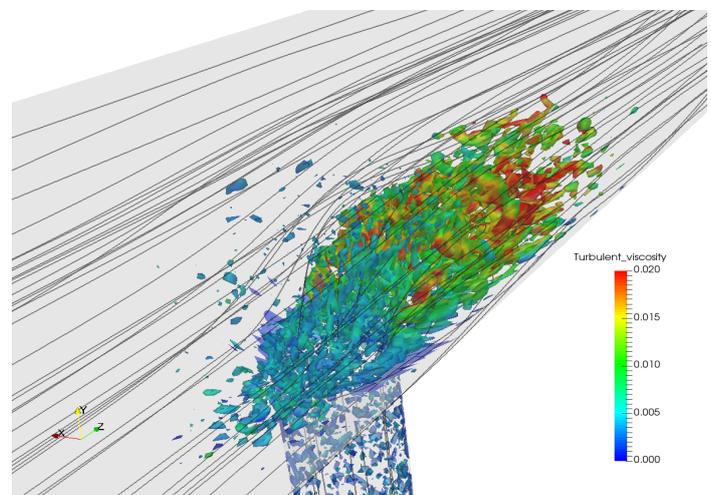


# 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red Ver. 5.5 バージョンアップセミナー

2018年10月11日(木)開催

## プログラム

13:30~13:40(10分)	主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社のご紹介 .....	1
	研究主席 大西 陽一	
<b>ユーザー様ご講演</b>		
13:40~14:20(40分)	「調節弁のキャビテーション解析事例 -グローブ弁の $F_L$ 値予測の取り組み-」 ...	4
	アズビル株式会社 バルブ商品開発部 仁田 正史 様	
14:20~15:10(50分)	「流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 機能のご紹介」 .....	16
	主任研究員 高橋 邦生	
15:10~15:30(20分)	休憩	
15:30~15:50(20分)	「流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 解析事例のご紹介」 .....	40
	研究員 大野 修平	
15:50~16:20(30分)	「流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red Ver. 5.5 のご紹介」 .....	51
	主任研究員 高橋 邦生	
16:20~16:30(10分)	価格および関連サービスのご紹介、質疑応答	
	営業部 鈴木 照久.....	67



AdvanceSoft





# アドバンスソフト株式会社のご紹介

## 【製品説明会】

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red Ver. 5.5  
バージョンアップセミナー  
2018年10月11日（火）  
アドバンスソフト株式会社



# 会社概要

**名称** アドバンスソフト株式会社  
(英文社名 AdvanceSoft Corporation)

**本社** 〒101-0062  
東京都千代田区神田駿河台4-3  
新お茶の水ビル17階 西  
TEL: 03-6826-3970  
FAX:03-5283-6580

**設立** 2002年(平成14年)4月24日

**資本金** 3,724万円

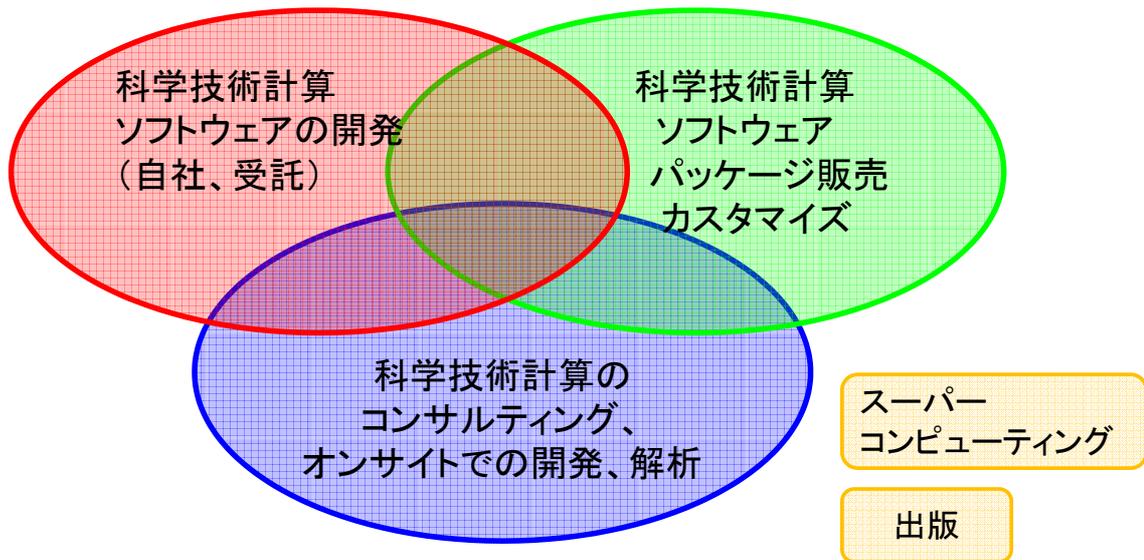
**社員数** 105名(2018年10月1日時点)

事業部	部	業務概要
第1事業部	技術第1部	• ナノ材料の第一原理計算、量子化学計算やメソ領域の開発など
	技術第2部	• プリポスト・可視化システム・連成システム開発、構造解析エンジニアリングなど
	技術第6部	• 次世代TCADシステムの開発 • 環境関連の開発、解析業務
第2事業部	技術第4部	• 混相流に係わる次世代流体システム開発など
第3事業部	技術第3部	• 乱流、燃焼、化学反応等に係わる次世代流体システム開発など
	技術第7部	• J-PARCに係わるプロジェクトの実施等
第4事業部	技術第5部	• 原子力・エネルギー利用に係る安全性解析など • 管路系流体解析エンジニアリング業務
—	総合企画部	• スーパーコンピューティングサービス • 防災シミュレーション • コンサルティングサービスの提供 • 解析サービスの提供
営業本部	営業部	• お客様窓口



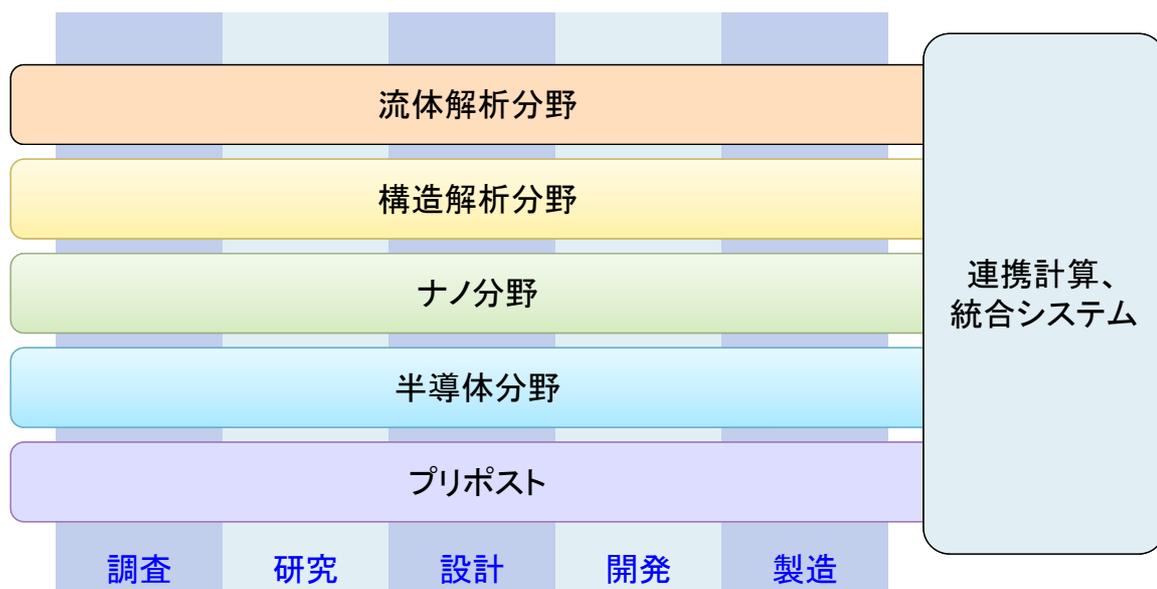
# 事業内容

## アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。

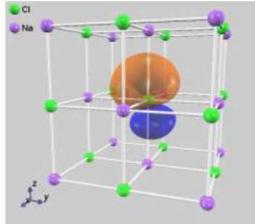
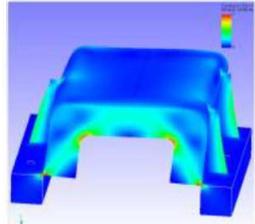
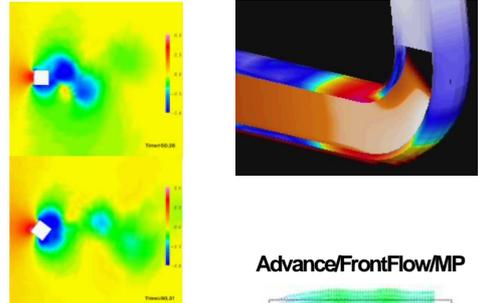
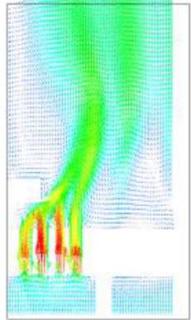
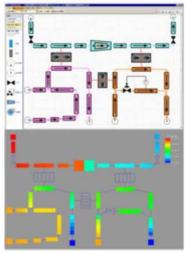
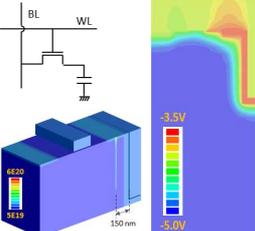
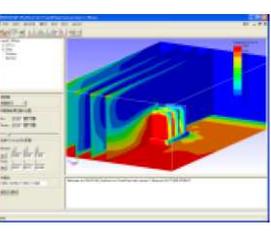
# 事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、科学技術計算によるソリューションをご提供します。

# アドバンスソフトのパッケージソフトウェア



<p><b>ナノ</b></p> <p><b>Advance/PHASE</b></p> 	<p><b>構造</b></p> <p><b>Advance/FrontSTR</b></p> 	<p><b>流体</b></p> <p><b>Advance/FrontFlow/red</b>      <b>Advance/FrontFlow/FOCUS</b></p>  <p><b>Advance/FrontFlow/MP</b></p>  <p><b>Advance/FrontNetシリーズ</b></p> 	
<p><b>半導体</b></p> <p><b>Advance/TCAD</b></p> 	<p><b>プリポスト</b></p> <p><b>Advance/REVOCAP</b></p> 		

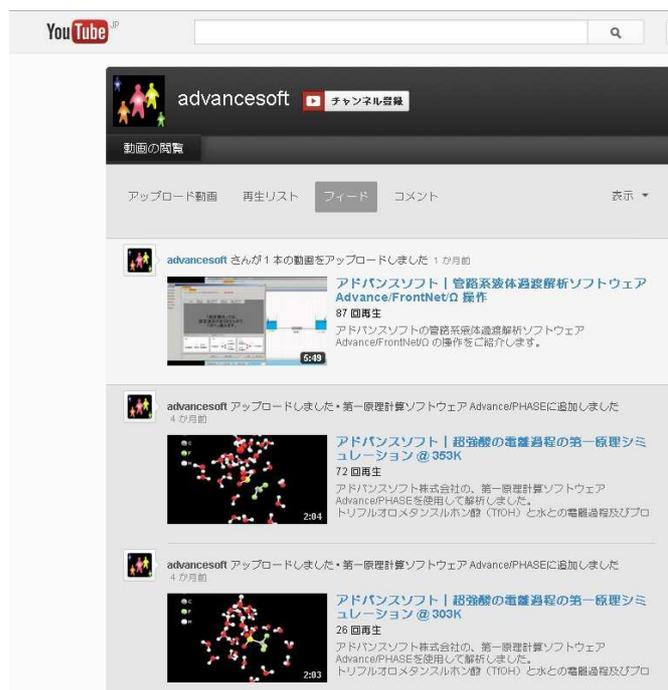
※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は弊社HP(www.advancesoft.jp)をご参照ください。

# facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中



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

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





# 調節弁のキャビテーション解析 ～グローブ弁の $F_L$ 値予測～

2018/10/11

Advance/FrontFlow/red Ver. 5.5 バージョンアップセミナー

アズビル株式会社

バルブ商品開発部 4 Gr 仁田 正史



© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

## 目次

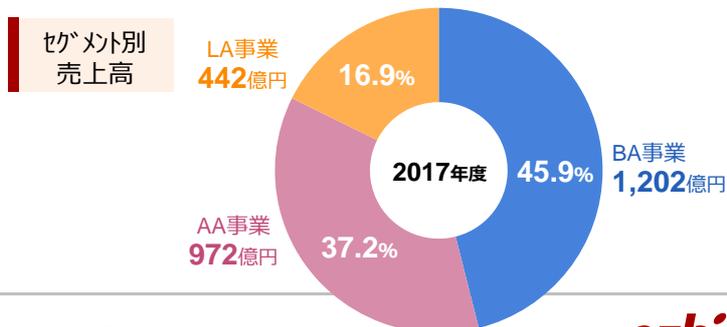


1. azbilグループ紹介
2. 調節弁（グローブ弁）とキャビテーション
  - 2-1. 調節弁とは
  - 2-2. 調節弁のキャビテーション
  - 2-3.  $F_L$ 値（液体圧力回復係数、Liquid pressure recovery factor）
3. キャビテーション解析の概要と結果
  - 3-1. 目的と課題
  - 3-2. 解析モデルと計算条件、計算環境
  - 3-3. 解析結果( $F_L$ )
  - 3-4. 振動データとの比較
  - 3-5. 流れの可視化
4. まとめ

# azbilグループ概要

「人を中心としたオートメーション」の理念のもと、計測と制御の技術で人や社会の安心、快適、充足感の実現や地球環境への貢献を目指しています。

- 本社所在地  
アズビル株式会社  
東京都千代田区丸の内2-7-3  
東京ビル
- 創業  
1906年12月1日（明治39年）
- 設立  
1949年8月22日（昭和24年）
- 資本金  
105億2,271万6,817円
- 従業員数  
5,070人（連結：9,290人）  
\*2017年3月31日現在



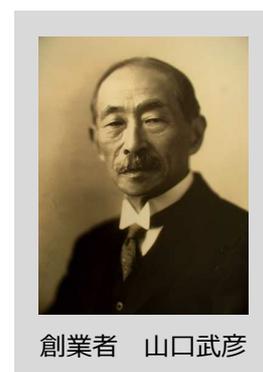
© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

3

azbil

# azbilグループ沿革

- 1906年** ドイツの工作機械メーカーの販売代理店として「山武商会」を創業
- 1949年** 企業再建整備法により山武計器株式会社(現アズビル株式会社) を設立
- 1952年** ハネウエル・インコーポレイテッド（米国）と技術提携契約を締結。翌53年資本提携（出資比率：50%）
- 1958年** 株式を店頭公開
- 1961年** 株式を東京証券取引所市場第二部に上場
- 1966年** 「山武ハネウエル株式会社」に社名変更
- 1969年** 株式を東京証券取引所市場第一部に上場
- 1998年** ハネウエル社との資本提携関係を変更、社名を「株式会社 山武」に変更
- 2002年** ハネウエル社から自己株式を取得して資本関係を解消
- 2003年** グループ会社の統合を実施、社内カンパニー制へ
- 2005年** 株式会社金門製作所をグループ会社化、協業開始
- 2006年** 12月1日、創業100周年を迎える
- 2006年** 新しい理念、理念のシンボルマーク「azbil」を制定
- 2008年** グループ名称をazbilグループに変更
- 2012年** 株式会社 山武はアズビル株式会社に社名を変更
- 2016年** 一般財団法人 アズビル山武財団を設立



© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

4

azbil

# azbilグループの主な事業フィールド

“計測と制御”の技術のもと、建物市場でビルディングオートメーション事業を、工場やプラント市場でアドバンスオートメーション事業を、ライフラインや健康などの生活に密着した市場において、ライフオートメーション事業を展開しています。

## アドバンス オートメーション事業

- ・石油化学/化学・石油精製・電力/ガス
- ・鉄鋼・ごみ処理/上下水道・紙パルプ
- ・船舶・食品・薬品・自動車
- ・電気/電子・半導体
- ・製造装置（工業炉、工作機械ほか）など

## ビルディング オートメーション事業

- ・オフィスビル・ホテル
- ・ショッピングセンター
- ・病院・学校・研究所
- ・工場・データセンター
- ・官公庁建物・空港 など

## ライフ オートメーション事業

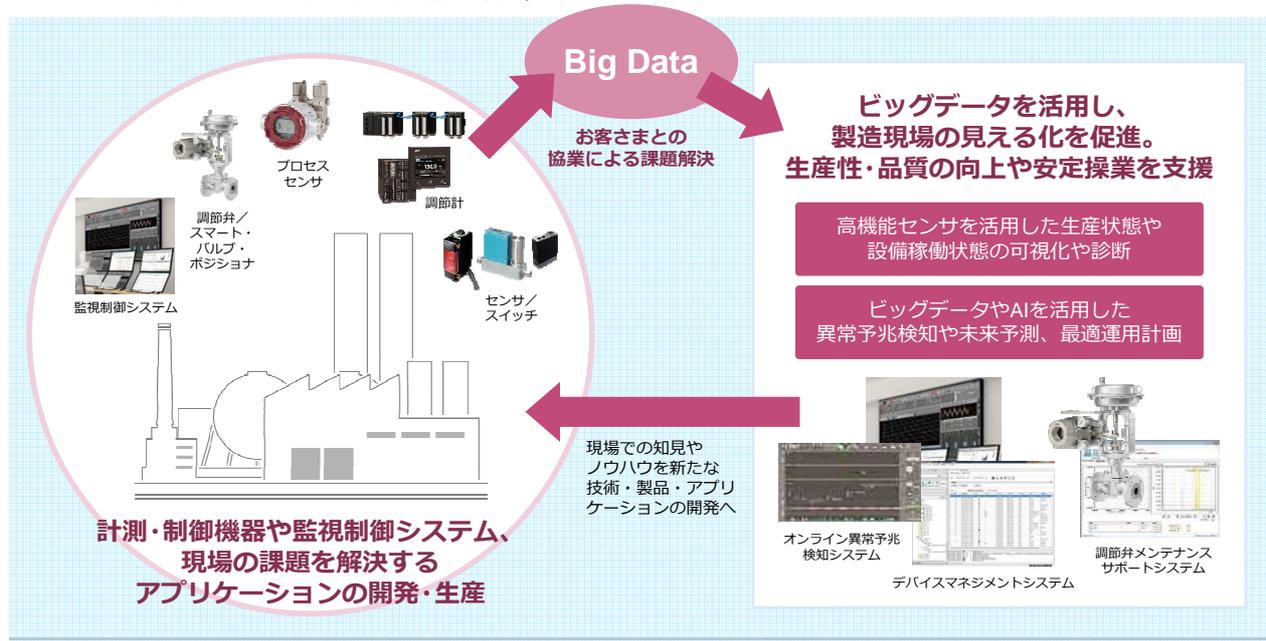
- ・ガス・水道・工場
- ・商業ビル・製薬工場
- ・研究所・病院
- ・マンション・住宅
- ・自治体 など



© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

# アドバンスオートメーション事業

製造現場における課題解決に向け、装置や設備の最適運用をライフサイクルで支援する製品やソリューション、計装・エンジニアリング、保守サービスを提供。さらに、IoT・ビッグデータ・AIを活用し、より安定・安全な操業をサポートします。



© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

## 2. 調節弁（グローブ弁）とキャビテーション

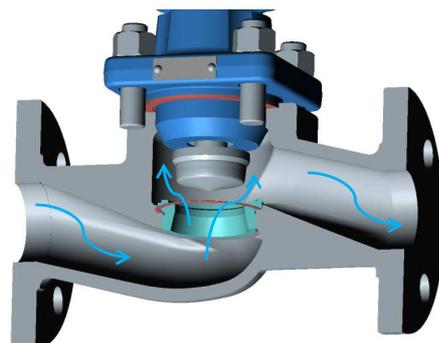
- 2-1. 調節弁とは
- 2-2. 調節弁のキャビテーション
- 2-3.  $F_L$  値（液体圧力回復係数  
Liquid pressure recovery factor）

© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved. **azbil**

## 2. 調節弁（グローブ弁）とキャビテーション

### 2-1. 調節弁とは

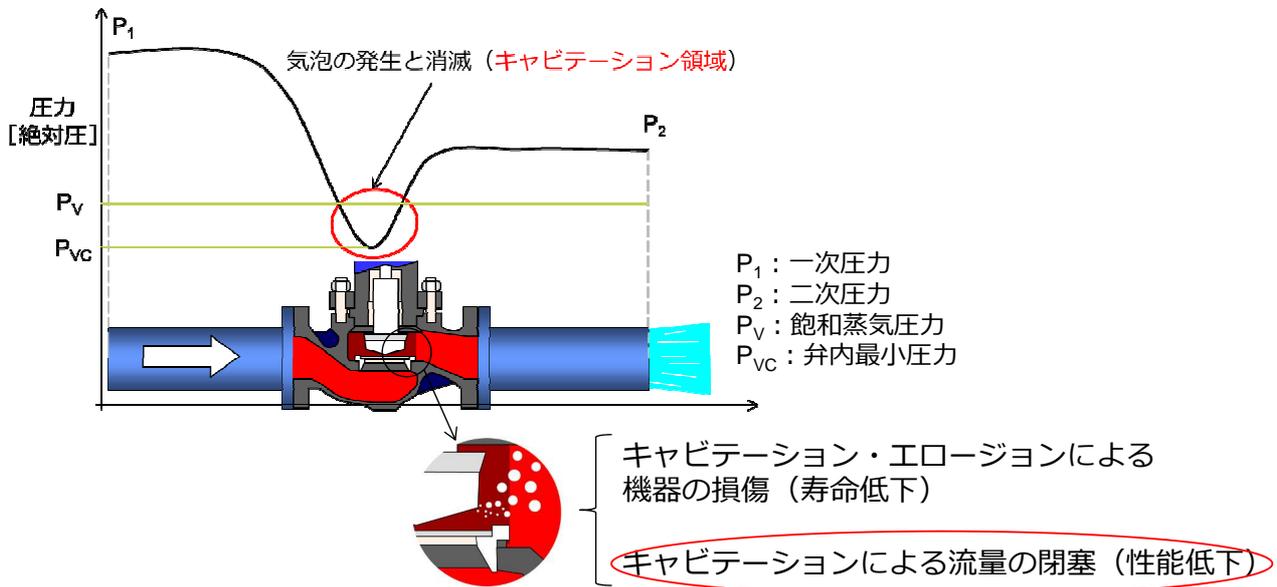
- 石油化学プラントなどの配管を流れる流体の流量や温度を制御するために使われる
- 使用される流体条件は幅広く、キャビテーションが発生する条件下で使用されるケースもある



## 2. 調節弁（グローブ弁）とキャビテーション

### 2-2. 調節弁のキャビテーション

- 流体が調節弁絞り部を通過する過程で、流体圧力が飽和蒸気圧以下に下がり、その後再び飽和蒸気圧以上に回復する過程で生じる一連の気泡の発生と消滅による現象



© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

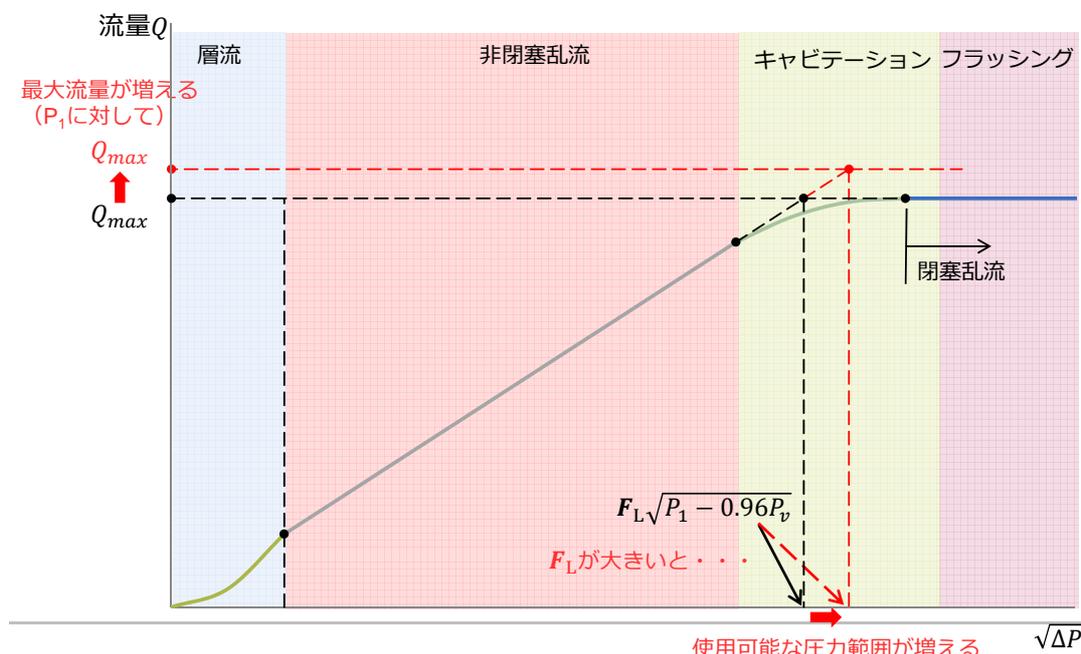
9

azbil

## 2. 調節弁（グローブ弁）とキャビテーション

### 2-3. $F_L$ 値（液体圧力回復係数、Liquid pressure recovery factor）

$$\left( F_L = \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1 - 0.96P_v}} \right) \rightarrow \text{調節弁の流量閉塞を表す値（IEC60534-2-3、JISB2005）}$$



© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved.

10

- 8/69 -

azbil

## 3. キャビテーション解析の概要と結果

- 3-1. 目的と課題
- 3-2. 解析モデルと計算条件、環境
- 3-3. 解析結果( $F_L$ )
- 3-4. 振動データとの比較
- 3-5. 流れの可視化

© 2017 Azbil Corporation. All rights reserved. **azbil**

## 3. キャビテーション解析の概要と結果

### 3-1. 目的と課題

- 目的：設計・開発のフロントローディング

CFDを活用し設計で品質 ( $F_L$ ) を作り込む  
Computational Fluid Dynamics

(実機試作による実験回数の減少)

- 課題

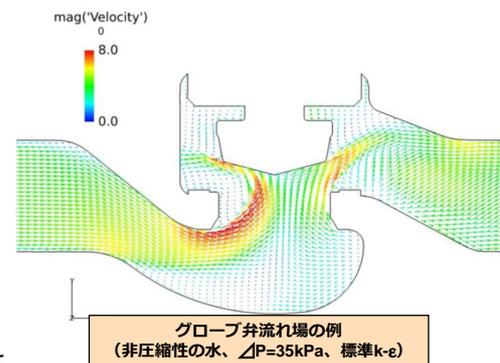
気泡の発生と消滅が非定常に起きる現象の解析

はく離渦や旋回流を伴う複雑な（グローブ弁の）流れ場の解析

- RANSとキャビテーションモデルを用いたCFDでは  
Reynolds Averaged Navier-Stokes (乱流渦の運動は全て渦粘性でモデル化)  
グローブ弁の流量閉塞を再現できない

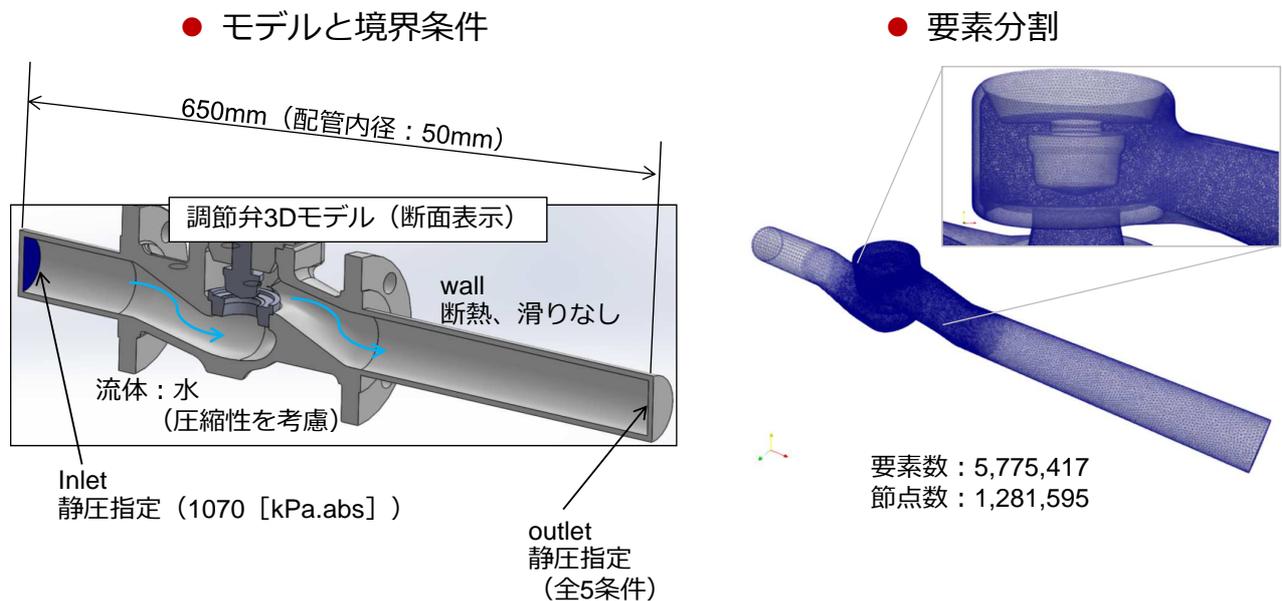


LESとキャビテーションモデルを組み合わせた解析により流量閉塞を再現させる  
Large Eddy Simulation (格子サイズ以上の乱流渦の運動を直接計算)



### 3. キャビテーション解析の概要と結果

#### 3-2. 解析モデルと計算条件

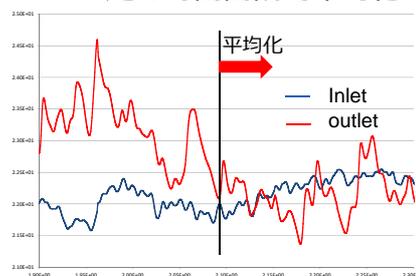


### 3. キャビテーション解析の概要と結果

#### ● 計算条件

- 乱流モデル : LES, dynamic smagorinsky モデル
- キャビテーションモデル : 均質流モデル (Advance/FrontFlow/redデフォルト)
- 解法 : SIMPLE 法 (Advance/FrontFlow/redデフォルト)
- 流量の評価 : 質量流量バランス安定後、

一定の時間間隔で平均化



#### ● 計算環境

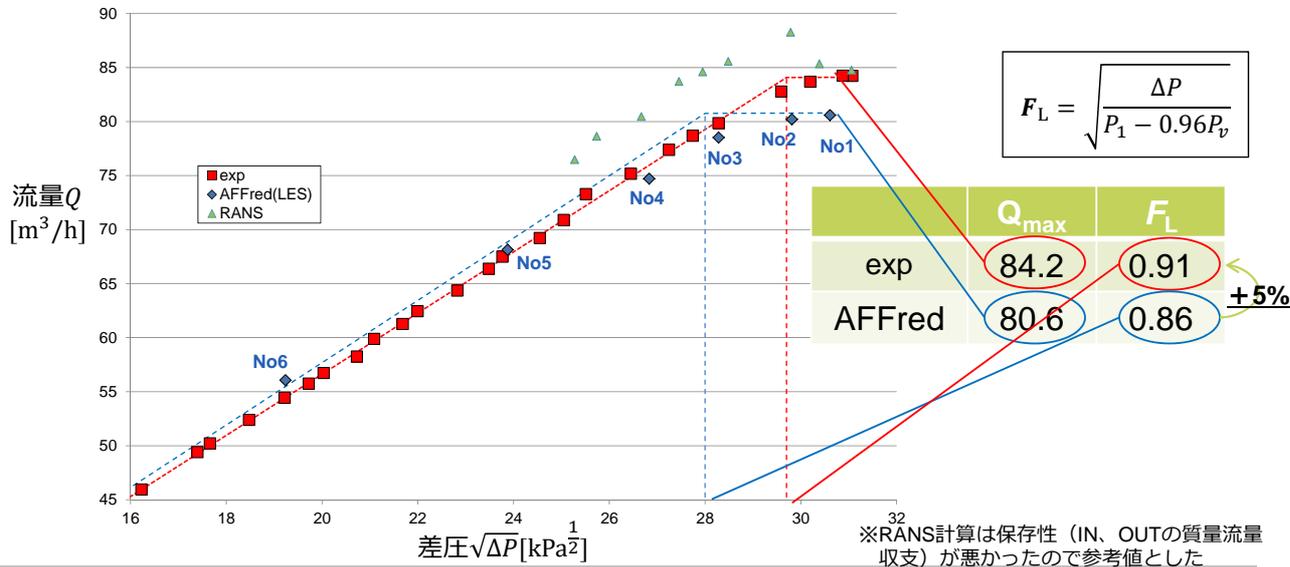
- 計算機 : 「京」 (アドバンスソフト株式会社の支援)
- 並列数 : 192

### 3. キャビテーション解析の概要と結果

#### 3-3. 解析結果 ( $F_L$ )

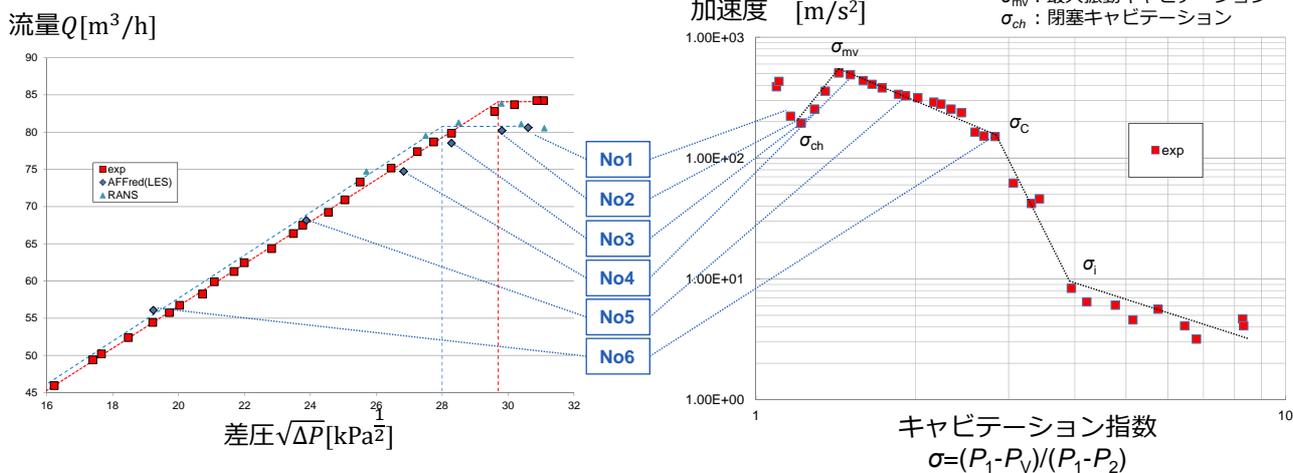
解析条件	No1	No2	No3	No4	No5	No6
差圧[kPa]	937	889	800	720	570	370
解析流量 [m <sup>3</sup> /h]	80.6	80.2	78.5	74.7	68.1	56.1

← inlet静圧は1070[kPa.abs]に固定



### 3. キャビテーション解析の概要と結果

#### 3-4. 解析結果と振動データの比較

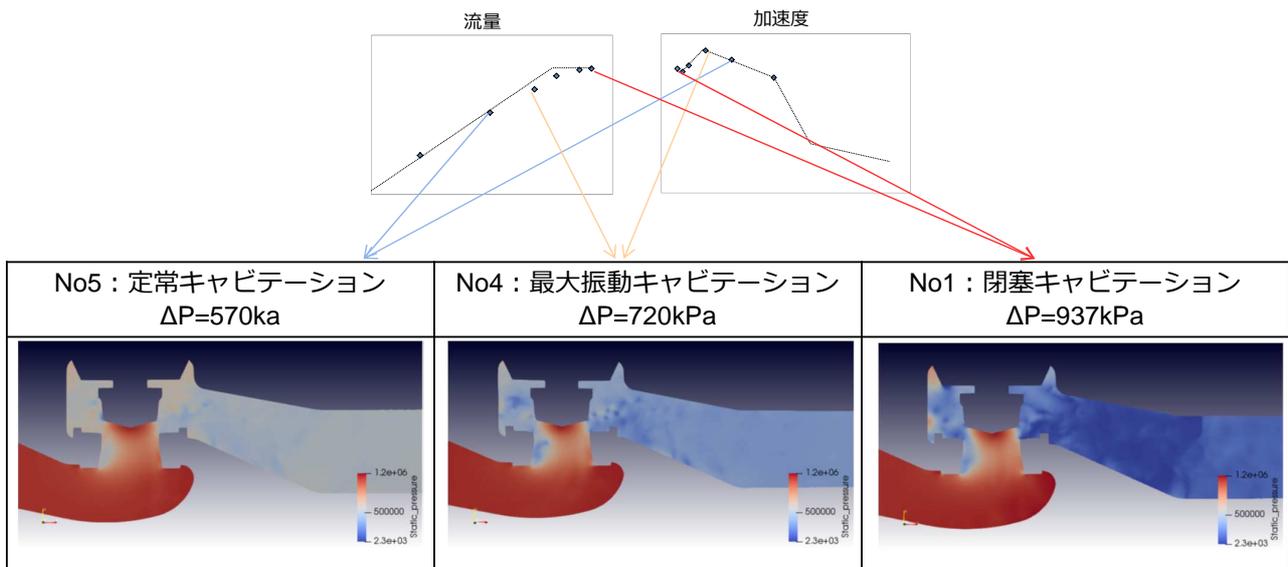


実験による振動データと比較することでキャビテーション状態を把握することができる

- No5～No6 : 定常キャビテーション
- No4 : 最大振動キャビテーション
- No1～No3 : 閉塞キャビテーション

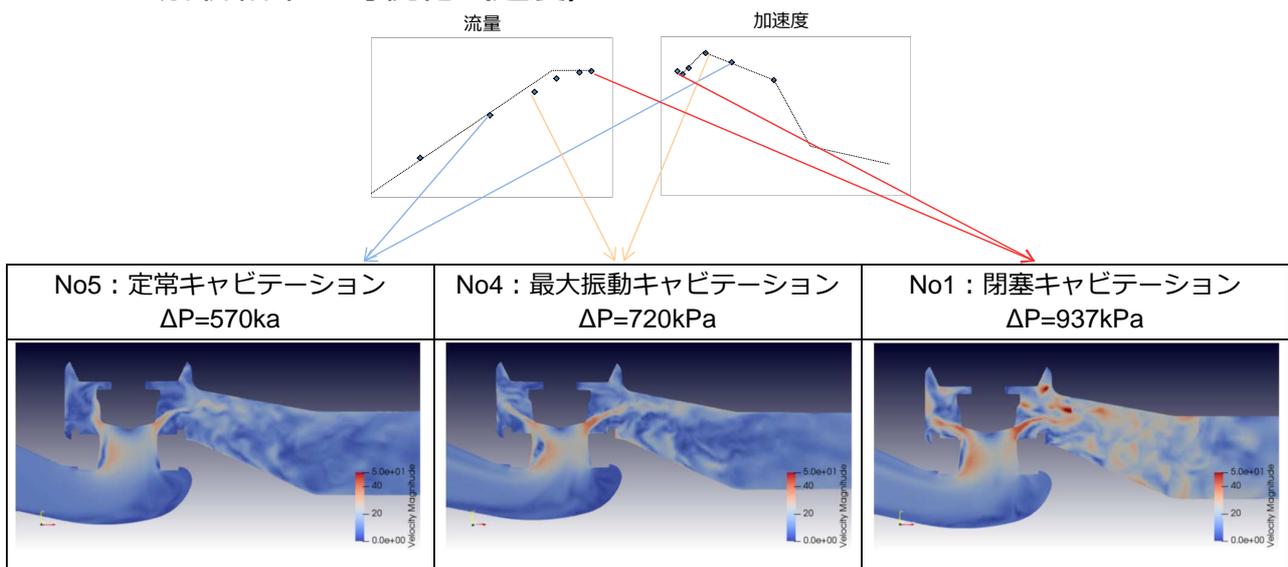
### 3. キャビテーション解析の概要と結果

- 3-5. 解析結果の可視化（圧力）



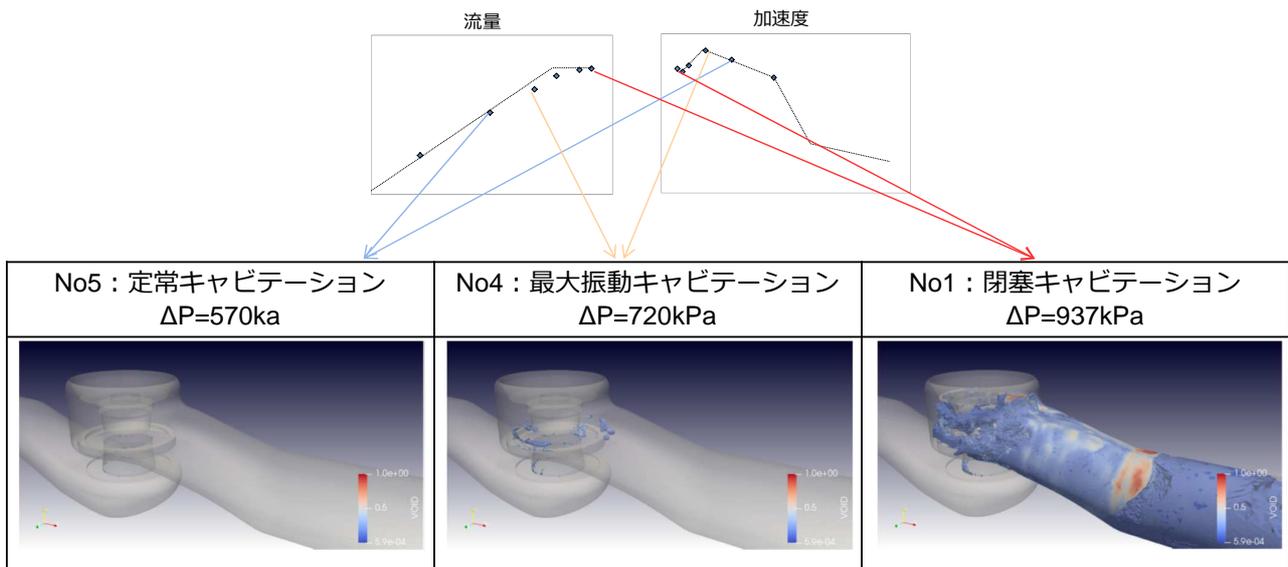
### 3. キャビテーション解析の概要と結果

- 3-5. 解析結果の可視化（速度）



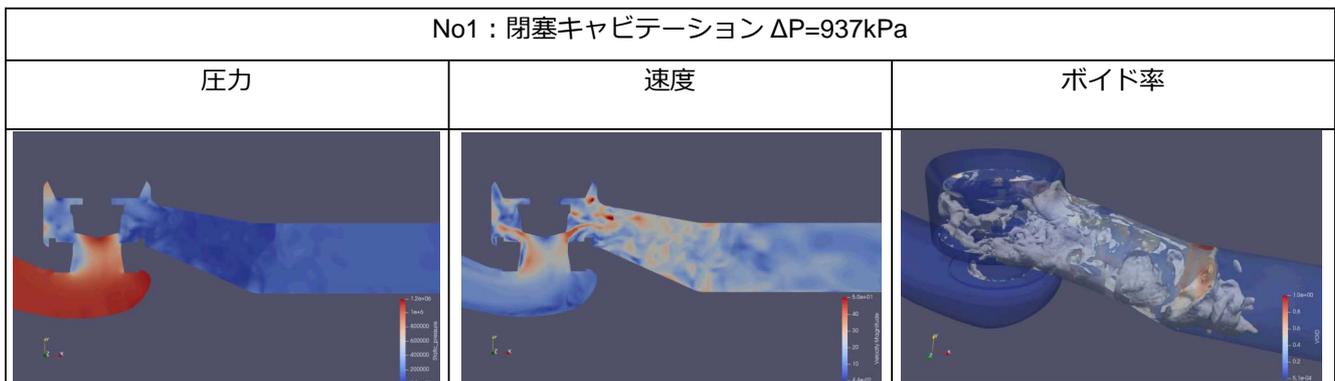
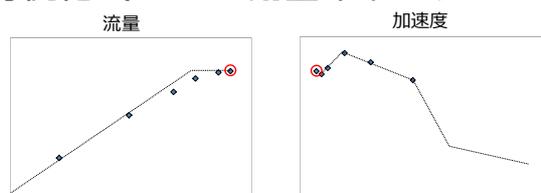
### 3. キャビテーション解析の概要と結果

- 3-5. 解析結果の可視化（ボイド率）



### 3. キャビテーション解析の概要と結果

- 3-5. 解析結果の可視化（No.1：閉塞キャビテーション）





## 4. まとめ

---

設計・開発のフロントローディングを目的に  
グローブ弁の $F_L$ 値をCFDで評価することを検討した

- キャビテーションによる流量の閉塞をCFD（Advance/FrontFlow/red）で再現させるには、LESとキャビテーションモデルを使用することが有効である（実測値との差5%）ことを確認できた。  
⇒ 設計・開発段階で品質を作り込むことが可能となる
- キャビテーションの流れ場を可視化することができ、振動データと比較することでより現象を理解できた。  
⇒ 新たな構造のヒントにつなげる

**azbil**

Human-centered automation

ご清聴ありがとうございました

# 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 機能のご紹介

第3事業部 主任研究員 高橋 邦生

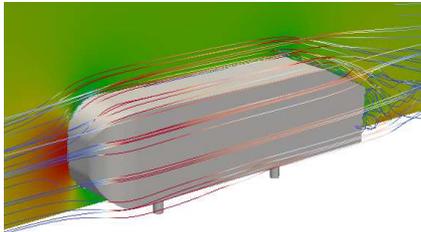
流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red Ver5.5  
バージョンアップセミナー  
2018年10月11日（木曜日）  
アドバンスソフト株式会社

## ソフトウェアのご紹介

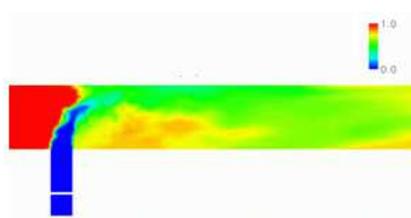
# Advance/FrontFlow/red とは

速度、圧力、温度、燃焼、物質拡散、回転系、騒音、キャビテーション、微粒子などの変動や平均分布を予測・解析する汎用熱流体解析ソフトウェア

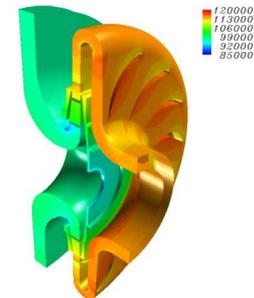
空力



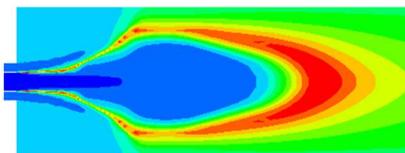
温度



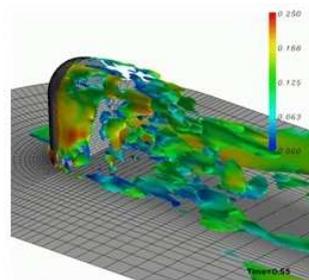
回転系



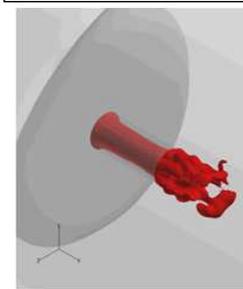
燃焼



騒音



キャビテーション



# ソフトウェアの特徴

- 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 並列化による大規模解析 → 並列計算のパフォーマンスを最大限に引き出すアルゴリズムを適用し、高い並列化効率を達成
- ④ 開発技術者によるお客様のサポート
- ⑤ 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 現行バージョンの機能①

項目	Advance/FrontFlow/red の機能
物理モデル	<b>基本機能</b> : 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)
	<b>乱流モデル</b> : 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)
	<b>放射</b> : 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
	<b>ガス燃焼・化学反応モデル</b> : 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
	<b>表面反応モデル</b> : 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
	<b>物性値</b> : 一定値／Sutherlandモデル／簡略化モデル／kinetic theory／実在ガスモデル／物性値テーブル参照機能
	<b>粒子追跡機能</b> (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 現行バージョンの機能②

項目	Advance/FrontFlow/red の機能
物理モデル	<b>騒音</b> (乱流音): Lighthill-Curlモデル／Ffowcs Williams and Hawkingモデル
	<b>キャビテーション</b> : 均質流モデル
	<b>多孔質体モデル</b> : ダルシー則／べき乗則
	<b>自由表面</b> : 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／ポリヘドラルメッシュ／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(機能制限あり)
離散化	有限体積法／節点中心法／セル中心法
アルゴリズム	SIMPLEC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／優対角化処理による流体・固体間の熱連成計算の安定性向上
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

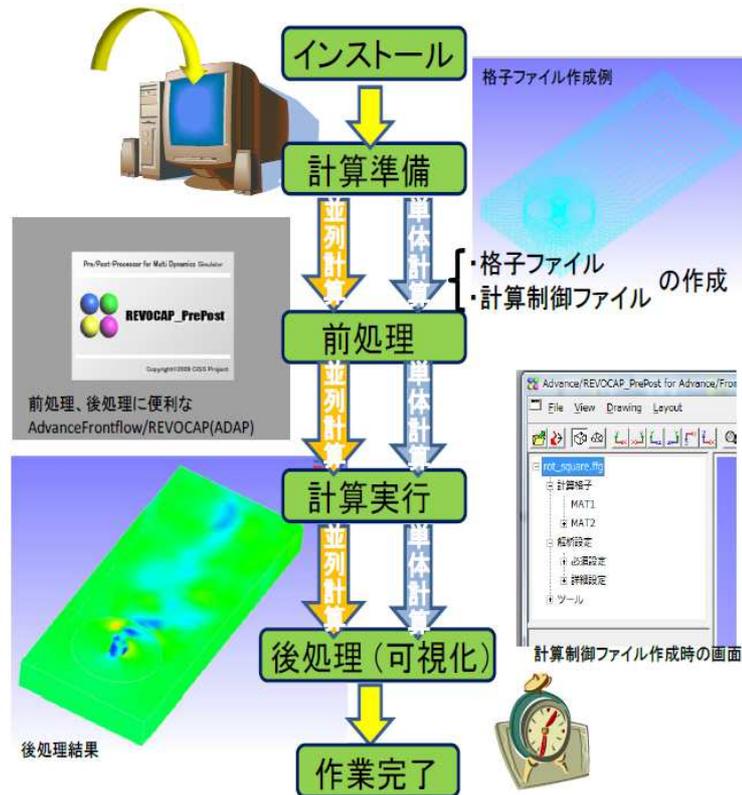
## Advance/FrontFlow/red 現行バージョンの機能③

項目	Advance/FrontFlow/red 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
前処理	マルチレベルグラフ理論に基づく領域分割
メッシュ生成	Advance/REVOCAP/Cube-it/その他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	Advance/REVOCAP/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/熱伝達係数/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

## Advance/FrontFlow/red の現行バージョンの動作環境

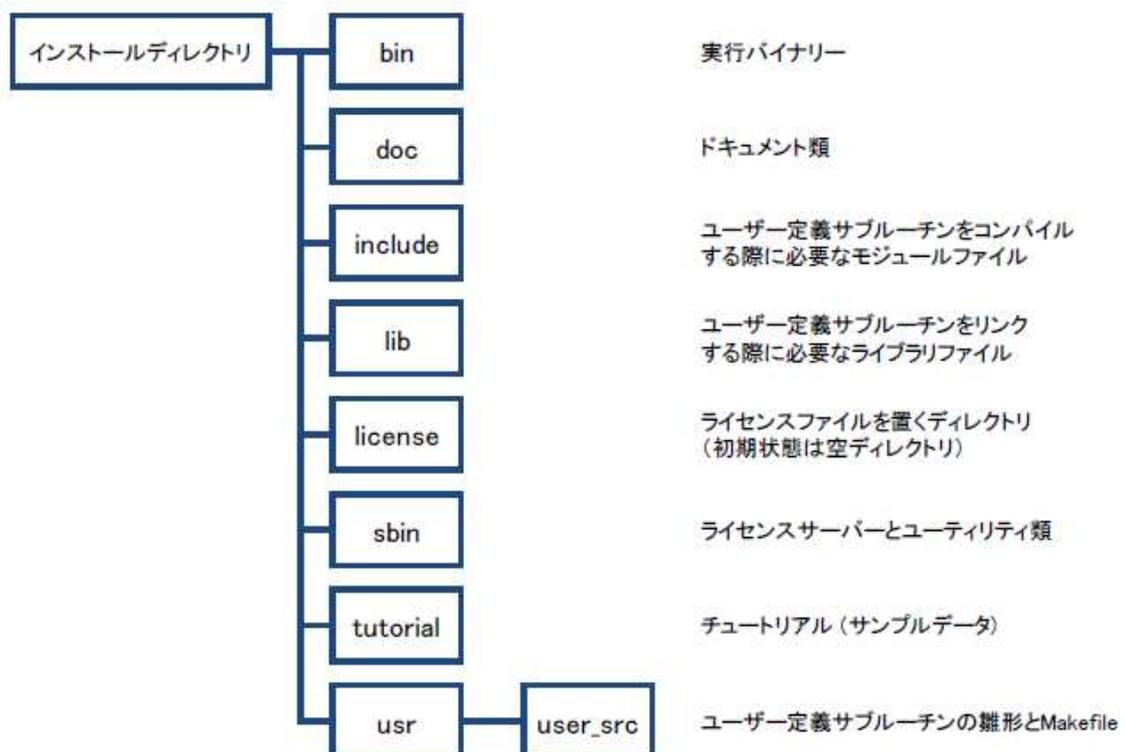
OS	① Linux: Red Hat Enterprise Linux 7.x, 6.x, 5.x ② Linux: CentOS 7.x, 6.x, 5.x ③ Windows 10 ④ Windows 2016 server 他の OS についても対応実績がありますので、ご相談ください
メモリ	100万~400万節点の解析では 16GB のメモリが必要
ハードディスク	計算規模や計算結果の保管の状況によって異なる 250GB 以上を推奨、インストール時には 800MB 程度が必要
MPI ライブラリ	① Intel MPI (Ver. 2.0 以上) ② MPICH1 (Ver. 1.2.7p1) ③ MPICH2 (Ver. 1.0 以上) ※ Windows は Microsoft-MPI (MS-MPI) を利用します ④ OpenMPI (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® Parallel Studio XE [C/C++/Fortran コンパイラ、デバッガ、MKL/DAAL/IPP/IBBライブラリ、 MPIライブラリ、Trace Analyzer & Collector などが付属、Intel プロセッサには最適] <a href="https://www.xlsoft.com/jp/products/intel/studio_xe/index.html">https://www.xlsoft.com/jp/products/intel/studio_xe/index.html</a> ② Window では インテル Visual Fortran を推奨 導入時にお客様の環境にて動作確認させていただきます ③ 他の Fortran コンパイラ(スーパーコンピュータの利用を含む)についても対応実績がありますので、ご相談ください

# Advance/FrontFlow/red の解析の流れ



(ここで単体計算とは1プロセッサによる計算を表します。)

# ソフトウェアの構成 (Linux 版の場合)



# 主な実行プログラムの一覧

種類	実行プログラム名	用途
前処理	prefflow	AFFr用格子データ作成
ソルバー	fflowS	単体計算用
	fflowHPC	並列計算用
後処理	ffr2viz	可視化ファイル作成
	ffr2vizp	粒子の可視化ファイル作成
	ffrmovie	アニメーションファイル作成
	gfconv	特定点観測データの変換
	sal	騒音解析データの変換

# 計算設定について

## ■ 計算設定は、計算制御ファイルで行う

- ファイル名はfflow.ctl（名称変更不可）
- fortran90のネームリスト形式で記述する
- 各変数群は「&（アンパサンド）変数群名」の行で始まり、「/（スラッシュ）」で終わり、これらの行の間に、変数とその設定値を記述する
- 設定できる変数は変数群ごとに決められている
- 計算制御ファイルに、必要な変数群を上記の書式で記述する
- コメント文を記述するには「!（エクスクラメーション・マーク）」を使用する  
「!」を記述した行において「!」から右側がコメントになる

# 計算制御ファイルの入力例

## 計算制御ファイル (抜粋)

```

&model
  flow = 'incompressible'
  trbmdl = 'no'
  density = 0
  cal_t = 0
  /
&time
  start = -1
  end = 200
  flowcon = 1
  tolttime = 0.001
  /
  ...
  
```

変数群

変数群名

文字列の入力は' (アポストロフィー) で囲んでください。

コメント文 (「!」以降は設定には反映されない)

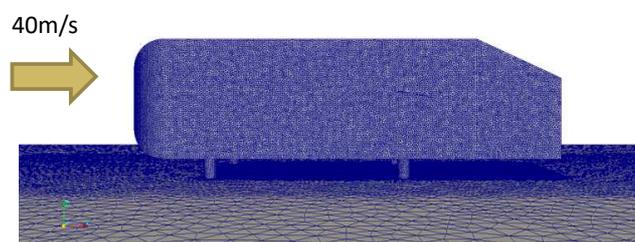
変数群&timeに含まれる変数

変数群および各変数群に含まれる変数はマニュアルをご参照ください

変数群および変数群内部の変数に入力順序の指定はありません  
 一つの変数群で同じ変数を複数回入力すると、一番後ろの設定が反映されます  
 変数群で定義されていない変数を入力するとエラーになります

# 検証事例(1)

## 車体 (Ahmed body) 周りの空力解析



### モデルの節点数

	節点数
なし	1,505,423
メッシュ細分化 (REVOCAP_Refiner)	
1回	11,771,974
2回	92,978,866

節点数約1億

### 解析条件

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  
 主流速度 : 40.0m/s  
 流体 : 非圧縮流体

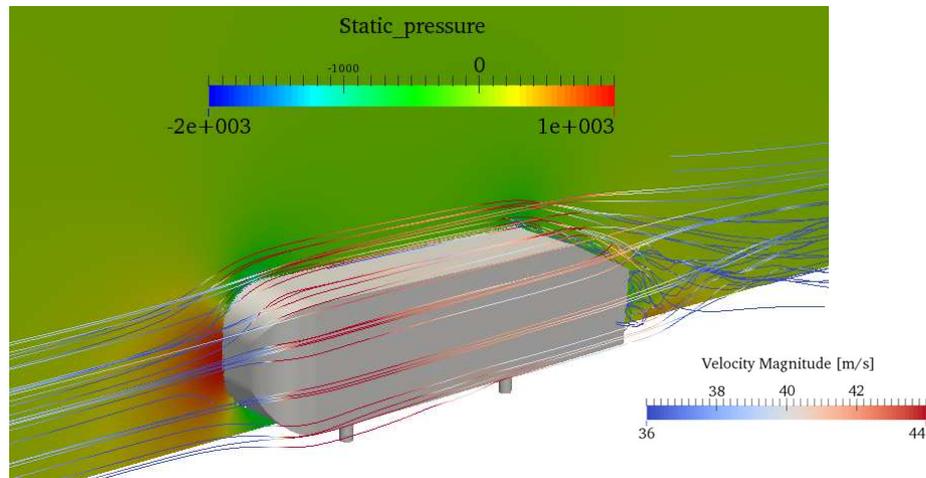
### 使用計算機

UV2000: 共有メモリ型の並列計算機  
 FX10: 分散メモリ型の並列計算機

# 検証結果(1)

車体周りの静圧分布 & 流線  
(リファイン2回、節点数約1億)

FX10で計算

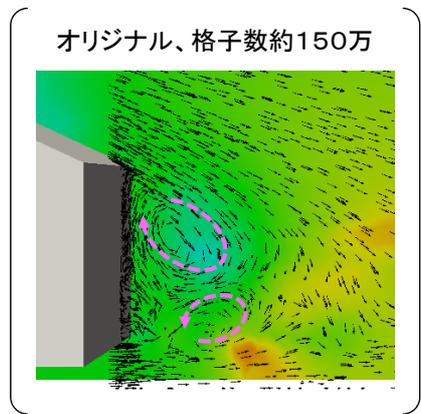
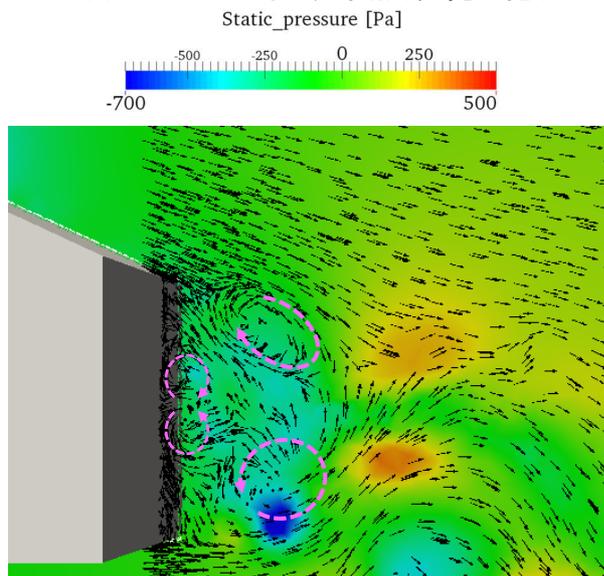


- ▶ 節点数約1億のモデルでも解析可能。
- ▶ UV2000でも同様の結果が得られている。

# 検証結果(1)

車体後方の静圧分布 & 速度ベクトル  
(リファイン2回、節点数約1億)

FX10で計算

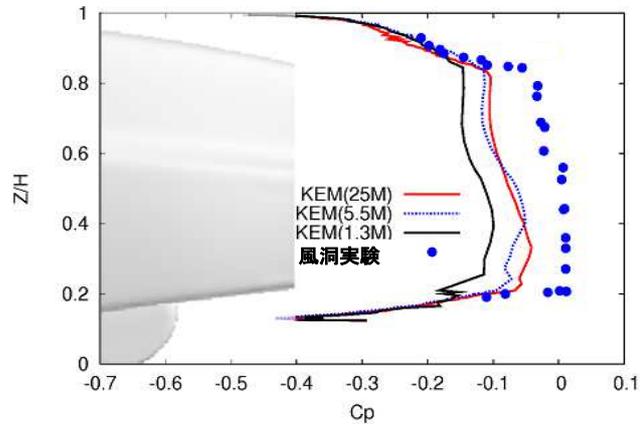
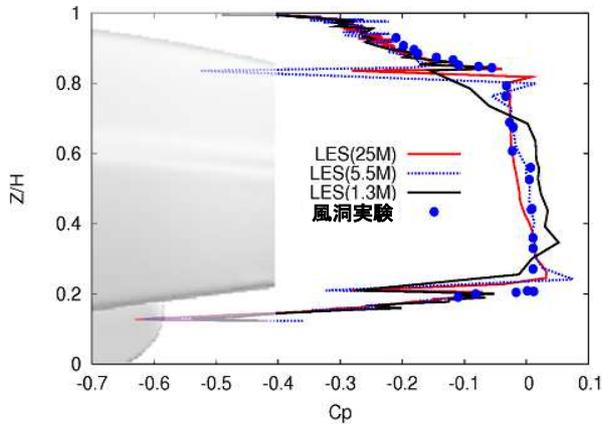


車体後方に発生する非定常渦もより明確にとらえることができる

# (参考) 車体背面の圧力係数の分布

[解析結果]

$$C_p = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$



LES (標準Smagorinsky)

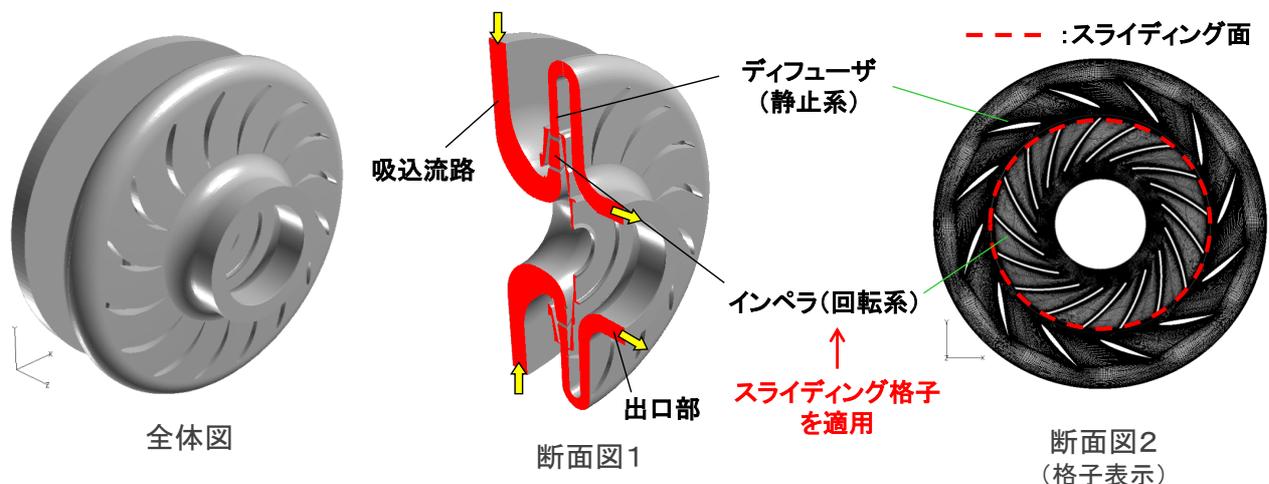
RANS (k-ε) モデル

- 要素数 550 万以上で風洞実験と良い一致
- RANS では圧力係数を過小評価する傾向が見られる

## 検証事例(2)

### 遠心圧縮機(回転系を含むモデル)

[検証モデル、検証内容] 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球シミュレータ産業戦略利用プログラム 利用成果 より



モデルの節点数、要素数

要素数	節点数
895,825	1,008,196

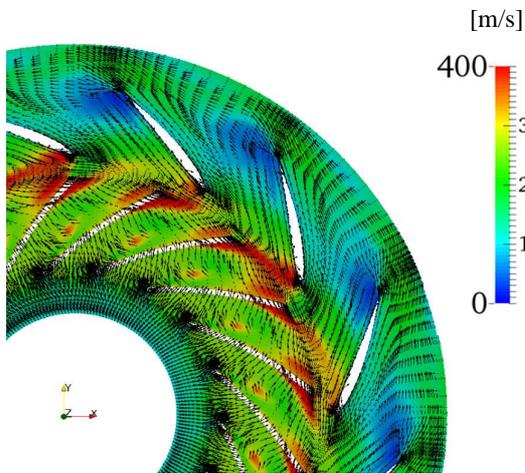
解析条件

- 乱流モデル : LES (標準Smagorinsky)
- 差分スキーム : 3次風上差分
- 時間積分 : Adams-Molten法
- 回転数 : 30,000[rpm]
- 流体 : 圧縮流体

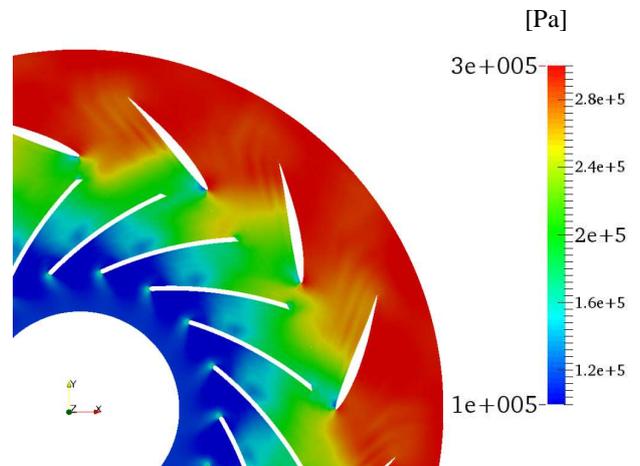
# 検証事例(2)

UV2000で計算

速度ベクトル&速度絶対値分布



圧力分布

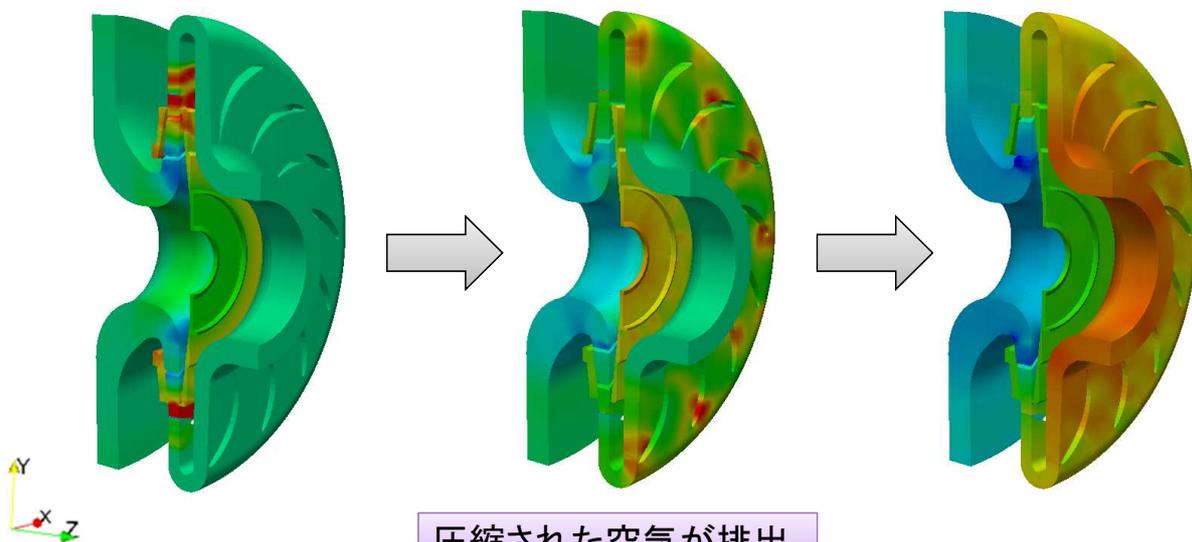
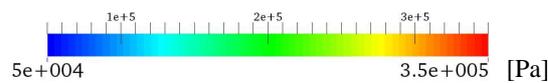


- 回転系(スライディング格子)を含んだモデルでも解析可能。
- FX10でも同様の結果が得られている。

# 検証事例(2)

UV2000で計算

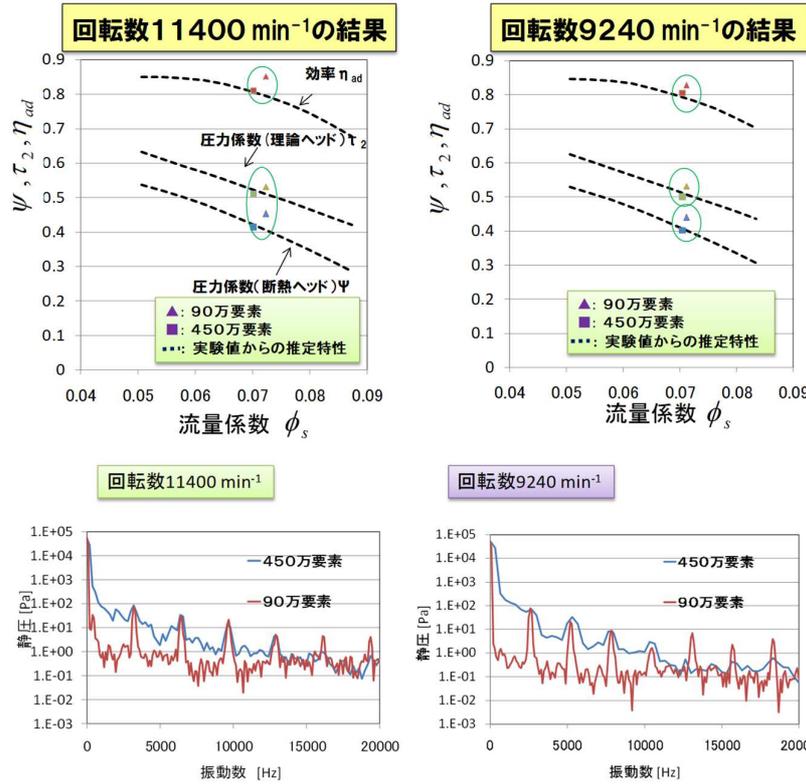
圧力分布



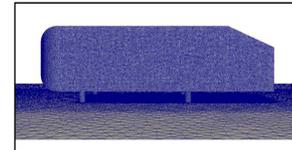
圧縮された空気が排出

# (参考) 実験値からの推定特性との比較

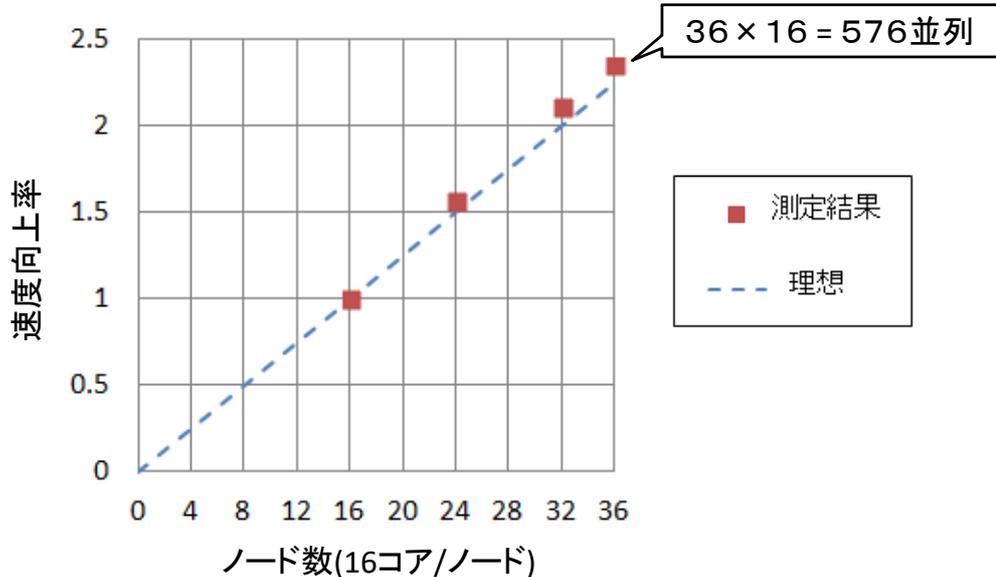
[解析結果]



# 並列処理性能 (FX10)

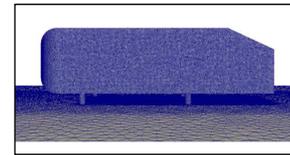


モデルAhmed body (リファイン2回、節点数約1億)

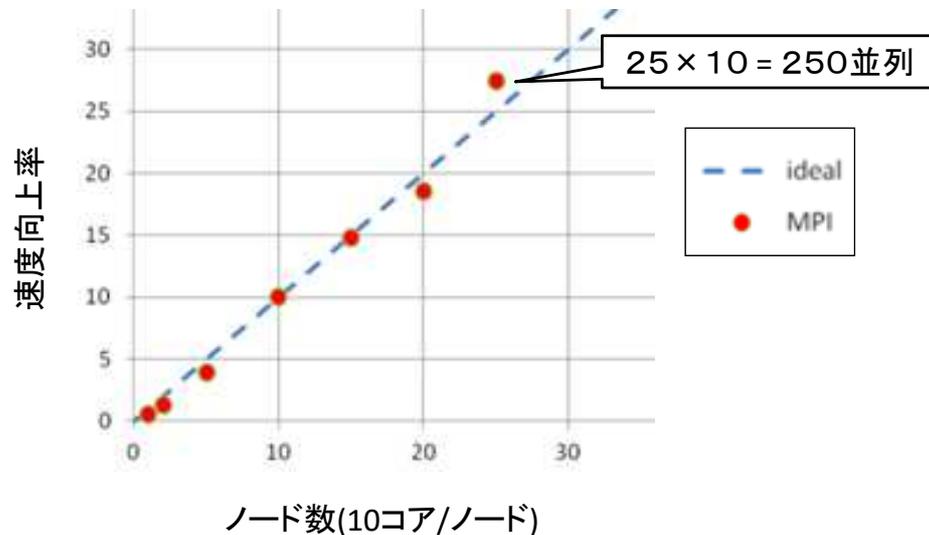


大規模モデルに対しても、並列性能を十分活用できることが期待できる

# 並列処理性能 (UV2000)



モデル Ahmed body (リファイン1回、節点数約1千万)



大規模モデルに対しても、並列性能を十分活用できることが期待できる

# Advance/FrotFlow/red 解析実績 (一部抜粋)

分野	解析事例の概要	顧客
エネルギー・原子力	加圧熱衝撃時荷重条件評価のための熱流動解析	国研・財団等
エネルギー・原子力	フィルターバンド解析	国研・財団等
エネルギー・原子力	原子炉容器上部プレナム過渡熱流動解析	民間企業
エネルギー・原子力	都市ガス拡散解析	民間企業
エネルギー・原子力	液体リチウムターゲットの流体解析	独法・財団等
機械・電機	ボイラー蒸発管二相流解析	民間企業
機械・電機	スピナー上薄膜解析	民間企業
機械・電機	ヒーター熱解析	民間企業
機械・電機	冷却装置の気流解析	民間企業
機械・電機	流体構造連成による試験体振動シミュレーション	民間企業
機械・電機	蒸気タービンの流れ解析	民間企業
機械・電機	粉体溶解流れ解析	民間企業
環境・防災	コンテナホールド内の熱気流解析	民間企業
自動車	燃料噴射ノズル孔内キャビテーション解析	民間企業

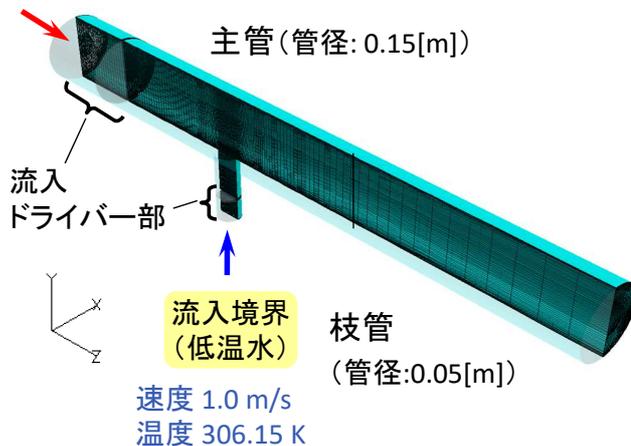
# 解析事例：T字配管合流部の熱流体解析

[目的] サーマルストライピング現象(配管熱疲労)への影響予測

[解析対象]

[解析条件]

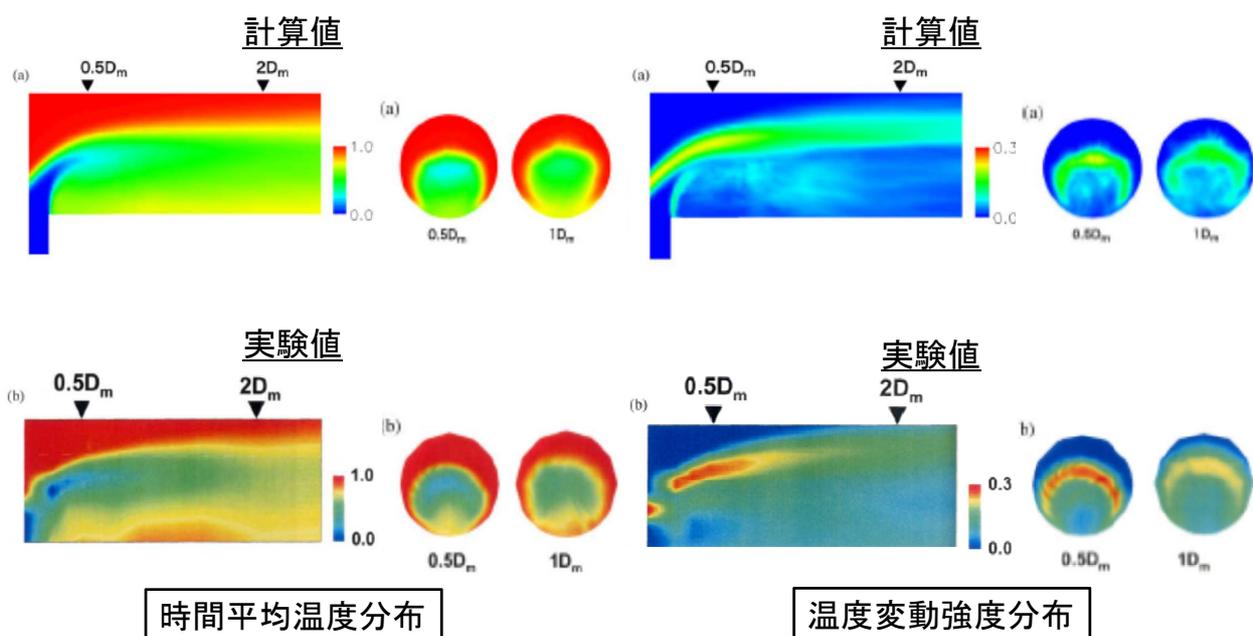
流入境界 (高温水) 速度 0.46 m/s  
温度 321.15 K



総メッシュ数 : 389,988 (6面体要素)  
空間離散化 : 2次中心差分  
時間離散化 : Adams-Bashforth法  
乱流モデル : 標準Smagorinskyモデル (Cs=0.1)  
作動流体 : 水 (温度差  $\Delta T=15$ [K])

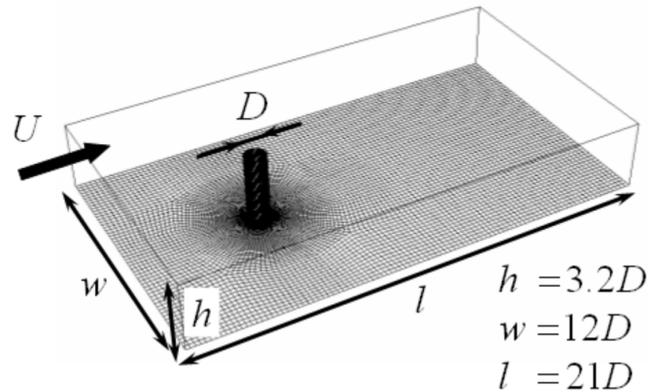
出典: 敵村他 "FrontFlow/RedによるT字形配管合流部における温度変動のラージ・エディ・シミュレーション", 第18回数値流体力学シンポジウム(2004)

# 結果：T字配管合流部の熱流体解析



- 支管と主管の流速比の違いから、主管で偏向噴流が生じる
- その特性は実験値と近い値を示すことが分かった

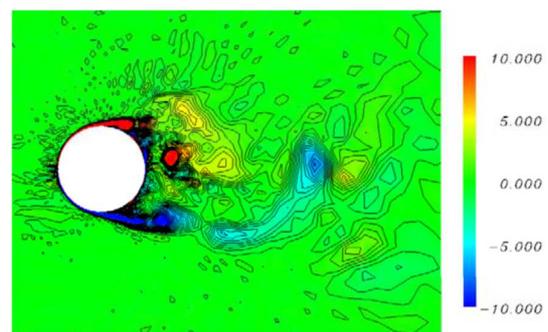
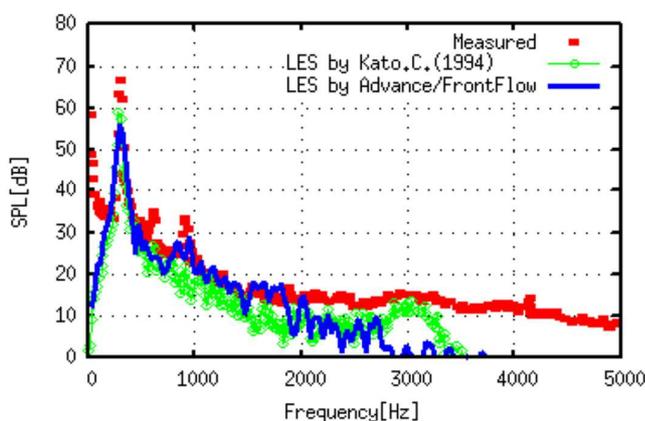
# 解析事例：円柱周りの騒音解析



節点数	159,040
要素数	146,025
壁面近傍格子幅	0.005D
スパン方向分割数	15層

- LES 解析を CFL 条件よりも十分小さい時間刻みで実行
- CFL 数 ~ 0.2

# 結果：円柱周りの騒音解析



渦度分布

- 2000 Hz 程度まで音圧レベルの周波数特性が実験と一致
- 音圧ピークは、ストローハル数で決まる周波数を示す

$$St = \frac{fD}{U} \sim 0.2$$

## 解析に便利な機能のご紹介

## データ抽出機能 (&viz\_value 変数群)

- 可視化用のデータ作成時に解析に必要なデータのみを抽出することで、可視化用のデータを小さくすることができる
- 抽出の仕方
  - 出力したくない変数を指定 (exclude)
  - 出力したい変数を指定 (include)

密度と温度を出力しない  
(非圧縮流れ、温度変化なし)

```
&viz_value
  enable = 'yes'
  viz_set = 'exclude'
  viz_name = 'den tem'
/
```

速度の3成分だけを出力したい

```
&viz_value
  enable = 'yes'
  viz_set = 'include'
  viz_name = 'vel'
/
```

## 統計量の出力機能 (&les 変数群)

- LES 解析等で必要な時間平均した統計量の出力ができます
- 設定例

```

&les
  average_p = 1      圧力の平均値を計算
  average_t = 1      温度の平均値を計算
  nstart = 101      統計量の計算を開始する時間ステップ数
  uvw_ave_rms_re = 1 速度統計量を計算
  statis_file = 1    統計量の計算において一時ファイルを利用
/

```

- 一時ファイルの利用を推奨(デフォルトの設定)
- 繰り返し計算(リスタート計算)する場合、一時ファイルを利用しないと統計量の計算が引き継げないので注意

## 壁面(境界面)上の物理量の出力機能

- 壁面から第一格子点(第一層セル)の物理量を出力できます
- 出力できる主な物理量
  - 無次元距離  $y^+$  (乱流解析において重要な指標)
  - 壁面の法線ベクトル 3 成分
  - 壁面せん断応力 [Pa]
  - 壁面圧 [Pa]
  - 摩擦速度 [m/s]
  - 熱流束 [ $W/m^2$ ]

```

&output
  start = 0          出力を開始する時間ステップ
  inter = 1000      出力する時間ステップの間隔
  file = 'result'   計算結果を出力
  type = 'inter_i'  一定の時間ステップで出力
  BC_result = 1     壁面上の物理量を出力する
  multi_result = 1  上書きしない
/

```

## プローブ機能 (&probe 変数群)

- 座標値を指定して、物理量の時間系列データを出力できる
- 出力できる主な物理量
  - 密度 [kg/m<sup>3</sup>]
  - 圧力 [Pa]
  - 温度 [K]
  - 速度 [m/s]
  - 化学種濃度(質量分率)

```

&probe
label = 'probe_test'      ラベル名
enable_probe = 'yes'     機能の有効化
identifier = vel          速度を出力
position_x = 1.0         X 座標値
position_y = 0.0         Y 座標値
position_z = 2.0         Z 座標値
/
  
```

## 流体力の出力機能 (&force\_fluid 変数群)

- 境界面を指定して、流体力を出力できます
- 出力できる流体力(単位 [N])
  - 圧力による流体力
  - 摩擦による流体力
  - 回転モーメント

```

&force_fluid
enable = 1                機能の有効化
wall_name = 'inner_wall1' 壁面の名前
no = 1                   識別番号
label = 'body1'          ラベル名
begin_x = 0.0            }
begin_y = 0.0            }
begin_z = 0.0            }
end_x = 0.0              }
end_y = 0.0              }
end_z = 1.0              }
/
  
```

モーメントの軸の座標値  
(この設定では Z 軸)

# 乱流解析の効率化に役立つ機能

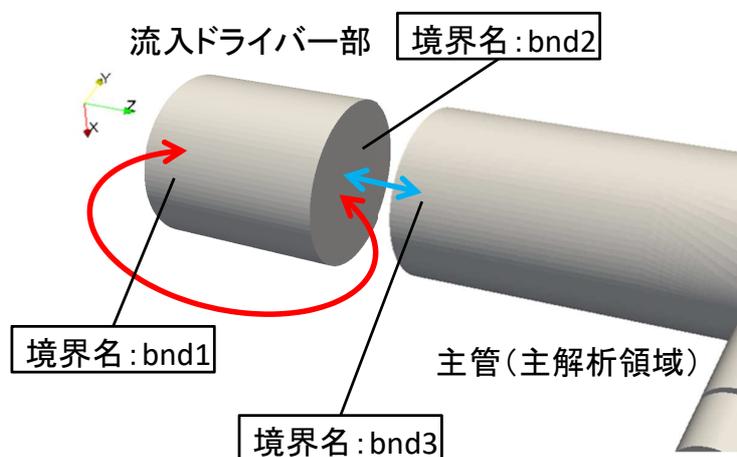
- 流入境界条件の速度場を与える方法
  - 乱数による速度擾乱を与える機能(&boundary 変数群)
  - 接触流入境界によるドライバ部の接続機能(&boundary 変数群)
  - 乱流速度場の作成機能(&random\_inlet 変数群)
  - ユーザー定義サブルーチンの利用(サブルーチン名 USER\_BC)
- LES 計算における RANS からのリスタート機能
  - ① RANS で時間平均された状態を計算
  - ② RANS の結果を初期値にして LES で計算

# 接触流入境界の利用

- 流入ドライバー部: 周期境界条件を設定
- 流入ドライバー部と主管を接触流入境界で接続

```
&boundary
no = 1
kind = 'periodic' 周期境界
name = 'bnd1'
name2 = 'bnd2'
axis = 'z' 軸指定
/
```

```
&boundary
no = 2
kind = 'touchinlet' 接触流入境界
name = 'bnd3'
name2 = 'bnd2'
xoffset = 0.d0
yoffset = 0.d0
zoffset = -5.0d-3 オフセット位置
...
/
```



# 乱流速度場の作成機能の利用

- 複数の入力形式に対応
  - 乱流エネルギーと混合長を乱流速度場の計算に使用
  - レイノルズ応力の非対角項も入力可能(デフォルト値はゼロ)

入力形式	乱流エネルギー	乱流散逸率	乱流強度	混合長	乱流粘性比	代表長(水力直径)
1	入力値	入力値	不要	自動計算	不要	不要
2	自動計算	不要	入力値	入力値	不要	不要
3	自動計算	不要	入力値	自動計算	入力値	不要
4	自動計算	不要	入力値	自動計算	不要	入力値

$$k = \frac{3}{2}(UI)^2 \quad l_m = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{\varepsilon} = 0.07L \quad r_{vis} = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon \mu}$$

Ver5.4 で実装された機能

# 乱流速度場の作成方法

- レイノルズ応力の対角成分と非対角成分から成る速度相関から固有値と固有ベクトルを求める(等方性を仮定)

$$\begin{pmatrix} \overline{u'u^i} & \overline{u'v'} & \overline{u'w'} \\ \overline{u'v'} & \overline{v'v'} & \overline{v'w'} \\ \overline{u'w'} & \overline{v'w'} & \overline{w'w'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R11 & R12 & R13 \\ R12 & R22 & R23 \\ R13 & R23 & R33 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (2/3)k & R12 & R13 \\ R12 & (2/3)k & R23 \\ R13 & R23 & (2/3)k \end{pmatrix}$$

- 乱流速度場は平面波の重ね合わせで表現

$$v_i(\vec{x}, t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{i=1}^N \left\{ p_i^n \cos(k_j^n \vec{x}_j + \omega_n t) + q_i^n \sin(k_j^n \vec{x}_j + \omega_n t) \right\}$$

混合長、混合時間で規格化  
正規乱数  
重ね合わせる波の数

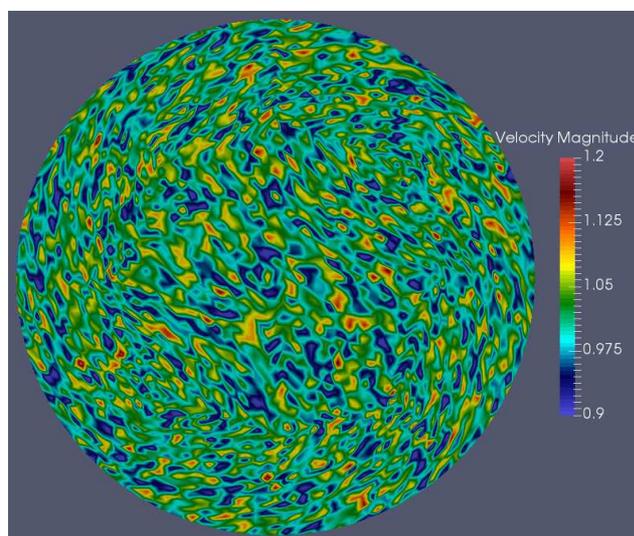
- 重ね合わせる波の数は設定可能
- 速度の3成分は固有ベクトルを使って求める

# 適用例

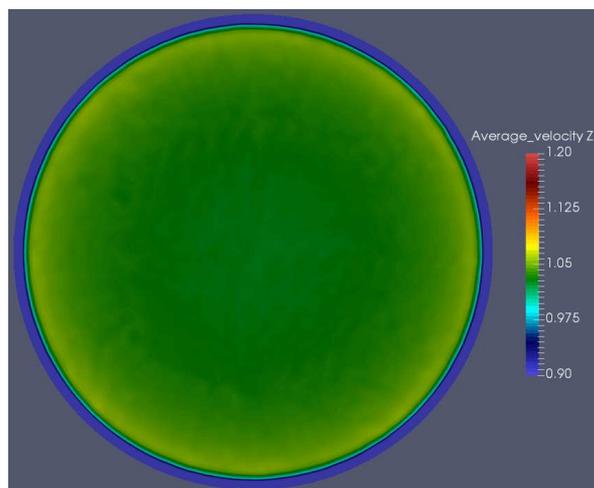
- 円管流れ

- 乱流モデルは LES
- 半径 0.4 m、乱流強度 0.05、水力直径 0.4 m
- 乱流特性時間 0.001 s
- 入口速度 1 m/s

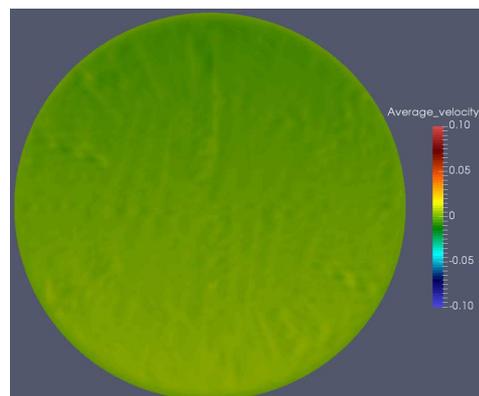
流入境界の速度  
(瞬時値)



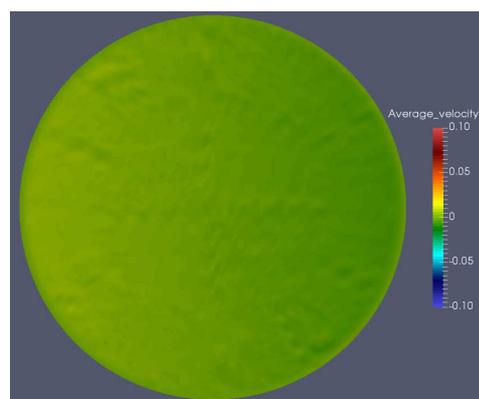
# 時間平均速度



流入境界における流れ方向の平均速度  
(20秒間での平均値)



流れ方向に対して垂直な  
速度成分の平均速度



# RANS→LES リスタート機能

- RANS 計算のリスタートを LES 計算の初期値にできる
- 使用例
  - RANS で初期乱流場を生成して LES 解析に使用する
  - RANS の定常解を LES の非定常解析の初期場に使用する
- リスタート時の速度の取り扱い
  - RANS の時間平均速度に乱流エネルギーから得られる乱れを加える

$$U_{LES} = U_{RANS} + \hat{u}$$

$$\hat{u} = N \times \sqrt{\frac{2}{3}k}$$

N : 正規乱数  
k : 乱流エネルギー [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]

```
&model
flow = 'incompressible' 非圧縮
cal_t = 0                温度変化なし
density = 0              密度一定
trbmdl = 'SLES'         標準スマゴリンスキー
chgng_RANS2LES = 1      RANS からリスタート
/
```

# テクニカルサイト

マニュアル、チュートリアルをオンライン化し、テクニカルサイトに掲載  
Advance/FrontFlow/red に関する情報を集約

テクニカルサイト  
へのバナー



# ユーザーガイド(トップページ)

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >
次へ

## Advance/FrontFlow/red ユーザーガイド

- インフォメーション
- 利用ガイド
- チュートリアル
- 解析事例
- 設定変数リファレンス
- FAQ
- お問い合わせ

次のトピックへ

インフォメーション

クイック検索

検索

検索したいワードをここに入力して下さい

---

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >
前へ | 次へ

## インフォメーション

### 2016.10.6

Advance/FrontFlow/redの新バージョン5.3をリリースし、以下の機能が新たに加わりました。

- 輻射計算における透過設定機能 ⇒ 設定は [&boundary変数群](#)、[&fluid変数群](#)、[&solid変数群](#) を参照してください。
- RANSからLESへのリスタート機能 ⇒ 設定は [&mode変数群](#) を参照してください。
- 流体と固体の境界面における熱伝達係数の設定の拡張機能 ⇒ 設定は [&ustsub変数群](#) を参照してください。

また、本ユーザーガイドに下記の項目を追加して、よりご利用頂きやすい形にリニューアルいたしました。

- [インフォメーション](#)  
本サイトの更新情報や、Advance/FrontFlow/redに関するお知らせを掲載。
- [解析事例](#)  
種々の流体現象について、Advance/FrontFlow/redを用いて解析した事例を紹介。  
解析に利用されているメッシュファイル、制御ファイルもダウンロードできます。
- [FAQ](#)  
お客様からよく寄せられるお問合せ内容&回答を掲載。
- [お問い合わせ](#)  
Advance/FrontFlow/redに関するお問合せ先を掲載。

目次

インフォメーション

- 2016.10.6

前のトピックへ

Advance/FrontFlow/red ユーザーガイド

次のトピックへ

利用ガイド

クイック検索

検索

検索したいワードをここに入力して下さい

---

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >
前へ | 次へ

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

43

# 利用ガイド／操作編

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >
前へ | 次へ

## 利用ガイド

解析準備から実行、可視化までの作業手順を知りたい場合には [操作編](#) を、  
計算制御ファイルの書き方を知りたい場合には [計算制御ファイル入力編](#) をご参照ください。

### 操作編

- 1. 概要
  - 1.1. 解析機能、動作環境一覧
  - 1.2. ソフトウェア構成
- 2. 解析の流れ
- 3. インストール
  - 3.1. インストールCD
  - 3.2. 環境変数
  - 3.3. 再ビルド
- 4. 計算準備
  - 4.1. 格子データファイルの作成
  - 4.2. 計算制御ファイルの作成
- 5. 前処理
  - 5.1. 1プロセス計算のための前処理
  - 5.2. 並列計算の前処理
  - 5.3. 前処理時のエラー対策
  - 5.4. 前処理時の対話式キー入力について
- 6. 計算実行
  - 6.1. 1プロセスによる計算
  - 6.2. 並列計算
  - 6.3. リスタート計算(並列数の変更)
  - 6.4. 標準出力に出力される計算ログについて
- 7. 後処理(可視化処理)
  - 7.1. 通常データの可視化
  - 7.2. 粒子追跡データの可視化
  - 7.3. アニメーション作成
- 8. トラブルと対処法
  - 8.1. 全般的なトラブル
  - 8.2. プリプロセス prefflow に関するトラブル
  - 8.3. メインソルバーに関するトラブル
  - 8.4. エラーメッセージと対策集

目次

利用ガイド

- 操作編
- 計算制御ファイル入力編
- ユーザー定義サブルーチン設定機能

前のトピックへ

インフォメーション

次のトピックへ

1. 概要

クイック検索

検索

検索したいワードをここに入力して下さい

---

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >
前へ | 次へ

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

44

# 利用ガイド／計算制御ファイル入力偏他

計算制御ファイル入力編

- 1. 主要変数群の説明
  - 1.1. 必須項目を含む変数群一覧
  - 1.2. &files変数群
  - 1.3. &model変数群
  - 1.4. &time変数群
  - 1.5. &simple変数群
  - 1.6. &deltat変数群
  - 1.7. &species変数群
  - 1.8. &fluid変数群
  - 1.9. &boundary変数群
    - 1.9.1. (A) 流入境界と流出境界の設定方法
    - 1.9.2. (B) 壁境界(流体-固体)の設定方法
    - 1.9.3. (C) 対称境界の設定方法
    - 1.9.4. (D) 周期境界の設定方法
    - 1.9.5. (F) 全圧境界条件の設定方法
    - 1.9.6. (F) 静圧境界の設定方法
  - 1.10. &flags変数群
  - 1.11. &hpc変数群
  - 1.12. &output変数群
  - 1.13. &initial変数群
  - 1.14. &cgssolver変数群

ユーザー定義サブルーチン設定機能

- 1. ユーザー定義サブルーチンの概要と使用方法
- 2. 主なユーザー定義サブルーチン
  - 2.1. user\_ini サブルーチン
  - 2.2. user\_BC サブルーチン
  - 2.3. user\_src\_r サブルーチン
  - 2.4. user\_src\_T サブルーチン
  - 2.5. user\_src\_uvw サブルーチン
  - 2.6. user\_output サブルーチン

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >> 前へ | 次へ

# チュートリアル

チュートリアル

- 1. 段階的流れ
- 2. T字管
- 3. 固体壁に囲まれたキャビティ内の流れ
- 4. カルマン渦
- 5. 回転渦
- 6. パンダ流れ
- 7. 水素燃焼
- 8. 水素燃焼
- 9. ガス燃焼

7. 水素燃焼

所要計算リソース (約)分  
 計算機環境 Intel(R) Xeon(R) CPU X5650 @ 2.80GHz, Memory size : 96GB

7.1. 解析概要

本ケースでは燃焼反応の進行を考慮した水素燃焼の燃焼現象を解析します。

Figure 1: 燃焼分布

Figure 2: 内筒モデル格子と計算領域

7.8. 計算結果

燃焼分布

燃焼分布

燃焼分布

チュートリアル事例を選択すると解析モデル、計算条件入力方法、可視化方法までの説明を見ることが出来る

# 解析事例

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >

## 解析事例

Advance/FrontFlow/redの解析事例を紹介します。

- 1. 非圧縮性流れ
  - 1.1. 非圧縮性流れ
  - 1.2. 外部流れ
  - 1.3. 温度変化のある流れ
- 2. 圧縮性流れ
  - 2.1. 圧縮性流れ(翼)
- 3. 乱流解析
  - 3.1. 乱流モデル(RANS)
  - 3.2. 乱流モデル(LES)
- 4. 伝熱解析
  - 4.1. 熱伝導
  - 4.2. 熱伝達
  - 4.3. 輻射
- 5. その他の流れ
  - 5.1. 複数化学種を含む流れ
  - 5.2. 拡散燃焼(Flameletモデル)
- 6. 格子機能
  - 6.1. 厚みのない壁機能
  - 6.2. 不連続格子接続機能
  - 6.3. モニター機能の使用
- 7. 追加出力機能
  - 7.1. 特定位置における時系列データの出力機能
  - 7.2. 統計量の出力機能
  - 7.3. モニター機能の使用

### 1.2. 外部流れ

**概要**

ここでは、建物周辺の空気の流れを解析する方法についてご説明します。

**解析モデル・解析条件の概要**

**モデル概要**

ビルディングの周辺に立方体モデルとして立方体を用意し、その周辺の流れを解析します。風上から風速10m/sの層が建物に吹き付けたときに、建物周辺に発生する乱流の状態を求めます。解析は乱流(RANSモデル)の定常計算(非圧縮性解析)とします。物性値は温度に依存する一定値であることを仮定しています。空気の物性値は以下を使用します。1. 分子量=0.029[kg/mol] | 密度 = 1.145 [kg/m<sup>3</sup>] | 定圧比熱の係数 = 1006.1 [J/kg·K] | 生成エンタルピー = 0 [J/kg] | 参照温度 = 0 [K] (gdscale=1.0, 軸は Z 方向) | ルイス数 = 0

**ワンプルファイル**

制御ファイル - fflow.ctd (fflow.ctd)  
 格子ファイル - outer\_flow\_analysis.grd (outer\_flow\_analysis.grd)

**制御ファイルの設定**

乱流の定常計算に必要な設定のみを取り上げます。

(1). 入口境界条件の設定 (&boundary) **空流状態**

風速10m/sで風速20の空気が流入するものとします。:

```

        入口境界      &boundary
                   kind = 'inlet'
                   name = 'inlet'
                   no = 1
                   x = 29.15
                   profile = 0
                   u = 10.0
                   v = 0.0
                   w = 0.0
        
```

# 設定変数リファレンス

Advance/FrontFlow/red ver5.3 >

## 設定変数リファレンス

本章では、AFFr ver5.3の制御ファイル(fflow.ctd)内で使用できる変数について説明します。

現時点で記載のない変数についてはお手数ですが弊社サポートまでお問い合わせください。

[連絡先]  
 FFRサポートセンター  
 E-mail : support\_ffr@advancesoft.jp

変数群	概要
&animation	アニメーション用データの出力
&boundary	境界条件
&CAVI_init	キャビテーションモデルの初期条件
&cavitation	キャビテーションモデルの設定
&cdcl_output	抗力、揚力の出力
&cgssolver	行列計算の収束判定
&chemcntl	化学反応の設定
&chemreac	化学反応式の設定
&deltat	時間刻み
(&DESmodel)	DES計算の設定
&dimension	縮退の設定
&energy	エネルギー収支出力
&files	入出力ファイルの設定
&flags	時間積分法
&flamelet	Flameletモデルの設定
&flamelet_func	Flameletモデル関数の設定
&fluid	流体属性の設定
&force_fluid	流体力の設定
&gravity	重力の設定
&hpc	並列数の指定
&hpc_cntl	並列計算の設定
&initial	初期条件
&injector_number	粒子投入口の設定
&kemodel	k-εモデル設定

# 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red の解析事例のご紹介

第3事業部 研究員 大野修平

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red Ver5.5  
バージョンアップセミナー  
2018年10月11日（木曜日）  
アドバンスソフト株式会社



## 基本事例を通じた乱流モデルの検討

### 目次

- 導入
- 乱流モデル(RANS)を用いた解析事例
  1. 平行平板乱流の解析
  2. バックステップ乱流の解析
  3. 非対称ディフューザー乱流の解析
- 非定常乱流解析(LES,DES)
- 結論

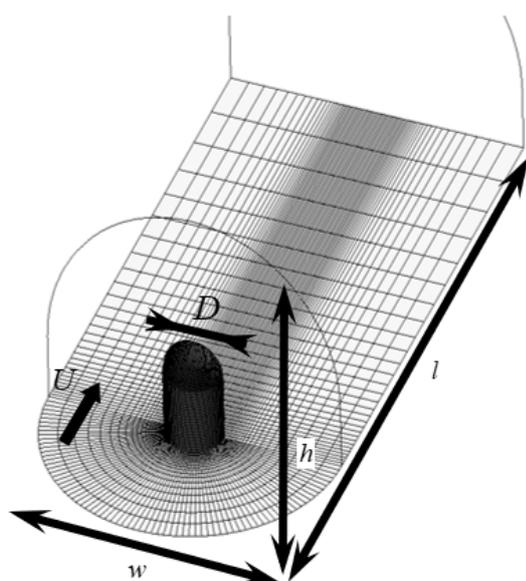


# Advance/FrontFlow/red で利用可能な乱流モデル

乱流モデルの分類	乱流モデル
RANS	標準k-ε モデル
	低Re数型k-εモデル
	RNG k-ε モデル
	Chen k-ε モデル
	K-ω モデル
	SST モデル
LES	標準 Smagorinsky モデル
	動的 Smagorinsky モデル
DES	S-A モデル
	SST DES モデル
モデル無し	DNS

選択肢が多すぎる...  
それぞれ何が違うのか？

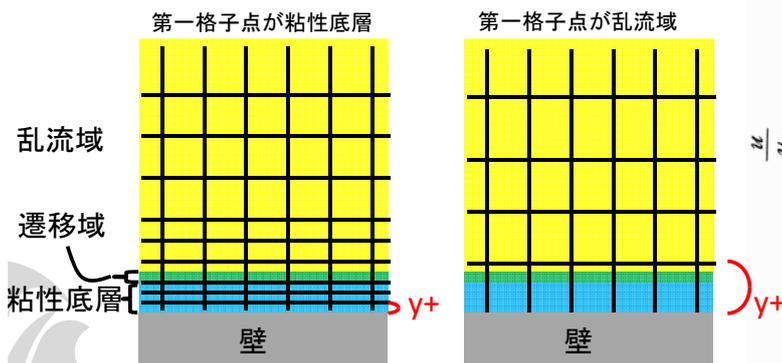
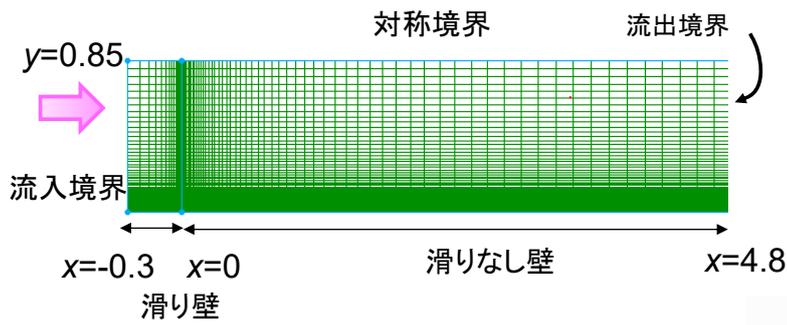
# メッシュ作成と壁面第一格子点



取り敢えずk-εモデルを用いて解析

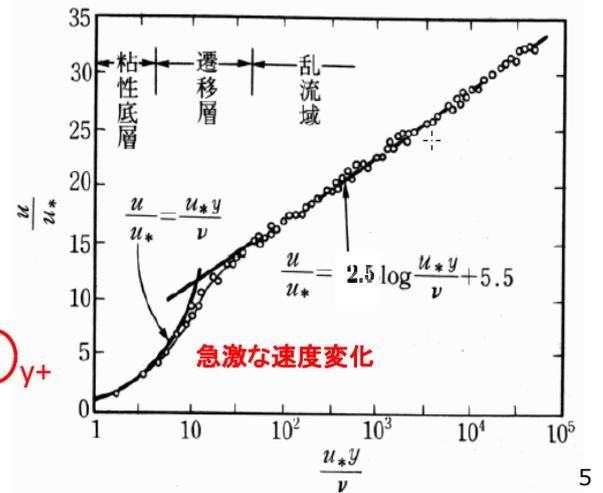
y+(壁からの第一格子点位置)  
はどうやって決めるか？

# 1. 平行平板流れ



Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

壁座標速度分布

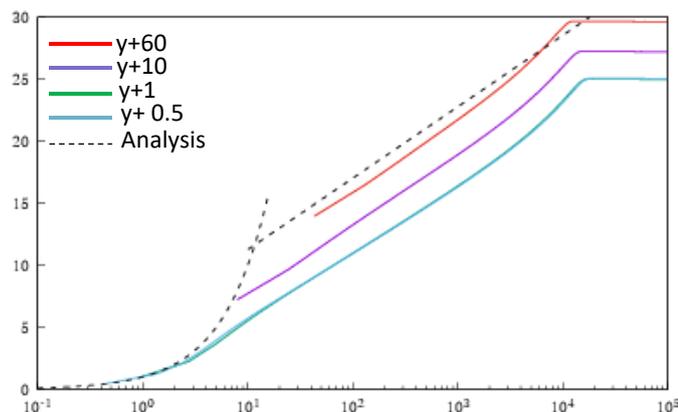


5

# 1. 平行平板流れ

乱流モデル: k-εモデル+壁関数

流れ方向速度分布(x=2.5)



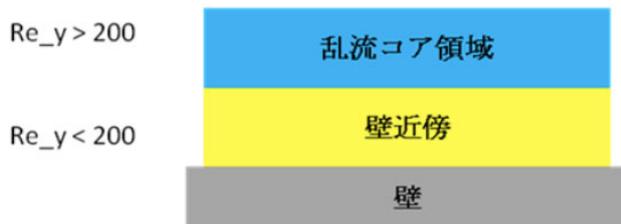
- k-εモデル+壁関数ではメッシュが細かいほど解からずれる

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# EWT(壁強化機能)

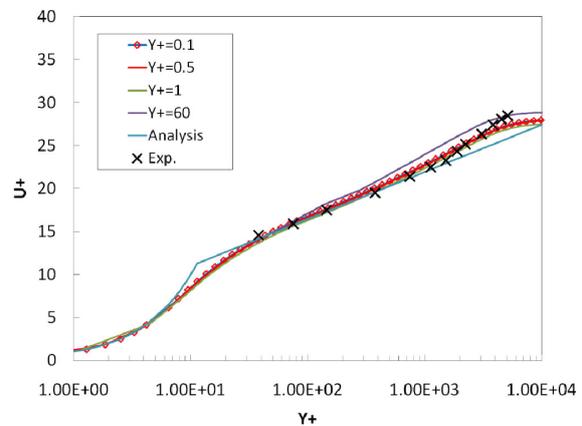
乱流モデル: k-εモデル+EWT

- 2層ゾーンモデル (2つのサブ領域へ分割)



壁近傍 → kの一方程式モデル  
 乱流コア領域 → 高Re数RANSモデル

流れ方向速度分布(x=2.5)



- EWTを用いることで格子の大きさに依らずに正しい速度分布が得られる

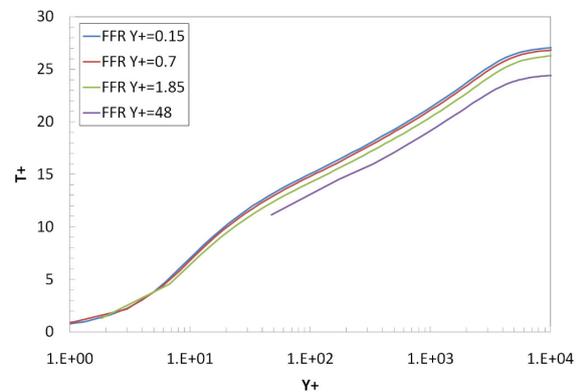
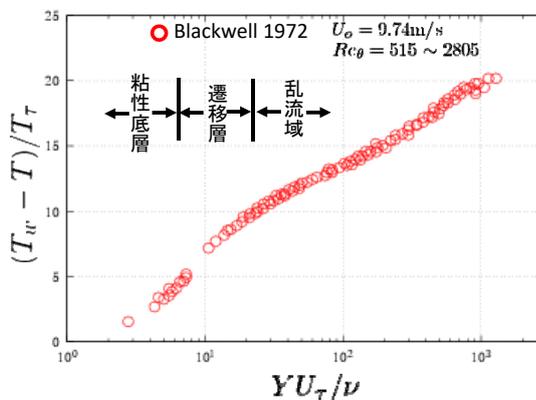


# 1. 平行平板流れ 温度分布

乱流モデル: k-εモデル+EWT

- 乱流境界層での熱分布

温度分布(x=2.5)

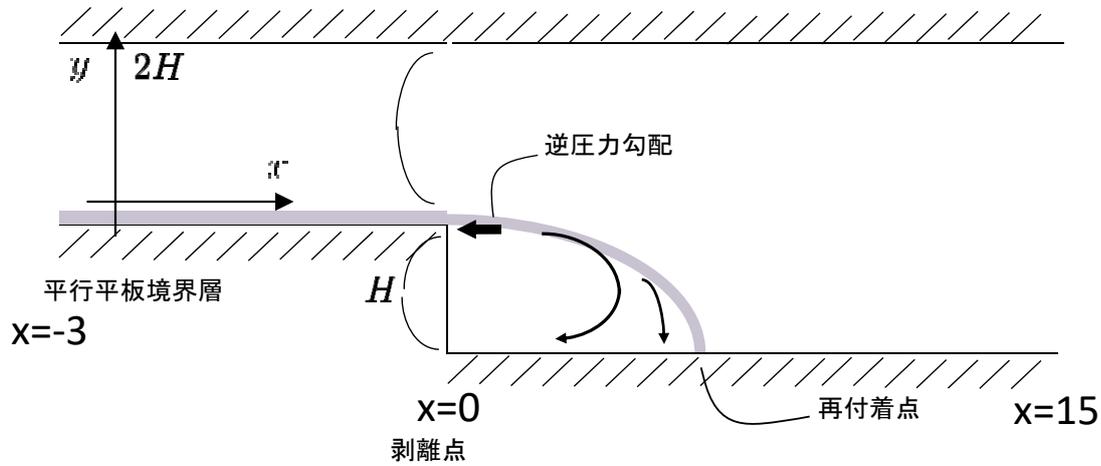


- EWTを用いることで格子に依らない正しい温度分布が得られる



## 2.バックステップ流れ

### バックステップ流れ概要



### 乱流モデル

k-εモデル、RNG k-εモデル、  
Chen k-ε SSTモデル

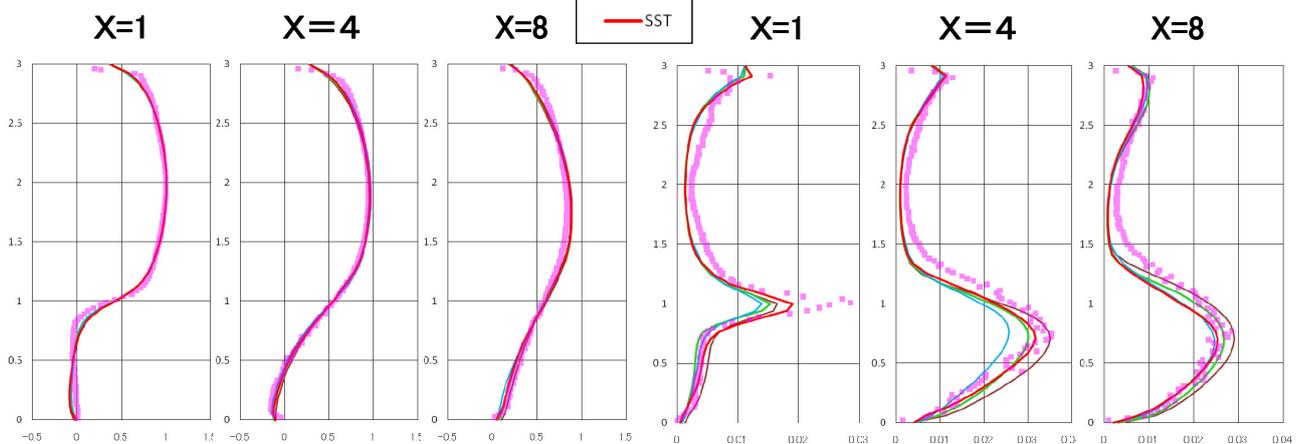
レイノルズ数  
(ステップ高さに対する) 5,500

## 2.バックステップ流れ

実験値 : Kasagi, N. and Matsunaga, A, Int. J. Heat Fluid Flow, 16, (1995), pp.477-485.

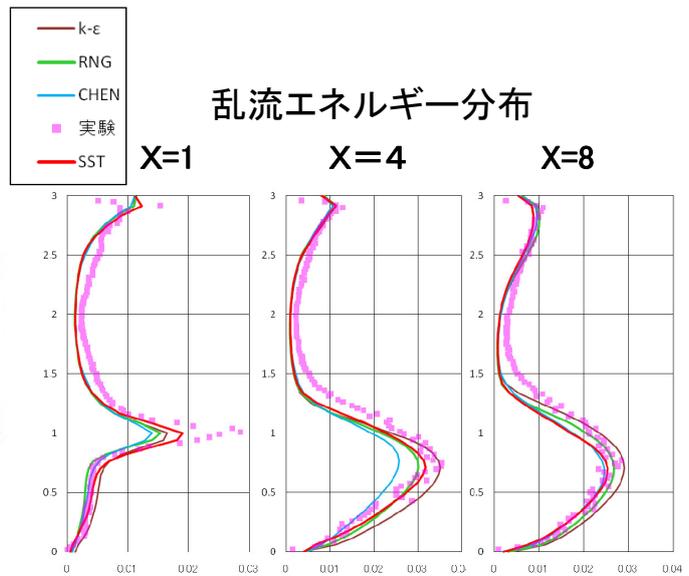
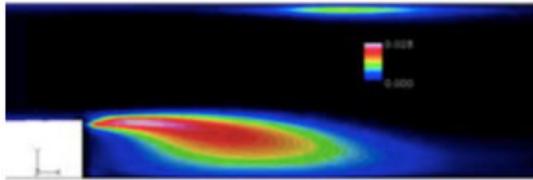
### 速度分布

### 乱流エネルギー分布



## 2. バックステップ流れ

標準k-εモデル乱流エネルギー分布

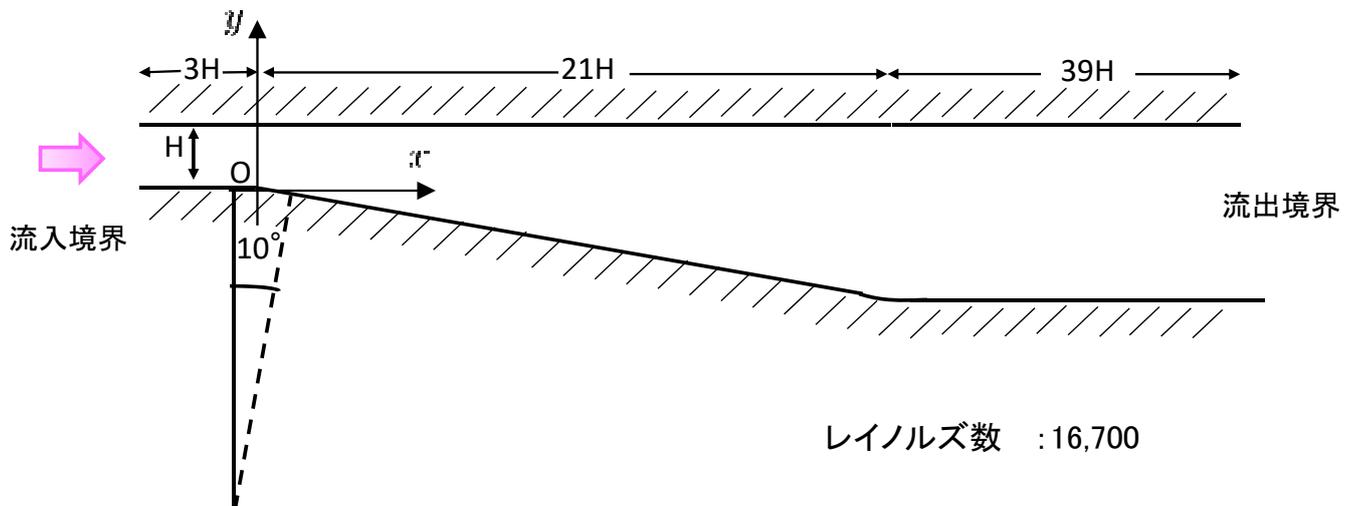


再付着点距離

乱流モデル	再付着点距離
実験値	6.5
標準k-εモデル	5.6
RNG k-εモデル	6.2
Chen k-εモデル	6.9
SST k-ωモデル	6.4

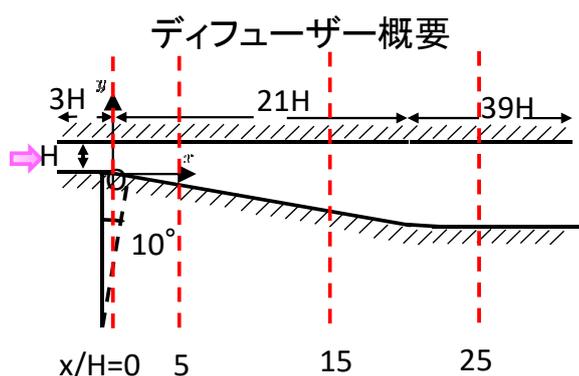
## 3. 非対称ディフューザー

ディフューザー概要



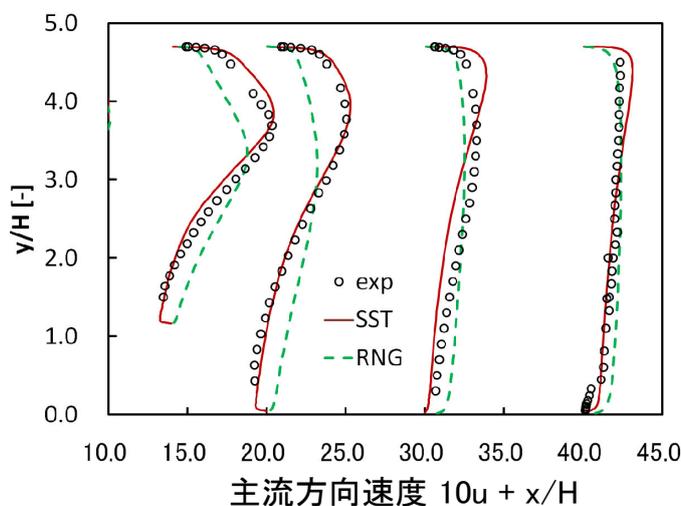
- 勾配領域での流れに対する逆圧力勾配
- 一意的でない剥離点

### 3.非対称ディフューザー



レイノルズ数 : 16,700

主流方向速度分布



- SSTモデルの方が高い実験結果の再現性を示した

### RANSモデル比較

壁近傍でのメッシュ	乱流モデル	メリット	デメリット
粗くてよい ( $y^+ > 50$ )	$k-\epsilon$ モデル + 壁関数 または +EWT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 計算の収束性</li> <li>• 豊富な利用例 (計算傾向の把握)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 複雑な流れの予測に不向き</li> </ul>
精密 ( $y^+ \sim 1$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RNG <math>k-\epsilon</math> モデル</li> <li>• <math>k-\epsilon</math>モデルへの追加項</li> <li>• SST モデル</li> </ul> 壁の近くで $k-\omega$ 遠くで $k-\epsilon$ を切り替え	<ul style="list-style-type: none"> <li>• より複雑な流れに対する再現性(剥離・付着の予測精度など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 計算の収束性</li> </ul>

# RANSとLES

- RANS**

アンサンブル平均

残差の平均が平均流れに与える影響をモデル化

一様等方乱流

- LES**

GS流れ

サブグリッドスケール運動がグリッドスケールへ与える影響をモデル化

より細かい格子解像度が必要

GSフィルター

SGS流れ

- DES**

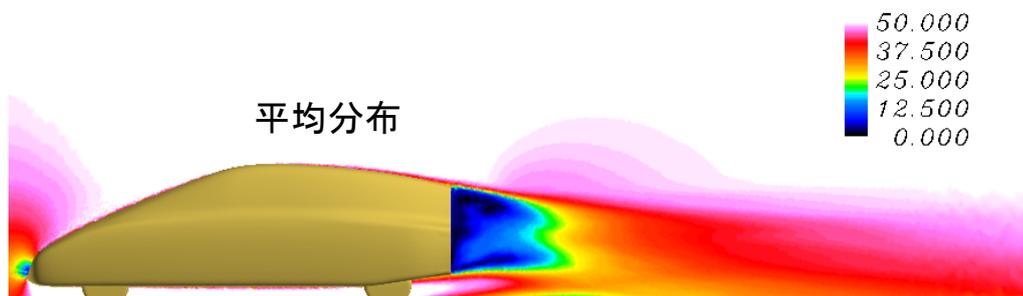
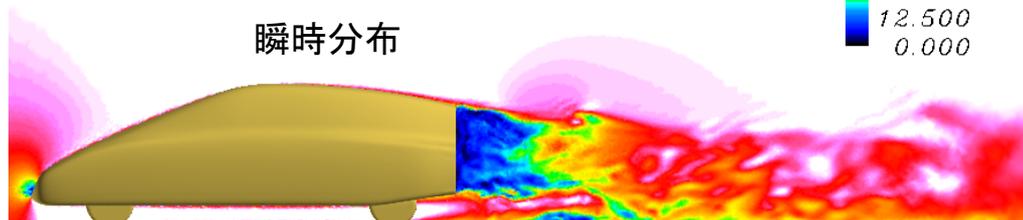
- LESとRANSのハイブリッドモデル

バルク領域はLES、壁近傍をRANSで置き換える

# LESによる乱流の非定常計算

- RANSでは扱えない非定常乱流を再現
- 大きな計算負荷

ASMO 空力解析

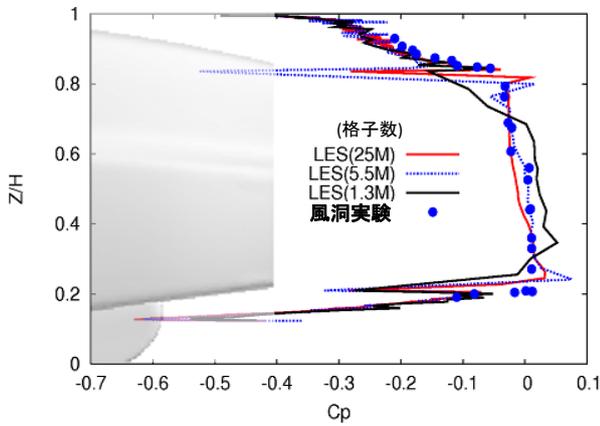


# 乱流の非定常計算

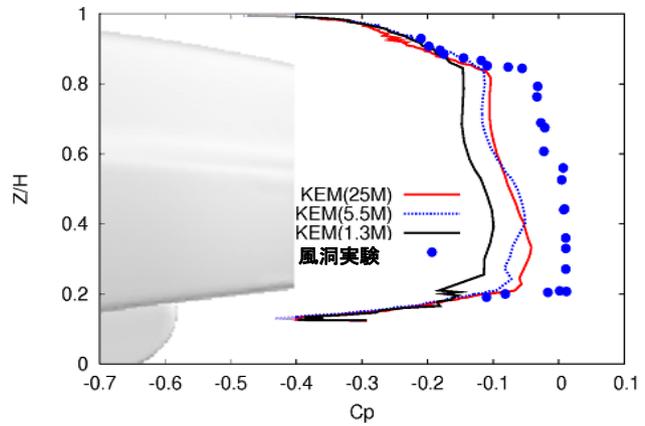
計算時間 35.5(h)  
並列数 256 (2500万格子において)

ASMO 空力解析

車体背面の圧力分布



LESによる結果

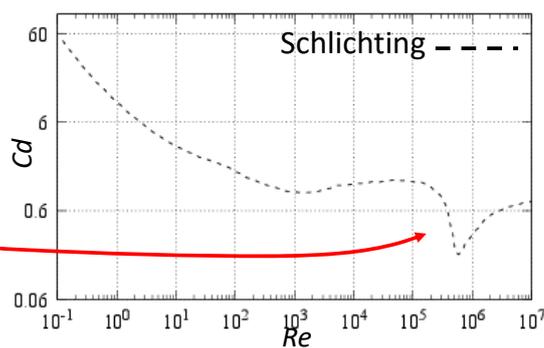


k-ε モデルによる結果

・要素数130万のLESの方が、要素数2500万のk-ε モデルより高精度の結果

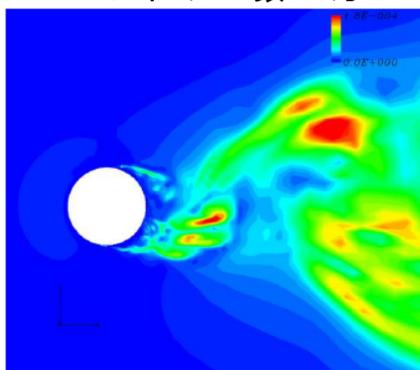
# 高Re数 円柱周りの流れ

- ・ ドラッグクライシス  
乱流/層流境界層転移に伴う抗力係数Cdの急低下

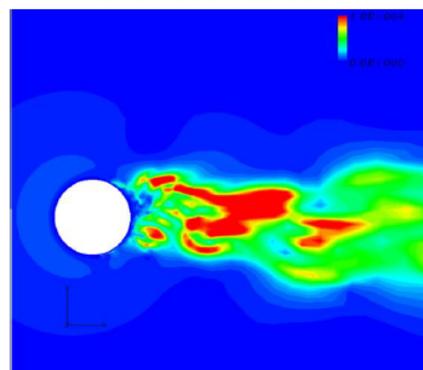


LESによる解析結果

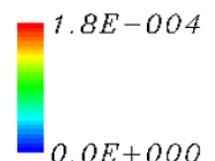
レイノルズ数 10万



レイノルズ数 50万

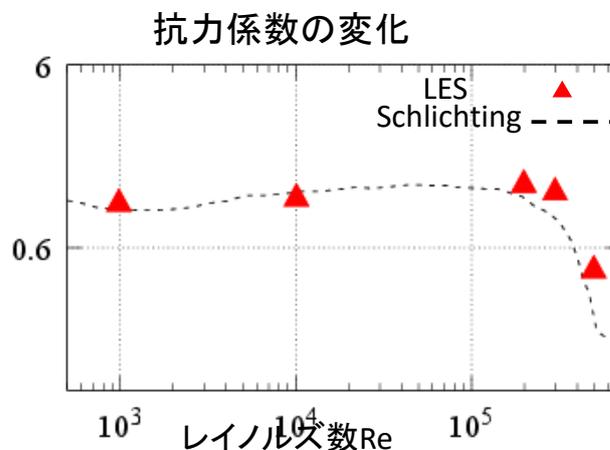
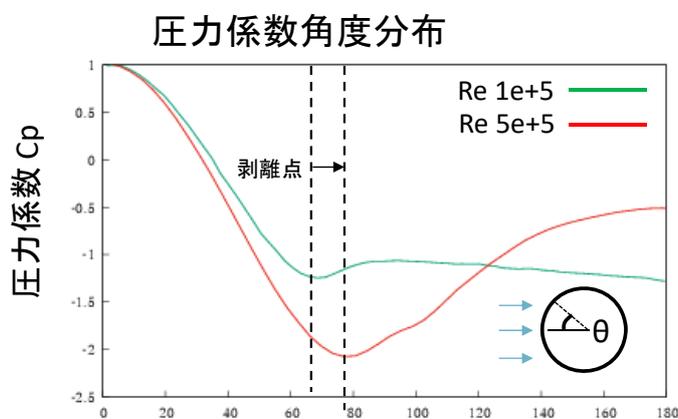


渦粘性



# 高Re数 円柱周りの流れ

## LESによる解析結果



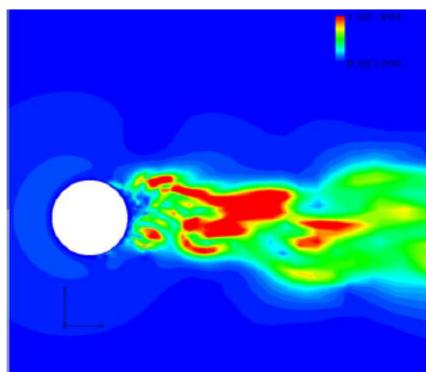
- 剥離点の後退、ドラッグクライシスを再現

# DES(RANSとLESのハイブリッド)による解析

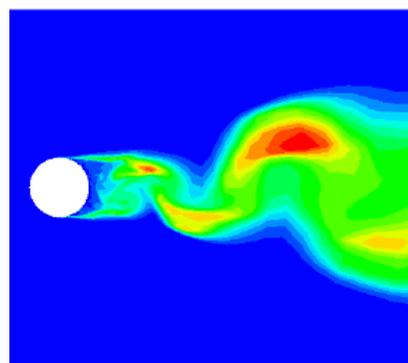
- 一部RANSで置き換える為、計算負荷を大幅に軽減

レイノルズ数 50万

渦粘性分布(瞬時)



- LESによる解析



- SST-DESによる解析

渦粘性

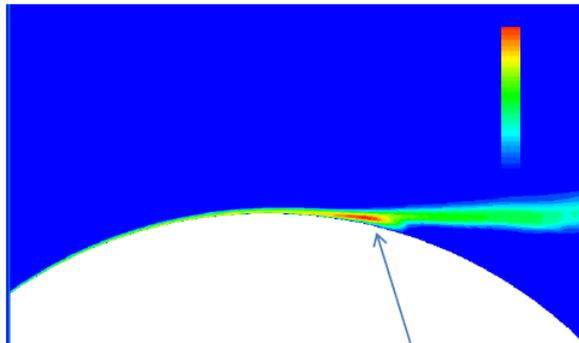


- SST-DESでも渦の非定常運動が再現されている

# DES(RANSとLESのハイブリッド)による解析

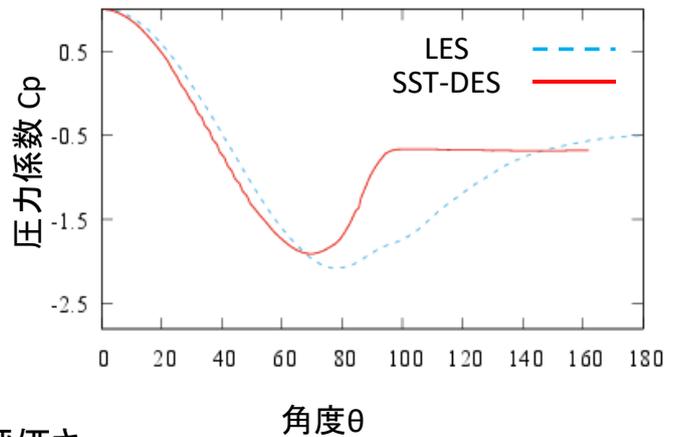
SST-DES モデルによる解析結果(レイノルズ数50万)

乱流エネルギーk 分布



剥離点

圧力係数角度分布



- DESでは剥離点がLESよりも浅く評価される傾向がある
- 高Re数側でのCdはDESで過大評価される傾向がある

乱流モデル	抗力係数Cd
LES(Smagorinski)	0.467836
SST-DES	0.56

## まとめ

- 平行平板 → 単純な境界層
- バックステップ → 固定された剥離点
- 非対称ディフューザー → 一意的でない剥離点
- 車体後方渦 → 非定常乱流の扱いが必要
- ドラッグクライシス

計算負荷 ← 軽い → 重い

RANS  
(平均流の運動)

LES  
(大規模渦の非定常運動)

DES  
(壁近傍をRANSで簡略化)

## 結論

- 解析で明らかにしたいことに応じて適切な乱流モデルを選択する
- 乱流モデルに対して適切なメッシュ作成を心掛ける

# 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red Ver5.5 のご紹介

第3事業部 主任研究員 高橋 邦生

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red Ver5.5  
バージョンアップセミナー  
2018年10月11日（木曜日）  
アドバンスソフト株式会社

## バージョンアップ内容のご紹介 2019年3月リリース予定

# バージョンアップ予定項目①

機能種別	項目	ユーザーのメリット
前処理	CGNS 形式のデータに対応	✓ CGNS 形式で出力できればメッシュを作り直す必要がなくなる
	ポリヘドラルメッシュの追加対応	✓ ポリヘドラルメッシュが利用できるメッシュのデータ形式が増える
ソルバー	非ニュートン流体の粘性モデルを追加	✓ 非ニュートン流体が扱える
	熱拡散（ソレー効果）機能の導入	✓ 温度勾配による濃度勾配の変化を扱うことができる
	乱流モデルの追加	✓ 利用可能な乱流モデルが増える
	熱連成計算における温度の壁関数に標準壁関数を追加	✓ 二層モデルの他に標準壁関数が利用できる
	AMG 法の更新	✓ ロバスト性の向上

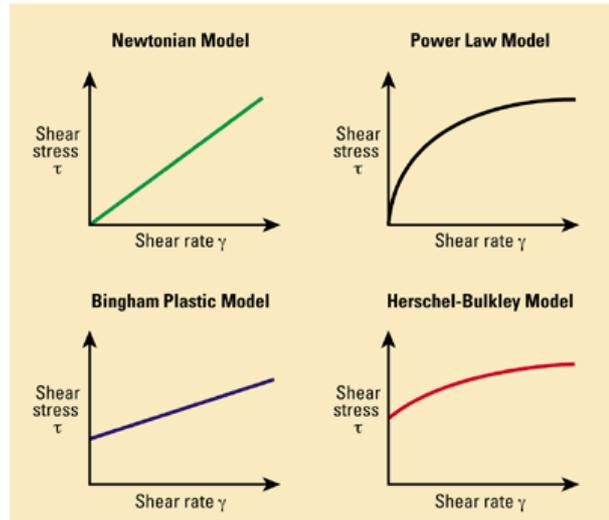
# バージョンアップ予定項目②

機能種別	項目	ユーザーのメリット
ソルバー	速度勾配テンソルの第二不変量の出力機能を追加	✓ 乱流の渦構造の可視化に利用できる
	せん断速度の出力機能を追加	✓ せん断速度が出力できる
	DES（SAモデル）における乱流粘性率の上限値・下限値の設定機能の追加	✓ 計算不安定の回避
	高次風上差分利用時に特定の領域で1次風上差分を適用する機能の追加	✓ 計算不安定の回避
後処理	流体力を出力する壁面の数の上限を撤廃	✓ 任意の数の壁面で流体力を出力
	CGNS 形式の出力に対応	✓ CGNS 形式に対応した可視化ソフトが使える
その他	Windows 版で並列計算に対応	✓ Windows で並列計算が可能になる
	Linux 版で GNU コンパイラに対応	✓ 有償のコンパイラが不要になる

# 非ニュートン流体の粘性モデル

## Rheological Models

- 非ニュートン流体
  - 時間非依存を仮定
  - 粘塑性流体
- 粘性モデル
  - Power Law モデル
  - Bingham Plastic モデル (ビンガム流体)
  - Herschel Bulkley モデル (ハーシェル・バルクレー)
- 静止した状態でせん断応力 (降伏応力) が作用する



せん断速度とせん断応力の関係

例: コンクリート、合成樹脂、泡消火剤  
血液、ゴム、グリース、ペンキなど

# 粘性モデルの組み込み

- ニュートン流体では、流れのせん断応力と速度勾配 (せん断速度) が比例する

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial u_x}{\partial y} \quad \mu: \text{粘性係数}$$

- 非ニュートン流体では、粘性係数が定数ではなく、せん断速度に依存する
- このとき、Advance/FrontFlow/red では、Herschel Bulkley モデルの式で粘性モデルを表す

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n$$

$$\mu = \begin{cases} \mu_0 & \dot{\gamma} < \dot{\gamma}_0 \\ \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1} & \dot{\gamma} > \dot{\gamma}_0 \end{cases}$$

- モデル係数を調整することで他のモデルも表すことができる

# 設定方法

- 流体物性を与える &fluid 変数群 で設定する
- 第1相が非ニュートン流体、第2相が空気の場合

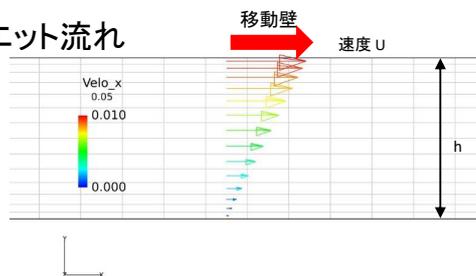
```
&fluid
imat_u = 1
muopt = 'non-Newton'
mu_model = 'HB'
mu_model2 = 'constant'
mu = 1.d6
HB_tau = 0.d0
HB_k = 2.5d0
HB_n = 3.4d0
mu2 = 1.8d-5
...
```

$$\mu = \begin{cases} \mu_0 & \dot{\gamma} < \gamma_0 \\ \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1} & \dot{\gamma} > \gamma_0 \end{cases}$$

$\mu_0$  (mu)  
 $\tau_0$  (HB\_tau)  
 $k$  (HB\_k)  
 $n$  (HB\_n)  
 $\gamma_0 = 10^{-10}$

# 簡単な計算例

クエット流れ

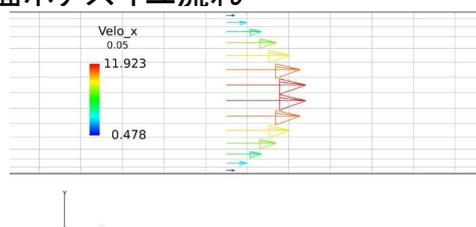


平行板上面は速度 U で移動、下面は固定。

$$\text{流速 } u = U \frac{y}{h}$$

$$\text{せん断速度 } \frac{U}{h}$$

平面ポアズイユ流れ



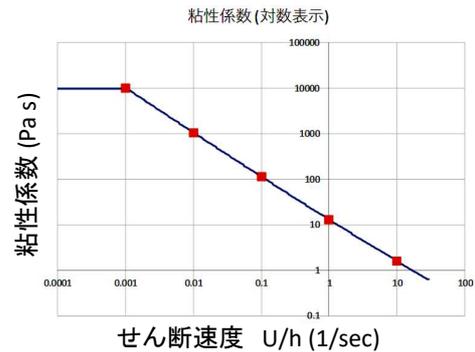
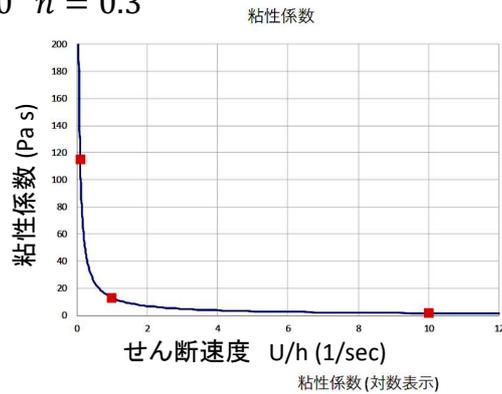
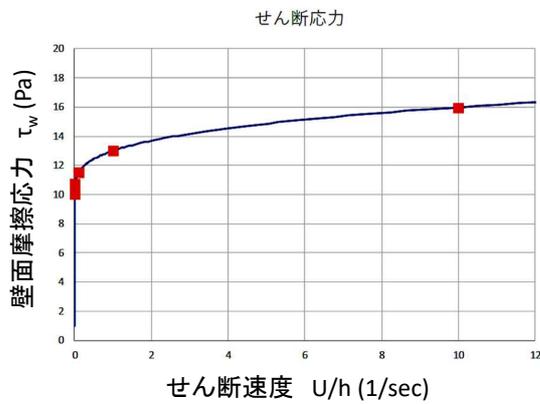
平行板の上下面固定

$$u = \frac{1}{2\mu} (h - y)y \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

ニュートン流体では、流速分布は放物線分布になることが知られている

# クエット流れの結果

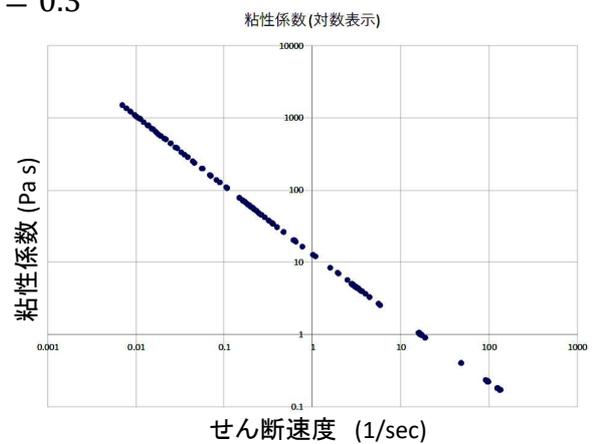
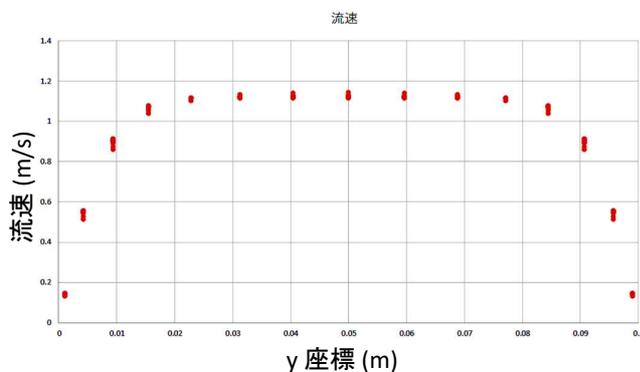
$$\mu = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1} \quad \tau_0 = 10[\text{Pa}] \quad k = 3.0 \quad n = 0.3$$



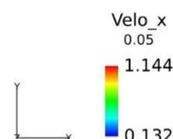
上面での速度を変えた計算を行い、せん断速度と、壁面摩擦力の関係が Herschel-Bulkley モデルの式を満たしていることを確認

# 平面ポアズイユ流れの結果

$$\mu = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1} \quad \tau_0 = 10[\text{Pa}] \quad k = 3.0 \quad n = 0.3$$



速度勾配に対して、粘性が一定でないため、Herschel-Bulkley モデルでは、壁近傍で大きなせん断があるが、中央部では、ほとんどせん断が見られない



# 熱拡散 (Soret effect / ソレー効果)

- 混合流体において、温度勾配があると濃度勾配が形成される効果
- 濃度勾配による物資拡散と温度勾配による物質拡散が競合し成分の分布が不均一になる現象
- 身近な例: 翌日の煮物は味が良く染みっていて美味しい

ソレー効果を含む濃度( $C$ )の移流拡散方程式

(e.g., Mohan & Satheesh 2017, Frontiers in Heat and Mass Transfer, 8, 36)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C\mathbf{u}) = \frac{1}{Re Sc} \nabla \cdot (\nabla C) + \frac{Sr}{Re} \nabla \cdot (\nabla T)$$

# 関係する無次元量

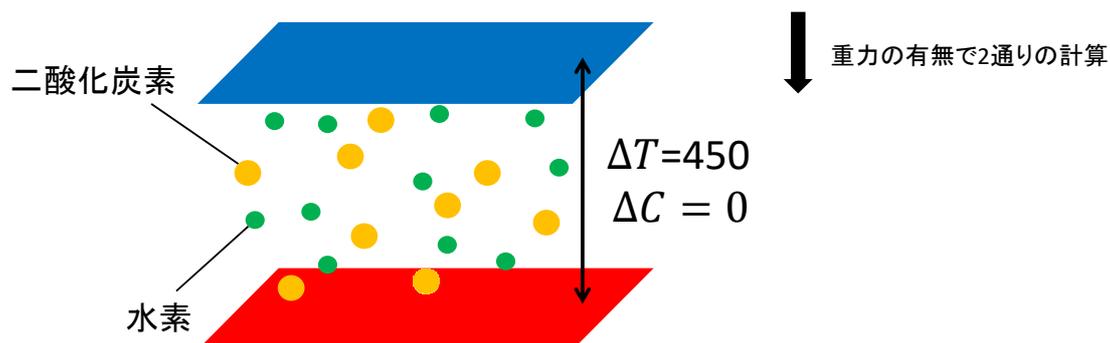
- レイノルズ数  $Re = \frac{\rho u L}{\mu}$
  - シュミット数  $Sc = \frac{\mu}{\rho D}$
  - プラントル数  $Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$
  - ソレー数  $Sr = \frac{D \lambda \rho \Delta T}{\mu T \Delta C}$
- $\mu$  : 粘性係数 [Pa s]  
 $\lambda$  : 熱伝導率 [W/m/K]  
 $C_p$  : 定圧比熱 [J/kg/K]  
 $D$  : 物質拡散係数 [m<sup>2</sup>/s]

赤字は AFFr で入力として扱う物性値の項目  
(ユーザーサブルーチン利用時を除く)

# AFFr におけるソレー効果の扱い

- ソレー効果のフラグ (&model 変数群)
  - cal\_thermo\_diff = 0 または 1
- 濃度に関する熱拡散係数の設定
  - ユーザーサブルーチンを利用する(理想的な条件で計算する場合)(注)サブルーチン名 USER\_property.f  
変数名 thmo\_diffusivity (1つの係数として扱います)
- 自動設定(複数化学種の場合、後述)

# ソレー効果の解析事例



- 高温壁(上部)と低温壁(下部)の間に混合ガスを充填
- 混合ガスは、水素(50%)と二酸化炭素(50%)から成る
- 高温壁(723K)と低温壁(273K)の温度差 450K

参考:小野直樹ら「温度差のみで流体の成分分離を実現する小型デバイス」  
科学技術振興機構 新技術説明会(スマートQOL)2016

## 混合ガスの物性値の取り扱い(既存機能)

- 気体分子の運動論から、それぞれの化学種の物性値を決定
- 分子間力を考慮したモデル(Chapman, Enskog の理論)を利用
- 混合ガスの場合は、質量分率を考慮する
- Advance/FrontFlow/red では &fluid 変数群で muopt = 'MK' と設定するだけで使える
- それぞれの化学種は &species 変数群で与える

```
&species
name = 'CO2'
weight = 0.044
cp = 850
Lewis = 1.39
ho = -393.522
tref = 298
sigma = 3.941
Eps_K = 195.2
/
```

```
&species
name = 'H2'
weight = 0.002
cp = 14317
Lewis = 0.3
ho = 0
tref = 298
sigma = 2.827
Eps_K = 59.7
/
```

```
&species
name = '化学種名'
weight = 分子量 [kg/mol]
cp = 定圧比熱 [J/kg/K]
Lewis = ルイス数
ho = 生成エンタルピー [J/kg]
tref = 基準温度 [K]
sigma = 衝突直径 [Å]
Eps_K = Lennard-Jones ポテンシャル
```

## 混合ガスの熱拡散係数

- 経験的な組成依存式を使用することができる
  - 参考: K.K.Kuo, Principles of Combustion, 1976

1 ~ N個の化学種から成る混合ガス

$$-2.59 \times 10^{-7} T^{0.659} \left( \frac{M_i^{0.511} X_i}{\sum_{i=1}^N M_i^{0.511} X_i} - Y_i \right) \left( \frac{\sum_{i=1}^N M_i^{0.511} X_i}{\sum_{i=1}^N M_i^{0.489} X_i} \right)$$

M : 分子量

X : モル分率

Y : 質量分率

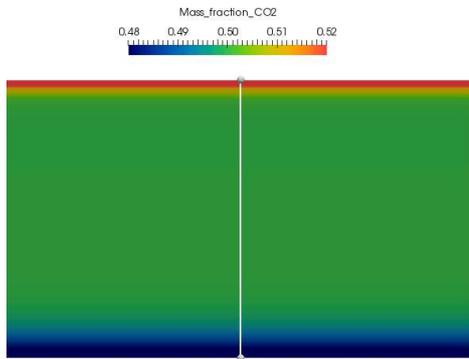
①軽い分子は温度が高い方により速く拡散

②重い分子は温度が低い方により速く拡散

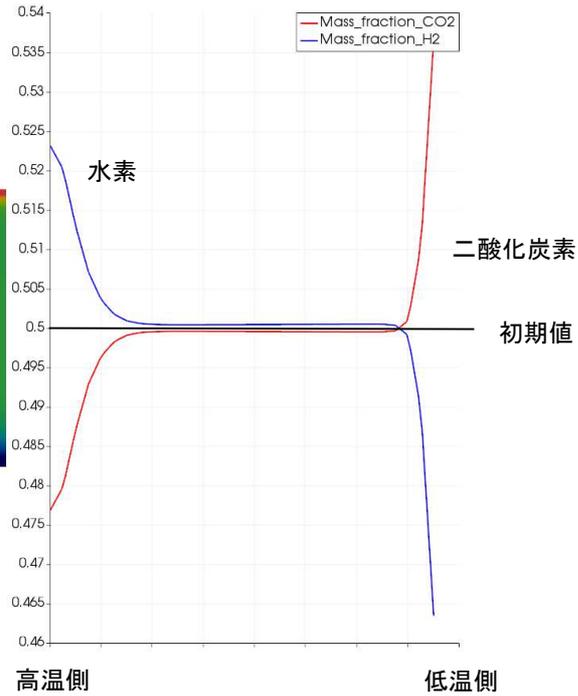
→ 高温側に軽い分子、低温側に重い分子が移動する

# 結果(重力なし)

カラーは二酸化炭素の質量分率

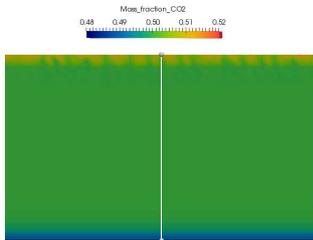


ソーレ効果により、低温側に二酸化炭素が高温側に水素が移動する



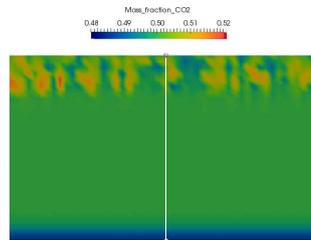
# 結果(重力あり)

カラーは二酸化炭素の質量分率



ソーレ効果により、低温側に二酸化炭素が高温側に水素が移動する

カラーは二酸化炭素の質量分率

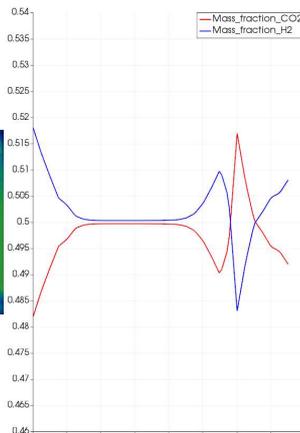
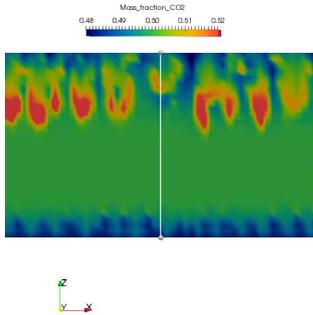


ソーレ効果により、低温側に移動した二酸化炭素が重力の影響を受ける

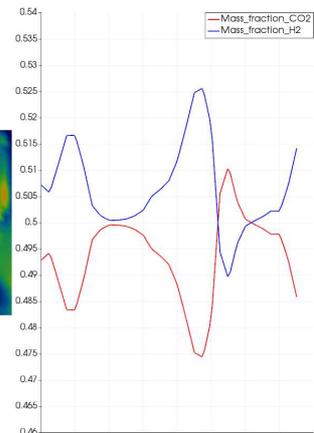
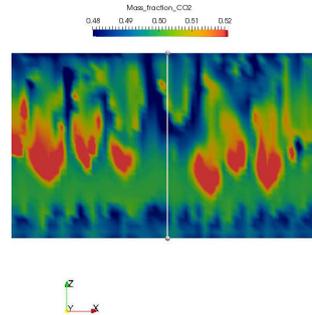


# 結果(重力あり)の続き

カラーは二酸化炭素の質量分率



カラーは二酸化炭素の質量分率



$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (Cu) = \frac{1}{Re Sc} \nabla \cdot (\nabla C) + \frac{Sr}{Re} \nabla \cdot (\nabla T)$$

運動による物質拡散
濃度勾配による物質拡散
温度勾配による物質拡散

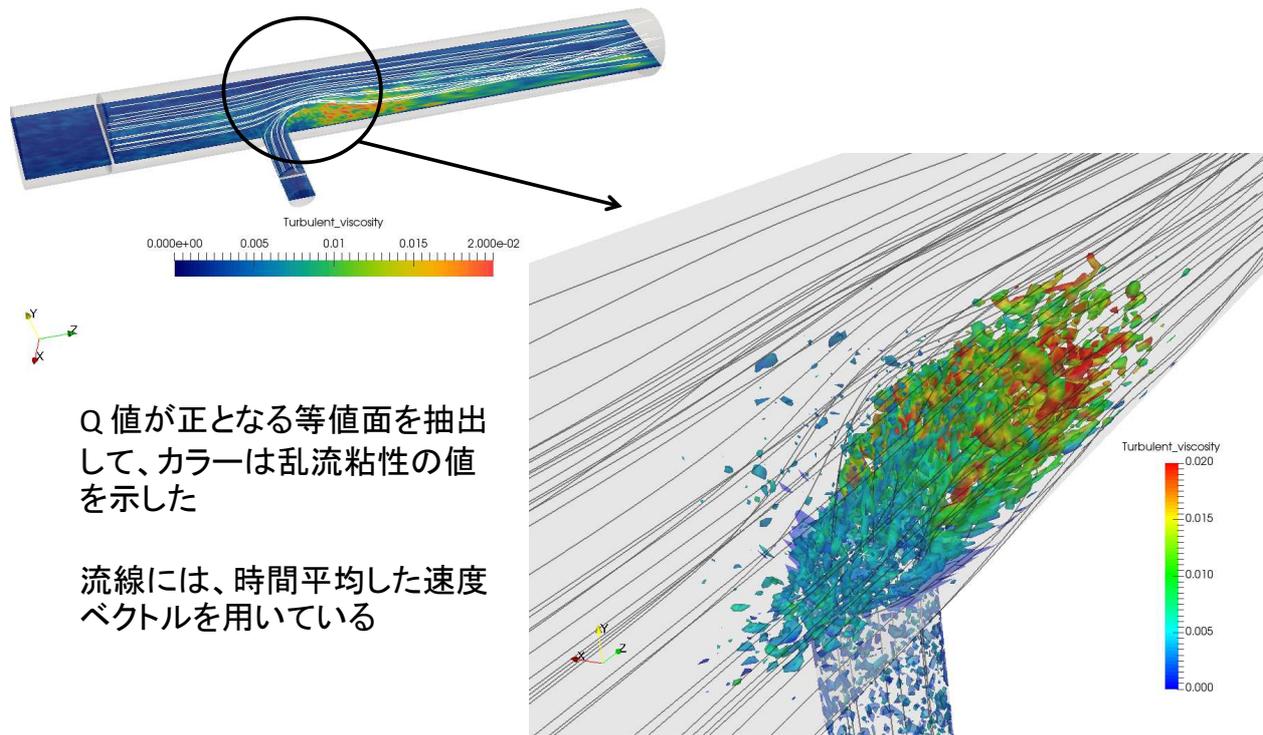
3つの物質拡散が競合した状態にあるが、運動による物質拡散の影響が一番大きい

# 速度勾配テンソルの第二不変量の出力

- LES解析等において、渦を可視化したいときに有用
- まず、渦度ベクトルの流線に相当する渦線を考える
- 流れの中にある渦線によってできる曲面である渦管を可視化すれば良い
- このとき、速度勾配テンソルの第二不変量は、**渦度**と**せん断**の大きさを比較する指標であり、正であれば、渦度の方が強い領域(渦管に相当)となる
- 乱流解析では、しばしばQ値と呼ばれる

$$Q = \frac{1}{2}(\Omega_{ij}^2 - S_{ij}^2) = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{21} \\ D_{12} & D_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D_{22} & D_{32} \\ D_{23} & D_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D_{11} & D_{31} \\ D_{13} & D_{33} \end{vmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix}$$

# 配管の合流部における可視化例



Q 値が正となる等値面を抽出して、カラーは乱流粘性の値を示した

流線には、時間平均した速度ベクトルを用いている

# 乱流モデルの追加について

- ユーザーから要望頂いた3つのモデルの追加予定
- RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation)
  - Realizable k- $\epsilon$  モデル
- SST (Shear Stress Transport)
  - SST-SAS モデル
- LES (Large Eddy Simulation)
  - WALE (Wall Adapting Local Eddy Viscosity) モデル
- モデルの検証に時間がかかるため、リリース当初についてはカスタマイズ版で対応させて頂く可能性があります

# SST モデルとは

- SST = Shear Stress Transport
  - RANS モデルの一種
  - 2 方程式の渦粘性モデルにより乱流拡散を扱う
- 現行の Advance/FrontFlow/red における SST モデル
  - SST k- $\omega$  モデル (RANS)
  - SST-DES モデル (RANS/LESハイブリッド)
- RANS、LES、DES の違いは？
- SST-SAS と SST-DES の違いは？

# RANS、LES、DES の違い

モデル化	流れ場	メッシュサイズより大きい渦	メッシュサイズより小さい渦
RANS	時間平均	直接計算	モデル化
	時間変動	モデル化	
LES	時間平均	直接計算	モデル化
	時間変動	直接計算	
DES	時間平均	RANS で直接計算	モデル化
	時間変動	壁近傍は独自のモデル化 壁遠方は LES 的な直接計算	

- 計算負荷は、LES > DES > RANS の順になる

# DES と SAS の違い

- RANS 領域と LES 領域の切り替えの仕方が違う
- DES (Detached-Eddy Simulation)
  - グリッドスケール(メッシュサイズ)に応じて切り替え
  - メッシュサイズへの依存性が大きい
- SAS (Scale-Adaptive Simulation)
  - グリッドスケールとは違う長さの指標で切り替え
  - メッシュサイズへの依存性が小さい

$$L_{vk} = \frac{\sqrt{S_{ij}^2}}{\left| \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_l} \right|}$$

フォン・カルマン長さスケールを切り替えに用いる

# CGNS 形式への対応

- CGNS とは
  - CFD General Notation System
  - 直訳すると、CFD における一般的な表記法システム
  - 数値流体力学で用いられるデータ形式の定義(CGNS 形式)
  - ソルバーごとに独自の要素を追加する拡張性も含む
- CGNS形式に対応していると良いこと
  - 他の流体ソフトウェアで出力した CGNS 形式のメッシュデータを Advance/FrontFlow/red でそのまま用いることが可能
  - Advance/FrontFlow/red の計算結果をCGNS形式のデータ出力すれば、他の流体ソフトウェアの可視化ツールをそのまま利用することが可能

## 今後の展開

## より多くの方にご利用いただくために

- Windows 版で並列計算への対応を開始(先行対応中)
  - Microsoft-MPI (MS-MPI) を利用
  - Windows 10, Windows Server 2016 で動作確認(それ以外も対応可)
  - ノード内並列に対応(将来、ノード間並列にも対応する予定)
  - ユーザーサブルーチンを利用には、インテルコンパイラが必要です
- フリーの GNU コンパイラにも対応(Linux 版のみ)
- 導入サポートの強化
  - ソフトウェア説明会、ユーザートレーニング、コンサルティングの他にサポートメニューを提供します
  - ソルバー選択として、Advance/FrontFlow/red を考慮しやすい環境の提供を目指します

# サポート強化メニュー

- Advance/FrontFlow/red で利用可能なメッシュ形式への変換
- ベンチマークの実施(内容により有償となります)
- 必要な機能のカスタマイズ(内容により有償となります)
- Windows 版を導入されるお客様の環境にて動作可能なように訪問サポートします
- Linux 版を導入されるお客様のマシン選定(計算機購入)をサポートします
- Linux のコマンド操作に慣れていない方でも計算実行可能なように訪問サポートいたします
- スーパーコンピュータを利用した解析実行についても、計算機へのログインからジョブ実行、データ転送までハンズオンで訪問サポートいたします

# 解析事例の充実

- 機能毎のサンプル事例
  - メッシュデータ、計算制御ファイルをテクニカルサイトで提供します
- 乱流モデル、計算スキームなどの基本的検証事例
  - 品質改善、ソフトウェアのロバスト性の向上
  - 流体解析の学習の場を提供

# 大学・国研との関係強化

- これまでの状況
  - 国研などの研究機関での継続利用
  - 2016年に大阪大学の梶島研究室との共同研究をスタート
    - ソースコードの提供
    - 新しい乱流モデルの開発等の研究成果の反映
  - キャビテーションや燃焼についても共同研究を計画
- 今後の展開
  - 他の大学の研究室などへの導入を進める
  - ソフトウェアの利用者を増やしてユーザーコミュニティを形成
  - 成果をフィードバックする仕組みとして、成果報告会などを開催
  - 産学官の連携に繋げる

# 価格および関連サービスご紹介

営業部 鈴木 照久

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red Ver5.5  
バージョンアップセミナー  
2018年10月11日（木）開催  
アドバンスソフト株式会社

## スーパーコンピューティング・サービス(1)

### ・FOCUSスパコン

\* 計算科学振興財団様所有及び利用申請先

### ・地球シミュレータ(大規模共有メモリシステム UV2000)

\* 海洋研究開発機構様所有及び利用申請先

### ・スーパーコンピュータ「京」

\* 理化学研究所様所有、高度情報科学技術研究機構様利用申請先)

### ◆ 対象ソフトウェア

- 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red
- 気液二相流解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/MP
- 高速流解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/FOCUS
- 構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTR
- 音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise
- 第一原理計算ソフトウェアAdvance/PHASE
- 3次元デバイスシミュレータ Advance/DESSERT

## スーパーコンピューティング・サービス(2)

### ◆ライセンス料金

- ・月単位でのライセンス利用料を設定  
Advance/FrontFlow/red
- ・保守サポートサービス
  - 最新バージョンの使用権
  - E-mailによる問い合わせ対応
- ・**1ジョブあたりの並列数は無制限**

### ◆産業利用コンサルティング・サービス

- ・スパコンでのソフト使用に関する説明
- ・シミュレーション全般のコンサルティング
- ・スーパーコンピュータの利用申請支援  
(ソフトウェアに関する部分の申請書作成支援等)
- ・解析作業代行

別途御見積いたします。  
お気軽にご相談ください。

## アドバンスソフトの開発・解析サービス

お客さまのご要望に応じて科学技術計算ソフトウェアの  
新規開発、機能追加、受託解析等のサービスを行ないます。

### 例えば解析業務の場合



1. 流体・構造・ナノ関連など幅広い分野のソフトウェアを開発し、解析経験豊富な技術者がお客様のご要望をお伺い致します。

2. 最適な解析方法をご提案し、見積仕様書を作成致します。

3. 解析内容、納期、料金等、お客様のご了承が得られましたら、作業を実施致します。

4. 解析結果の可視化をはじめ、評価や考察を行ない、報告書を作成致します。



# 終わりに

アドバンスソフトは、高度な技術力、開発力、人材を武器に、最先端理論を応用した解析シミュレーションソフトウェアを開発・販売しています。受託解析、受託開発、パッケージソフトウェア、コンサルティング等多様なソリューションを通じて、お客様の問題解決に即戦力として貢献します。

お問い合わせ先：鈴木またはご担当営業まで  
TEL:03-6826-3971 FAX:03-5283-6580  
E-mail:office@advancesoft.jp



**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。

Advance/FrontFlow/red は、東京大学生産技術研究所計算科学技術連携研究センターが実施した文部科学省 IT プログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクト、および、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」プロジェクトの成果（ソフトウェア）をアドバンスソフト株式会社が商品化したものです。アドバンスソフトはこれらのプロジェクトに参加し、ソフトウェアの開発を担当しましたが、その成果を独自に改良して商用パッケージソフトウェアとし、販売保守を行っております。