

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

2014年1月30日（木）開催
アドバンスソフト株式会社

本日のプログラム

- 13:30～13:40 主催者挨拶 アドバンスソフト株式会社のご紹介
- 13:40～14:10 Advance/FrontFlow/redの現状及びロードマップ
- 14:10～14:40 Advance/FrontFlow/redの最新事例
- 14:40～15:00 休憩
- 15:00～15:30 ユーザー様の事例紹介～入口条件が対向噴流の混合に与える影響～
株式会社IHI 基盤技術研究所 熱・流体研究部 長尾 隆央様のご講演
- 15:30～15:50 プリポストプロセッサAdvance/REVOCAPの概要と特長のご紹介
- 15:50～16:10 メッシュ作成ツールキットCube-it及び
可視化ソフトウェアParaViewの使用方法
- 16:10～16:25 価格及び関連サービス紹介、質疑応答
- 16:25～17:00 休憩～技術相談など～
- 17:00～18:30 懇親会

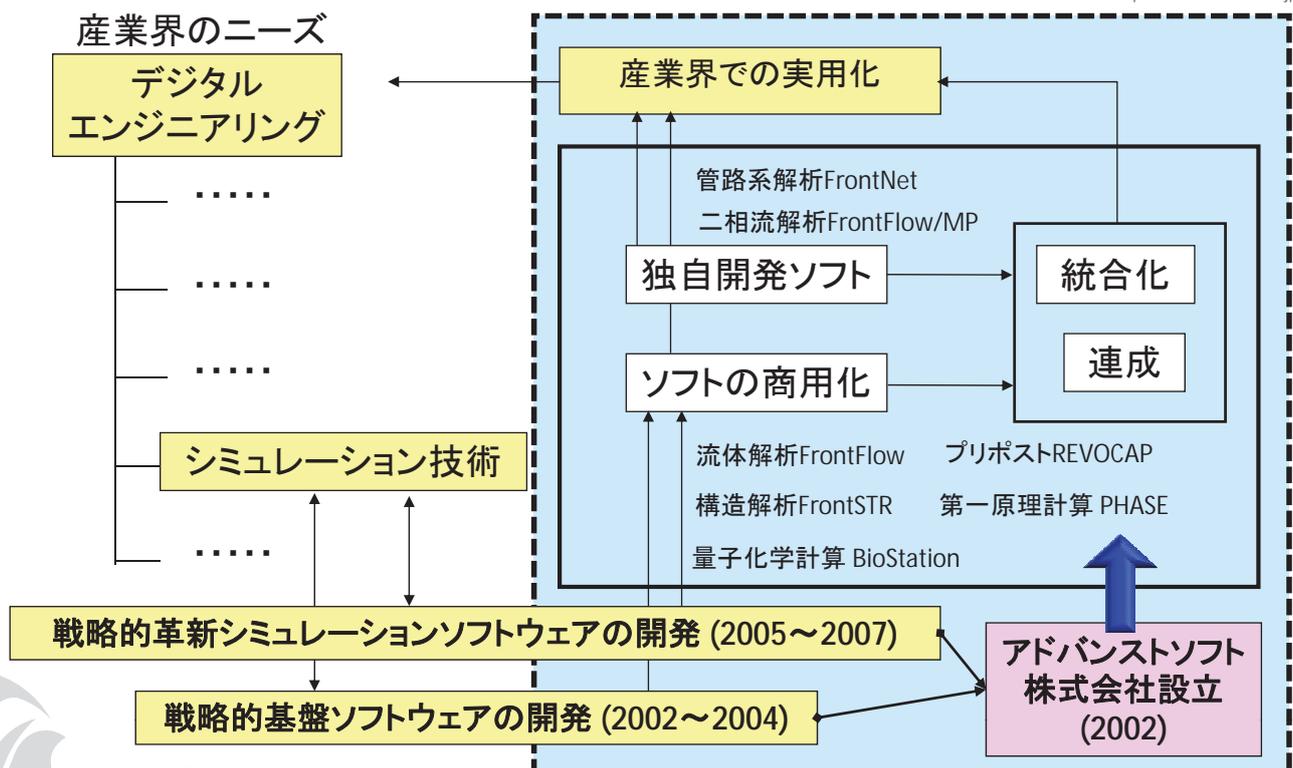
アドバンスソフト株式会社について

第2事業部 三橋 利玄

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red最新動向セミナー
2014年1月30日（木）
アドバンスソフト株式会社

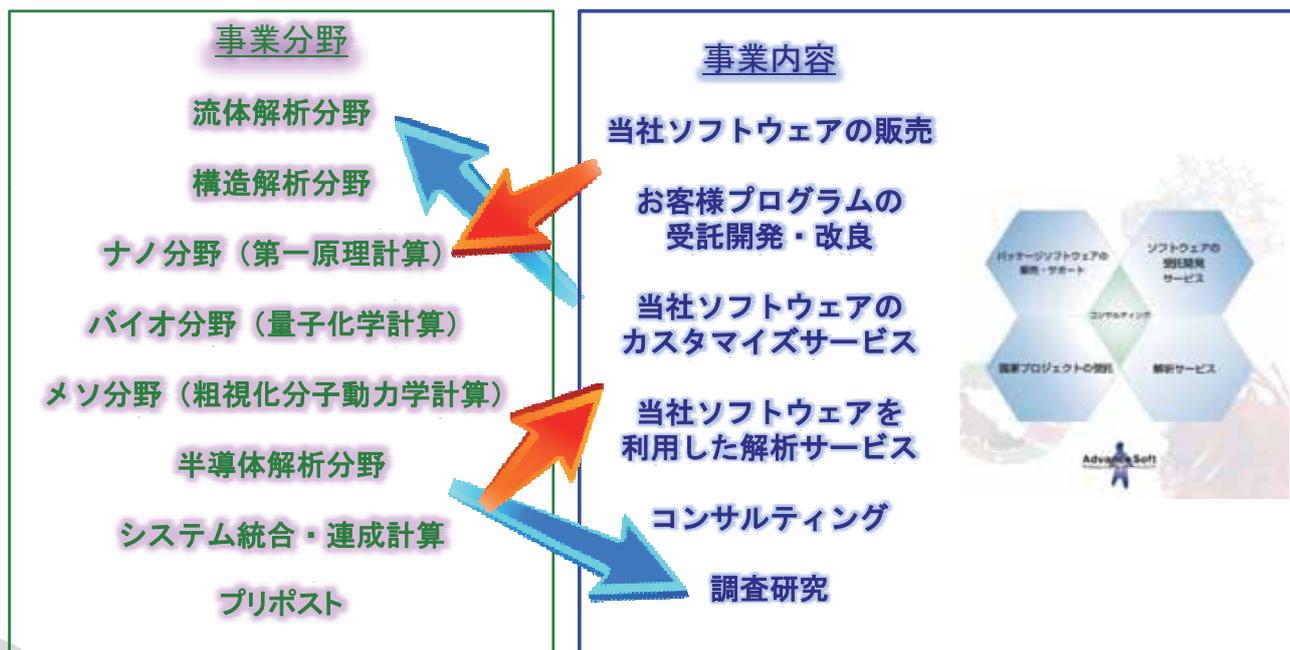
1

アドバンスソフトとは



2

アドバンスソフトの事業分野と事業内容



アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

<p>ナノ</p> <p>Advance/PHASE</p> <p>Advance/TFLAGS</p>	<p>流体</p> <p>Advance/FrontFlow/red</p> <p>Advance/FrontFlow/MP</p> <p>Advance/FrontFlow/FOCUS</p> <p>Advance/EVE SAYFA</p>	<p>構造</p> <p>Advance/FrontSTR</p>
<p>バイオ</p> <p>Advance/BioStation</p> <p>Advance/ProteinDF</p>	<p>メソ</p> <p>Advance/OCTA</p>	<p>統合プラットフォーム</p> <p>Advance/PSE Workbench</p>
		<p>管路系</p> <p>Advance/FrontNet</p>

(注)図には主要なものを挙げている。詳細はwww.advancesoft.jpへ

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/FrontFlow/SSMP	超音速気液二相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群
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
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/OCTA	ソフトマテリアル統合シミュレータ

(注)表には主要なものを挙げている。詳細はwww.advancesoft.jp へ

facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

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

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



Advance/FrontFlow/redの 現状及びロードマップ

技術第3部 大西陽一

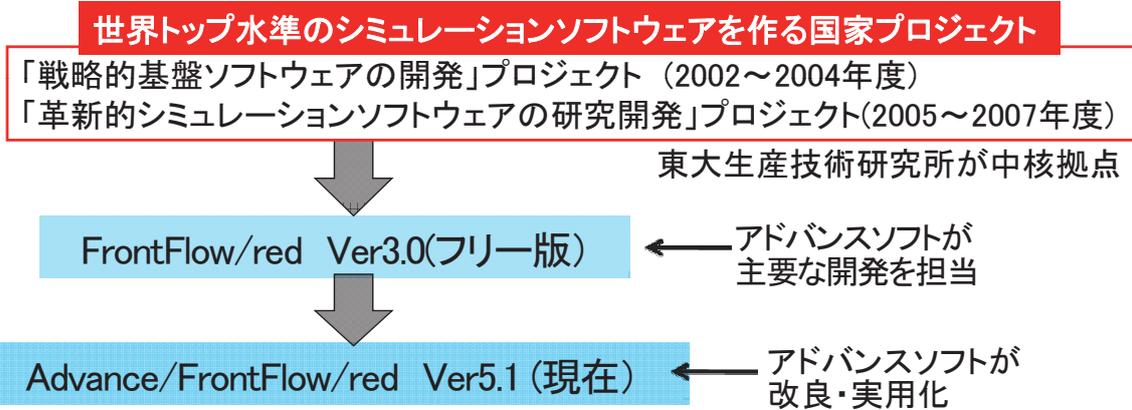
流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red最新動向セミナー
2014年1月30日（木）
アドバンスソフト株式会社

Advance/FrontFlow/redとは

- ・我が国の産業力強化を目的として開発された非構造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、混相流現象を解析するためのソフトウェア

Advance/FrontFlow/redの特長

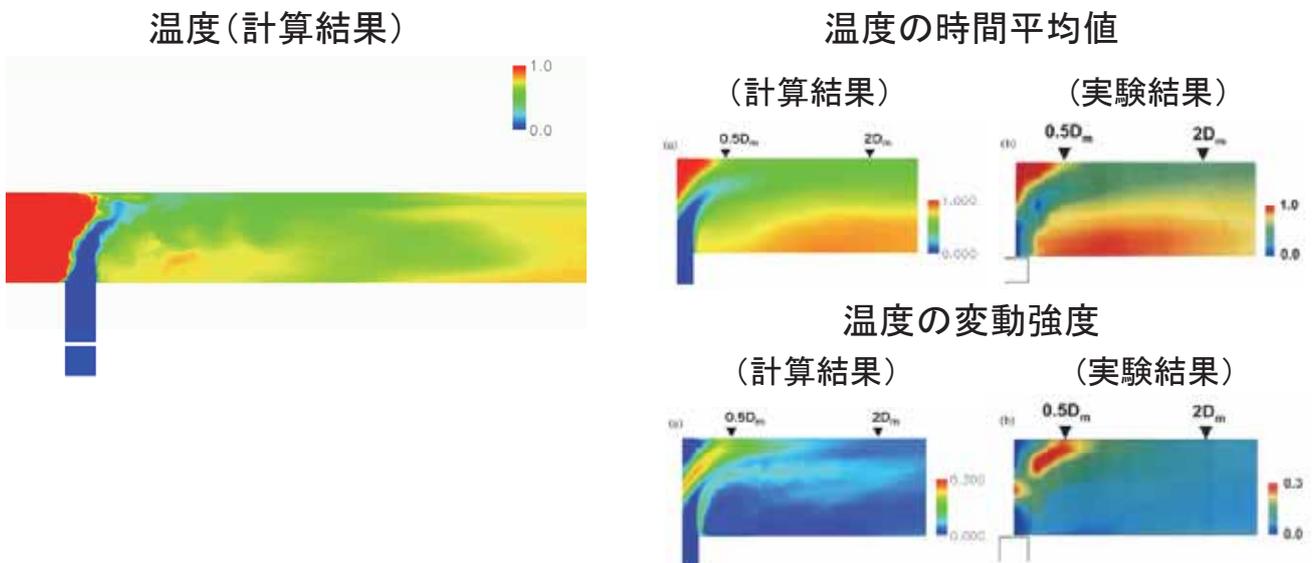
- ① 文部科学省のプロジェクトで開発したFrontFlow/redをアドバンスソフトが改良・実用化したソフトウェア → 国産のソフトウェア



- 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

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

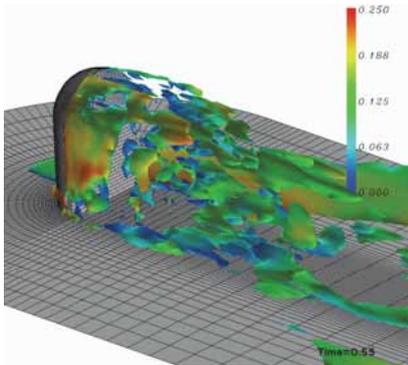
(例) 配管合流部における温度の混合解析



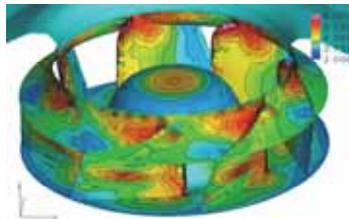
出典: 畝村他, "FrontFlow/Red IによるT字形配管合流部における温度変動のラージ・エディ・シミュレーション", 第18回数値流体力学シンポジウム (2004)

(例1)ドアミラーの騒音解析 (例2)ファンの騒音解析

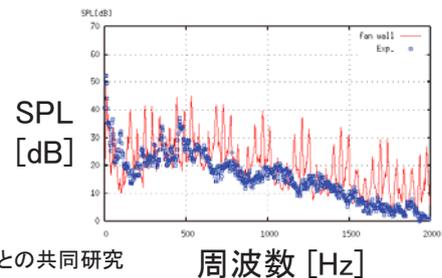
ヘリシティ(計算結果)



変動圧力(計算結果)



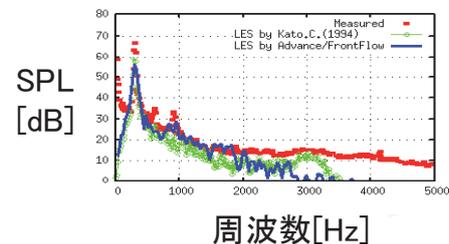
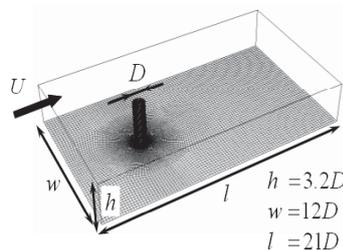
音圧レベル(計算結果と実験結果)



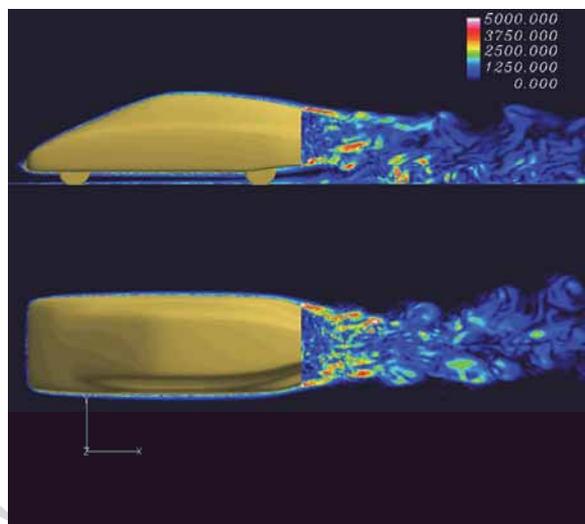
東プレ株式会社様との共同研究

(例3)円柱周りの騒音解析

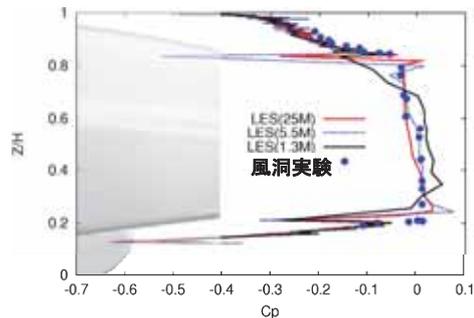
音圧レベル(計算結果と実験結果)



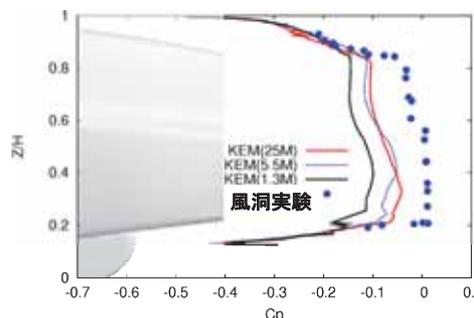
(例)車体背後の壁面圧力の解析



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

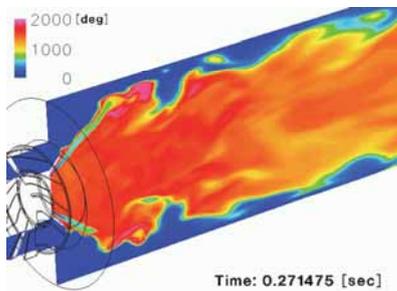


ご提供: 東京大学 生産技術研究所様 革新的シミュレーションPJ

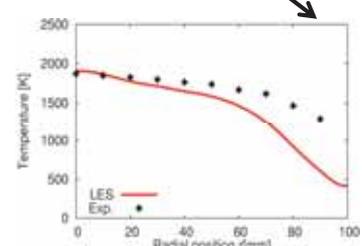
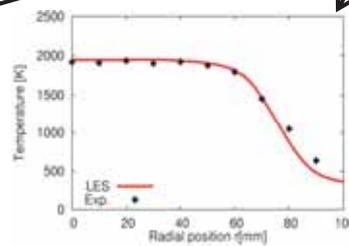
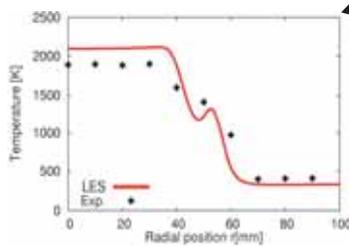
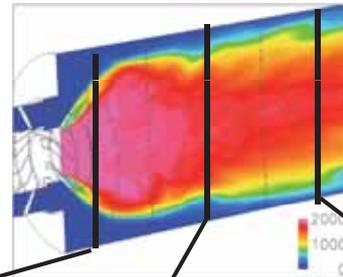
Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～燃焼解析

(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)



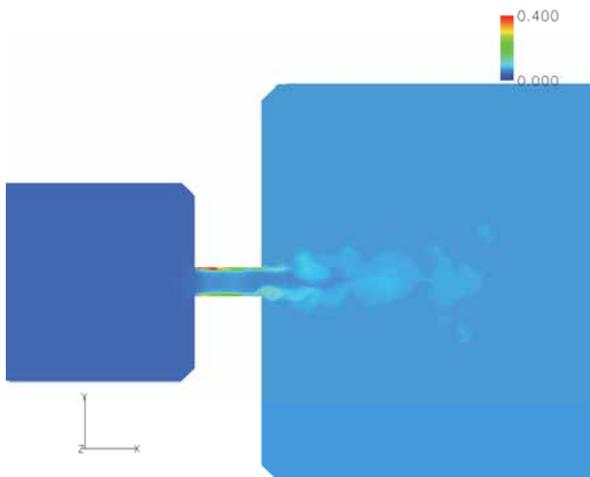
時間平均温度(計算結果と実験結果)

ご協力:三菱重工業株式会社、北大工 大島先生

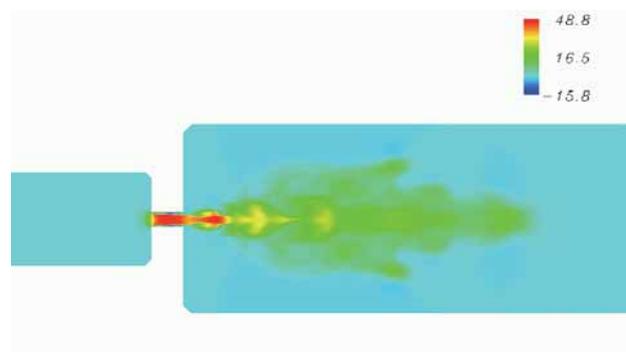
Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～キャビテーション解析

(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)



Advance/FrontFlow/redと公開版FrontFlow/redの違い

ロバスト性

- ・バグフィックス、 離散化の見直し

使い勝手向上

- ・Advance/Revocapとの連成

新機能

- ・セル中心法
- ・ALE機能、多重格子機能、構造連成解析
- ・多相流機能
- ・物性値テーブル参照機能



Advance/FrontFlow/redと公開版FrontFlow/redの違い

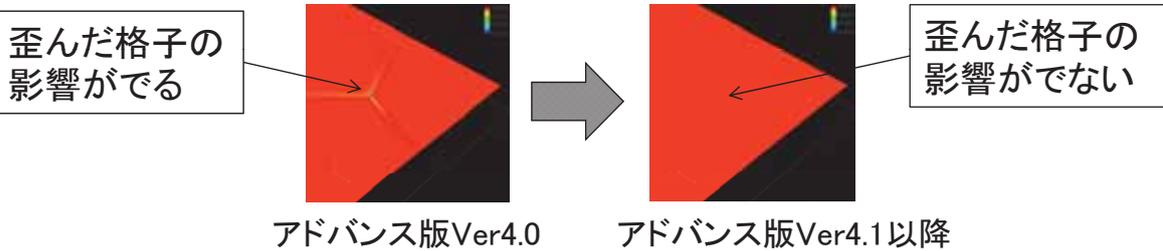
ロバスト性

- ・バグフィックス、 離散化の見直し
- ・セル中心法

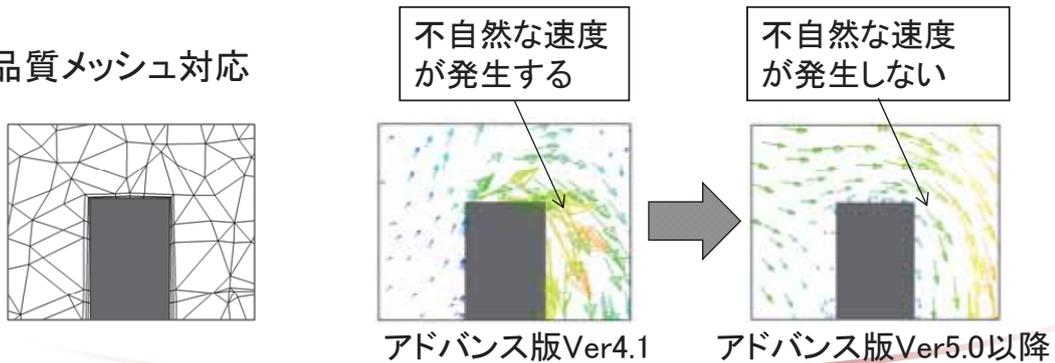


FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

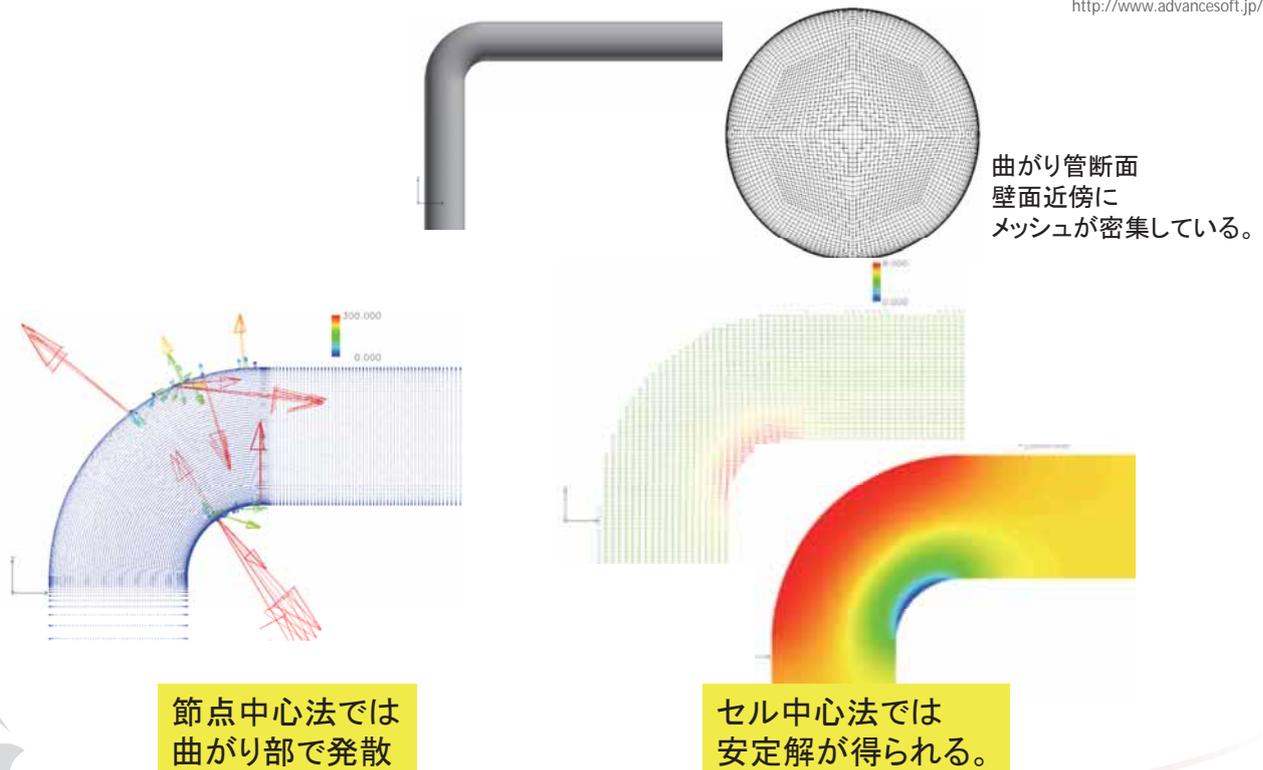
・勾配計算方法の改良→歪みが大きい格子での勾配の計算が正確



・低品質メッシュ対応



FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



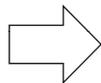
FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

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

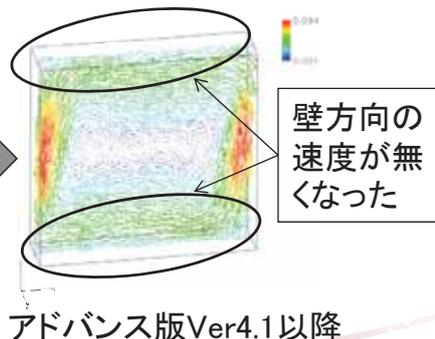
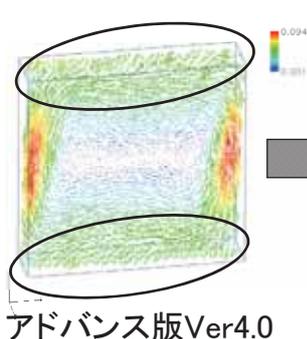
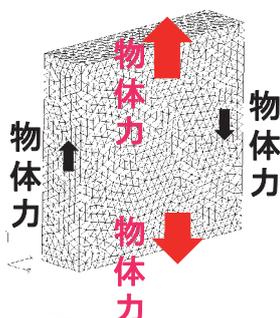
・省メモリ化(アドバンス版Ver5.0以降)

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

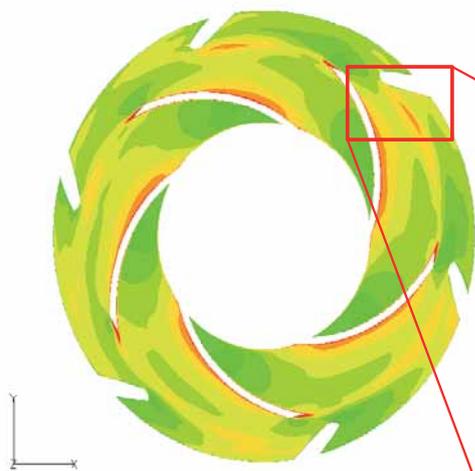
・壁方向に大きい物体力がある計算が可能



壁方向の
速度が無
くなった

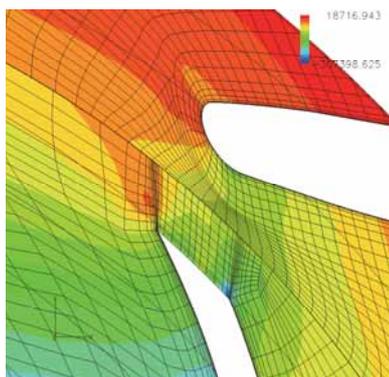
FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

Sliding 格子を用いた回転計算



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



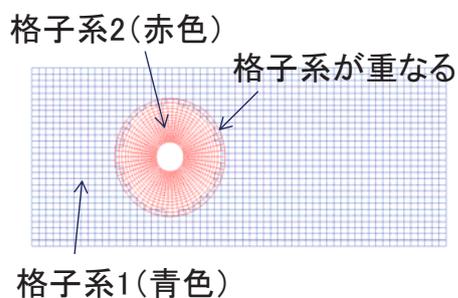
新機能

- ・セル中心法
- ・新規乱流モデル
- ・ALE機能、多重格子機能、構造連成解析
- ・多相流機能
- ・物性値テーブル参照機能

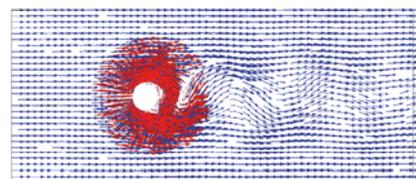
新機能

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

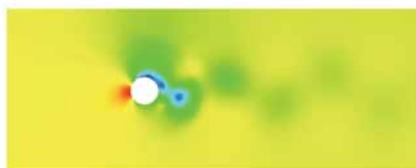
- ・重合格子法(異なる格子系を重ねる計算手法)の追加(アドバンス版Ver5.0以



速度分布



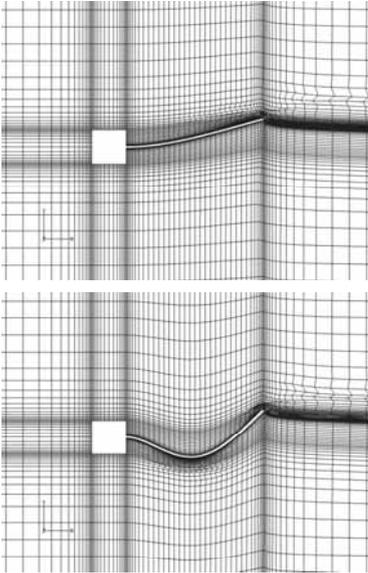
圧力分布



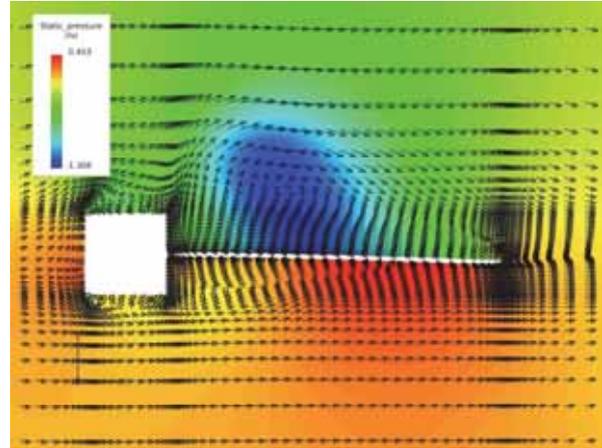
FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

・構造連成解析

構造解析による振動モード



圧力、速度ベクトルのスナップショット



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

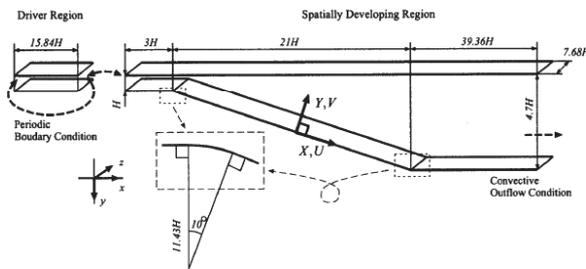
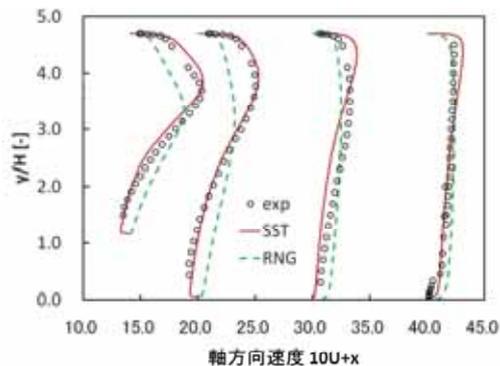


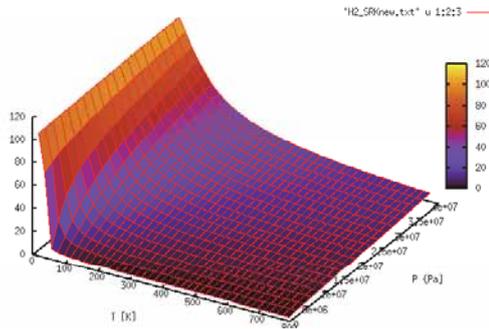
Fig. 1 Computational domains and boundary conditions



アドバンス版FFrによる非対称ディフューザ一解析(SST $k-\omega$ とRNG $k-\varepsilon$)

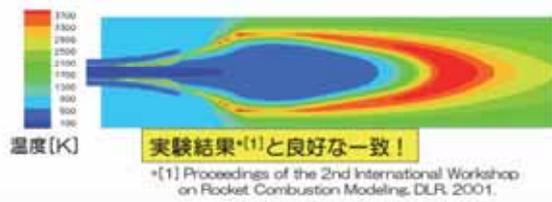
FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

- ・物性値テーブル参照機能



例 H2密度分布

- ・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

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

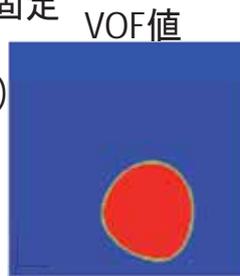
LEVEL SET法の計算例

速度は以下で固定

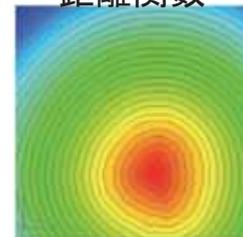
$$U = \sin(x) * \cos(y)$$

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

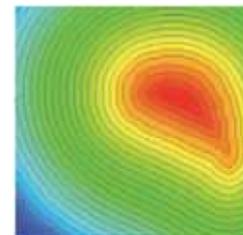
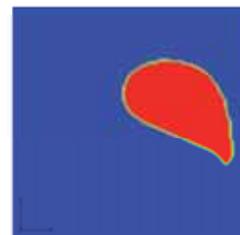
100step



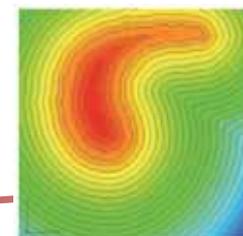
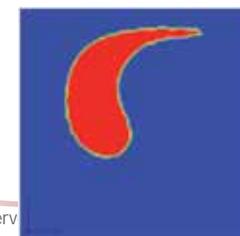
距離関数



500step



1000step



液滴 液膜モデル

液滴を壁面に噴霧する

ガス流れ



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



0.1sec



0.3sec

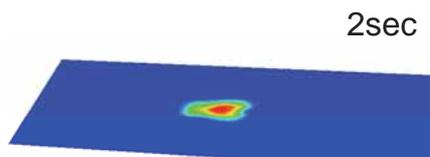


0.5sec

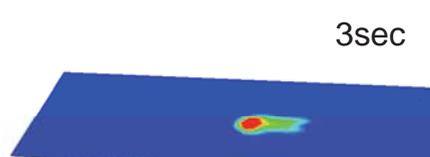
0.5秒間 壁面に液滴を噴霧する



1sec



2sec



3sec

ガスに引きずられて液膜は移動する。

- ・液膜冷却解析
- ・スラスタ冷却解析

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

21

計算速度が向上

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



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

- ・AMGソルバー^(*1)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

(*1) 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。

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

22

17

Advance/FrontFlow/red 開発ロードマップ

機能開発 1

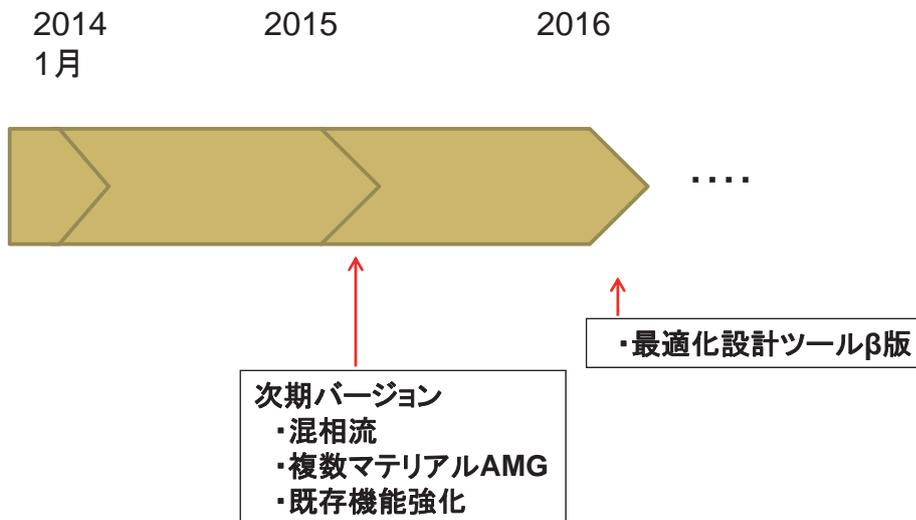
- 混相流
 - ▶ Ghost Fluid法、Level set法などによる自由界面を含む流れの強化
 - ▶ オイラー多相流モデル
 - ガス相圧縮性を考慮した気液、固気二流体モデル
 - 蒸発、凝縮、沸騰を考慮したモデルの導入
- 最適化設計ツール
 - ▶ 格子移動機能へ新規にAdjointソルバーを実装しβ版を作成

- 既存機能の強化
 - Online Manual の整備
 - 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 充実
 - 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
- 最適化設計ツール
格子変形機能を強化しβ版作成
- プリポスト
Advance/REVOCAP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



ユーザー様のニーズをくみ取りながら
年一回のバージョンアップを予定

Advance/FrontFlow/redの機能

項目	Advance/FrontFlow/red Ver5.1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-εモデル／高レイノルズ数型k-εモデル／RNG k-εモデル／CHEN k-ε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

Advance/FrontFlow/redの機能

項目	Advance/FrontFlow/red Ver5.1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

Advance/FrontFlow/redの機能

項目	Advance/FrontFlow/red Ver5.1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 / 並列数を変えたリスタート(省メモリ化)
前処理	省メモリ化
メッシュ生成	Advance/REVOGAP / 市販メッシュ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	Advance/REVOGAP / 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 版はシングル計算のみ対応しております。

Advance/FrontFlow/redの動作環境

OS	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> ①Intel MPI(ver 2.0以上) ②MPICH1(ver 1.2.7p1) (フリー) ③MPICH2(ver 1.0以上) (フリー) ④OpemMPI (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)	<ul style="list-style-type: none"> 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.softek.co.jp/SPG/Pgi/pgi-price.html

Advance/FrontFlow/redの最新事例

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
2014年1月30日（木）
アドバンスソフト株式会社

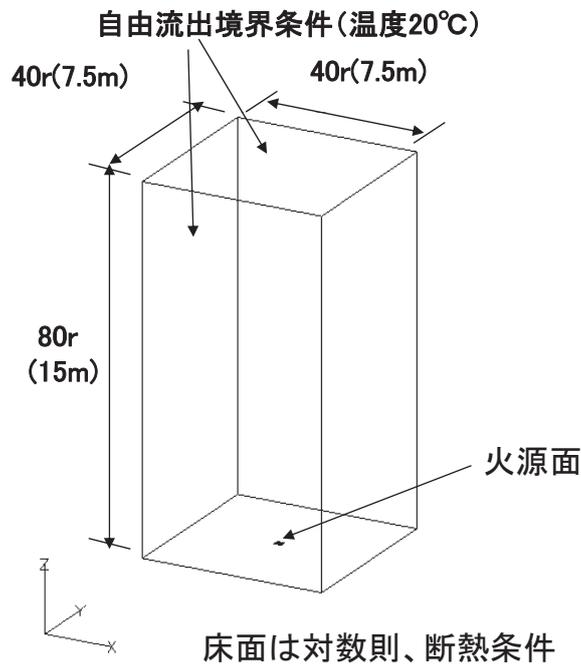
内容

- 自由ブルームの解析と検証
- 単一気泡形状解析
- モード解析を用いた流体-構造連成

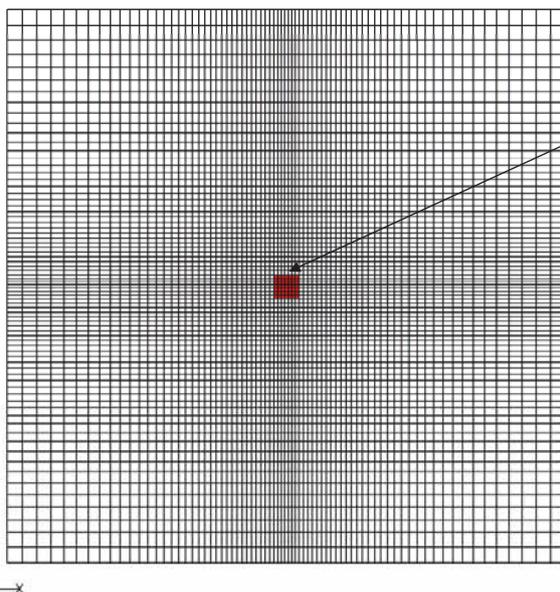
自由プルーム解析と検証

自由プルーム: 火災時の煙流動の基本特性を有するモデル

解析体系



解析格子(床面)



・火源

サイズ: 一辺 $L=33.23\text{cm}$ の正方形で近似
(半径 $r = 18.75\text{cm}$ の円と同じ面積)

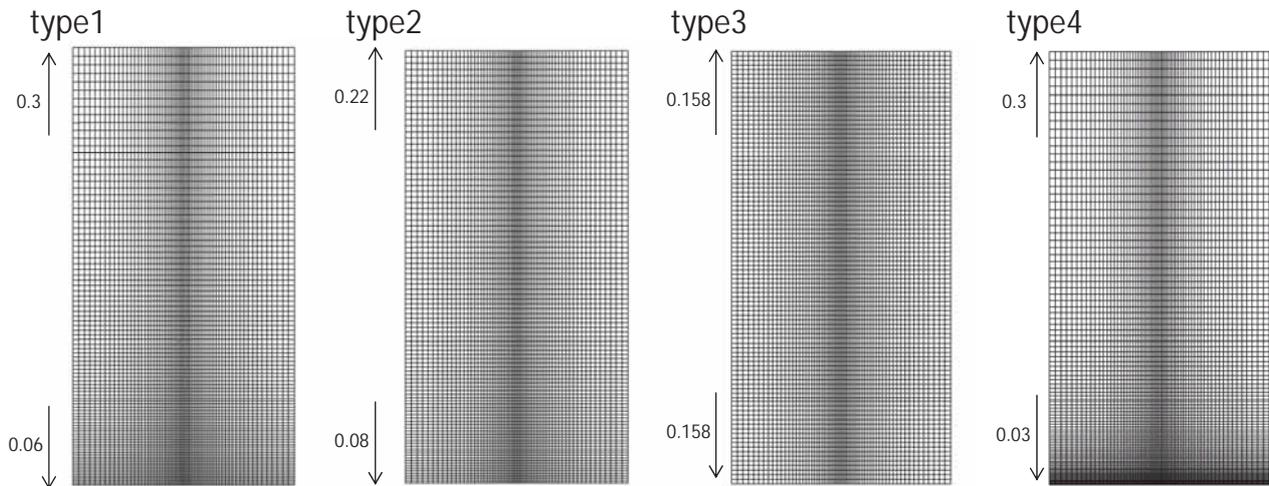
発熱速度: $Q=2064\text{cal/s}=8637.8\text{W}$

火源面で Q =一定、周囲との温度差 800°C を仮定

鉛直方向速度 $w=Q/(\rho \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot L^2)$
 $=0.0817\text{m/s}$ を仮定

床面は66×66分割

解析格子(高さ方向)

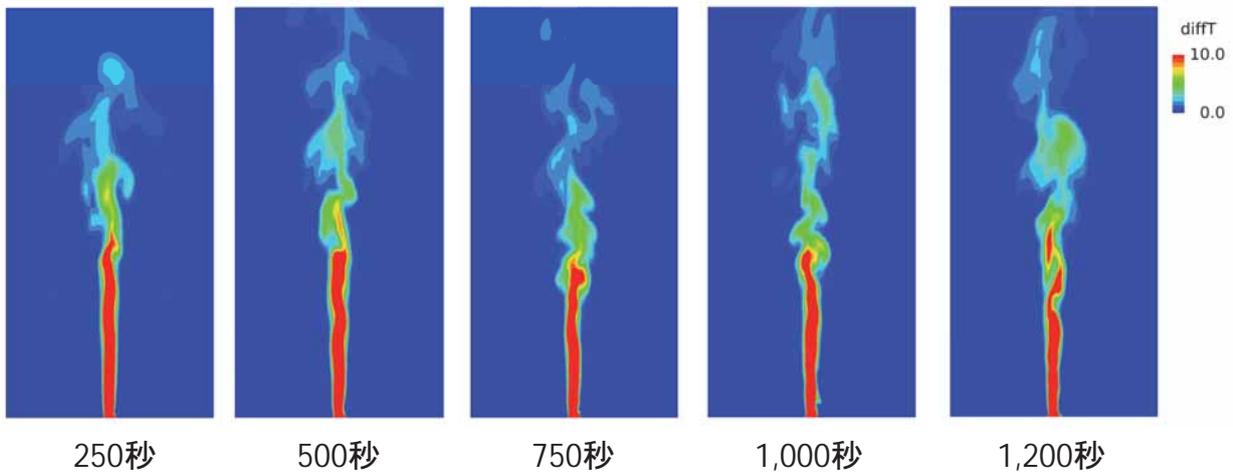


高さ方向は95分割

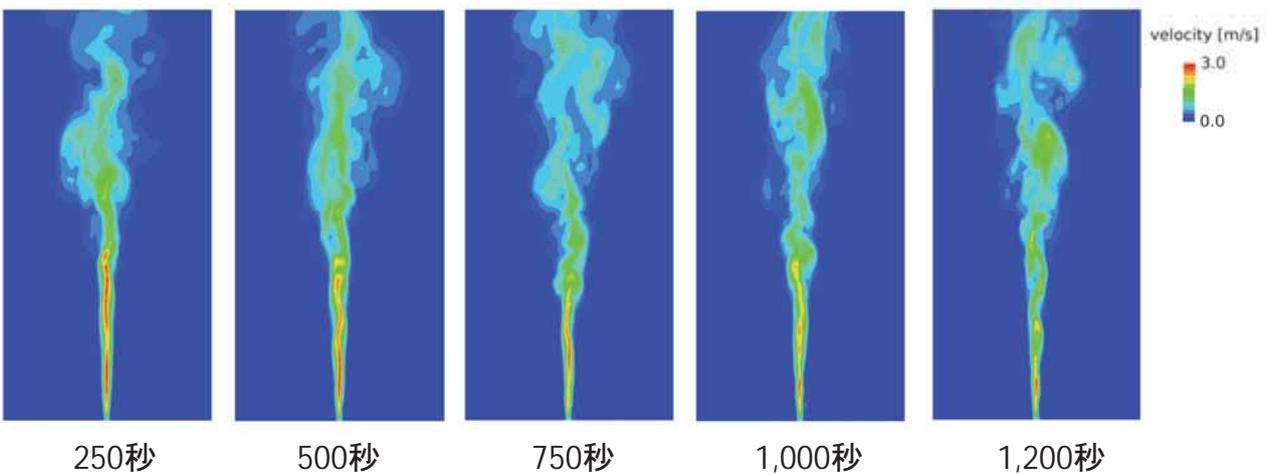
解析条件

項目	内容
支配方程式	圧縮性Navier-Stokes方程式
乱流モデル	標準Smagorinskyモデル(Cs=0.2)
対流離散化	2次精度中心差分90%+ 1次精度風上差分10%
時間積分法	Crank-Nicolson法(運動方程式) Euler陰解法(エネルギー保存式)
時間刻み	0.05秒

解析結果 (type1、温度分布)

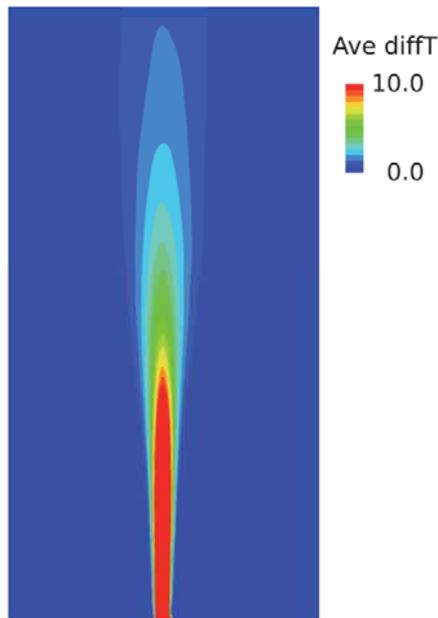


解析結果 (type1、速度分布)

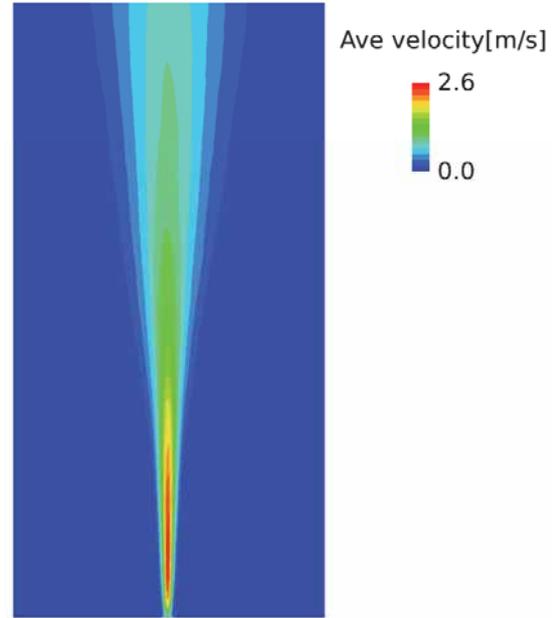


解析結果 (type1、平均値)

平均温度



平均速度



実験との比較

横井の実験式

温度

$$\Delta T = 0.423 \left[\frac{T_0 Q^2}{C_p^2 \rho^2 g} \right]^{1/3} C^{-8/9} Z^{-5/3}$$

$$\times (1 + 0.9383 \zeta^{3/2} + 0.4002 \zeta^3 + 0.09398 \zeta^{9/2})$$

$$\times \exp(-1.4617 \zeta^{3/2})$$

C : 定数 $\zeta : r / (ZC^{2/3})$
(面火源 : $C^{2/3} = 0.1$, 点火源 : $C^{2/3} = 0.062$)

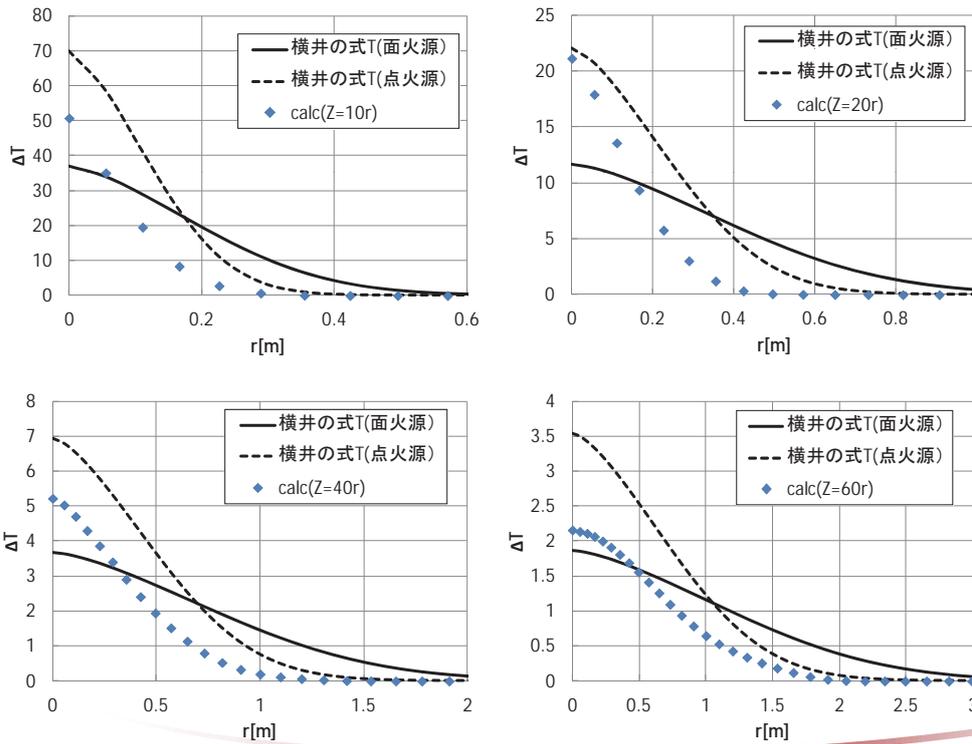
上昇気流の速度

$$w = 0.833 \left[\frac{gQ}{C_p \rho T_0} \right]^{1/3} C^{-4/9} Z^{-1/3}$$

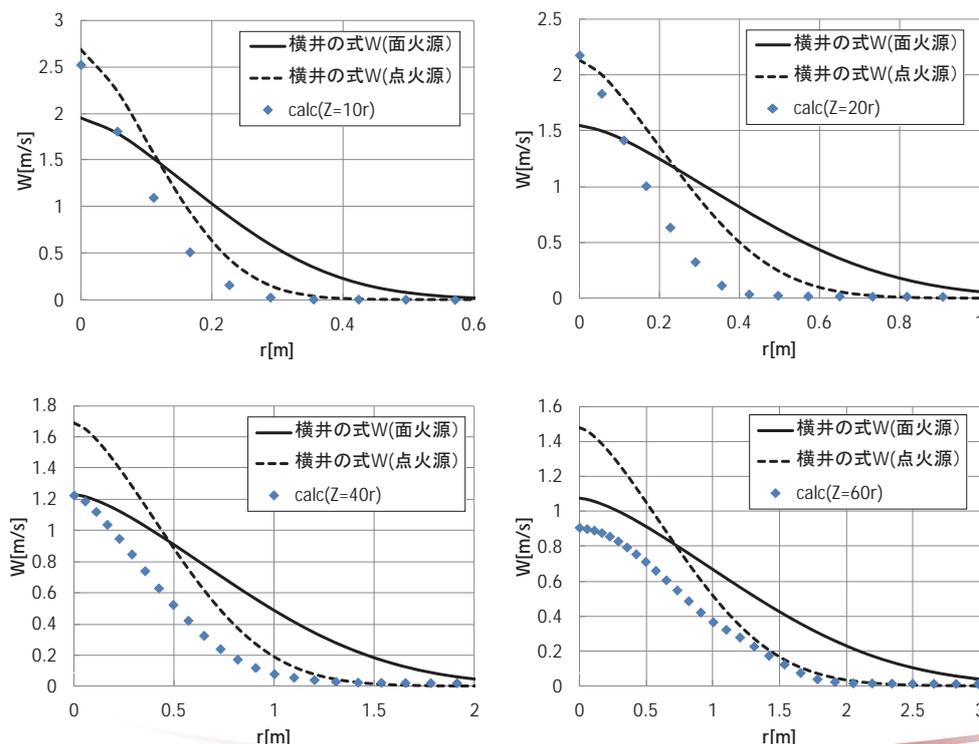
$$\times (1 + 0.9174 \zeta^{3/2} + 0.3990 \zeta^3 + 0.1077 \zeta^{9/2})$$

$$\times \exp(-1.4617 \zeta^{3/2})$$

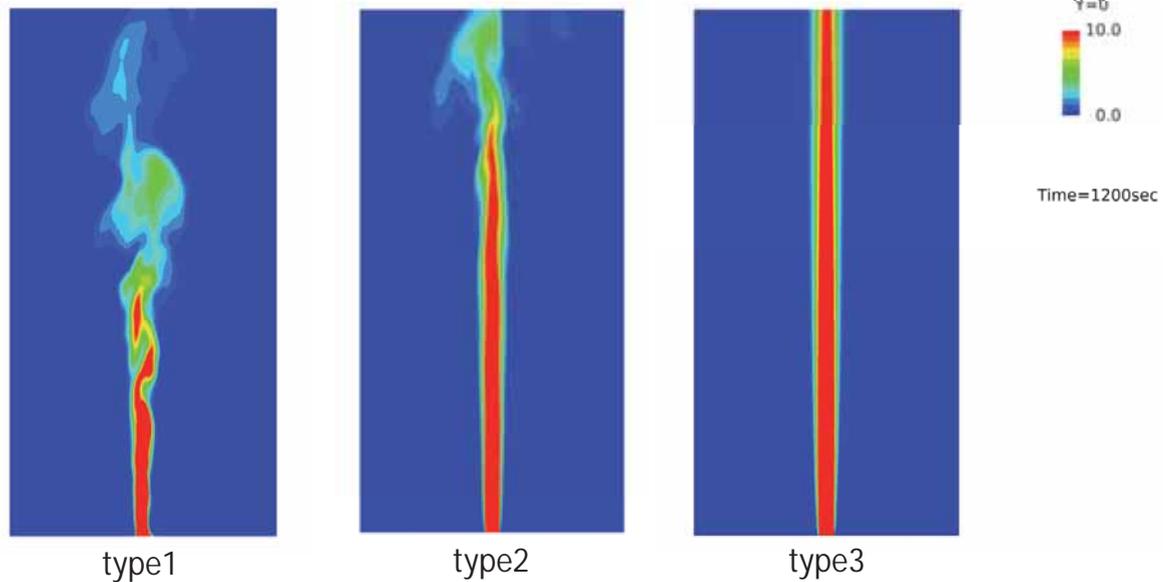
実験式との比較(温度分布)



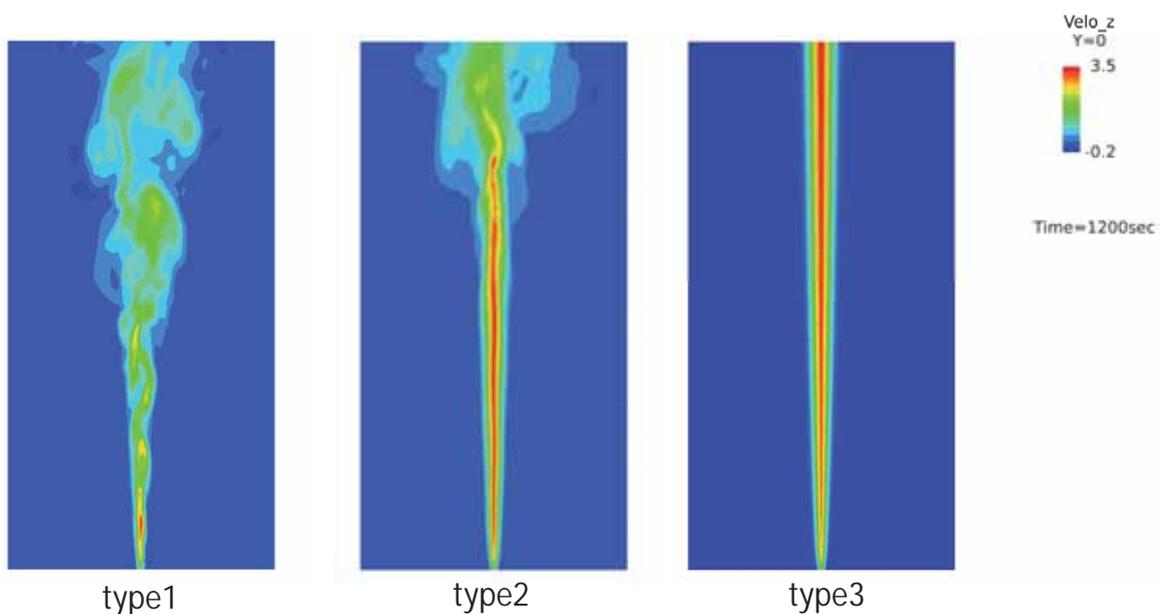
実験式との比較(速度分布)



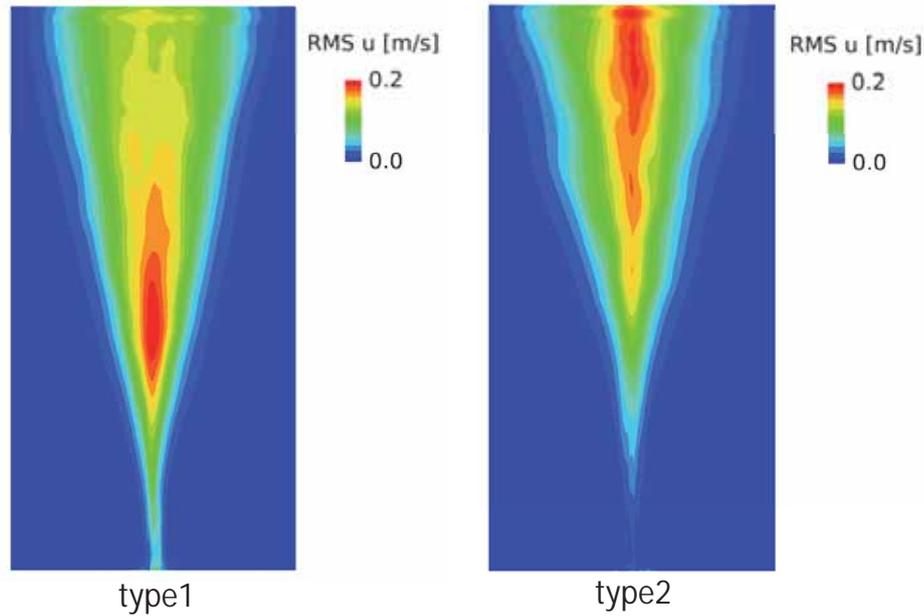
格子解像度の影響(温度分布)



格子解像度の影響(速度分布)



格子解像度の影響(速度変動)

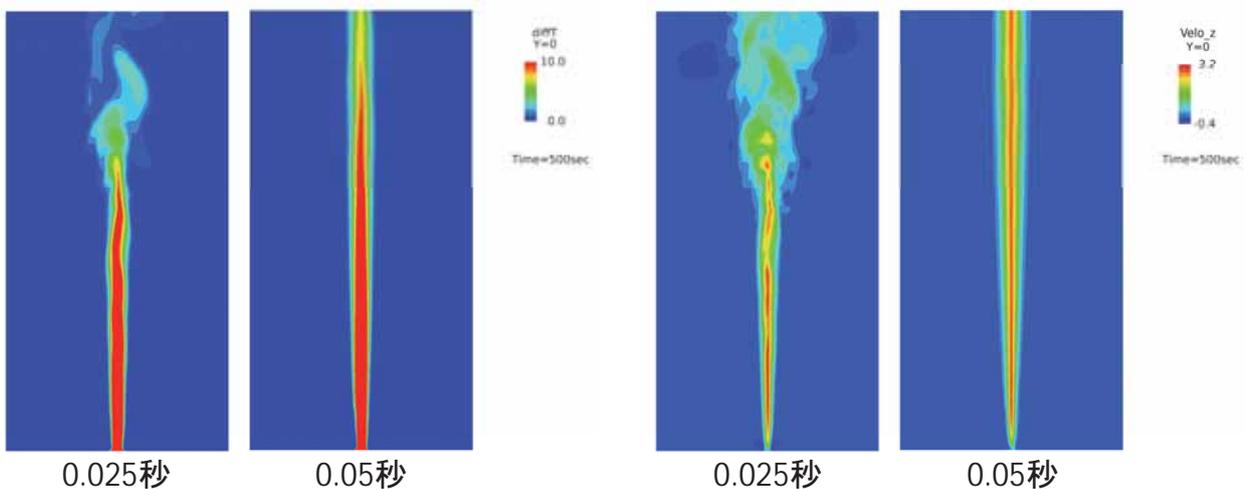


時間刻みの影響

type4の格子で時間刻み0.025秒(クーラン数1.1)と0.05秒(クーラン数2.5)を比較

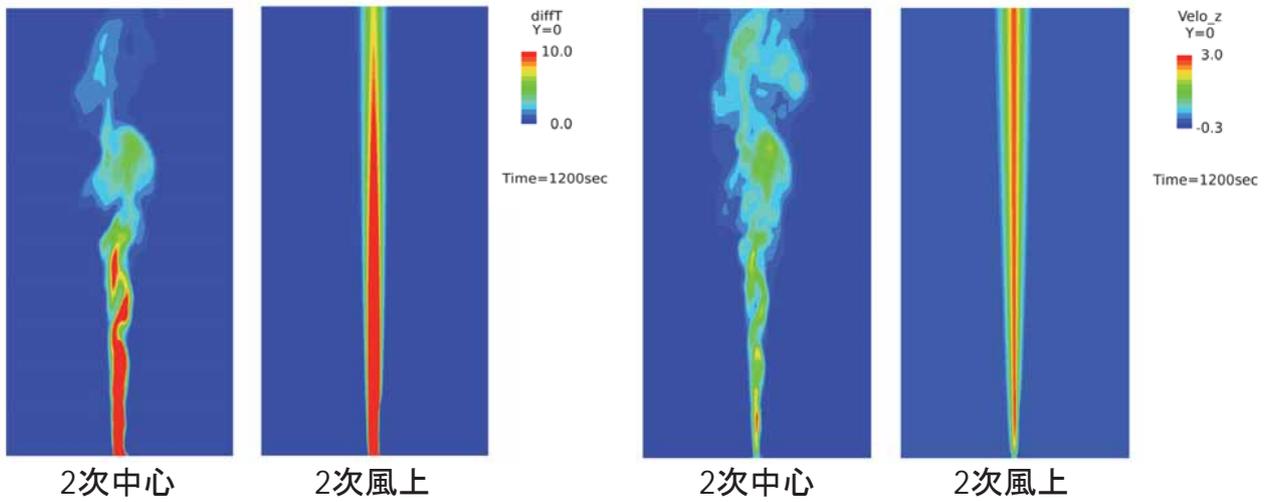
温度分布

速度分布

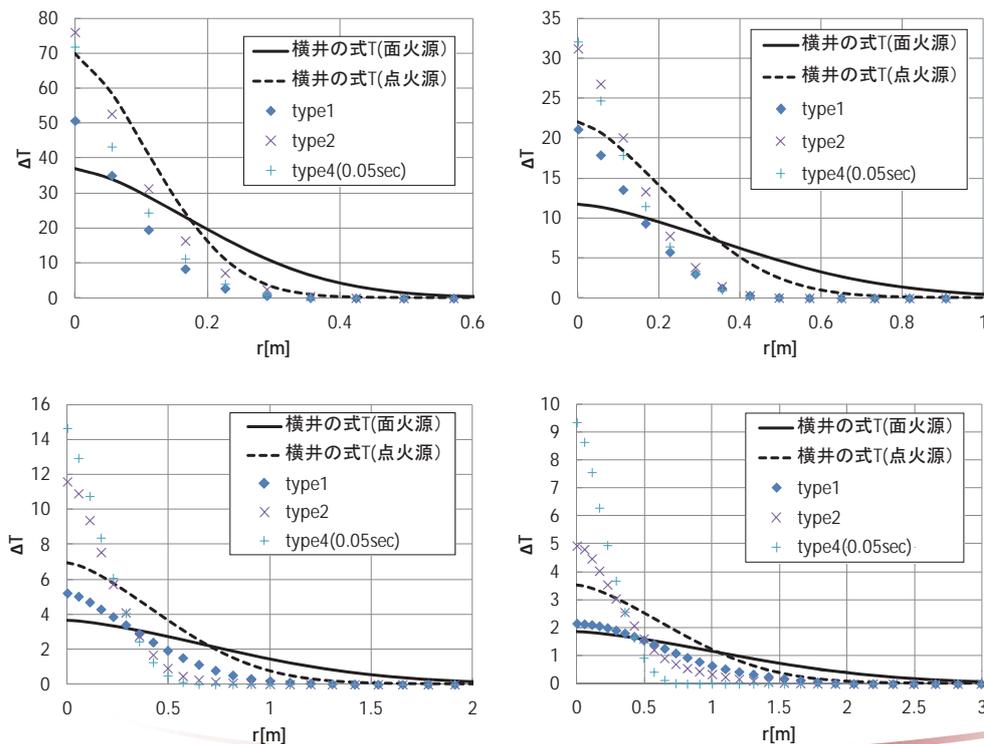


空間離散化の影響

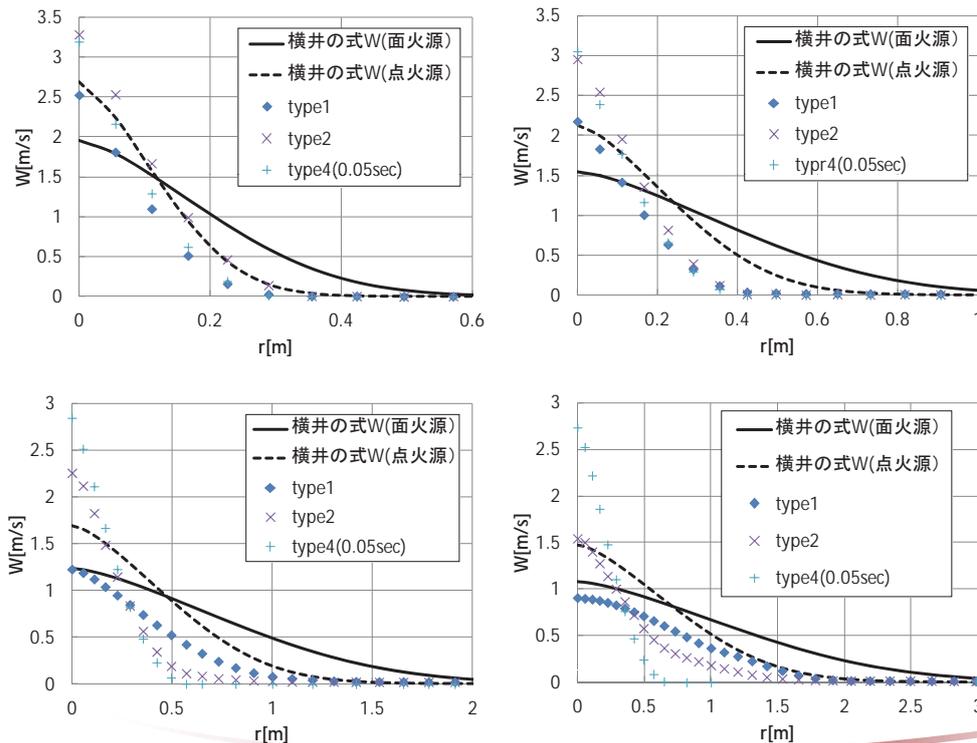
2次精度中心差分90%+1次精度風上差分10%と2次精度風上差分を比較



実験式との比較(温度分布)



実験式との比較(速度分布)



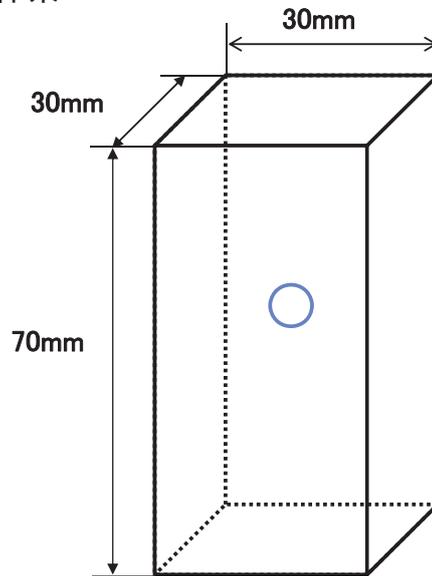
自由プルーム解析のまとめ

- LESによる解析で自由プルームの実験式を概ね再現できることを確認した。
- 格子依存性については、吹き出し口近傍の解像度が重要であることが分かった。
- 時間刻みについては格子解像度に併せてクーラン数1程度を確保することが重要であることが分かった。
- 空間離散化手法に関しては、風上差分法では自由プルームの挙動の再現ができず、中心差分法を用いる必要がある。

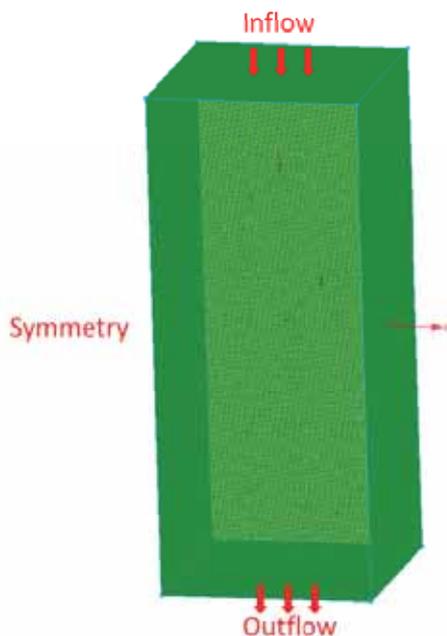
単一気泡形状解析

単一気泡の浮上過程における形状および流れの挙動を解析する

解析体系



解析格子



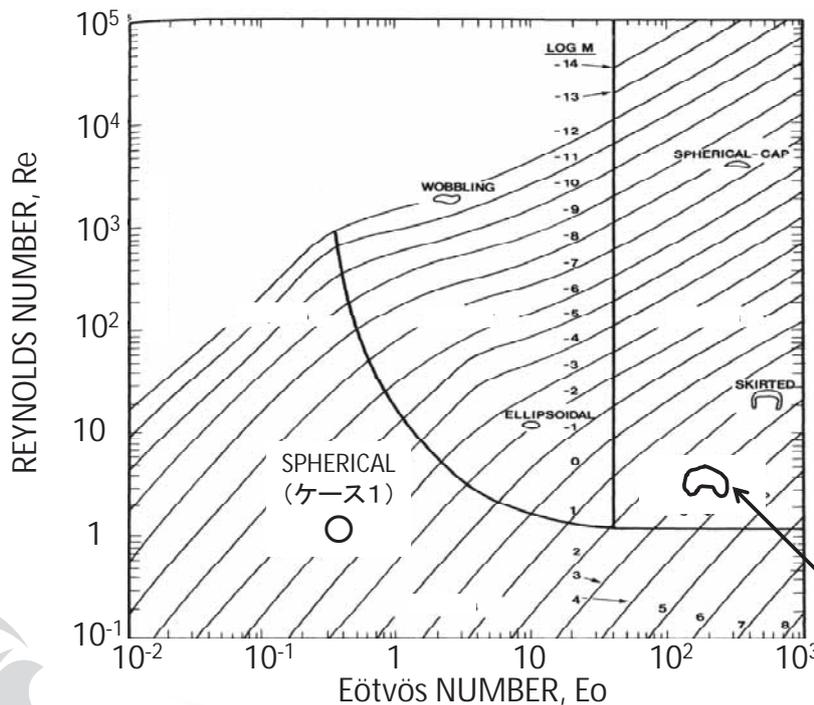
格子幅 0.25mm
(120 × 120 × 280分割)

気泡径
ケース1 : 5mm
ケース2 : 10mm

境界条件
Inflow : 気泡の浮上終端速度
ケース1 : 0.02[m/s]
ケース2 : 0.16[m/s]

気泡を上昇させる代わりに周囲流体
に気泡浮上の終端速度を与える

気泡形状



パラメータ	ケース1	ケース2
Eo	0.4	200
logM	-4.0	3.0
気泡径de[mm]	5.0	10.0
液体密度	800	2000
表面張力	0.1	0.01
気泡形状	球形	きのこ形

Eötvös Number

$$E_o = \frac{gd_e^2(\rho_l - \rho_g)}{\sigma}$$

Morton Number

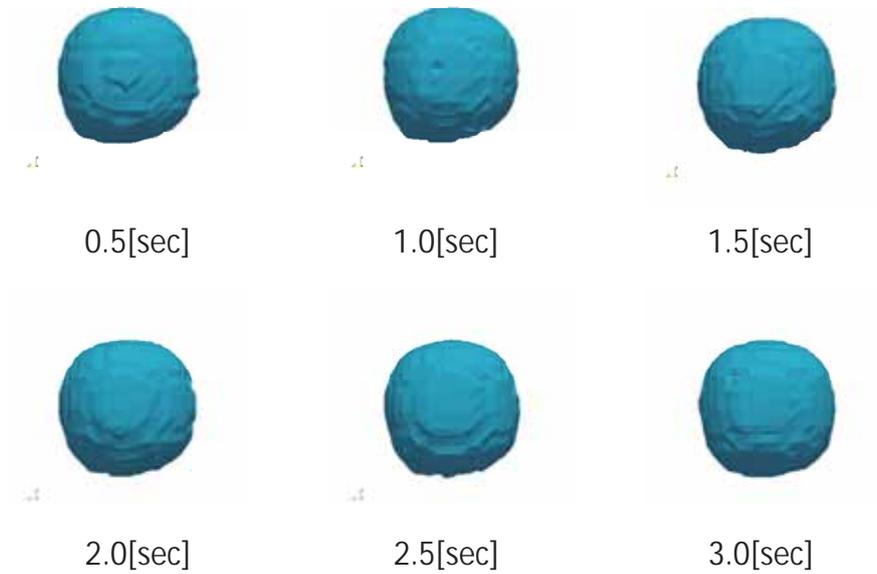
$$M = \frac{g\mu_l^2(\rho_l - \rho_g)}{\rho_l^2\sigma^3}$$

DIMPLED
ELLIPSOIDAL-CAP
(ケース2)

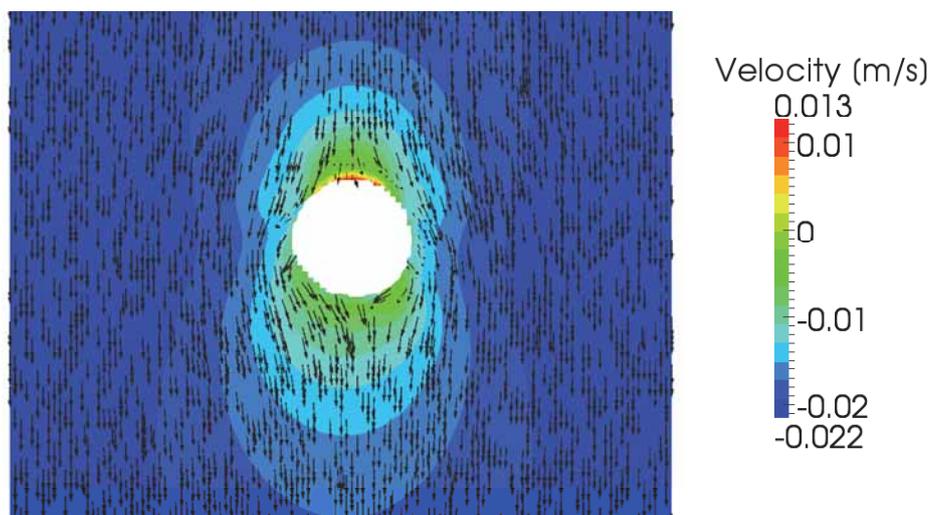
解析条件

項目	内容
支配方程式	非圧縮性Navier-Stokes方程式
乱流モデル	なし
対流離散化	2次精度風上差分
時間積分法	Euler陰解法
界面追跡	VOF (CICSAM) 法
時間刻み	ケース1: 1.0ms、ケース2: 0.4ms

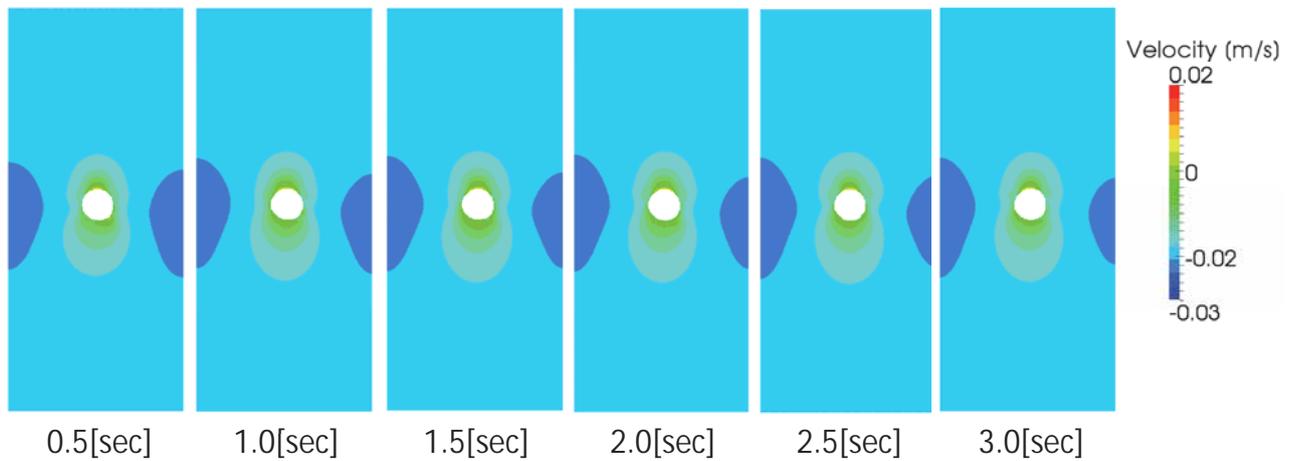
解析結果(ケース1、気泡形状)



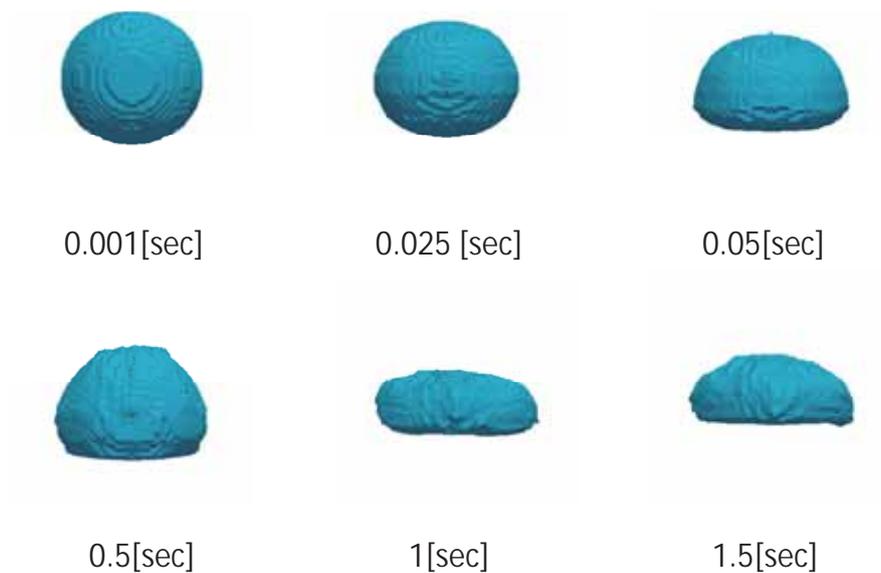
気泡周辺の世界速度分布(ケース1)



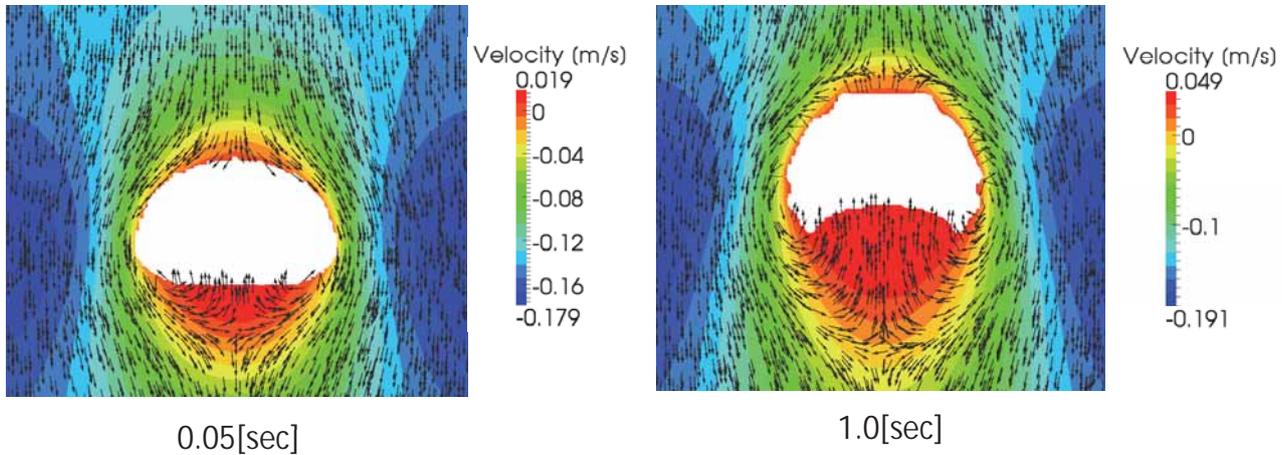
気泡位置の履歴(ケース1)



解析結果(ケース2、気泡形状)



気泡周辺の水速度分布(ケース2)



計算安定化条件

クーラン条件

$$c = \frac{u\Delta t}{\Delta x} < 1$$

Brackbillの条件 : 表面張力波が違う方向から一つの格子に伝わらない条件

$$\frac{c_\phi \Delta t}{\Delta x} < \frac{1}{2}$$

$$c_\phi = \sqrt{\frac{2\sigma k}{\langle \rho \rangle}}$$

$$\Delta t < \sqrt{\frac{\langle \rho \rangle (\Delta x)^3}{2\pi\sigma}}$$

c_ϕ : 表面張力波位相速度

k : 波数

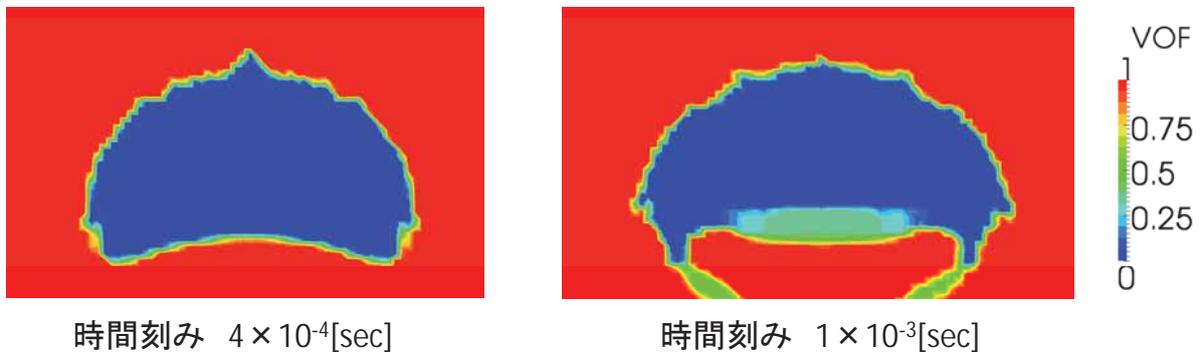
$\langle \rho \rangle$: 平均密度

	ケース1	ケース2
時間刻み[sec]	1×10^{-3}	4×10^{-4}
クーラン数	0.08	0.256
Brackbillの条件[sec]	1×10^{-4}	5×10^{-4}



時間刻みの影響(ケース2)

VOF値分布(0.05[sec])



単一気泡形状解析のまとめ

- VOF法を用いた単一気泡の解析により、浮上時の気泡形状や終端速度について妥当な結果が得られることを確認した。
- VOF法における計算安定には、通常のクーラン条件ではなく、Brackbillの条件を基に時間刻みを設定することが必要となる。
- 時間刻みの制約、界面の滑らかさの改善などが今後の課題としてあげられる。

流体-構造連成解析

Advance/FrontFlow/Red ↔ Advance/FrontSTRによる流体-構造連成解析の手法

1. 流体解析プログラム、構造解析プログラムの同時実行による連成解析

- 概要

- 流体解析から得られた構造表面の流体力データを構造解析プログラムに受け渡し、構造解析を実施する。その結果得られた構造物の変形量を流体プログラムに受け渡し、変形量を基にメッシュを更新する。
- 流体解析プログラム、構造解析プログラムの全ての機能が利用でき、幅広い問題に対して適用できる。
- プログラム全体の仕組みが複雑となり、また、流体、構造解析のそれぞれに対する知識、技術が必要となる。

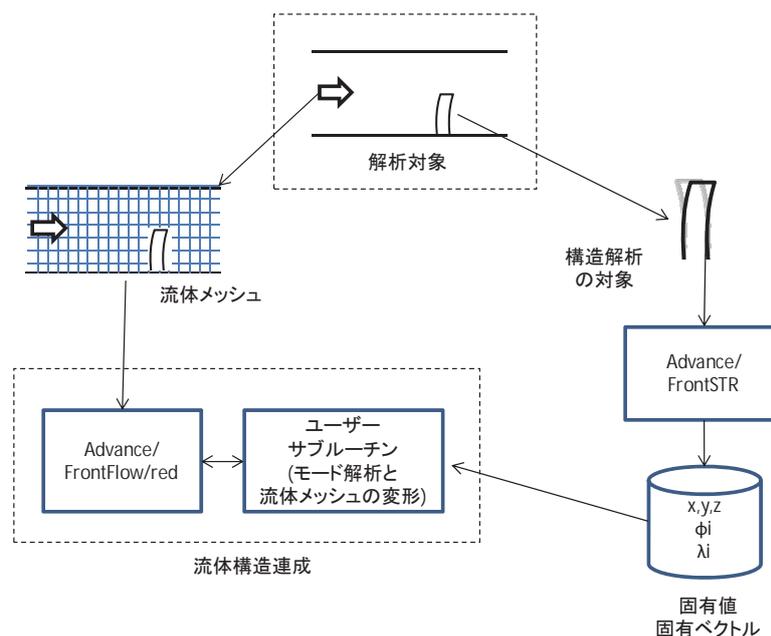
2. 構造のモード解析を用いた流体-構造連成解析

- 概要

- 構造解析部分のみで固有値解析を行い、固有値・固有ベクトルをあらかじめ算出しておく。これを流体ソルバに入力する。
- モード解析部分をモジュールとして分離し、流体ソルバに組込む
- 流体解析を行い、構造表面の圧力データから、構造解析用の荷重を算出する。
- 組込まれたモジュールでモード解析を行い変形量を得る
- メッシュを更新する
- 適用範囲は線形弾性の範囲に限られるが、手軽に実行できる。



モード解析を用いた連成解析の流れ



構造のモード解析

弾性体の運動方程式

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\} \quad f(t): \text{外力 (流体解析の表面力データ)}$$

固有方程式

$$([K] - \lambda [M])\{\phi\} = 0$$

変位ベクトル

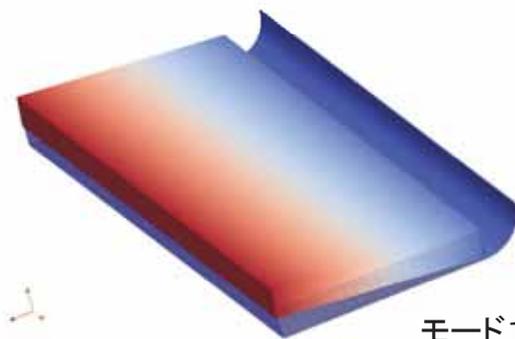
$$\{x(t)\} = \sum_i \alpha_i(t) \{\phi_i\}$$

各モードの振幅 α_j の微分方程式

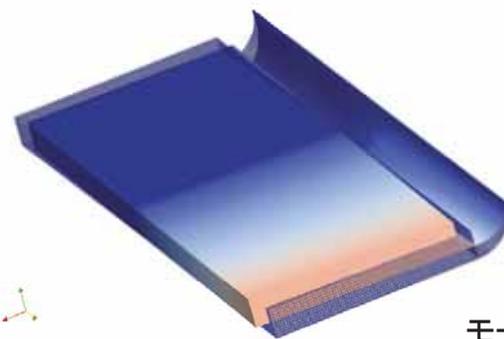
$$\ddot{\alpha}_j(t) + \lambda_j \alpha_j(t) = \{\phi_j\}^T \{f(t)\}$$

この微分方程式を解いて節点ごとの各モードの振幅を求め、変位を算出する
→変位を基にAFFrのALE法によりメッシュ変形処理を行い、流体解析を行う

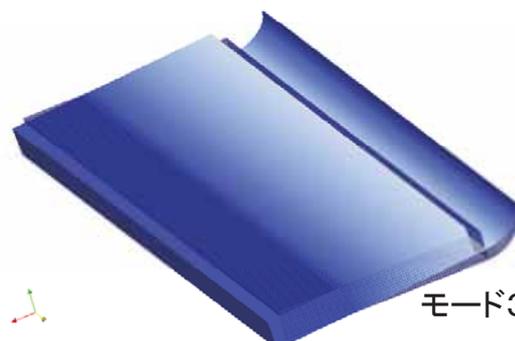
構造解析で得られた固有モード図



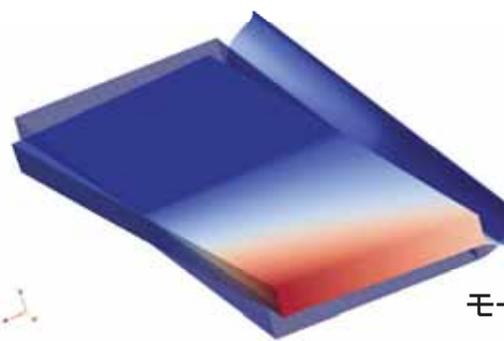
モード1



モード2

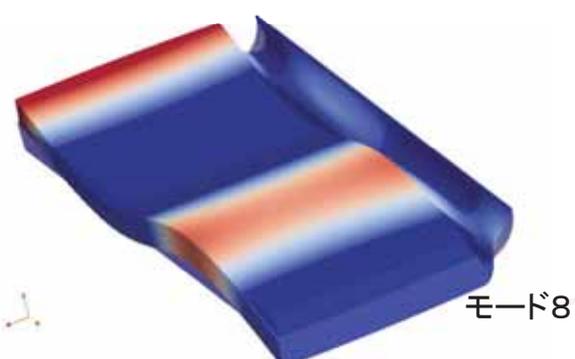
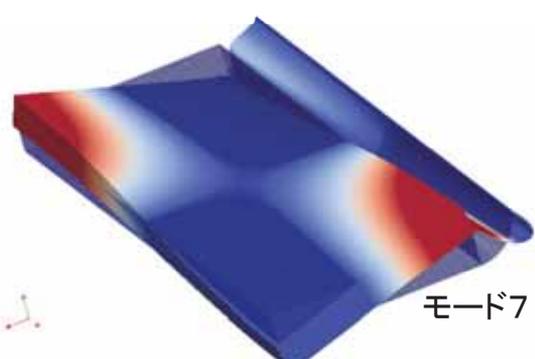
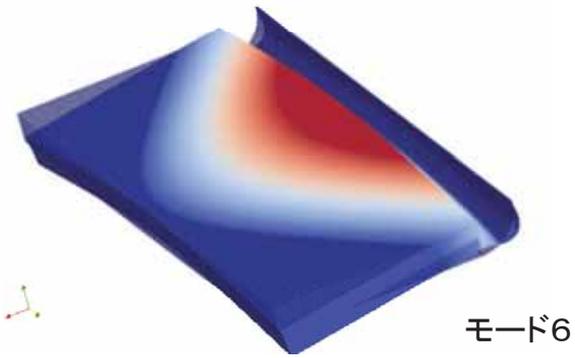
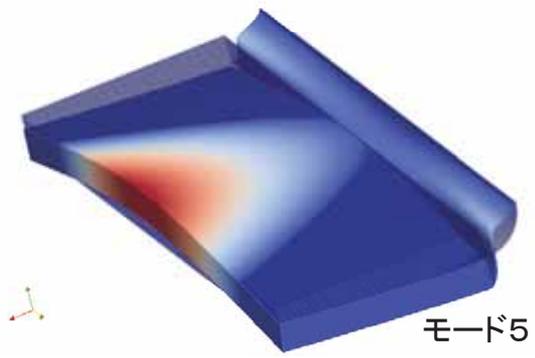


モード3

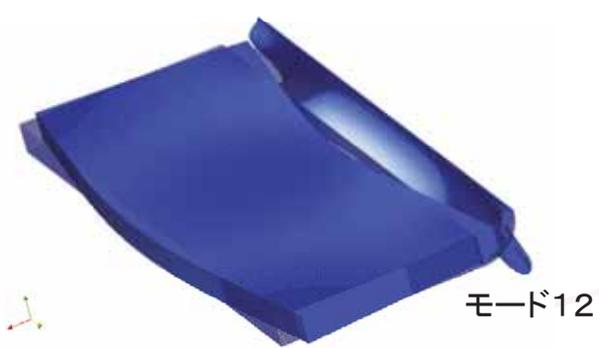
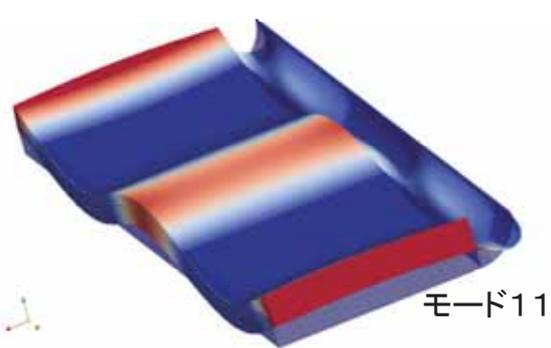
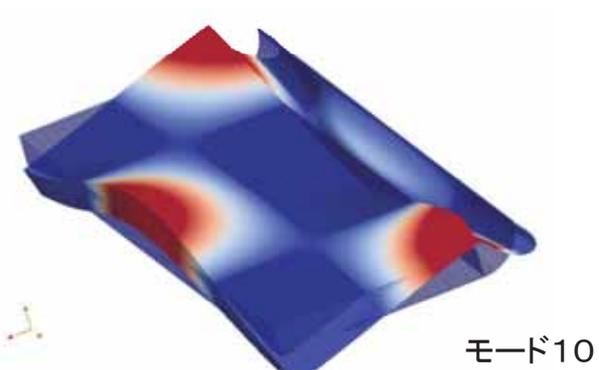
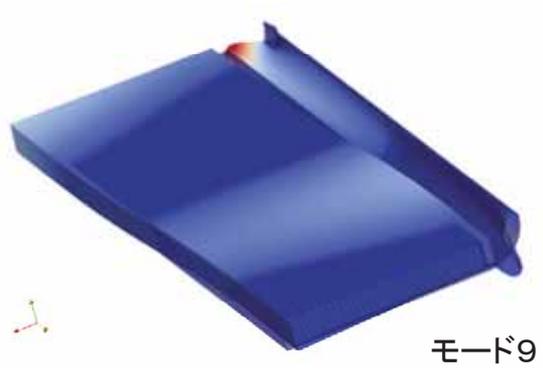


モード4

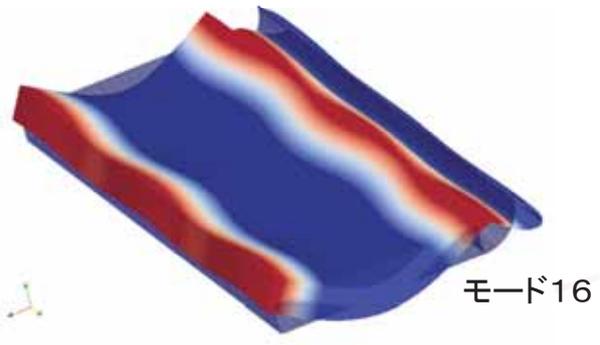
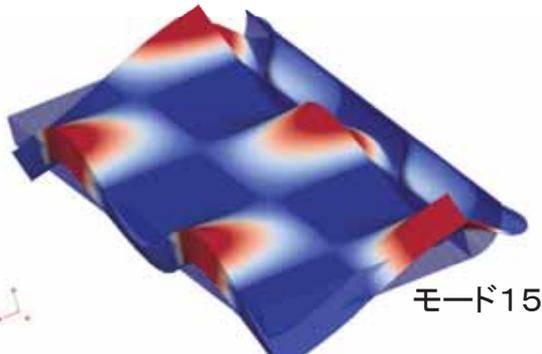
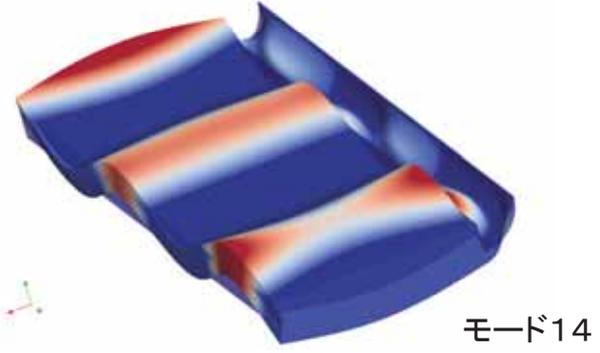
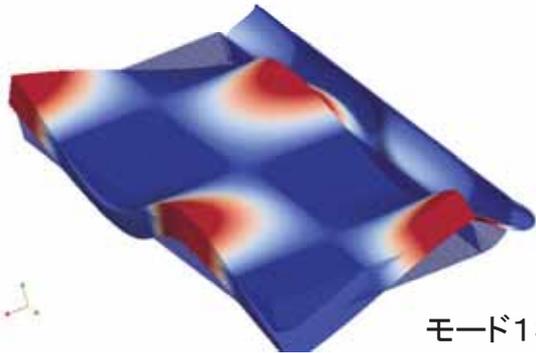
構造解析で得られた固有モード図



構造解析で得られた固有モード図



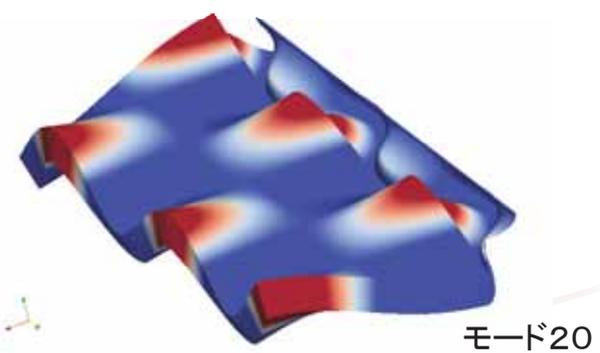
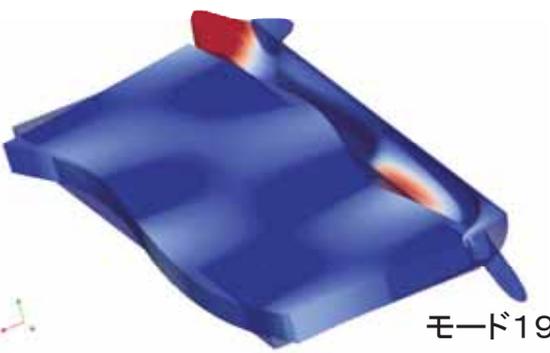
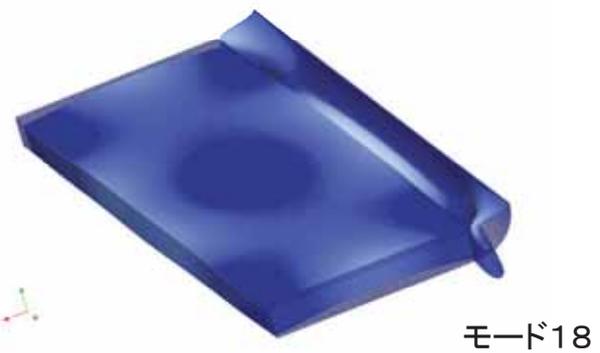
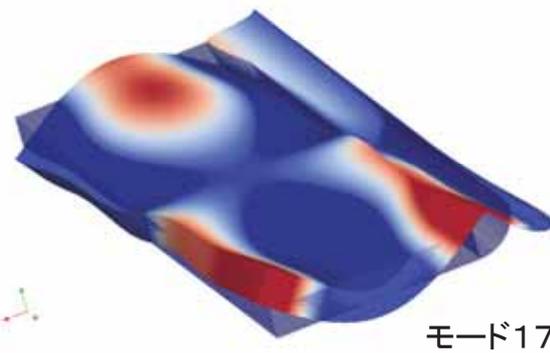
構造解析で得られた固有モード図



Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

39

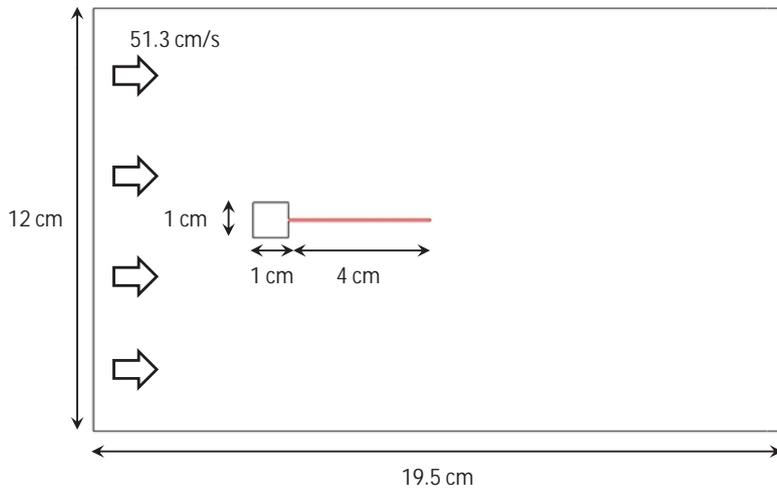
構造解析で得られた固有モード図



Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

40

構造のモード解析



流体物性
密度 1.18[kg/m³]
粘性係数 1.82[Pa·s]

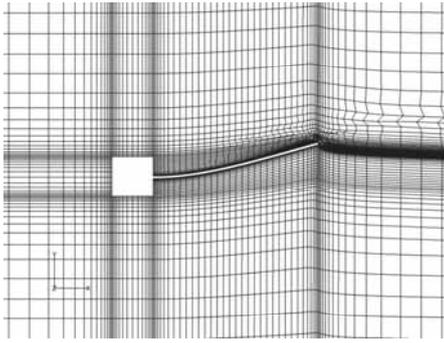
構造物物性
密度 100[kg/m³]
ヤング率 0.25[MPa]
ポアソン比 0.35

解析条件

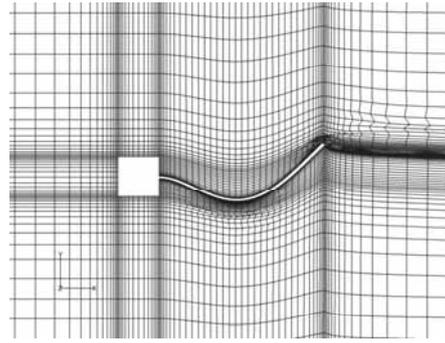
項目	内容
支配方程式	非圧縮性Navier-Stokes方程式
乱流モデル	なし
対流離散化	3次精度風上差分
時間積分法	Euler陰解法
時間刻み	0.01秒

モード解析結果

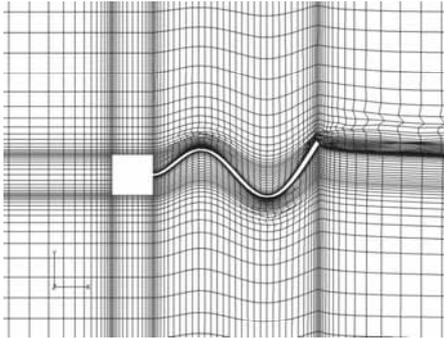
モード1



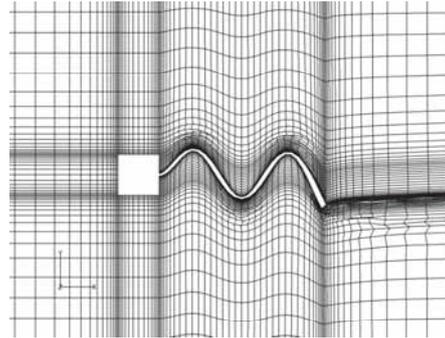
モード2



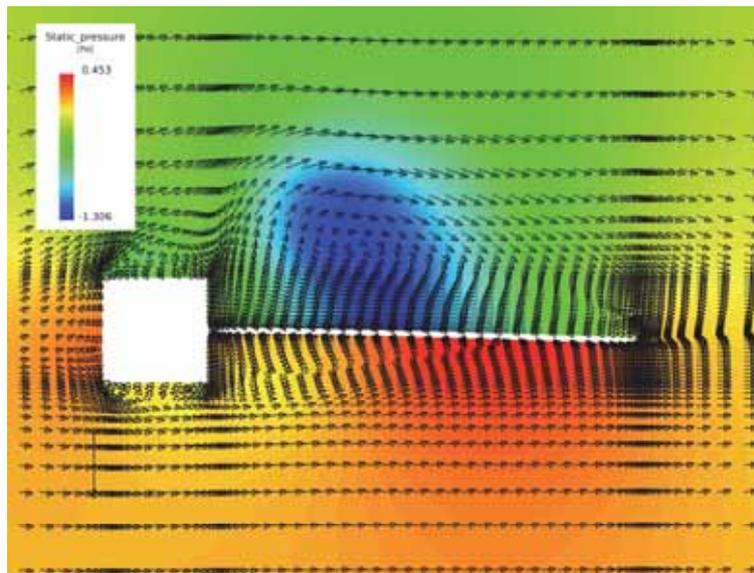
モード3



モード4



流体-構造連成解析結果



流体-構造連成解析のまとめ

- 構造のモード解析を用いた、流体-構造連成手法を用い、弾性体の振動を伴う流動の解析を実施した。
- ALE法を使用する際のメッシュ移動について、現状は個別の問題に対してユーザーサブルーチンで記述する必要があり、汎用的な移動処理ルーチンを確立することが今後の課題である。



入口条件が対向衝突噴流の混合へ与える影響

長尾 隆央, 松野 伸介
株式会社IHI 基盤技術研究所 熱・流体研究部

林 光一
青山学院大学 機械創造工学科 航空宇宙システム研究室

1.30.2014



IHI Corporation

Fluid Dynamics Group

Heat & Fluid Dynamics Department

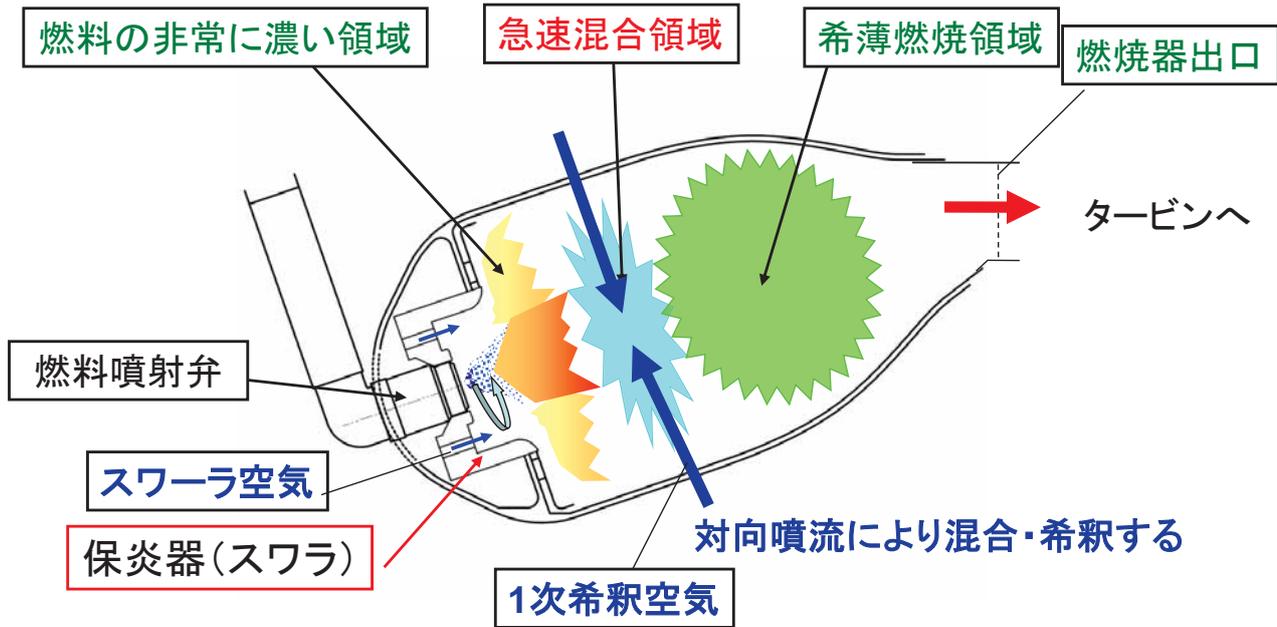
Research Laboratory

Copyright © 2013 IHI Corporation All Rights Reserved.

Contents

- 背景
- 先行研究
- 目的
- 流路形状と条件
- 数値解析手法
- 結果
- まとめ

背景 航空用ガスタービン燃焼器



タービン翼は燃焼器排気に高温のホットスポットがあると損傷を受ける可能性があるため、出口温度分布はよく調整される必要がある。

対向噴流は強い混合により燃焼に良い役割を果たすが、噴流の運動量が高い場合CFD(定常RANS)による予測が難しい場合がある

先行研究 一噴流による混合

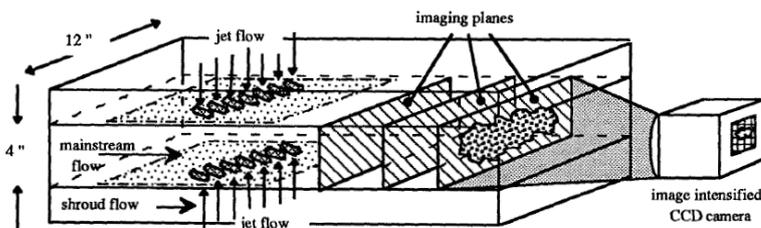


Figure 1: Experimental Configuration used to Measure Planar Concentration Distributions

Holdemanらによるジェットと主流の運動量を変えて実験・CFDを行った研究では、時間平均の混合場について検討された。

非定常の挙動についての考察は少ない
また、噴流近傍における混合についても詳しく見られていない

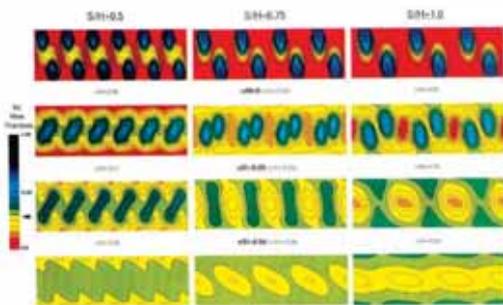
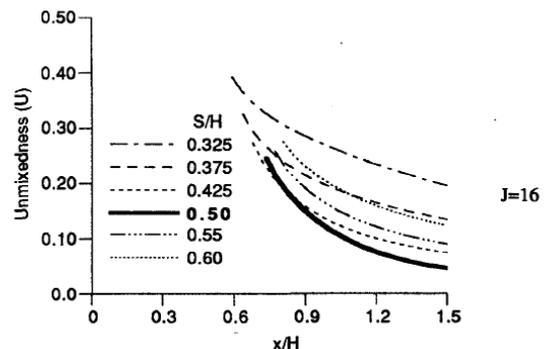
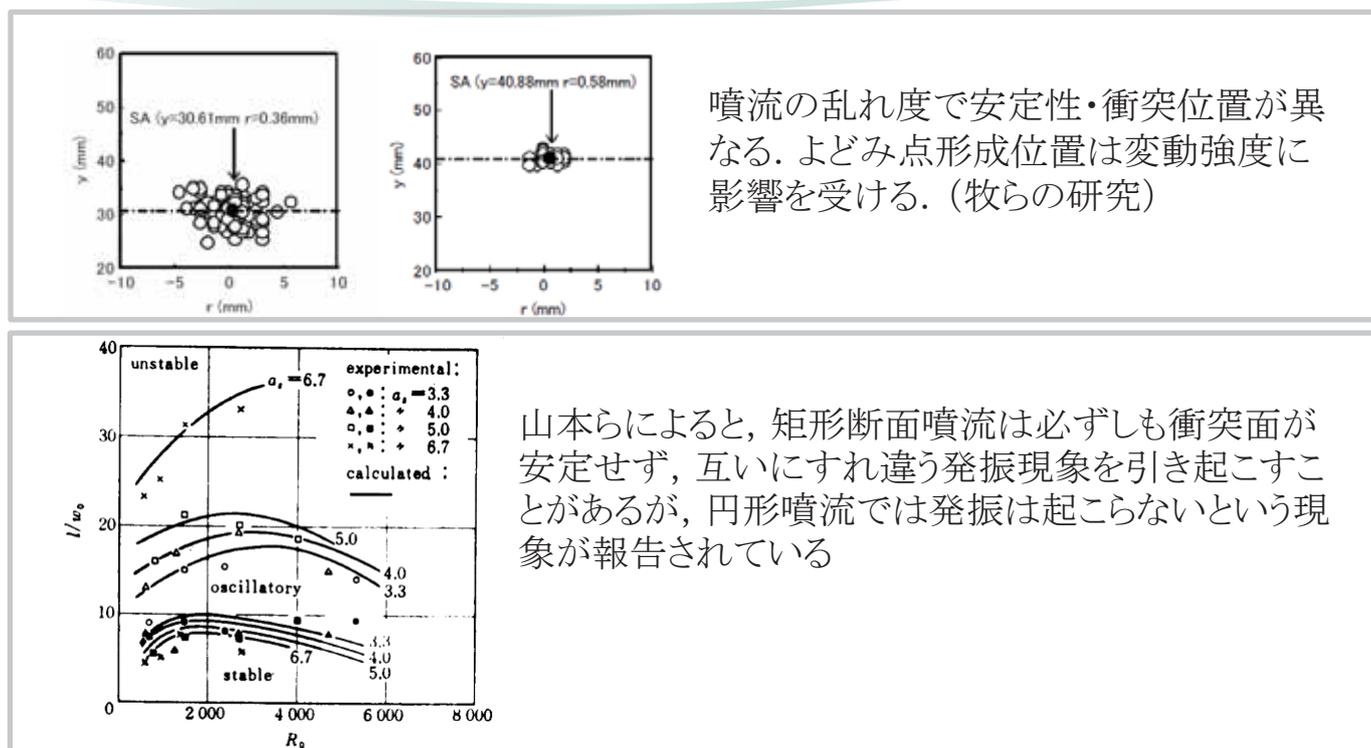


Figure 10: Jet Mass Fraction Color Maps for Representative Axial Plane Locations. Minimum Flow Rate of 100 g/s. Time Step Size of 1.00E-05 s. Color Scale of 0.00 to 0.10.



噴流の貫通力と混合は穴形状、直径、間隔、ダクト高さ、運動量比によって特徴づけられる

先行研究 — 衝突噴流基礎 —



噴流の周囲条件によって対向噴流挙動や安定性は大きく変わる可能性がある。噴流衝突面の安定性が混合に与える影響は未知数

5

先行研究 — 単一噴流と直交流 —

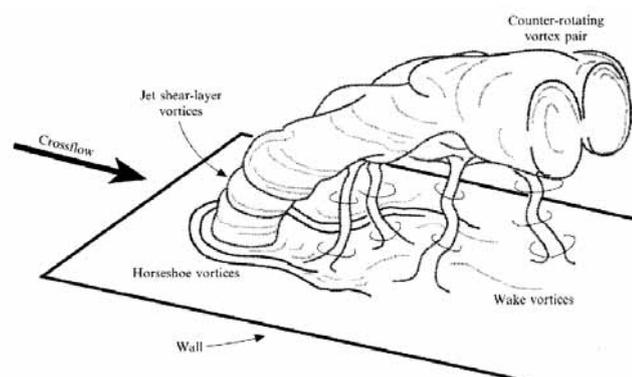
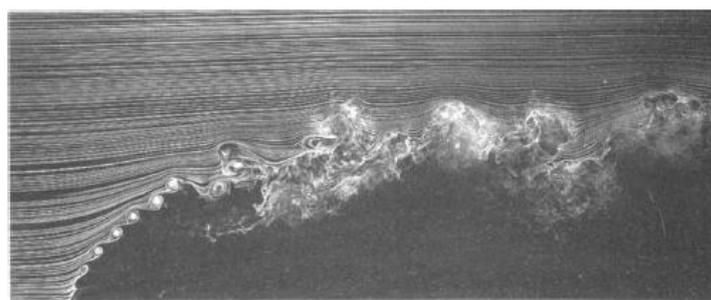
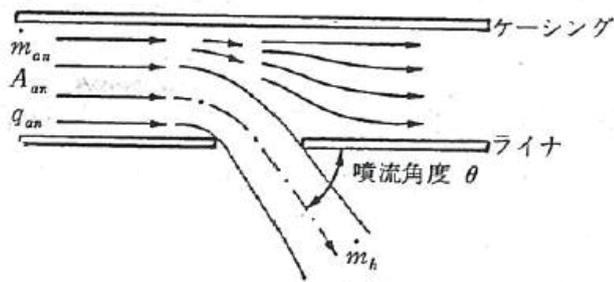


FIGURE 1. Cartoon depicting four types of vortical structure associated with the transverse-jet near field: jet shear-layer vortices at the perimeter of the bending jet, the developing counter-rotating vortex pair, horseshoe vortices on the wall, and wake vortices extending from the wall to the jet.



FricとRoshkoに代表されるように、単一噴流が直交流に流入する流れは詳細に研究されており、このような系においては多くの研究者によって乱流や混合挙動が明らかになりつつある。それに対して、対向噴流が直交流に流入する流れについては十分に理解はされていない。

先行研究 — 流入条件 —



$$\alpha = \frac{\text{空気孔通過空気流量}}{\text{環状部空気流量}} = \frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_{an}}$$

$$A_r = \frac{\text{空気孔面積}}{\text{環状部面積}} = \frac{(A_h)_{geom}}{A_{an}}$$

$$K = \frac{\text{噴流動圧}}{\text{環状部動圧}} = 1 + \frac{\Delta p_L}{q_{an}}$$

$$C_D = \text{空気孔流量係数} = \frac{\alpha}{A_r K^{0.5}}$$

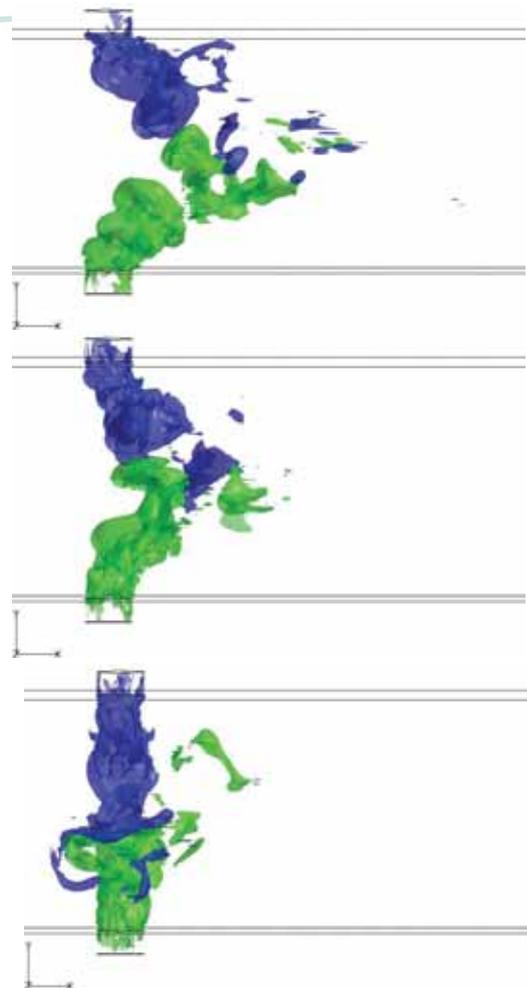
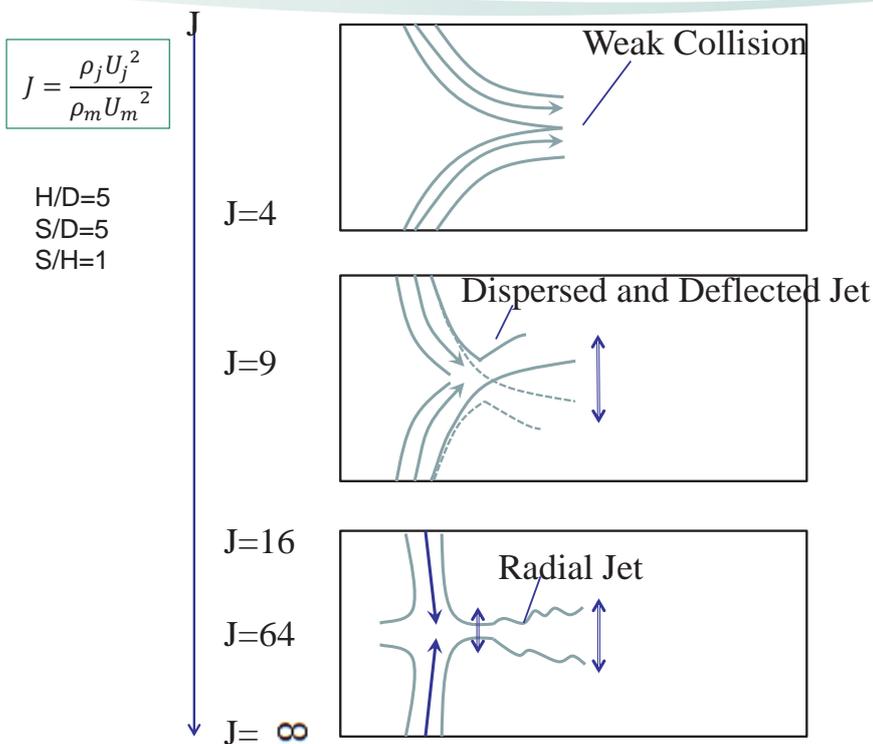
図 4.3 ライナ空気孔を通過する流れ

ガスタービンの燃焼工学 Lefevre

Lefevreらは噴流の燃焼器への流入条件により、噴流の角度と損失係数、軌道が異なるとしているが、非定常的な挙動については言及していない

本阿弥らの研究によると、燃焼器上流にあるダンプディフューザでは、プレディフューザからの流れが鈍頭部に衝突する部分で流れの振動が発生し、流速に影響を与えている。

我々の以前の研究



対向衝突噴流はジェットと噴流の運動量比Jによって3つに分類できる。対向衝突流の混合は衝突面の不安定性によるものと考えられる。

目的

最終目的

ジェットエンジン燃焼器内部の混合挙動を理解する

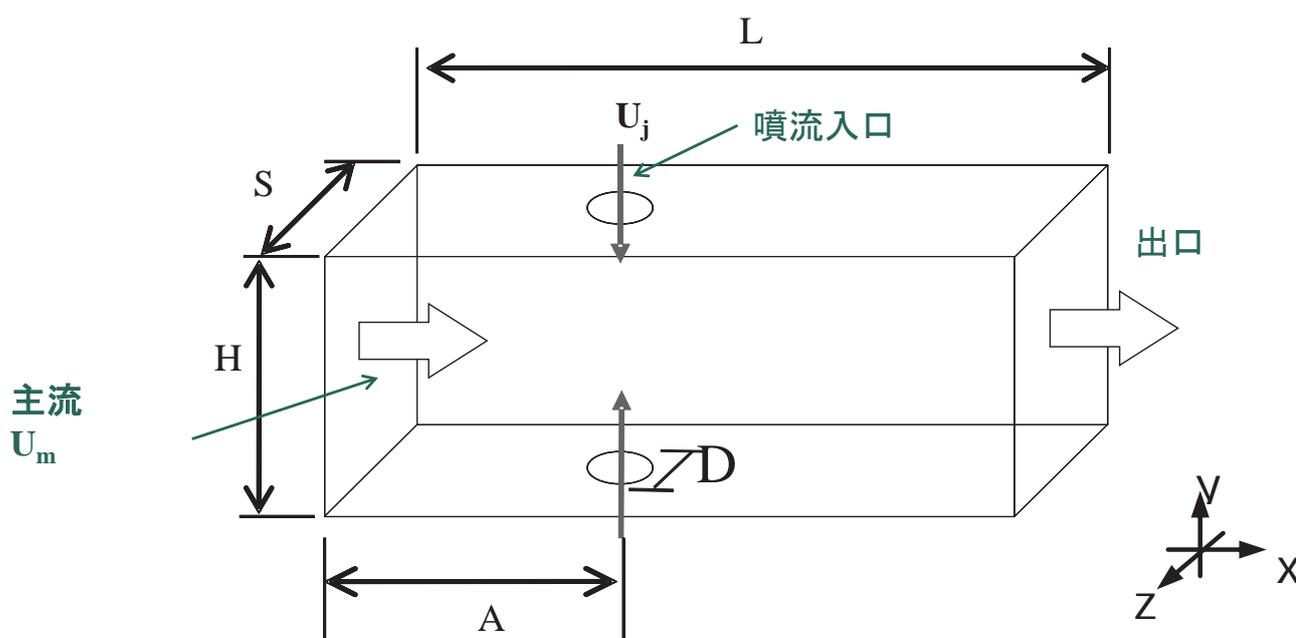
本発表では

噴流入口条件の違いが対向衝突噴流へ与える影響を明らかにする

- ・ 数値計算により対向噴流混合を解析する
- ・ 入口上流条件の異なる形状の比較を行う

9

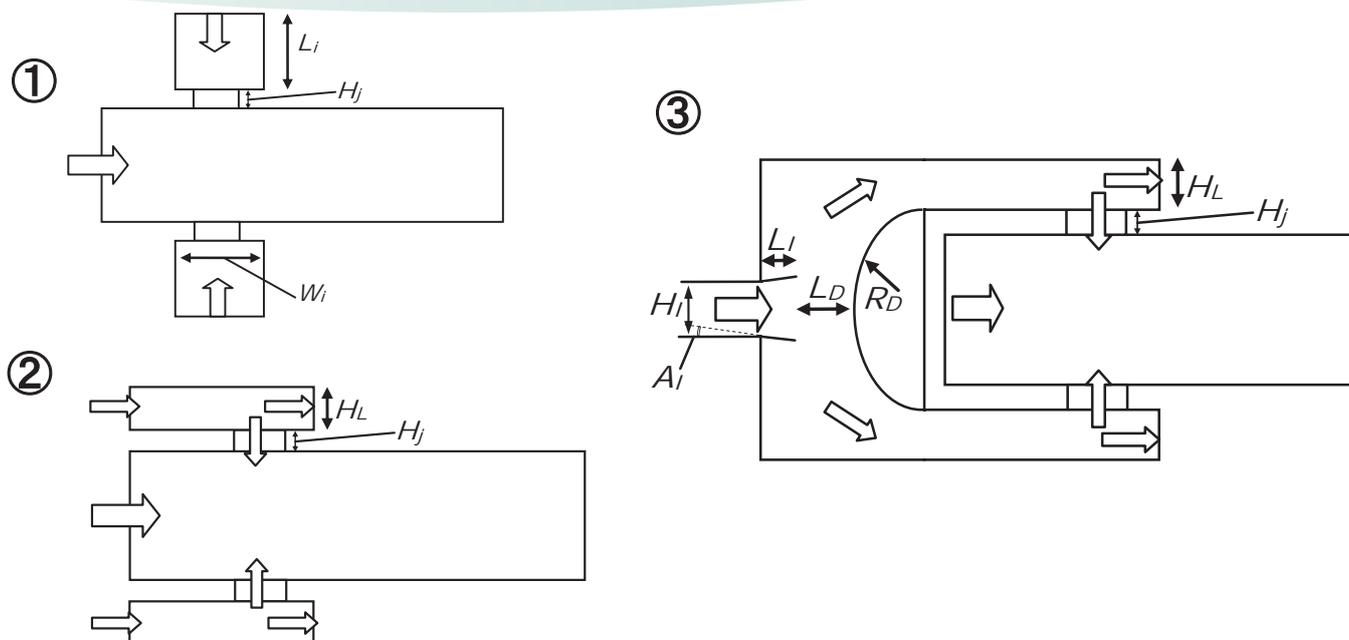
解析形状 ダクト内部



$A=95, D=20, L=590, S=100, H=100$ [mm]

側面(Z軸垂直境界)は周期境界

解析形状 噴流上流の違い



$L_i = 5/2D$, $W_i = 5/2D$, $H_L = 3/4D$, $H_j = 1/2D$, $H_i = 5/4D$, $L_i = 5/4D$, $A_i = 5\text{deg.}$, $L_D = 15/4D$, $R_D = 11/4D$

- ① 垂直方向からの流入 (Vertical)
- ② 水平方向からの流入 (Horizontal)
- ③ ダンプディフューザを有する流入 (Dump)

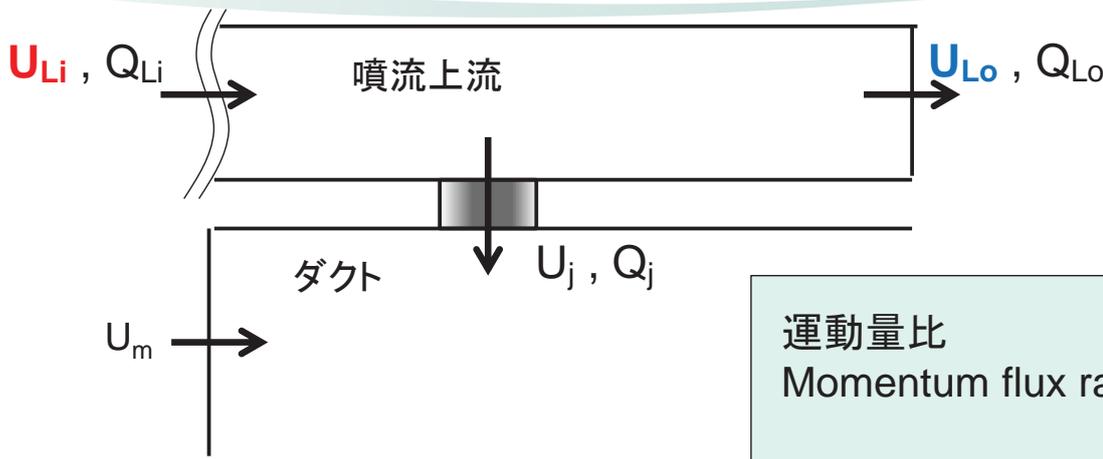
Copyright © 2013 IHI Corporation All Rights Reserved.

11

数値解析手法

解析コード	Advancesoft/Frontflow/Red 4.1
支配方程式	Navier-Stokes
流体	Incompressible Perfect Gas
乱流モデル	dynamic Smagorinsky LES
入口条件	一様流入
壁面条件	対数則
メッシュ	非構造(六面体)
離散化	二次精度中心差分と一次精度風上のブレンド(8:2)
並列化	空間分割, 64CPU

境界条件



運動量比
Momentum flux ratio: $J = \frac{\rho_j U_j^2}{\rho_m U_m^2}$

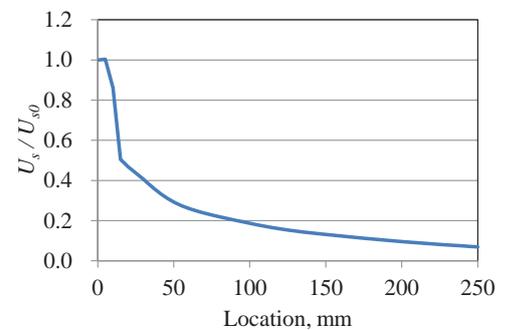
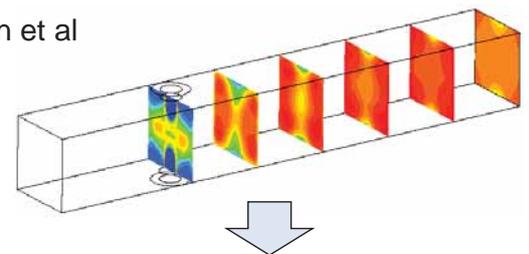
	運動量比 J	噴流 U _j	主流 U _m	噴流上流入口 U _{Li} (流量 Q _{Li})	噴流上流出口 U _{Lo} (流量 Q _{Lo})
Vertical	16	20	5.0	-	-
Horizontal_1	16	20	5.0	0.251U _j (2Q _j)	0.126U _j (Q _j)
Dump	16	20	5.0	0.251U _j (2Q _j)	0.126U _j (Q _j)
Horizontal_2	16	20	5.0	0.377U _j (3Q _j)	0.251U _j (2Q _j)

13

非混合度 Unmixedness :Us

空間的に混合していない割合

Holdeman et al



$$U_s = \frac{C_{rms}}{C_{avg}}$$

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

- n = データ取得点数 (代表断面の全格子点)
- C_i = データ取得点における濃度
- C_{avg} = 完全混合時の濃度
- C_{rms} = 全取得点の完全混合からの差のRMS

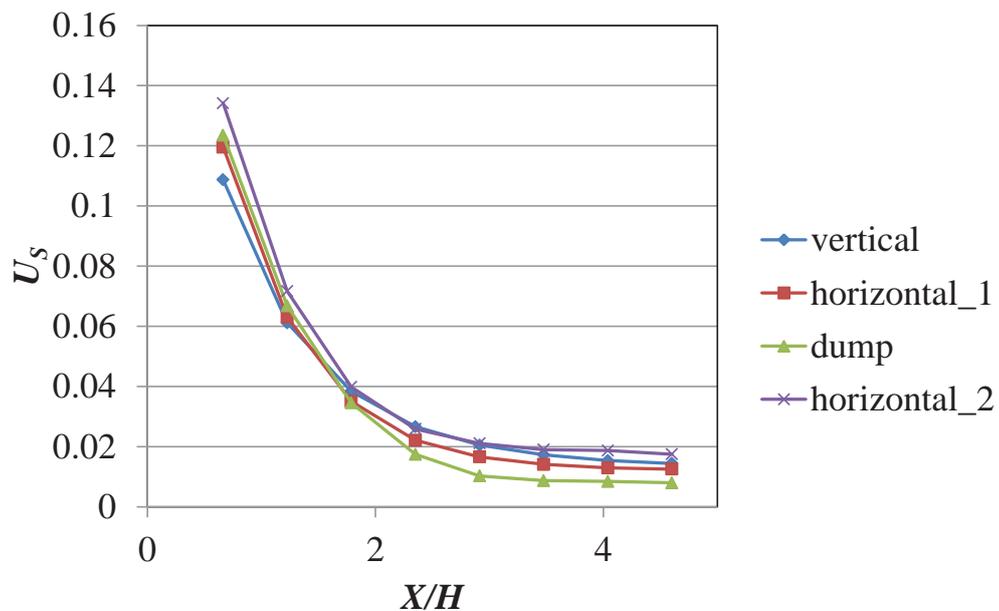
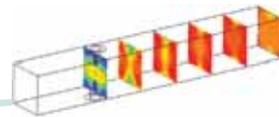
Usは時間平均された結果で評価される

結果

Copyright © 2013 IHI Corporation All Rights Reserved.

15

Effect of reaction on unmixedness

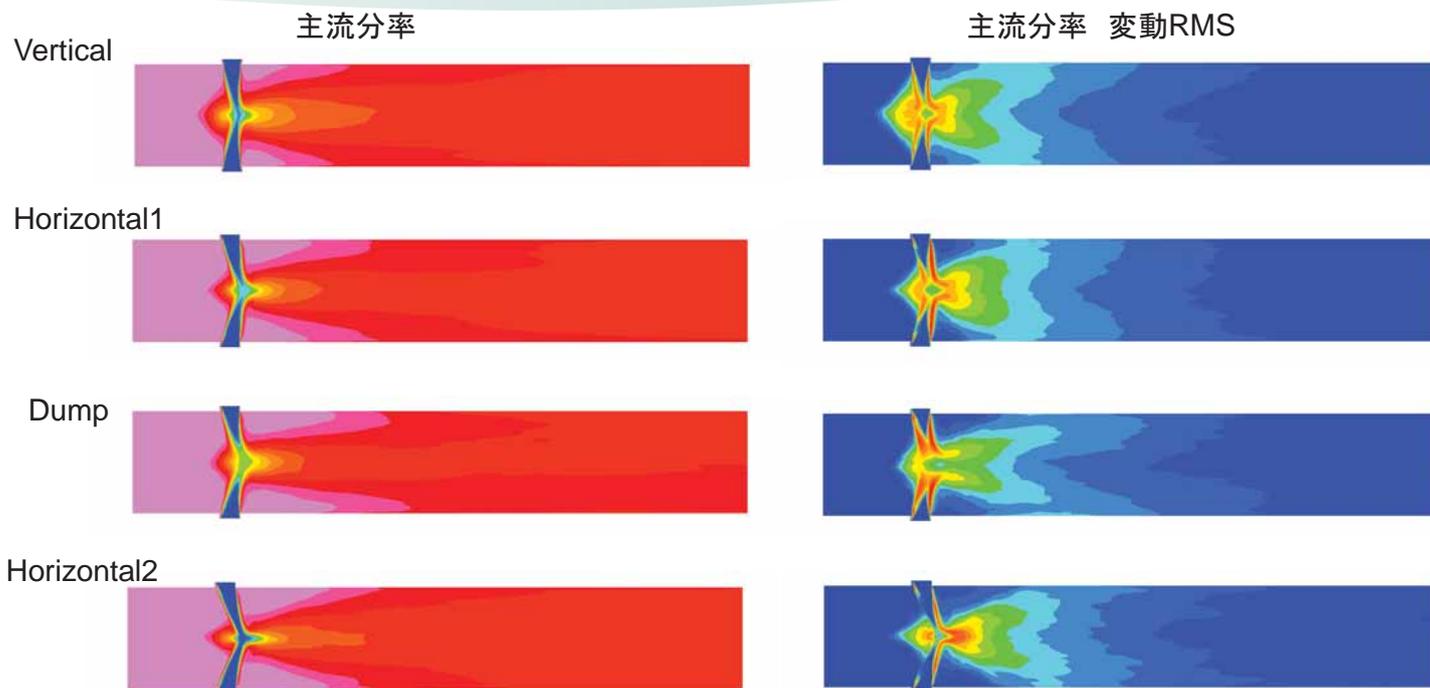


- ・出口における U_s は、Horizontal2 > Vertical > Horizontal1 > Dump の順になった。
- ・噴流近傍では、Dump > Horizontal1 > Vertical となっているが、中間で逆転する。噴流噴出角度が影響しているものと考えられる。
- ・上流部水平方向速度は U_s を大きくする影響がある。
- ・上流にダンプディフューザがある場合は U_s を小さくする影響がある。

Copyright © 2013 IHI Corporation All Rights Reserved.

16 54

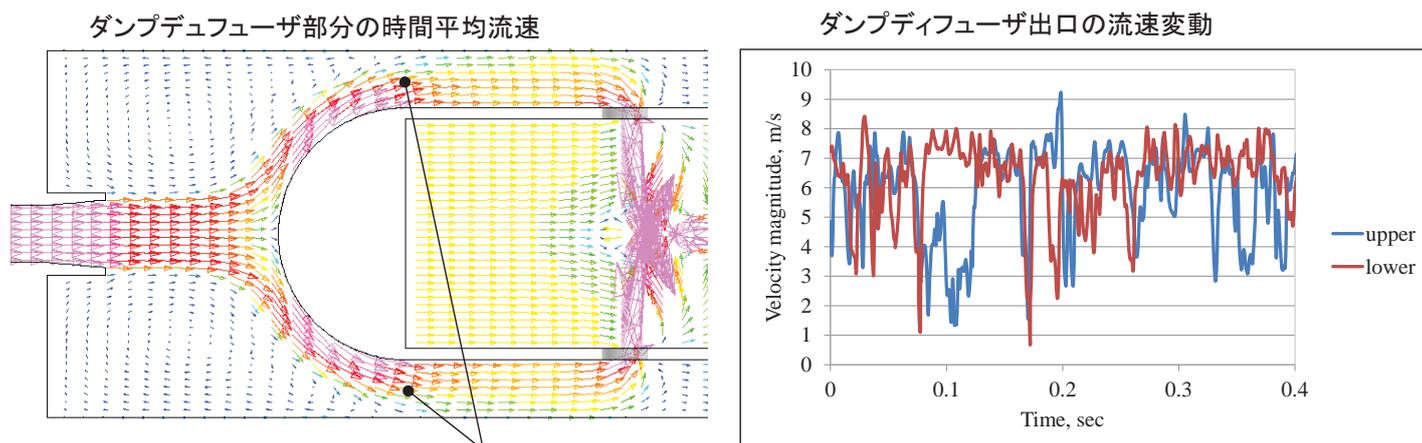
結果（時間平均）



- ・上流の水平速度が大きいほど噴流角度が斜めになることが確認できた (水平速度: Vertical<Horizontal1=Dump<Horizontal2)
- ・水平速度成分が同じでも (Horizontal1とDump) 変動RMS分布が異なる
- ・上流の水平速度成分が大きいHorizontal2では貫通度大きい

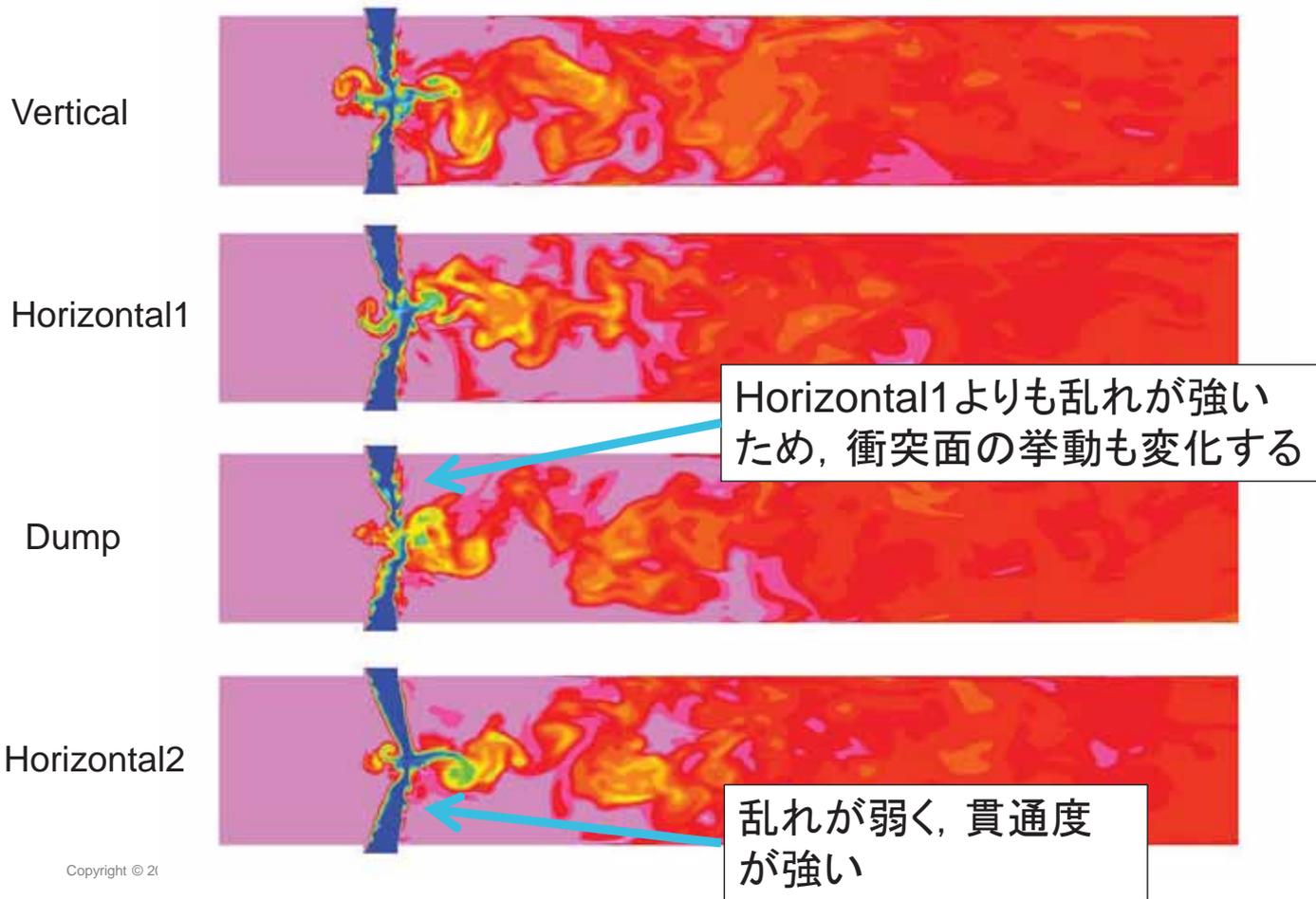
17

ダンプディフューザを有するケースの噴流上流流速

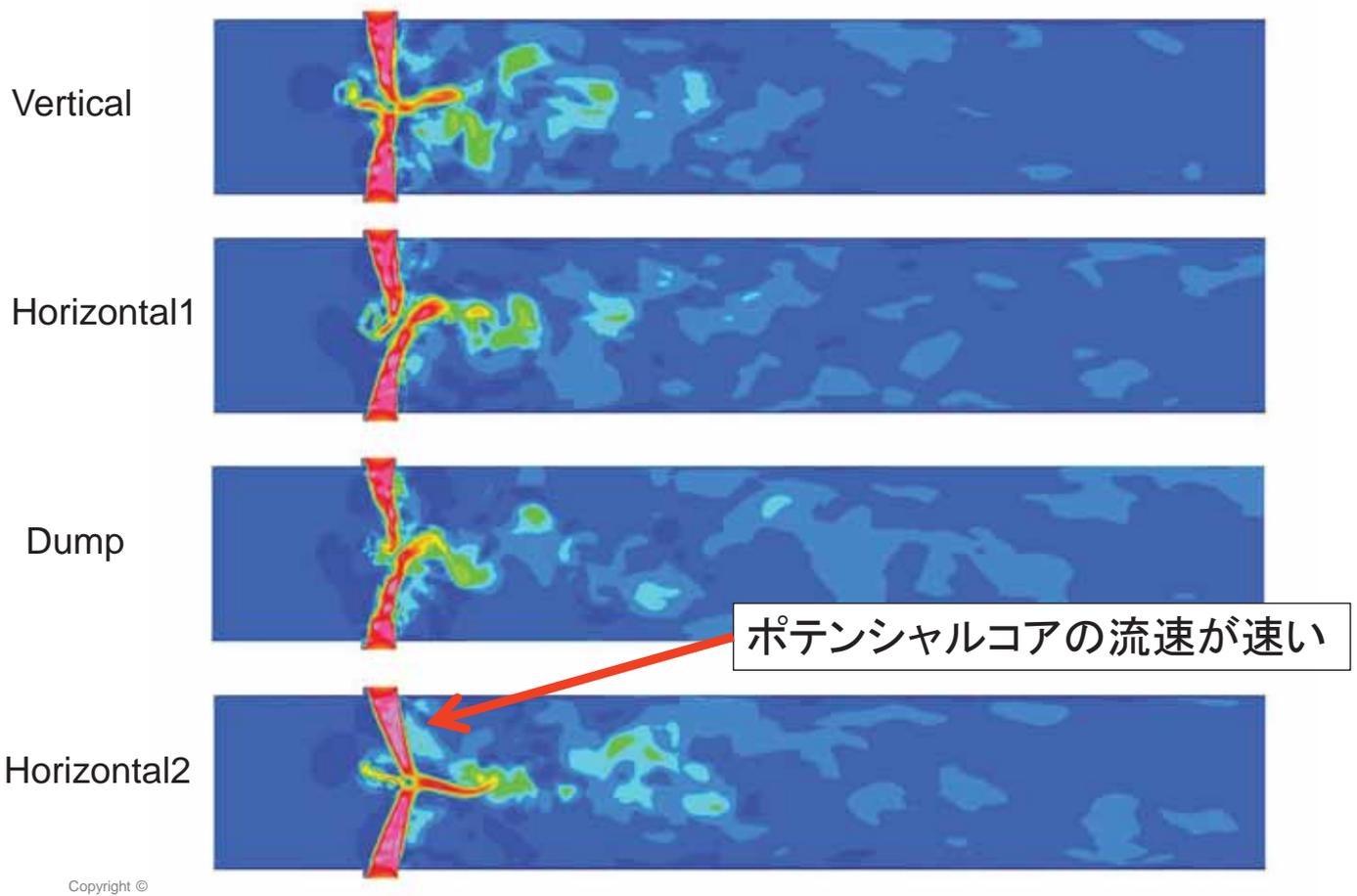


- ・約30%の流速変動が存在する
- ・衝突の影響で流速の偏りが生じている
- ・上流変動が噴流の変動を強めたため、混合に影響を与えたと考えられる。

主流分率の瞬時分布



流速分布の瞬時分布



まとめ

- 上流部水平方向速度は未混合度 U_s を大きくする影響がある。
 - 水平方向速度が大きいほど噴流が斜めになる。斜めになると噴流同士の衝突が弱くなる可能性がある
 - 噴流が傾くほど噴流自体の乱れ度が減少している。剥離位置が明確になることが原因の可能性はあるが調査中。
 - 水平速度が大きいと貫通度が大きい。乱れ度が減少したためか、水平方向成分が加算された影響か、有効断面積の減少により流速が増加した影響が挙げられる
- ダンプディフューザがある場合は U_s を小さくする影響がある。
 - 噴流上流部の流速変動が増加するため、噴流自体の乱れが増加する
 - 噴流の乱れが増加すると、衝突面の挙動が変化し、混合に影響を与える
- 影響を明確に考察するため、より多くのパラメータを考慮した解析を行う必要がある。

汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP の概要と特徴のご紹介

技術第2部 徳永 健一

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red最新動向セミナー
2014年1月30日（木）
アドバンスソフト株式会社



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

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

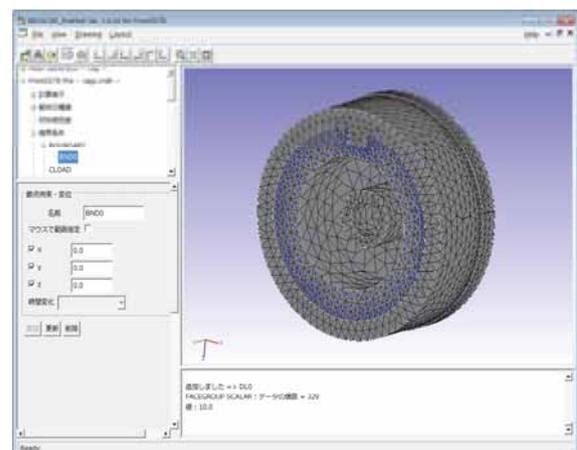
Advance/REVOCAP とは

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、Advance/FrontFlow/FOCUS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。

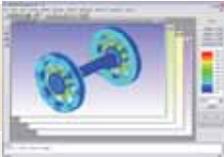
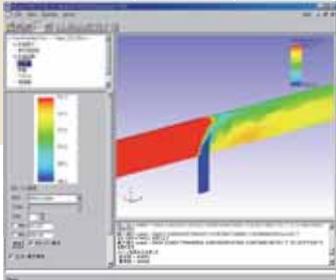


流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2

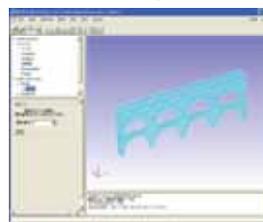
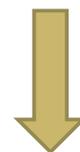
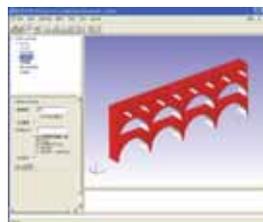
Advance/REVOCAPの開発経緯

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
革新PJ REVOCAP_Mesh REVOCAP_Visual	→ 連成解析用プレポストプロセッサ										
イノベーションPJ REVOCAP_PrePost	→ 大規模アセンブリ構造対応プレポストプロセッサ										
アドバンス版 Advance/REVOCAP					▲ 7月 v2.0 FFr版	▲ 7月 v2.2 FSTR版	▲ 8月 v2.3 FFr版 FSTR版	▲ 7月 V3.0 FFr版 FSTR版	▲ 12月 V3.1 FSTR版 シェル	▲ 2月 V3.2 FFr版 FOCUS版 Noise版	

流体解析ソフトウェア

Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(1)

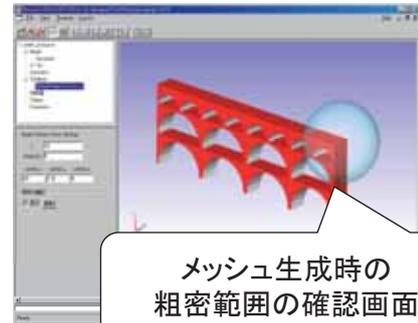
- 形状データ(IGES、STEP、STL)から自動的に四面体メッシュを生成します。
- 手順
 1. モデルデータの読み込み
 2. モデルの修正
 3. メッシュ生成パラメータの設定
 4. メッシュ生成
- メッシュ生成エンジン
 - ADVENTURE_TetMesh
 - Simmetrix



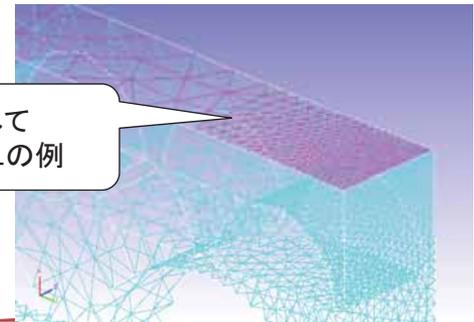
流体解析ソフトウェア

Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(2)

- 粗密制御機能
 - 四面体自動生成の場合に利用可能
 - 要素の大きさの粗密を与える
 - 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

流体解析ソフトウェア

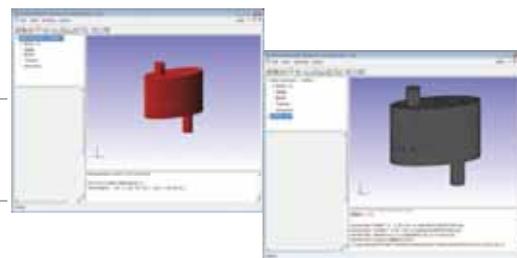
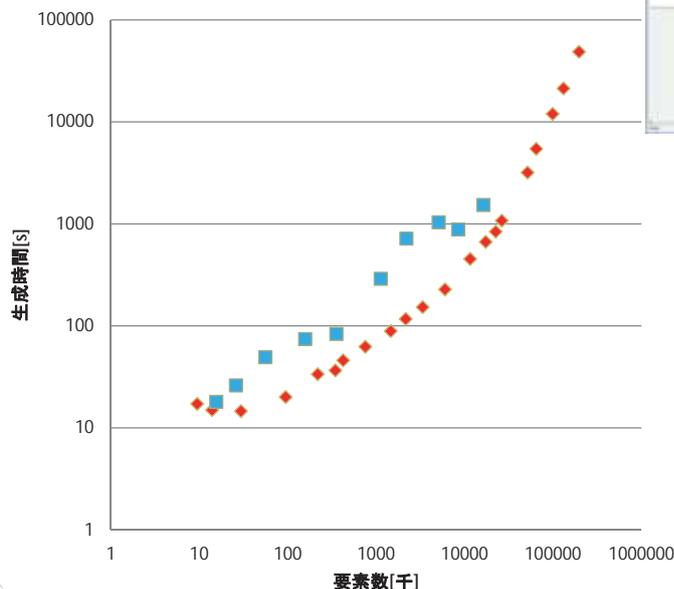
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

5

Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(3)

メッシュ生成パフォーマンス



8分で1000万要素、
最大1.9億要素のメッシュを
PCで生成可能

Windows7 64bit Core i7 3.6GHz
16GB / 3.2GHz 64GB (7000万要素
以上)

流体解析ソフトウェア

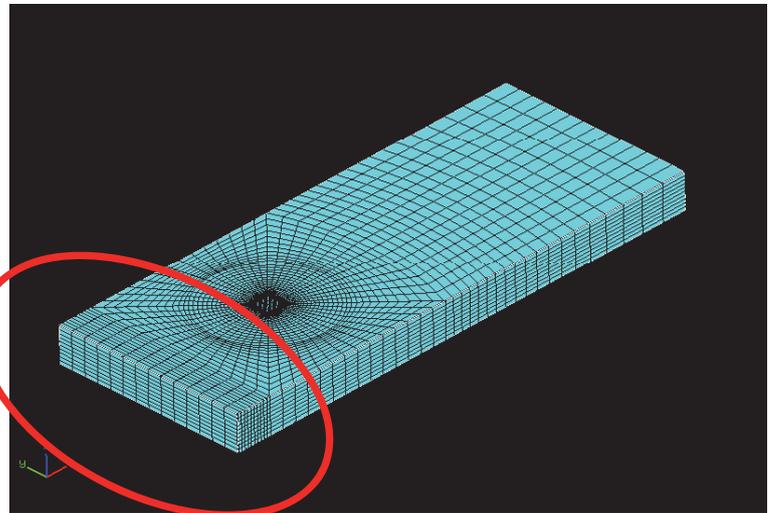
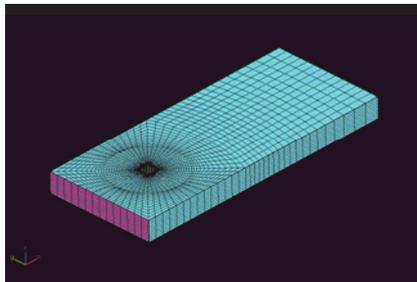
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

6

Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(4)

- 押し出しメッシュ生成機能
 - メッシュの特定の面に押し出しメッシュを追加する



追加したい面を選択し、
層の個数と厚さを与えて実行する

流体解析ソフトウェア

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved. Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

Advance/FrontFlow/redの解析モデル作成(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

流体解析ソフトウェア

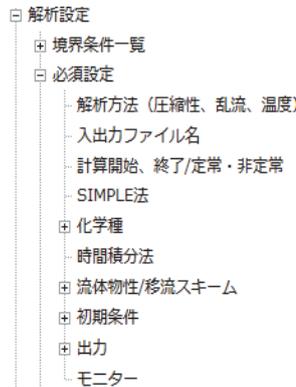
Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved. Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

Advance/FrontFlow/redの解析モデル作成(プリ処理2)

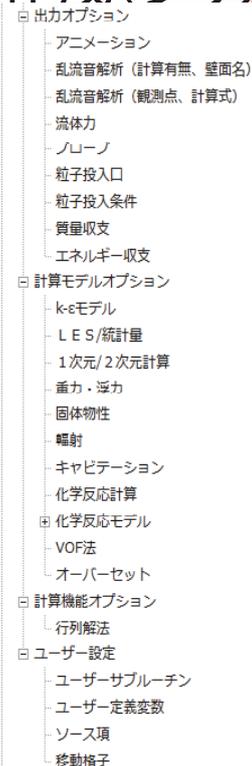
- ソルバー開発者の設計思想を反映した入力用のGUI
 - ツリー構造で整理された設定項目
 - 必須項目とオプション項目が整理されている
 - 複雑な設定は別画面で行う



設定用の別画面の例 (流体物性)



必須設定項目の一覧



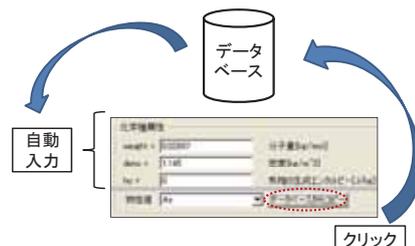
オプション設定項目の一覧

流体解析ソフトウェア

協力: 株式会社日本レースプロモーション様、Lola Cars International Ltd.(英LOLA社)様、株式会社ルマン様、株式会社エムワイジー様
提供: 北海道大学大学院工学研究科 坪倉誠教授

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クク&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)

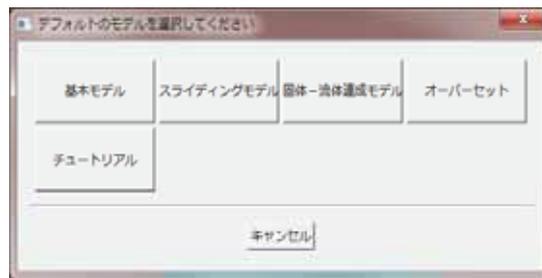


1 elementary : 2 H + Ar -> H2 + Ar
2 elementary : H + OH + Ar -> H2O + Ar
4 elementary : HO2 + Ar -> O + OH + Ar

流体解析ソフトウェア

Advance/FrontFlow/red解析支援

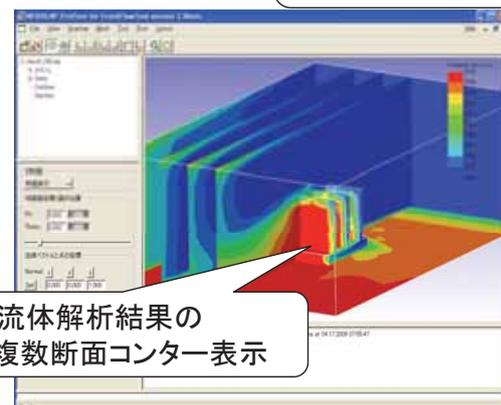
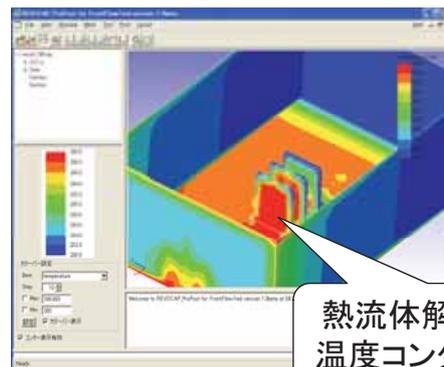
- 基本モデル選択機能
 - アドバンスソフト社で行ってきた多数の解析の知見より得られた適切な規定値が与えられたモデルから選択することができます。
- 豊富なチュートリアル
 - そのまま流すことのできるチュートリアルデータとその設定方法を詳細に解説
- 計算サーバ実行支援
 - 計算サーバで並列計算をする場合のスキプトのひな形の作成機能



流体解析ソフトウェア

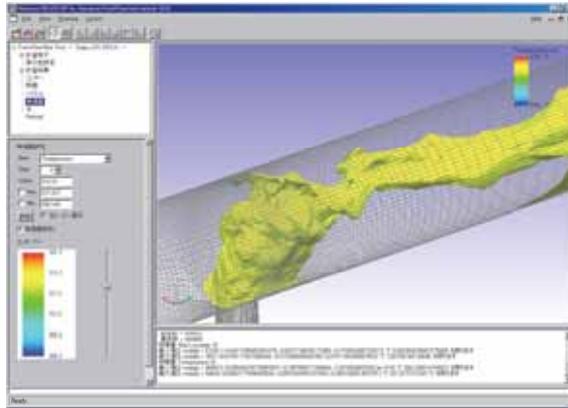
Advance/REVOCAP ポスト処理機能(1)

- 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
 - ボリュームレンダリング
 - 等間隔分布のベクトル図
- 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

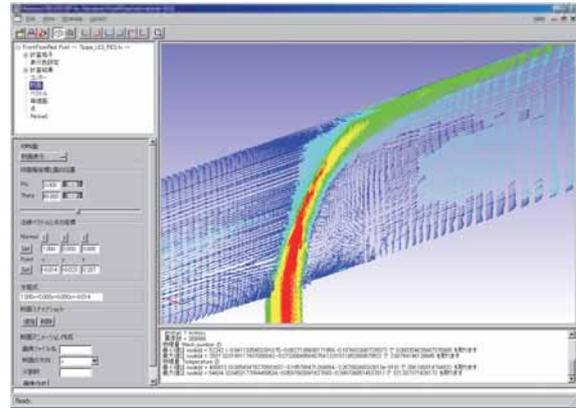


流体解析ソフトウェア

Advance/REVOCAP ポスト処理機能(2)



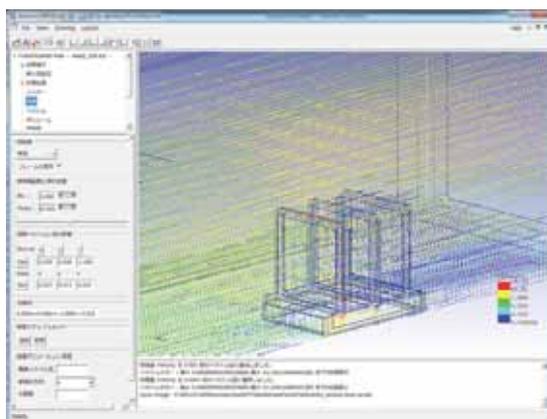
T字管の熱流体解析温度等値面



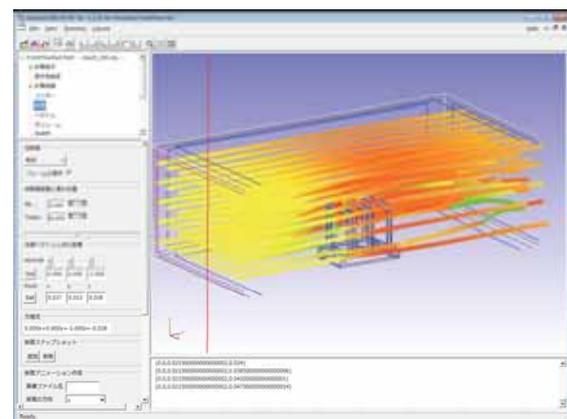
T字管の熱流体解析断面上の速度ベクトル分布



Advance/REVOCAP ポスト処理機能(3)



ヒートシンクの熱流体解析
 速度ベクトル表示
 (方向を矢印で、大きさを色で表す)



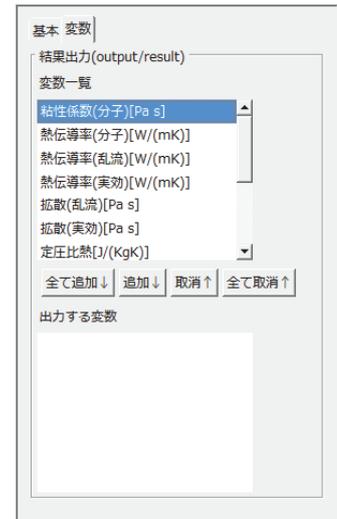
ヒートシンクの熱流体解析
 流線表示

その他:アニメーション用非常解析画像ファイル生成 など



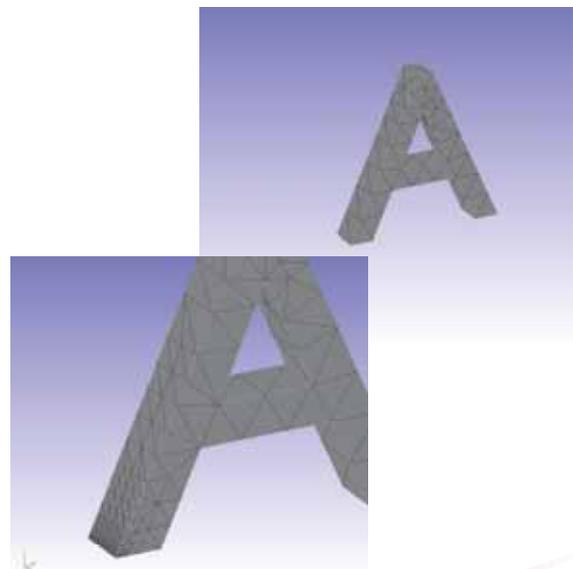
Advance/REVOCAP Ver.3.2 の新機能

- Advance/FrontFlow/red Ver.5.1に対応
 - Advance/FrontFlow/red Ver.5.1で追加されたVOF法、結果出力、接触熱抵抗などの設定画面を更新しました。
- 可視化機能の追加
 - 矢印の長さ一定のベクトル図
 - ボリュームレンダリング(詳細は後述)
- バグの修正、読み込みルーチンの改良
 - 読み込みフォーマットの追加
 - 出力時の節点の分離機能の改善



Advance/REVOCAP 今後の予定

- Ver.4.0 へ向けて
 - チュートリアル全体の刷新
 - 設定エラーチェック機能の改善
 - 入力インターフェイスの拡充、整備
- 将来の機能
 - メッシュ生成機能
 - 局所細分化機能
 - 微細構造モデリング機能(後述)



動作環境	Windows7 (32bit, 64bit)、Windows Vista、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、ADVENTURE_TetMesh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、ボリウムレンダリング、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)

流体解析ソフトウェア

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

17

新機能紹介(1)ボリウムレンダリング

- 従来多くの可視化ソフトでなされてきた空間の物理量の分布を不透明度で表すものとは別の方法
- 連続体を不透明で自己発光する粒子群で表現する(PBVR)
- 特徴
 - 解析モデルの要素数とは独立して粒子数を定めることができるため、大規模なモデルを効率よく可視化することができる
 - ポリゴンではなく点を描画するため、パフォーマンスがよい
 - 解像度を上げるには描画粒子数を増やすだけでよく、制御しやすい
 - 通常のコンター表示の代用としても利用可能
 - 断面表示の時に、新たにポリゴンを描画しなくてもよいので高速
- Advance/REVOCAP Ver.3.2 から利用可能

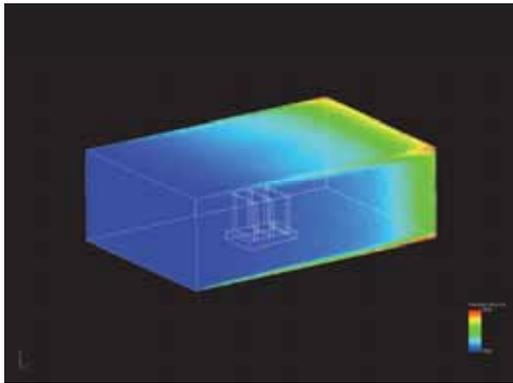
流体解析ソフトウェア

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

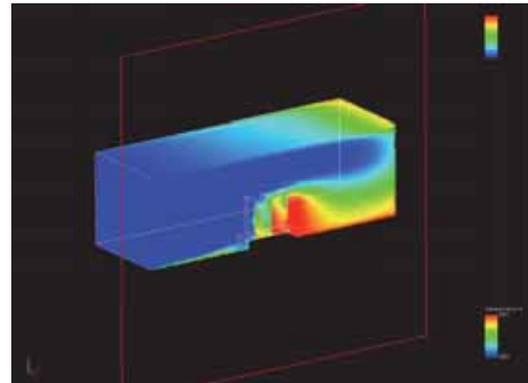
Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

18

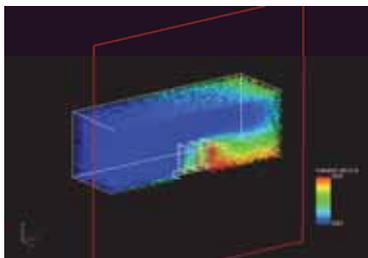
描画例



全体表示
通常のコンター表示と同等の結果が得られる



断面表示
断面のポリゴンを生成することなく
高速に可視化可能



あえて描画粒子数を減らして、大規模なモデルの結果の概要を高速に確認することもできる

流体解析ソフトウェア

新機能紹介(2) 微細構造モデリング

- 大規模並列解析が一般的に利用できるようになってきた
- 産業界のニーズ
 - 燃料電池
 - コンクリート
 - 繊維強化プラスチック(FRP)
- 今まで計算コストの問題から均質化、平均化して解析してきた問題を直接解析する要望が増えている
- 微細構造そのものの物理現象を解析したい
 - 焼結
 - 粉体の溶融
 - セメントの中和反応

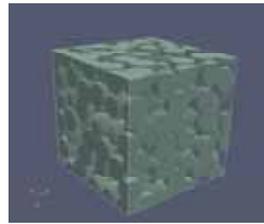
これらの背景、要望に応えるためのモデリングツールを開発

※Advance/REVOCAP の標準パッケージには含まれません

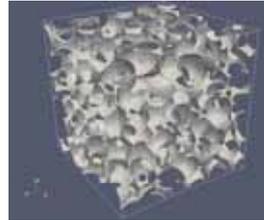
流体解析ソフトウェア

モデリングツールを使った解析の一般例

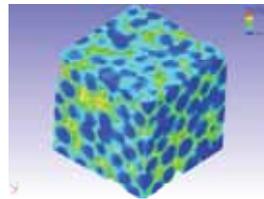
1. マクロ的な情報(粒径、体積比、アスペクト比等)から自動的に微細構造を作成する



2. 微細構造から幾何的な情報を使って形状パラメータを求める(屈曲度、細孔分布、接続情報、三相界面長等)



3. 構造解析、流体解析の結果から、マクロ的な量を計算する(熱伝導率、電子導電率等)



流体解析ソフトウェア

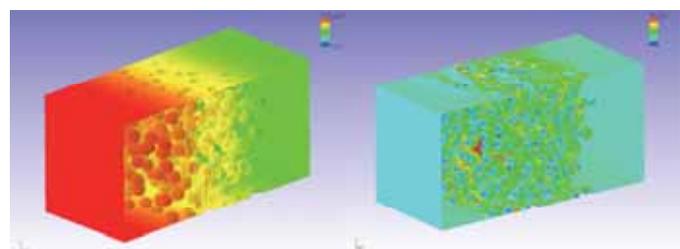
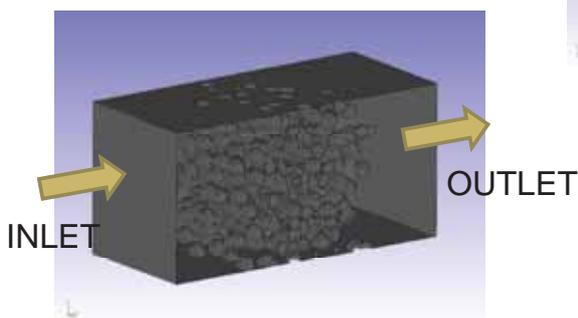
Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

21

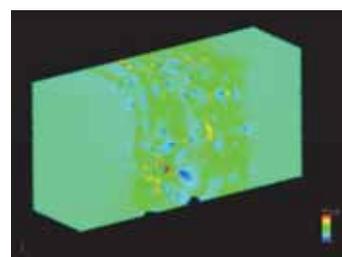
Advance/FrontFlow/red計算例

- 微細構造をFrontFlow/red用のモデルとして出力して解析を行った
- 計算例(微小粒子が充填されている)



圧力値

速度



断面の速度(ボリュームレンダリング)

描画ポリゴン数が増加する場合も、ボリュームレンダリングを用いれば高速に描画可能

流体解析ソフトウェア

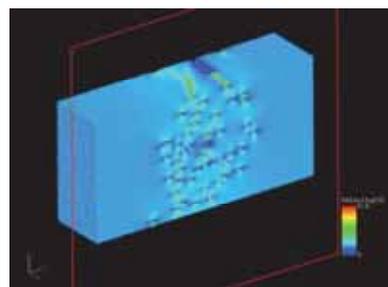
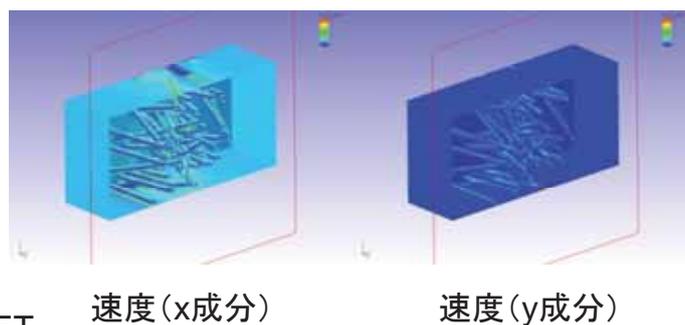
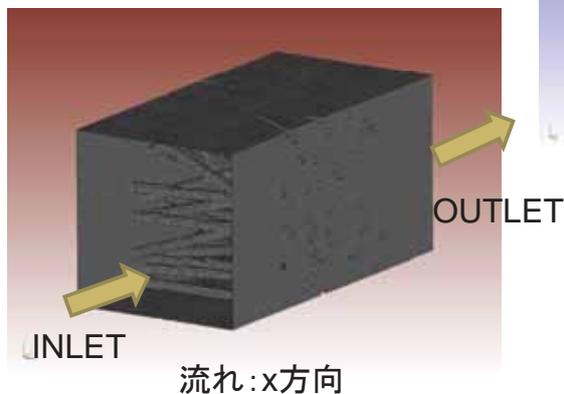
Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/FrontFlow/red 最新動向セミナー

22

Advance/FrontFlow/red計算例

- 計算例(微細繊維)



流体解析ソフトウェア

ご清聴ありがとうございました。

Advance/REVOCAP を利用して、
Advance/FrontFlow/red による流体解析を
みなさまの業務、研究にお役立てください。

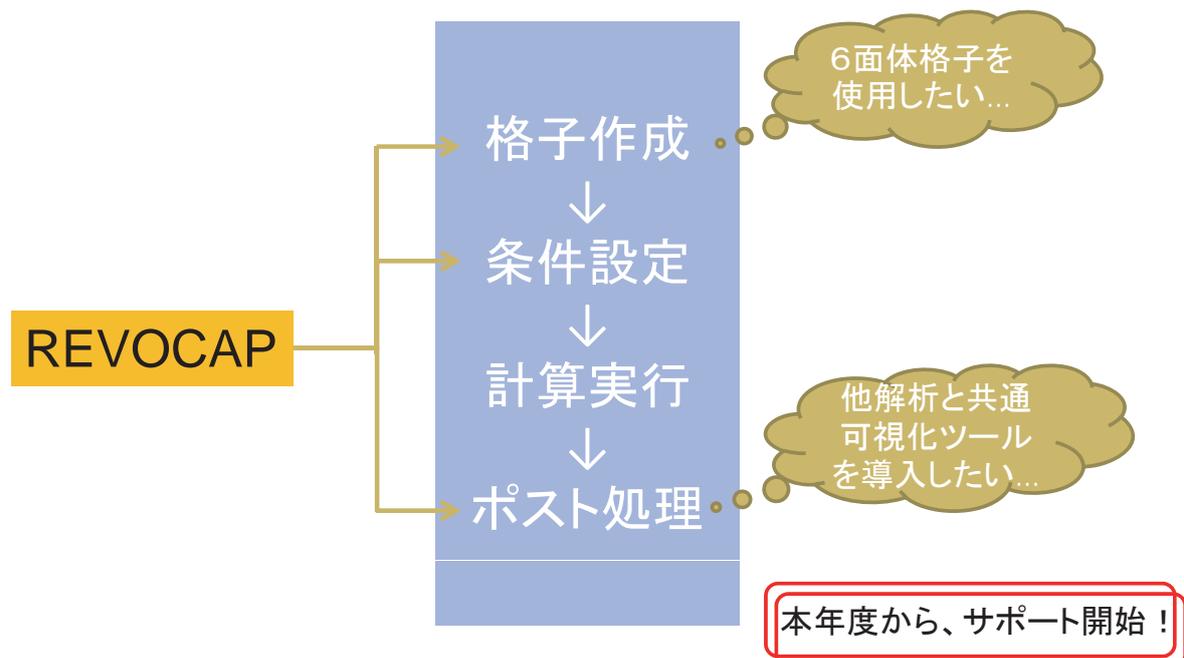
流体解析ソフトウェア

メッシュ作成ツールキット:Cube-it 及び 可視化ソフトウェア:ParaView の利用方法

第2事業部 技術第3部 伊藤 豪

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red最新動向セミナー
2014年1月30日（木）
アドバンスソフト株式会社

流体解析の流れ



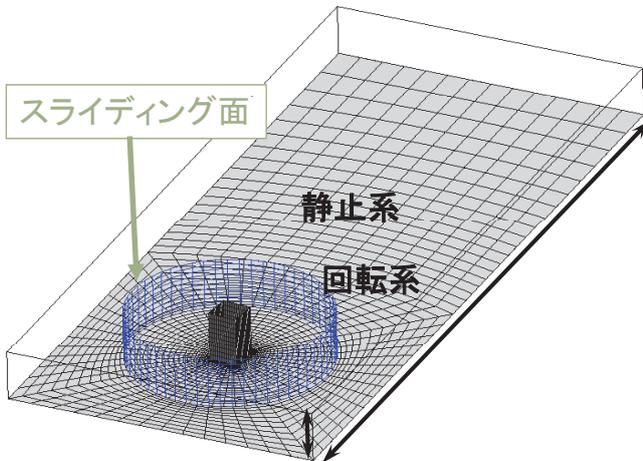
回転角柱周りの流れ解析の例

[解析目的]

一様流中で回転する角柱の後流中の渦放出周波数と回転数の関係を、計算で再現できるかどうかを調べる

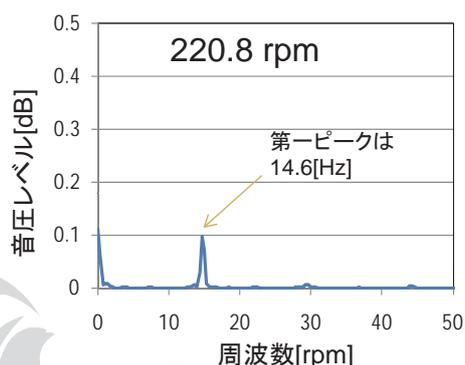
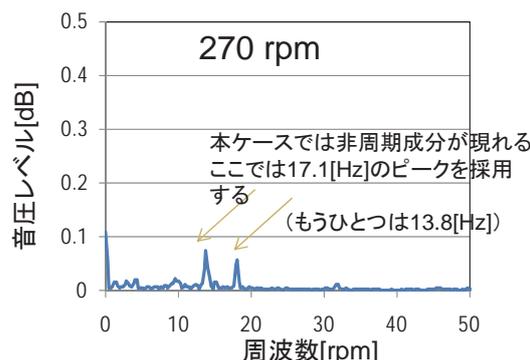
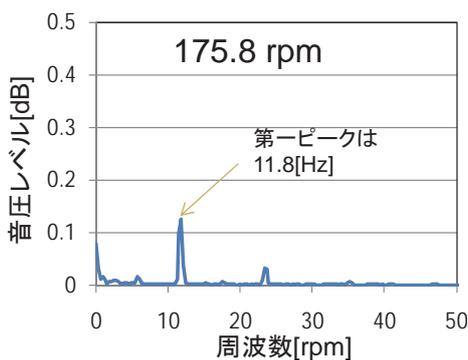
[解析条件]

流入速度 : 2.47[m/s]
レイノルズ数 : 7100
回転数 : 175.8、220.8、270[rpm]
乱流モデル : LES (標準Smagorinsky)
差分スキーム : 2次中心差分
時間積分 : Euler陰解法
流体 : 非圧縮流体
回転の扱い : スライディング格子機能

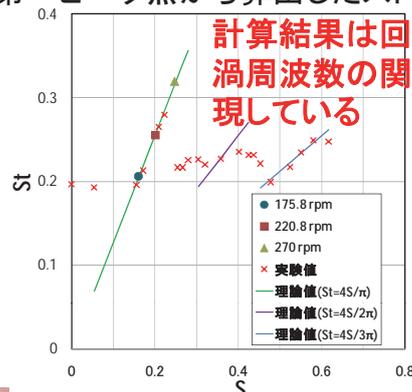


[解析結果]

周波数スペクトルの位置(x,y,z)=(0.0305m,0.122m,0m)



第一ピーク点から算出したストローハル数



$$St = \frac{Df}{U}$$

$$S = \frac{\pi Df'}{U}$$

f : 観測する周波数
 D : 典型的な長さ
 f' : 角柱の回転周波数
 U : 典型的な速度

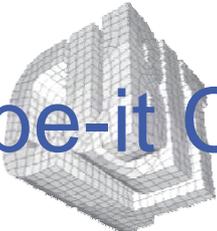
参考文献: 黒田ら、日本機械学会論文集B編 62巻597号(1996) p1709

流体解析の流れ

- ① 計算格子の作成 ←Cube-it
- ② 計算条件の設定 ←Advance/REVOCAP
- ③ 計算実行 ←Advance/FrontFlow/red
- ④ 可視化 ←ParaView



Cube-it CFD

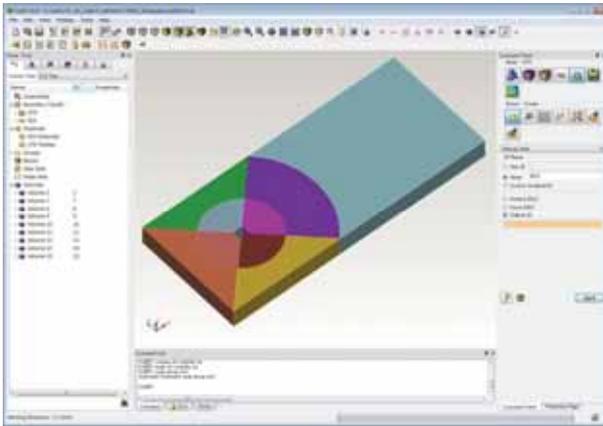


ヘキサメッシュ作成ツールキット

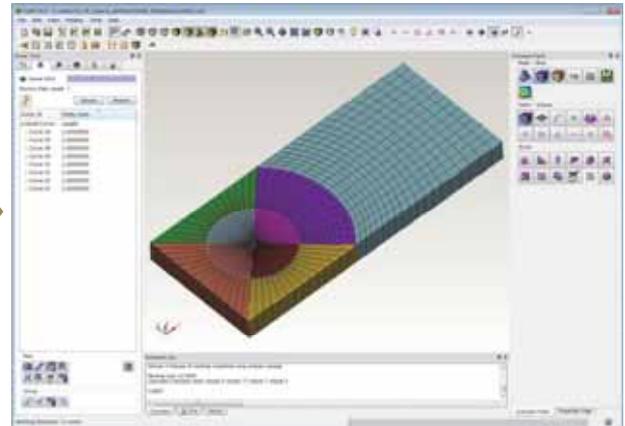


①Cube-itによる計算格子の作成

形状と計算格子の作成



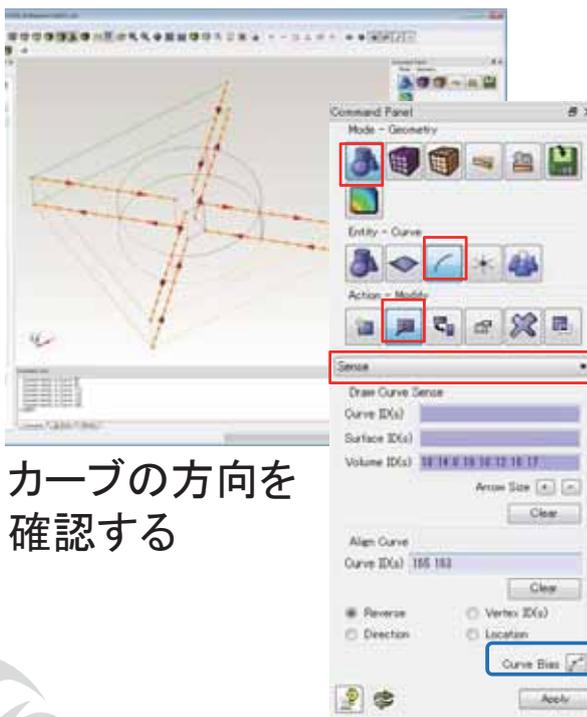
Cube-itで作成した形状



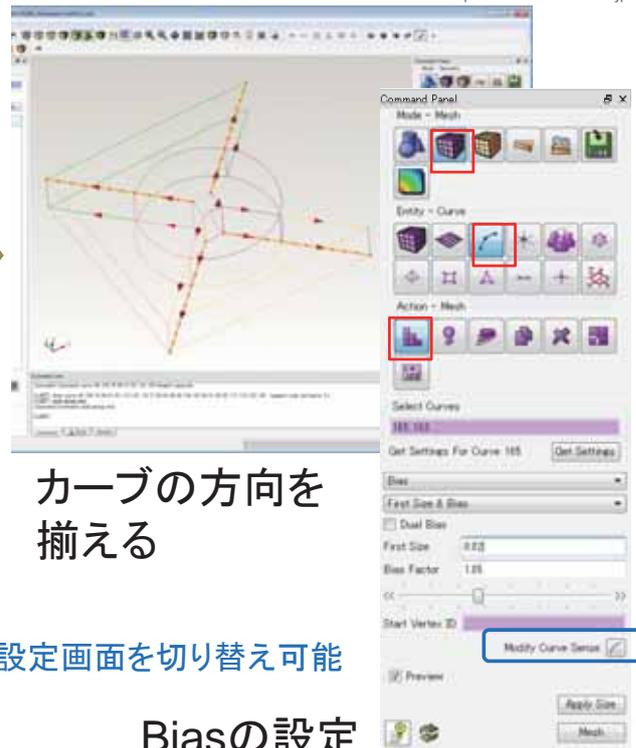
Cube-itで作成した計算格子



メッシュの粗密の定義



カーブの方向を確認する

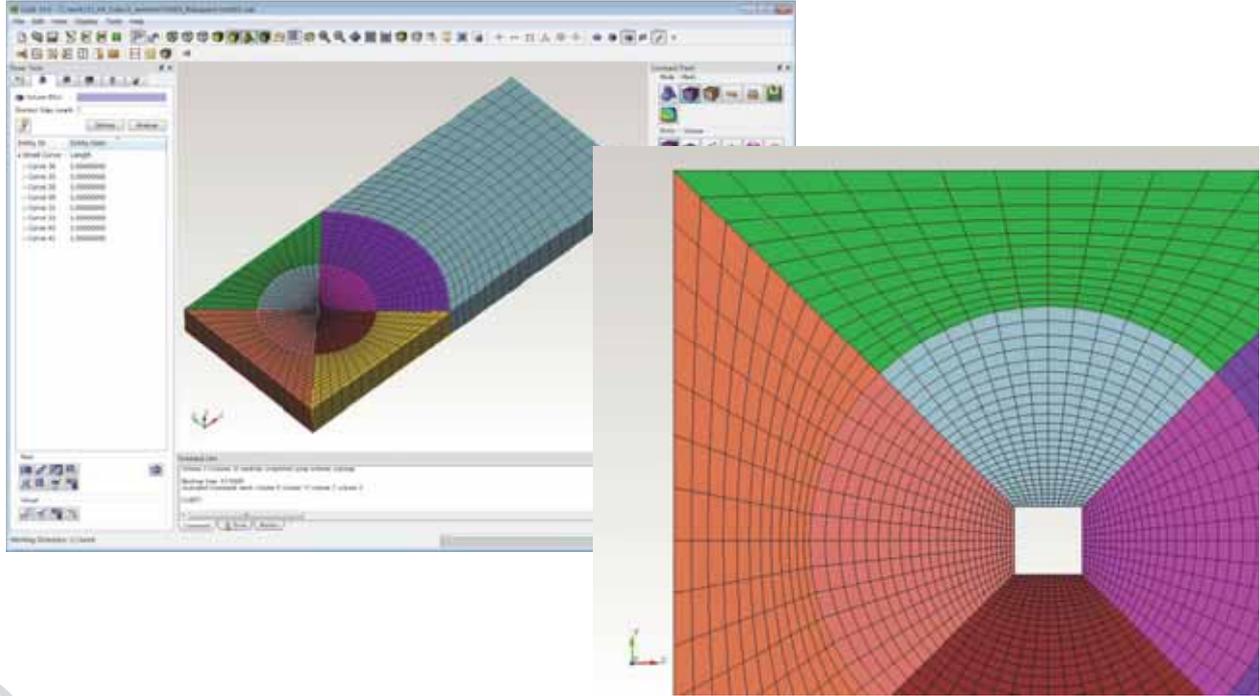


カーブの方向を揃える

設定画面を切り替え可能

Biasの設定

Biasを設定したメッシュ

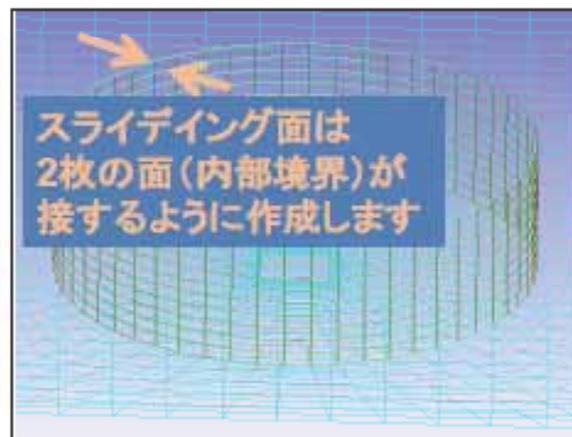


複数マテリアルの定義

スライディング以外の領域: 属性番号1



スライディング領域: 属性番号2

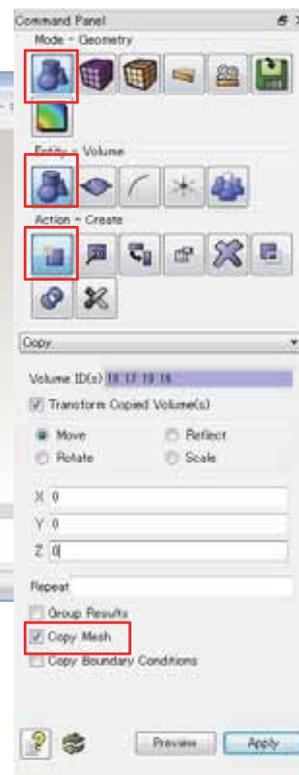
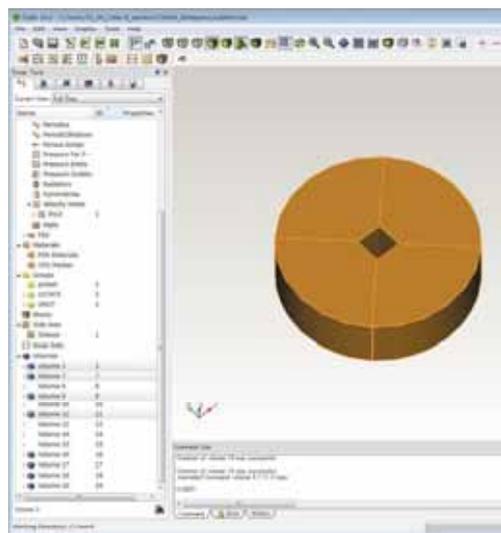


※複数マテリアルの定義には
インターフェース境界が
2枚必要です

スライディング領域とその他領域の分割

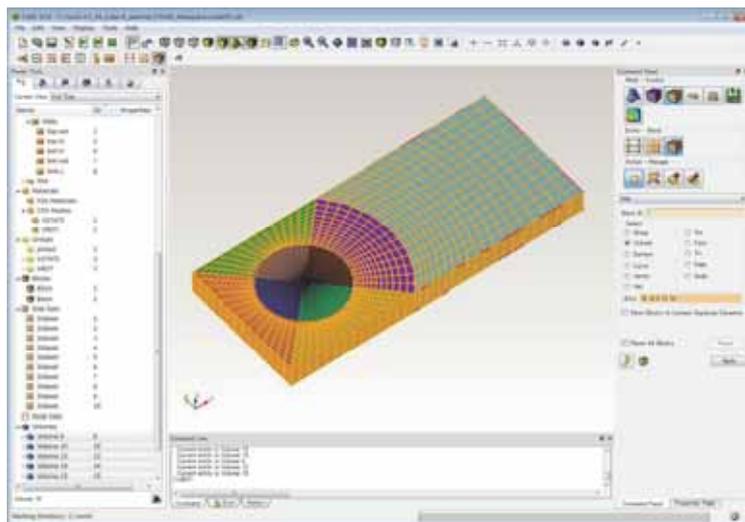
①スライディング領域の
形状とメッシュを同位置
にコピーする

②コピー前の形状を
削除する



※Copy Meshにチェックを入れると、
形状とメッシュが同時にコピーされます

Block IDの定義

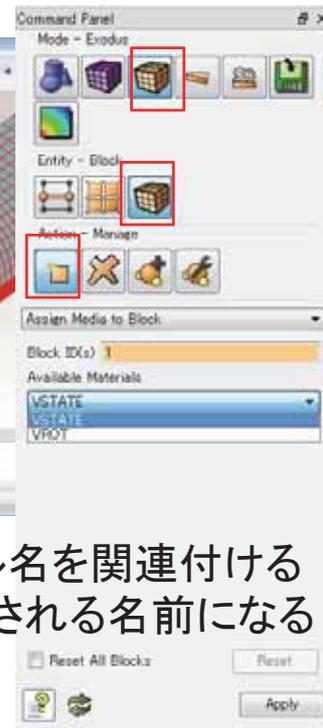
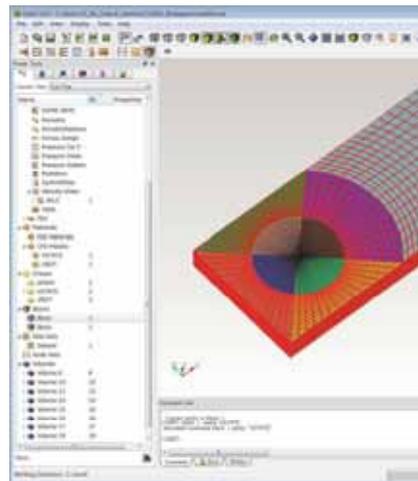


材料毎にBlock IDを定義する
※デフォルトでは1になります

Blockにマテリアル名を定義



マテリアル名を作成



Block IDとマテリアル名を関連付ける
→プリ処理時に使用される名前になる

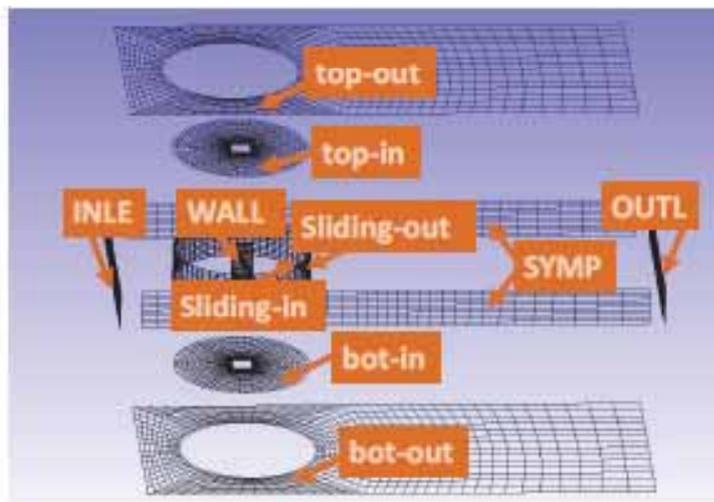
境界名の設定

境界の種類

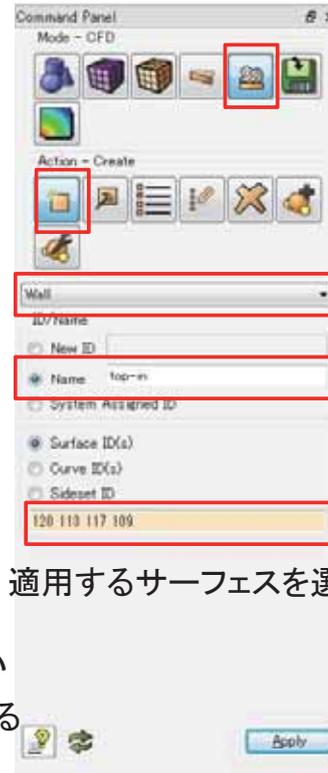
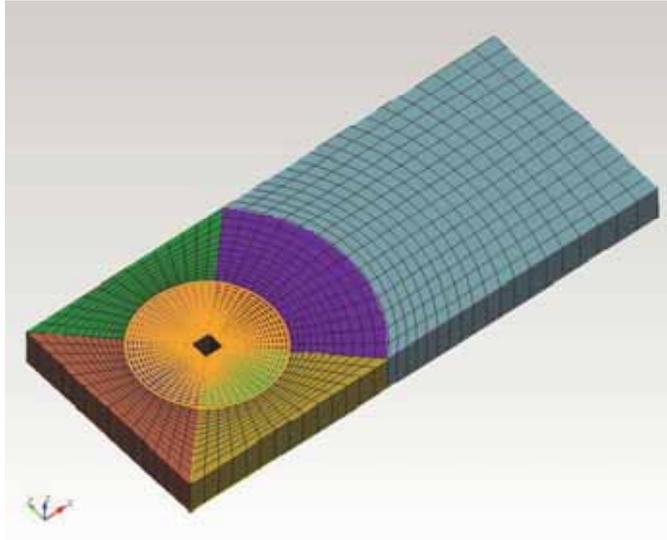
→REVOGAPまたはAdvance/FlontFlow/redの設定ファイル(fflow.ctl)で設定



境界名→Cube-it で設定



境界名の定義



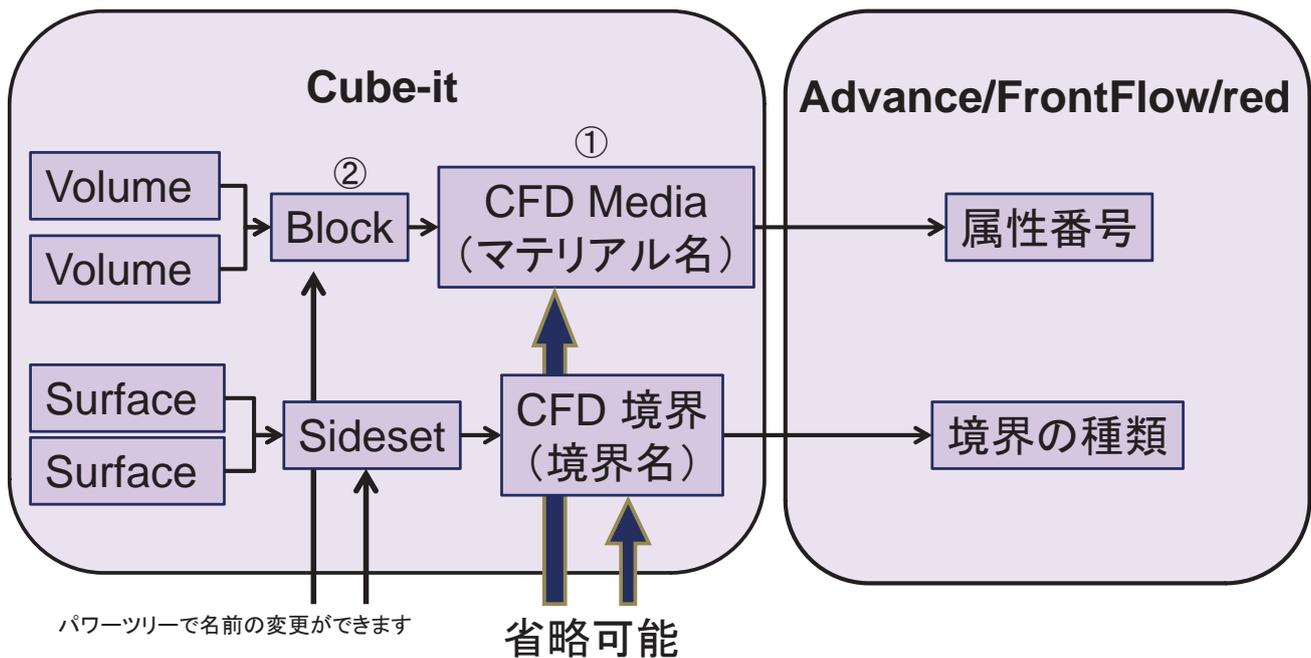
何でも良い

名前を入力

適用するサーフェスを選択

※メッシュ上で設定された境界の種類は使用されない
境界を作成すると同時にCube-itのSidesetが作成される

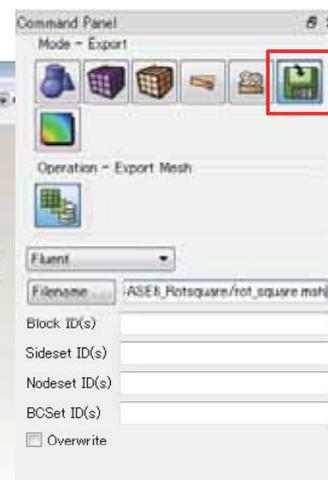
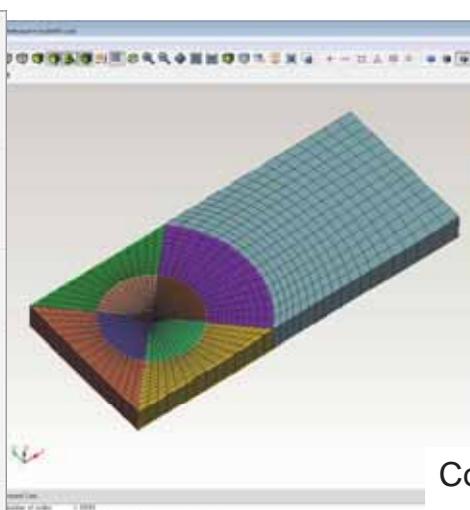
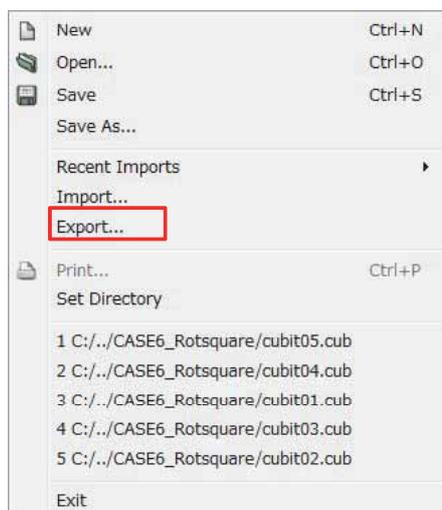
設定の関係図(3Dモデルの場合)



設定名の出力優先順位①→②→デフォルト名

格子ファイルの出力

Fluent形式を選択してメッシュを出力する



Command Panel
→Analysis Setupから出力

メニューから出力
Fileメニュー→Export



流体解析の流れ

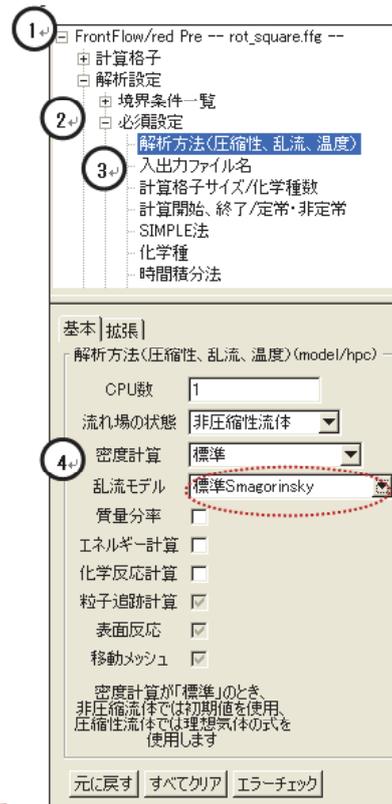
- ① 計算格子の作成 ←Cube-it
- ② 計算条件の設定 ←Advance/REVOCAP
- ③ 計算実行 ←Advance/FrontFlow/red
- ④ 可視化 ←ParaView

②Advance/REVOCAPによる 計算条件の設定

解析手法の設定(圧縮性、乱流モデル、温度、離散化スキーム)

計算条件の設定(時間刻み、収束判定)

境界条件の設定

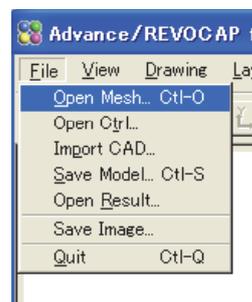
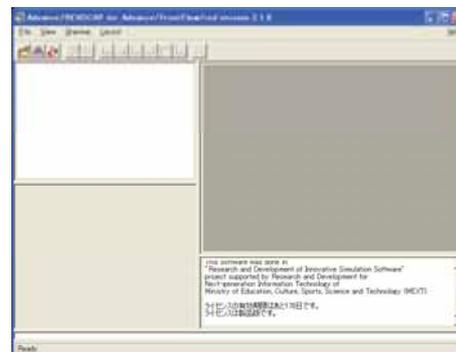


②Advance/REVOCAPによる 計算条件の設定手順

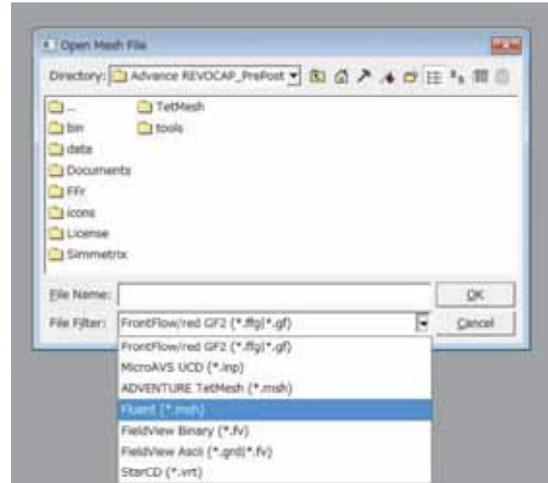
Advance/REVOCAPの起動

計算格子の読み込み

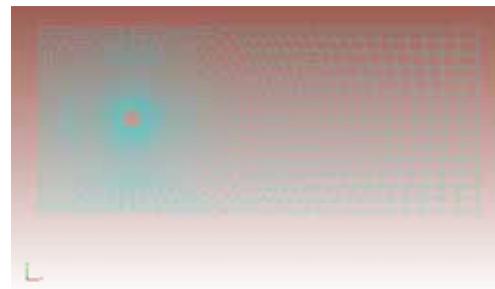
[File]-[Open Mesh]を選択する



- ①計算格子データがあるフォルダまで移動する
- ②Fluent (*.msh)を選択する
- ③格子データを選択し、OKボタンを押す

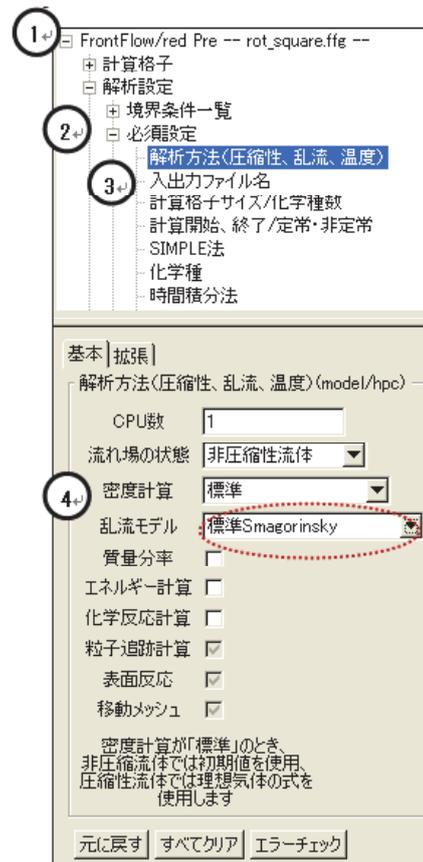


格子ファイルの読み込みが完了すると右図のような画面が表示される



解析方法(圧縮性、乱流、温度計算)の設定

- ①[Step1] で読み込んだ格子ファイル名を選択する
- ②[解析設定]-[必須設定] を展開する
- ③[解析方法(圧縮性、乱流、温度)] を選択する
- ④[乱流モデル]に[標準Smagorinsky]を選択する



計算開始、終了 / 定常・非定常の設定

①[解析設定]- [必須設定]-
[計算開始、終了/定常・非定常]を
選択する

②[計算終了ステップ]を1000に変更
する

FrontFlow/red Pre -- rot_square.fgg --

- 計算格子
- 解析設定
 - 境界条件一覧
 - 必須設定
 - 解析方法(圧縮性、乱流、温度)
 - 入出力ファイル名
 - 計算格子サイズ/化学種数
 - 計算開始、終了/定常・非定常
 - SIMPLE法
 - 化学種
 - 時間積分法

計算開始、終了/定常・非定常(time)

計算開始ステップ 0

計算終了ステップ 1000

計算終了時刻

定常・非定常 非定常計算

収束基準値 0.2

計算終了ステップと計算終了時刻が
両方設定された場合はいずれか早い方で
計算が終了します

時間刻み(deltat)

時間刻み設定 固定時間刻み

時間刻み 0.0001

クーラン数

元に戻す すべてクリア エラーチェック



SIMPLE法の内部反復回数と 収束判定基準値の設定

①[解析設定]- [必須設定]-
[SIMPLE法]を選択する

②[内部反復回数]に30を
入力する

FrontFlow/red Pre -- rot_square.fgg --

- 計算格子
- 解析設定
 - 境界条件一覧
 - 必須設定
 - 解析方法(圧縮性、乱流、温度)
 - 入出力ファイル名
 - 計算格子サイズ/化学種数
 - 計算開始、終了/定常・非定常
 - SIMPLE法
 - 化学種
 - 時間積分法

SIMPLE法(simple)

内部反復回数 30

収束基準値 0.2

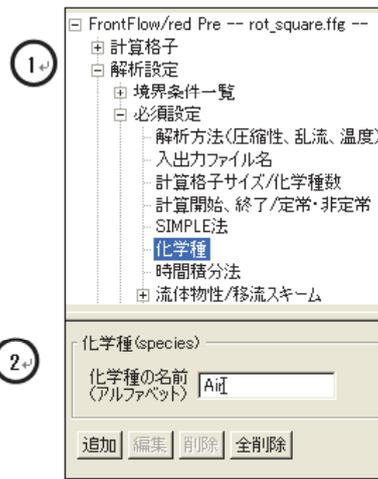
元に戻す すべてクリア エラーチェック



化学種の設定

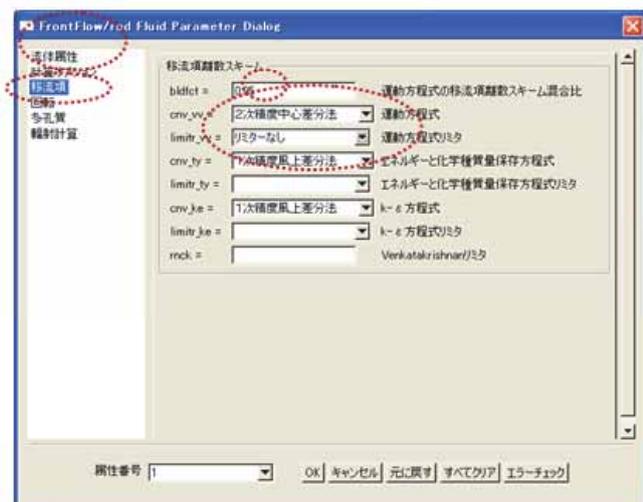
- ① [解析設定]- [必須設定]- [化学種]を選択する
- ② 「化学種の名前」の項目に「Air」と入力し、編集ボタンを押す
- ③ ダイアログが開いたら [物性値]の欄で[Air]を選択し [データベースからコピー] ボタンを押す
物性値が必要な項目に自動的に入力される

OKボタンを押してダイアログを閉じる



移流項離散スキームの設定

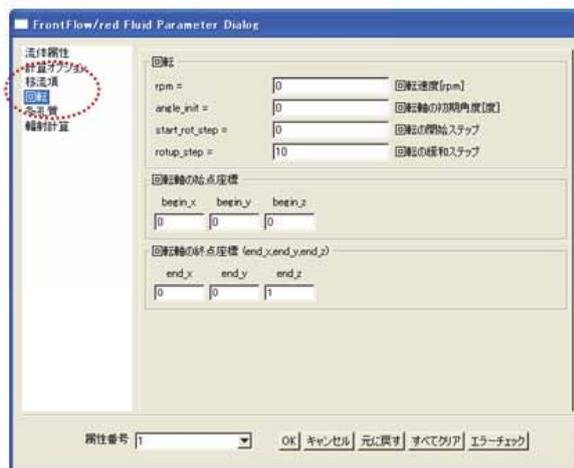
[運動方程式の移流項離散スキーム混合比]には0.95,
[運動方程式]には
[2次精度中心差分法]を選択する



静止座標系の設定

[回転速度]には0rpm,
 [回転軸の初期角度]には0,
 [回転の開始ステップ]には0
 [回転の緩和ステップ]には10
 を入力する
 [回転軸の始点]を(0,0,0),
 [回転軸の終点]には(0,0,1)を
 入力する

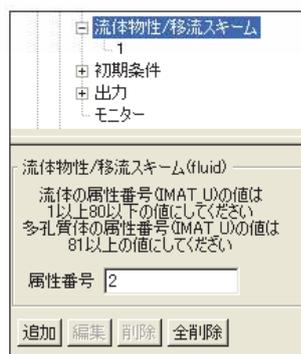
OKボタンを押してダイアログ
 を閉じる



ncesoft.jp/

回転座標系の設定

属性番号に2を入力して追加
 ボタンを押す



Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

27

属性番号の項目から
 「create new condition」を選択
 する

「新しい流体属性番号」に2を
 入力してAcceptボタンを押す

ダイアログには流体属性番号
 1の設定がコピーされる

[回転]を選択する
 [回転速度]に-175.8を入力する
 OKボタンを押してダイアログを
 閉じる



AdvanceSoft
 www.advancesoft.jp/

Copyright ©2014 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

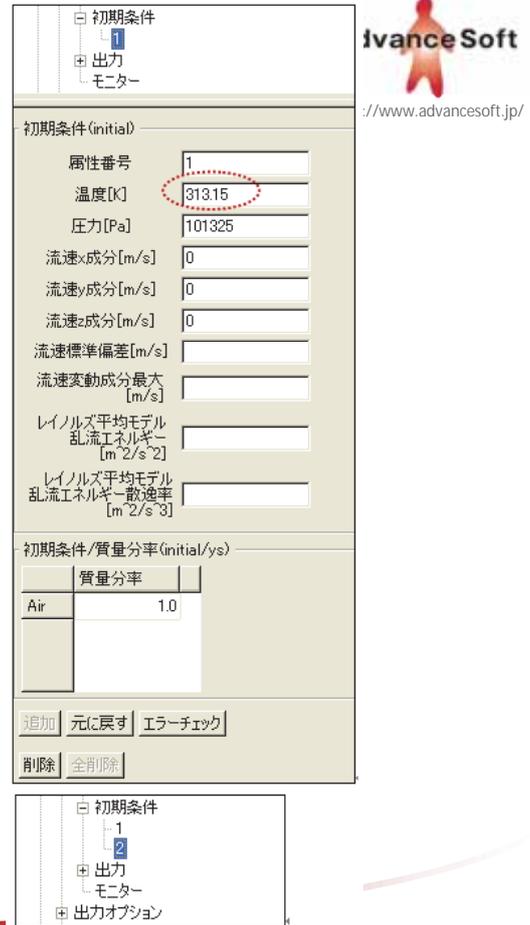
28

初期条件の設定

- ① [格子ファイル名]-[解析設定]-[必須設定]-[初期条件]-[1]を選択する
- ② 該当項目を入力する(右図参照)

同様にもう一つの属性番号が2の流体についての設定を追加する
 まずツリーにおける「初期設定」の項目をクリックし、設定フォームにおいて、属性番号を2にする以外は、右図のように設定する

追加ボタンを押す
 図のようにツリーに「2」という項目が追加される



対称境界条件の設定

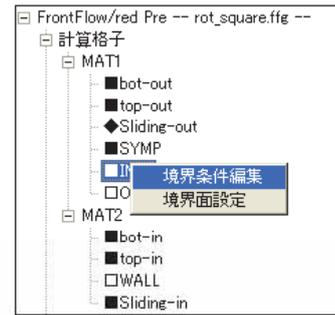
境界面に対して、既存の境界条件を適用する
 [格子ファイル名]-[計算格子]を展開する
 [MAT2]を展開する
 境界名(ここではbot-in)を右クリックする
 [境界条件]からSYMMETRYを選択し、設定ボタンを押す
 境界面の名前前の記号が黒く塗り潰され、境界条件が設定されたことを示す

top-in, bot-out, top-out, SYMPに対しても同様の設定を行う



流入境界条件の設定

まずINLEという境界面に対して、INLETという境界条件を適用する次に、ツリーのINLE上で右クリックするとポップアップメニューが表示されるので、「境界条件編集」を選択する



以下の作業で適用された値を修正する

ダイアログが表示されるので、左の覧から「流速/温度/圧力」を選択する



画面が切り替わり、ここでtの欄に313.15を入力し、uの欄に2.47を入力する

OKボタンを押すと変更が完了する

流出境界条件の設定

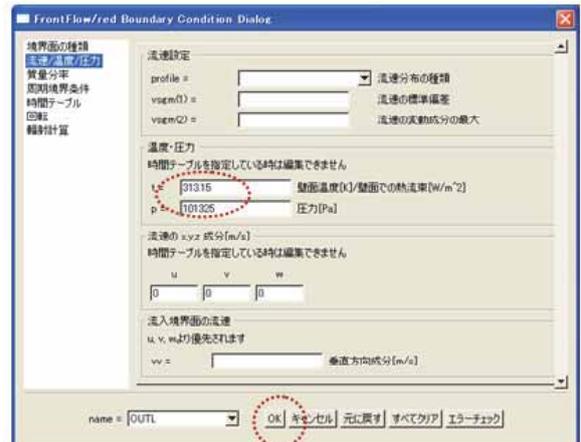
OUTLという境界面に対して、OUTLETという境界条件を適用する



ツリーのOUTLET上で右クリックするとポップアップメニューが表示されるので、「境界条件編集」を選択する

ダイアログにおいて図のように設定する

OKボタンを押すと変更が完了する



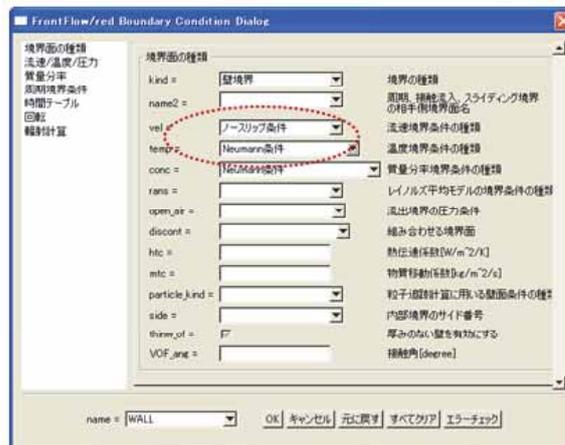
壁面境界条件の設定

WALLという境界面に対して、WALL_NO-SLIPという境界条件を適用する

ツリーのWALL上で右クリックするとポップアップメニューが表示されるので、「境界条件編集」を選択する

ダイアログにおいて図のように設定する

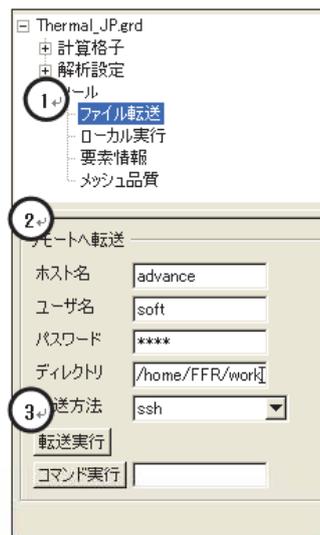
OKボタンを押すと変更が完了する



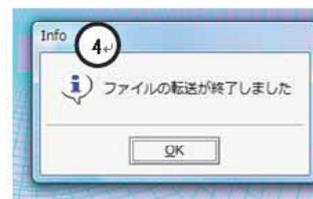
コントロールファイルとモデルファイルの転送



- ① [格子ファイル名]-[ツール]-[ファイル転送]を選択する
- ② 転送先の情報を入力し、転送方法を選択する
- ③ 転送実行ボタンを押す



- ④ 問題なく転送されると「ファイルの転送が終了しました」とメッセージが出る



流体解析の流れ

- ① 計算格子の作成 ←Cube-it
- ② 計算条件の設定 ←Advance/REVOCAP
- ③ 計算実行 ←Advance/FrontFlow/red
- ④ 可視化 ←ParaView

③Advance/FrontFlow/redによる 計算実行

処理の種類	実行モジュール	処理内容
前処理	prefflow	格子のチェック CV(コントロールボリューム)の作成 各CVについて壁面までの距離計算 並列計算時にCVを各CPUに割り当て 並列計算時に通信に必要な情報の抽出
計算実行	fflowS fflowHPC	fflowSは1CPUで計算を実行 fflowHPCは並列で計算を実行
後処理 (可視化)	ffr2viz ffrmovie .vtkファイル に変換	ffr2vizは最終ステップにおける結果ファイルを可視ソフトで入力できる形式に変換 ffrmovieはアニメーション用の結果ファイルを可視ソフトで入力できる形式に変換

流体解析の流れ

- ① 計算格子の作成 ←Cube-it
- ② 計算条件の設定 ←Advance/REVOCAP
- ③ 計算実行 ←Advance/FrontFlow/red
- ④ 可視化 ←ParaView

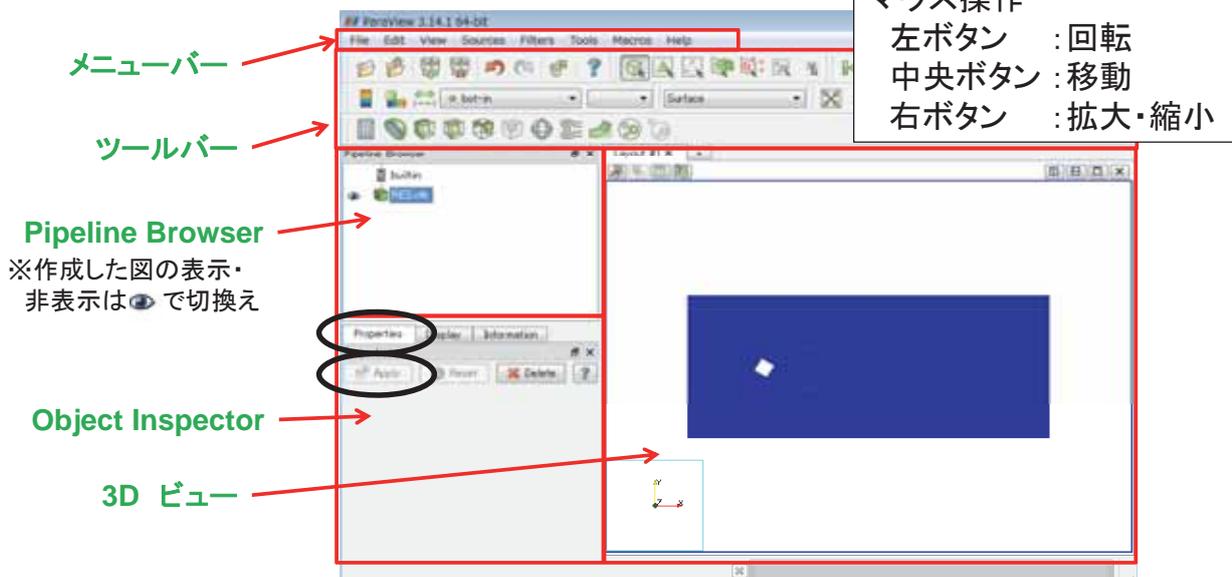


オープンソース可視化アプリケーション



④ParaViewによる可視化

インターフェース

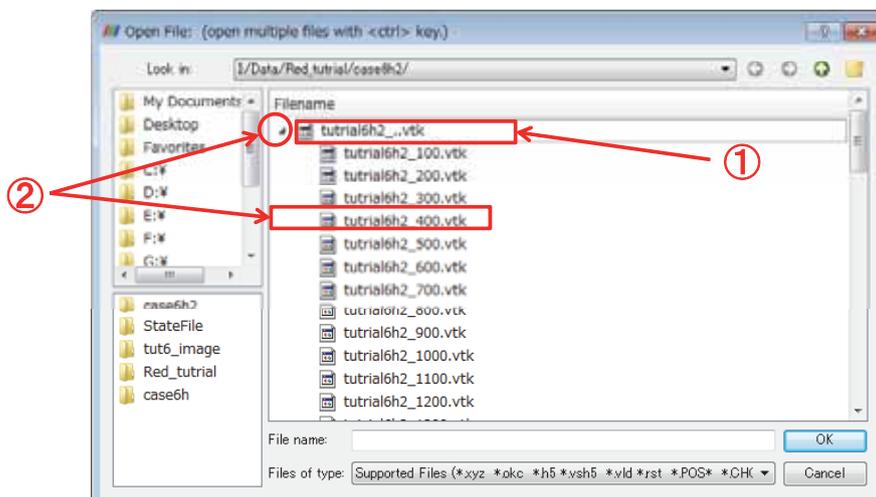


結果ファイル読み込み後、Object InspectorのPropertiesタブで、Applyを押すと、3Dビューが表示される

ファイルの読み込み

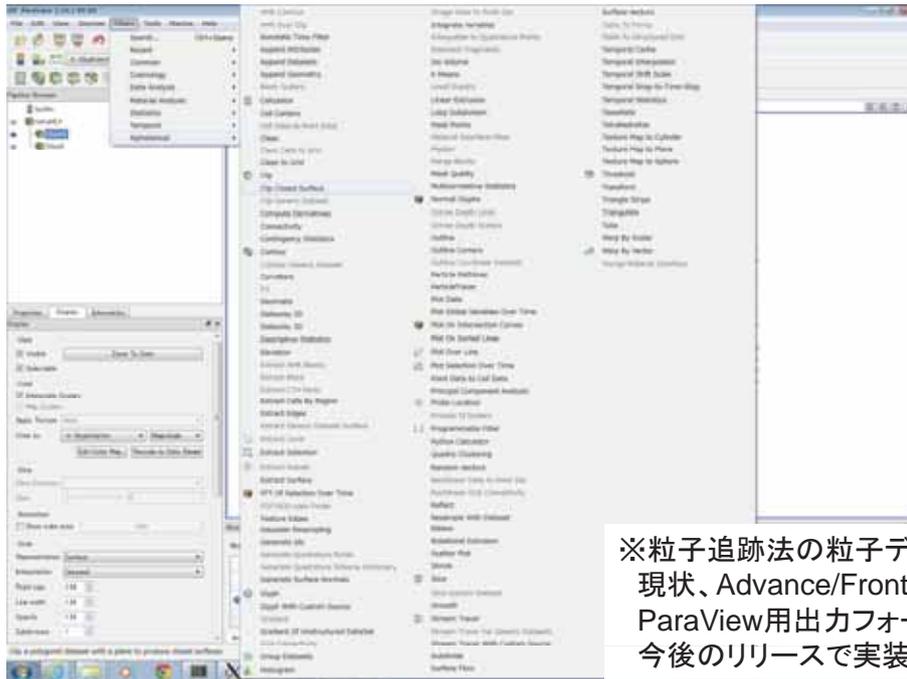
メニューバーFile - Openから、vtkファイルを選択する。

- ①時系列データ全てを読み込む場合
一番上の"ファイル名" ".vtk"を選択する。
- ②特定の時間ステップのデータを読み込む場合(例:400step目を読み込む)
ファイル名の左にある▲をクリックすると、含まれる時系列データが表示されるので、読み込みたいvtkファイルを選択する。



フィルター

解析処理で使用できるツールの全ては、メニューバー内Filtersにまとめられている



※粒子追跡法の粒子データ出力については現状、Advance/FrontFlow/redからのParaView用出力フォーマットを開発中です今後のリリースで実装予定です。

フィルター

よく使用するフィルタ

<カット関連>

- Clip : 任意断面や、境界・パラメータ値で領域を切断
- Slice : 任意断面の取り出し
- Contour : 任意パラメータ等値面の取り出し
- Threshold: 任意パラメータによる閾値カット

<表示関連>

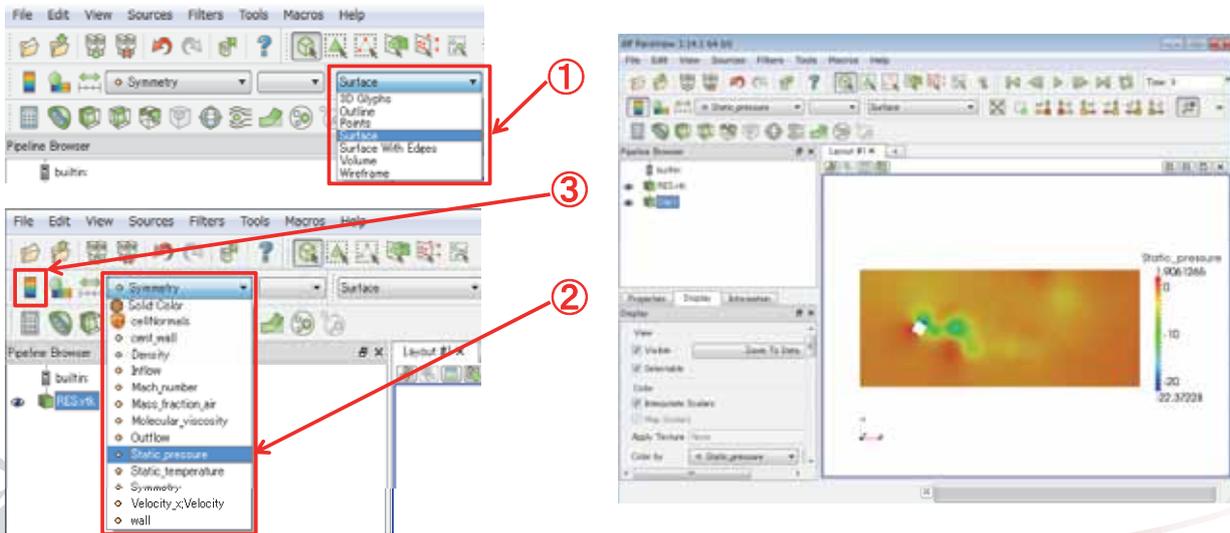
- Stream Tracer : 流線表示
- Glyph : ベクトル表示

<プロット関連>

- Plot Over Line: 任意線におけるパラメータプロット
- Plot Over Time: 時系列プロット
- Histogram: ヒストグラム作成

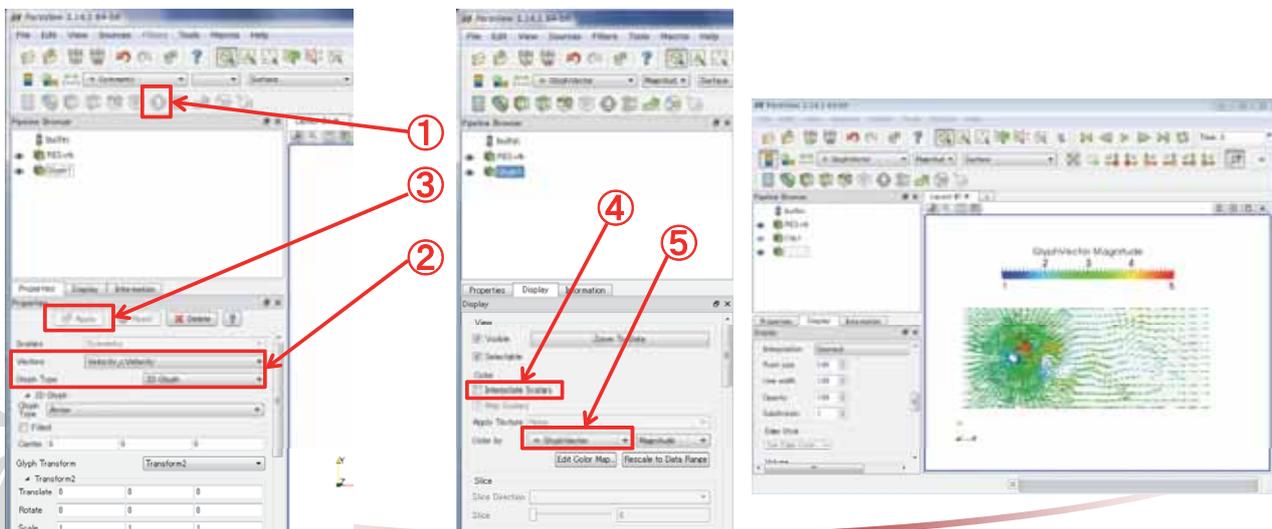
圧力分布の表示

- ①Surfaceを選択する
 - ②Static_pressureを選択する
 - ③凡例アイコン(ツールバー左端)を押す
- ※Object Inspector – Display – Edit Color Mapから、レンジや凡例フォーマットが調整できます



速度ベクトルの表示

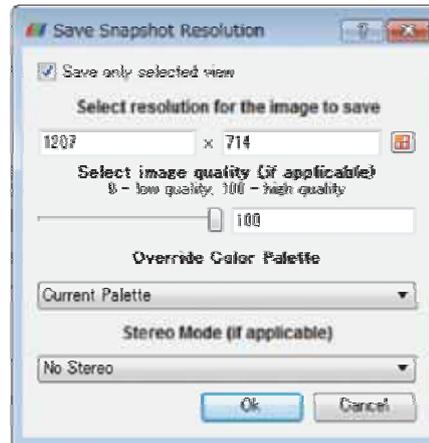
- ①ツールバーのGlyphアイコンをクリックする
- ②Object Inspector:Propertiesタブ内で設定する
Vector: Velocity、Glyph Type: 2D Glyph、Scale mode: off
- ③Applyボタンを押す
- ④Object Inspector:Displayタブを選択し、Interpolate Scalarsのチェックを外す
- ⑤Color byでGlyph Vectorを選択する



画像出力

作成した図は、画像ファイルとして、保存できる

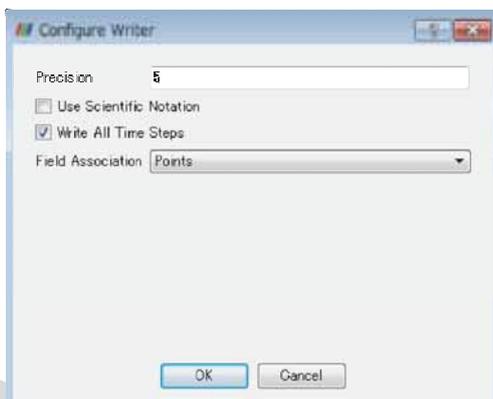
- ①メニューバーFile - Save ScreenShotを選択すると、
下図ウィンドウが表示される
- ②画像サイズを指定して、Okを押す
- ③画像ファイル名、形式を指定して、保存する



数値データ出力

出力結果を数値データとして出力し、CSV形式で保存できる

- ①メニューバーFile - Save Dataを選択し、ファイル名、CSV形式を選択する
- ②下図ウィンドウが表示されるので、時系列データ全てに対して出力する
ときは、Write All Time Stepsにチェックを入れる
- ③Okを押すと、"ファイル名_*.csv"ファイルが複数作成される



出力CSVファイルをExcelで表示

Point	Time	Value	...
1	0	0.00000	...
1	1	0.00000	...
1	2	0.00000	...
1	3	0.00000	...
1	4	0.00000	...
1	5	0.00000	...
1	6	0.00000	...
1	7	0.00000	...
1	8	0.00000	...
1	9	0.00000	...
1	10	0.00000	...
1	11	0.00000	...
1	12	0.00000	...
1	13	0.00000	...
1	14	0.00000	...
1	15	0.00000	...
1	16	0.00000	...
1	17	0.00000	...
1	18	0.00000	...
1	19	0.00000	...
1	20	0.00000	...

アニメーション作成

- ①任意の時間ステップにおける、速度分布図を作成する
- ②レンジや、凡例のフォーマットを整える→図1
- ③メニューバーFile – Save Animationを選択すると、図2のウィンドウが表示されるので、フレームレートや、画像サイズを指定し、SaveAnimationをクリックする
- ④ファイル名、動画ファイル形式を指定し、Okを押すと動画が作成される

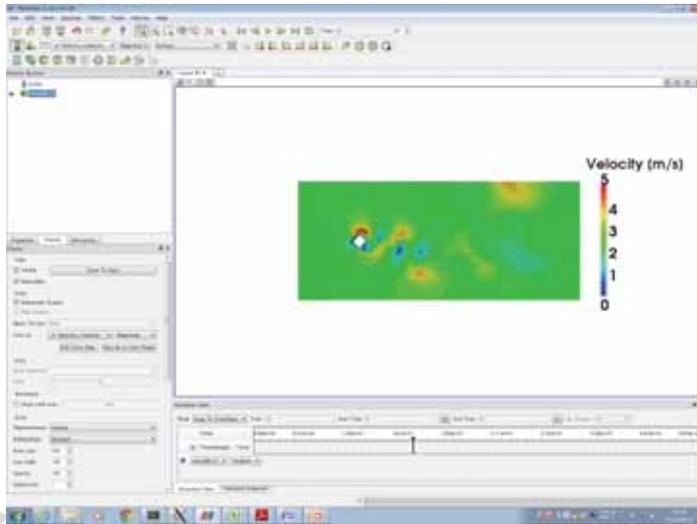


図1

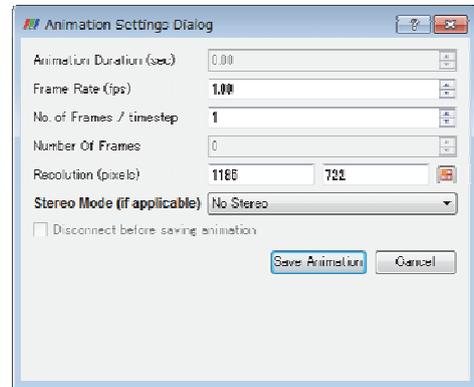
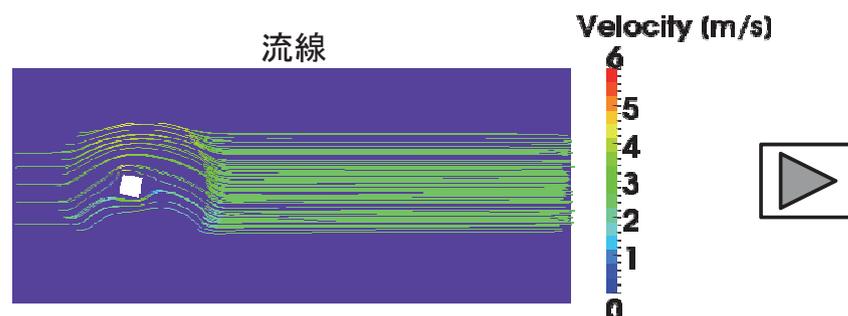
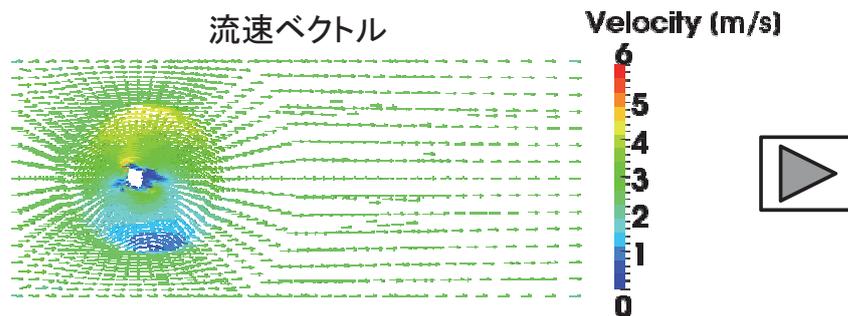


図2



アニメーション作成

同様の方法で、流速ベクトルのアニメーションや、流線のアニメーションも作成できる



ご清聴 ありがとうございました





警告

このレポート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つ用途に限定して無料配布しています。このレポートを、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。このレポート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。