オープンソースコードによる LESベンチマーク

（株）アライドエンジニアリング
ADVC事業部　　北風　慎吾

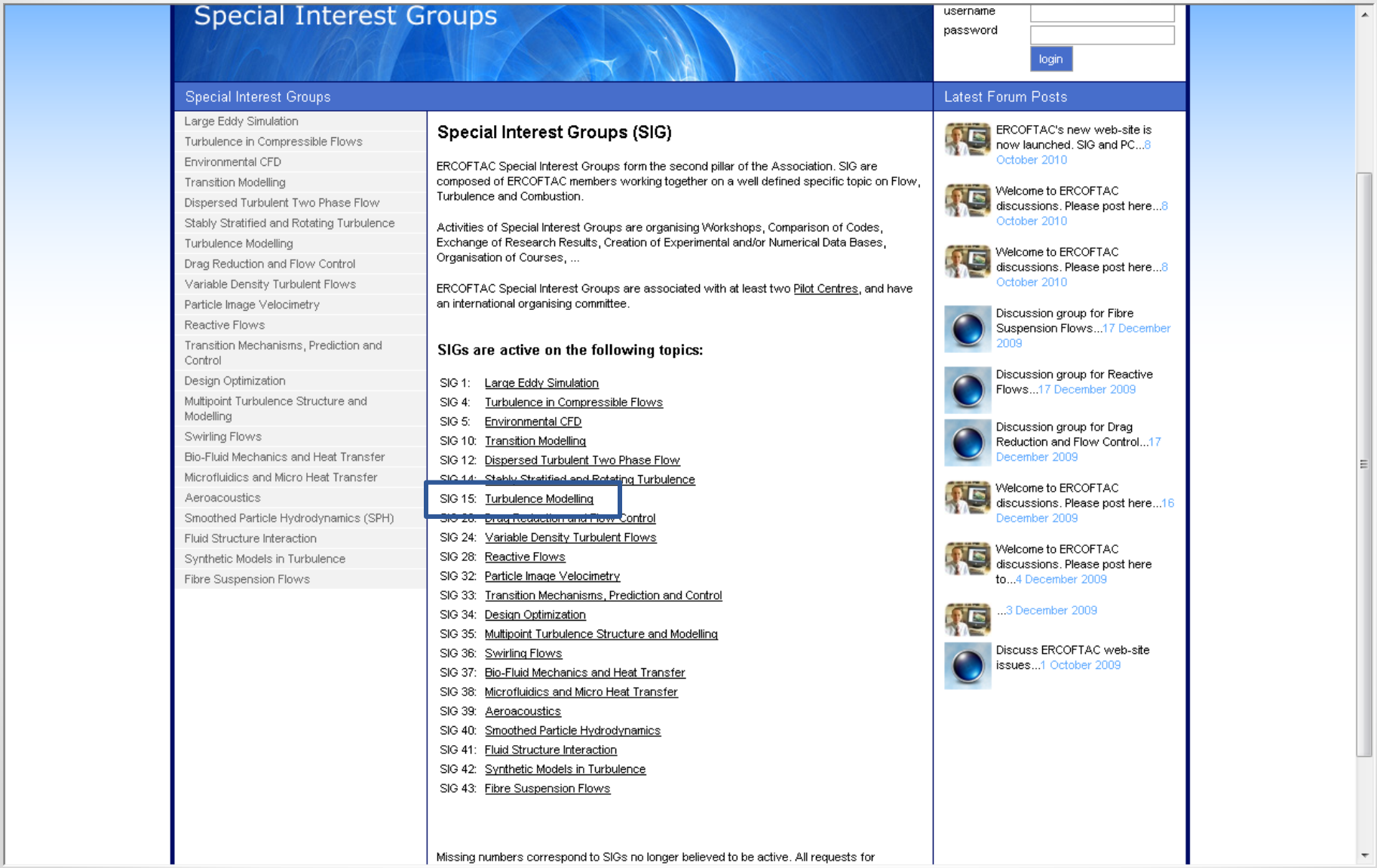
謝辞

本報告の計算ならびにその他のOpenFOAMを用いた解析のために、日本SGI様のSGI OpenFOAM Cloud環境を使わせていただきました。

この場を借りて、御礼申し上げます。

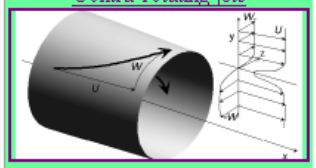
※SGI OpenFOAM Cloud利用者の皆様には長期に渡って、ノードを占有し、ご迷惑をおかけしました。

ERCOFTAC(European Research Community of Flow, Turbulence and Combustion)
・・・テーマごとにグループ分けされていて、研究活動が行われている(燃焼・混相・粒子法etc)。
その中の乱流モデリングのグループ(SIG15)が過去に開催したworkshopにおいて実施されたベンチマークのデータベースがある

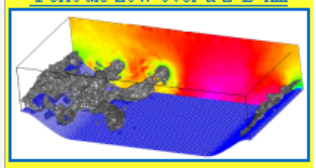


10th workshop at University of Poitiers (10-11 October 2002)

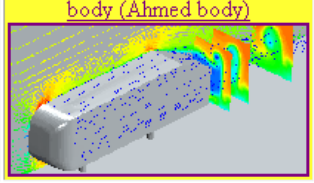
10.1 Contra-rotating jets



9.2 Periodic flow over a 2-D hill

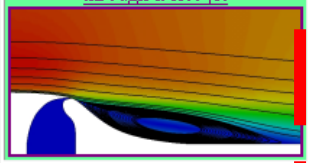


9.4 Flow around a simplified car body (Ahmed body)

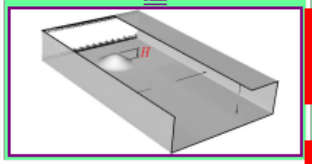


11th workshop at Chalmers University of Technology (7-8 April 2005)

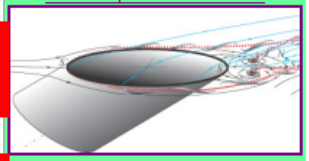
11.1 2D hump with flow control through a slot jet



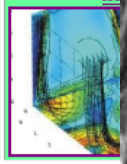
11.2 Flow over an axisymmetric 3D hill



11.3 Slanted jets in cross-flow

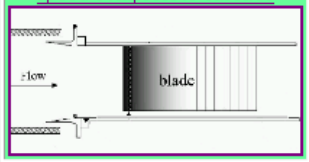


Multiple-imp he

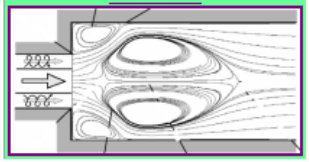


12th workshop at Technical University of Berlin (12-13 October 2006)

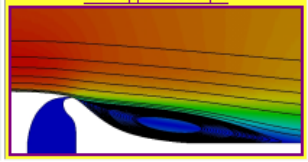
12.1 Tip-gap turbulent flow in a low-speed compressor cascade



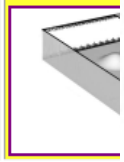
12.2 A model of tubo-annular swirl combustor



11.1 2D hump with flow control through a slot jet

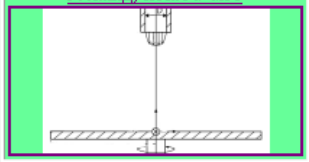


Flow over

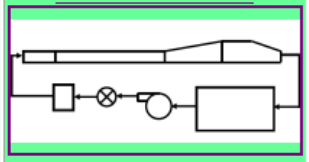


13th workshop at Graz University of Technology (25-26 September 200

13.1 Round jet impinging onto a rotating, heated disc



13.2 Flow in a 3-D diffuser



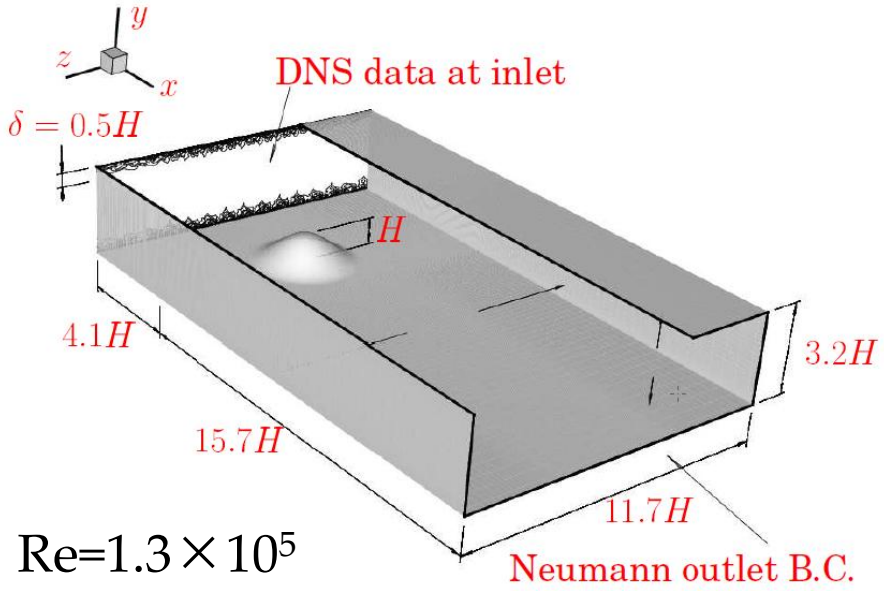
Test case 11.2

Flow over an axisymmetric three-dimensional hill

Structure of Vortical Separations

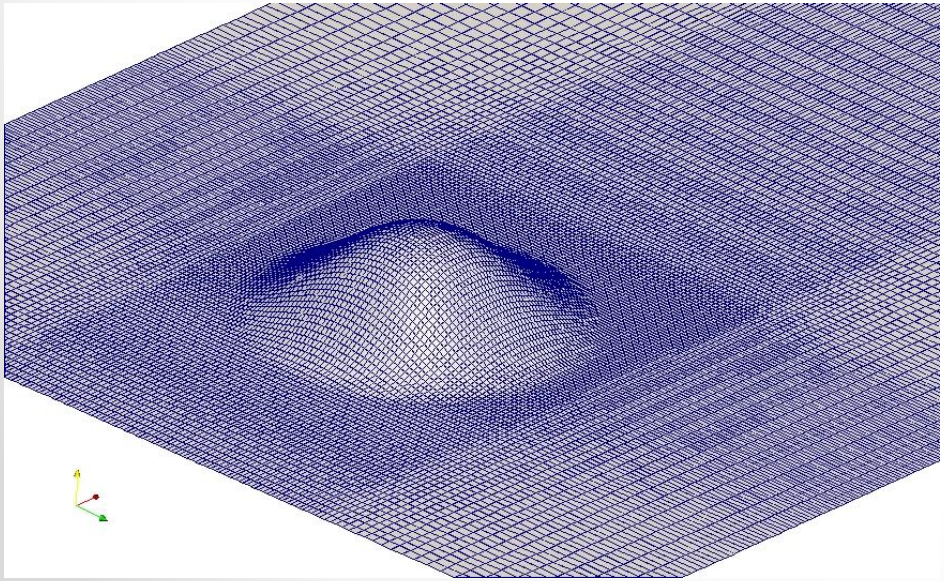
メッシュ、境界条件　http://www.tfd.chalmers.se/~lada/3dhill/

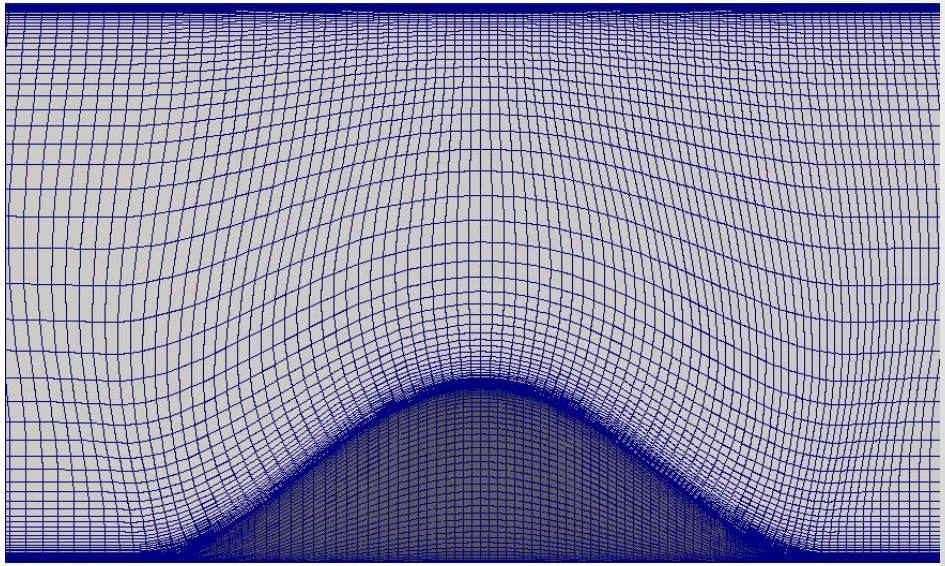
Lars Davidson, Flomania Final Review,2004から抜粋



Re=1.3×10^5

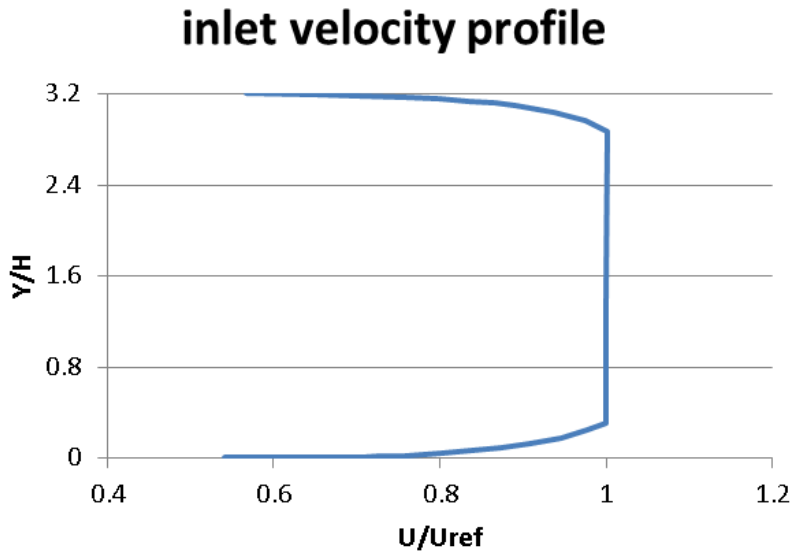
セル数	164万
代表長さH[m]	0.078
代表速度Uref[m/s]	27.5
動粘度[m^2/s]	1.65e-5
入口条件	**放物型**
乱流モデル	Smagorinsky
delta	vanDriest



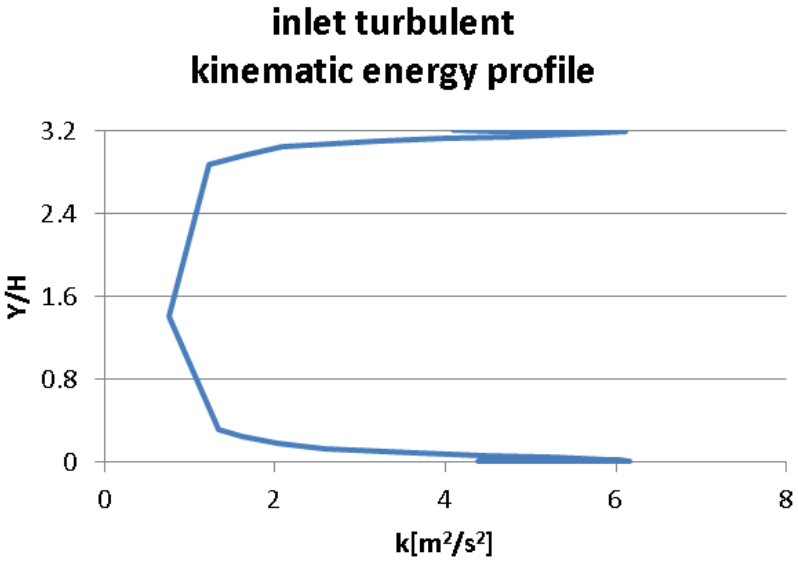


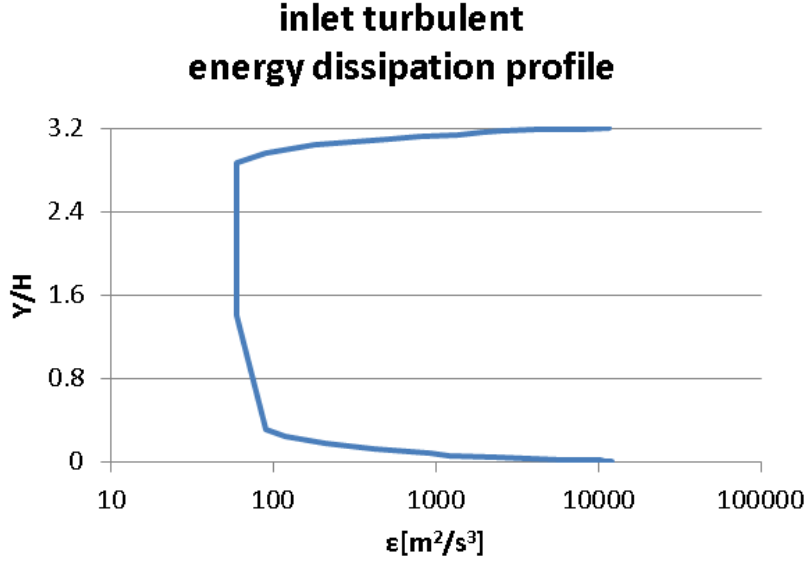
メッシュ、境界条件

http://www.tfd.chalmers.se/~lada/3dhill/



セル数	164万
代表長さH[m]	0.078
代表速度Uref[m/s]	27.5
動粘度[m^2/s]	1.65e-5
入口条件	放物型
乱流モデル	Smagorinsky
delta	vanDriest

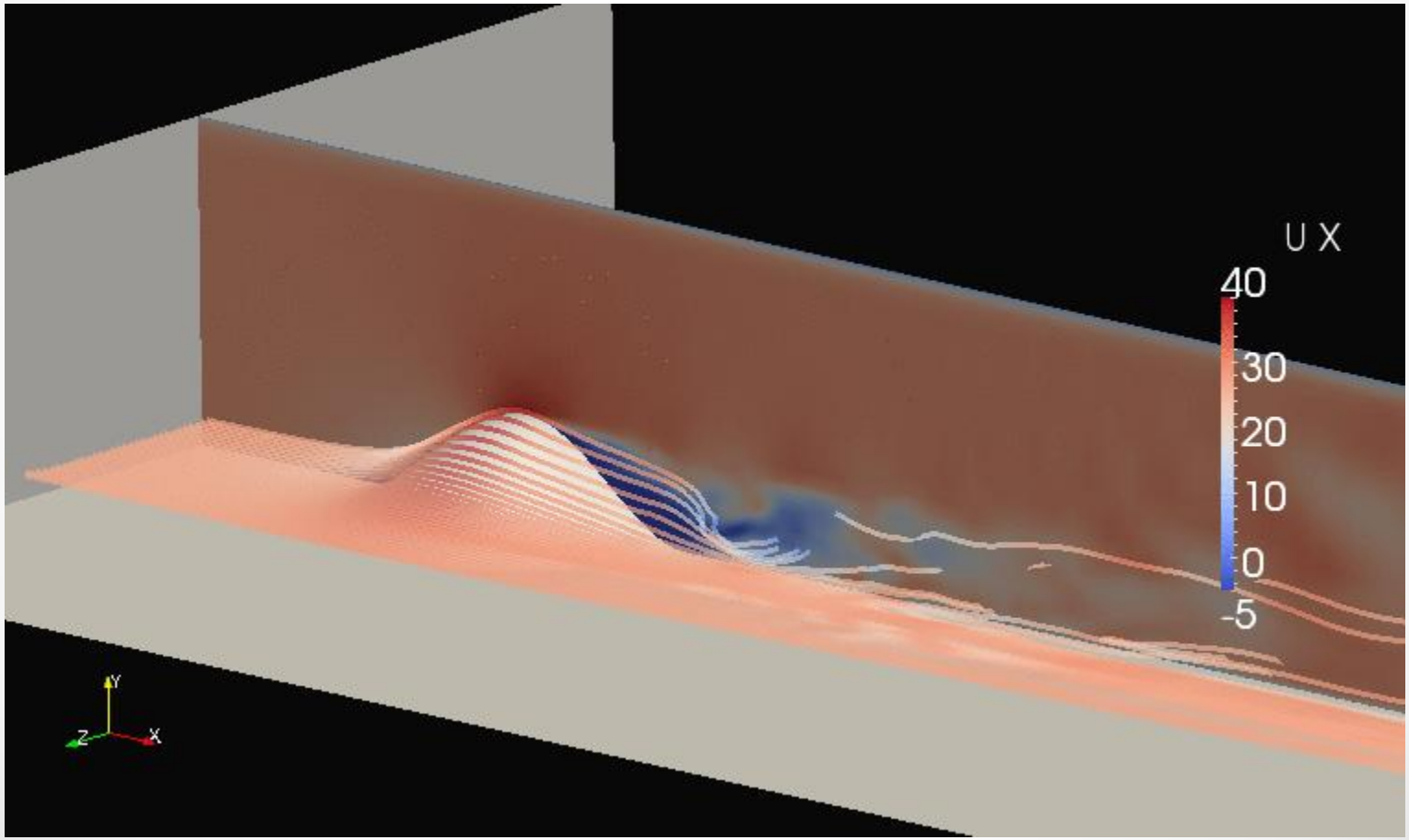




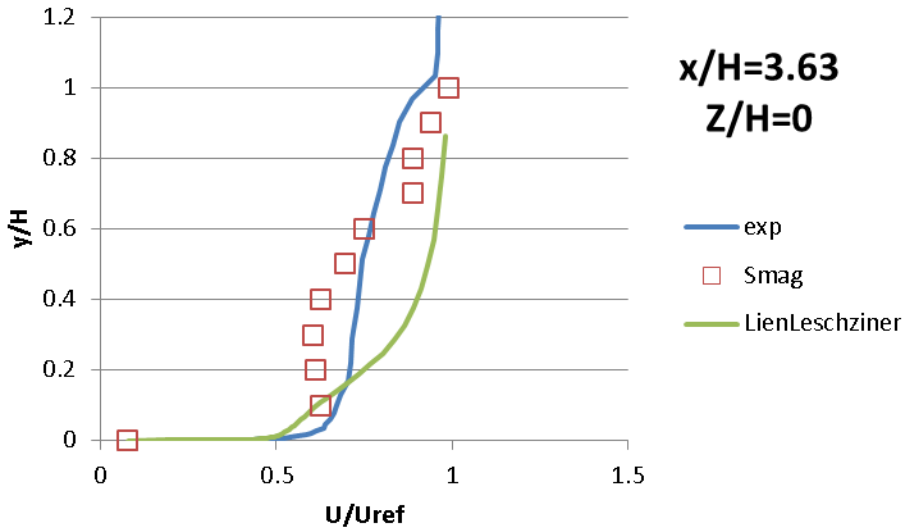
フローパターン

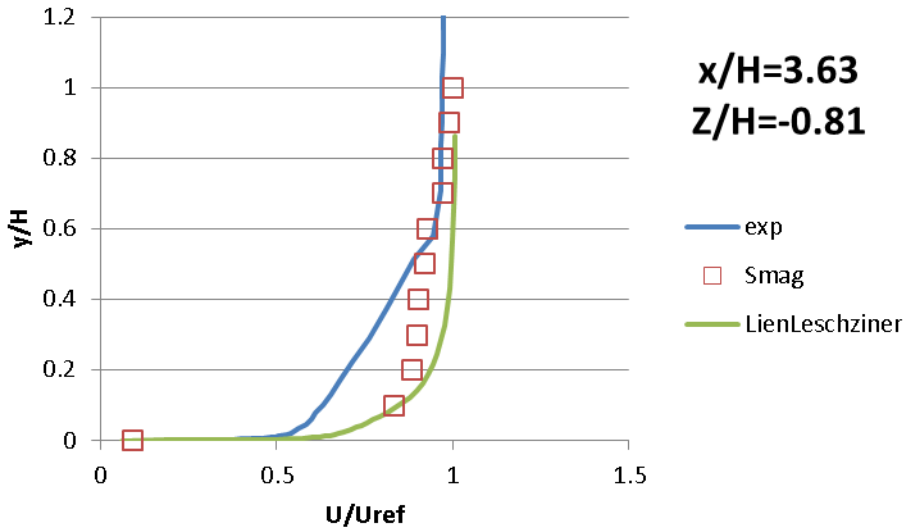
・計算手順として、
同一メッシュのkEpsilonで定常計算⇒初期値として0.6秒+0.6秒(時間平均)

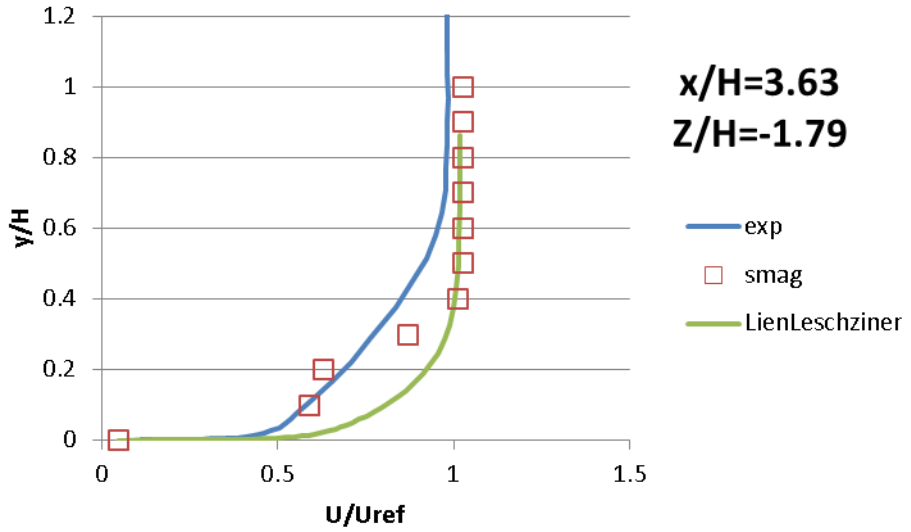
比較対象として、定常RANS(LienLeschzinerLowRe)の収束解を比較

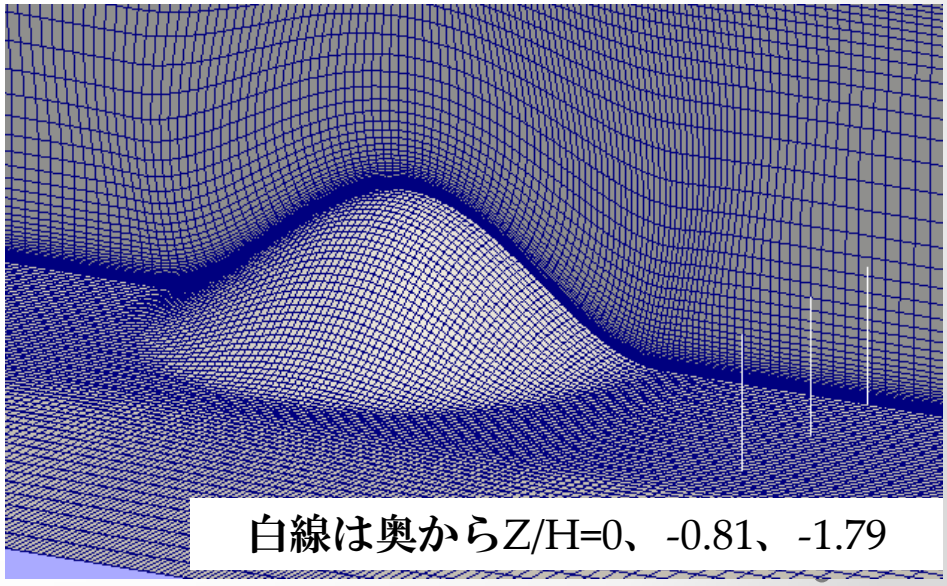


実験との比較

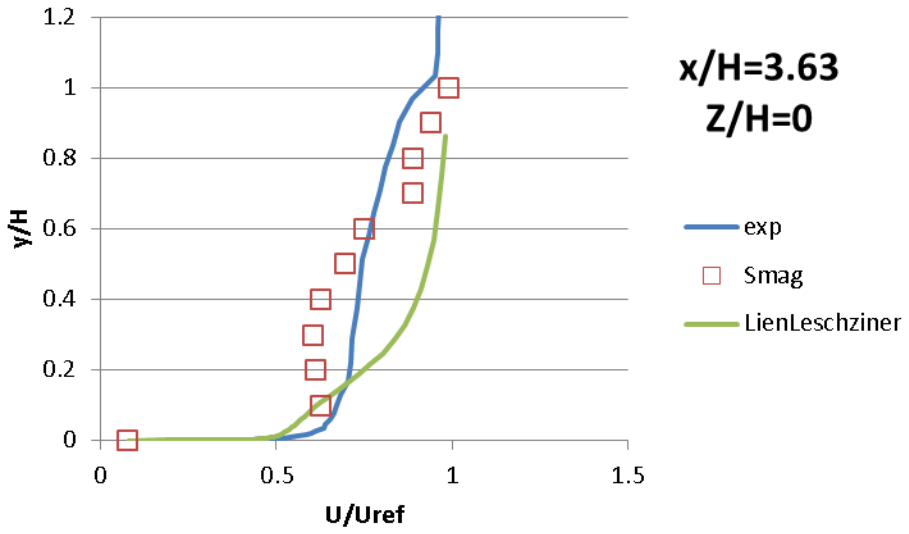

1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
y/H
0
0.5
1
1.5
U/Uref
x/H=3.63
Z/H=0
exp
Smag
LienLeschziner

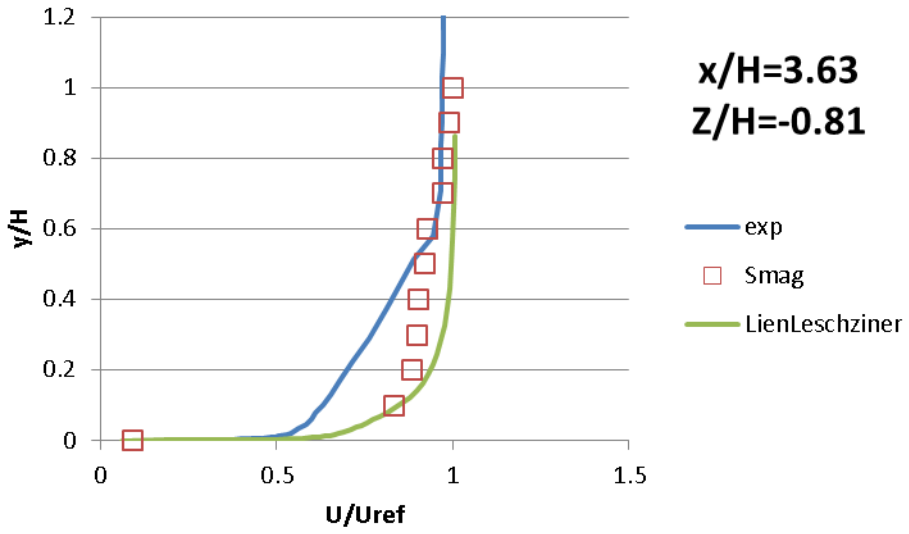

1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
y/H
0
0.5
1
1.5
U/Uref
x/H=3.63
Z/H=-0.81
exp
Smag
LienLeschziner

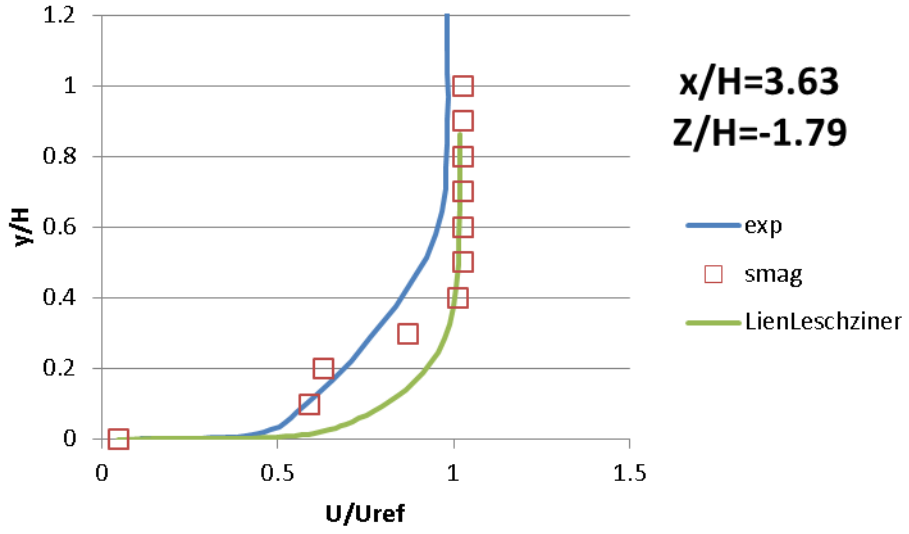

1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
y/H
0
0.5
1
1.5
U/Uref
x/H=3.63
Z/H=-1.79
exp
smag
LienLeschziner

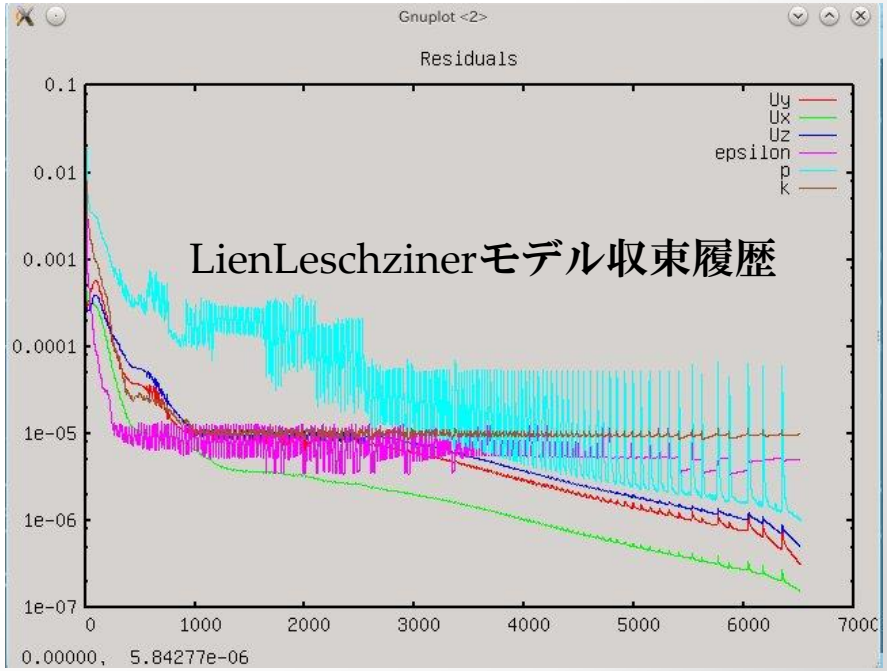

白線は奥からZ/H=0、-0.81、-1.79

実験との比較


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
y/H
0
0.5
1
1.5
U/Uref
x/H=3.63
Z/H=0
exp
Smag
LienLeschziner


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
y/H
0
0.5
1
1.5
U/Uref
x/H=3.63
Z/H=-0.81
exp
Smag
LienLeschziner


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
y/H
0
0.5
1
1.5
U/Uref
x/H=3.63
Z/H=-1.79
exp
smag
LienLeschziner


Gnuplot <2>
Residuals
0.1
0.01
0.001
0.0001
1e-05
1e-06
1e-07
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
Uy
Ux
Uz
epsilon
p
k
LienLeschzinerモデル収束履歴
0.00000, 5.84277e-06

IAHR AIRH
Supported by CEDEX

EDF R&D

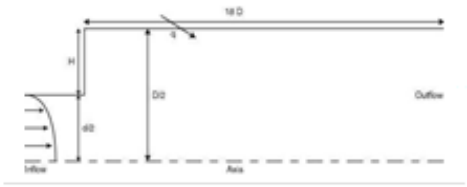
INSTITUT P'

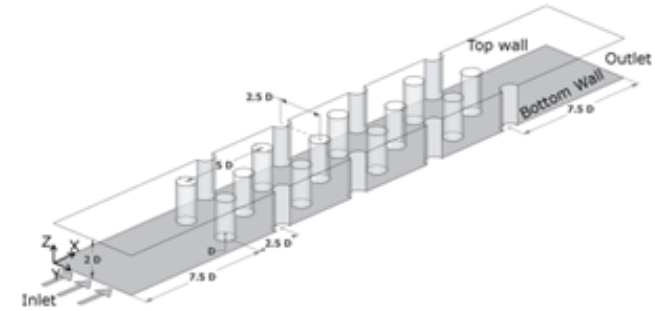
15th ERCOFTAC-SIG15/IAHR Workshop on Refined Turbulence Modelling

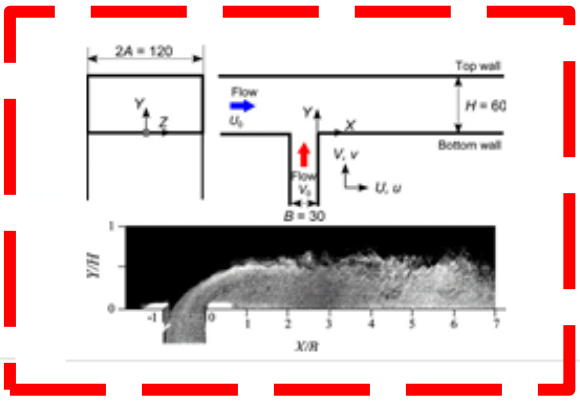
" Heat transfer in turbulent flows "

Chatou (Paris), France, 17 - 18 October 2011

Jointly organized by EDF and the Institute PPrime (CNRS/University of Poitiers) and co-sponsored by ERCOFTAC-SIG15 and IAHR





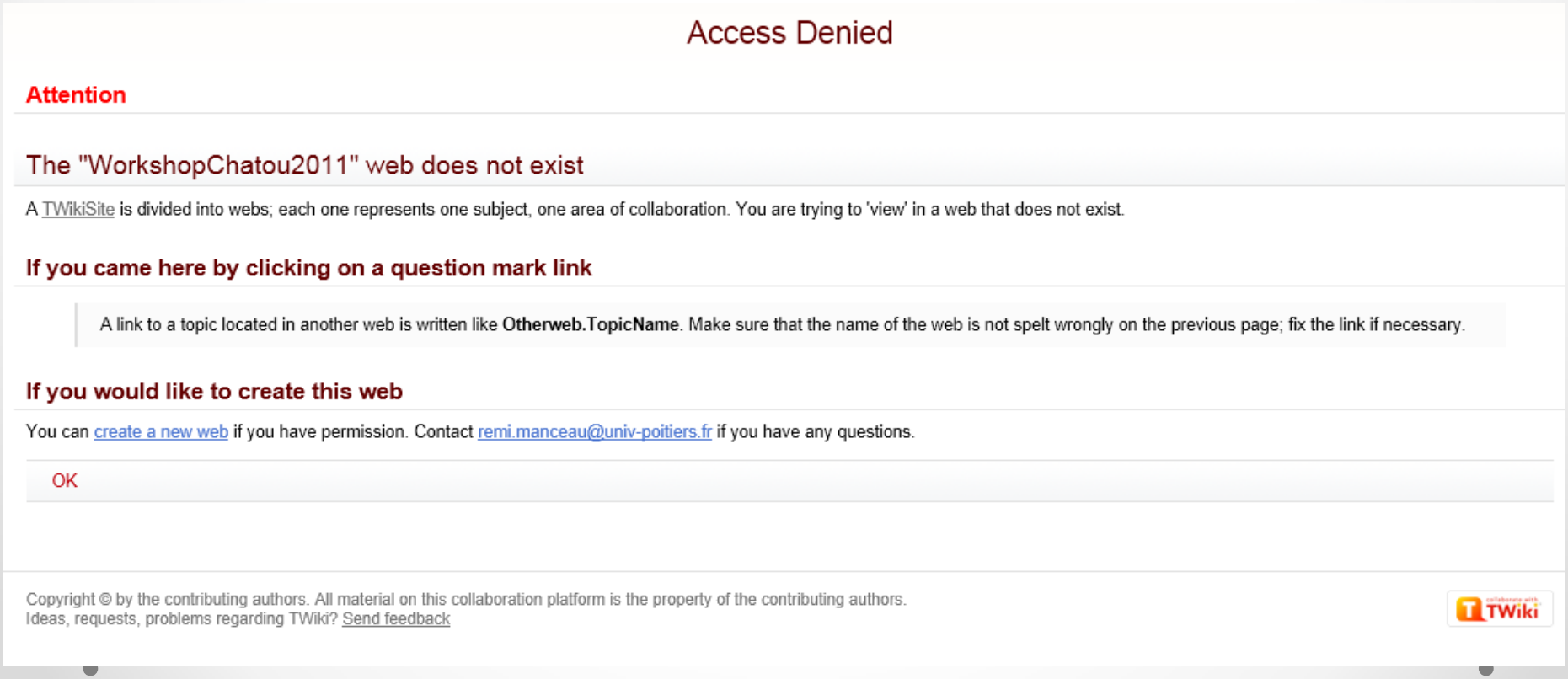


※三重大の廣田先生の研究成果がベンチマーク対象

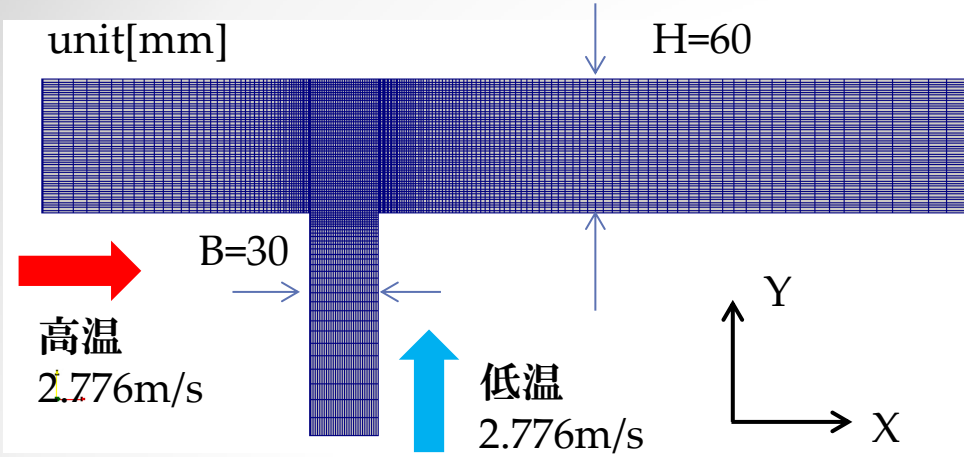
- 参考文献：機械学会論文集B編71巻712号(2005-12)

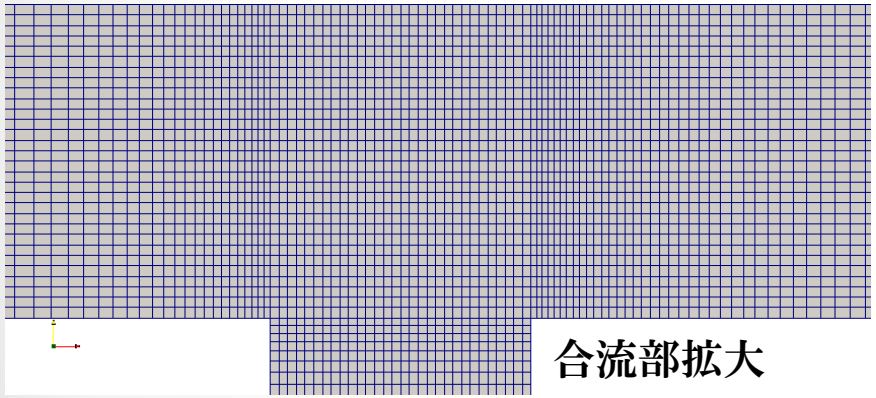
先週まではサイトが存在していましたが、今週確認すると・・・

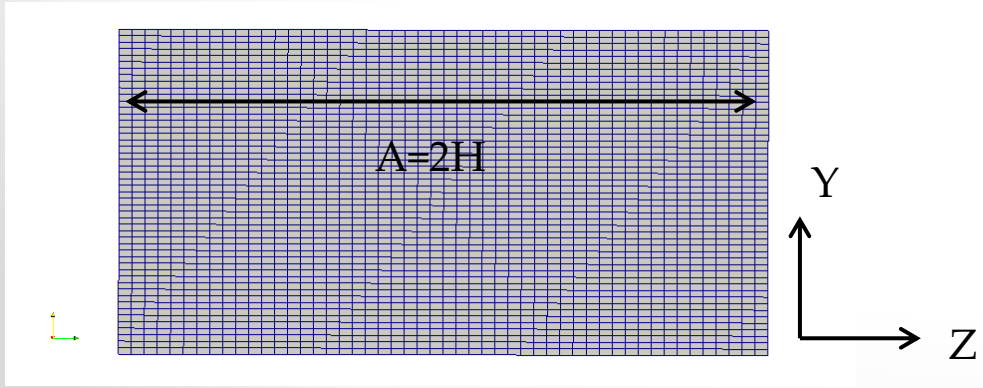
Twikiから削除されていました



メッシュ、境界条件





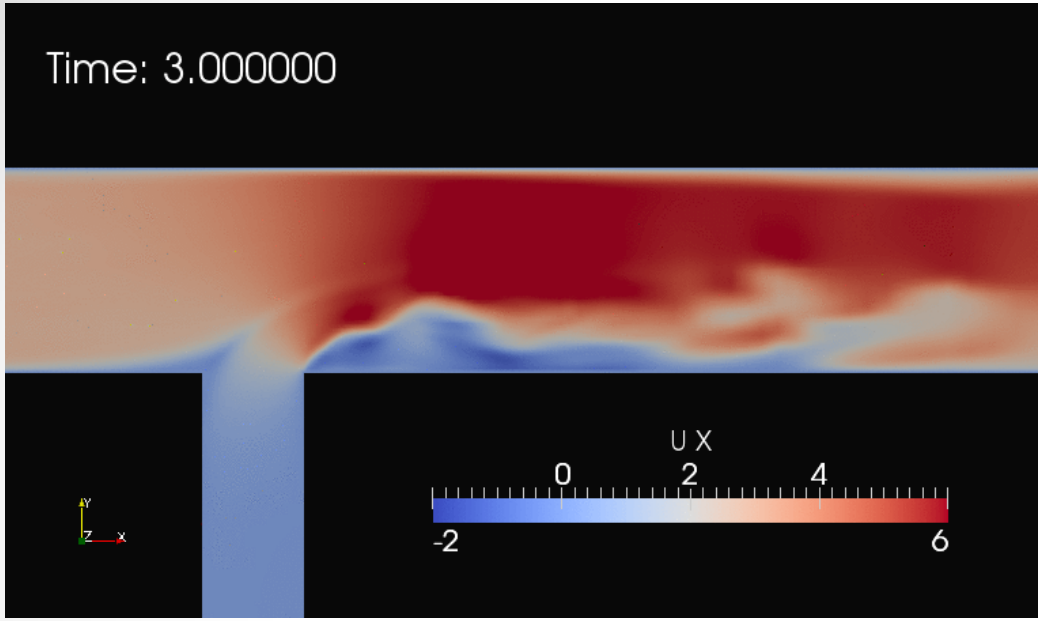


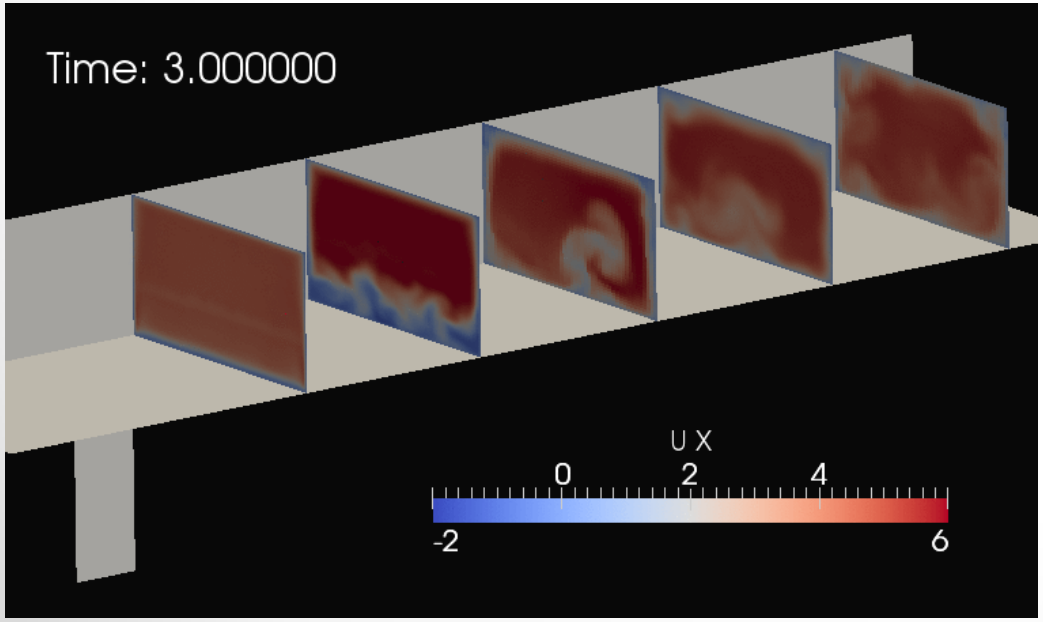
セル数	48万
代表長さH[m]	0.06
代表速度[m/s]	2.776
動粘度[m^2/s]	1.509e-5
入口条件	turbulentInlet
fluctuationScale	高温4% 低温2%
温度条件	等温場
乱流モデル	1)Smagorinsky 2)dynaLagrangian 3)kOmegaSST

※廣田先生の論文では速度場の測定は25℃等温場で計測しているので、本解析は**等温LES**として実施

[会場への質問]
OpenFOAMの非等温ブジネスク近似ソルバではデフォルトでLESが使えない。buoyantBoussinesqPimpleFoamでLESを使いたいときは自らリコンパイルが必要？

フローパターン(Smagorinskyモデル)





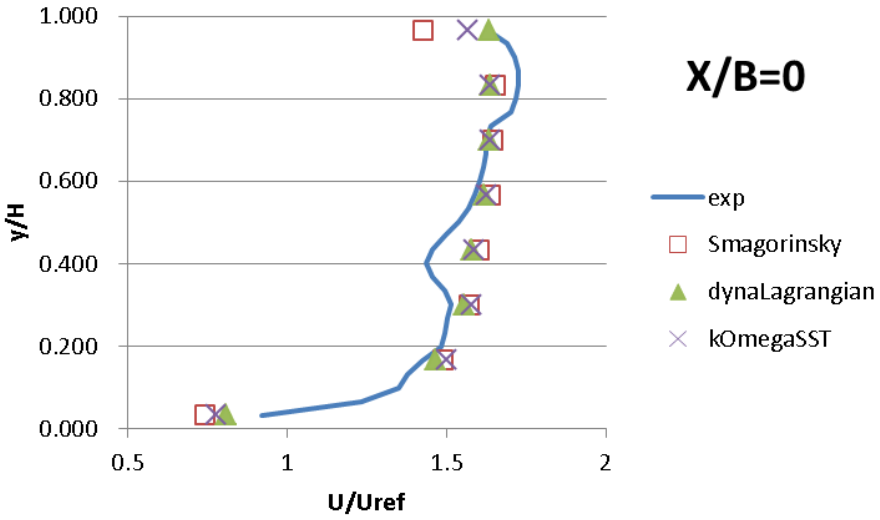
0～3秒間　流れ場発達
3～5秒間　平均値取得

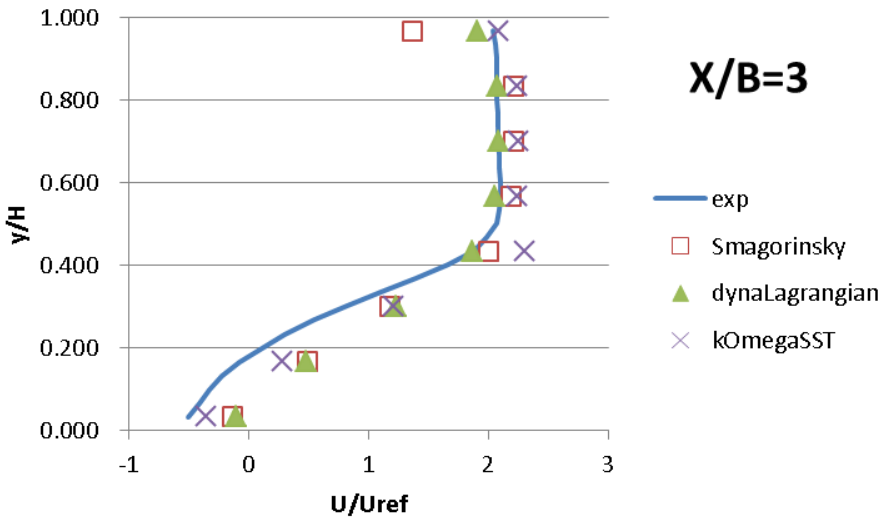
T字合流管において合流後の流動パターンとして
①壁面噴流
②偏向噴流
③衝突噴流
の3種類に分類される。
（五十嵐ら、機論B 70-700(2004), p3150-3157）

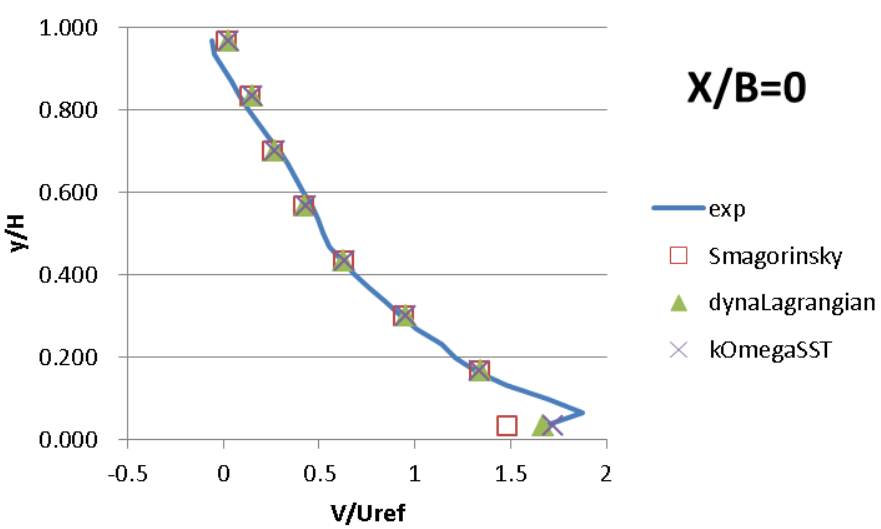
⇒左図より枝管流は合流箇所で上部壁面に到達していないようなので、偏向～衝突噴流のマップに対応、

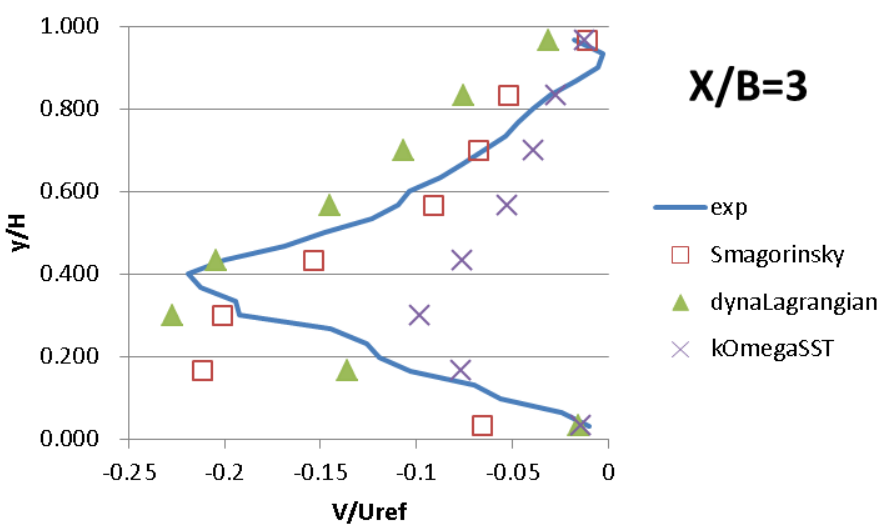
運動量比では主枝比が2なので壁面噴流になるはずだが・・・

実験との比較


1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
y/H
0.5
1
1.5
2
U/Uref
X/B=0
exp
Smagorinsky
dynaLagrangian
kOmegaSST


1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
y/H
-1
0
1
2
3
U/Uref
X/B=3
exp
Smagorinsky
dynaLagrangian
kOmegaSST


1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
y/H
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
V/Uref
X/B=0
exp
Smagorinsky
dynaLagrangian
kOmegaSST


1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
y/H
-0.25
-0.2
-0.15
-0.1
-0.05
0
V/Uref
X/B=3
exp
Smagorinsky
dynaLagrangian
kOmegaSST

まとめ

・OpenFOAMの単相乱流の検証の一環でErcoftac SIG 15 testcaseを対象に3D LESのベンチマークを実施した。

・結果の確からしさについては今後検証していく必要があるが、部分的にはLESによる精度改善があることを確認できた。

・今後は他のOSSコードを用いて、同様の解析を実施し、比較検証を実施したい。