

Advance/FrontFlow/redの概要

2012年11月22日(木)開催
技術第3部
杉中 隆史



Advance/FrontFlow/redとは



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

Advance/FrontFlow/redの特長

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

世界トップ水準のシミュレーションソフトウェアを作る国家プロジェクト

「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクト (2002～2004年度)
「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクト(2005～2007年度)

東大生産技術研究所が中核拠点

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)

← アドバンスソフトが
主要な開発を担当

Advance/FrontFlow/red Ver5.0(現在)

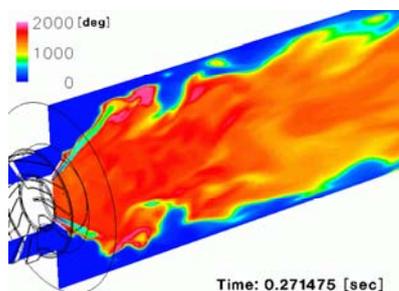
← アドバンスソフトが
改良・実用化

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

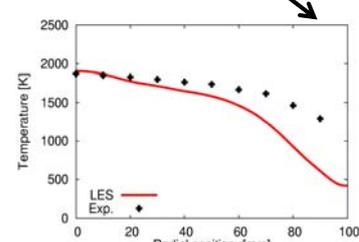
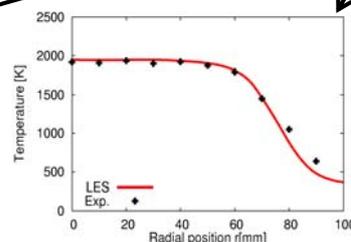
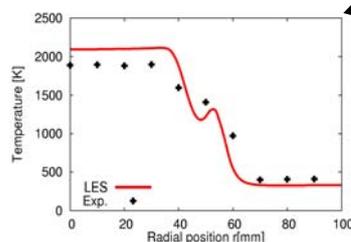
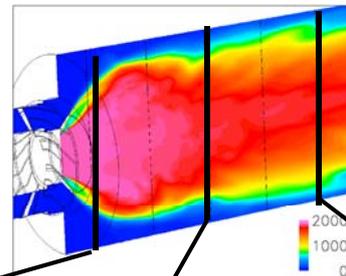
Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～燃焼解析

(例) ガスタービンの燃焼解析

温度(計算結果)



時間平均温度(計算結果)



時間平均温度(計算結果と実験結果)

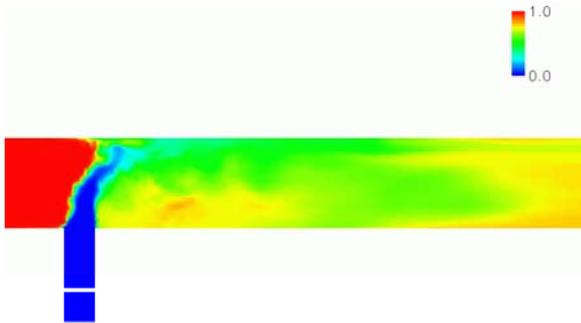
ご協力: 三菱重工業株式会社、北大工 大島先生

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



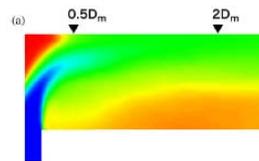
(例) 配管合流部における温度の混合解析

温度(計算結果)

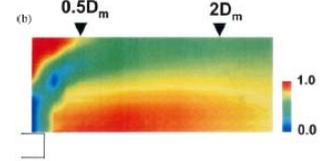


温度の時間平均値

(計算結果)

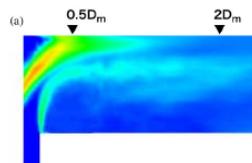


(実験結果)

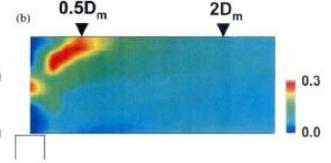


温度の変動強度

(計算結果)



(実験結果)



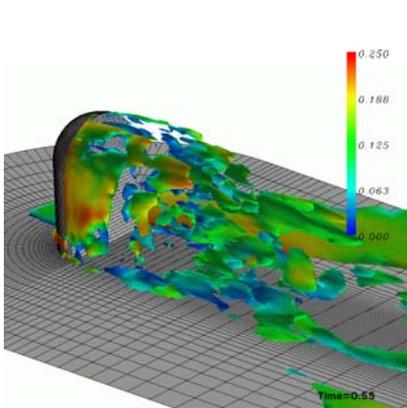
出典: 畝村他, "FrontFlow/Red によるT字形配管合流部における温度変動のラージ・エディ・シミュレーション", 第18 回数値流体力学シンポジウム (2004)

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

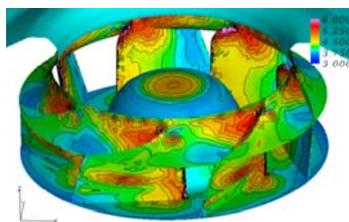


(例1) ドアミラーの騒音解析 (例2) ファンの騒音解析

ヘリシティ(計算結果)

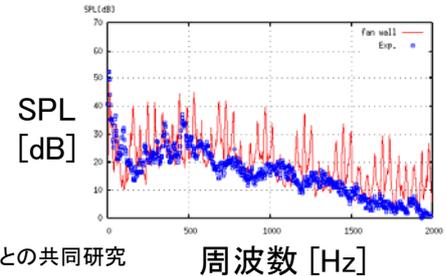


変動圧力(計算結果)



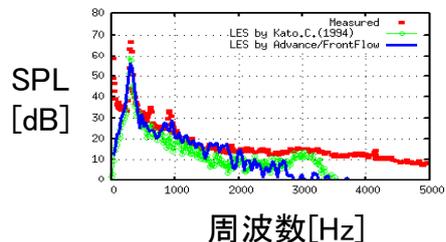
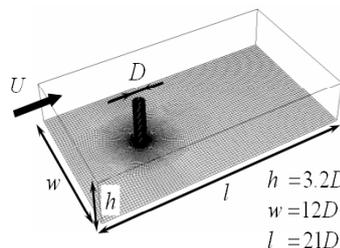
東プレ株式会社様との共同研究

音圧レベル(計算結果と実験結果)



(例3) 円柱周りの騒音解析

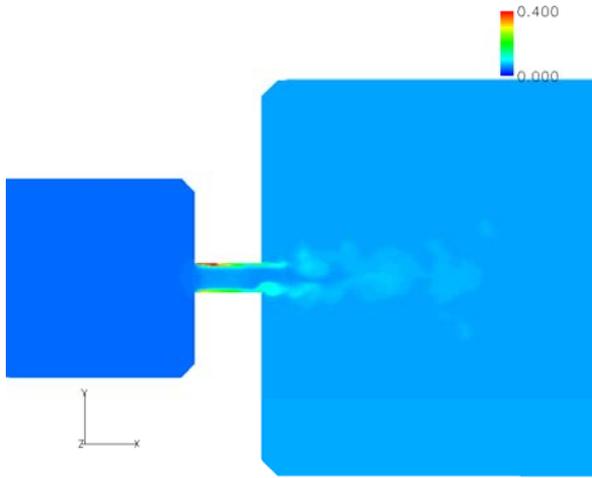
音圧レベル(計算結果と実験結果)



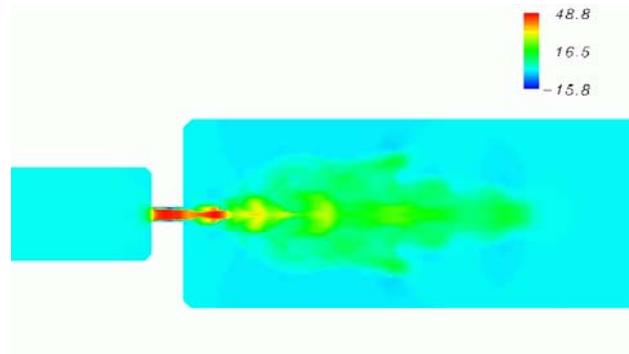


(例)オリフィス出口のキャビテーション解析

ボイド率(計算結果)



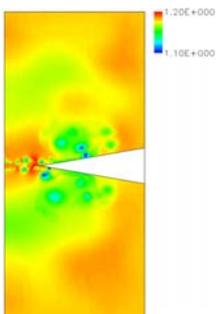
速度(計算結果)



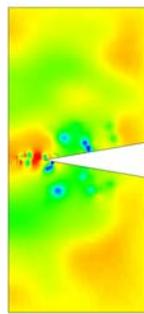
(例1) エッジトーンの圧力変動解析

(例2) 水素タンク急速充填時の温度解析(実在気体の状態方程式)

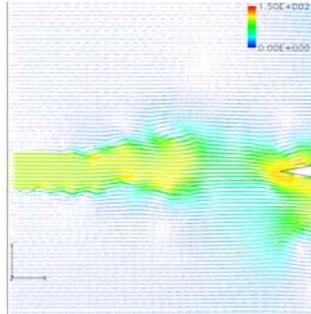
圧力
(瞬時値)



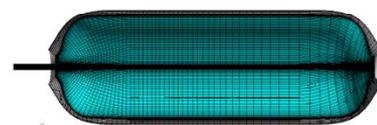
密度
(瞬時値)



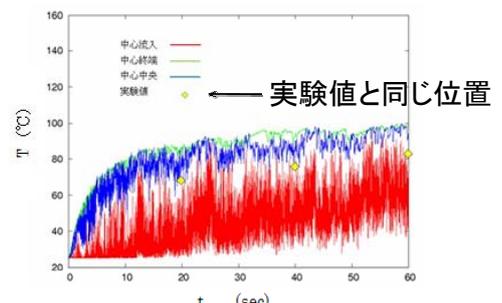
速度
(瞬時値)



容器モデル形状



温度時間変化
(計算結果と実験結果)

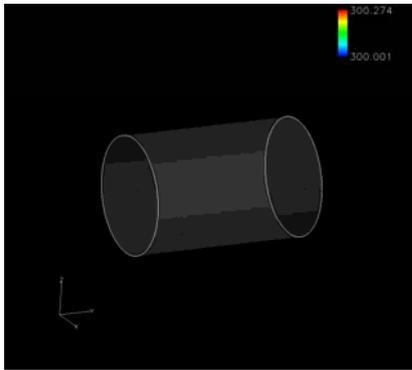


委託解析: 日本自動車研究所(JARI)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「水素社会構築共通基盤整備事業」の一環

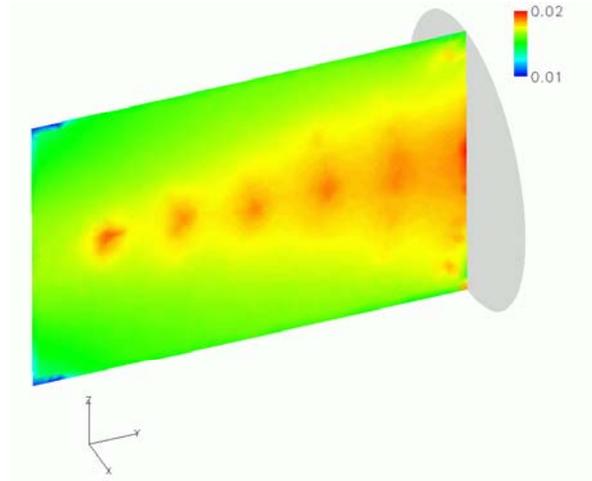
Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～粒子挙動の解析

(例)スプレーの液滴蒸発解析(液滴と気体の相互作用を考慮)

液滴の温度

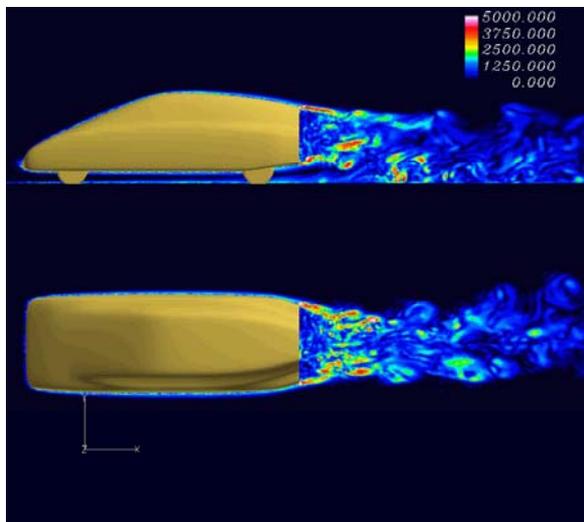


液滴が蒸発して発生した蒸気の質量分率

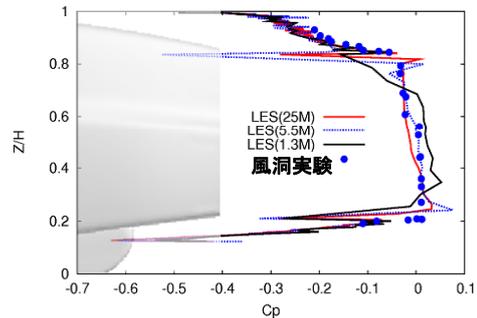


Advance/FrontFlow/redによって得られる解析結果～圧力の解析

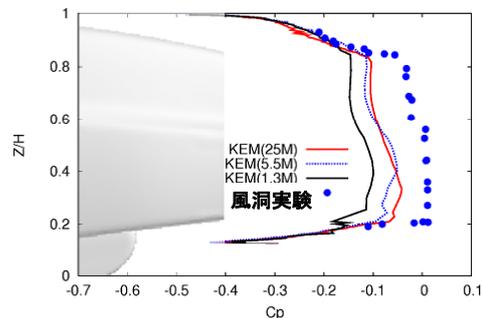
(例)車体背後の壁面圧力の解析



ラージ・エディ・シミュレーションと実験結果の比較

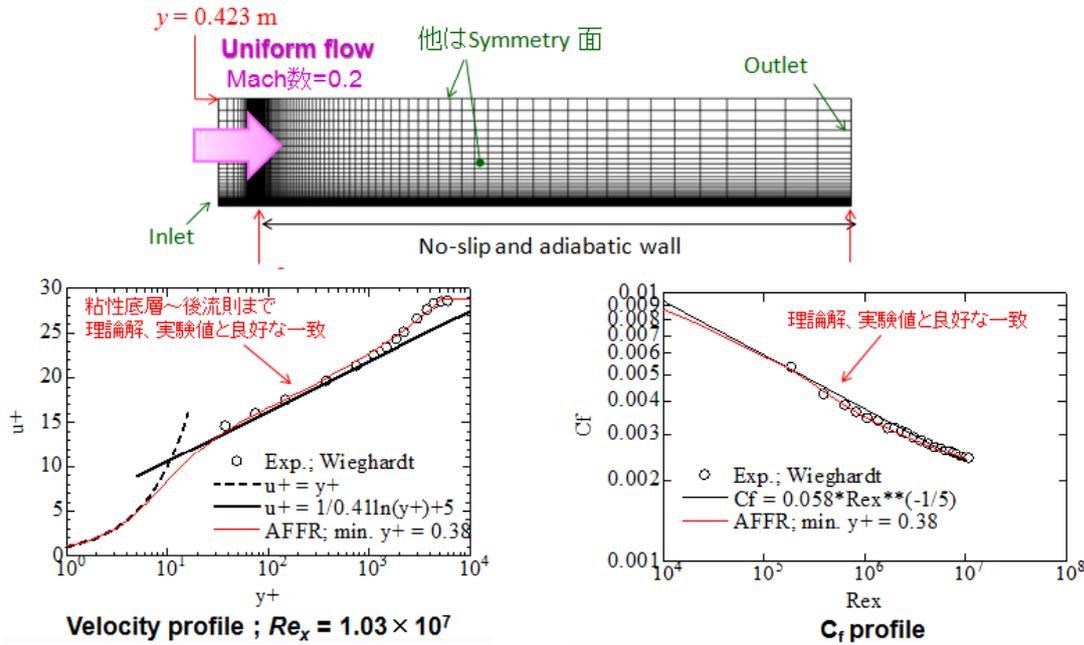


k-εモデルと実験結果の比較



ご提供: 東京大学 生産技術研究所様 革新的シミュレーションPJ

(例) SST k- ω モデルによる平板の摩擦抗力係数の解析



Advance/FrontFlow/redの機能

新バージョンに導入する機能と開発中の機能

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



「新機能のご紹介&開発ロードマップ」で説明

Advance/FrontFlow/redの機能

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

Advance/FrontFlow/redの機能

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

Advance/FrontFlow/redの機能

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

Advance/FrontFlow/redの動作環境

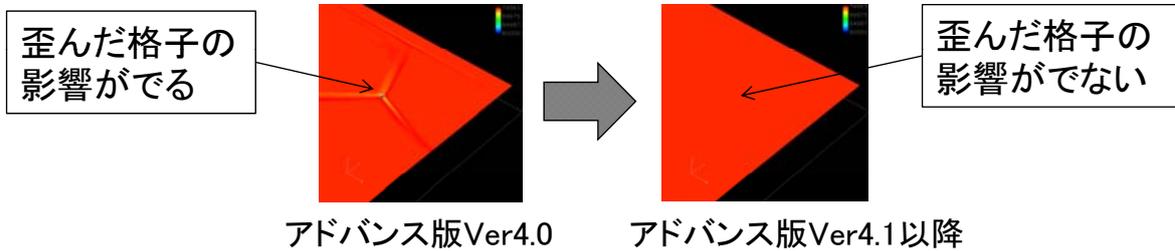
OS	①Red Hat Enterprise Linux 5.x ②Red Hat Enterprise Linux 4.x ③CentOS 5.x (フリー) ④CentOS 4.x (フリー)
メモリ	100万~400万節点の解析では16GBのメモリが必要
ハードディスク	計算規模や計算結果の保管の状況によって異なる。250GB以上を推奨 インストール時には800MB程度が必要
MPIライブラリ	①Intel MPI(ver 2.0以上) ②MPICH1(ver 1.2.7p1) (フリー) ③MPICH2(ver 1.0以上) (フリー) ④OpemMPI (ver 1.4以上) *HP-MPI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

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

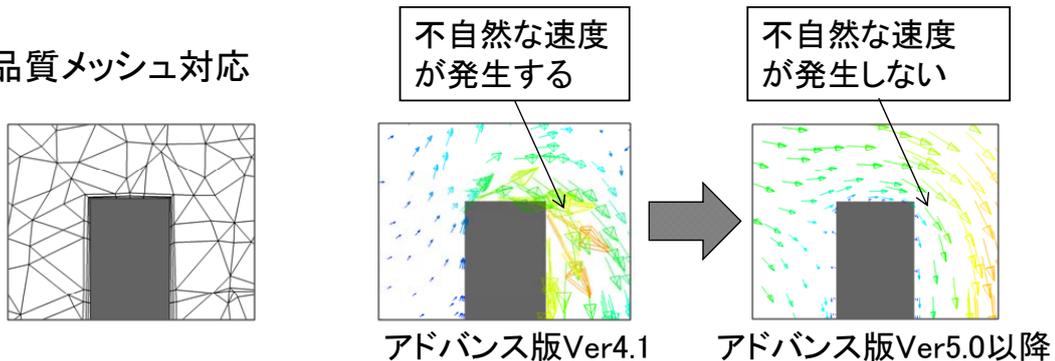


計算安定性が向上

- ・勾配計算方法の改良→歪みが大きい格子での勾配の計算が正確



- ・低品質メッシュ対応



FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



計算速度が向上

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

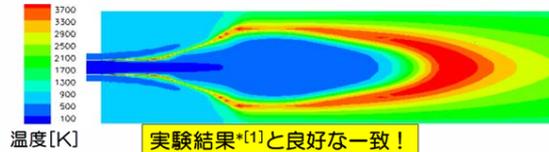
(*) 九州大学情報基盤研究開発センター 西田 晃 先生が開発したAMGの線形ソルバーを利用できます。利用をご希望の方は、以下のサイトからダウンロードしてください(アドバンスソフトがお手伝いいたします)。
<http://www.ssisic.org/>
 インターフェイスはAdvance/FrontFlow/redに入れています。

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



解析機能が追加

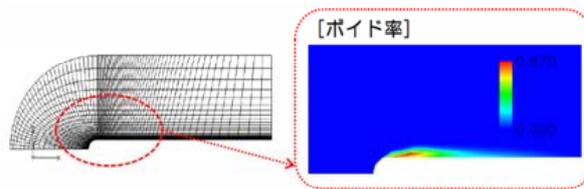
- ・実在流体方程式の追加(アドバンス版Ver4.0以降)
→ 超臨界圧燃焼解析に対応



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

ご提供: 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 様

- ・キャビテーションモデルの追加(アドバンス版Ver4.0以降)



剥離によるキャビテーション発生 of 解析

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点



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

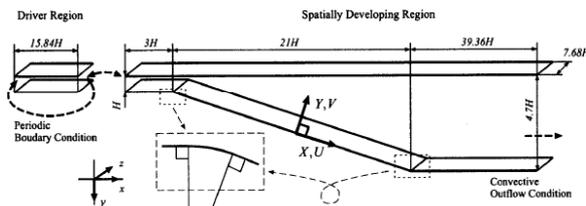
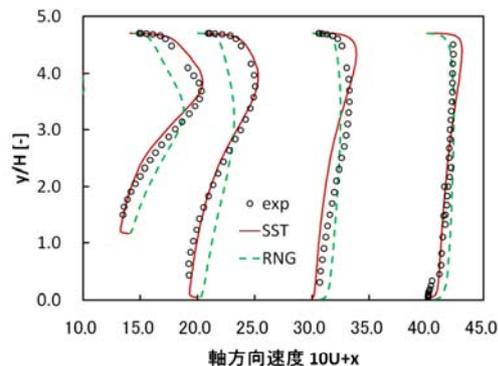


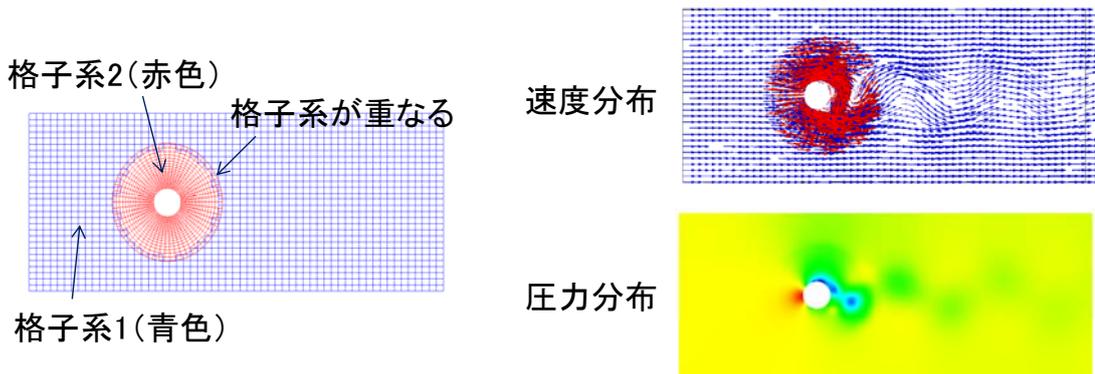
Fig. 1 Computational domains and boundary conditions



アドバンス版FFrによる非対称ディフューザ解析(SST k- ω とRNG k- ϵ)

FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

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



FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

その他

前処理はメインソルバーより多くのメモリを必要

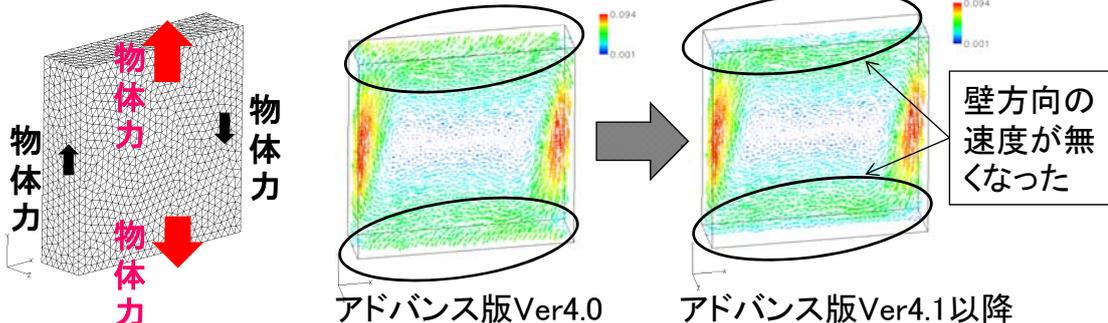
前処理で使用するメモリ

- ・省メモリ化(アドバンス版Ver5.0以降)

計算モデル
約325万 節点
約320万 要素

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

- ・壁方向に大きい物体力がある計算が可能



FrontFlow/red Ver3.0(フリー版)からの改良点

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

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

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

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