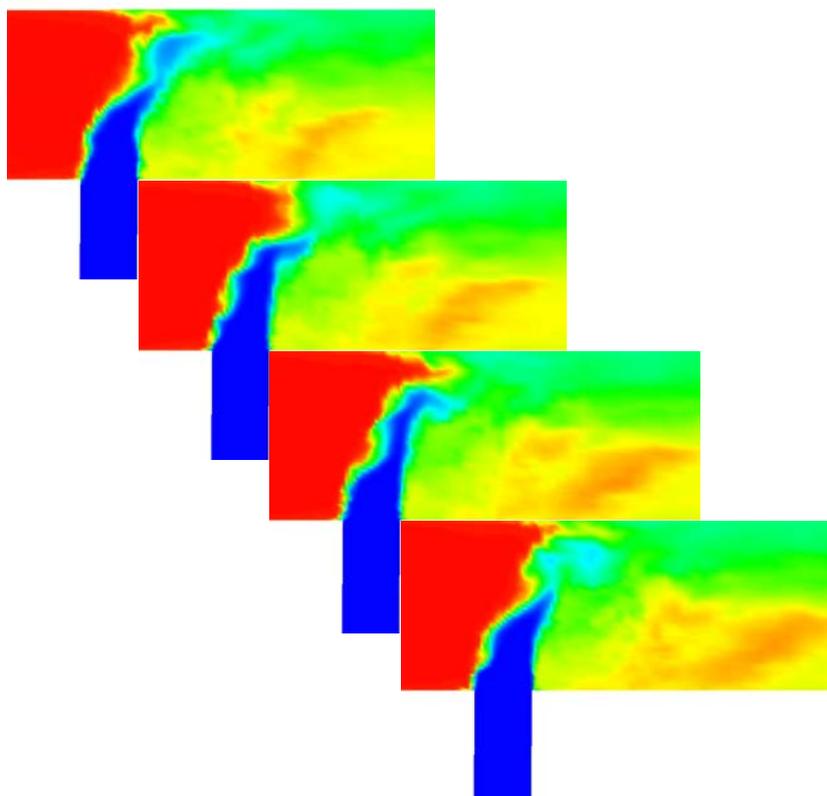


# 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red バージョンアップセミナー



2010年5月31日 月曜日 13:30~16:30

関東 IT ソフトウェア健保会館 大久保(新宿区)A+B 会議室

アドバンスソフト株式会社





## Agenda

13:30～13:40 (10分)	<p><b>「主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社について」</b> アドバンスソフト株式会社 常務取締役 第2事業部長 三橋 利玄</p>
13:40～14:00 (20分)	<p><b>「Advance/FrontFlow/red Ver4.1 の概要と特徴」</b> アドバンスソフト株式会社 主任研究員 杉中 隆史 概要: Advance/FrontFlow/red Ver4.1 の概要や開発指針についてご説明します。特に前バージョンとの差異や、本ソフトを導入するとどのようなメリットがあるのかについて、重点的にわかりやすくご説明します。</p>
14:00～14:20 (20分)	<p><b>「基本検証事例のご紹介」</b> アドバンスソフト株式会社 研究員 大友 洋 概要: 「Advance/FrontFlow/red Ver4.1 は、そもそもどの程度の計算精度や計算速度を有しているのか」という素朴な疑問に対しまして、一般的な基礎事例の検証を介してご説明します。 当日会場にて、ここで紹介する事例の大部分を収録したCDを無料配布いたします。</p>
14:20～14:40 (20分)	<p><b>「飛躍的に向上した高速化技術」</b> アドバンスソフト株式会社 主事研究員 大西 陽一 概要: ソルバー・アルゴリズムの改良により計算速度が飛躍的に向上しました。高速化された Advance/FrontFlow/red Ver4.1 を用いて効率的に業務活用する方法をご説明します。</p>
14:40～15:00 (20分)	<p><b>「出光興産 生産技術センターにおける FrontFlow/red 導入 (実験、他ソフトとの精度、計算時間比較)」</b> 出光興産株式会社 米川 太 様 概要: 長年使用してきた流動解析ソフトの大幅価格高騰に伴い、Advance/FrontFlow/red の活用を開始、実測、従来ソフトと比較検討した結果、解析精度、計算時間について予想を超える驚くべき結果が得られました。今後の期待、活用計画等もあわせて説明します。</p>
15:00～15:15	** 休憩 (15分) **
15:15～15:35 (20分)	<p><b>「使い勝手を向上させる汎用プリポストプロセッサ」</b> アドバンスソフト株式会社 主事研究員 徳永 健一 概要: Advance/FrontFlow/red Ver4.1 のリリースに伴い、汎用プリポストプロセッサ ADAP (Advance/REVOCAP) もマイナーバージョンアップし、Ver2.1 をリリースします。 境界条件編集の使い勝手の向上や、ジョブ投入の支援機能、ポスト処理などの新機能についてご紹介いたします。</p>
15:35～15:55 (20分)	<p><b>「Advance/FrontFlow/red の液体ロケットエンジン関連解析への適用」</b> 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 根岸 秀世 様 概要: JAXA/情報・計算工学センターでは、数値計算技術を活用した液体ロケットエンジン設計解析技術の高度化を進めています。 本講演では、Advance/FrontFlow/red を活用した高度化への取り組みを紹介し、最近の研究状況と今後の課題について紹介します。</p>
15:55～16:10 (15分)	<p><b>「産業界からのユーザー事例のご紹介」</b> アドバンスソフト株式会社 主事研究員 塩谷 仁 概要: Advance/FrontFlow/red を使用し解析された最新のユーザー事例についてご紹介いたします。弊社の広告資料などで普段あまり目にしない事例もここで取り扱いますので奮ってご参加ください。 紹介事例のキーワード: 大規模解析、燃焼解析、キャビテーション、スライディング格子</p>
16:10～16:30	** 質疑応答 (20分) **





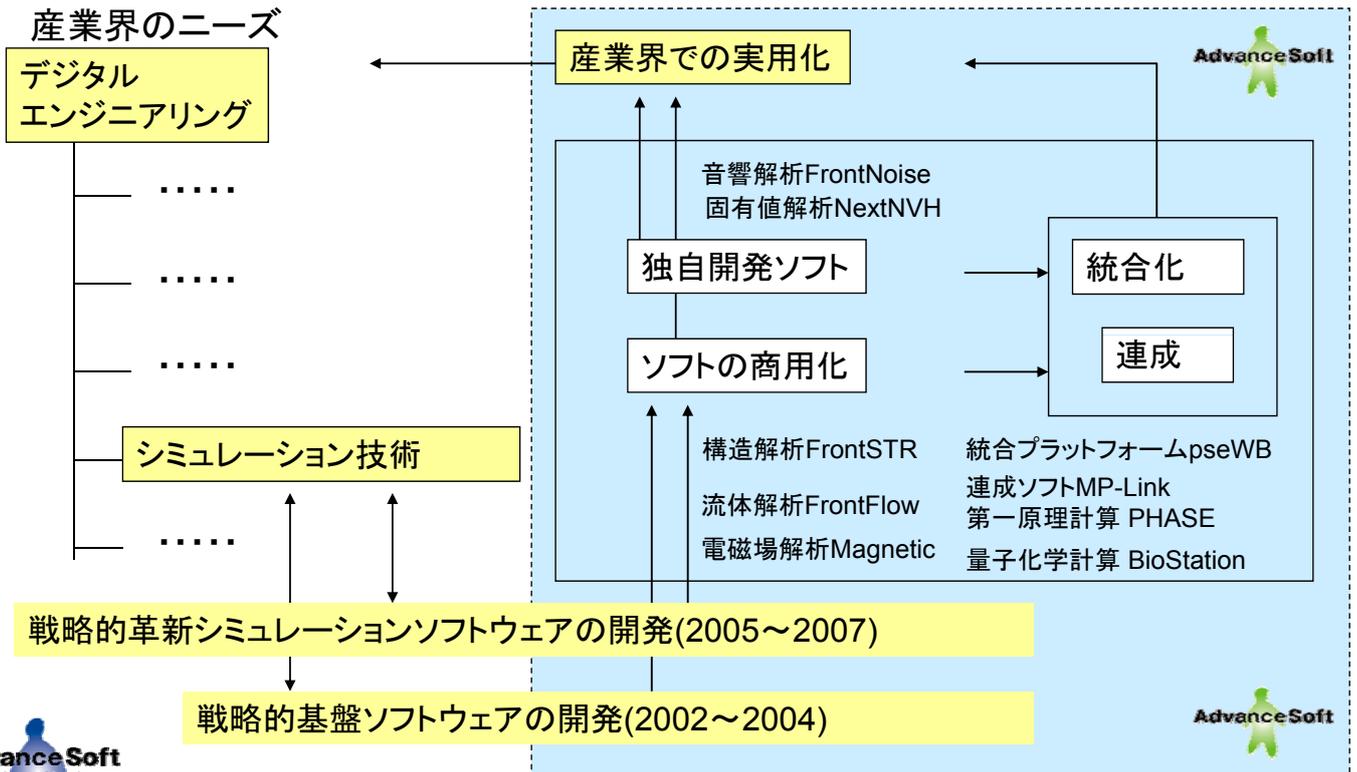
# 流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/red バージョンアップセミナー

## アドバンスソフト株式会社について

アドバンスソフト株式会社  
常務取締役 第2事業部長  
三橋 利玄

1.

## アドバンスソフトとは

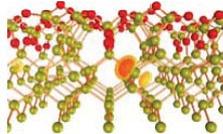




# アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

**ナノ**

Advance/PHASE

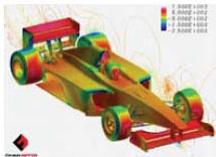


Advance/TFLAGS

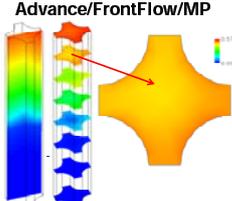


**流体**

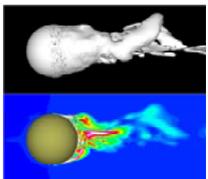
Advance/FrontFlow/red



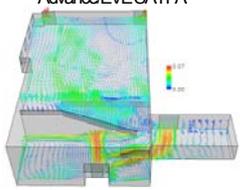
Advance/FrontFlow/MP



Advance/FrontFlow/FOCUS

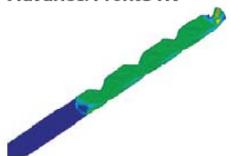


Advance/EVESAYFA



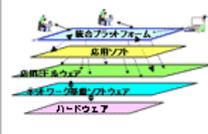
**構造**

Advance/FrontSTR



**統合プラットフォーム**

Advance/PSE Workbench

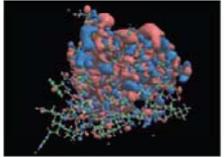


**バイオ**

Advance/BioStation

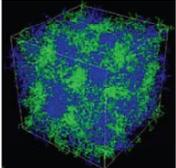


Advance/ProteinDF



**メゾ**

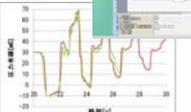
Advance/OCTA



**管路系**



Advance/FrontNet





# アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

ソフトウェア	解析内容
FrontFlow/red	汎用三次元流体解析ソフトウェア
FrontFlow/MP	三次元気液二相流解析ソフトウェア
FrontFlow/FOCUS	自動格子生成型構造格子系三次元流体解析ソフトウェア
EVE SAYFA	都市安全・環境シミュレータ
FrontNet	管路系一次元流体解析ソフトウェア
FrontSTR	汎用構造解析ソフトウェア
FrontNoise	騒音解析ソフトウェア
PHASE	第一原理バンド計算ソフトウェア
ProteinDF	大規模タンパク質の全電子計算ソフトウェア
BioStation	大規模タンパク質の量子化学計算解析ソフトウェア
DESSERT	半導体デバイスシミュレータ
ADAP (REVOCAP)	構造解析・流体解析プリポストプロセッサ
PSE Workbench	統合プラットフォーム
OCTA	ソフトマテリアル統合シミュレータ
TFLAGS	薄膜成長シミュレータ



# アドバンスソフト流体解析サービス

## ◆流体解析用ソフトウェアの受託開発

お客様のニーズにあわせて、開発仕様の検討からプログラミング、検査検証を行い開発致します。

## ◆流体解析サービス

ご要望に応じて、当社の流体解析用ソフトウェアパッケージまたはお客様お持ちのソフトウェアを用いて、条件設定・解析・評価・検討を行い、報告書にまとめます。

## ◆流体解析用ソフトウェアのカスタマイズ

当社のソフトウェアパッケージを、お客様のニーズにあわせてカスタマイズ致します。  
また、お客様お持ちのソフトウェアに対してもカスタマイズ致します。

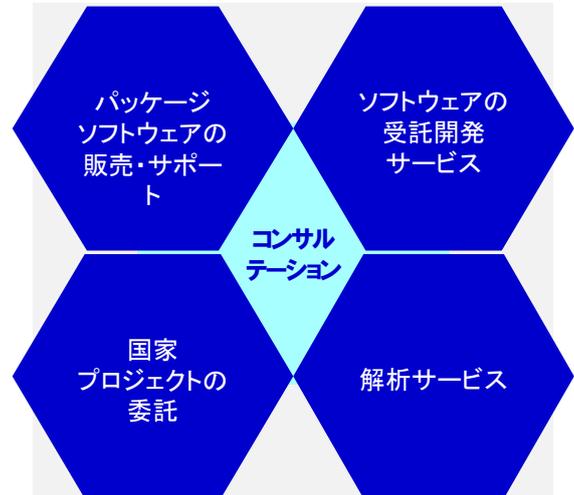
## ◆流体解析ソフトウェアパッケージの販売

当社のソフトウェアパッケージを販売いたします。

## ◆流体解析コンサルタント

流体解析に関する各種コンサルタントを承ります。

例：解析ノウハウの提供、物性データの調査検討、試験方法の調査提案など



7

# アドバンスソフトの流体解析ソフトウェア

## アドバンスソフトで開発した流体解析ソフトウェア

### 3次元流体解析ソフトウェア

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

### 自動格子生成流体解析ソフトウェア

Advance/FrontFlow/FOCUS

### 管路系流体解析ソフトウェア

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

### 専用流体解析ソフトウェア

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

## 業務で利用している他機関の流体解析ソフトウェア

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



8

お客様のニーズにお応えし、Advance/FrontFlow/red  
をお客様とともに発展させていきます。

Advance/FrontFlow/redを世界標準に近づけるべく、  
さらなる開発と実用化に邁進してまいります。

また、流体解析等のコンピュータ・シミュレーションにより、エネルギー資源の有効活用やCO<sub>2</sub>削減に  
貢献したいと存じます。



# Advance Soft

「デジタルエンジニアリングのアドバンスソフト」





2010  
5/31



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

Advance/FrontFlow/red Ver4.1の概要と特徴

アドバンスソフト株式会社  
技術第3部 主任研究員  
杉中 隆史

2.

### ご紹介する内容

- Ver4.1の新機能
- Advance/FrontFlow/red の特長
- Advance/FrontFlow/red の機能
- 開発/検討中の機能



# Ver4.1の新機能

## 計算スピードがアップ

- ① 壁面距離計算方法の変更 ⇒ 前処理が500万要素でVer4.0より**100倍以上**
- ② AMGソルバーの導入 ⇒ 圧力ポアソン方程式がVer4.0より**数倍**  
・AMGソルバーの利用(\*1)  
(\*1) 九州大学情報基盤研究開発センター 西田 晃 先生が開発したAMGの線形ソルバーを利用できます。  
利用をご希望の方は、以下のサイトからダウンロードしてください。  
<http://www.ssisc.org/>  
インターフェイスはAdvance/FrontFlow/redに入れています。
- ③ 定常計算のSIMPLE法の導入 ⇒ 定常計算がVer4.0より**数倍**  
乱流平板の計算ではVer4.0より**12.6倍**
- ④ CPU内マルチコアの並列化効率の向上  
詳細は『**飛躍的に向上した高速化技術**』の中でご説明します

## 使いやすさがアップ

- ① 汎用プリポストプロセッサの改良

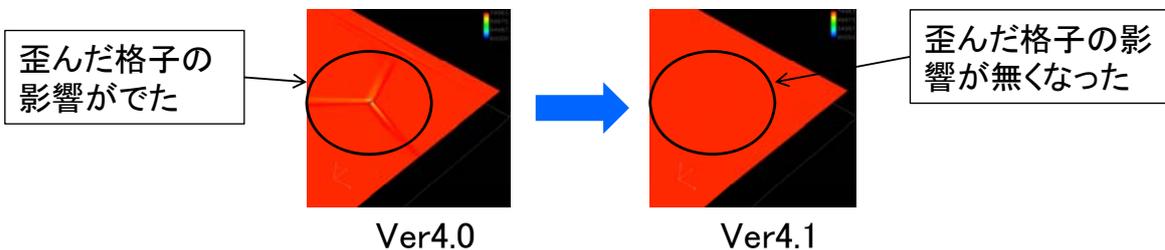


詳細は『**使いやすさを向上させる汎用プリポストプロセッサ**』の中でご説明します

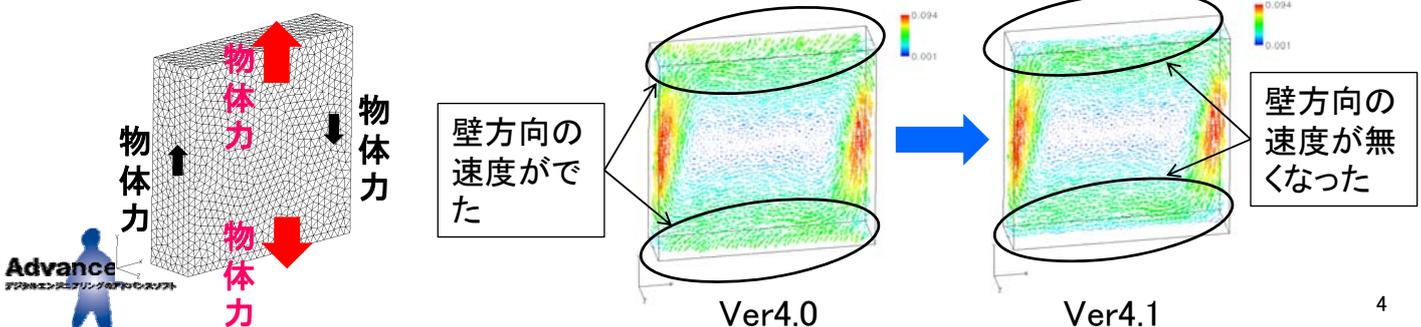
# Ver4.1の新機能

## 計算安定性がアップ

- ① 重みつき最小二乗法の導入 ⇒ 歪みが大きい格子で勾配の計算が正確に



- ② 境界の取り扱いを改良 ⇒ 壁方向に大きい物体力がある計算が可能に



# Ver4.1の新機能

## その他の機能

- ① SST  $k-\omega$ モデルの導入 ⇒ 境界層の剥離計算の精度が向上  
SST  $k-\omega$ モデルの計算結果は『[基礎検証事例のご紹介](#)』の中でご説明します
- ② リスタート計算時に並列数を変える機能の導入 ⇒ 空いているCPUを有効活用
- ③ 厚みのない壁を扱う機能の導入 (使用するメッシュジェネレータに限定)
- ④ 可視化用ファイル作成時に、スケール変換機能の導入



# Advance/FrontFlow/red の特長

ラージ・エディ・シミュレーション (LES) による高精度乱流解析	<ul style="list-style-type: none"><li>① 非定常な流動現象の高精度予測を追求</li><li>② 燃焼、物質拡散、空力など非定常大規模解析に適用可能</li><li>③ 構造、電磁場、音響などと大規模連成解析に適用可能</li></ul>
超並列化・ベクトル化による大規模解析	開発の設計段階から並列計算のパフォーマンスを最大限に引き出すためのアルゴリズムを適用 ⇒ 高い並列化効率を実現
高速性	<ul style="list-style-type: none"><li>① 前処理の高速化</li><li>② AMGソルバーの導入</li><li>③ 定常計算の高速化</li><li>④ 高速化のための細部にわたるチューニング</li></ul>



# Advance/FrontFlow/red の特長

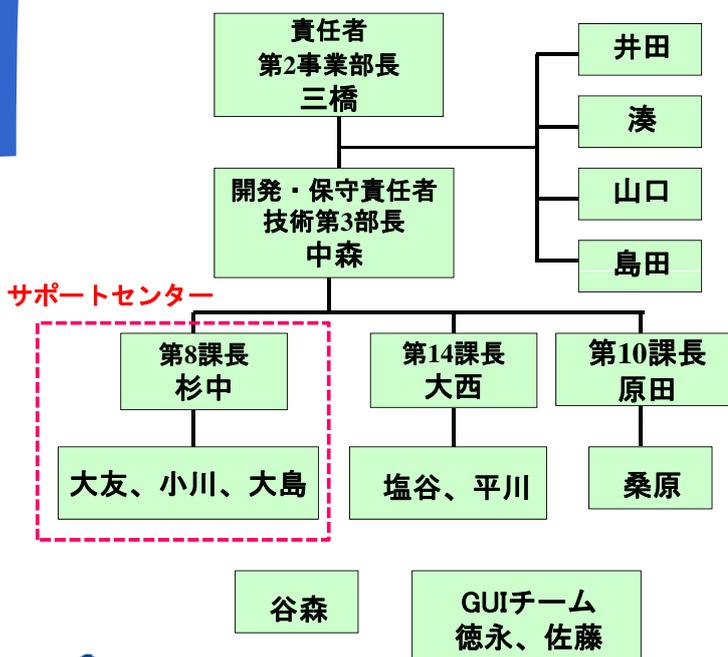
高いコストパフォーマンス	①国のプロジェクトで開発されたため、低価格でご提供 ②CPU数に依存しない価格設定 ⇒お客さまの計算機資源を有効活用し、定額で大規模な計算を実現
使い勝手の向上	汎用プリポストプロセッサADAPにより、飛躍的に向上
多様な解析対象	乱流、化学反応、輻射、粒子追跡、騒音、キャビテーション、圧縮性、固体-流体熱連成、多孔質体、自由表面、等 多くの解析対象に対応
柔軟なカスタマイズ性、 開発者による技術サポート	①お客さまの課題に対応したカスタマイズ性 ②開発者が直接技術サポートをご提供 ③お客さまのご要望に素早く対応できる開発体制

Advance  
ソフトウェア

7

# Advance/FrontFlow/red の特長

## ■ 開発・サポート体制



## ■ 開発者の役割

井田	地球環境
湊	気液二相流、腐食
山口	半導体デバイス、CVD
島田	高速化
中森	高速化、LES、キャビテーション、圧縮性
杉中	計算安定性、RANS、VOF
大西	高速化、キャビテーション、燃焼、圧縮性、乱流
原田	各種機能、解析技術
大友	移動格子、アルゴリズム、LES、各種機能
小川	プリ高速化、プリ省メモリ化、並列計算
大島	使いやすさ、解析技術
塩谷	重合格子、燃焼、粒子追跡、輻射
平川	使いやすさ、解析技術
桑原	乱流音
谷森	システム、インストール
徳永	GUI (ADAP)
佐藤	GUI (ADAP)



8

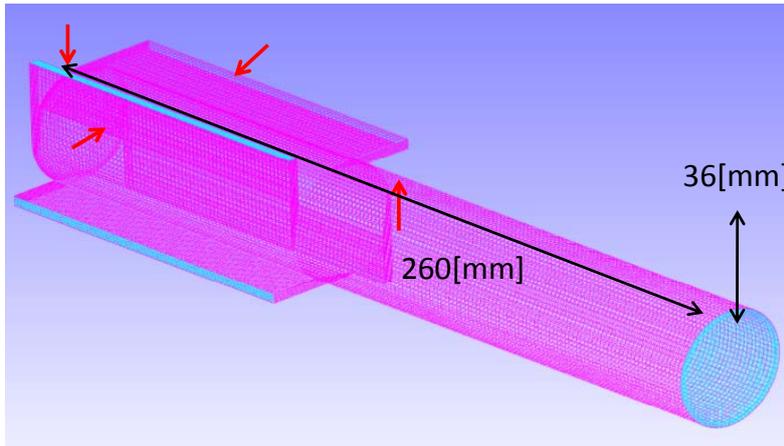
# Advance/FrontFlow/red の機能

## ■ラージ・エディ・シミュレーションが効力を発揮する例1

### 旋回流の解析例

入口流速	1.12[m/s]
流入口	3*100[mm]

旋回流の場合には乱流の非等方性が強いため、 $k-\varepsilon$  モデルよりLESの方が実験値を再現できる



節点数	240,640
要素数	254,888



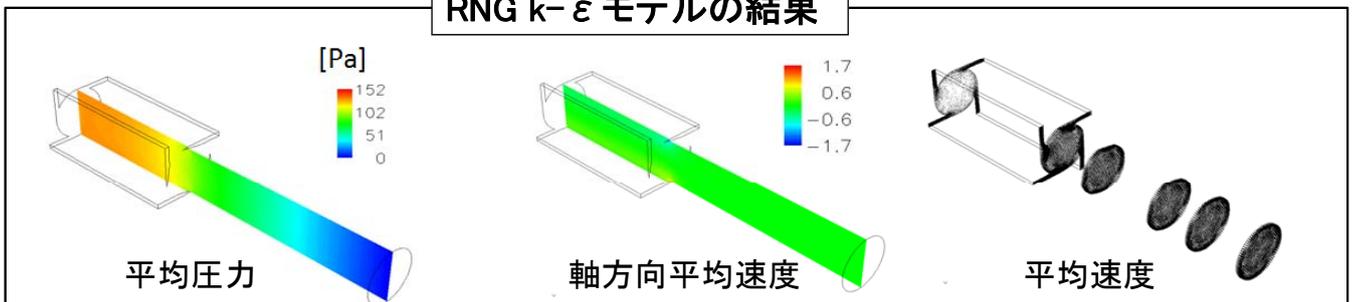
# Advance/FrontFlow/red の機能

## ■ラージ・エディ・シミュレーションが効力を発揮する例1

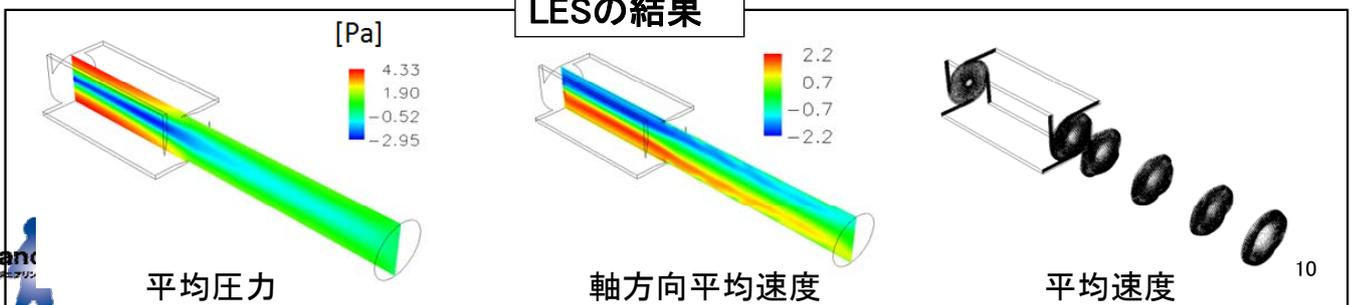
### 旋回流の解析例

LESでは旋回流の特徴を再現可能

#### RNG $k-\varepsilon$ モデルの結果



#### LESの結果



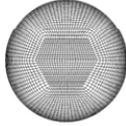
# Advance/FrontFlow/red の機能

## ■ラージ・エディシ・ミュレーションが効力を発揮する例2

### T字管の温度混合の解析例

主管

- ・内径:0.15[m]
- ・流速:0.23[m/s]
- ・温度:321.15[K]



枝管

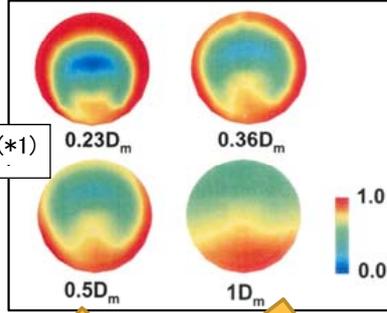
- ・内径:0.05[m]
- ・流速:1[m/s]
- ・温度:306.15[K]



節点数	404,892
要素数	389,988



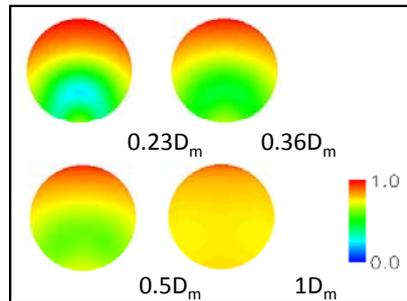
実験値(\*1)



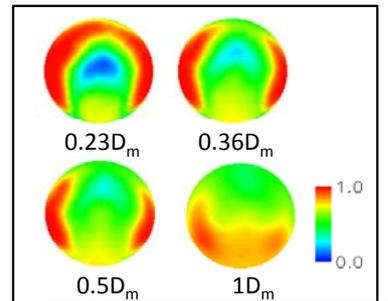
(\*1)五十嵐ら,配管合流部の混合現象に関する研究,2003年11月,JNC TN9400 2003-092.

実験値を再現できない

実験値の傾向を再現できる



RNG k-ε モデルの無次元平均温度



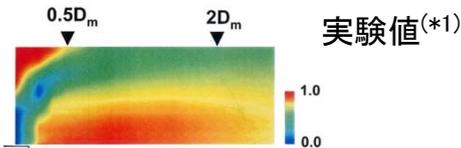
LESの無次元平均温度

# Advance/FrontFlow/red の機能

## ■ラージ・エディシ・シミュレーションが効力を発揮する例2

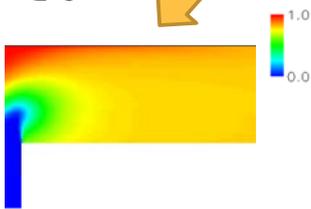
### T字管の温度混合の解析例

乱流の非等方性が大きい流れでは k-ε モデルよりLESの方が実験値を再現できる

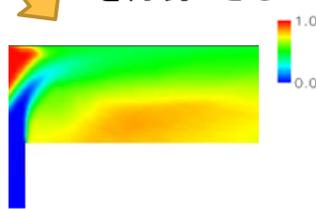


実験値を再現できない

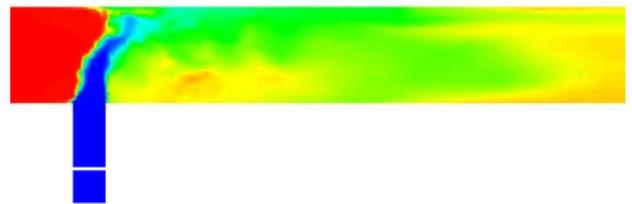
実験値の傾向を再現できる



RNG k-ε モデルの無次元平均温度



LESの無次元平均温度



LESの無次元平均温度



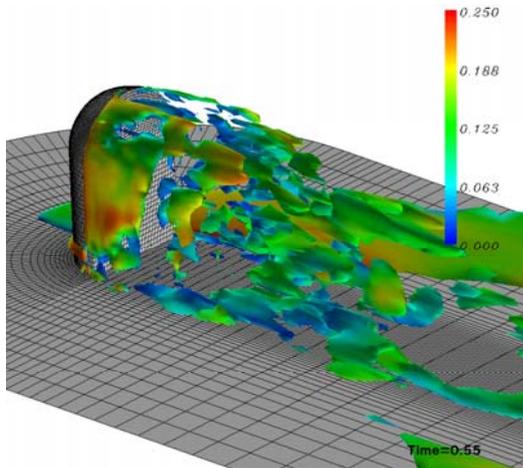
# Advance/FrontFlow/red の機能

## ■ラージ・エディ・シミュレーションが効力を発揮する例3

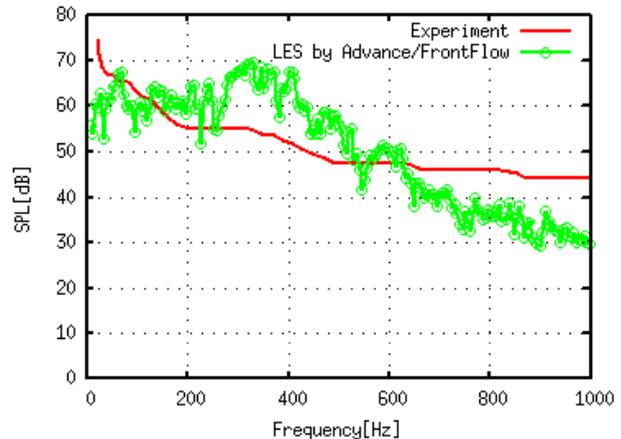
### 物体から発生する騒音の解析例

・レイノルズ数: 7.4E+05

騒音の周波数解析を行うために、LESを使用して圧力変動を計算



・音圧スペクトル(FFT変換結果)



Siegert et.al, 5th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Seattle WA, May 10-12, AIAA paper, No99-1895(1999)



$$H' = (\nabla \times \vec{u}) \cdot \frac{\vec{u}}{|\vec{u}|}$$

Helicity密度等値面+Mach数マップ

# Advance/FrontFlow/red の機能

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)/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/k-ωモデル/SST k-ωモデル/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>輻射:</b> モンテカルロ法/ゾーン法/有限体積法
	<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
	<b>粒子追跡機能(Euler-Lagrangian 2way):</b> 固体粒子と流体(気体あるいは液体)の二相流/液滴と気体の二相流/液滴蒸発モデル



## Advance/FrontFlow/red の機能

項目	Advance/FrontFlow/redの機能
物理モデル	騒音(乱流音): Lighthill-Curlモデル / Ffowcs Williams and Hawkingモデル キャビテーション: 圧縮性均質流モデル 多孔質体モデル: ダルシー則 / べき乗則 / 異方性の式 自由表面: VOF法 / 表面張力 / 壁の濡れ性
対応格子	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) / これら格子の混合 / 不連続接合格子 / 厚みのない壁(メッシュジェネレーター限定)
移動格子	スライディングメッシュ機能 / 移動格子
離散化	有限体積法 / 節点中心法
アルゴリズム	SMAC法 / SIMPLEC法 / SIMPLE法 / PISO法 / Rhie-Chow補間法による圧力振動の抑制 / Muzaferijaの手法による拡散項の精度向上
時間積分法	Euler陽解法 / Euler陰解法 / 2次精度Crank-Nicolson法 / 2次精度Adams-Bashforth法 / 3次精度Adams-Moulton法 / 4次精度Runge-Kutta陽解法
素反応計算ソルバー	Operator Splitting Method / ODEソルバー



15

## Advance/FrontFlow/red の機能

項目	Advance/FrontFlow/redの機能
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
格子生成	ADAP / 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。
可視化用ファイル出力	回転 / 並進 / スケール変換
可視化ツール	ADAP / Paraview / 市販可視化ソフトとの連携についてはお気軽にご相談ください。
ユーザーサブルーチン	初期値(流体と粒子) / 境界条件 / 質量のソース項 / 運動量のソース項 / エネルギーのソース項 / 蒸発速度 / 気相反応 / 表面反応 / 移動格子 / 輸送係数 / 実在ガスモデルのパラメータ設定 / 輻射特性 / ポスト処理
動作環境	OS: Linux / (*1)Windows / 等 (*1)Windows 版は並列計算に対応していません。詳細やその他の環境につきましてはお問い合わせください。



16

# 開発/検討中の機能

## ■ 使いやすさの改良

- ・プリ処理の省メモリ化
- ・プリ・ポストADAPの機能拡張
- ・出力機能の拡充
- ・ノウハウ集

## ■ 計算安定性の改良

- ・VOF法の表面張力強化
- ・有界中心差分法の導入 (LESの強化)

## ■ 高速性の改良

- ・圧力ベースカップル法の導入
- ・無反復法の導入
- ・燃焼計算にISATの導入
- ・GPUによる計算

## ■ 新機能

- ・重合格子機能の導入
- ・輻射機能の拡充 (壁の放射特性やガス放射の波長依存)





2010  
5/31



## アドバンスソフト技術セミナー 流体ソフトウェアのご紹介

Advance/FrontFlow/red ver4.1  
基礎検証事例のご紹介

アドバンスソフト株式会社  
技術第3部 研究員  
大友 洋

3.

### 基礎検証事例一覧

[配布CDに含まれる事例]

- (熱伝導) 1, キャビティ内の自然対流
- 2, 固体伝熱を含むキャビティ流れ
- 3, 複数固体間熱伝導
- (計算スキーム) 4, 円柱周りのカルマン渦
- (圧縮性) 5, バンプ流れ
- (スライディング格子) 6, 同心円柱の回転
- 7, 回転角柱
- (乱流) 8, バックステップ
- 9, 非対称ディフューザー
- 10, 平行平板
- (燃焼) 11, 水素燃焼
- (自由表面) 12, ダム崩壊

今回は赤字の項目を  
ご紹介します



# 事例：バンプ流れ

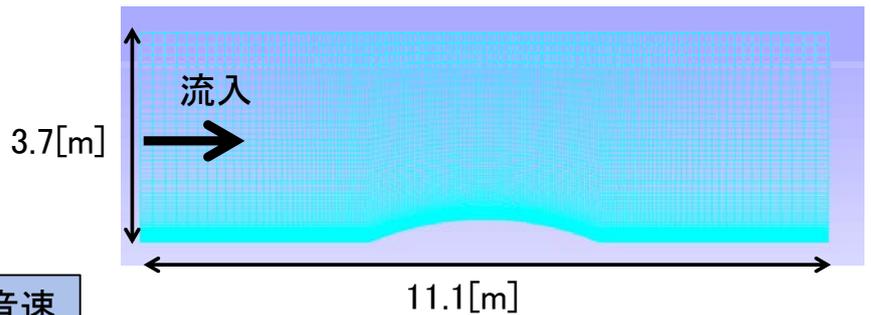
## [解析条件]

流体 : 非粘性流体  
差分スキーム : 3次風上差分  
入口流速 : 亜音速(音速\*0.5), 遷音速(音速\*0.67), 超音速(音速\*1.65)

## [解析規模]

節点数	38,880 39,123(超音速)
要素数	25,440 25,640(超音速)

## [解析対象(亜音速,遷音速の解析格子)]



## [主な検証機能]

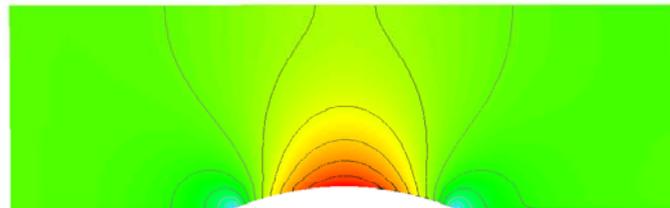
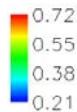
・超音速、遷音速、亜音速  
での圧縮性流体



# 事例：バンプ流れ

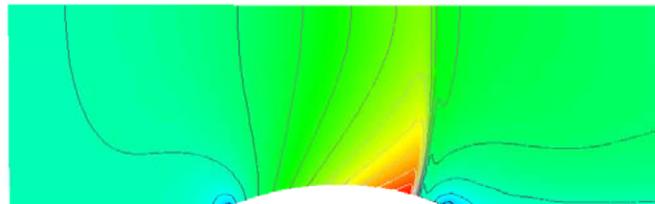
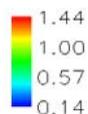
## [マッハ数分布]

### 亜音速(音速\*0.5)



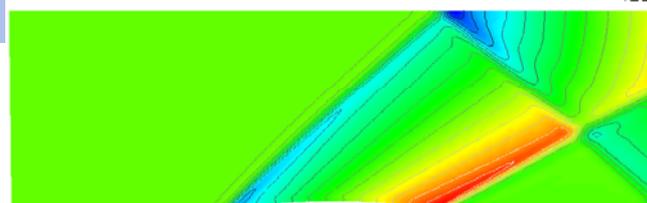
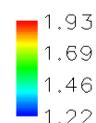
・非粘性流体で形状  
が対称であるため解  
も対称

### 遷音速(音速\*0.67)



・バンプ部で超音速と  
なり衝撃波が発生  
・波面は圧力が大き  
くなるバンプ終端付  
近

### 超音速(音速\*1.65)



・バンプ上流部から衝  
撃波が発生  
・上面と下面の衝撃  
波が交差する。



文献(Lilek(1995))の結果と良好な一致を示している

Advance/Frontflow/redでは少なくとも音速の2倍程度まで解析することが可能

# 事例：バックステップ

## [解析条件]

レイノルズ数 : 5,500  
 乱流モデル : 標準k-ε, RNG k-ε, SST k-ω  
 入口速度 : 乱流発達した速度分布  
 差分スキーム : 2次中心差分(RANS変数については1次風上差分)

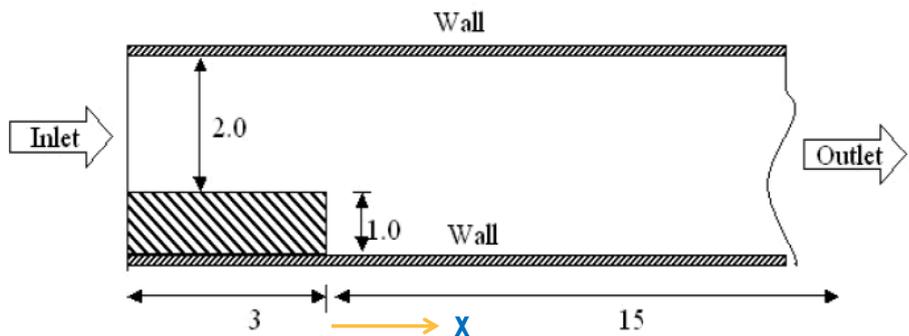
## [解析規模]

節点数	11,505
要素数	7,390

## [主な検証機能]

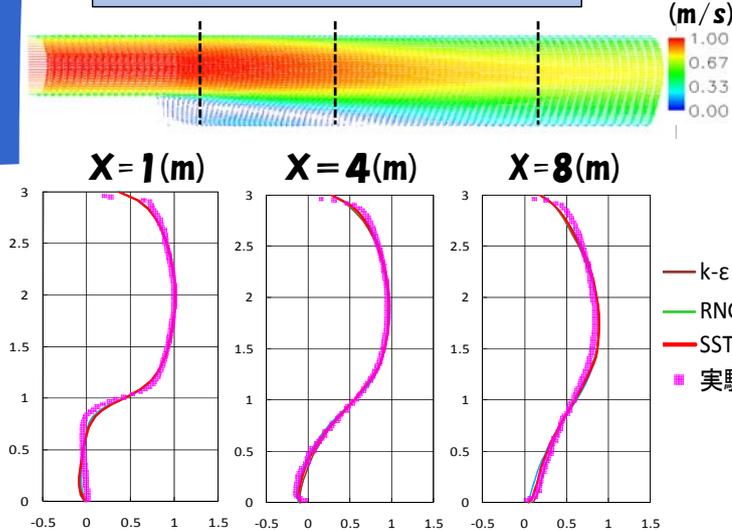
・RANSモデル各種

## 解析対象

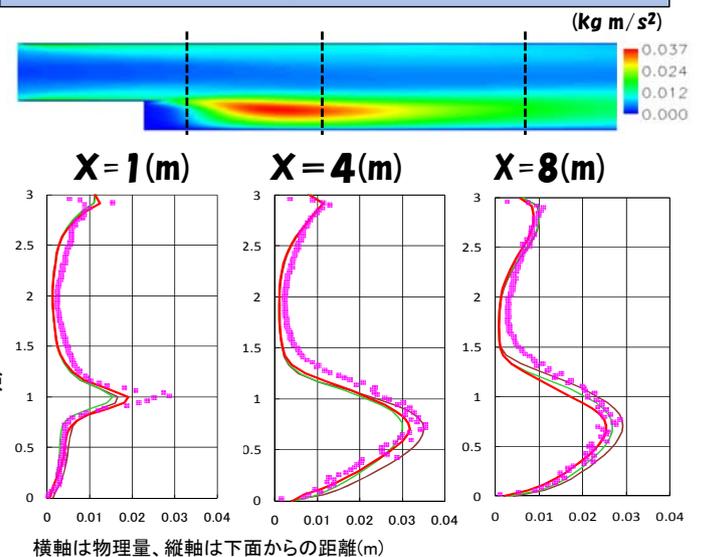


# 事例：バックステップ

## 速度分布(SST k-ωモデル)



## 乱流エネルギー分布(SST k-ωモデル)



## 再付着点距離

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

- ・全体的にSST k-ωモデルの精度が最も優れる
- ・RNGは標準k-εに比べると精度が良い

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



# 事例：平行平板(乱流機能の検証)

## [解析条件]

乱流モデル : LES (標準Smagorinskyモデル)  
 差分スキーム : 2次中心差分  
 時間積分 : Crank-Nicolson法  
 乱流レイノルズ数 : 180

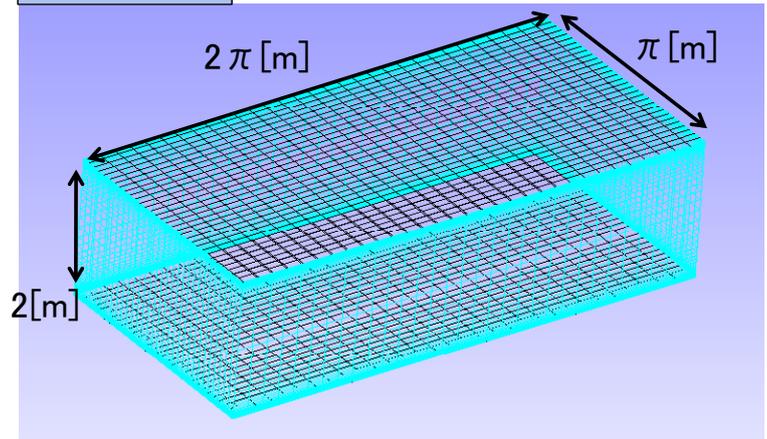
乱流レイノルズ数:  $\frac{u_\tau L}{\nu}$   
 $L$ : 典型的な長さ  $\nu$ : 動粘性係数  
 $u_\tau$ : 壁面せん断速度

乱流レイノルズ数が一定となるよう、各セルにソース項を導入

## [解析規模]

節点数	59,582(coarse mesh) 246,078(fine mesh)
要素数	64,512(coarse mesh) 258,048(fine mesh)

## 解析対象



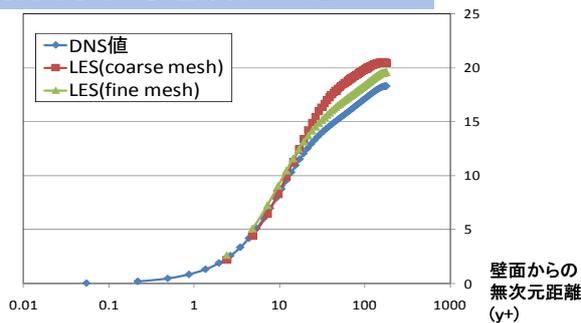
## [主な検証機能]

・LES



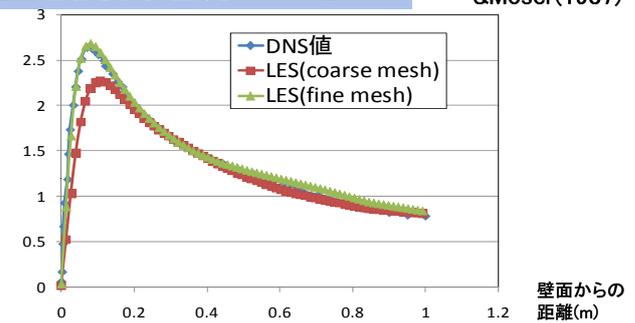
# 事例：平行平板(乱流機能の検証)

## [主流方向平均速度(m/s)]

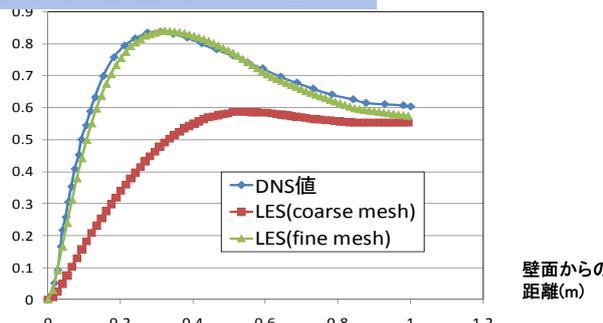


## [主流方向速度のrms]

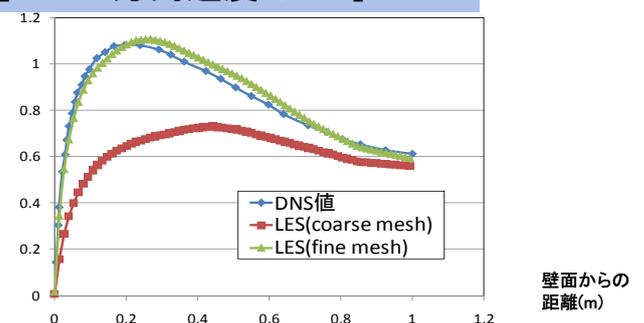
DNS値 :Kim,Moin & Moser(1987)



## [壁面方向速度のrms]



## [スパン方向速度のrms]



格子を詳細化することでDNS値と比較できるほど高精度な結果が得られる  
 →LESで精度を追求すると格子数を増やす必要がある→並列計算がお勧め

# 事例：回転角柱の圧力脈動

## [解析条件]

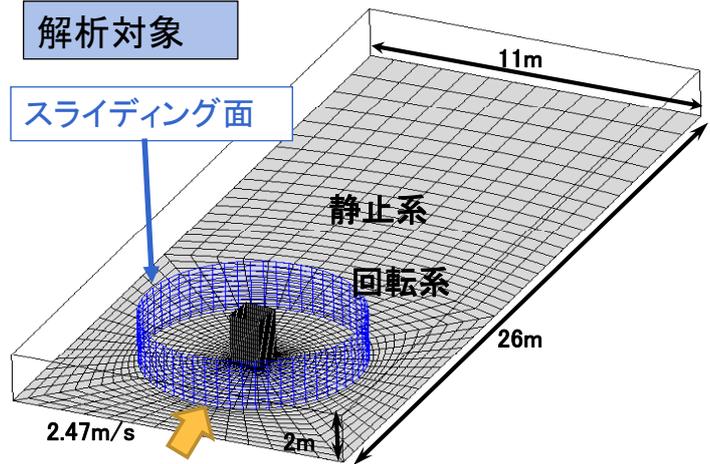
流入速度 : 2.47[m/s](レイノルズ数 : 7100)  
 回転数 : 175.8、220.8、270[rpm]  
 乱流モデル : LES (標準Smagorinskyモデル)  
 差分スキーム : 2次中心差分  
 時間積分 : Euler陰解法  
 流体 : 非圧縮流体

## [解析規模]

節点数	25,919
要素数	22,260

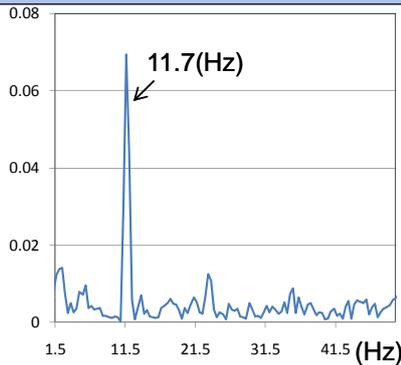
## [主な検証機能]

- ・乱流モデル(LES)
- ・スライディング格子機能



# 事例：回転角柱の圧力脈動

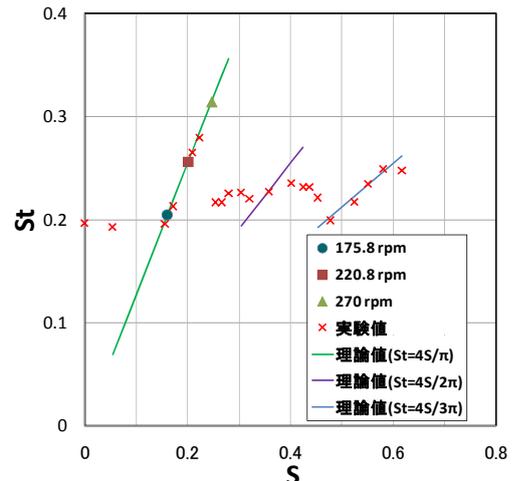
## 周波数別スペクトル強度解析(175.8 rpm)



$$\text{ストローハル数 } St = \frac{Df}{U}$$

$$\text{スピンプラメータ } S = \frac{\pi Df'}{U}$$

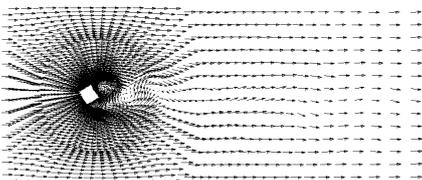
- $f$  : 観測する周波数
- $D$  : 典型的な長さ
- $f'$  : 角柱の回転周波数
- $U$  : 典型的な速度



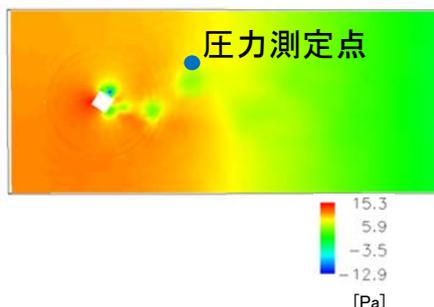
(注)270rpmは非周期性があるため取るピーク値によってずれが生じる

**角柱の形状が反映された  
(回転振動数の4倍の)  
振動数が捉えられた**

## 速度分布(175.8 rpm)



## 静圧分布(175.8 rpm)

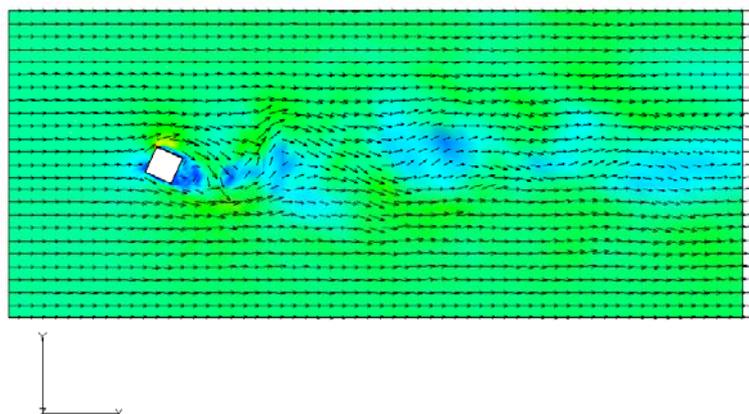
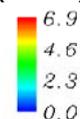


参考文献： 黒田ら、日本機械学会論文  
集B編 62巻597号(1996) p1709

# 事例：回転角柱の圧力脈動

[速度分布(175.8rpm)]

(m/s)

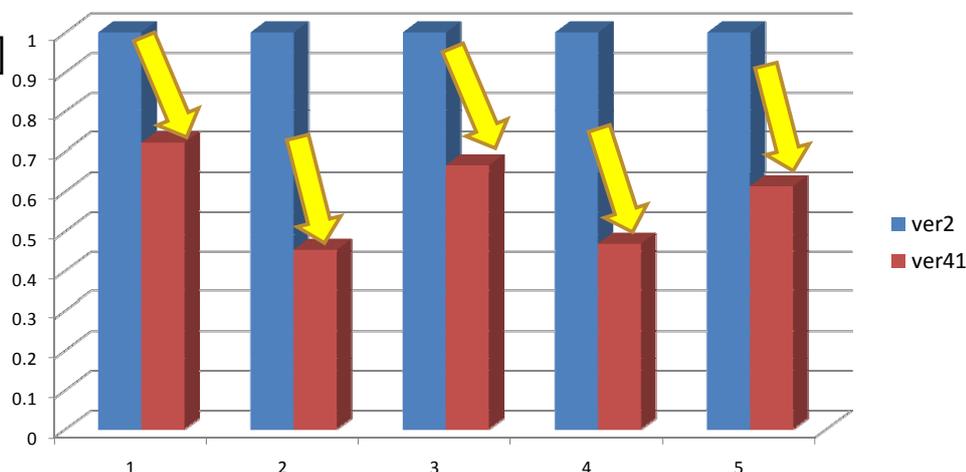


## Advance/FrontFlow/red ver2.0との計算時間比較

No		節点数	step	ver2.0	ver4.1
1	CAVITY(レイリー数1d3)	30,603	収束まで	1190sec	857sec
2	Backstep(KE)	11,505	収束まで	983sec	445sec
3	CYLINDER(moulton法使用)	44,756	1~1,000	302min	201min
4	Parallel board(coarse mesh)	64,512	1~20,000	3170min	1483min
5	Bump(Mach0.5)	38,880	1~500	1100min	674min

\*全てCPU(AMD Opteron 280 (2.4GHz) DualCore)の1コアを用いた計算時間

[計算時間の比]



全ての事例で数倍程度の高速化を実現  
詳しい高速化手法は後ほど、



## まとめ

---

- Advance/Frontflow/red ver4.1のリリースに伴い、いくつかの基礎的な事例で検証計算を行った。
  - その結果、全ての事例で妥当な計算結果が得られていることがわかった。
  - 計算時間は、Advance/Frontflow/red ver2と比べると全ての事例で数倍程度の高速化が実現されていることがわかった。





2010  
5/31



# アドバンスソフト技術セミナー 流体ソフトウェアのご紹介

Advance/FrontFlow/red Ver4.1の高速化手法

アドバンスソフト株式会社  
技術第3部 主事研究員  
大西 陽一

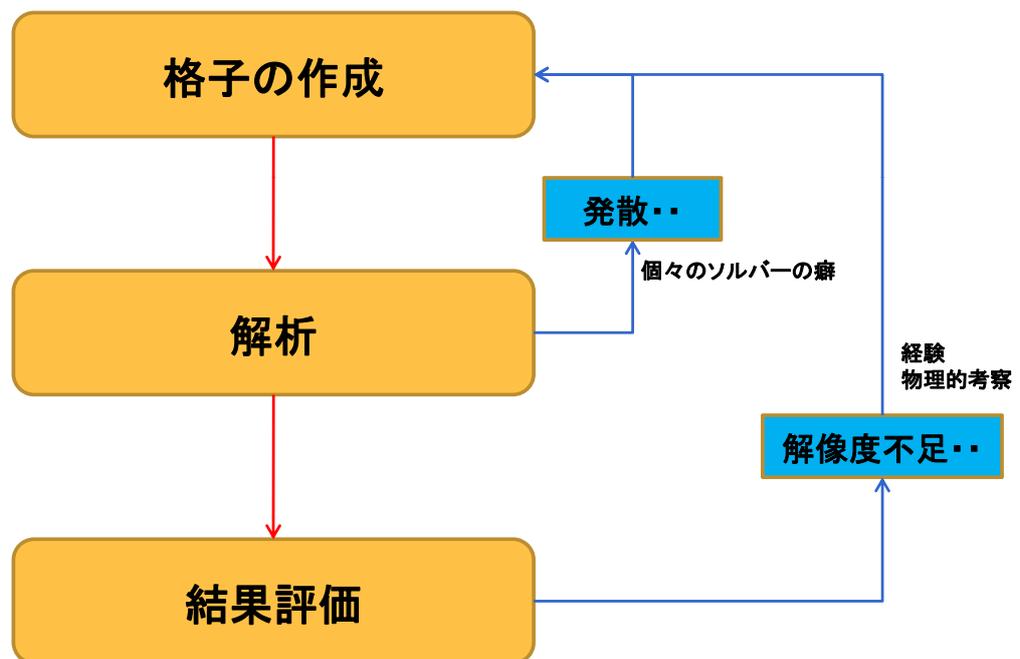
4.

## 内容

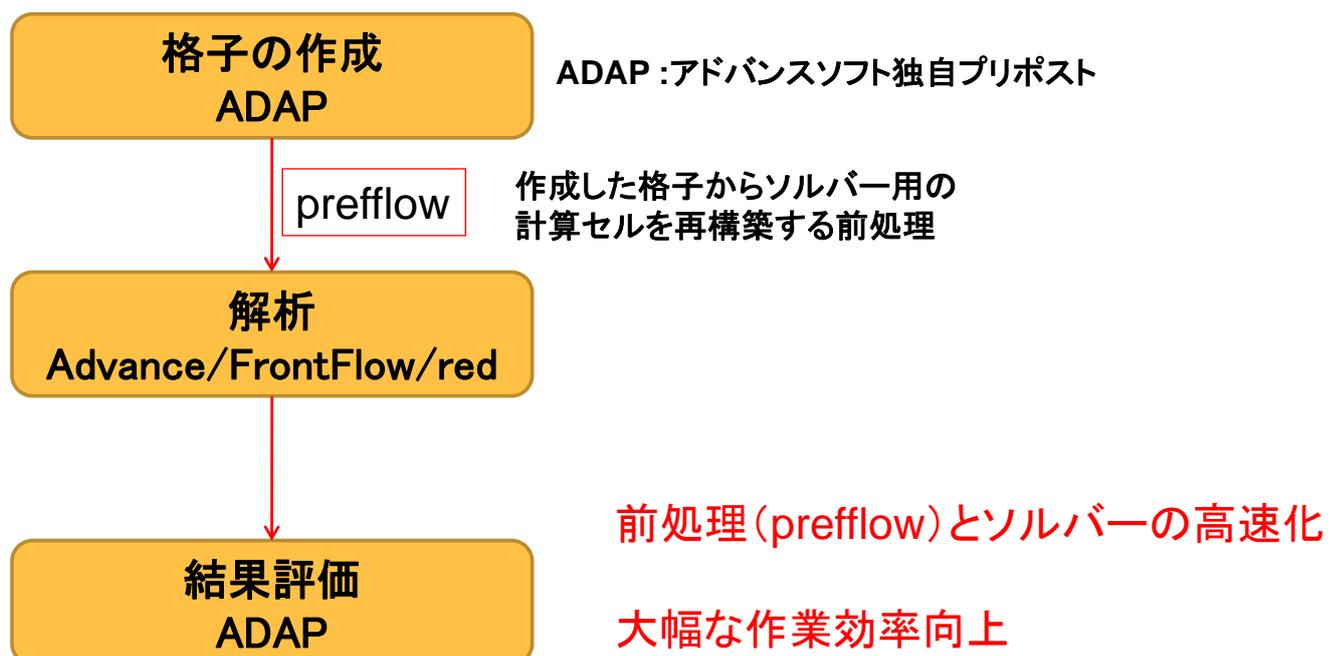
1. Advance/FrontFlow/redの解析手順
2. 前処理 (prefflow) の高速化
3. ソルバーの高速化
  - ・定常計算の高速化
  - ・AMG法の導入
  - ・並列化効率の向上
4. まとめ
  - ・今後の高速化計画



## CFDソフトを使った解析手順

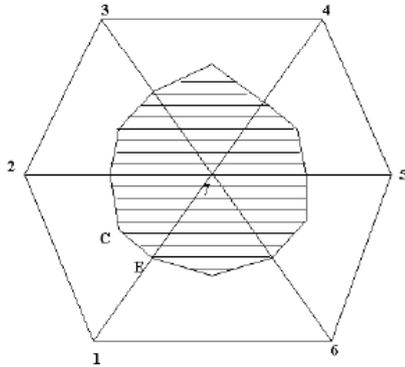


## Advance/FrontFlow/red(AFFr)を使った解析手順



# Prefflow とは?

✓ メッシャー (ADAP, ...) で作成した格子セルからソルバーで使用する計算セルを作り直す。



節点中心法 : 節点の周りに計算セルを作る

テトラ、プリズム、ピラミッド格子を用いた場合  
計算セルは多面体セルになる。

利点

- ・流束評価面が増える。
- ・格子歪み度が改善される。 → 計算安定化

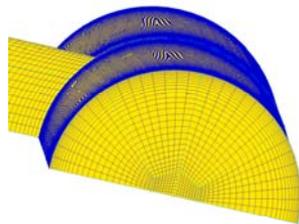
注) 計算セル体積は増加しているので  
誤差評価は慎重に



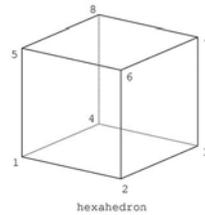
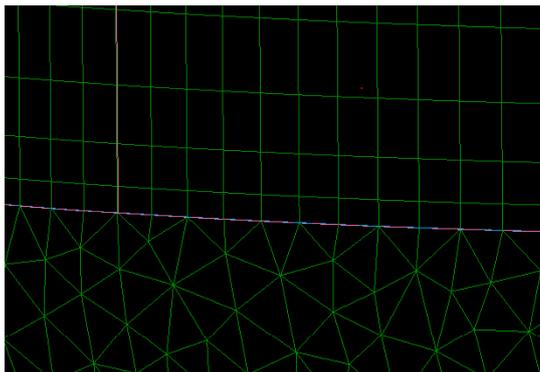
# AFFrで利用できるセル形状

ヘキサ、プリズム、ピラミッド、テトラを用いて  
格子を柔軟に作成することができる。  
(ソルバー内では多面体要素ができています。)

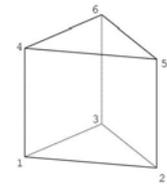
格子作成サンプル



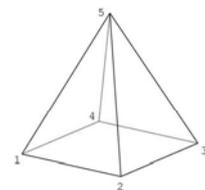
特異点を含む領域とその周りを  
接合して作った円筒形状



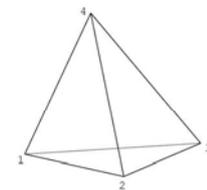
hexahedron



prism



pyramid



tetrahedron

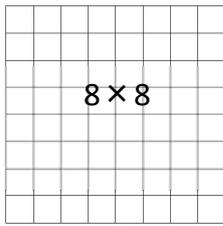
- ・重要な領域は細かく、流れに沿った形状
- ・複雑な領域は自動メッシュ作成



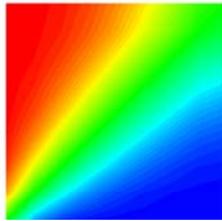
ヘキサメッシュと  
テトラメッシュの接合部分

# 格子品質

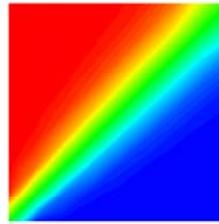
100K



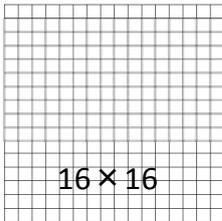
1次風上



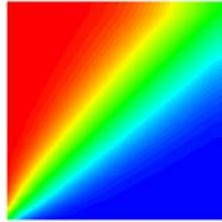
2次風上



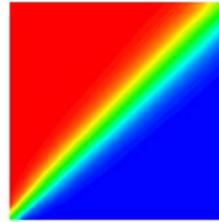
20K



1次風上



2次風上

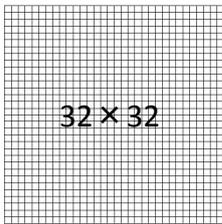


・流れに沿った格子分割  
・必要部分に適切な解像度が重要

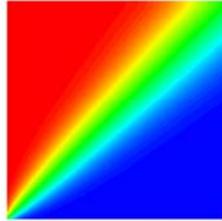
複雑形状を有する実機解析では経験、物理的考察がより必要

最適な格子作成まではトライアンドエラーが..

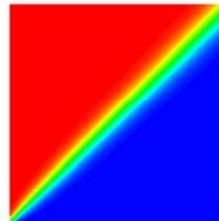
32 × 32



1次風上



2次風上



## prefflowの高速化(1)

- 前処理プログラム prefflow  
処理時間のかかるサブルーチンのアルゴリズムを改良して、高速化した。

```

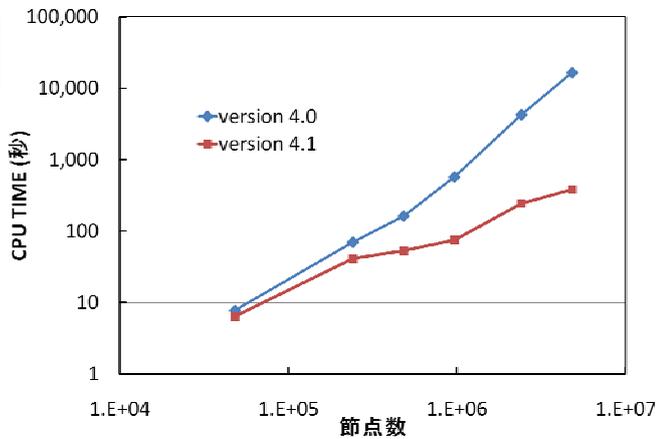
(略)
### list_wall_distance...
***** Start measuring all Distance *****
Processing ... NO. 2000 FINISHED, Dis. & BC 0.2704E+01 9411
Processing ... NO. 4000 FINISHED, Dis. & BC 0.1131E-01 10098
(略)
Processing ... NO. 58000 FINISHED, Dis. & BC 0.1699E+00 9483
Processing ... NO. 60000 FINISHED, Dis. & BC 0.1375E+00 11386
***** End measuring all Distance *****
### list_output_geom...
(略)
    
```

壁面距離を測定する部分を高速化

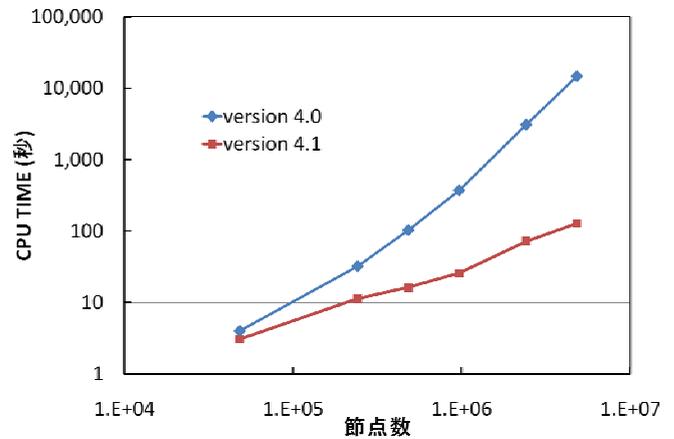


## prefflowの高速化(2)

prefflowの計算時間(cpu time)のサイズ依存性  
(AMD Opteron 2.4GHz)



serial計算用

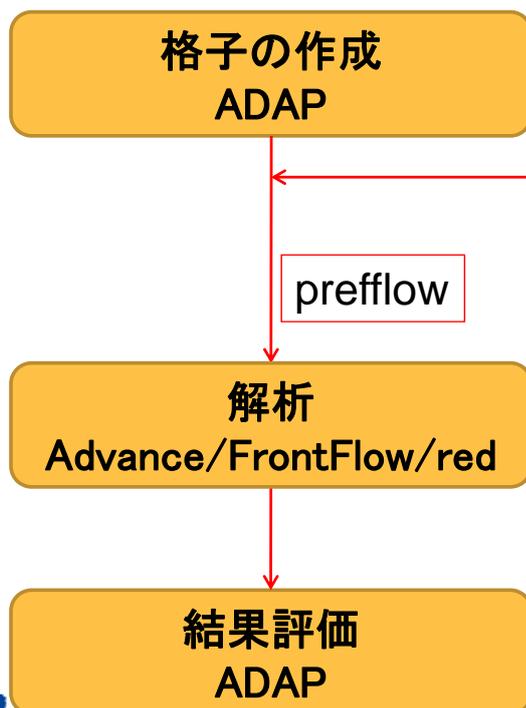


並列計算用 (8並列計算用)  
領域分割法にはMetisを使用

大規模になるほど高速化率がUp !!  
500万要素では、100倍以上高速化 !!



## prefflowの高速化(3)



Ver4.1新機能

投入可能な並列数に合わせて領域分割しなおし再計算できる。  
Prefflowの高速化により、目的達成までの解析サイクルがよりスムーズに行える。



# ソルバーの高速化

1. **アルゴリズムの改良**  
定常計算が数倍高速化
2. **Algebraic Multi Grid法 (AMG法) の導入**  
流体ソルバーで最も計算負荷の大きい圧力ポアソンソ方程式が数倍高速化
3. **並列化効率の向上**  
共有メモリー型マルチコア対応



# アルゴリズムの改良

## 定常解をより早く求めたい！！

これまでの定常計算では・・・

AFFr ver3 ,東大版では非定常計算を実行し、  
残差が判定基準内に収まれば収束したとみなす方法

定常解が存在すれば

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + (\text{対流項}) + (\text{拡散項}) = \text{生成項} \quad \longrightarrow \quad (\text{対流項}) + (\text{拡散項}) = \text{生成項}$$

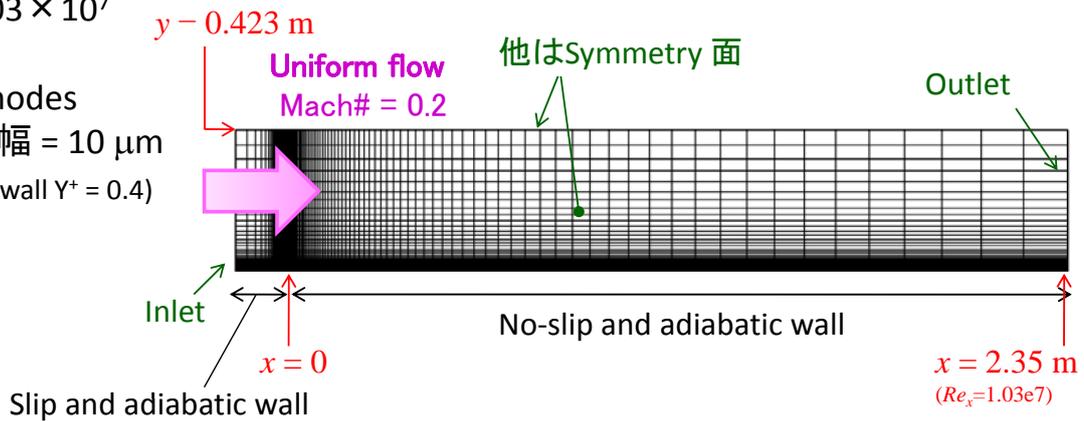
方程式の時間項を落とし、圧力-速度のカップル法を改良することで  
定常解をより早く求めることができる。

時間項を落とす＝無限大の時間刻み  
ロバスト性が大幅にアップしたことで考慮することが可能になった。



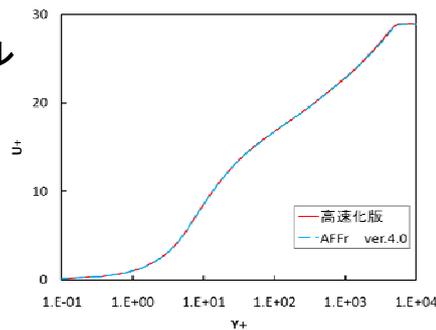
# 定常計算の高速化 乱流平板(1)

- 3D, 圧縮性N-S eq., SIMPLE、空間2次精度、RNG k-ε model + 非平衡壁処理
- 作動流体=Air (輸送係数は主流条件の値に固定)
- 主流条件
  - Mach数 = 0.2
  - 静温 = 300 K
  - 静圧 = 1013 hPa
  - Re数 =  $1.03 \times 10^7$
- 計算格子
  - 111 × 81 nodes
  - 最小格子幅 = 10 μm  
(評価点でのwall  $Y^+ = 0.4$ )



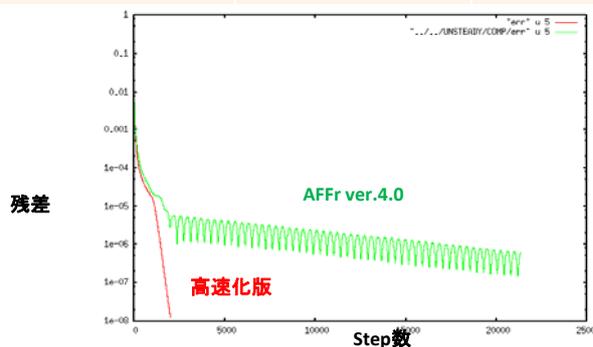
# 定常計算の高速化 乱流平板(2)

速度プロファイル



	反復回数	計算時間	計算セル数
AFFr ver.4.0	22675	31h31m53s	27360
AFFr 高速化修正バージョン	2009	2h29m43s	27360

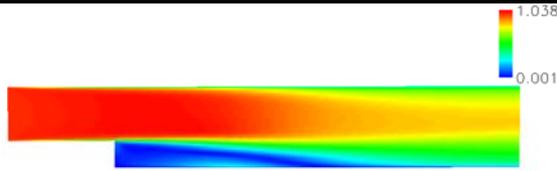
速度残差の収束履歴



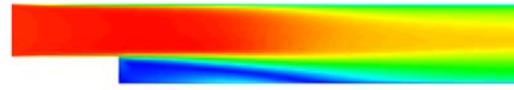
高速化修正によって  
12.6倍の高速化



# 定常計算の高速化 バックステップ流れ



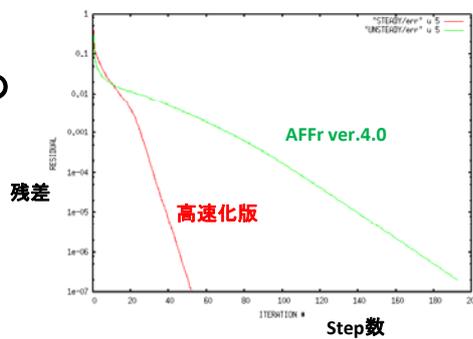
高速化前の速度絶対値分布



高速改良後の速度絶対値分布

	反復回数	計算時間	計算セル数
AFFr ver.4.0	194	9m25s	11505
AFFr 高速化修正バージョン	53	3m6s	11505
汎用ソルバー	約50	2m26s	7800

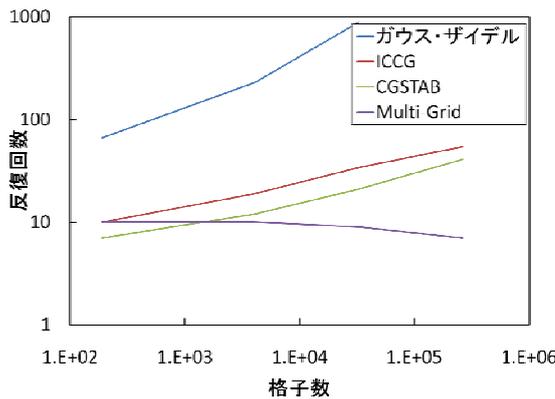
速度残差の収束履歴



高速化修正によって  
3倍の高速化



# ソルバーの高速化 AMGの導入



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

J.H.ファーツィガー 「コンピュータによる流体力学」より

・AMGソルバーの利用(\*1)

(\*1) 九州大学情報基盤研究開発センター 西田 晃 先生が開発した  
AMGの線形ソルバーを利用できます。

利用をご希望の方は、以下のサイトからダウンロードしてください。

<http://www.ssisc.org/>

インターフェイスはAdvance/FrontFlow/redに入れています。

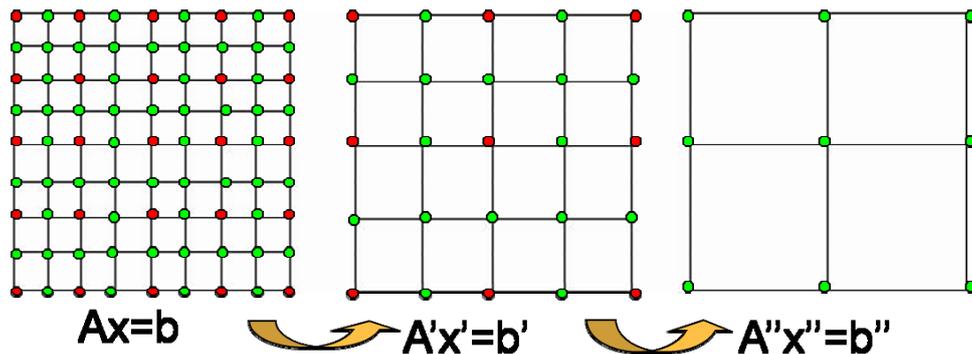
- うまく機能する問題に対しては、計算量 $O(n)$   
但し $n$ は未知数の数
  - 問題サイズに依存しないで反復回数一定
- 領域並列性がある
  - 問題サイズに比例してプロセッサ数を増やせば大きい問題に対してもほぼ一定時間で収束する



# ソルバーの高速化 AMGの導入

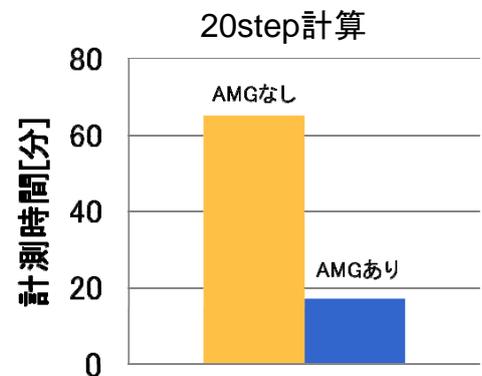
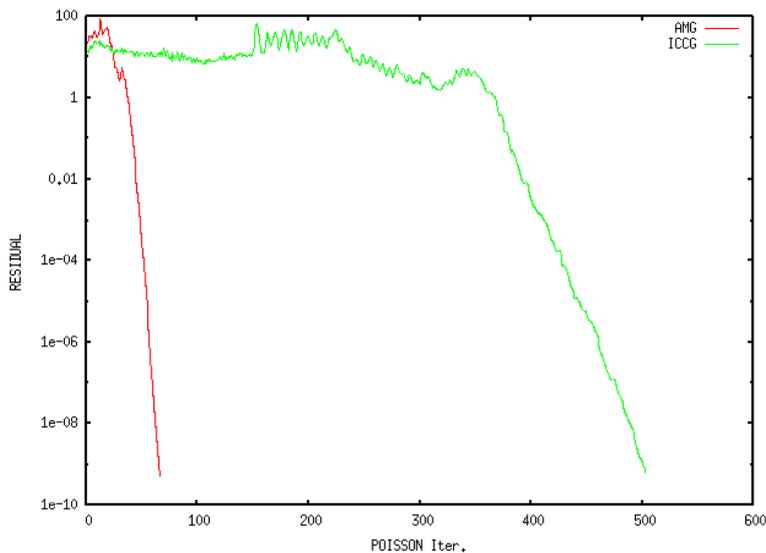
## AMGの概要

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



# ソルバーの高速化 AMGの導入

T字管 100万節点

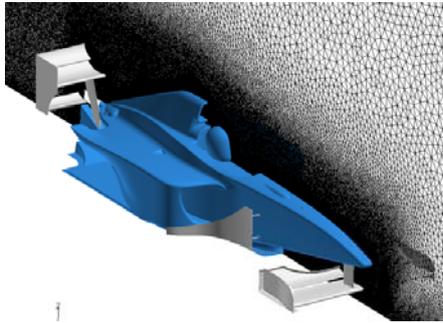


1CPU計算  
AMGあり: 66回  
AMGなし (ICCG): 503回



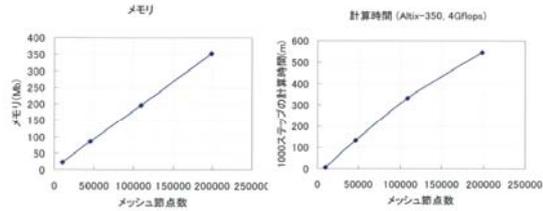
# 並列計算の実績

これまでの実績



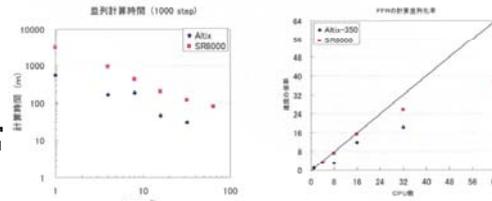
ハード : 地球シミュレータ  
 ノード : 100  
 (800CPU、バケル化率 96.40%、並列化率 99.88%)  
 メモリサイズ : 515GB  
 計算時間(real time) : 120[h]

Case	cell	node	memo (M)	time (s)	time1 (s)	time2 (s)	time3 (s)	average (m)
1	52,282	9,990	23	472	484	473	233	7
2	252,577	45,786	86	7945	7978	8093	8008	133
3	606,093	109,241	196	19654	19074	21485		335
4	1,113,905	198,779	353	76923	37031	34400		546



1CPUでの計算時間とメモリ、Altix-350, 1000 Step

CPU	Altix		SR8000	
	time (m)	speedup	time (m)	speedup
1	546.00	1.00	3025.10	1.00
4	167.30	3.26	921.50	3.28
8	167.00	2.92	429.00	7.05
16	48.00	11.37	188.60	15.23
32	30.00	18.20	118.48	25.53
64	-	-	80.94	37.37



Case 4 の並列計算の並列化率

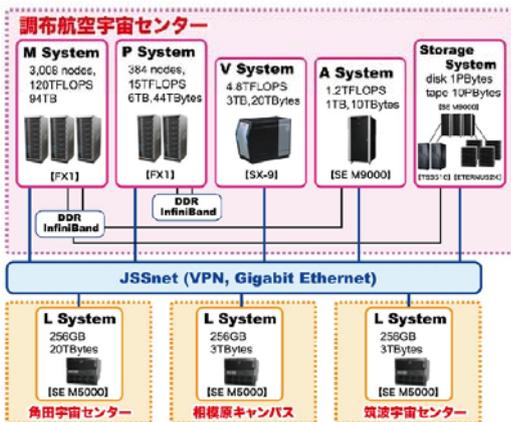
その他の国内各機関スパコンでの稼働実績が豊富



# マルチコア並列化効率の向上

半導体技術の進展を受けて、CPUチップ内に多数のプロセッサコアを内蔵した「マルチコア」が主流

JAXA –Supercomputer System(JSS)



提供JAXA

1node 1cpu 4core

Node内通信: IMPACT並列(自動並列化機能)

Node間通信: MPI

問題点 IMPACT並列機能では Node内負荷の不均等に十分対応できていない。



# マルチコア並列化効率の向上

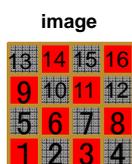
問題点 IMPACT自動並列機能だけではNode内負荷の不均等に対応できていない。

ポアソン方程式を解く行列ソルバーにおいて  
前進後退代入・前処理などデータ依存性のある個所は自動並列化をしない。

**共有メモリ型を意識した並列化が必要**

改良点

- ・OpenMPを用いた並列化
- ・マルチカラーオーダーリング法を用いてデータ依存性を除去  
データ依存性のない要素群ごとに分類しなおす(色分け)



・非構造格子を扱うAFFrでは、より多くの色数でオーダーリングする手法を採用  
Reverse Cuthill-McKee Ordering

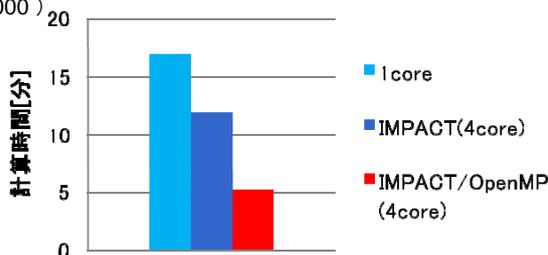
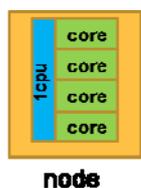
AFFrのポアソンソルバー-ICCG法 ILU-Bicgstab法の並列化に向いている。



# マルチコア並列化効率の向上

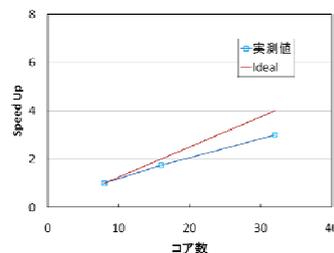
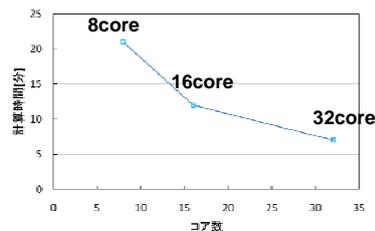
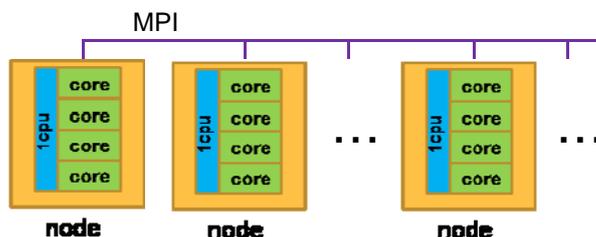
✓1node(pure thread並列)

計算対象: ロケット燃焼器 (節点数:23,000)



✓Multi node(hybrid MPI/IMPACT/OpenMP 並列)

計算対象: ロケット燃焼器 (節点数:160,000)



# まとめ

## ✓Prefflowの高速化

大規模格子で100倍以上の高速化

## ✓ソルバーの高速化

1. アルゴリズムの改良

定常計算が数倍高速化

2. Algebraic Multi Grid法 (AMG法) の導入

圧力ポアソンソルバーが数倍高速化

3. 並列化効率の向上

共有メモリー型マルチコア対応



# 今後の計画

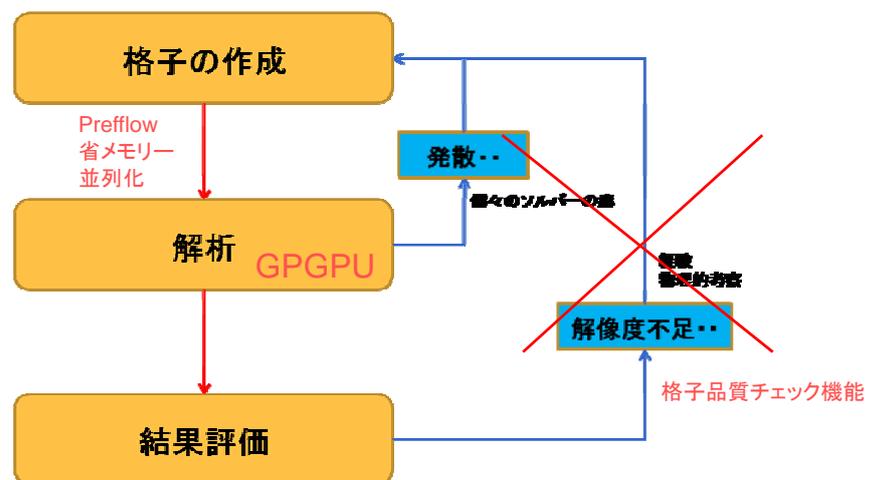
## ✓ Prefflow

- ・省メモリー
- ・並列化対応

## ✓ ソルバー

- ・GPGPU
- ・圧力ベースカップル法の導入
- ・無反復法の導入
- ・燃焼計算にISATの導入

## ✓ 格子品質チェック機能の強化



Prefflowの省メモリー化、ソルバーのGPGPU化を次期versionリリースに向けて優先的に開発中



**「出光興産 生産技術センターにおける FrontFlow/red 導入  
(実験、他ソフトとの精度、計算時間比較)」**

出光興産株式会社 米川 太 様

概要:長年使用してきた流動解析ソフトの大幅価格高騰に伴い、Advance/FrontFlow/red の活用を開始、実測、従来ソフトと比較検討した結果、解析精度、計算時間について予想を超える驚くべき結果が得られました。今後の期待、活用計画等もあわせて説明します。

資料配布不可



2010  
5/31



## アドバンスソフト技術セミナー 流体ソフトウェアのご紹介

使い勝手を向上させる汎用プリポストプロセッサ  
ADAP (Advance/REVOCAP) のご紹介

アドバンスソフト株式会社  
技術第5部 主事研究員  
徳永 健一

6.

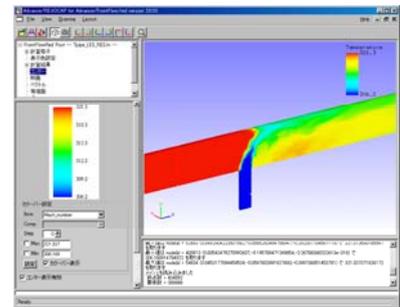
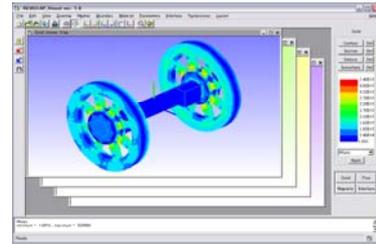
### 内容

1. ADAP (Advance/REVOCAP) 開発の目的と経緯
2. おもな機能と特徴
3. 作業手順のご説明
4. Ver. 2.0 から Ver. 2.1 へ改良点について
5. 今後の予定
6. 実演(デモ)



# 1. ADAP (Advance/REVOCAP) 開発の目的と経緯

- 2005年度～2007年度  
「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」  
革新的汎用連成シミュレーション REVOCAP で  
連成解析用のプレポストプロセッサ  
REVOCAP\_Mesh、REVOCAP\_Visual を開発
- 2008年度～  
「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」  
大規模アセンブリ構造対応マルチ力学シミュレータ REVOCAP で  
大規模アセンブリ構造対応プレポスト REVOCAP\_PrePost を開発
- 2009年7月  
アドバンスソフトの独自改良版として、  
ADAP (Advance/REVOCAP) Ver. 2.0 をリリース
- 2010年6月  
Advance/FrontFlow/red 対応版 Ver. 2.1 をリリース



3

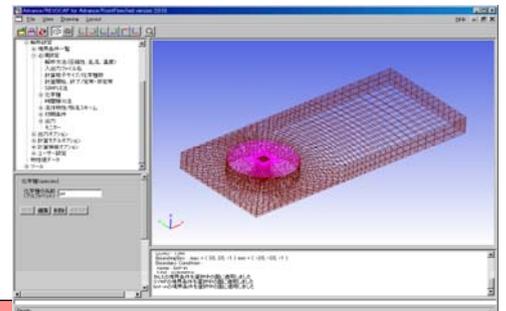
# 1. ADAP (Advance/REVOCAP) 開発の目的と経緯

Advance/FrontFlow/red

マニュアル見ながら  
制御ファイルと格闘

研究者向け

ADAP(Advance/REVOCAP)  
による使い勝手の向上



設計者をはじめ、  
より多くの人を使う  
CFDツールへ

マニュアル見なくても  
直感的に設定可能



4

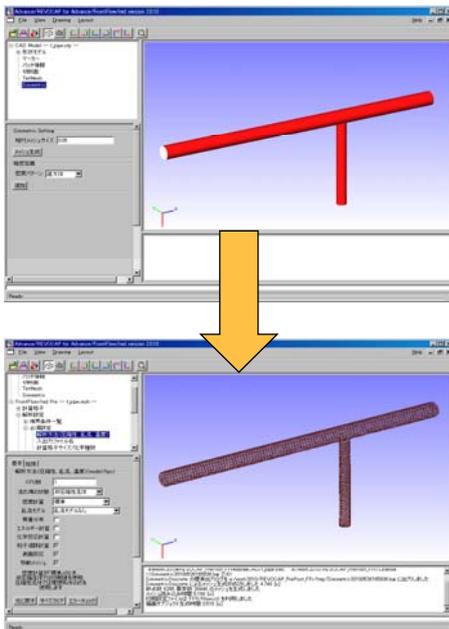
## 2. おもな機能と特徴

1. CAD ファイルからメッシュ生成
  - STL、STEP、IGES データを読み込んで、四面体メッシュの自動生成
2. メッシュ読み込み
  - 既存の解析モデルの読み込み(六面体、三角柱、四角錐も読み込み可)
3. 境界条件、解析条件の設定
  - 使いやすさの追求と、ソルバの設計思想を反映した設定画面
  - マウスで面を選択して移動
  - プリポスト上で基本的なエラーチェック機能もできる
4. クラスタ実行用スクリプトの生成
  - 計算サーバでそのまま実行できる(バッチシステムも利用可)スクリプト
  - 計算サーバと通信して残差履歴をグラフ化
5. ポスト処理
  - 表面コンター、断面、ベクトル、等値面、アニメーション



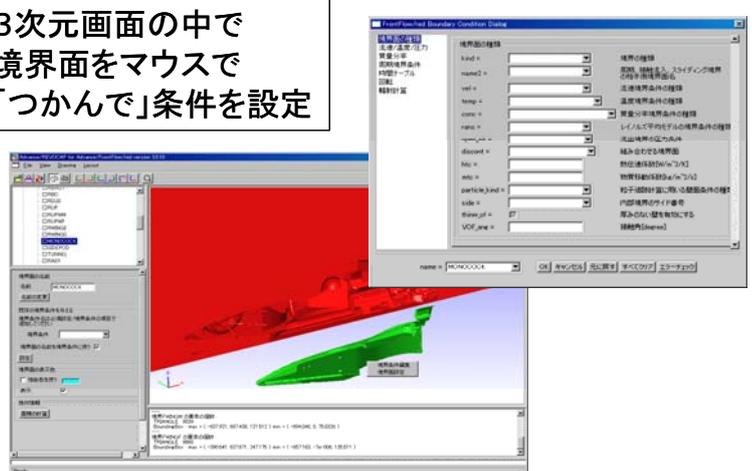
## 3. 作業手順のご説明

### ① モデルの読み込みとメッシュ生成



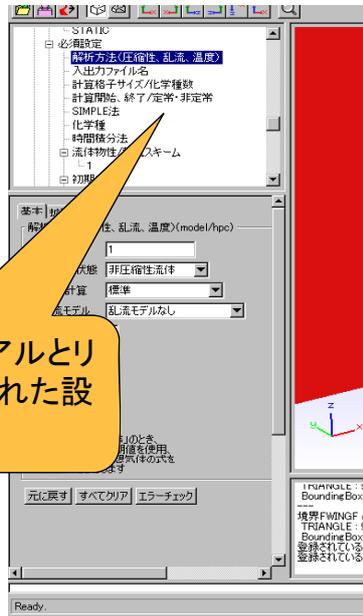
### ② 境界条件の設定

3次元画面の中で  
境界面をマウスで  
「つかんで」条件を設定



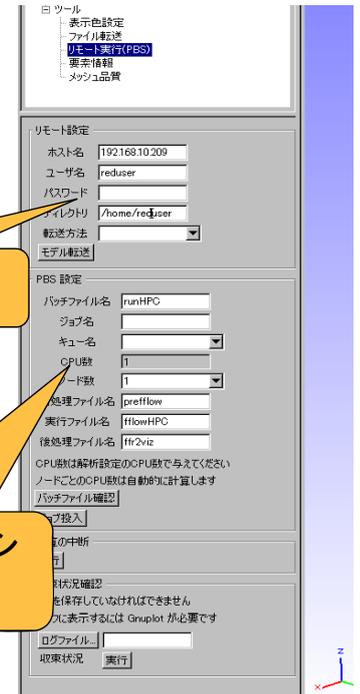
### 3. 作業手順のご説明

#### ③ 解析条件の設定



ソルバーのマニュアルとリンクした、階層化された設定項目

#### ④ 計算サーバの設定



モデルをサーバへ転送

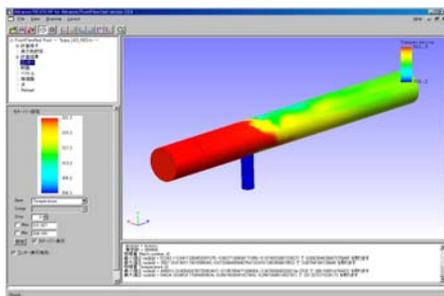
PBSなどのバッチ処理システムにも対応



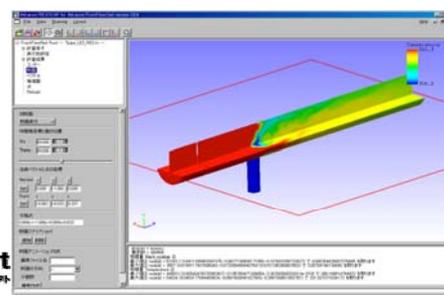
### 3. 作業手順のご説明

#### ⑤ ポスト表示

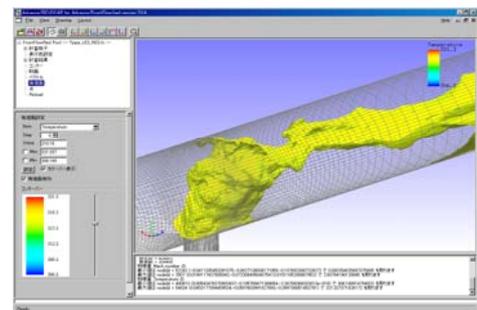
- 表面コンター



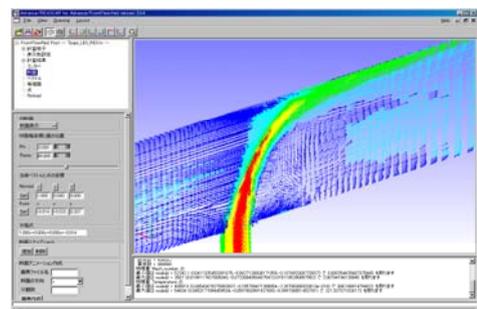
- 断面コンター



- 等値面



- ベクトル



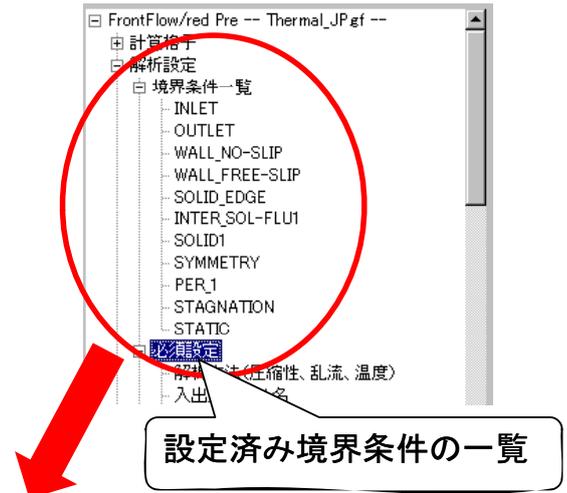
## 4. Ver. 2.0 から Ver. 2.1 へ改良点について

- Advance/FrontFlow/red Ver.4.1 の設定項目に対応

- VOF法の設定
- 厚みのない壁の境界条件
- AMG ソルバーの設定

- 設定済み境界条件が利用可能

- FFr 開発チームによって主要な変数があらかじめ設定済みの境界条件を、簡単に適用させることができます



設定済み境界条件の一覧



境界条件設定画面で選択



## 4. Ver. 2.0 から Ver. 2.1 へ改良点について

- 化学種の値を物性値データベースから入力可能に

- fluid 変数群、species 変数群で利用可能

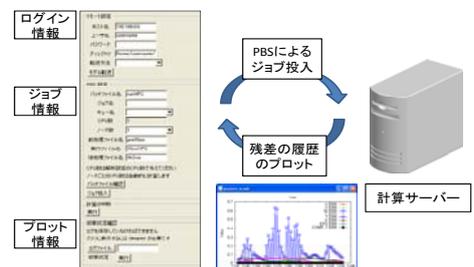
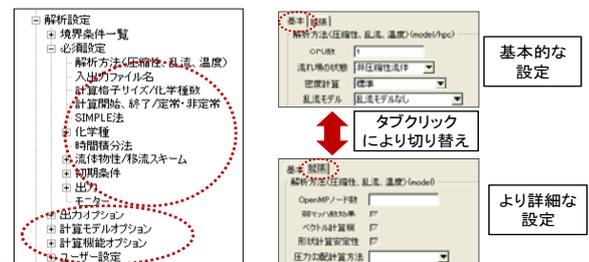
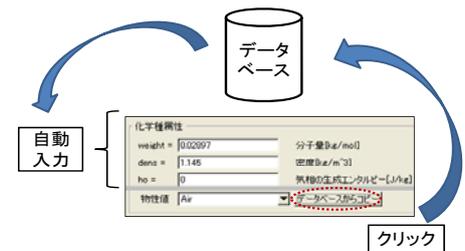
- 解析設定画面の改良

- 整理された設定ツリー
- 必須項目が明確になった設定画面

- ジョブ投入機能と連携した残差履歴のグラフ化機能

- 計算サーバーの現在の残差の状況をグラフ化します

- 入力機能の拡張



## 5. 今後の予定

### ■ 2010年夏

- Advance/FrontSTR (構造解析)対応版バージョンアップ
- Advance/FrontFlow/MP (二相流解析)対応版リリース

### ■ 2010年秋(予定)

- Windows 64bit 版 (Windows7) 対応
- Advance/FrontNoise 対応版リリース
- ポスト処理の拡充(パーティクル、ストリームラインなど)
- 国プロで開発した機能のアドバンス版への反映

### ■ 2011年～

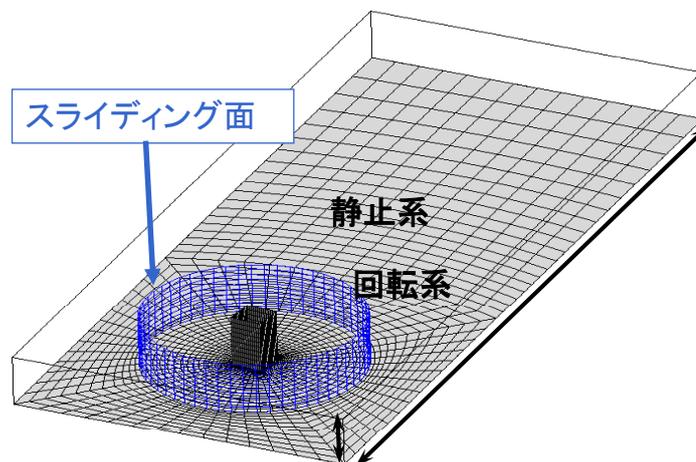
- メッシュ処理機能の拡充(適合細分化、押し出しなど)



11

## 6. 実演(デモ)

10分間で簡単な解析モデルが作ることができます！  
本日の配布CDにも含まれる基本検証事例でご紹介した  
回転角柱の圧力脈動のプリ処理のデモをご覧ください。



12

## 「Advance/FrontFlow/red の液体ロケットエンジン関連解析への適用」

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 根岸 秀世 様

概要: JAXA/情報・計算工学センターでは、数値計算技術を活用した液体ロケットエンジン設計解析技術の高度化を進めています。

本講演では、Advance/FrontFlow/red を活用した高度化への取り組みを紹介し、最近の研究状況と今後の課題について紹介します。

資料配布不可





## アドバンスソフト技術セミナー 流体ソフトウェアのご紹介

### 産業界からのユーザー事例のご紹介

アドバンスソフト株式会社  
技術第3部 主事研究員  
塩谷 仁

8.

### Advance/FrontFlow/redによる主な解析実績

#### LESによる流体解析

- **ASMOモデルによる車体周り流れの解析**
- エンジンポート非定常解析
- **ITER-テストブランケットモジュール内部の冷却材流動解析**

#### スライディング格子機能を使用した解析事例

- 遠心圧縮機の空力騒音低減の研究
- 遠心ファン流体騒音解析
- **ポンプ内流れの解析**

#### 各種物理モデルを使用した解析事例

- **オリフィス出口におけるキャビテーション噴流解析(キャビテーション)**
- 消防隊員用防火服の耐熱性能評価 (燃焼、輻射)
- 微粉炭燃焼解析 (燃焼、粒子追跡機能)
- 液体ロケットエンジン燃焼器解析 (燃焼、実在ガスモデル)



## 事例テーマ:ASMOモデルによる車体周り流れの解析

東京大学 生産技術研究所殿  
革新的シミュレーションPJ ご提供

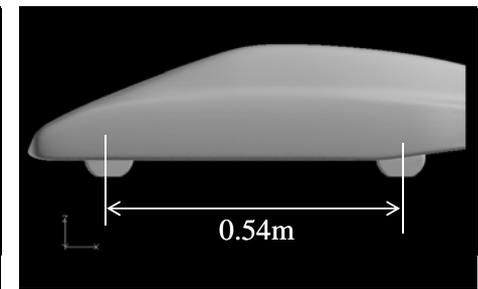
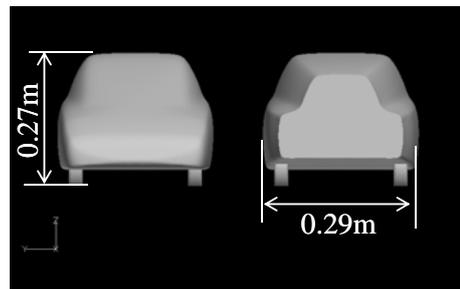
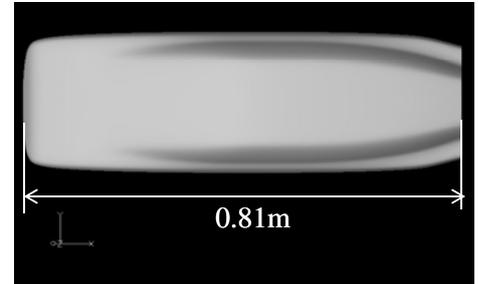
### [目的]

LESおよびRANSを用いた車両周りの非定常流れの数値解析を行い、それぞれの乱流モデルによる予測精度の比較を行った

### [解析対象]

ASMOモデル(Aerodynamics Studien Modell)  
単純な車体外形形状と平坦床下形状を持つ  
標準モデル

1/5 wind tunnel model



ASMOモデル形状

3



## 事例テーマ:ASMOモデルによる車体周り流れの解析

### [解析条件]

支配方程式	非圧縮NS方程式
乱流モデル	LES(標準スマゴリンスキーモデル) 標準k-εモデル
対流項離散化	2次精度中心差分+5% 1次精度風上差分
時間積分法	Adams-Bashforth法
主流速度	50.0(m/s)
解析領域	12.2 × 2.2 × 1.1(m)

※対流項離散化および時間積分法はLESの場合

### [解析規模]

格子形状	テトラメッシュ
格子数	約2,500万、550万、130万
並列数	256CPU
メモリサイズ	150GB
計算時間	35.6(h)

※並列数、メモリサイズは格子数2500万の場合

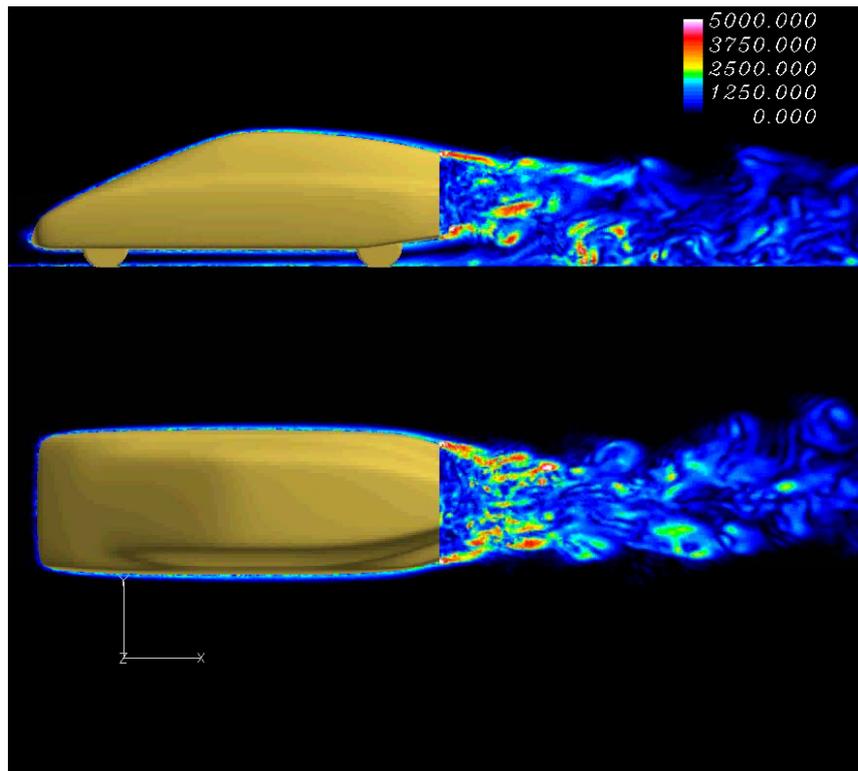
4



# 事例テーマ:ASMOモデルによる車体周り流れの解析

## [解析結果]

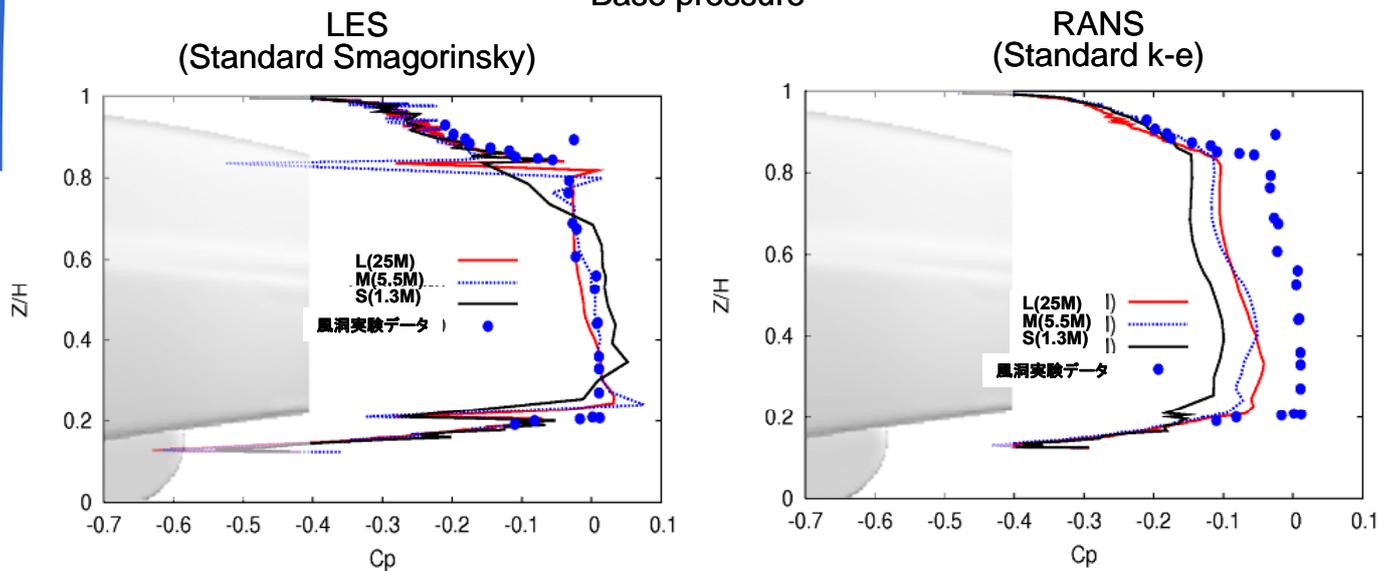
渦度分布



# 事例テーマ:ASMOモデルによる車体周り流れの解析

東京大学 生産技術研究所殿  
革新的シミュレーションPJ ご提供

Base pressure



LESはベース圧を良好に再現、RANSは空間解像度に従う収束解が風洞データに一致しない(25M)

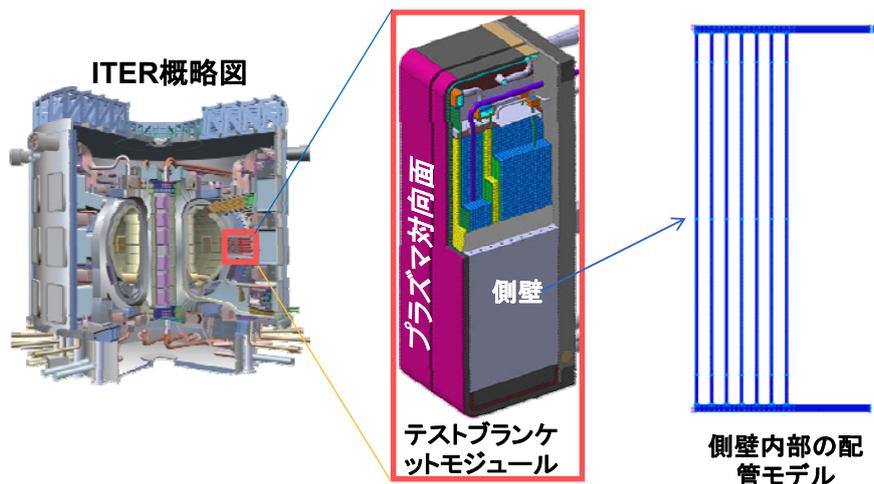


# 事例テーマ:ITER-テストブランケットモジュール内部の冷却材流動解析

## [目的]

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
核融合研究開発部門  
ブランケット工学研究グループ殿ご提供

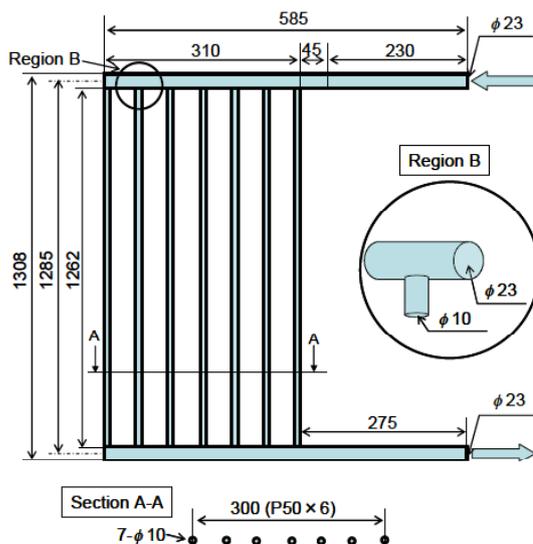
ITER(国際熱核融合実験炉)の核融合環境下で総合的な機能試験が実施されるテストブランケットモジュールの設計に際して、冷却材流動現象の実験結果と流体解析の結果を比較し、材料腐食を考慮した設計手法を確立する。流体解析では、壁近傍のせん断応力や乱流エネルギー等、構造材の浸食腐食に対してフィードバックする物理量を取得することを目的とし、テストブランケットモジュール側壁内部の全領域において、大規模な流体シミュレーションを実施した。



# 事例テーマ:ITER-テストブランケットモジュール内部の冷却材流動解析

## [解析対象]

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
核融合研究開発部門  
ブランケット工学研究グループ殿ご提供



## [境界条件]

流入境界	流出境界	壁境界
<ul style="list-style-type: none"> <li>・質量流量(指定)</li> <li>・密度(指定)</li> <li>・乱流ドライバー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・静圧(指定)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・No-slip</li> <li>・断熱</li> </ul>



# 事例テーマ:ITER-テストブランケットモジュール内部の冷却材流動解析

## [解析条件]

支配方程式	非定常非圧縮NS方程式
乱流モデル	LES(標準スマゴリンスキーモデル)
対流項離散化	2次精度中心差分+10% 1次精度風上差分
時間積分法	Euler陰解法
流体温度	300(°C ) [573.15(K)]
流体基準圧力	15(MPa)
流入量	1.5(kg/s)

## [解析規模]

格子形状	ヘキサメッシュ
格子数	約300万
時間刻み	1.0d-4 (s)
並列数	128
計算速度	500 (step/h)
5秒間の統計量計算に要する時間	100 (h)



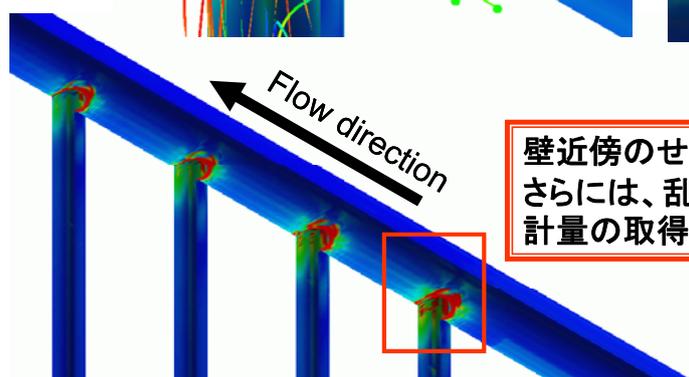
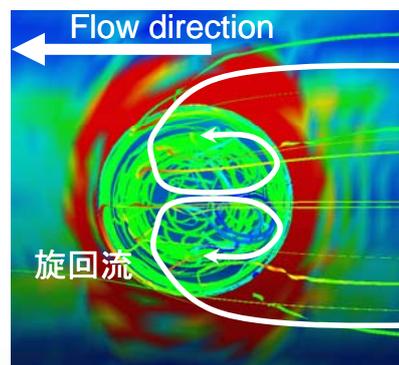
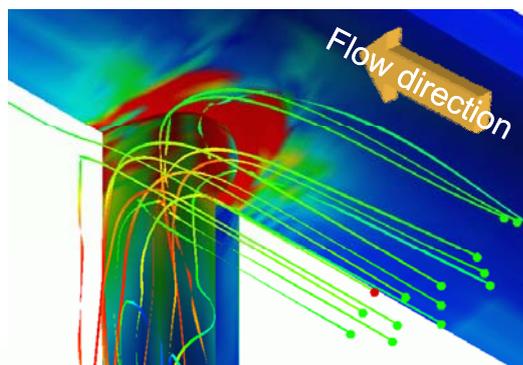
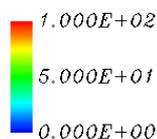
# 事例テーマ:ITER-テストブランケットモジュール内部の冷却材流動解析

## [解析結果]

ITERの核融合環境下で試験を予定している  
テストブランケットモジュール内の冷却材流動現象を  
RANSおよびLESにより再現

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
核融合研究開発部門  
ブランケット工学研究グループ殿ご提供

壁せん断応力 (Pa)



壁近傍のせん断応力や乱流エネルギーを取得。  
さらには、乱流エネルギーの収支等、高次乱流統計量の取得に成功。



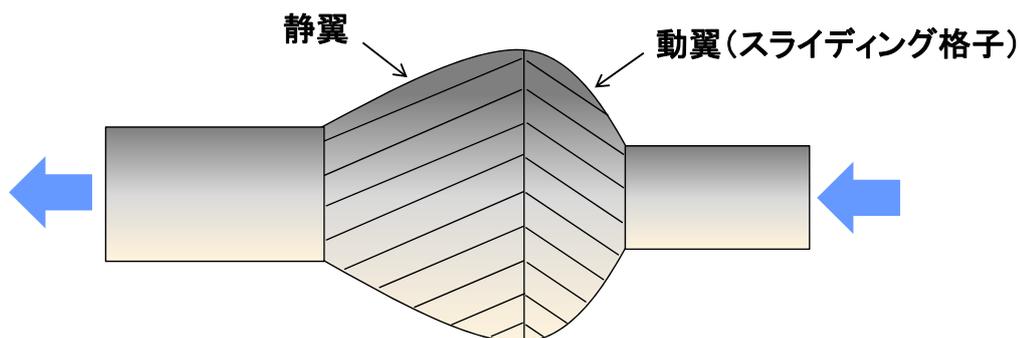
## 事例テーマ:ポンプ内流れの解析

### [目的]

ポンプ翼部の非定常流れ解析により各種物理量のデータを取得し、数値解析によるポンプ性能の予測を行った

### [解析対象]

動翼・静翼部近傍の解析を行った。動翼部についてはスライディング格子機能を使用し、回転の効果を検討した



解析形状の概略



## 事例テーマ:ポンプ内流れの解析

### [解析条件]

支配方程式	非定常非圧縮NS方程式
乱流モデル	LES(標準スマゴリンスキーモデル)
対流項離散化	2次精度中心差分+10% 1次精度風上差分
時間積分法	Euler陰解法

### [解析規模]

格子形状	ヘキサメッシュ
格子数	約30万
時間刻み	7.0d-6 (s)
並列数	4



## 事例テーマ:ポンプ内流れの解析

### [解析結果]

圧力分布の経時変化

結果はスライドでご紹介いたします



スライディング格子機能の改良により安定性が向上  
翼部前後における全水頭のデータを取得

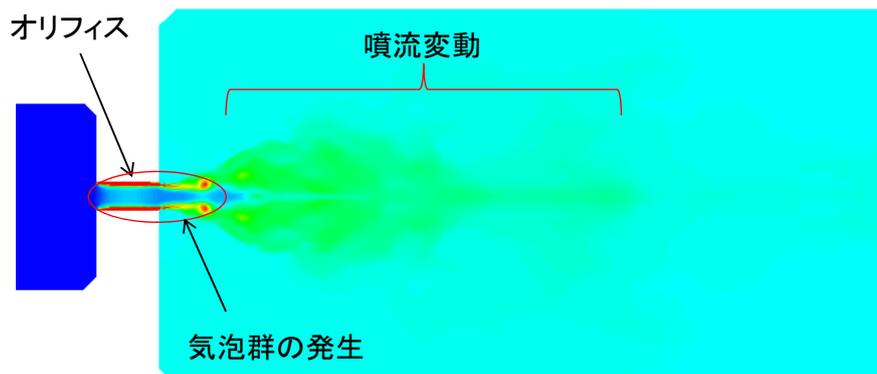
13

## 事例テーマ:オリフィス出口におけるキャビテーション噴流解析

### [目的]

オリフィス部における噴流変動と気泡群発生を解析を行った

### [解析対象]



14

## 事例テーマ:オリフィス出口におけるキャビテーション噴流解析

### Advance/FrontFlow/redのキャビテーションモデルについて

- 東北大学 井小萩研究室で研究されているモデルを使用
- 気液二相局所均質媒体モデル 気液二相媒体中の微小体積要素内に無数の微細な気泡または液滴が均質に分布すると仮定

圧力

$$p = Y\rho R_g T + (1 - Y)\rho K_1(T + T_0) \frac{p}{p + p_c}$$

音速

$$c^2 = \left. \frac{dp}{d\rho} \right|_s = \frac{C_2}{C_0 - C_1/C_{pm}} T$$

$$C_0 = 1 - (1 - Y)\rho K_1(T + T_0) \frac{p_c}{(p + p_c)^2}$$

$$C_1 = R_g Y + K_1(1 - Y) \frac{p_c}{p + p_c}$$

$$C_2 = R_g Y + K_1(1 - Y) \frac{T + T_0}{T} \frac{p_c}{p + p_c}$$

(参考文献) Y. Saito, R. Takami, I. Nakamori, T. Ikehagi, "Numerical analysis of unsteady behavior of cloud cavitation around a NACA0015 foil", Computational Mechanics (2007)



15

## 事例テーマ:オリフィス出口におけるキャビテーション噴流解析

### [解析条件]

支配方程式	非定常圧縮性NS方程式
乱流モデル	LES(標準スマゴリンスキーモデル)
対流項離散化	2次精度風上差分
時間積分法	Euler陰解法
物理モデル	キャビテーションモデル

### [解析規模]

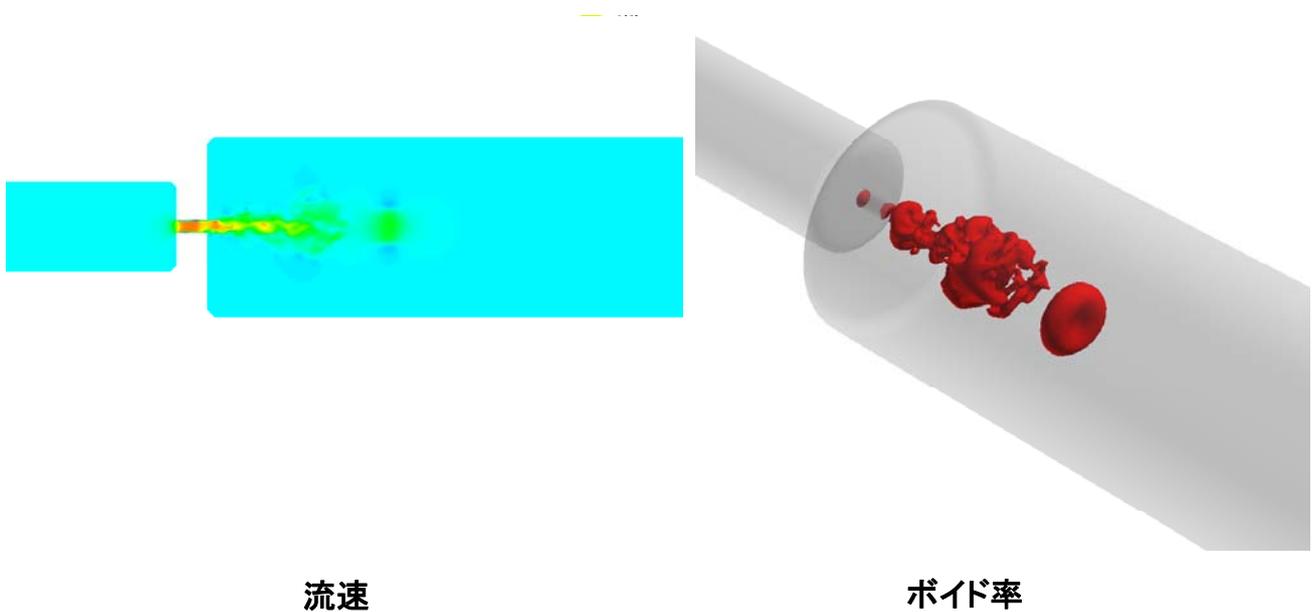
格子形状	ヘキサメッシュ
格子数	約70万
時間刻み	2.0d-7 (s)
並列数	4



16

## 事例テーマ:オリフィス出口におけるキャビテーション噴流解析

### [解析結果]



流速

ボイド率

キャビテーション噴流における気泡発生と噴流変動を再現



17

さまざまな分野においてLESを用いた解析が行われ、高精度な非定常解析結果が得られております。

また、スライディング格子機能の改良やキャビテーションモデルなど新規機能の実装により、解析対象も広がっております。

さらなる基本機能の改良や新規機能の開発を進めて参りますので、今後とも何卒よろしくお願い申し上げます。



18

# 謝辞

---

弊社セミナーの実施に際しまして、解析事例  
をご提供下さいました大学、研究所、メーカ  
ーの皆様には厚く御礼申し上げます



**警告**

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

この本資料を、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。この本資料に含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。

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

---

— お問い合わせ —

アドバンスソフト株式会社 営業第3課 河口、柴山  
〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-20 第16興和ビル南館7F  
TEL: 03-5570-1689 FAX: 03-5570-1684 E-mail: [office@advancesoft.jp](mailto:office@advancesoft.jp)  
URL: <http://www.advancesoft.jp/>

2010年5月31日

主催: アドバンスソフト株式会社

© Copyright 2010 Advancesoft All rights reserved. No reproduction without written permission.

