

# 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red Ver. 5.5 ご紹介セミナー

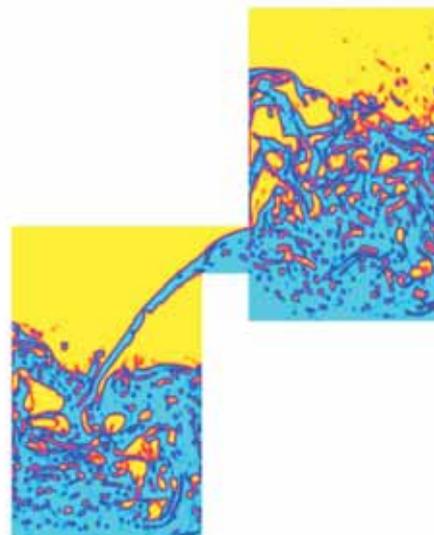
2019年11月26日(火)開催

## 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	
13:40~14:10(30分)	<b>ユーザー様ご講演①</b> .....	5
	<b>「数値解析による調節弁のキャビテーション・エロージョンの発生予測」</b> アズビル株式会社 緋田 英明 様	
14:10~14:40(30分)	<b>ユーザー様ご講演②</b> .....	※資料は非公開です
	<b>「蒸気タービン向蒸気弁に関する CFD の活用」</b> 東芝エネルギーシステムズ株式会社 大石 勉 様	
14:40~15:20(40分)	流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red のご紹介 .....	17
	主任研究員 高橋 邦生	
15:20~15:30(10分)	休憩	
15:30~16:10(40分)	流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 機能開発のご紹介.....	41
	研究員 大野 修平	
16:10~16:20(10分)	価格および関連サービスのご紹介、質疑応答 .....	61
	※資料は一部非公開です 営業部 鈴木 照久	

memo

 Advance Soft







# アドバンスソフト株式会社のご紹介

第3事業部 事業部長 大西陽一

流体解析ソフトAdvance/FrontFlow/red  
Ver.5.5 ご紹介セミナー  
2019年11月26日 (木)  
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  
TEL: 03-6826-3970  
FAX: 03-5283-6580

設立 2002年(平成14年)4月24日

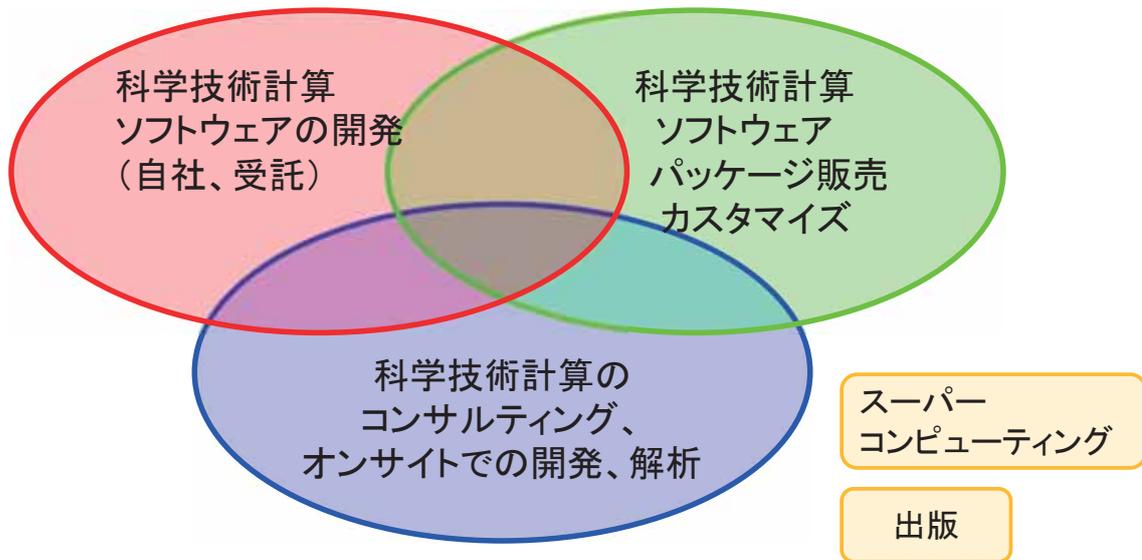
資本金 3,724万円

社員数 102名(2019年11月26日時点)

事業部	部	事業内容
第1事業部	ナノシミュレーション研究開発センター	先端的なナノシミュレーション事業および関連する国プロを企画・推進
	技術第1部	ナノ材料の第一原理計算ソルバー開発、分子動力学計算・量子化学計算の受託
	技術第2部	プリポストシステム開発、連成システム開発、構造・音響解析などのエンジニアリング、構造解析ソルバーの開発など
	技術第6部	次世代TCADシステムの開発、および半導体解析を中心とした電磁分野
	技術第8部	材料設計統合システムの開発、および、関連する先端的なナノ分野の事業を企画推進
第2事業部	技術第4部	燃焼・爆轟に係る流体解析ソルバー開発、混相流に係る次世代流体解析システム開発、流体解析ソルバーの受託開発
第3事業部	技術第3部	乱流、燃焼、化学反応等に係る次世代流体システム開発など
	技術第7部	J-PARCIに係わるプロジェクトの実施、中性子に関する実験支援サービス、AI、制御システム開発およびモデルベース設計に関する事業
第4事業部	技術第5部	シビアアクシデントおよびPRAを中心とした原子力安全解析
	技術第9部	原子力・エネルギー利用に係る安全性解析など
関西支店		西日本地区での活動拠点。ナノシミュレーションを中心としたサービスを提供
研究開発部門	研究開発センター	地球科学を中心とした事業を企画・推進します。
	熱流動エンジニアリングセンター	原子力、管路系、気液二相流等の熱流動エンジニアリング事業
	リスク研究開発センター	原子力分野に関するPRAを中心としてリスク研究開発に係る事業
総合企画部		コンサルティングサービスの提供 解析サービス、実験支援サービスの提供
営業本部	営業部	お客様窓口

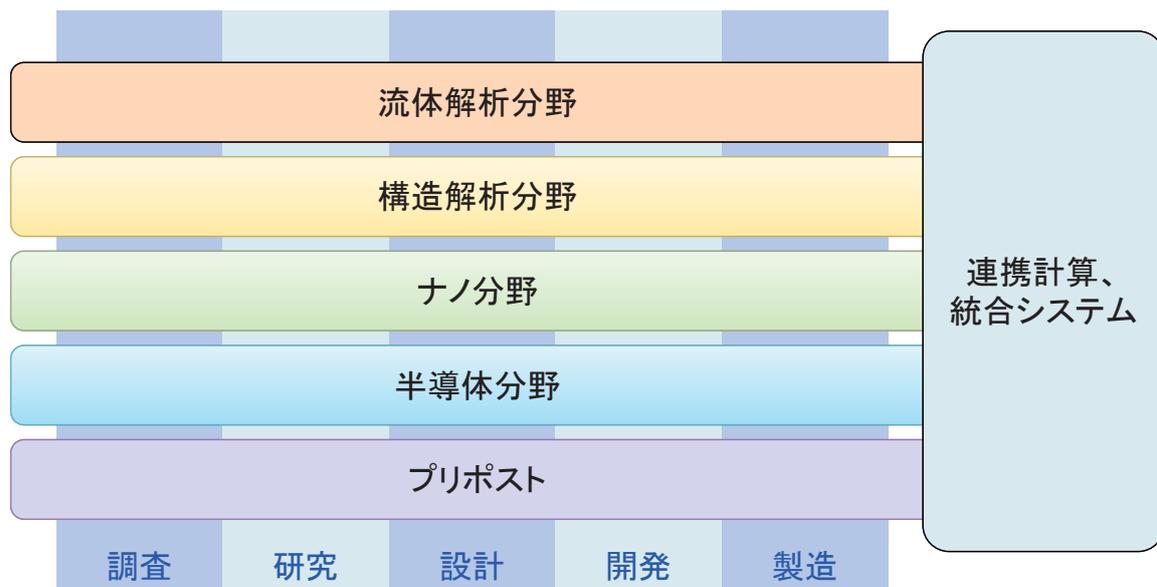
# 事業内容

## アドバンスソフトがご提供するサービス



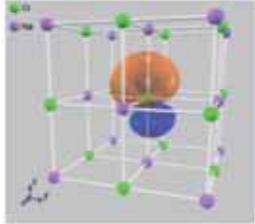
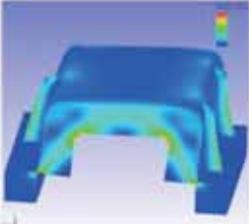
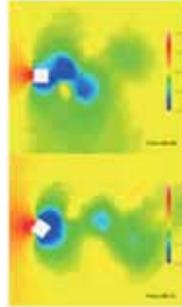
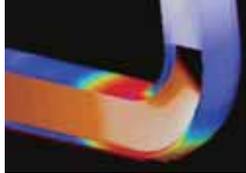
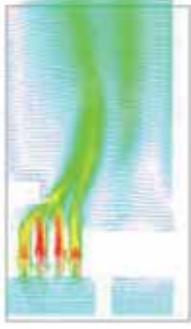
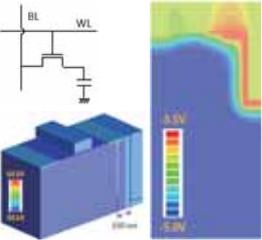
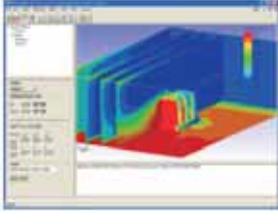
科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。

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

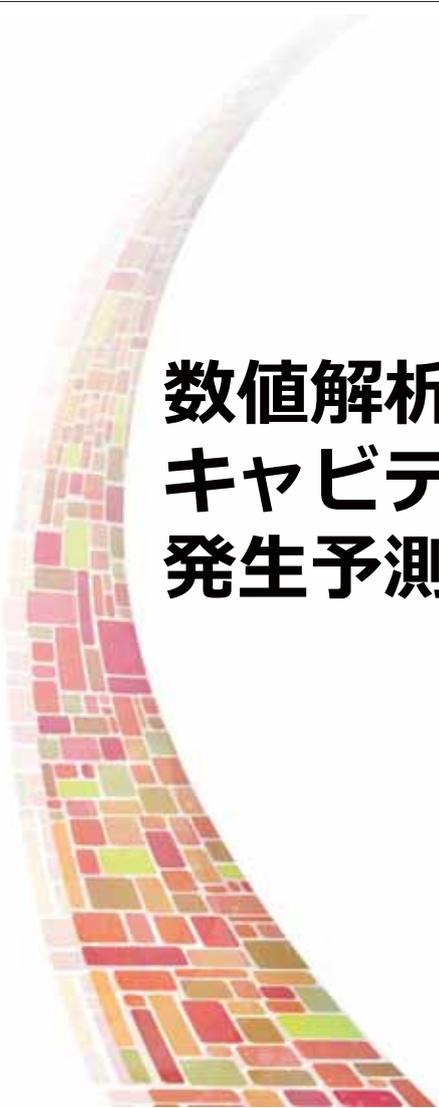
# facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

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

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







# 数値解析による調節弁の キャビテーション・エロージョンの 発生予測

2019/11/26  
アドバンスソフトセミナー

アズビル株式会社 バルブ商品開発部

緋田 英明

**azbil**

© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

## 目次



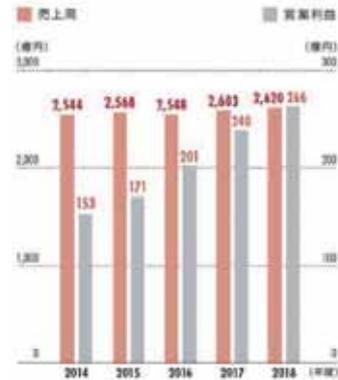
1. azbilグループ紹介
2. 調節弁とキャビテーション  
・エロージョン
  - 2-1. 調節弁とは
  - 2-2. 調節弁とキャビテーション
  - 2-3. キャビテーションとエロージョン
  - 2-4. 解析の目的
3. CFDによるアングル弁の解析
  - 3-1. CFDモデルと条件
  - 3-2. キャビテーションCFD結果
4. エロージョン指標  
のシミュレーション
  - 4-1. エロージョン指標
  - 4-2. エロージョン指標の比較
  - 4-3. エロージョン指標を使用した予測
5. 結論

# azbilグループ概要

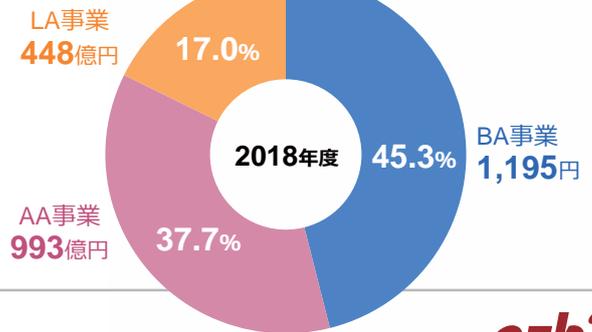
「人を中心としたオートメーション」の理念のもと、計測と制御の技術で人や社会の安心、快適、充足感の実現や地球環境への貢献を目指しています。

- 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  
5,151人（連結：9,607人）  
\*2019年3月31日現在

## 業績推移



## セグメント別売上高



# 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

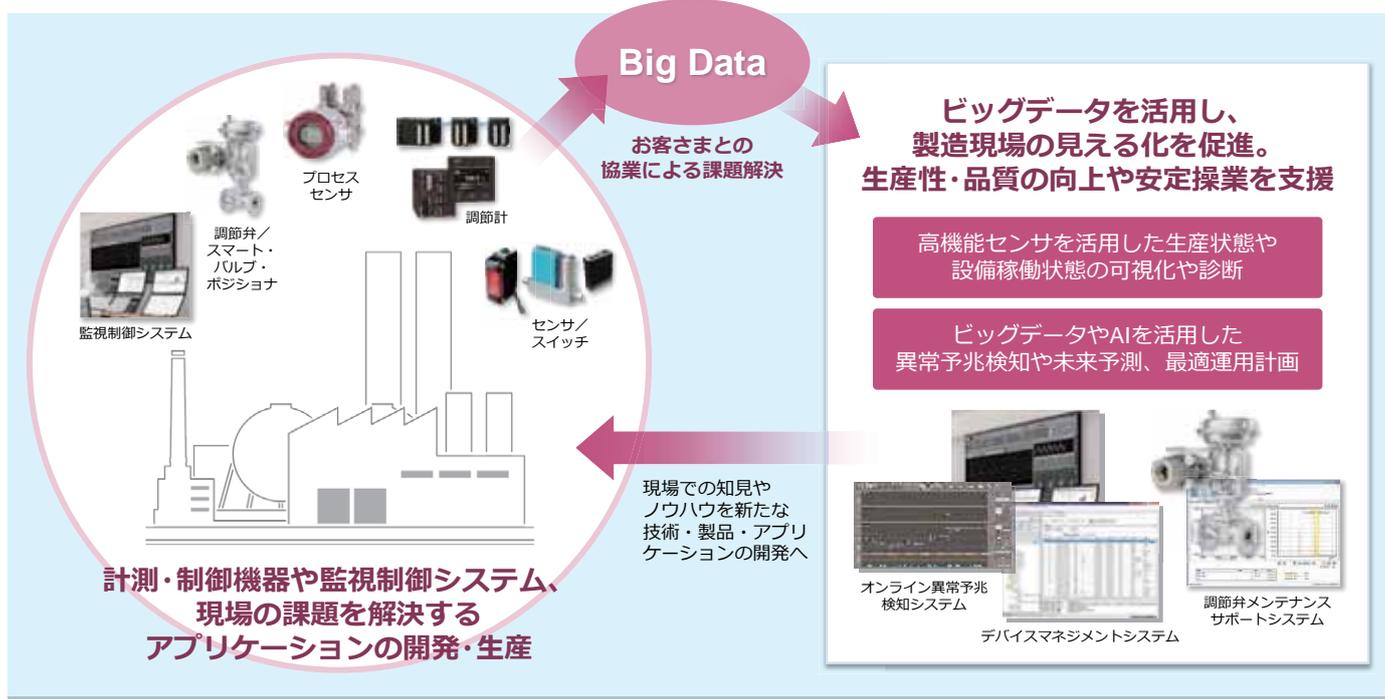
## ライフオートメーション事業

- ・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



# 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。



© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

5

azbil

## 2. 調節弁とキャビテーション・エロージョン

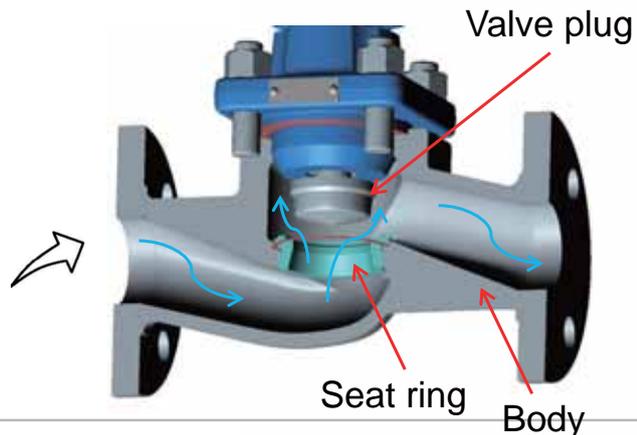
- 2-1. 調節弁とは
- 2-2. 調節弁とキャビテーション
- 2-3. キャビテーションとエロージョン
- 2-4. 解析の目的

© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved. azbil

## 2. 調節弁とキャビテーション・エロージョン

### 2-1. 調節弁とは

- 工場や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



© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

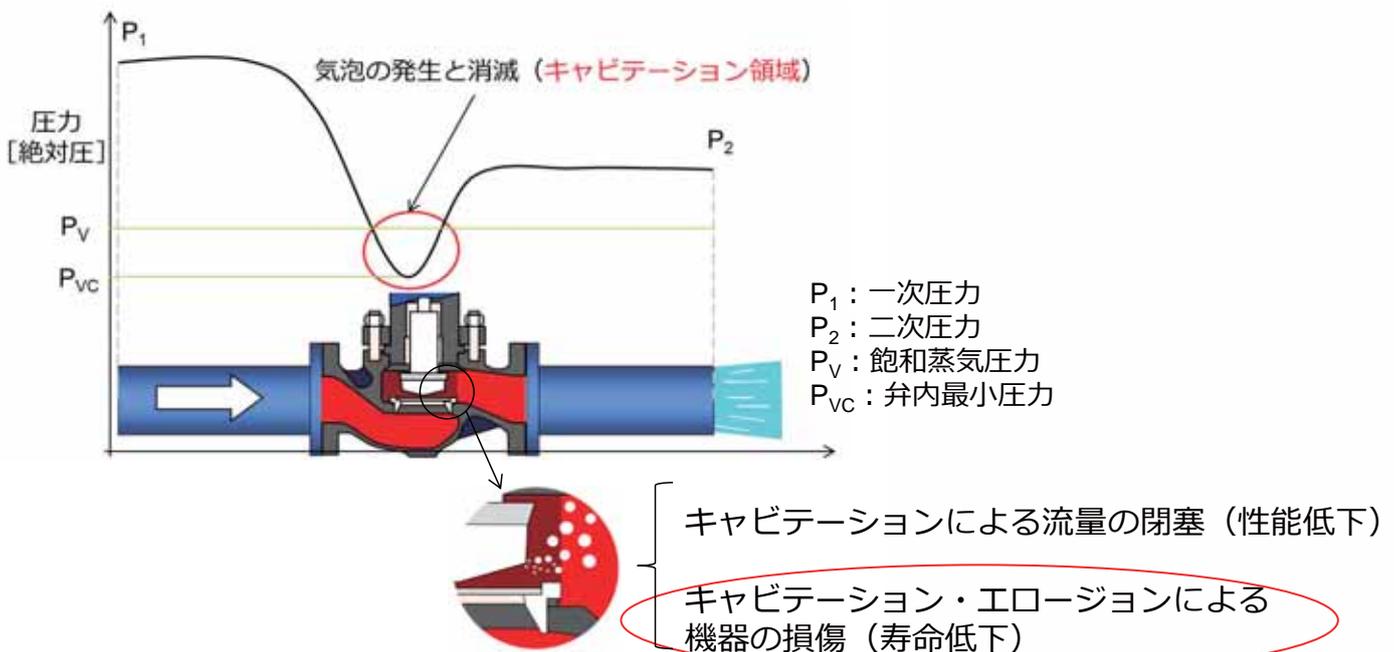
7

azbil

## 2. 調節弁とキャビテーション・エロージョン

### 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



© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

8

- 8 -

azbil

## 2. 調節弁とキャビテーション・エロージョン

### 2-3. キャビテーション・エロージョン

キャビテーションにより発生した気泡が崩壊する際に、  
高圧のマイクロジェットが発生する

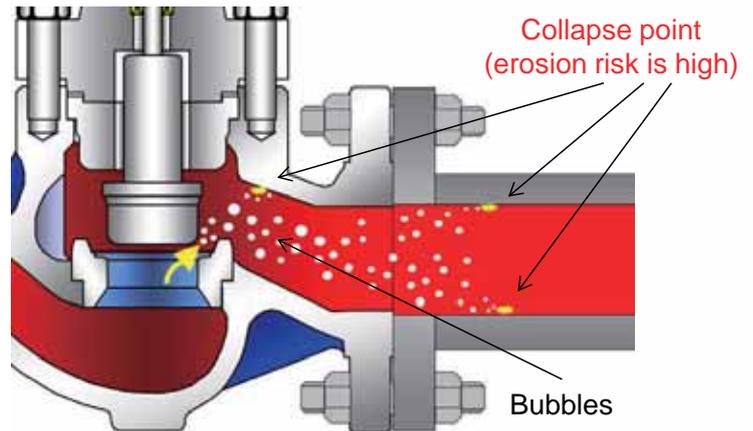
壁面近傍で崩壊が長期間繰り返されると、調節弁に様々な問題が起きる  
(例：性能低下、締切困難)

- キャビテーション・エロージョンの例
- キャビテーション・エロージョン

Valve body



Valve plug

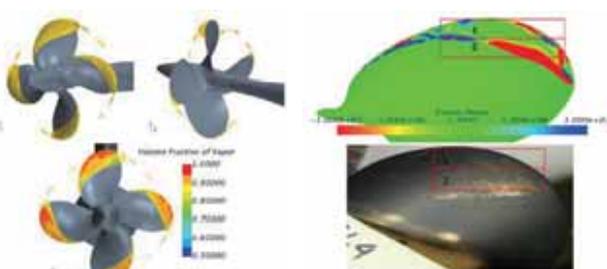
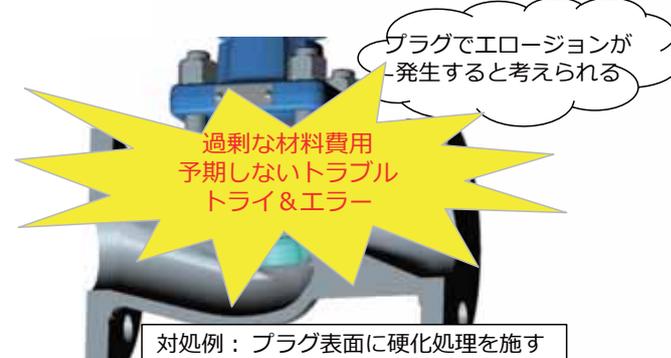


© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

## 2. 調節弁とキャビテーション・エロージョン

### 2-4. 解析の目的

- CFDによるエロージョン発生予測

船舶プロペラ、ポンプブレード	調節弁
<p>CFDを使用したキャビテーション・エロージョンの研究が行われている</p>  <p>Onur Usta, Batuhan Aktas et al.(2017)</p>	<p>内部流れのエロージョン予測 流れの状態から(流体の種類, 差圧, 温度, ..) ⇒経験と実験</p>  <p>プラグでエロージョンが発生すると考えられる</p> <p>過剰な材料費用 予期しないトラブル トライ&amp;エラー</p> <p>対処例：プラグ表面に硬化処理を施す</p>

- 解析の目的

調節弁のキャビテーション・エロージョンの発生予測

© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

## 3. CFDによるアングル弁の解析

### 3-1. CFDモデルと条件

### 3-2. キャビテーションCFD結果

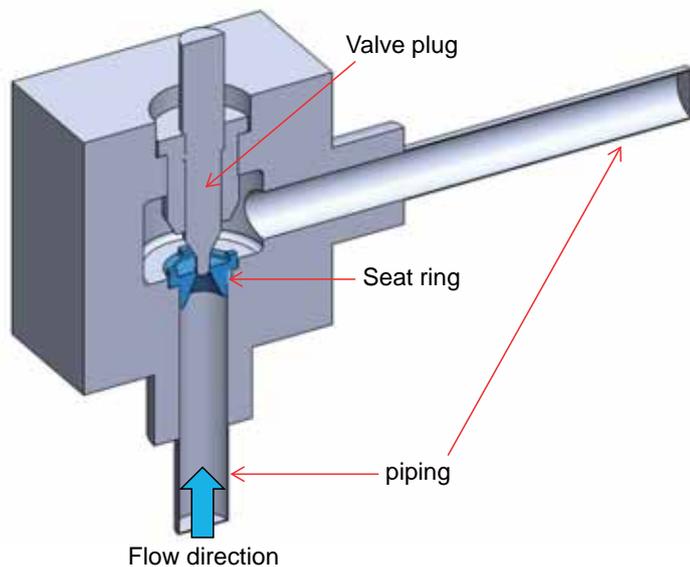
© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved. **azbil**

## 3. CFDによるアングル弁の解析

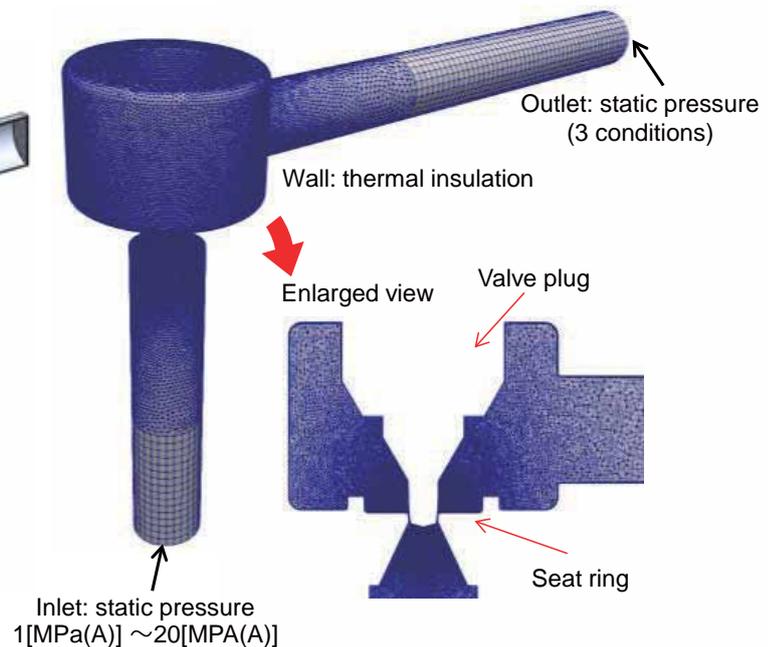
### 3-1. CFDモデルと条件

#### ● モデル

アングル弁(1.5B)



#### ● メッシュと境界条件



### 3. CFDによるアングル弁の解析

- 解析条件

Software	Advance/FrontFlow/Red Ver5.4	
Turbulent model	Large Eddy Simulation (LES)	
Fluid	Water (25°C, compressible)	
Number of cells	Travel 100 %	6,723,867
	Travel 90 %	7,899,316
Advection term discrete scheme	Momentum	2 <sup>nd</sup> order upwind
	Energy	1 <sup>st</sup> order upwind
Low of the wall	Spalding's low	
Simulation time step $\Delta t$ [s]	$2 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$	
Number of parallels	288	

- 境界圧力条件

Cavitation number $\sigma$	$P_U$ [kPa (abs)]	$P_D$ [kPa (abs)]	Travel [%]
1.13	1100	128.7	100

$\sigma$ : キャビテーション数  $\left( \sigma = \frac{P_U - P_V}{P_U - P_D} \right)$

### 3. CFDによるアングル弁の解析

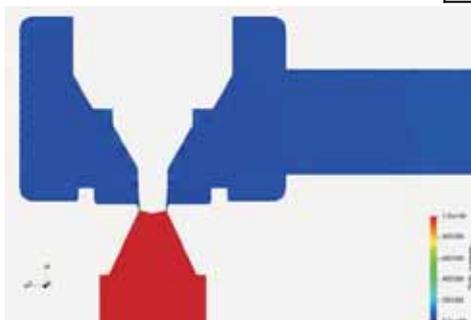
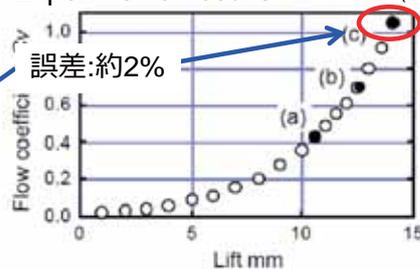
#### 3-2. キャビテーションCFD結果

- CFD結果

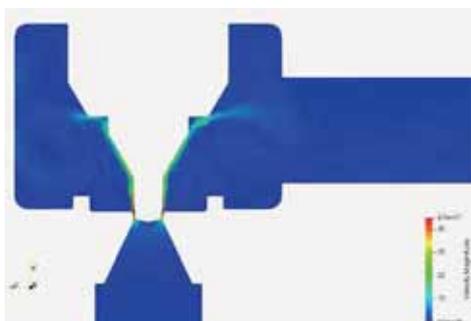
圧力

容量係数 $C_v$ (CFD)	1.07
---------------------	------

Experimental results S.Yuzawa (2003)



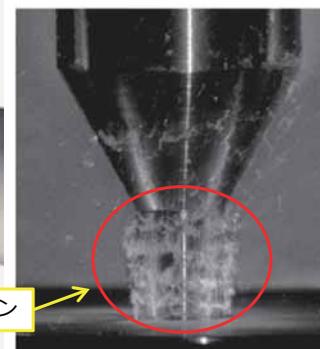
速度



ボイド率 (0.05)



円環状キャビテーション



S.Yuzawa (2003)

CFDと実験のキャビテーション発生は似ている

## 4. エロージョン指標のシミュレーション

- 4-1. エロージョン指標
- 4-2. エロージョン指標の比較
- 4-3. エロージョン指標を使用した予測

© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved. **azbil**

## 4. エロージョン指標のシミュレーション

### 4-1. エロージョン指標

キャビテーション・エロージョンの度合いを示す物理モデル  
船舶用プロペラやポンプの研究ではこれらの指標が使われており、  
エロージョン評価に使用できることを確認されている

エロージョン指標 1~4

$$\text{Index1} : \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \alpha \cdot \max \left[ \frac{\partial P}{\partial t}, 0 \right] dt$$

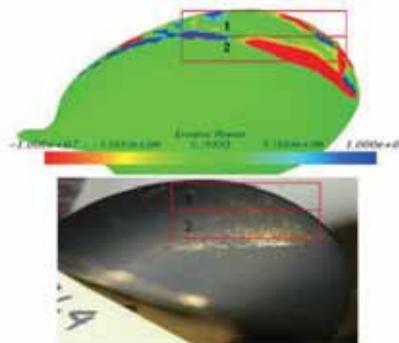
$$\text{Index2} : \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \alpha \cdot \max [P - P_v, 0] dt$$

$$\text{Index3} : \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \max \left[ -\frac{\partial \alpha}{\partial t}, 0 \right] dt$$

$$\text{Index4} : \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \max [P - P_v, 0] \cdot \max \left[ -\frac{\partial \alpha}{\partial t}, 0 \right] dt$$

Erosion result and erosion indexes

Onur Usta, Batuhan Aktas et al.(2017)

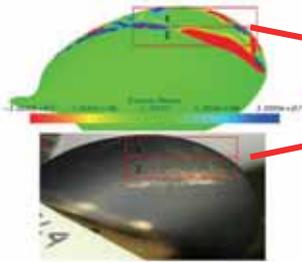


# 4. エロージョン指標のシミュレーション

## 4-2. エロージョン指標の比較

- CFDを使用したキャビテーション・エロージョンの予測

### 1. エロージョン発生領域の予測



CFDと実験のエロージョン発生面を比較

### 2. エロージョン発生の大きさの閾値を決定 (4-3に示す)

- 境界条件

	Cavitation number $\sigma$	$P_U$ [MPa (abs)]	$P_D$ [MPa (abs)]	Travel [%]
Case 1	1.058	20	1	90
Case 2	1.041	20	0.8	

# 4. エロージョン指標のシミュレーション

- Case.1

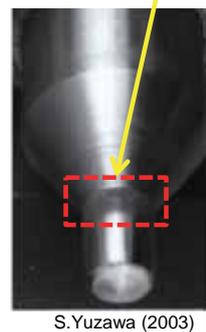
Index number	Index 1	Index 2
CFD analysis		

Index number	Index 3	Index 4
CFD analysis	 Index3はエロージョンが発生していない領域で大きい値	

	$P_U$ [MPa (abs)]	$P_D$ [MPa (abs)]	Travel [%]
Case 1	20	1	90

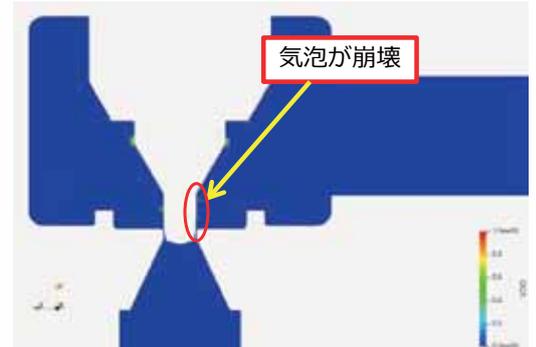
エロージョン領域

実験結果

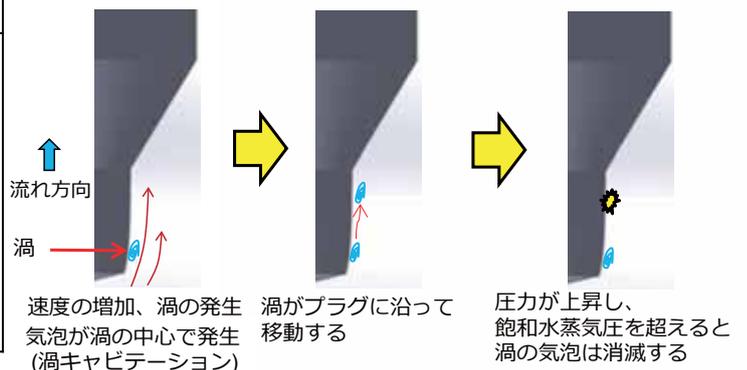


S.Yuzawa (2003)

ボイド率



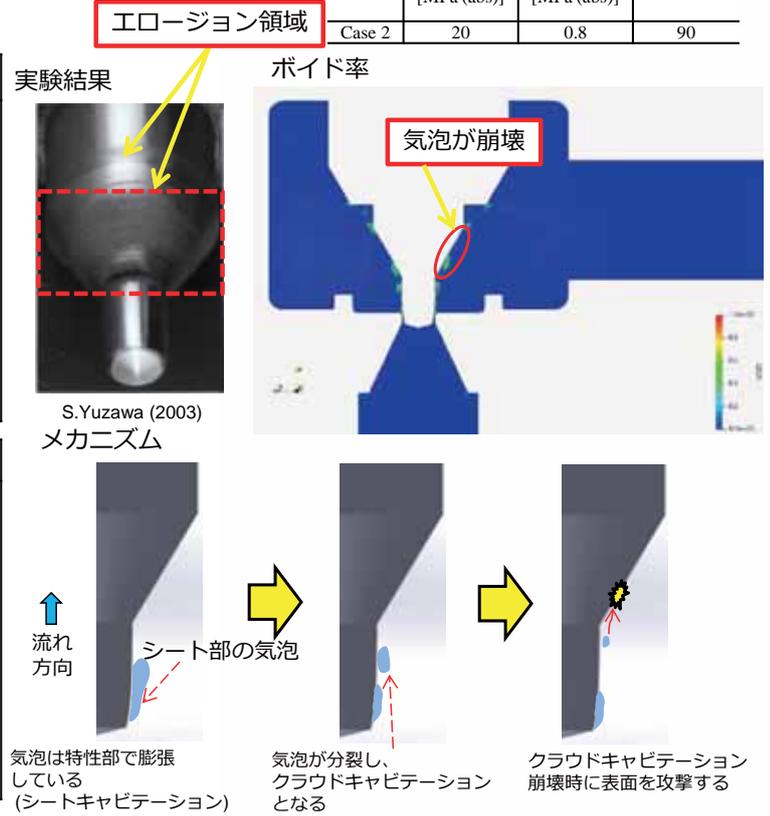
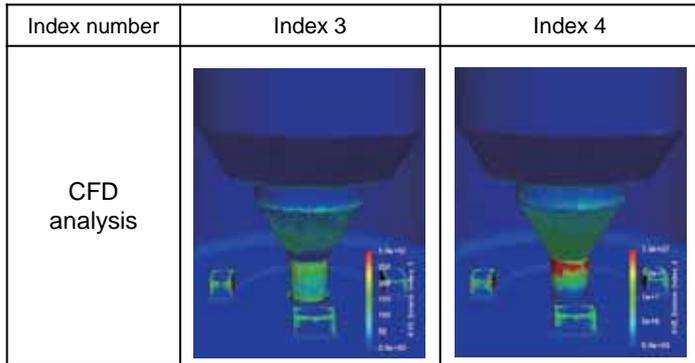
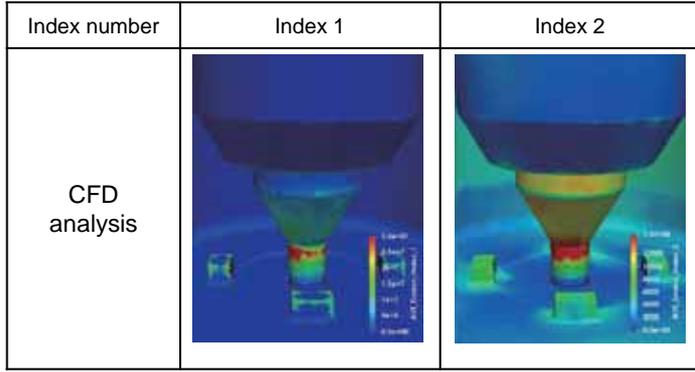
メカニズム



# 4. エロージョン指標のシミュレーション

## ● Case.2

	$P_U$ [MPa (abs)]	$P_D$ [MPa (abs)]	Travel [%]
Case 2	20	0.8	90



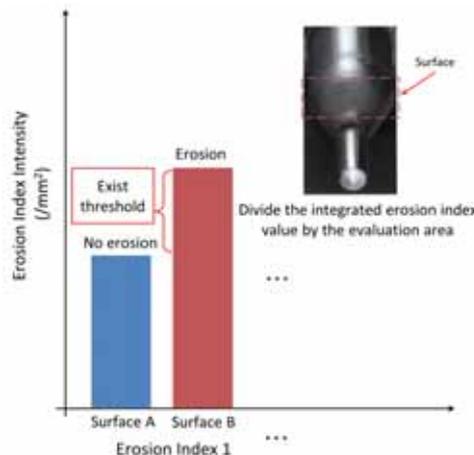
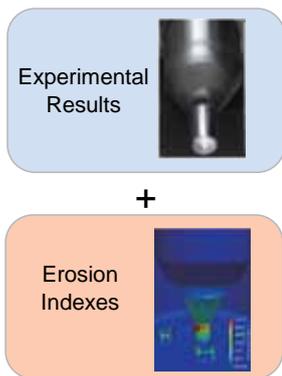
# 4. エロージョン指標のシミュレーション

## 4-3. エロージョン指標を使用した予測

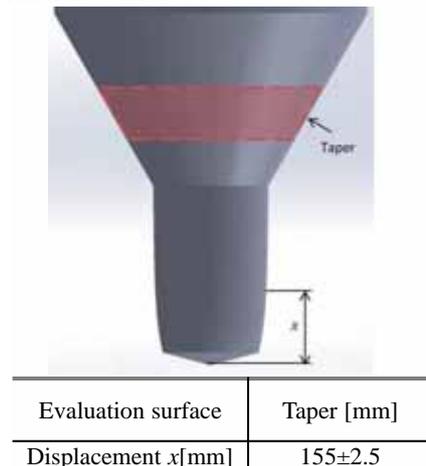
### ● CFDを使用したキャビテーションエロージョンの予測

1. エロージョン発生領域の予測 (4-2.の方法で予測を行う)
2. エロージョン発生の大きさの閾値を決定

Image



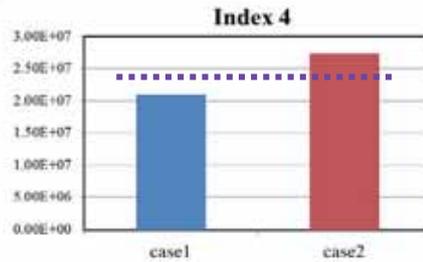
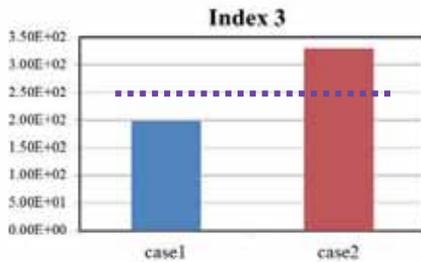
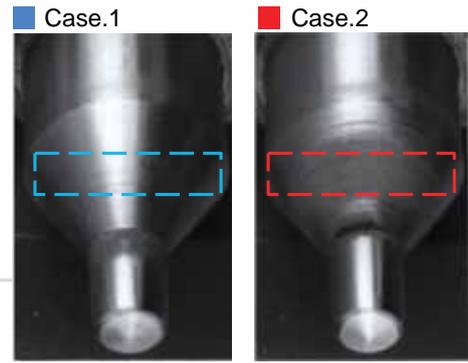
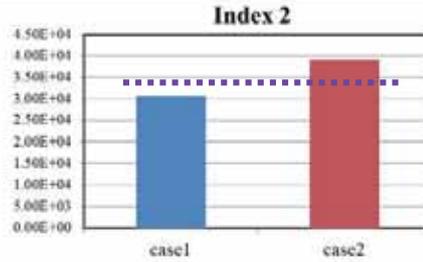
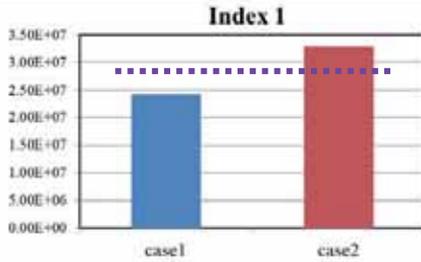
Evaluation surface



## 4. エロージョン指標のシミュレーション

### ● エロージョン指標の値

エロージョン発生：無  有 



エロージョンが発生した領域において、指標の値も大きくなる



case1とcase2の値の間に閾値を決定することで、エロージョン発生を予測できる

## 5. 結論

1. 数値解析結果からボイド率の変化を可視化し、プラグ表面のエロージョン発生のメカニズムを確認できた
2. エロージョン指標1,2,4はエロージョン発生領域の予測に有効的である
3. エロージョン指標の大きさを実験結果と比較することで、テーパ部のエロージョン発生の閾値を決定することができた

### ● 今後の展望

より広範囲に適用でき、正確なエロージョンの発生を予測するため、他のキャビテーションモデル、エロージョン指標を検討する

***azbil***

Human-centered automation

© 2018 Azbil Corporation. All rights reserved.

# 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 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

ご紹介セミナー

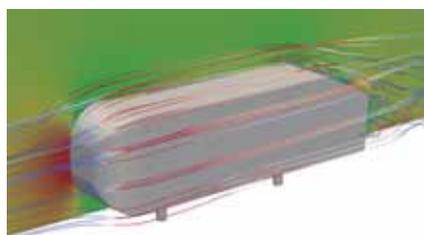
2019年11月26日（火曜日）

アドバンスソフト株式会社

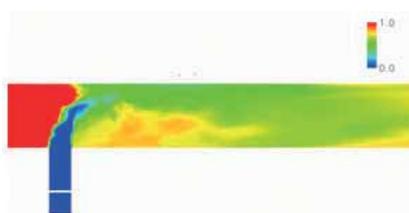
## Advance/FrontFlow/red とは

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

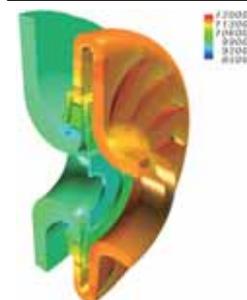
空力



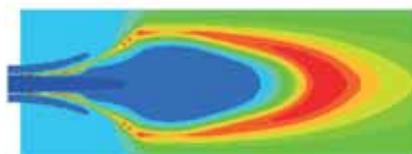
温度



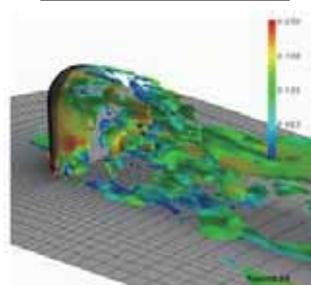
回転系



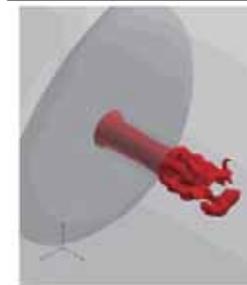
燃焼



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 Ver5.5の機能①

項目	機能詳細
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 $k-\epsilon$ モデル / 高レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデル / RNG $k-\epsilon$ モデル / Chen $k-\epsilon$ 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 Ver5.5の機能②

項目	機能詳細
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 / 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

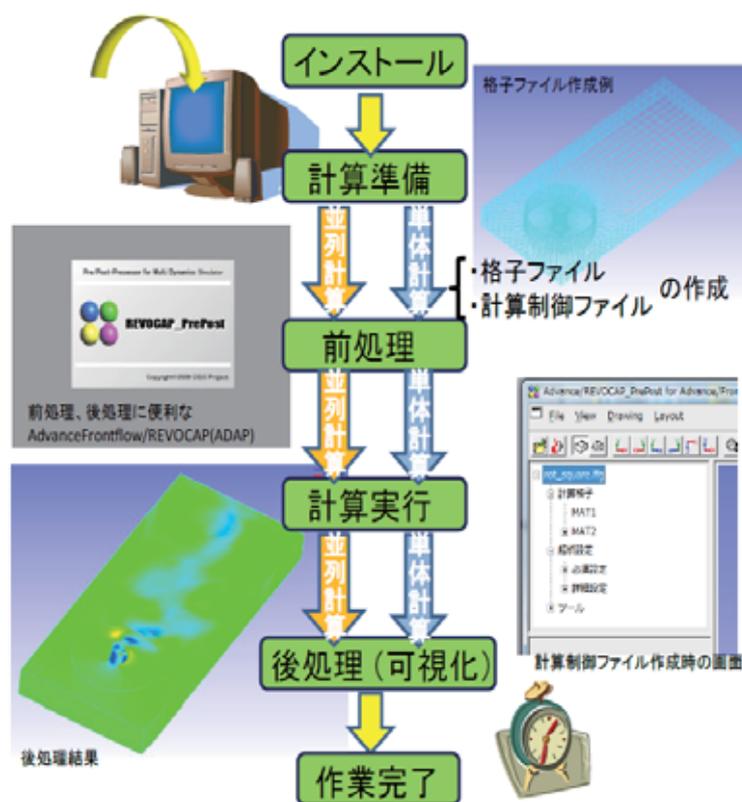
## Advance/FrontFlow/red Ver5.5の機能③

項目	機能詳細
素反応計算ソルバー	Operator Splitting Method / ODE(常微分方程式)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/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 Ver5.5の動作環境

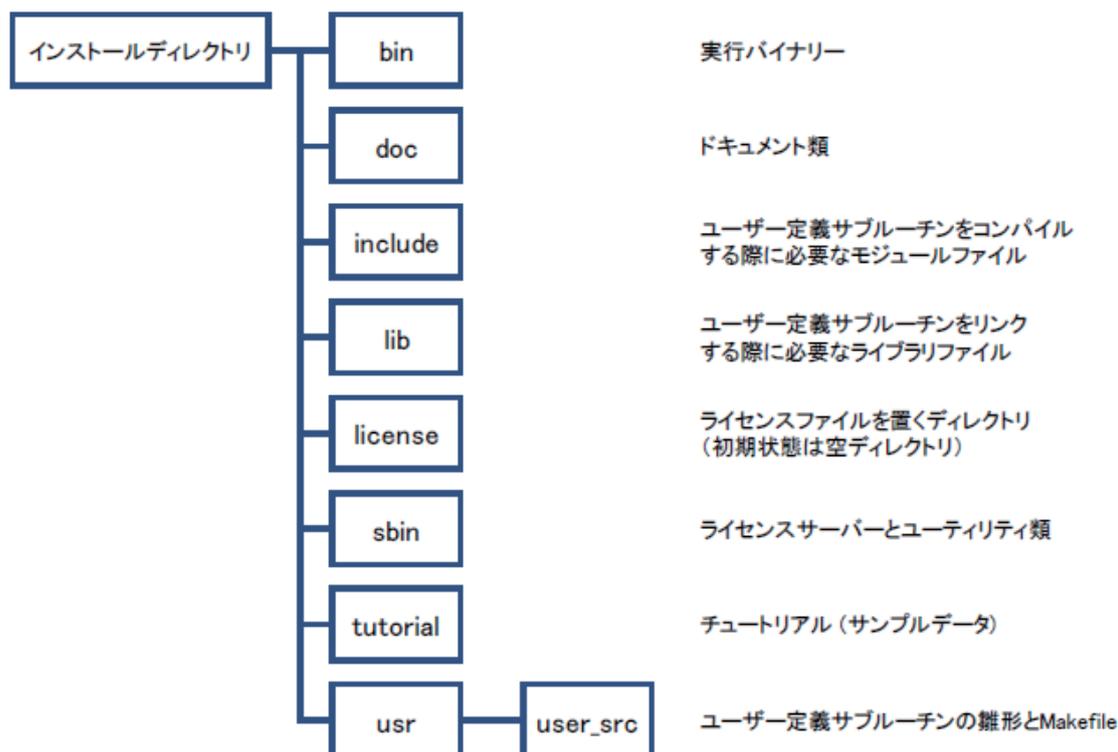
OS	① Linux: Red Hat Enterprise Linux 7.x, 6.x, 5.x ② Linux: CentOS 7.x, 6.x, 5.x ③ Windows 10 ④ Windows 2016 server 他の OS についても対応実績がありますので、ご相談ください
メモリ	100万~400万節点の解析では 16GB のメモリが必要
ハードディスク	計算規模や計算結果の保管の状況によって異なる 250GB 以上を推奨、インストール時には 800MB 程度が必要
MPI ライブラリ	① Intel MPI (Ver. 2.0 以上) ② MPICH1 (Ver. 1.2.7p1) 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 !温度計算はしない
/

&time
  start = -1
  end = 200
  flowcon = 1
  toltime = 0.001
/
...

```

変数群

変数群名

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

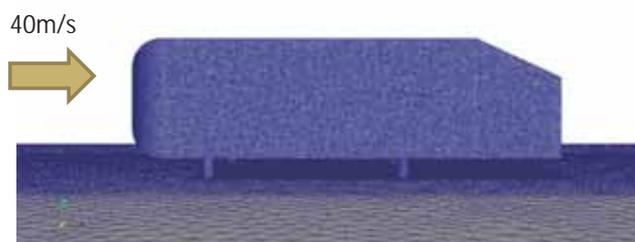
文字列の入力は'（アポストロフィー）で囲んでください。

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

# 解析事例(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

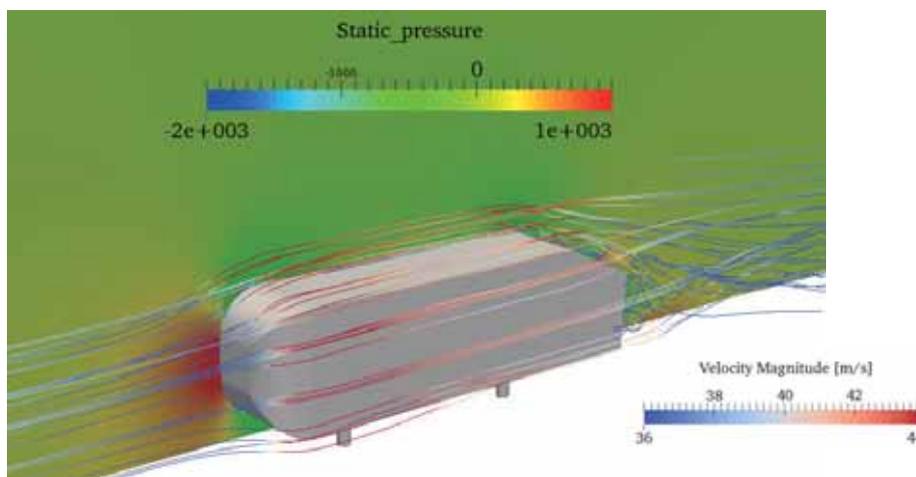
### 使用計算機

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

# 解析結果(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

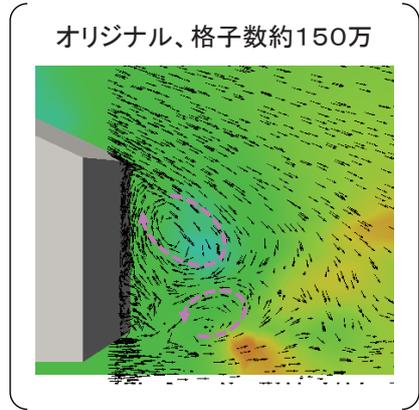
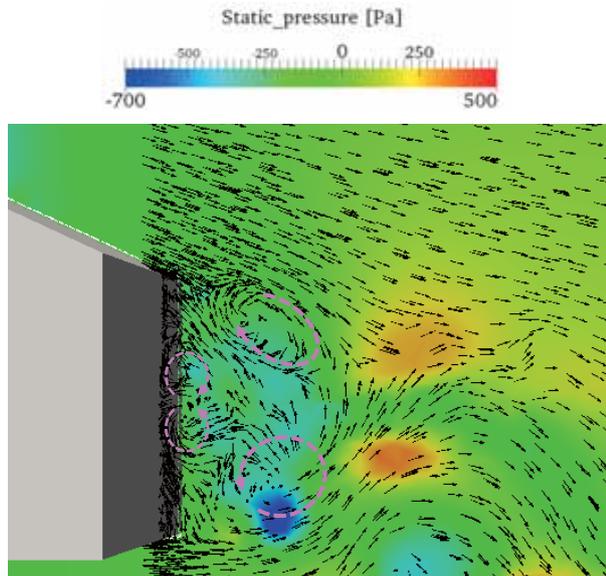


- 節点数約1億のモデルでも解析可能。
- 可視化はリファイン前のモデルで軽量化。

# 解析結果(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、可視化はオリジナル)

FX10で計算

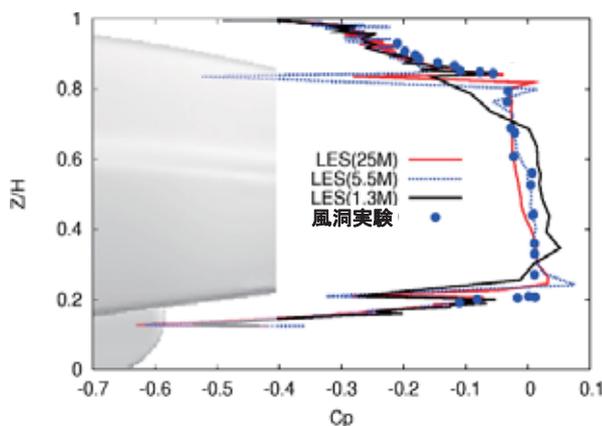


粗い可視化でも非定常渦をより明確にとらえることができる

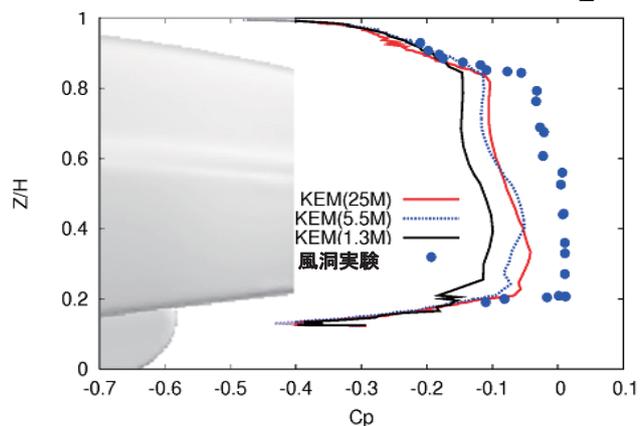
# (参考) 車体背面の圧力係数の分布

[解析結果]

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



LES (標準Smagorinsky)



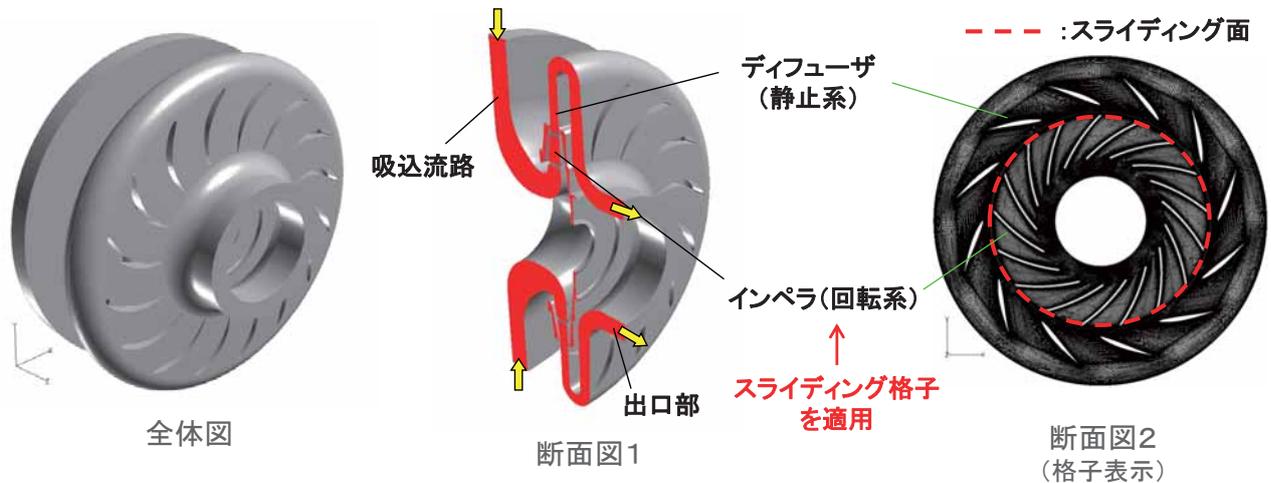
RANS (k-ε) モデル

- 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

# 解析事例(2)

## 遠心圧縮機(回転系を含むモデル)

[検証モデル、検証内容] (国研)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

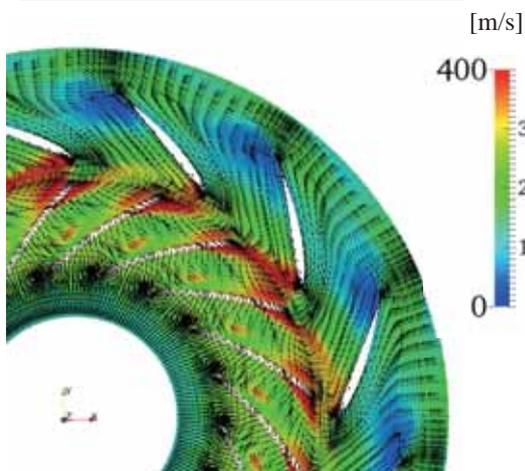
### 解析条件

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

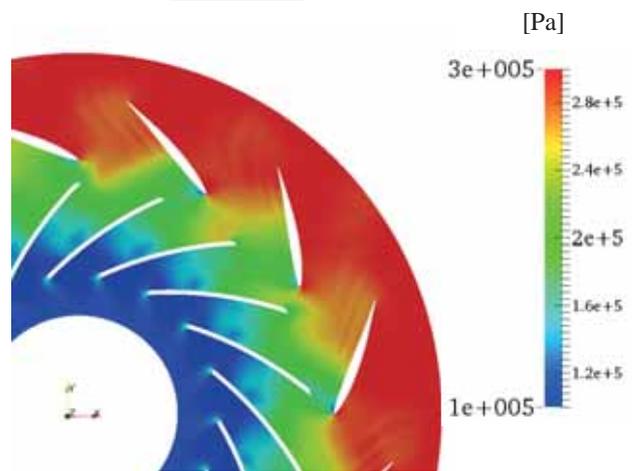
# 解析結果(2)

UV2000で計算

### 速度ベクトル&速度絶対値分布



### 圧力分布

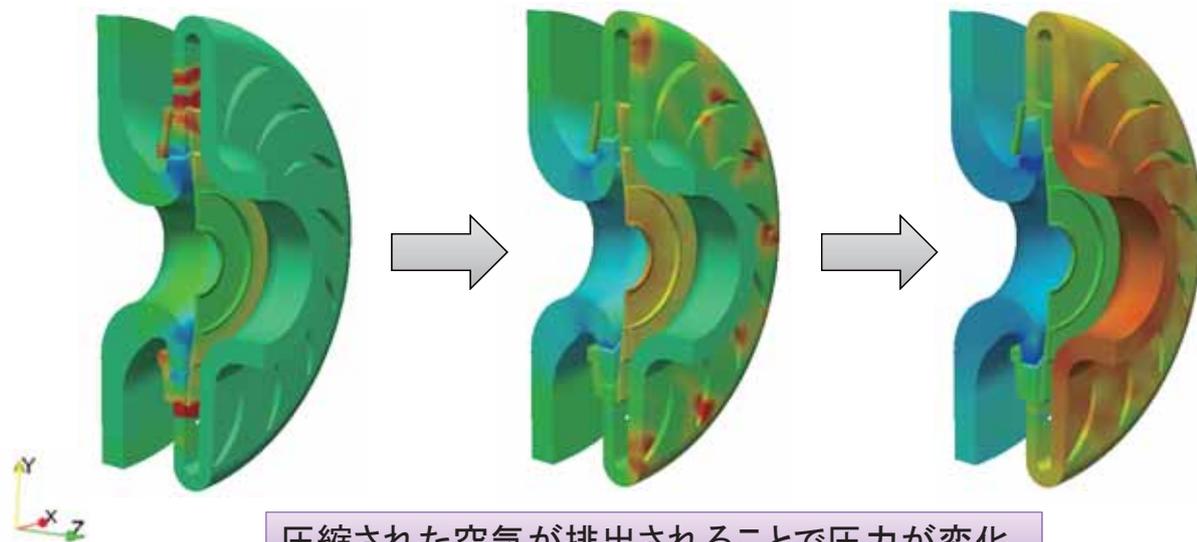


- 回転系を含んだモデルでも高速に実行できる。
- 共有メモリ型・分散メモリ型どちらの計算機でも高並列処理が可能。

# 解析結果(2)

UV2000で計算

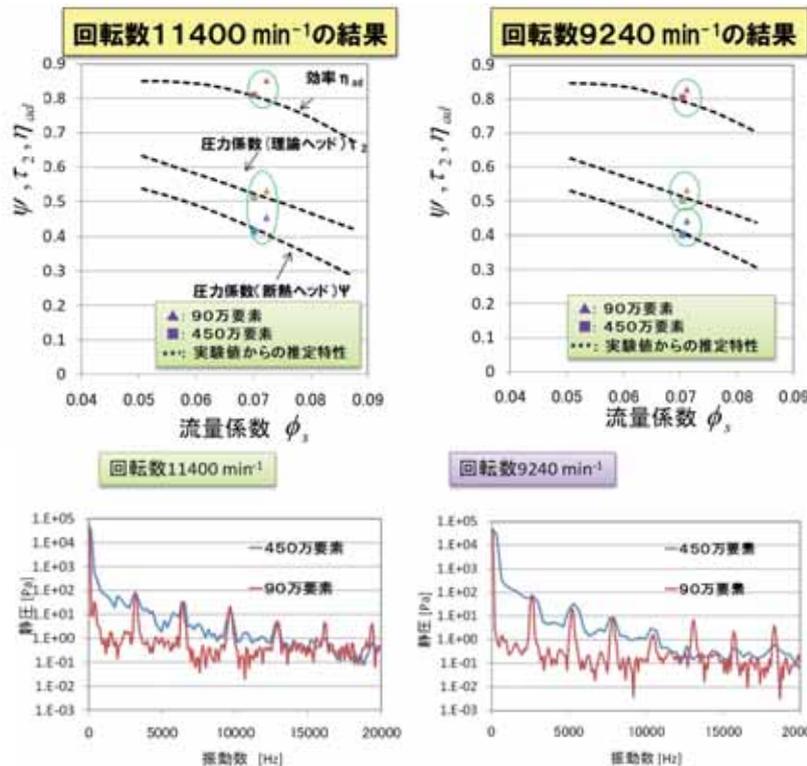
圧力分布



圧縮された空気が排出されることで圧力が変化

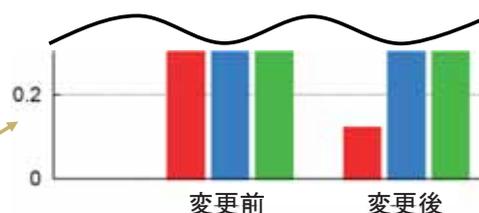
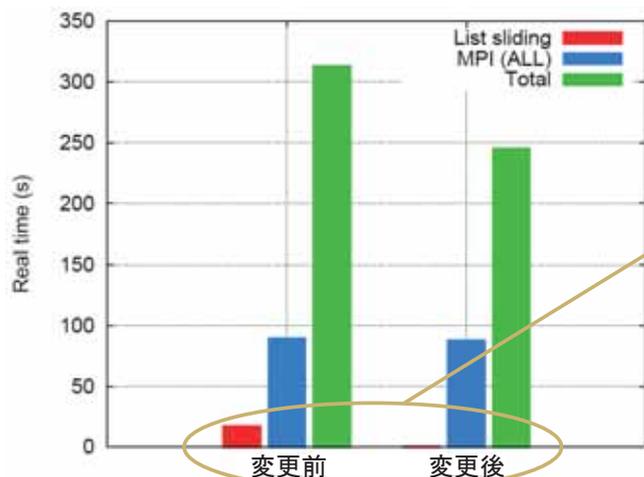
# (参考) 実験値からの推定特性との比較

[解析結果]



# 回転系の高速化

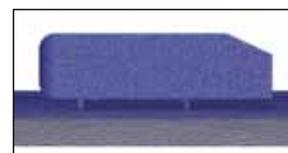
- 回転面のペア探索アルゴリズムの見直し
    - 逐次探索から、ペアとなるCVを複数の組にまとめて効率よく探索
    - 不要な通信の削減
- ⇒ 変更前後で約 20% 高速化



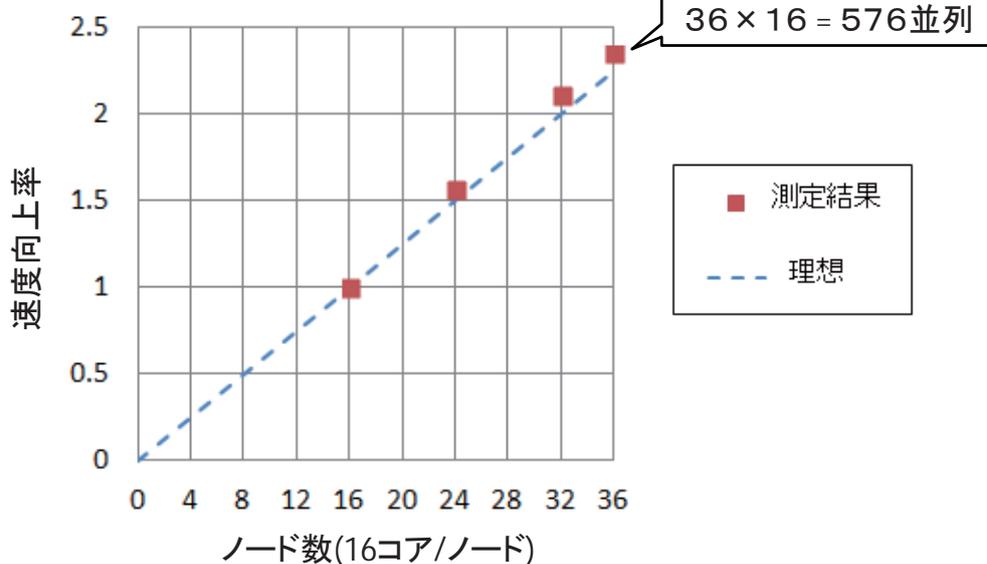
サンプル計算(約 18 万メッシュ)

10 時間 step の計算時間を計測  
ただし、この例では 6 並列なので、  
通信量の削減効果が小さい

# 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)

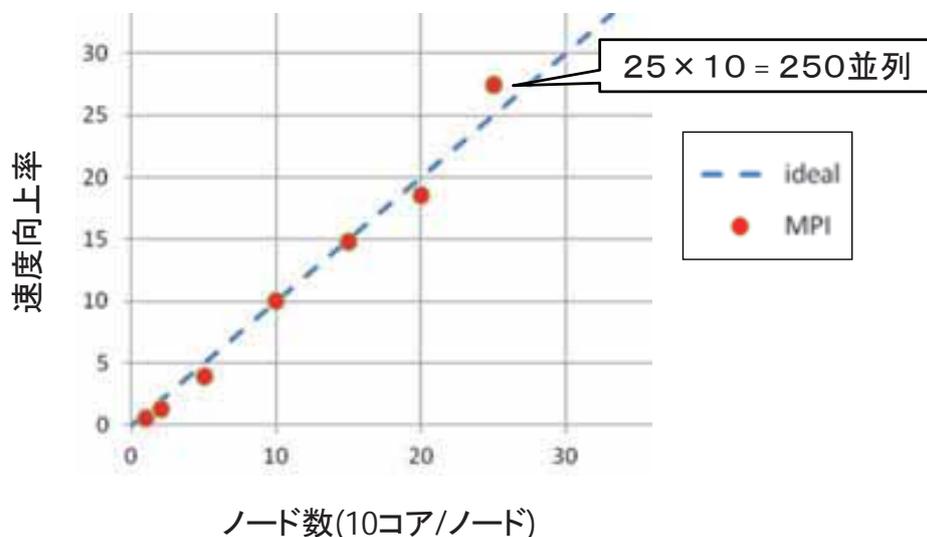


大規模モデルに対しても、並列性能を十分活用できることが期待できる

# 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

# 解析事例ページの紹介

解析事例ページの入口



# 解析事例ページ: 解析事例集



# Advance/FrontFlow/red の掲載事例



# サンプル(プール火災の解析事例)



# サンプル(プール火災の解析事例)

プール火災の解析事例-アドバンスソフト解析事例集
検索

アドバンスソフト解析事例集  
事例集トップ  
事例一覧  
当社ウェブサイトへ



図2 計算に用いたテトラ格子

目次  
解析概要  
計算条件の概要  
解析結果  
運用例  
関連ページ

### 計算条件の概要

シミュレーションの計算条件は以下のように設定します。

- 1 計算格子**  
要素数27,000のテトラメッシュ(図2)を用います。
- 2 境界条件**  
上面、四方の側面を壁境界とし、プール面を熱分解を含む境界条件とします。その他の面は全て、自然大気の流出条件とします。
- 3 計算設定**  
時間積分法はオイラー法で計算します。移流項離散化スキームは運動方程式については2次精度の中心差分で、エネルギー方程式と化学種の保存式については1次精度風上差分で計算を行います。
- 4 燃焼モデル**  
以下の化学反応式を簡略反応モデルで扱います。

$$C_2H_2 + 10.5O_2 \rightarrow 11CO_2 + 1H_2O + 11CO + 1FuelSoot$$

# サンプル(プール火災の解析事例)

プール火災の解析事例-アドバンスソフト解析事例集
検索

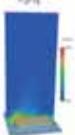
アドバンスソフト解析事例集  
事例集トップ  
事例一覧  
当社ウェブサイトへ

### 解析結果

時刻20[s]における瞬時分布を図3、4に示します。各化学種の分布は図3のようになります。化学種間で分布の傾向は共通しています。流れ場の温度分布と速度分布は図4のようになります。図3の化学種の分率が大きくなっている範囲で高温になっていて、最高温度は1600[C]に達しています。速度ベクトルから熱対流が起こっている様子が分かります。

目次  
解析概要  
計算条件の概要  
解析結果  
運用例  
関連ページ

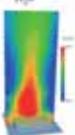
$C_2H_2$



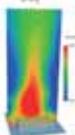
$q_1$



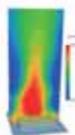
$H_2O$



$CO_2$



$CO$



Soot

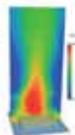
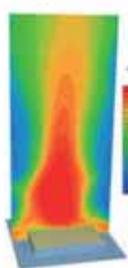
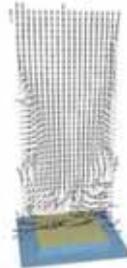


図3 各化学種の質量分率等高線図(時刻20[s]における瞬時分布)

Temperature



Velocity



(鉛直速度成分)



図4 左から、温度等高線図、速度ベクトル場、速度鉛直成分等高線図(時刻20[s]における瞬時分布)。



## 解析に便利な機能の一部をご紹介 テクニカルサイトのご紹介

## 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'
  enable_probe = 'yes'
  identifier = vel
  position_x = 1.0
  position_y = 0.0
  position_z = 2.0
/
    
```

ラベル名  
機能の有効化  
速度を出力  
X 座標値  
Y 座標値  
Z 座標値

# 接触流入境界の利用

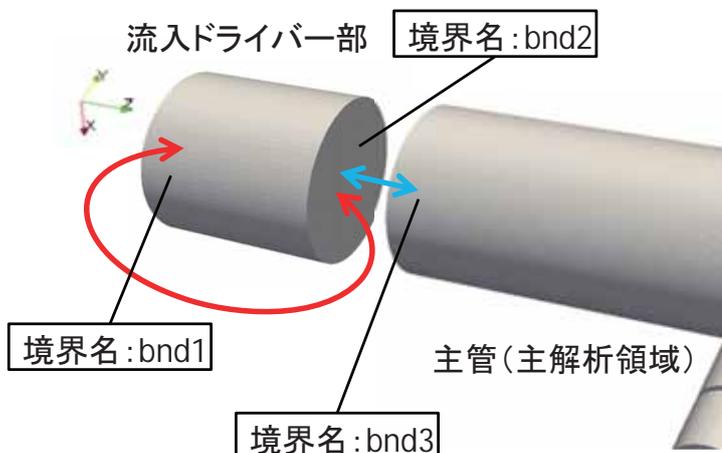
- 流入ドライバー部: 周期境界条件を設定
- 流入ドライバー部と主管を接触流入境界で接続

```

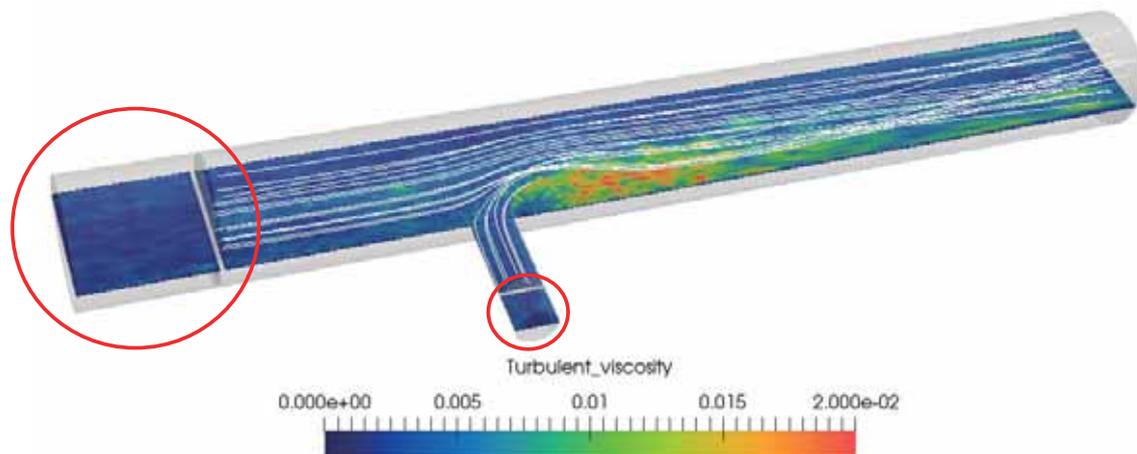
&boundary
  no = 1
  kind = 'periodic' 周期境界
  name = 'bnd1'
  name2 = 'bnd2'
  axis = 'z' 軸指定
/
    
```

```

&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
  ...
/
    
```



# 合流管における利用例



ドライバ領域で乱流を発達させてから、解析領域に接続

# 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
chnrg_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 に関するユーザーガイドとなっている。

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)



# 利用ガイド／操作編



# 利用ガイド／計算制御ファイル入力編・他



# チュートリアル

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

解析事例の解説

解析モデルの解説

制御ファイル、格子ファイルをダウンロード可能

解析条件内容の解説



# 社内開発の取り組み紹介

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最新動向セミナー  
2019年11月26日（火曜日）  
アドバンスソフト株式会社



## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシャーへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシャーへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



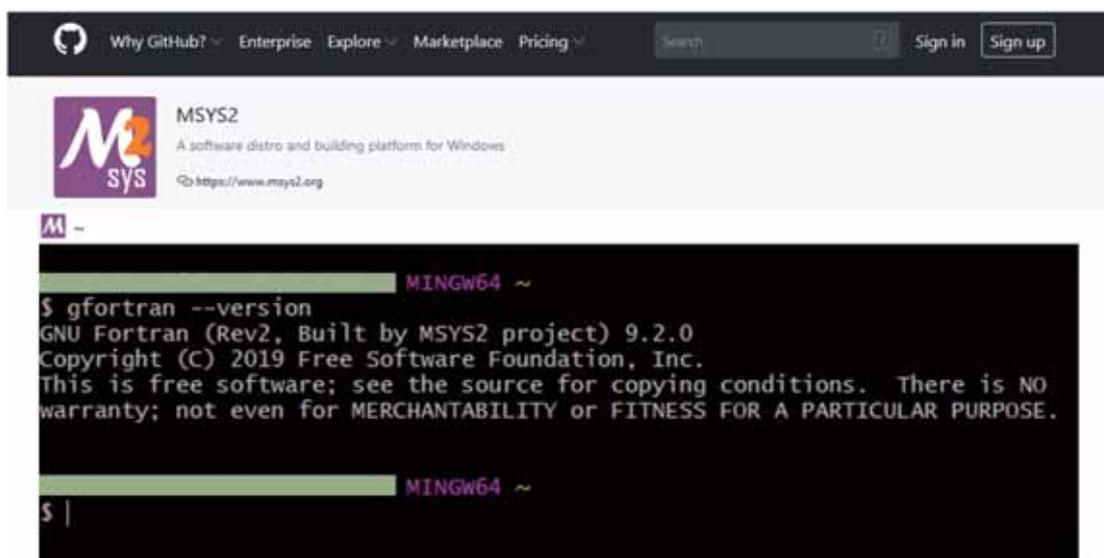
## Windows 環境における無償コンパイラへの対応

- Advance/FrontFlow/red では、ユーザーサブルーチンを利用する場合、Fortran コンパイラが必要となります。
- 推奨コンパイラ: インテル Parallel Studio XE
- Windows 環境の場合
  - インテル Visual Fortran
  - 新規:GNU コンパイラに対応 (MinGW)
- Linux 環境の場合
  - インテル Fortran
  - GNU コンパイラ (gfortran)
- スーパーコンピュータの各種コンパイル環境に対応可能
  - Fujitsu Fortran コンパイラ
  - SX Fortran コンパイラ
  - Cray Fortran コンパイラ



## Windows におけるターミナル環境

- GNU コンパイラを利用する場合は、ターミナル環境として MSYS2 を推奨します。



- MPI ライブラリは、Windows の MS-MPI をそのまま利用できます。

⇒ Windows でも無償でソルバーの実行環境が用意できます。

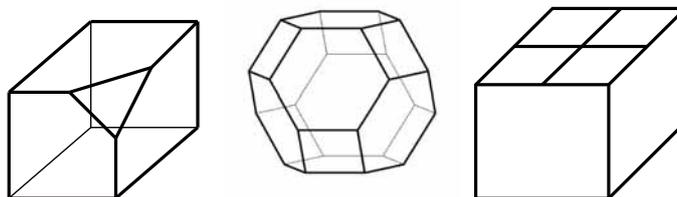
## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシュへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



- Advance/FrontFlow/red では、メッシュデータを作り直す手間を軽減するために、他社の商用ソフトウェアのメッシュデータを直接読み込めるように開発を進めている

- アスキー形式、バイナリ形式の変換
- ポリヘドラル要素への対応



- 内部境界(厚みのない壁面など)への対応

## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシャーへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進

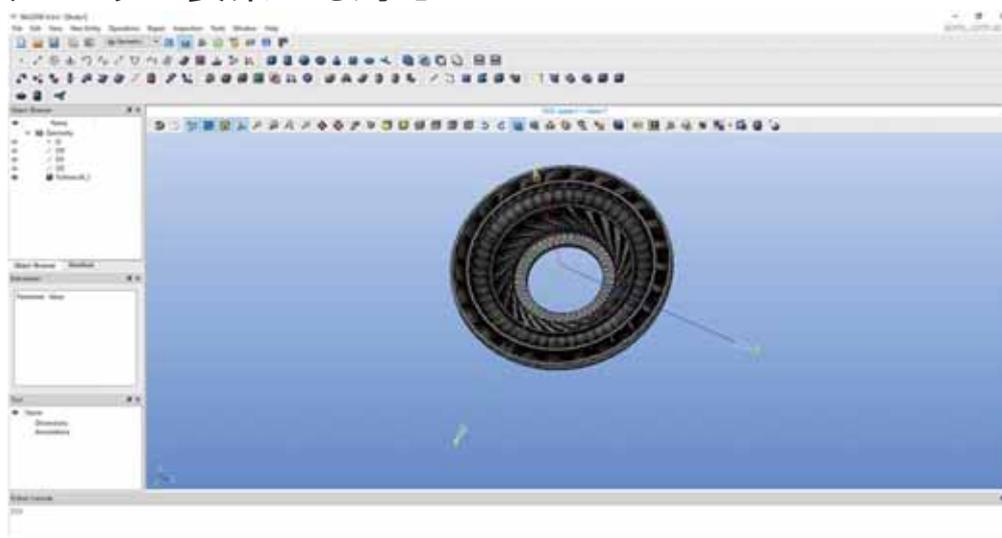
## フリーメッシャーへの対応

- フリーメッシャーとして、SALOME への対応を予定しています。
- SALOME は、オープンソースの数値解析シミュレーションのための統合化プラットフォームが提供するメッシャーです。
- 公式 URL は <https://www.salome-platform.org>
- 開発には、フランス原子力庁とフランス電力公社が参画しています。



## メッシャー SALOME

- OpenFOAM 標準のメッシュ作成のような CUI ベースではなく、GUI による視覚的な操作で作成可能
- 中間フォーマットとして STL ファイルを読み込むことも可能
- STL ファイルそのものを作成することも可能
- ポリヘドラル要素にも対応



## 社内開発での取り組み

---

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシュへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



## 自由界面(VOF法)

---

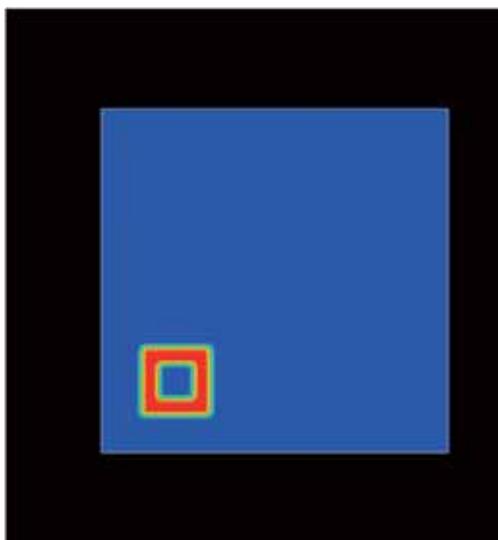
- 気液界面を精度よくとらえるため、メッシュを細かくする必要がある。  
→ 計算負荷の増大
- 長時間の計算中に界面が数値的に拡散する。  
→ いったん非現実的な解になると元に戻らない。



- 新機能
- ✓ 界面圧縮機能
  - 長時間計算しても、自由界面の数値拡散が抑えられる。
- ✓ 自動時間刻み
  - VOF輸送方程式のみ自動で時間刻みを再分割し安定に解析を進められる。



- 矩形の平行移動



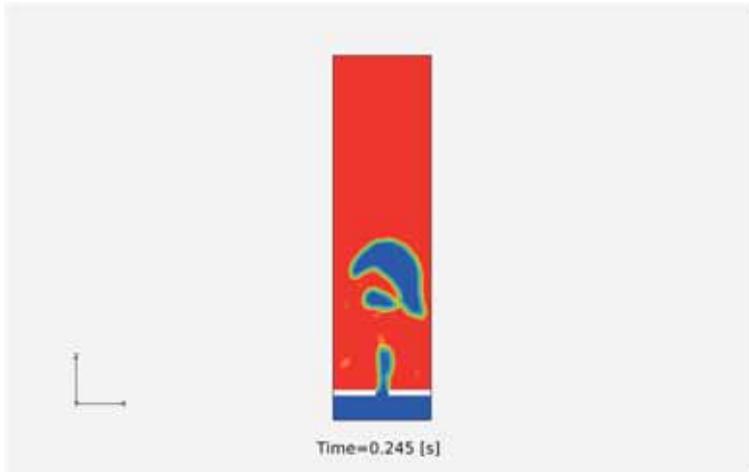
Schemes	Rectangular mesh		Triangular mesh	
	$C_x = 0.75$	$C_x = 0.1$	$C_x = 0.75$	
CICSAM				
HRIC				
FBICS-A				
FBICS-B				

Fig. 7. Results for the advection with uniform velocity field (contour range: 0.05-0.95 in intervals of 0.1).

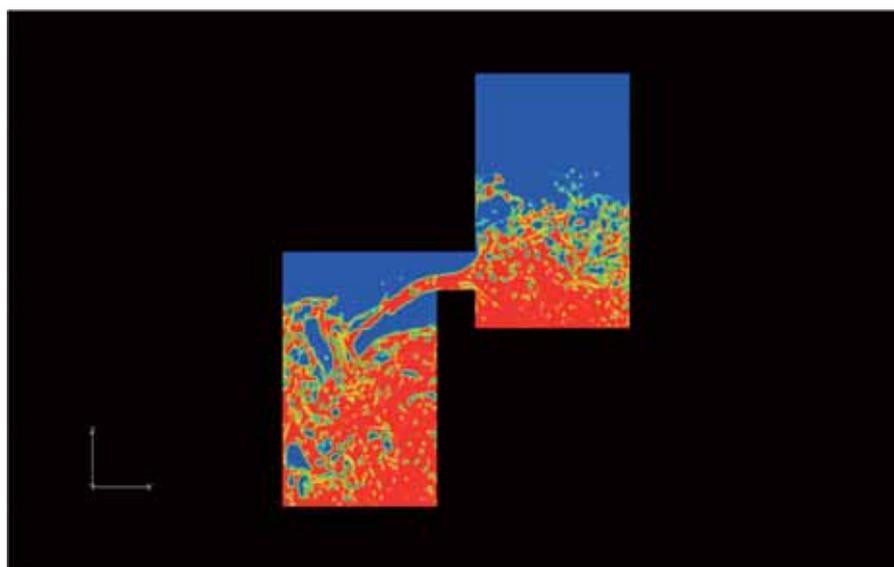
Yeng-Yung Tsui et al., "Flux-blending schemes for interface capture in two-fluid flows"  
International Journal of Heat Mass Transfer 52(2009)5547



- 気泡の上昇解析



# 自由界面解析 放水解析



- ✓ 気泡を巻き込んでも、浮力により離脱する様子をとらえている。
- ✓ 体積を保存し、界面もシャープに維持している。

## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシュへの対応
- VOF法計算精度改善
- **液滴の壁面衝突**
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



## 液滴の壁面衝突

### 壁面への噴霧噴きつけ

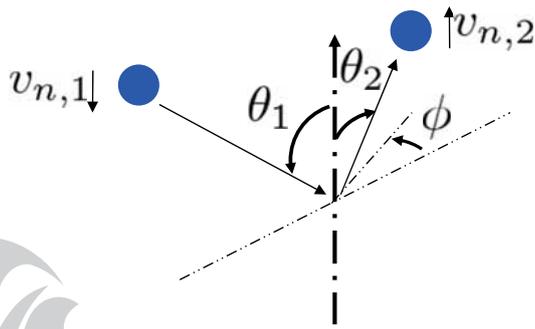
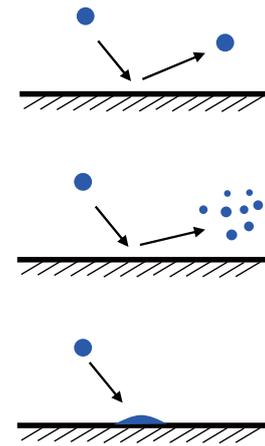
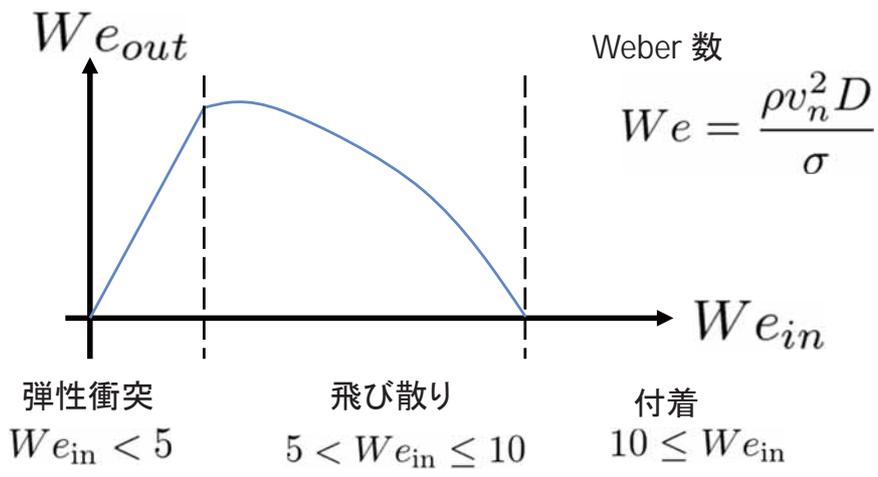


- 液滴噴きつけが重要なケース
  - ディーゼルエンジンの燃料噴霧
  - 消火剤の性能評価
  - トイレを清潔に保つための設計etc.
- 重要なプロセス
  - 衝突様式の違いによる衝突後の挙動
  - 壁面付着の再現

国吉、山本、藤本、佐藤、「ディーゼル噴霧の性状に関する研究 第3報 壁面衝突について」、日本船舶用機関学会誌 15(1980)、p.889



# 液滴の壁面衝突



$$\vec{v}_1 = w_1 \vec{n} + u_1 (\cos \phi \vec{e}_t + \sin \phi \vec{e}_s)$$

$$\phi = -\frac{\pi}{\gamma} \ln [1 - P (1 - e^{-\gamma})]$$

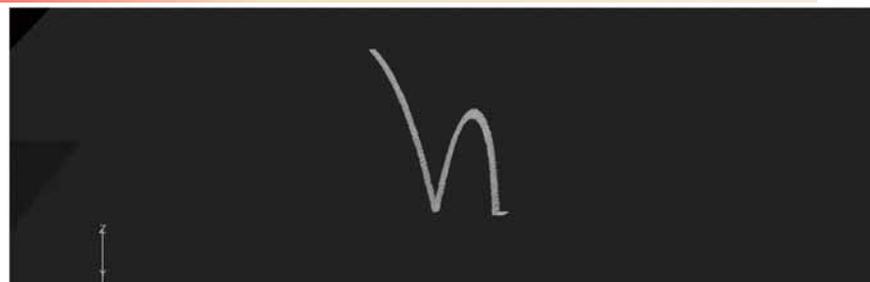
一様なランダム値  $P \in [0, 1)$

$$\sin \theta_1 = \frac{e^\gamma + 1}{e^\gamma - 1} \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \pi^2}$$

Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# 液滴の壁面衝突

粒径 小  
(We数 小)



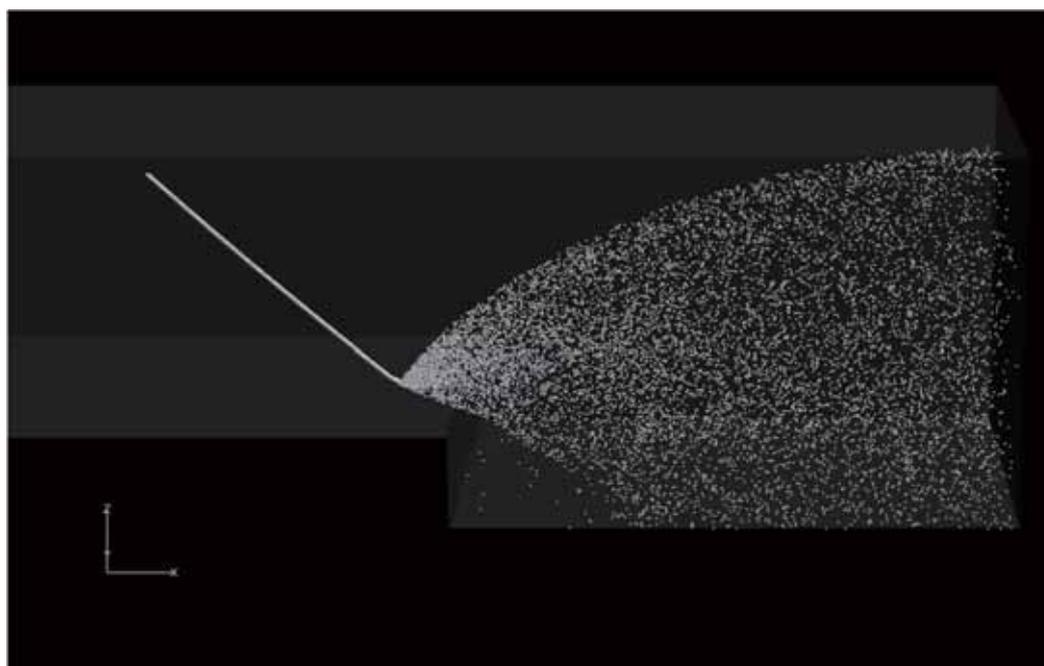
粒径 中  
(We数 中)



粒径 大  
(We数 大)



Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



## まとめ

液滴の壁面衝突過程を再現するために、入射粒子の衝突様式に応じて挙動を決めるモデルを導入し、実現象に近い振る舞いが再現できた。

## 今後の取り組み

- 壁面に生じる液膜の評価
- 液滴分裂モデル
- 微粉炭燃焼モデル



## 社内開発での取り組み

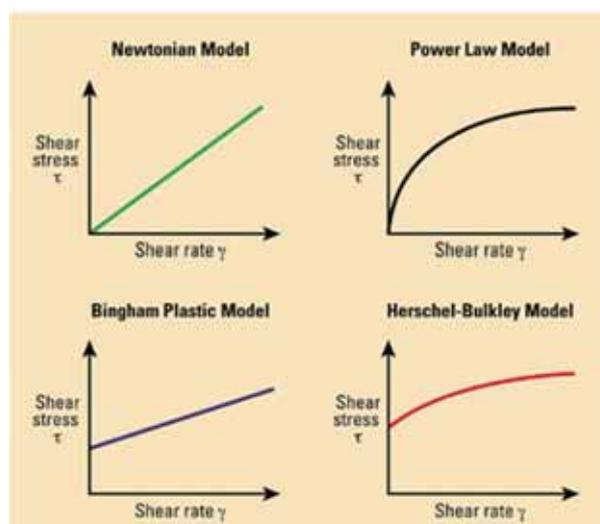
- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシュへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- **非ニュートン流体の粘性モデル**
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



## 非ニュートン流体の粘性モデル

- **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

### Rheological Models



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



- 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

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

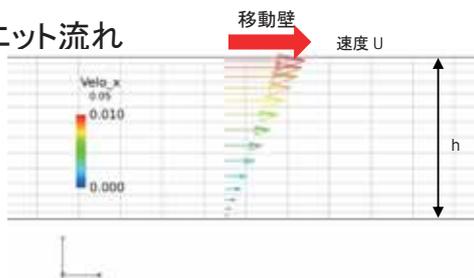
$\tau_0$ : 降伏応力  
 $\dot{\gamma}$ : せん断速度

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

- 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

## 簡単な計算例

クエット流れ

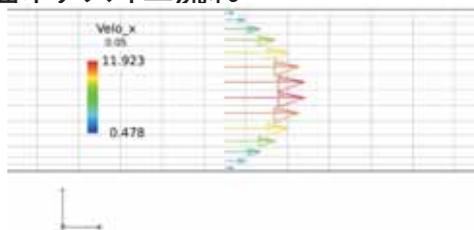


平行板上面は速度 U で移動、下面は固定。

流速  $u = U \frac{y}{h}$

せん断速度  $\frac{U}{h}$

平面ポアズイユ流れ

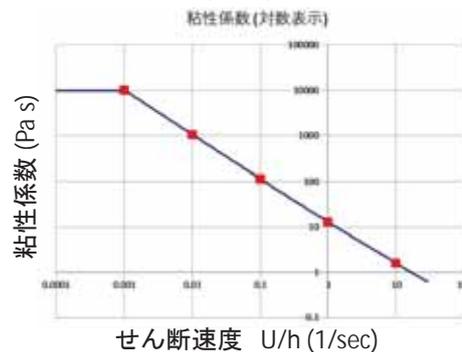
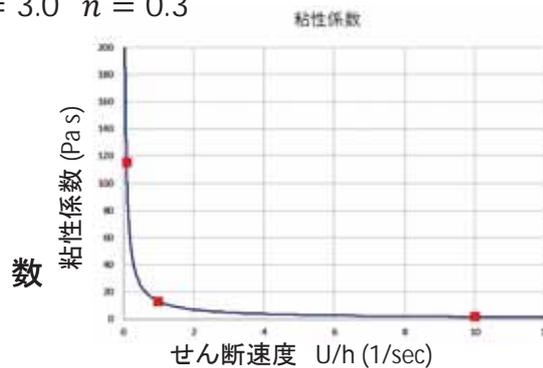
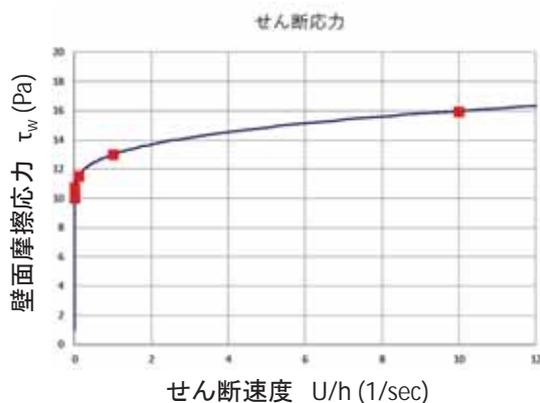


平行板の上下面固定

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

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

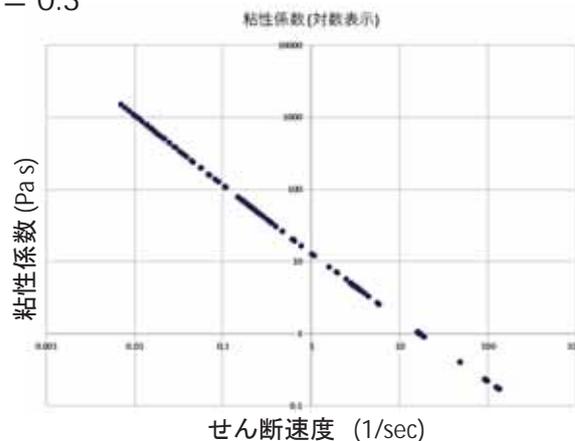
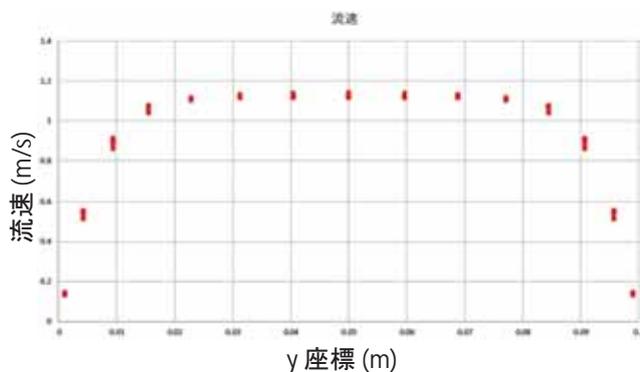
$$\mu = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1} \quad \tau_0 = 10[\text{Pa}] \quad k = 3.0 \quad n = 0.3$$



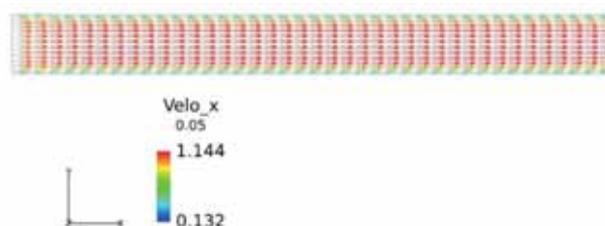
上面での速度を変えた計算を行い、せん断速度と、壁面摩擦力の関係が Herschel-Bulkley モデルの式を満たしていることを確認

# 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



## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシュへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進



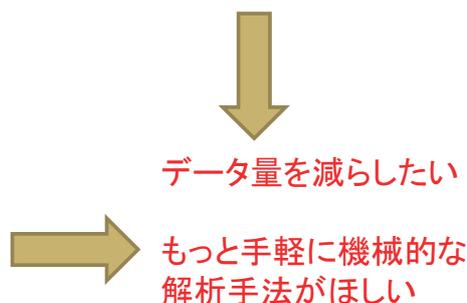
## CFDにおける乱流解析

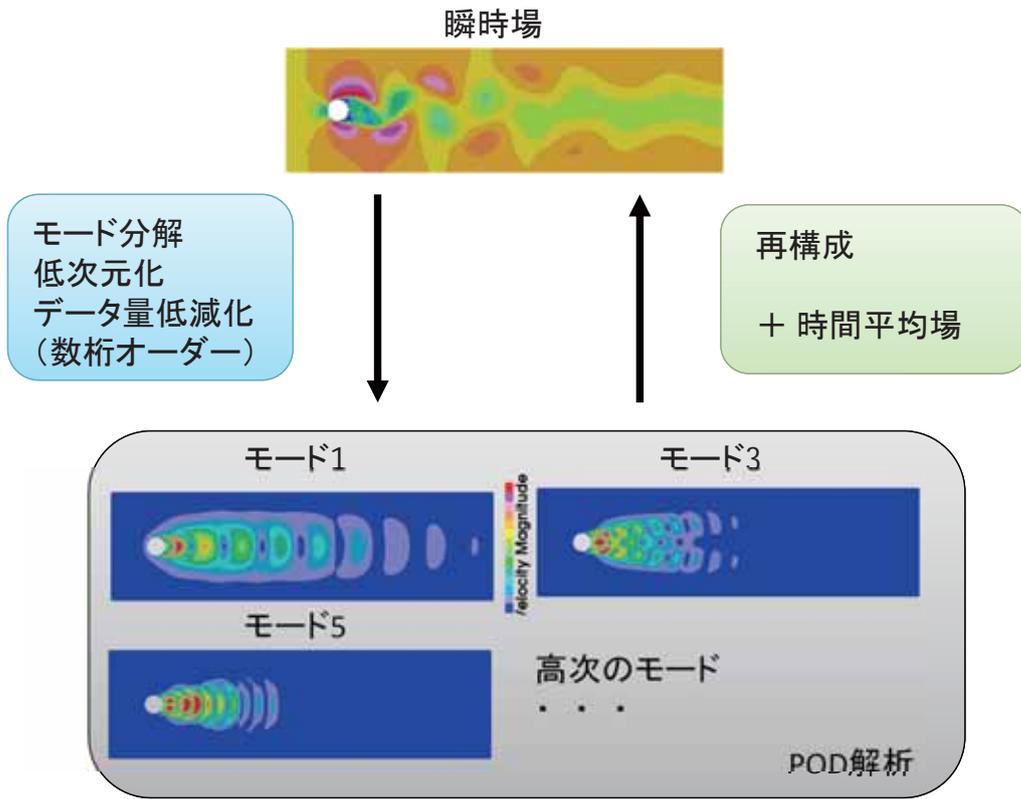
- 乱流の重要性
  - 物質の混合を促進
  - 熱伝達の速度が向上
  - 抵抗の増大
  - 騒音の増大
  - 構造物の振動が発生 etc.
- 近年の計算機の向上
  - RANS から LES や直接計算へ
  - 空間・時間をより詳細に
  - データ解析が大変に
- 大規模 LES のデータ量は膨大
  - メッシュ数:  $10^7 \sim 10^8$
  - スナップショット数:  $10^2 \sim 10^3$

- 流れ場の理解
  - 時間平均場
  - 瞬時場
    - ⇒ 渦構造の理解: 渦度、渦中心線  
Q値の等値面 etc.

### 【問題点】

- ① 値の選び方で印象が変わる
- ② 選んだ瞬時場が流れ場を代表しているか？





## POD解析とは

### 時刻ごとの計算結果ファイル

result\_t1, result\_t2, ..., result\_tn

$$X = \{\vec{x}(t_1), \vec{x}(t_2), \dots, \vec{x}(t_n)\}$$

$(N \times s) \times n$

$n$ : 時系列の数

$s$ : 流れ場成分の数

流体データ x ファイル数(時刻の数)  
を行列Xで表し特異値分解

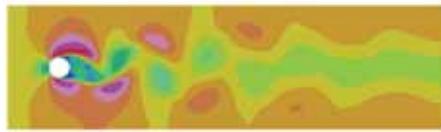
- 互いに直交なモード(PODモード)と特異値が得られる
- 特異値の大きさはそのモードのエネルギーへの寄与に対応

主要な特異値に対応するモードを  
選ぶことで流体データを低次元  
データへ圧縮

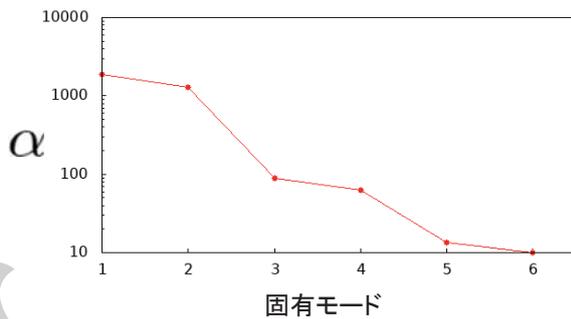
流体现象の低次元モデル  
を機械的に構成

## 2次元円柱流れのPOD解析

速度場 非圧縮、Re数 360



POD 時系列点数:2000  
Incremental POD (r=5)で解析  
流れ場データは速度(u,v)



Copyright ©2019AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

POD基底 速度分布

モード1



モード2



モード3



モード4



モード5



モード6

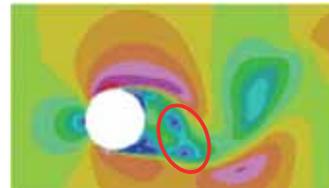


33

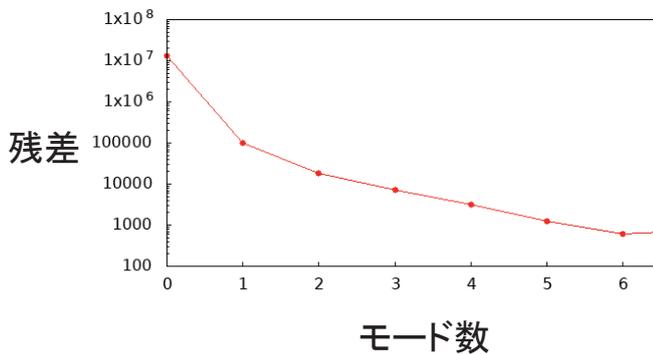
## 2次元円柱流れのPOD解析

モードの重ね合わせによる  
流れ場の復元

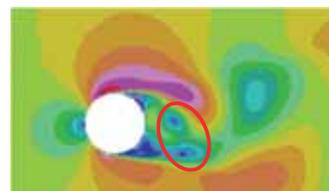
元の流体の瞬時分布(速度)



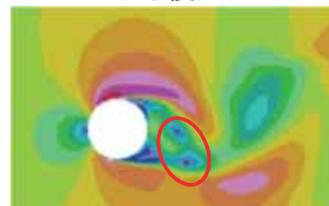
モード数と残差変化



モード2つによる復元



モード4つによる復元



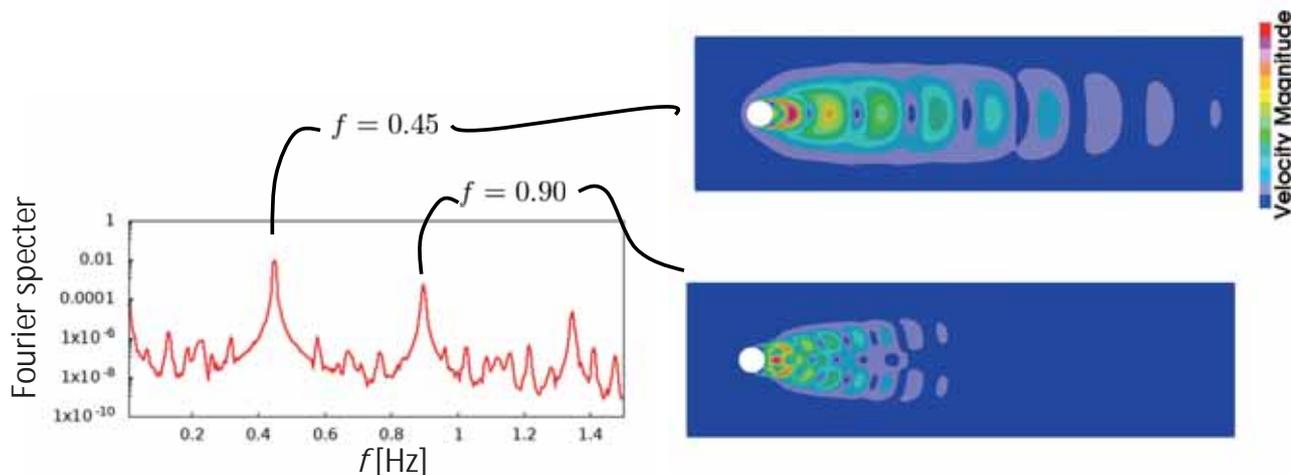
残差の定義

$$\text{残差} = \left| \sum_{\text{格子点 } i} [(u_i - u_{i,\text{rec}})^2 + (v_i - v_{i,\text{rec}})^2] \right|$$

Copyright ©2019AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

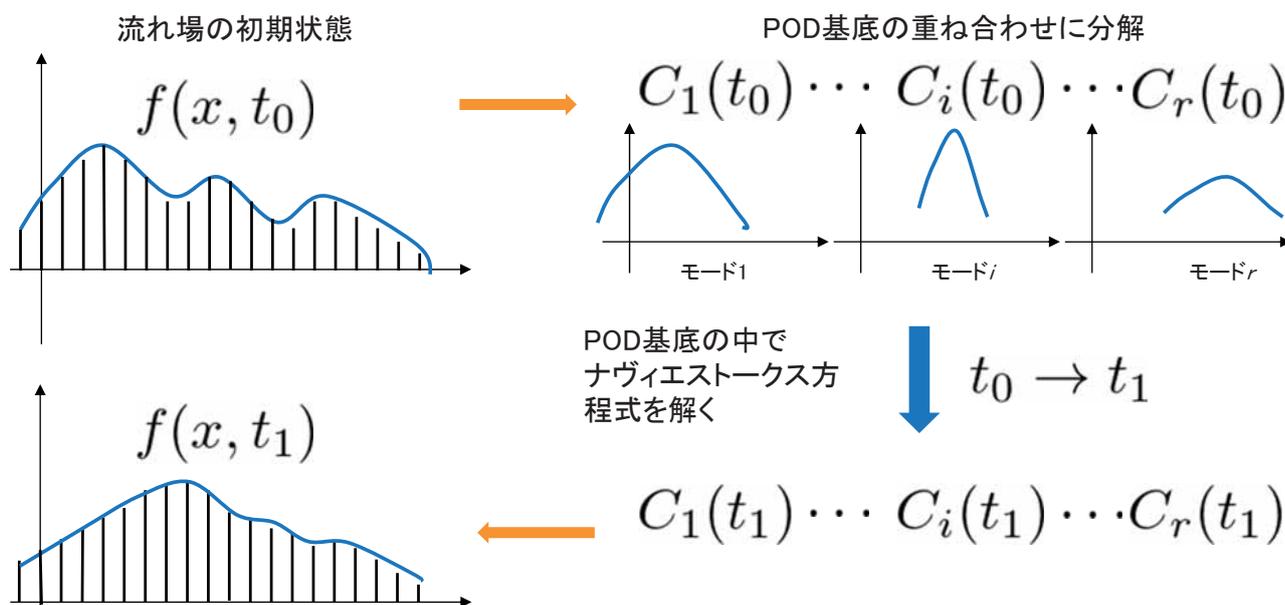
34

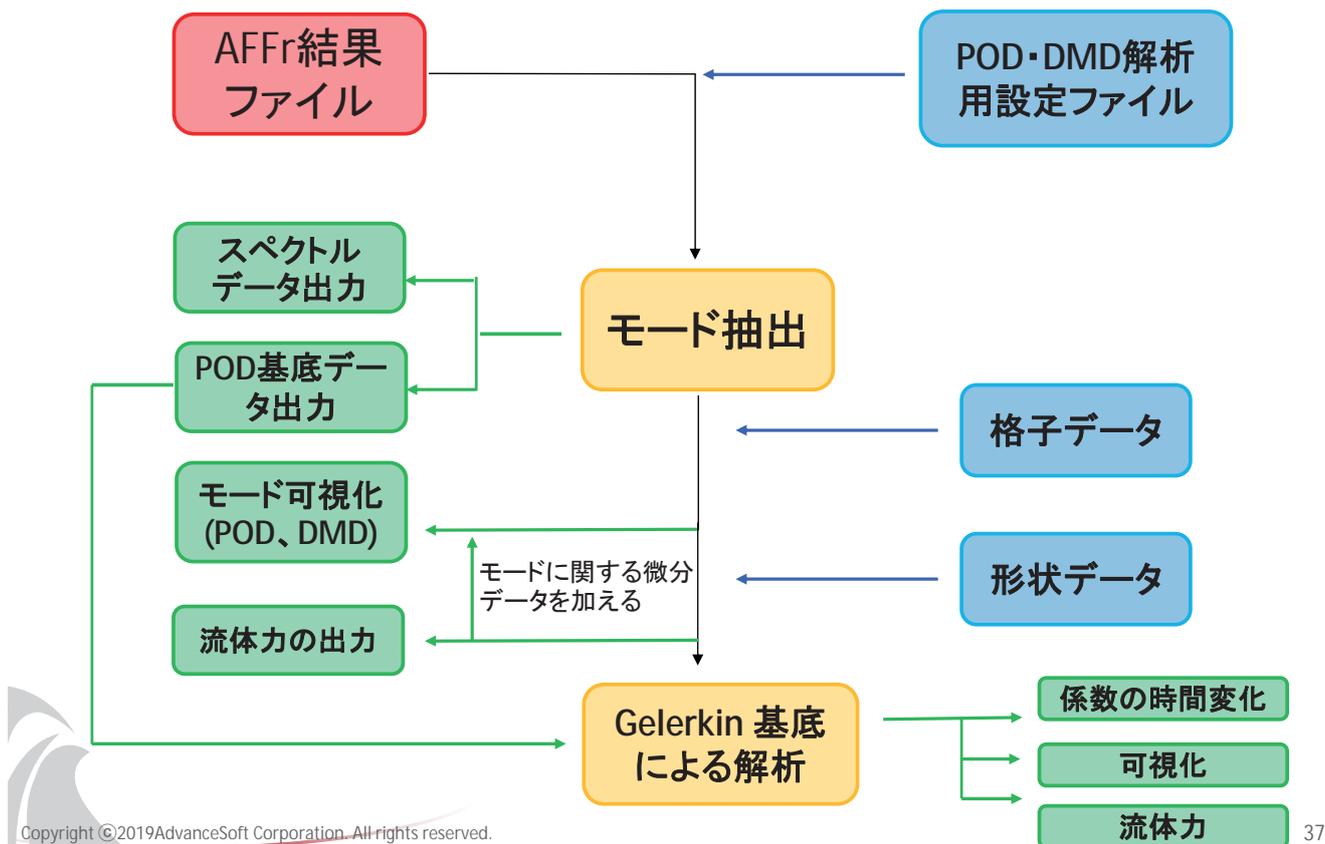
- 時間変化をPOD基底の中で表し時間発展行列Aを構成
- Aの固有値分解により、固有振動数、固有モードが得られる



## POD基底を用いたGalerkin 展開による問題の低次元化

実時間変化をPOD低次元基底の中で再現





## 社内開発での取り組み

- Windows環境における無償コンパイラへの対応
- メッシュ読み込み機能の強化
- フリーメッシャーへの対応
- VOF法計算精度改善
- 液滴の壁面衝突
- 非ニュートン流体の粘性モデル
- 新たな計算結果解析ツール
- 大学・国研との共同研究の推進

## 大学・国研との共同研究の推進

- 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展開中
  
- 今後の展開
  - 他大学の研究室にも導入を進めており、共同研究もさらに拡大させる
    - 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のご紹介、質疑応答]

営業部 鈴木 照久

流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red  
Ver.5.5 ご紹介セミナー  
2019年11月26日（火曜日）  
アドバンスソフト株式会社

## 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。