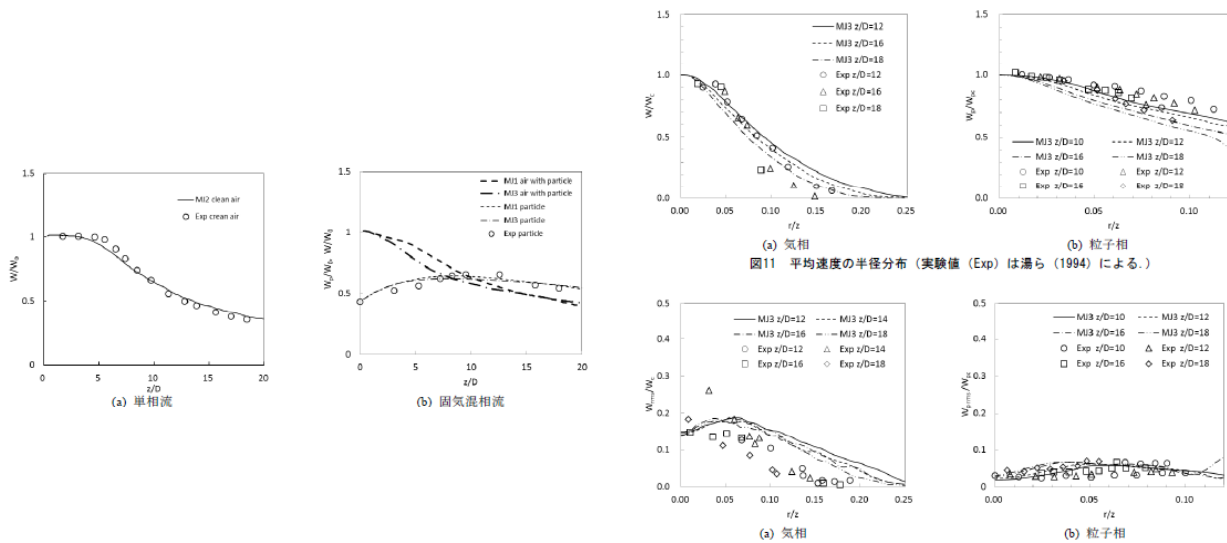
数値解析手法

運動量、化学種、エネルギー、濃度の対流項、	すべて2次中心差分
時間積分法	運動量は3次精度陰解法、その他は、1次精度オイラー陰解法
乱流モデル	標準スマゴリンスキーモデル

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

36

検証解析2 固気混相噴流 計算結果



※電中研 研究報告N12003より抜粋

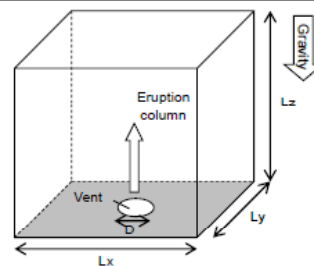
実験で計測された速度場を良く再現している。

検証解析3 噴煙柱解析 概要



円形の火口から1000Kで
水蒸気と3種類の粒径の火砕物が噴出

解析は火口噴出流速が
200m/s, 100m/s, 50m/s
の3ケースを実施した。



(c) 噴煙柱

$L_x=10\text{km}, L_y=10\text{km}, L_z=20\text{km}$
 $D=100\text{m}$
 $N_x, N_y, N_z=142 \times 142 \times 205$

粒子相 (k 相)	粒径 d [m]	密度 ρ [kg/m ³]	粒子相における質量分率 γ	定圧比熱 cp [J/(kg K)]	熱伝導率 k [W/(m K)]	定数 c _k (式(A13))
1	6.4E-05	2100	0.333	1000	2.2	0.5
2	2.8E-04	1450	0.333	1000	2.2	1.0
3	1.1E-03	1100	0.333	1000	2.2	2.0

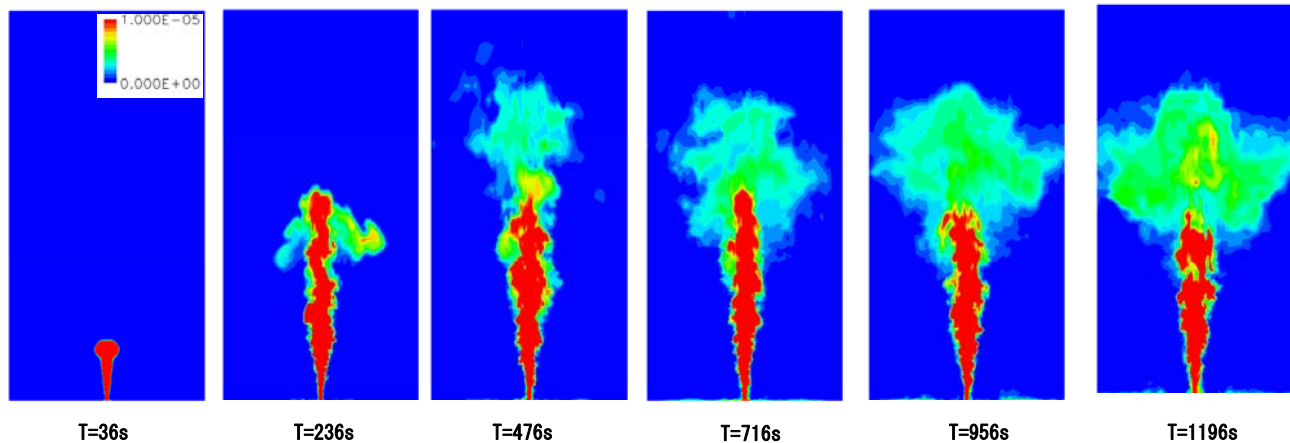
数値解析手法

運動量、化学種、エネルギー、濃度の対流項、	すべて2次中心差分
時間積分法	運動量は3次精度陰解法、その他は、1次精度オイラー陰解法
乱流モデル	標準スマゴリンスキーモデル

検証解析3 噴煙柱解析 計算結果 その1



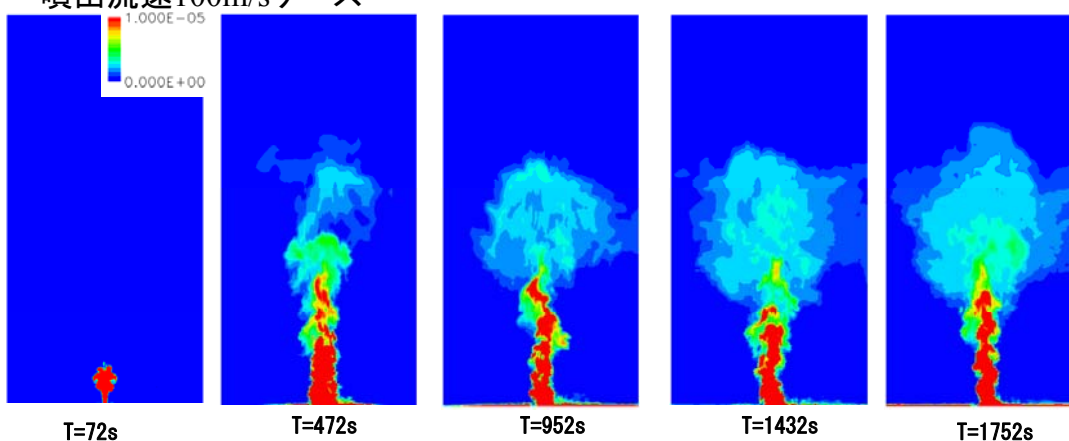
火口噴出流速200m/sの噴煙柱 (粒子相1の体積分率)



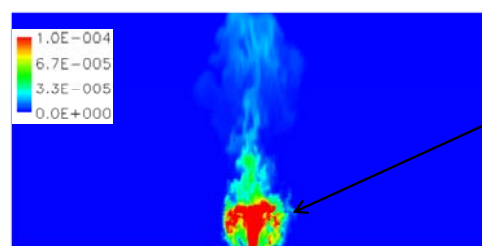
検証解析3 噴煙柱解析 計算結果 その2



・噴出流速100m/sケース



火口付近



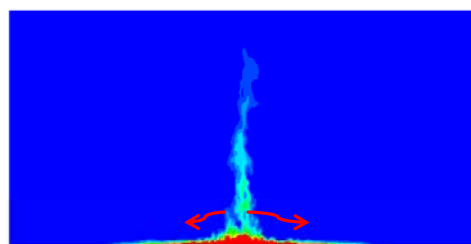
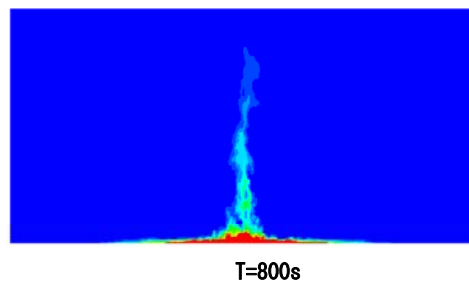
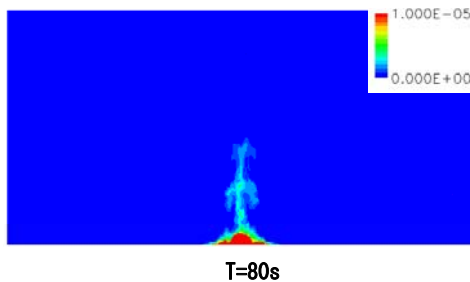
Suspended flow

粒子相1 体積分率分布

検証解析3 噴煙柱解析 計算結果 その3



・噴出流速50m/sケース



火砕流になっている

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

41

検証解析3 噴煙柱解析 計算結果 その4



定常1次元モデルと比較

噴出速度の低下に伴い
噴煙の到達高度も低下する

ケースEC3(噴出速度50m/s)
では火砕流に変化する

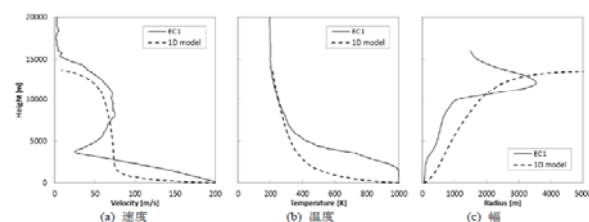


図16 定常一次元モデルとの比較 (ケースEC1)

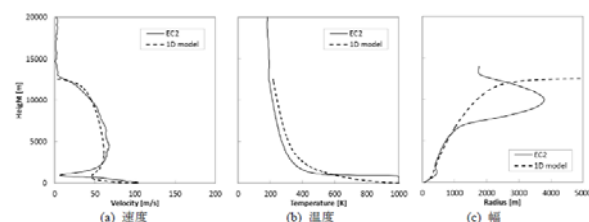


図17 定常一次元モデルとの比較 (ケースEC2)

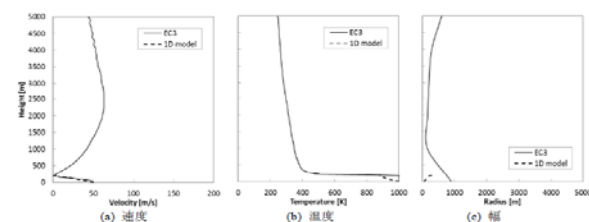


図18 定常一次元モデルとの比較 (ケースEC3)

※電中研 研究報告N12003より抜粋

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

42

謝辞



事例紹介に関連して電力中央研究所様に
多大なるご協力をいただきました。
この場をお借りして、改めてお礼申し上げます。



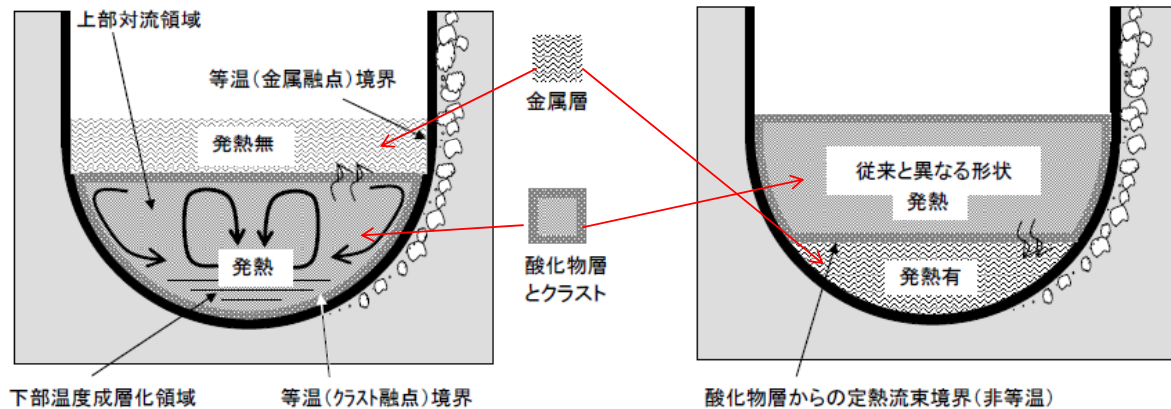
原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る 知識ベースの整備における Advance/FrontFlow/redの利用

2012年11月22日(木)開催
技術第3部

目的

逆成層化時の対流熱伝達を評価することを目的とする。
その解析を実施するために適切な周方向の範囲を確認する。

前年度に実施した内容については、
JNES様のホームページで公開予
定の成果報告書をご参照ください。



従来成層化時のデブリ流動

逆成層化時のデブリ流動

引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネジメントに係る知識ベースの整備に関する
報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

45

解析条件

項目	内容
支配方程式	非圧縮性Navier-Stokes方程式
乱流モデル	MD-Smagorinsky LESモデル
Smagorinsky定数	0.2
SGS乱流プラントル数	0.4
解析格子	非構造格子
時間積分法	Adams-Moulton法
空間離散化	2次精度中心差分
内部レイリー数	3×10^{15}
周方向の領域	1[rad]と 2π [rad]

作成：技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

46

MD-Smagorinsky LESモデル

- MD-Smagorinsky LESモデルは、最も代表的なLESの手法であるSmagorinskyモデルにおいて、SGS渦動粘性係数の計算に浮力による効果を考慮したもの
- SGS渦動粘性係数 ν_{SGS} は以下のように定式化される。

$$\nu_{SGS} = (C_S \bar{\Delta}_m)^2 |\bar{S}|$$

$$\text{ここで、} \quad \bar{\Delta}_m = \bar{\Delta} \left(1 - \frac{Rf}{Rf_c} \right) \quad Rf > 0$$

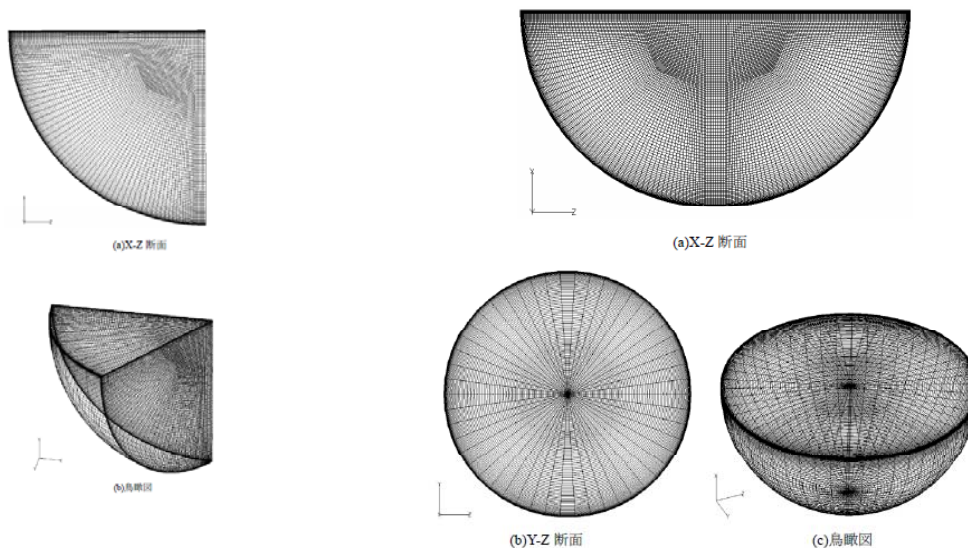
$$\bar{\Delta}_m = \bar{\Delta} (1 - Rf)^{1/4} \quad Rf < 0$$

$$|\bar{S}| = (2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij})^{1/2}$$

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$$

$$Rf = -\frac{G_{kSGS}}{P_{kSGS}} = -\frac{1}{Pr_{SGS} |\bar{S}|^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} g_i \beta$$

メッシュ



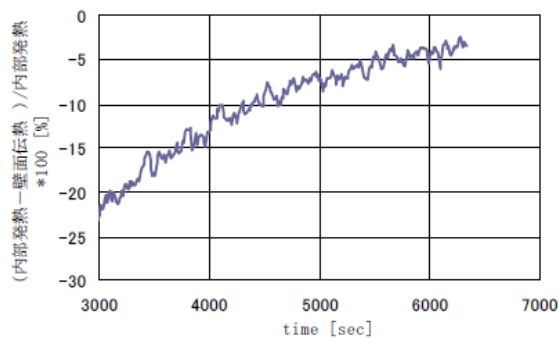
(a) 周方向1radのメッシュ

(b) 周方向2π radのメッシュ

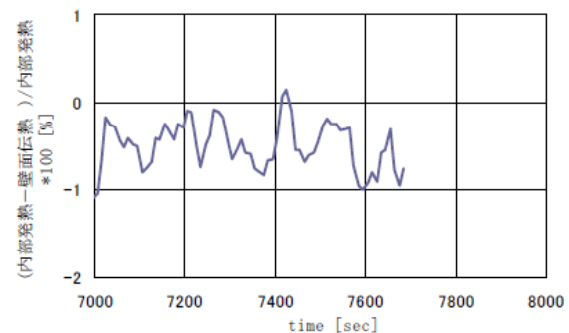
実炉スケール体系

引用: 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書=環境への影響緩和=, 平成21年9月。

収束性



(a)周方向1rad



(b)周方向2π rad

熱収支

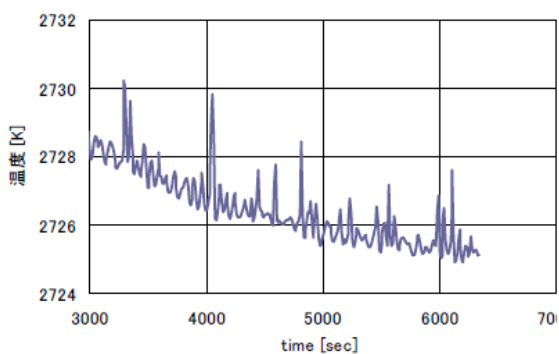
引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

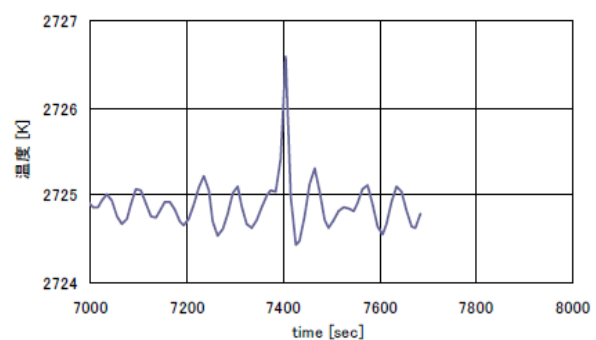
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

49

収束性



(a)周方向1rad



(b)周方向2π rad

モニター温度の時間変化

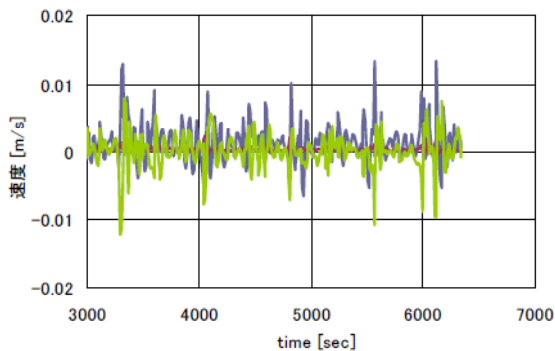
引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

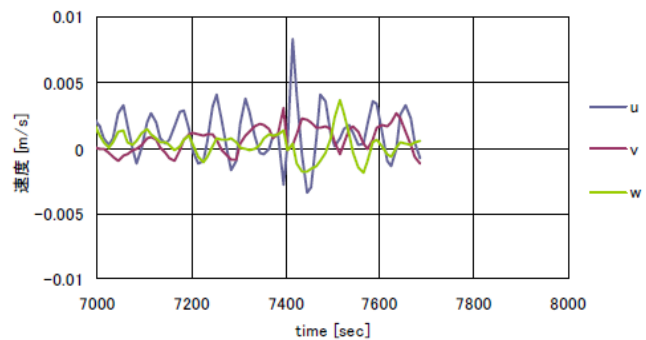
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

50

収束性



(a)周方向1rad



(b)周方向2 π rad

モニター速度の時間変化

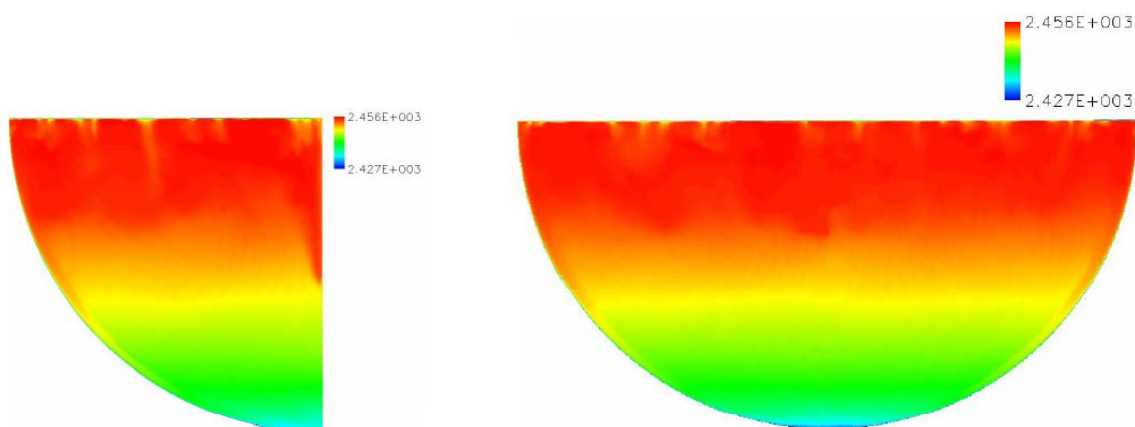
引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

51

解析結果



(a)周方向1rad

(b)周方向2 π rad

時間平均温度分布の比較(単位:°C)

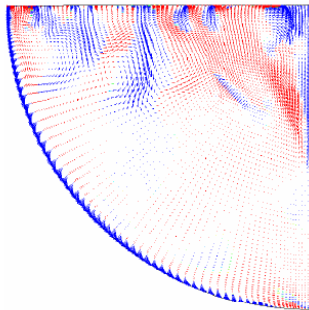
引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

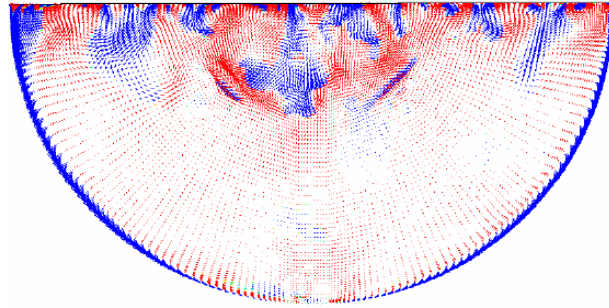
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

52

解析結果



(a)周方向1rad



(b)周方向2π rad

瞬時速度の上下方向分布の比較(上方向が赤、下方向が青)

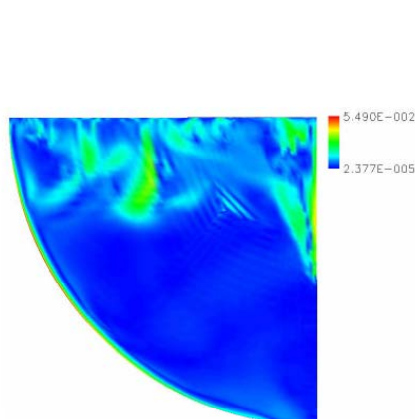
引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

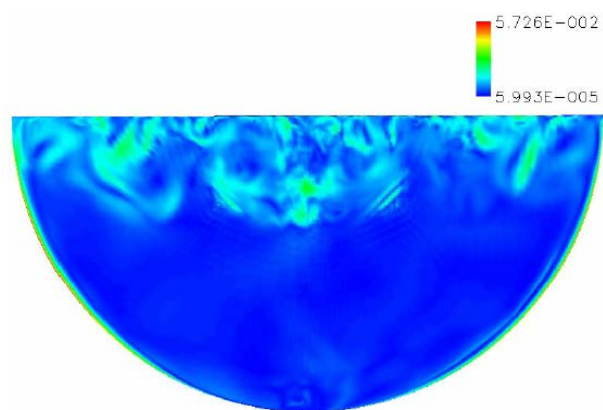
流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

53

解析結果



(a)周方向1rad



(b)周方向2π rad

瞬時速度の大きさ分布の比較(単位：m/s)

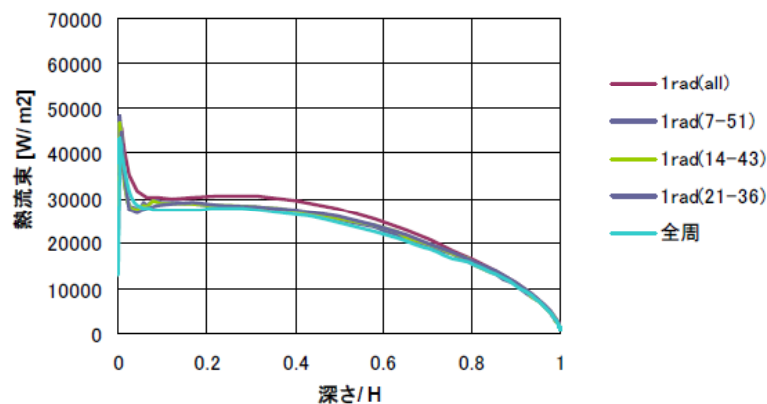
引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

54

解析結果



壁面への熱流束分布の比較

引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

55

結論



実炉を想定した半球状の压力容器下部ヘッド内の熔融デブリからの熱伝達について、全周を考慮した解析と 1 rad の軸対称領域で近似した解析を実施した。その結果、IVR で重要となる壁面や上面への熱伝達及び壁面への熱流束分布における両者の差は数%であり、実炉解析において軸対称形状を用いることが妥当であることが示された。

引用：独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度原子炉施設のアクシデントマネージメントに係る知識ベースの整備に関する報告書＝環境への影響緩和＝，平成21年9月。

作成：技術第3部 2012年11月

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

56

謝辞



事例紹介に関連して独立行政法人 原子力安全基盤機構様に多大なるご協力をいただきました。
この場をお借りして、改めてお礼申し上げます。



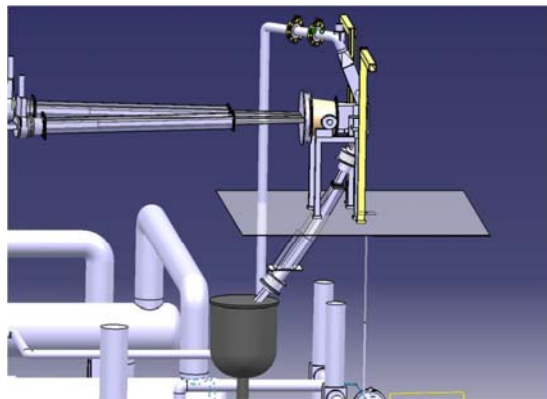
IFMIF リチウムターゲット施設の工学設計 のための熱流動解析

2012年11月22日(木)開催
技術第3部

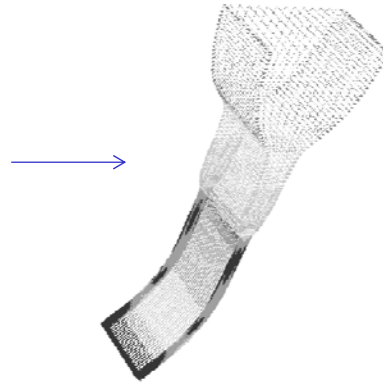
目的

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
ナトリウム機器構造第一試験室
IFMIF照射・試験施設開発グループ殿ご提供

国際核融合材料照射施設 (IFMIF) の工学実証・工学設計活動 (EVEDA) で実施される IFMIF 実機のリチウム (Li) ターゲット施設の工学設計では熱、流体、真空等、種々の挙動を予測することが必要である。ターゲット施設と他の施設とのインターフェイスとなるために早急に解明しておくべき挙動を Advance/FrontFlow/red の VOF 法を用いて計算評価した。



IFMIF概略図



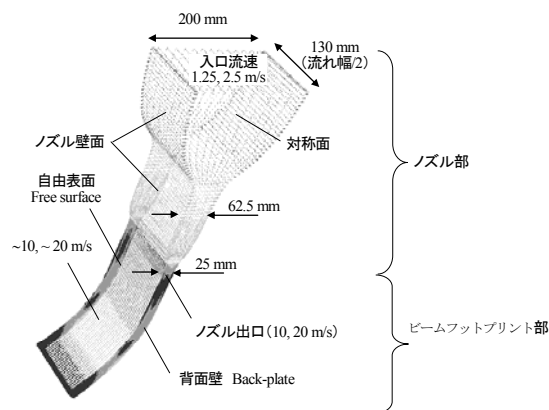
解析モデル

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

59

[解析対象]

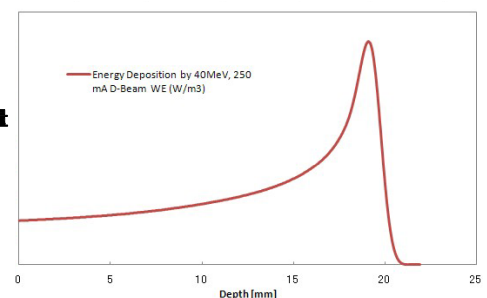
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
ナトリウム機器構造第一試験室
IFMIF照射・試験施設開発グループ殿ご提供



重陽子ビーム照射による Li 発熱は
Li 自由表面からの深さに応じて右図のように与えられる。



発熱量



VOF 法で求めた自由表面位置からの距離関数を解く
レベルセット法を協調的に使用することで
発熱量を与えた。

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

60

[解析手法 1]



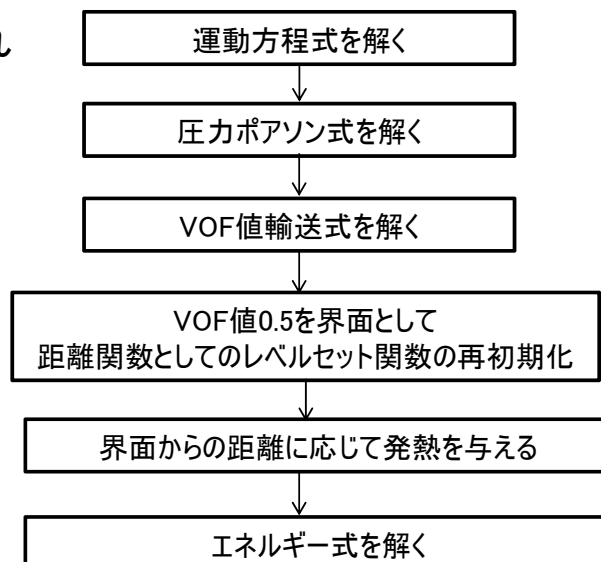
ソルバー	Advance/FrontFlow/Red ver. 4.1
支配方程式	非定常非圧縮性NS方程式
乱流モデル	RNG k- ε
運動方程式、エネルギー方程式及び質量保存方程式の時間積分法	オイラー陽解法
運動方程式、エネルギー方程式及び質量保存方程式の移流項スキーム	1次精度風上差分法
速度-カップリング	SIMPLEC法
時間刻み[sec.]	1e-4
状態方程式	ユーザー定義関数で Liの密度、比熱、輸送係数等 熱物性を表現した。

[解析手法 2]



VOF値輸送式の移流項スキーム	CICSAM法
VOF値輸送式の時間積分法	オイラー陽解法

計算流れ



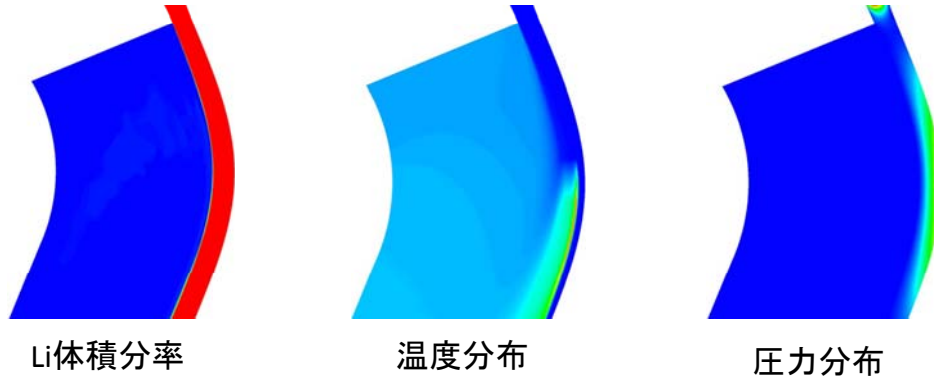
[解析結果]



VOF法とLevel Set 法を協調的に利用することでLi自由表面と
温度場のふるまいを把握することに成功

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
ナトリウム機器構造第一試験室
IFMIF照射・試験施設開発グループ殿ご提供

湾曲部(重陽子ビーム照射部)のLi流動結果



成果 変動する自由表面からの深さに応じた発熱分布を有する液体リチウム流内での温度と圧力の分布を計算でき、リチウムが沸騰しないことを明らかにした。

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

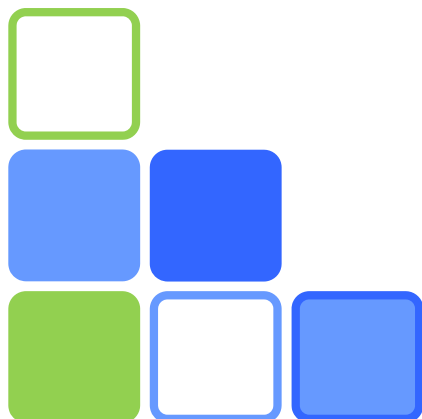
63

謝辞

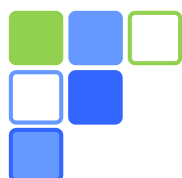


事例紹介に関連して
独立行政法人日本原子力研究開発機構様に
多大なるご協力をいただきました。
この場をお借りして、改めてお礼申し上げます。

流体解析用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP のご紹介



アドバンスソフト株式会社
技術第5課 徳永健一



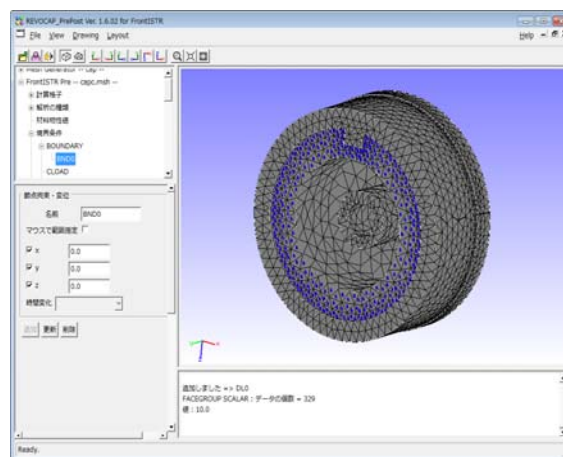
Advance/REVOCAP とは

有限要素法、有限体積法を用いた構造解析ソフト及び流体解析ソフトのための汎用プリポストプロセッサです。

特にAdvance/FrontFlow/redとAdvance/FrontSTRの専用の入力GUIを備え、解析者の手間を削減します。

その他、Advance/FrontFlow/MPおよび Advance/FrontNoise に対応しています。

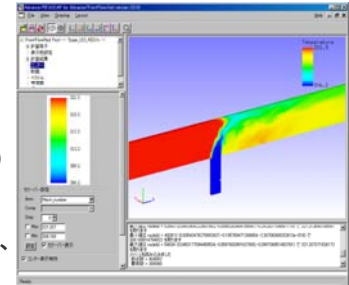
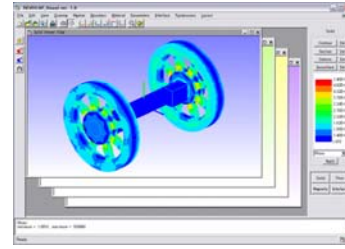
文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで開発された、連成解析用のプリポストプロセッサ REVOCAP_Visual、および文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」で開発されたREVOCAP_PrePostをアドバンスソフトが機能を拡張して商品化したものです。





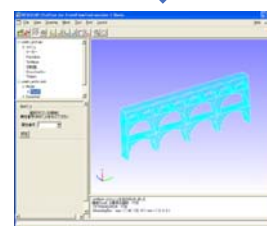
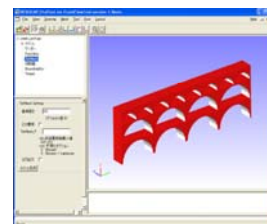
Advance/REVOCAPの開発経緯

- 2005年度～2007年度
「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」
革新的汎用連成シミュレーション REVOCAP で
連成解析用のプレポストプロセッサ
REVOCAP_Mesh、REVOCAP_Visual を開発
- 2008年度～2011年度
「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」
大規模アセンブリ構造対応マルチ力学シミュレータ
REVOCAP で大規模アセンブリ構造対応プレポストREVOCAP_PrePost を開発
- 2009年7月
アドバンスソフトの独自改良版として、Advance/FrontFlow/red対応
プリポストプロセッサAdvance/REVOCAP Ver. 2.0 をリリース
- 2010年7月
Advance/REVOCAP Ver. 2.2 をリリース(Avance/FrontSTR 対応版)
- 2011年8月
Advance/REVOCAP Ver.2.3 をリリース(Avance/FrontSTR Ver.4.0、
Advance/FrontFlow/red Ver.4.1 対応版)
- 2012年7月
Advance/REVOCAP Ver.3.0 をリリース



Advance/REVOCAP のメッシュ生成機能(1)

- 形状データ(IGES、STEP、STL)から自動的に四面体メッシュを生成します。
- 手順
 1. モデルデータの読み込み
 2. モデルの修正
 3. メッシュ生成パラメータの設定
 4. メッシュ生成
- メッシュ生成エンジン
 - ADVENTURE_TetMesh
 - Simmetrix





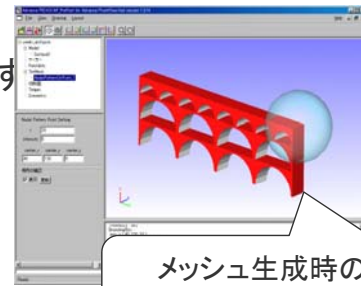
Advance/REVOCAP のメッシュ生成機能(2)

■ 粗密制御機能

- 四面体自動生成の際の要素の大きさの粗密を与えます。
- 形状の近傍を細かくする
- 物理量の変化が大きいところを細かくする

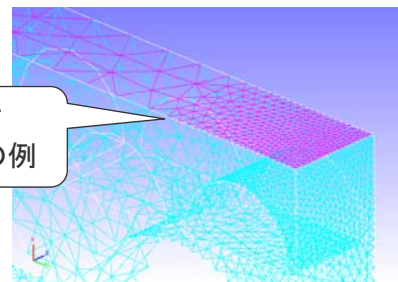
■ 粗密制御の方法

- 場所の指定
 - ある点の周り(球の内部)
 - ある線分の周り(円柱の内部)
- 倍率の指定
 - 周りの要素に対する倍率



メッシュ生成時の
粗密範囲の確認画面

粗密を定義して
生成したメッシュの例



アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー



Advance/REVOCAP のメッシュ生成機能(3)

■ メッシュ生成のパフォーマンス

■ ADVENTURE_TetMeshを使った場合

- 840万要素で20分程度
- メモリに対する上限が高い

■ Simmetrixを使った場合

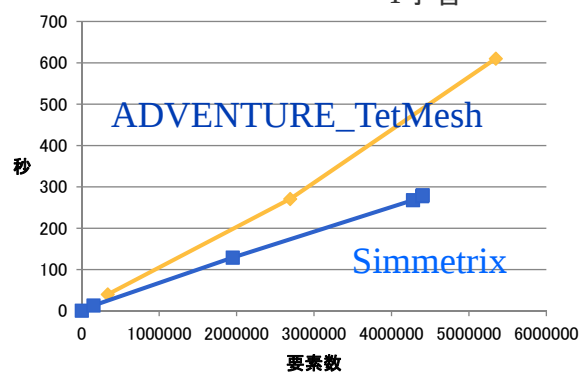
- 450万要素で5分程度
- メッシュ生成速度が速い

■ 大規模メッシュ生成

- 64bit 版 メモリ8GB環境
- 1800万要素のメッシュ生成30分



T字管

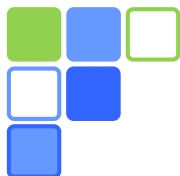


OS: Windows XP
CPU: Intel Core2 Duo 2.66 GHz
Memory: 3 GB

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー





Advance/FrontFlow/redの解析モデル作成 (プリ処理1)

■ 主な機能

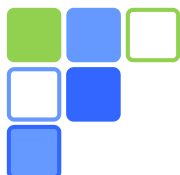
- 四面体、六面体、三角柱、四角錐およびそれらの混合要素に対応
- 境界条件設定機能
- 解析条件設定機能
- 乱流モデル設定機能
- 流体物性値設定機能
- 化学種設定機能
- 化学反応設定機能
- 出力オプション設定機能
- VOF法設定機能



境界条件設定画面

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー



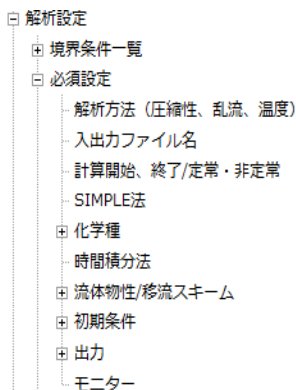
Advance/FrontFlow/redの解析モデル作成 (プリ処理2)

■ ソルバー開発者の設計思想を反映した入力用のGUI

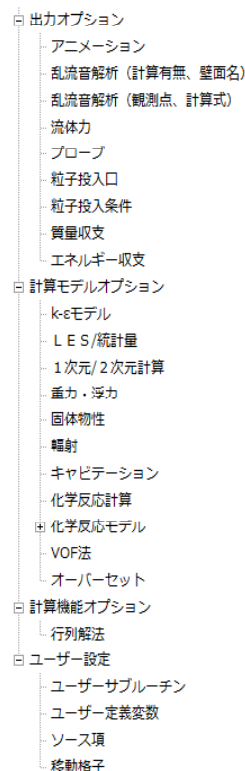
- ツリー構造で整理された設定項目
- 必須項目とオプション項目が整理されている
- 複雑な設定は別画面で行う



設定用の別画面の例(流体物性)



必須設定項目の一覧



オプション設定項目の一覧

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

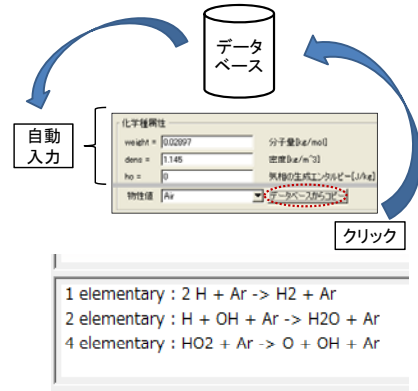
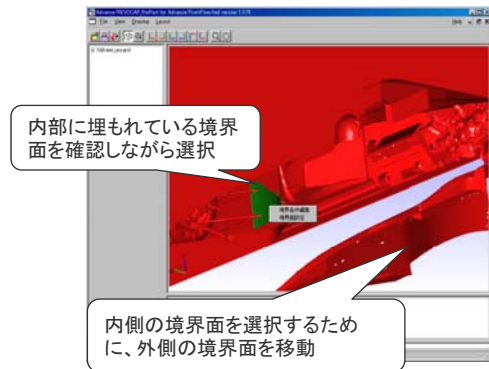




Advance/FrontFlow/redの解析モデル作成 (プリ処理3)

□ その他のプリ処理の特徴

- 複雑な形状の境界面をマウスでピック&ドラッグすることで、直観的な選択ができます。外からは見えにくい内部の面も容易に選択できます。
- 化学種の値は物性値データベースから入力可能です。
- ログ画面に設定内容の確認や付随する情報を表示(右図: 設定した化学反応式の内容の確認)



アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

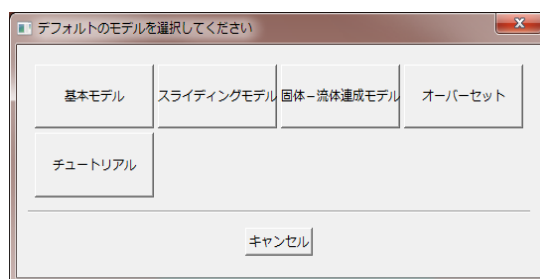
9 AdvanceSoft



Advance/FrontFlow/red解析支援

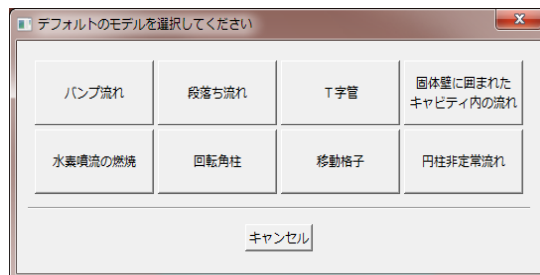
□ 基本モデル選択機能

- アドバンスソフト社で行ってきた多数の解析の知見より得られた適切な規定値が与えられたモデルから選択することができます。



□ 豊富なチュートリアル

- そのまま流すことのできるチュートリアルデータとその設定方法を詳細に解説



□ 計算サーバ実行支援

- 計算サーバで並列計算をする場合のスクリプトのひな形の作成機能

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

10 AdvanceSoft



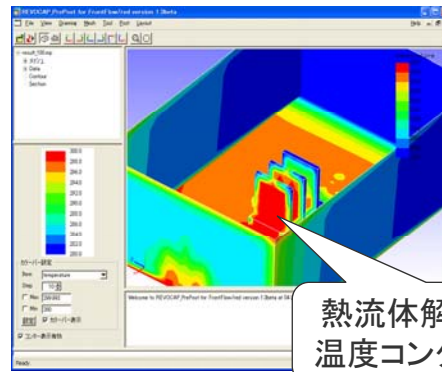
Advance/REVOCAP ポスト処理機能(1)

基本的なポスト処理機能

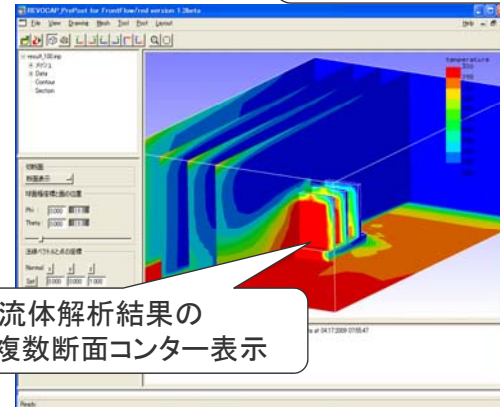
- コンター図
- 任意平面での断面表示
- ベクトル図
- 等値面
- ポイントプローブ
- ライン上の物理値プロファイル
- パーティクル
- ストリームライン

特徴

- プリ処理と同様に選択した面だけを移動可能
- 複数の断面同時表示



熱流体解析結果の温度コンター表示例



熱流体解析結果の温度の複数断面コンター表示

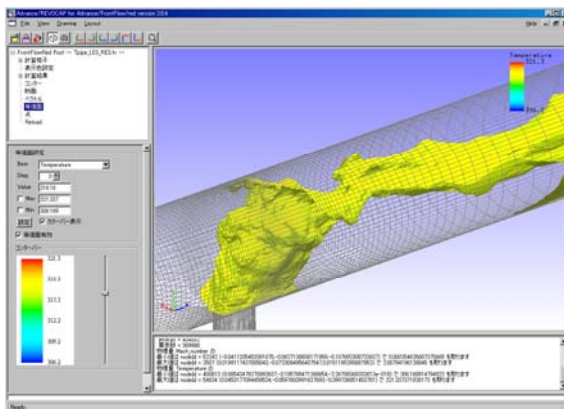
アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

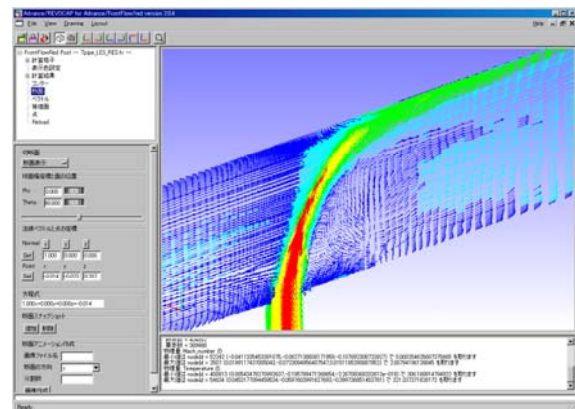
11 AdvanceSoft



Advance/REVOCAP ポスト処理機能(2)



T字管の熱流体解析温度等値面



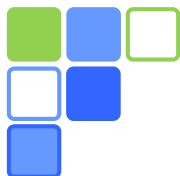
T字管の熱流体解析断面上の速度ベクトル分布

その他:アニメーション用非定常解析画像ファイル生成 など

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

12 AdvanceSoft



Advance/REVOCAP Ver.3.0 の新機能

□ Windows64bit版に対応

- ご要望の多かったWindows64bit版への対応をいたしました。これにより大規模なメッシュをPC上で扱うことが可能になります。例えば、メインメモリが8GBで1000万メッシュのモデルを処理することができます。

□ Advance/FrontFlow/red Ver.5.0に対応

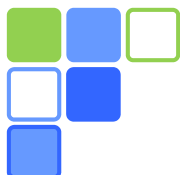
- Advance/FrontFlow/red Ver.5.0では、多くのパラメータが自動的に決定できるようになりました。それに伴いより分かりやすいGUI構成となりました。
 - 例)
 - メモリアロケーション設定
 - 新たな計算モデルの設定
- 出力物理量設定機能を強化し、質量収支データ、エネルギー収支データをそれぞれ設定可能にしました。



アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

13 AdvanceSoft



Advance/REVOCAP 今後の予定

□ マイナーバージョンアップ Ver.3.1

- Ver.3.0のバグフィックス
- メッシュ細分化ツールの標準添付
- 入力インターフェイスの拡充
- チュートリアル追加

□ Ver.4.0へ向けて計画中

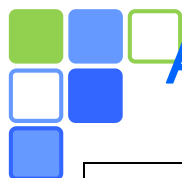
- メッシュ生成エンジンの追加

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

14 AdvanceSoft





Advance/REVOCAPの基本情報

動作環境	Windows7 (32bit, 64bit)、Windows Vista、WindowsXP、Linux(CentOSなど、詳細はお問い合わせください)
形状モデル読み込み	IGES(5.3)、STEP、STL
メッシュ生成	四面体自動メッシュ生成、押し出しメッシュ生成、2次要素対応、粗密制御対応
計算格子読み込み	FrontFlowGF形式、HECMW形式、(その他各種のフォーマットに対応いたします。詳細はお問い合わせください。) 四面体、六面体、三角柱、四角錐
プリ処理	境界条件設定機能、解析条件設定機能、物性値簡易データベース機能、メッシュ品質チェック機能
ポスト処理	カラーコンター、等値面、流れ場ベクトル、切断面、変形、アニメーション作成
推奨PCスペック	メインメモリ2GB以上(1千万要素以上の大規模モデルを扱う場合は16GB以上を推奨します) 空きHDD500MB以上 ビデオメモリ256MB以上(大規模モデルを扱う場合は1GB以上)

アドバンスソフト株式会社
2012年11月22日

流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー



流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/redとの 連成が可能な音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise

2012年11月22日(木)開催

第1事業部

松原 聖



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー



当社における連成解析の実績

- 当社では、流体解析、構造解析、音響解析のソフトウェアのソースコードをハンドリングできる技術を有しており、お客様の具体的な問題に対して連成解析の実績を積んできました。
 - － 流体→構造；流れによるプラント構造物の振動解析
 - － 流体→音響；流れにより発生した音源の音響解析
 - － 構造→流体；振動源の流体挙動への影響評価
 - － 音響→構造；音源の構造物強度への影響評価
 - － 構造→音響；構造物の振動に起因する音響解析
- ここでは、流体解析ソフトウェアの結果を音響解析ソフトウェアの音源として利用する「流体音響連成解析」について説明します。

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise



項目	内容
基礎方程式	(1) 音響ポテンシャルに関する波の方程式を周波数空間に変換した方程式 (2) 空間的に分布する場の流れおよび空間的に分布する音響伝播媒体を考慮可能
解析領域	内部領域、および、外部領域(外部領域での外部境界は ρc 境界で与える)
物性値等	速度 場の速度を指定可能(デフォルト:速度0) 温度 場の温度(音の伝播媒体)を要素毎に指定することが可能(デフォルトは均一媒体)
境界条件	面での音源 面(壁境界)に対して、周波数毎に音圧または粒子速度を設定可能 点音源 節点に対して、単極子、双極子、または、四重極子のパラメータを設定可能 音響インピーダンス 面(壁境界)に対して、周波数毎に音響インピーダンスを設定可能 外部境界 面(外部境界)に対して、 ρc 境界を設定可能(音響インピーダンスを与える機能)
数値解法	離散化手法 有限要素法 利用可能な要素 四面体一次要素 並列計算 自動領域分割によりMPIで並列化 行列解法 GMRES系列の反復法 大規模計算実績 4億要素・8000万節点(四面体一次要素)
解析結果	周波数毎の音響ポテンシャル、音圧、音圧レベルを、バイナリ形式でファイル出力
プリポスト	Advance/FrontNoiseに対応したプリポストの正式リリース版はありません。お持ちのプリポストとの接続については、ご相談ください。

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

3

音響解析の基礎方程式



基礎方程式

$$\nabla^2 \Psi(x, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial t^2}$$

$$V(x, t) = \text{grad}(\Psi(x, t))$$

$$P(x, t) = -\rho \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t}$$

周波数領域での基礎方程式

$$\nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0 \quad \text{in } \Omega$$

$$k = \frac{2\pi\nu}{c}$$

境界条件

$$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial \varphi(x)}{\partial n} = f(x) \quad \text{on } \partial\Omega$$

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

4

Advance/FrontNoiseでの音源の取り扱い

音源	単独の音源	分布する音源
点音源	基礎方程式の右辺のソース項として与える。 音源条件として*.bcnファイル、*.bcqファイルとして与える。 【Ver.4.0以降】	同左 同左
二重極音源	1点を指定することで、二重極音源の計算条件を設定する。 入力ファイルを変換するツールpsgenを提供する。 【Ver.4.0以降】	壁の境界条件として、取り扱う。圧力または粒子速度の境界条件として入力する。 境界条件として*.bcsファイル、*.bcvファイルを与える。 【Ver.1.0以降】
四重極音源	1点を指定することで、四重極音源を計算条件を設定する。 入力ファイルを変換するツールpsgenを提供する。 【Ver.4.0以降】	空間に分布する音源として取り扱う。 Lighthillテンソルの2階微分の音源を点音源として設定する。 流速からLighthillテンソルの2階微分に変換し、*.bcnファイルと*.bcqファイルを作成するツールを提供。 【Ver.4.2以降】

流体解析結果の音響解析への利用(四重極)

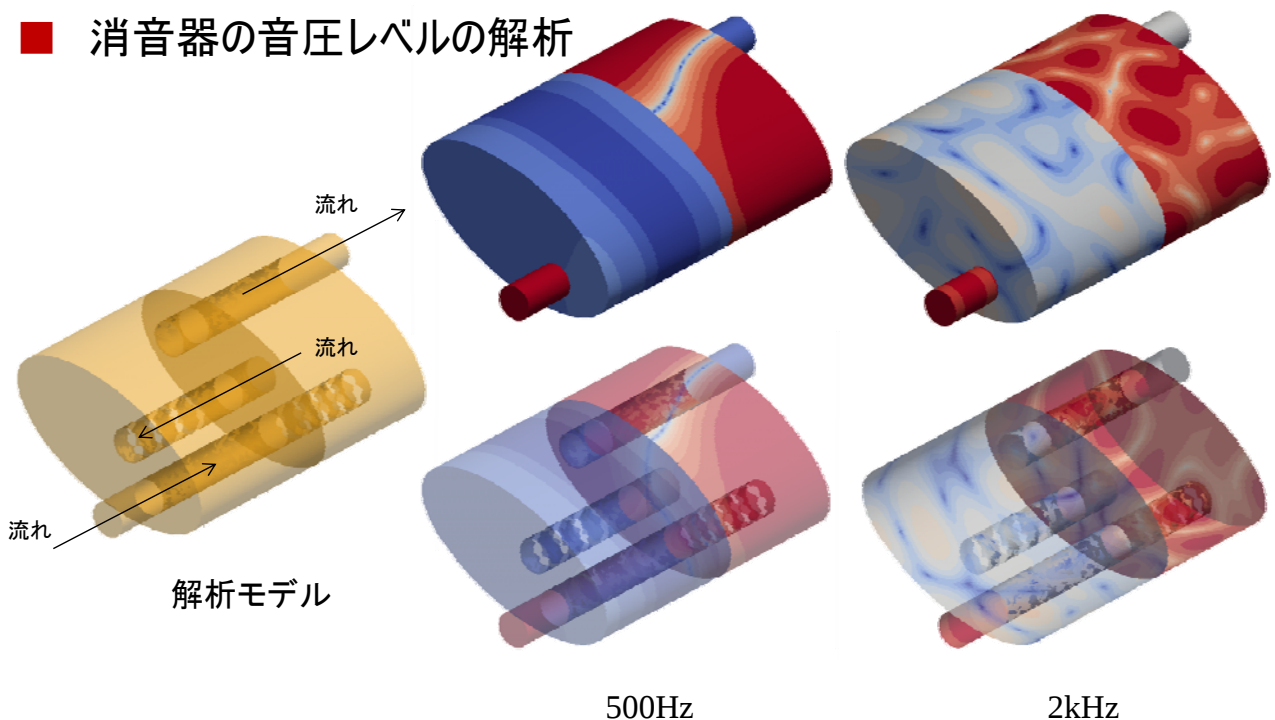
- 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/redの時系列ファイルを音源となる可能性のある場所で出力する。
- 速度からLighthillの乱流応力テンソルを求める。 $T_{ij} = \rho v_i v_j$
- 乱流応力テンソルの2階微分を求める。 $\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$
- 流体メッシュから音響メッシュに物理量をマッピングする。
- 係数を乗じて、基礎方程式の右辺に加える。

$$\nabla^2 \varphi + k^2 \varphi = -i \frac{1}{\rho c k} \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

- 音響解析を実施する。

流体解析結果を音源とした音響解析例

■ 消音器の音圧レベルの解析



流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

7

まとめ

- ハードウェアの性能向上により、流体解析を利用した音源の解析が実用的になるにしたい、そのポスト処理としての音響解析のニーズが増えてきた。
- 当社の音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoiseでは
 - － 従来から取り組んできた音響の大規模解析の適用により、流体音響連成が可能となった。
 - － 流体音響連成の実績を重ね、その解析手順を音響解析ソフトウェアのツールとして整備した。
- 今後とも、多様な解析ソフトウェアのソースコードをハンドリングできる当社の利点を生かして、ユーザー様からのニーズに応えた連成解析を実施していく予定である。

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

8

この本資料に収録されている文章および内容については、ご自身のために役立てる用途に限定して無料配布しています。

この本資料を、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。

この本資料に含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red最新動向セミナー

－ お問い合わせ －

アドバンスソフト株式会社

〒107-0052 東京都港区赤坂 1-9-20 第16 興和ビル南館 7F

TEL: 03-5570-1689 FAX: 03-5570-1684 E-mail: office@advancesoft.jp

URL: <http://www.advancesoft.jp/>

2012 年 11 月 22 日

主催: アドバンスソフト株式会社

© Copyright 2012 Advancesoft All rights reserved. No reproduction without written permission.

