

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

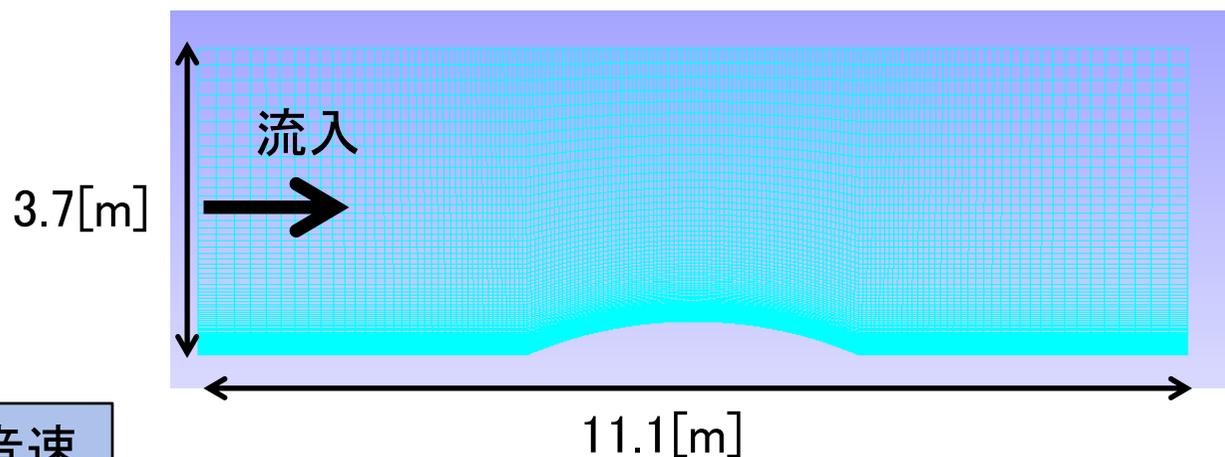
## [解析条件]

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]

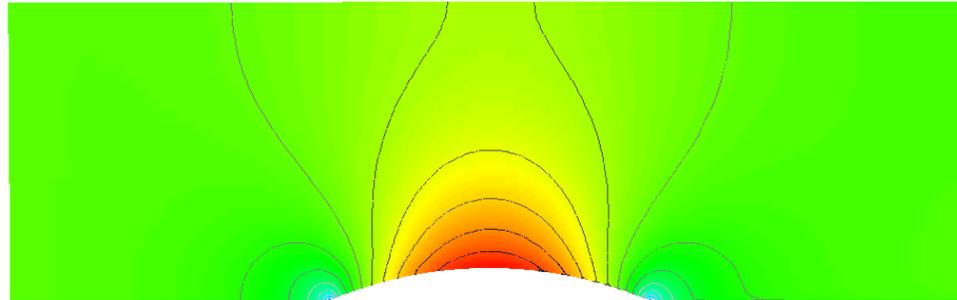
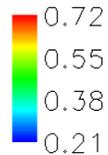
・超音速、遷音速、亜音速  
での圧縮性流体



# 事例：バンプ流れ

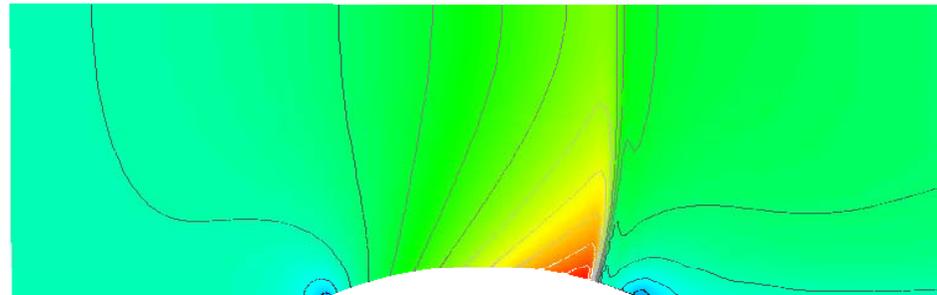
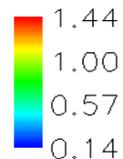
## [マッハ数分布]

### 亜音速(音速\*0.5)



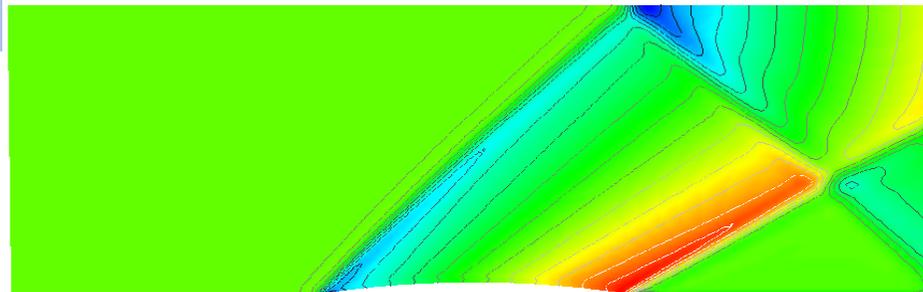
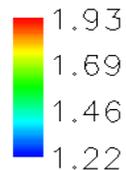
- ・非粘性流体で形状が対称であるため解も対称

### 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 $k-\varepsilon$ , RNG  $k-\varepsilon$ , SST  $k-\omega$   
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)

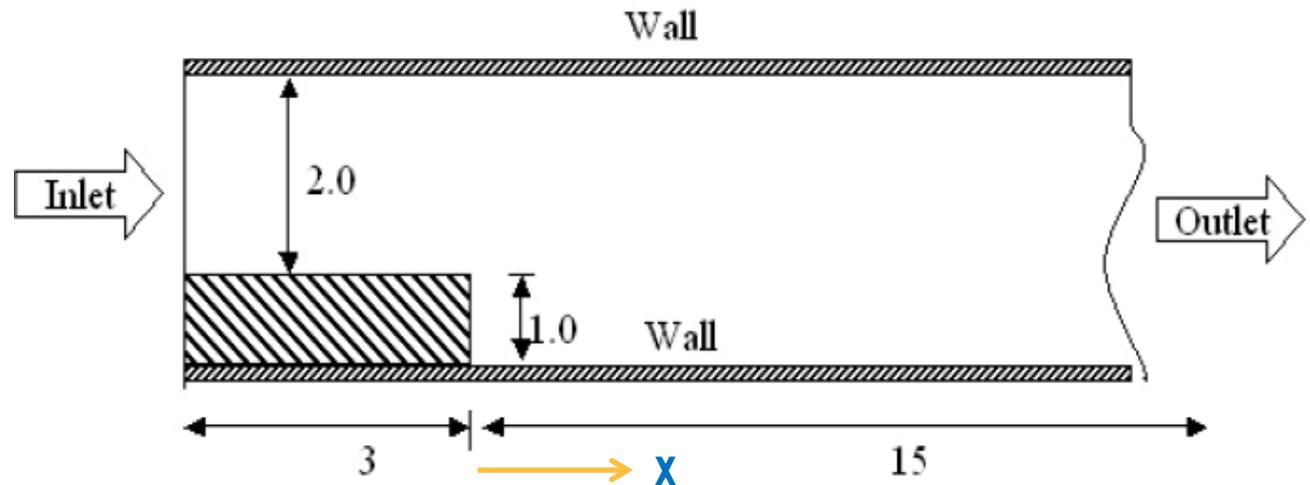
## [解析規模]

節点数	11,505
要素数	7,390

## [主な検証機能]

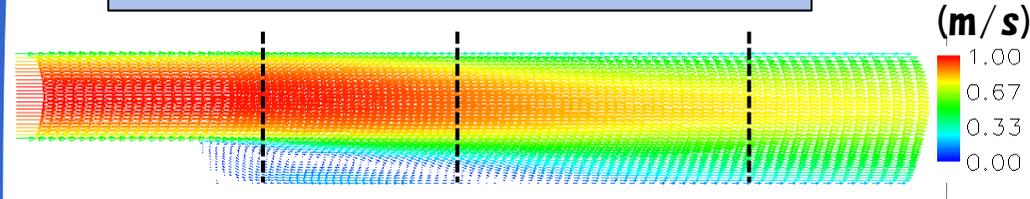
・RANSモデル各種

## 解析対象

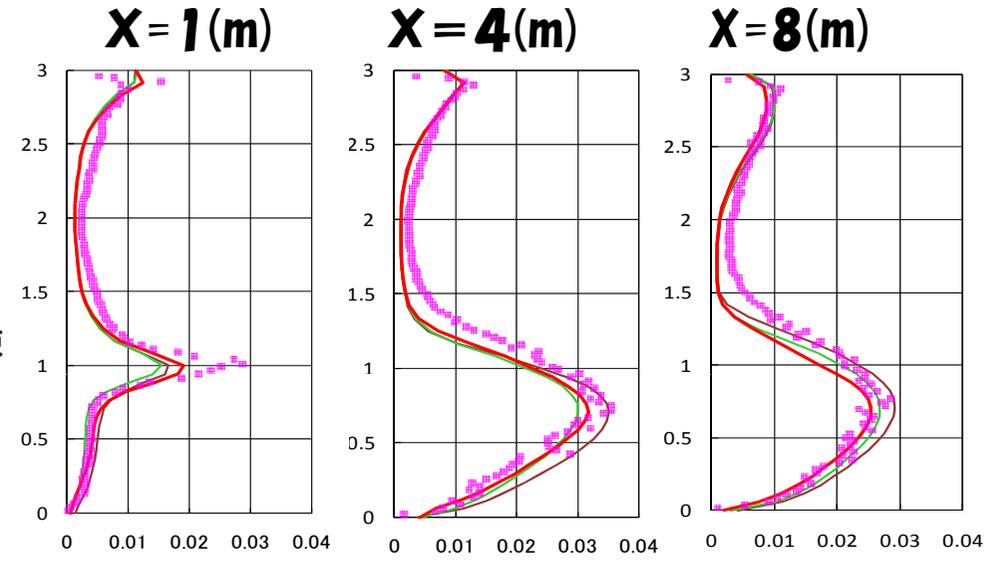
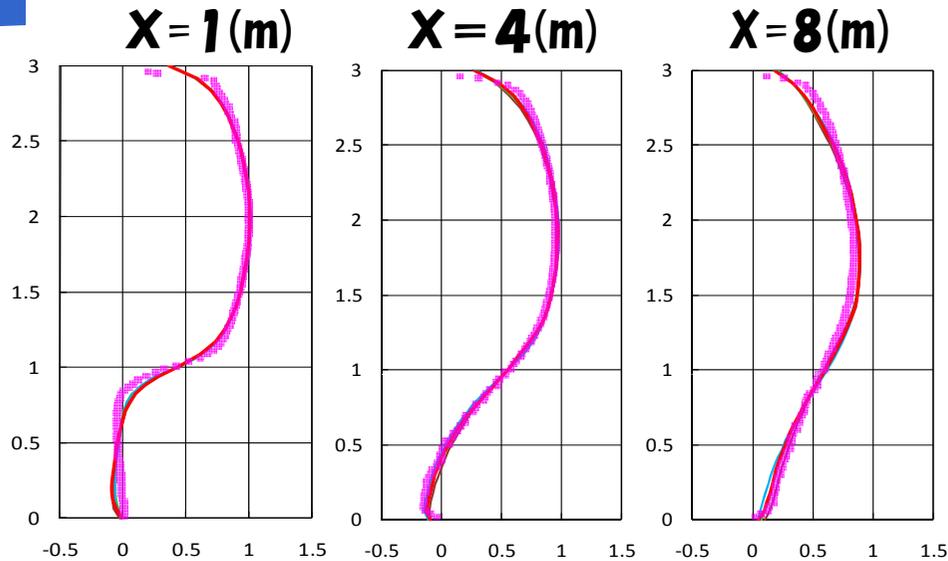
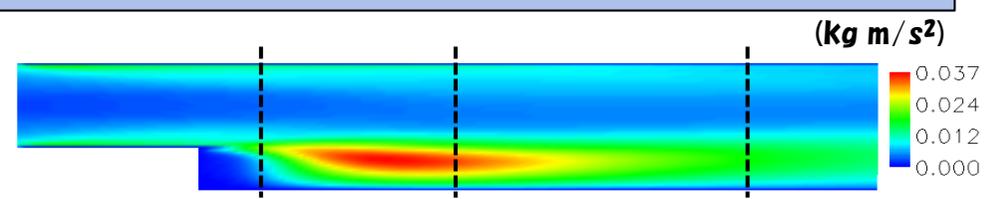


# 事例：バックステップ

## 速度分布(SST k- $\omega$ モデル)



## 乱流エネルギー分布(SST k- $\omega$ モデル)



横軸は物理量、縦軸は下面からの距離(m)

## 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- $\epsilon$ モデル	5.6
RNG k- $\epsilon$ モデル	6.2
SST k- $\omega$ モデル	6.4

- ・全体的にSST k- $\omega$ モデルの精度が最も優れる
- ・RNGは標準k- $\epsilon$ 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

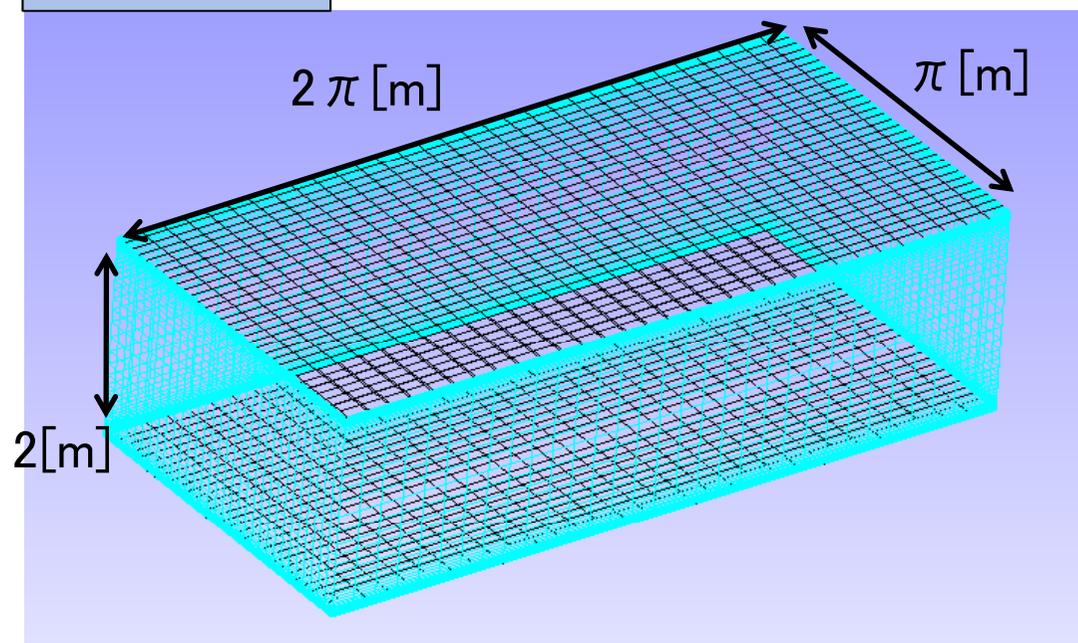
## [解析規模]

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

## [主な検証機能]

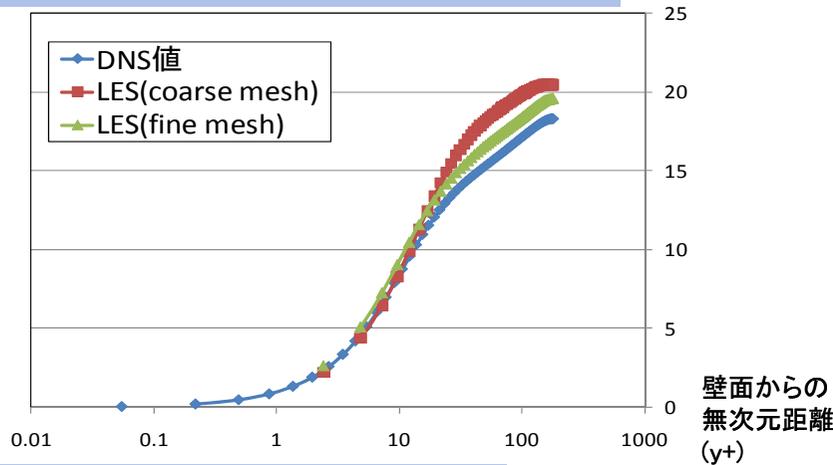
・LES

## 解析対象

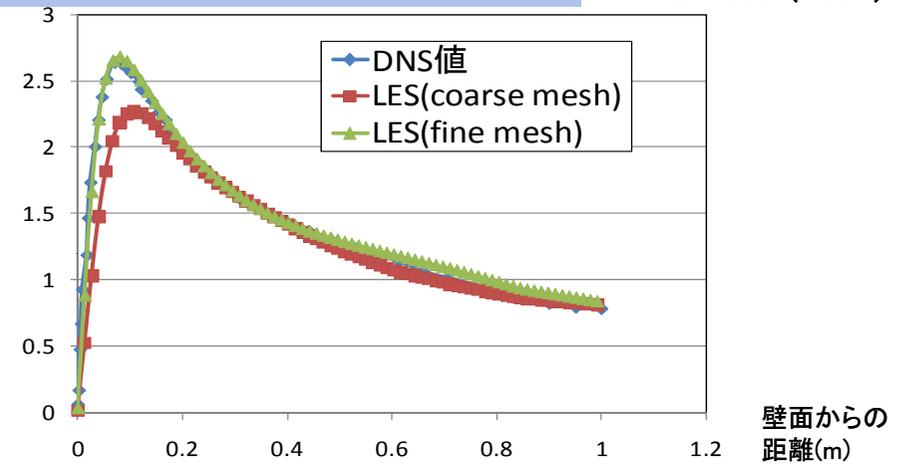


# 事例：平行平板(乱流機能の検証)

[主流方向平均速度(m/s)]

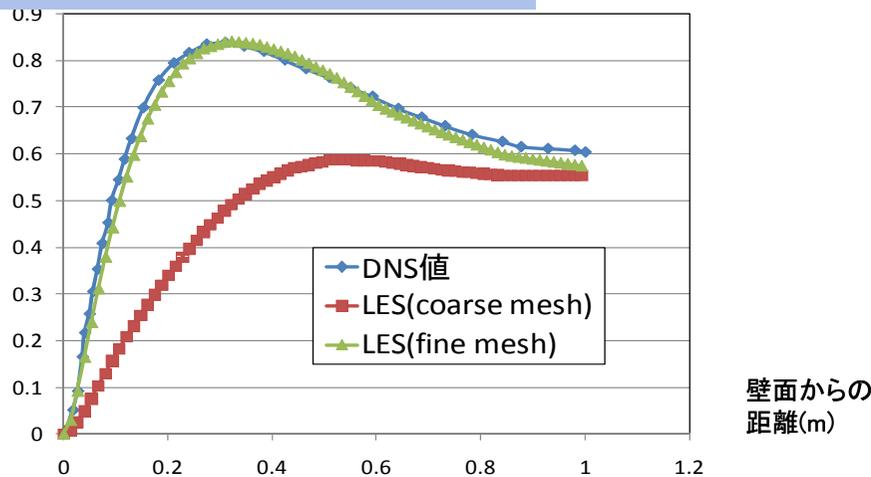


[主流方向速度のrms]

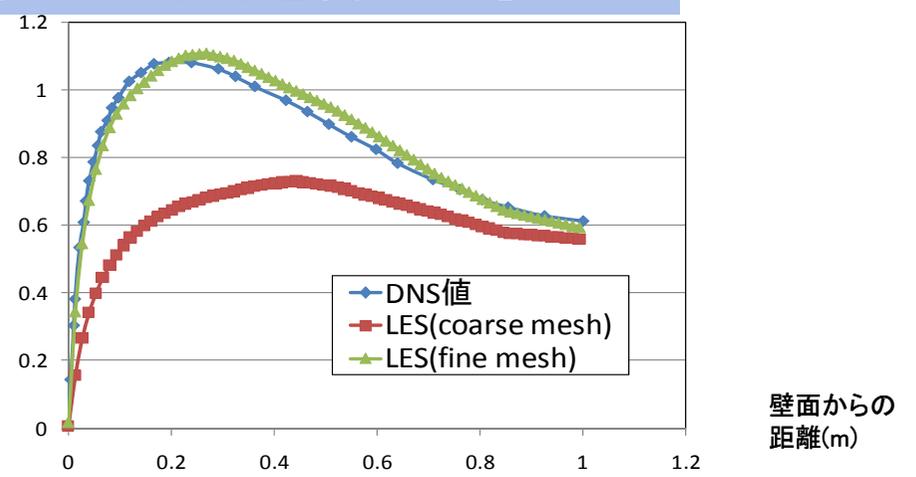


DNS値 :Kim,Moin &Moser(1987)

[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性がある→並列計算がお勧め

# 事例：回転角柱の圧力脈動

## [解析条件]

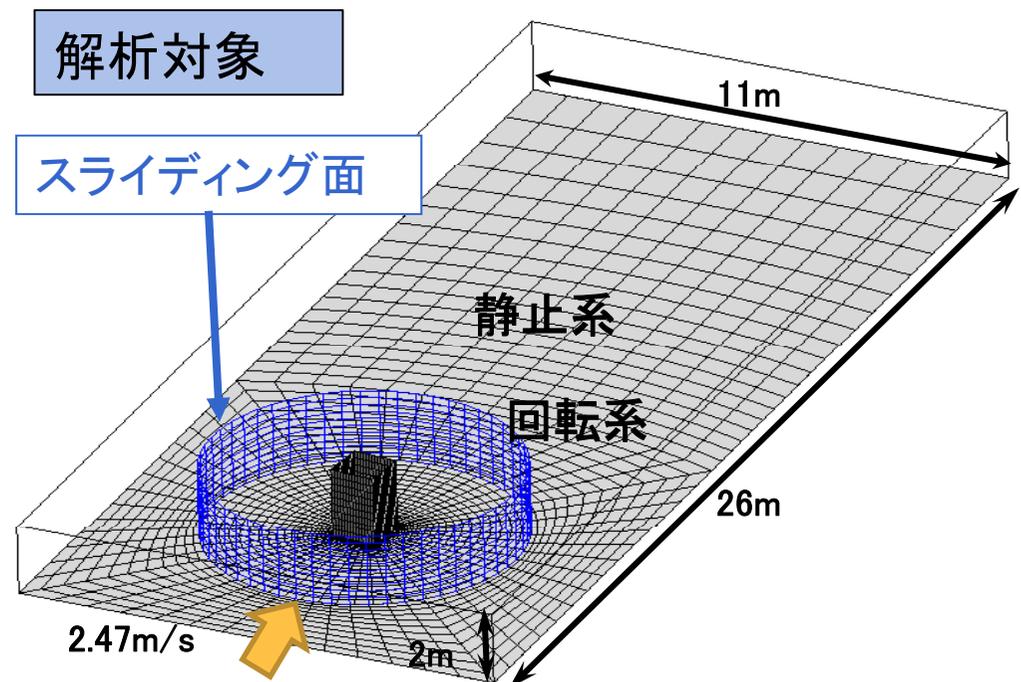
流入速度 : 2.47[m/s] (レイノルズ数 : 7100)  
回転数 : 175.8、220.8、270[rpm]  
乱流モデル : LES (標準Smagorinskyモデル)  
差分スキーム : 2次中心差分  
時間積分 : Euler陰解法  
流体 : 非圧縮流体

## [解析規模]

節点数	25,919
要素数	22,260

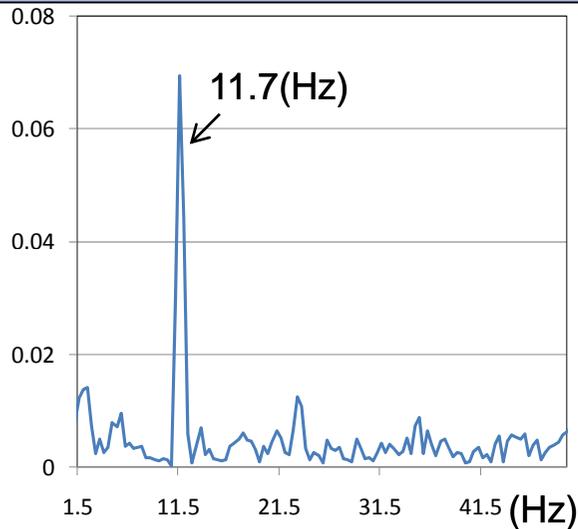
## [主な検証機能]

- ・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

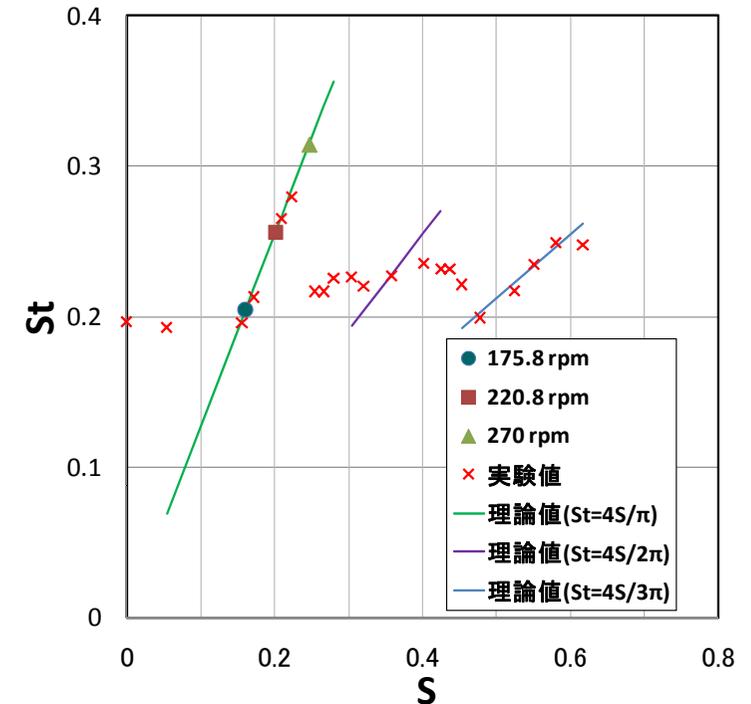
## 周波数別スペクトル強度解析(175.8 rpm)



ストローハル数  $St = \frac{Df}{U}$

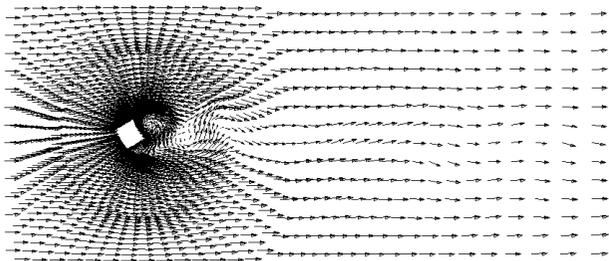
スピンパラメータ  $S = \frac{\pi Df'}{U}$

$f$  : 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

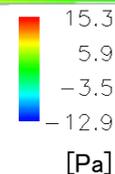
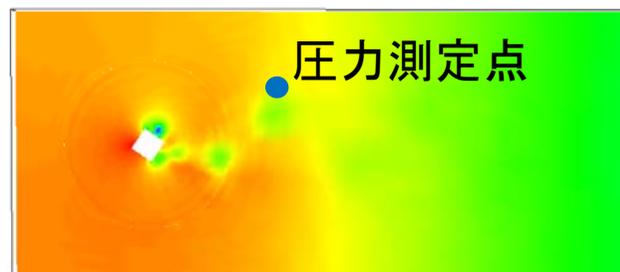


(注)270rpmは非周期性があるため取るピーク値によってずれが生じる

## 速度分布(175.8 rpm)



## 静圧分布(175.8 rpm)



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

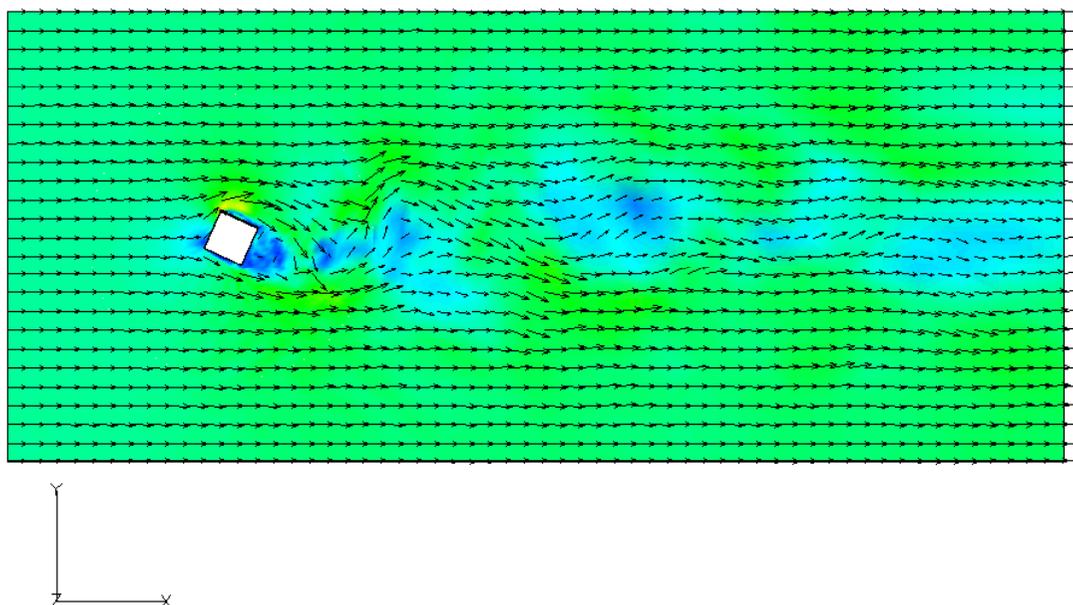
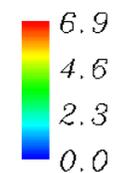


参考文献： 黒田ら、日本機械学会論文  
 集B編 62巻597号(1996) p1709

# 事例：回転角柱の圧力脈動

[速度分布(175.8rpm)]

(m/s)

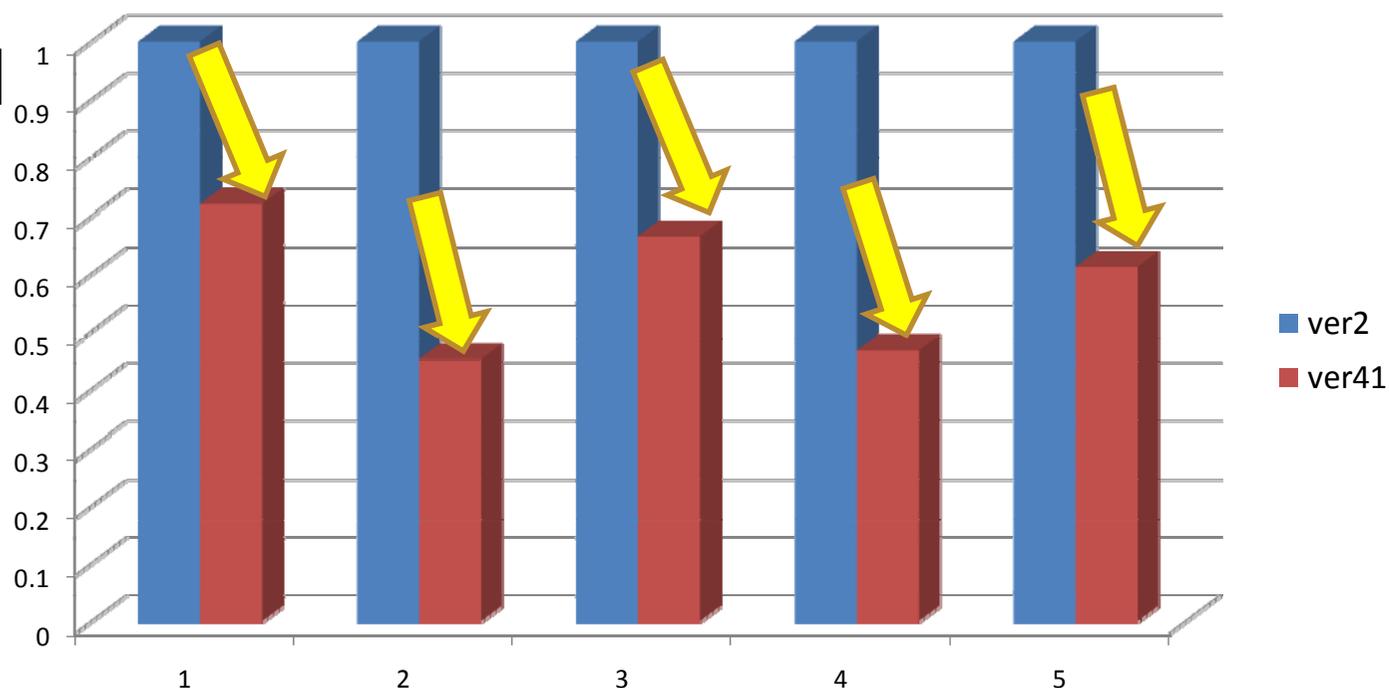


# Advence/FrontFlow/red ver2.0との計算時間比較

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。

