

OpenFOAMによる二次元翼周りの キャビテーション解析

株式会社 西島製作所
研究開発部
宮部 正洋

- 背景・目的
- 解析について
- 実験について
- 実験と解析の比較 (C_L , C_D , C_p について)
 - ・キャビテーションモデル(3種類)による違い
 - ・乱流モデル(3種類)による違い
 - ・キャビテーションの発生状況(動画)
- 非定常性の改善(Reboud correction)
- まとめ

解析モデルとメッシュ

解析対象: Clark-Y, 迎え角 8deg.

software : OpenFOAM 2.1.1

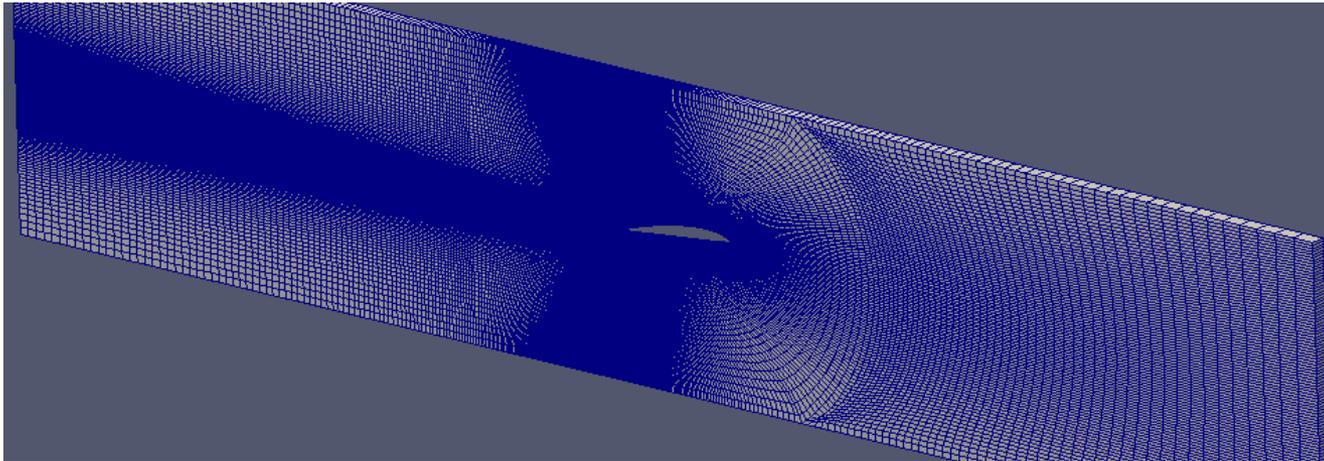
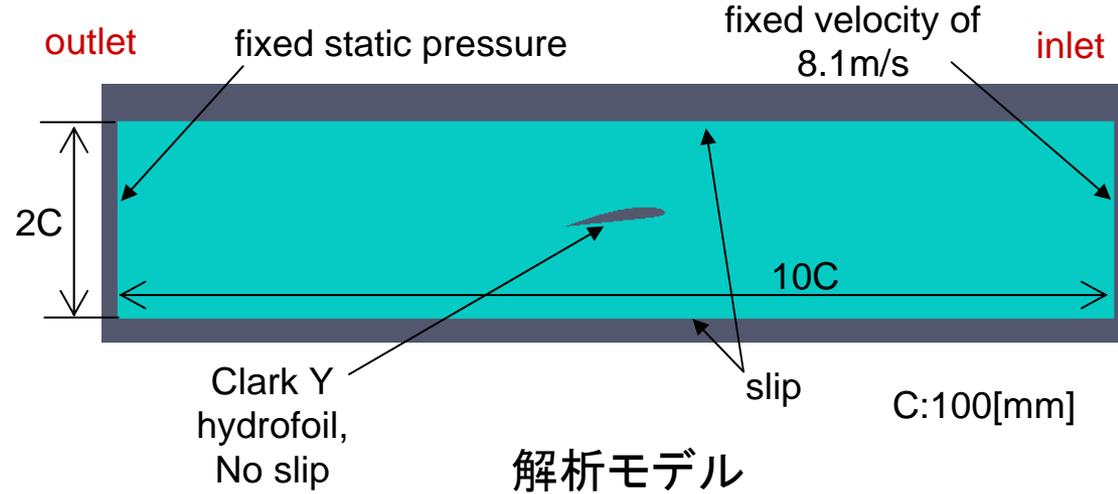
solver : interPhaseChangeFoam
(非圧縮・非定常ソルバ)

mesh : 約8万要素 (converted)

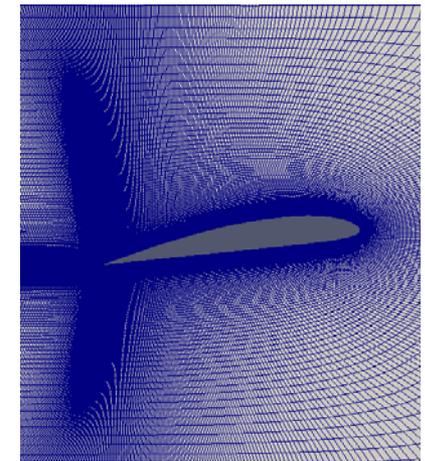
y+ : average 10, max. 25

cavitation model: Kunz, Merkle,
Schnerr-Sauer

turbulence model: RNG kEpsilon,
kOmegaSST, kklOmega



(a) 全体



(b) 翼近傍

解析メッシュ

実験装置

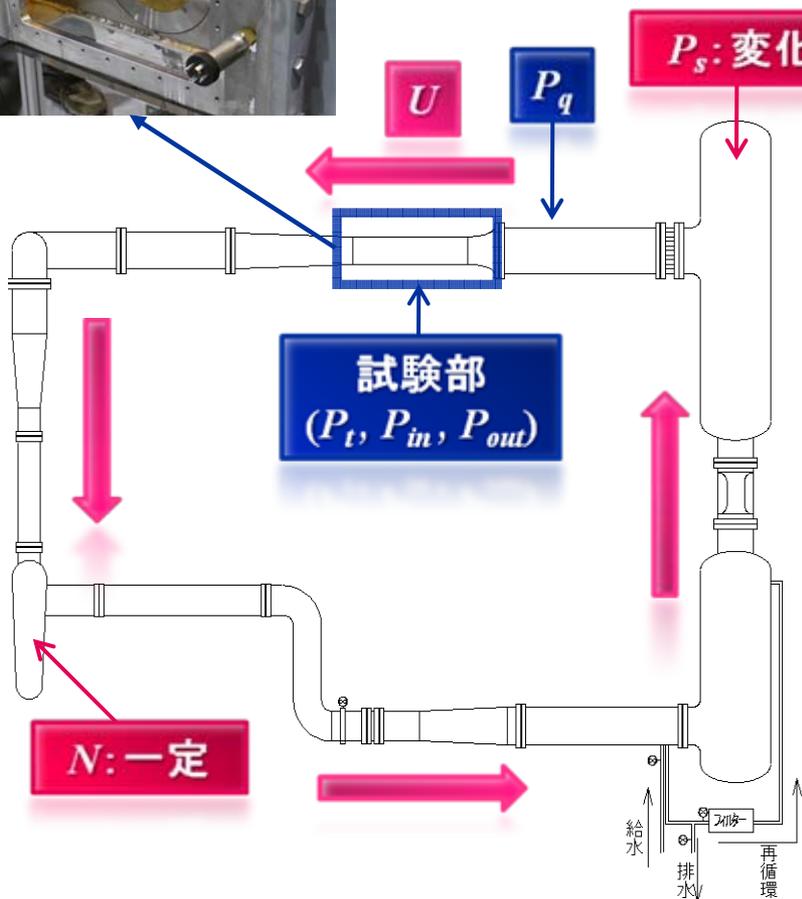


九州大学大学院工学研究院 渡邊聡 教授の実験室.

弊社は、ディスカッションにより知見を得、活用させて頂いている.

◆キャビテーションタンネル

- 回流ポンプ, 管路, タンク, 試験部から成る閉ループ構造
 - 弁の開閉によりシステム圧 P_s を変化
- 試験部
 - 81.5 × 200 [mm] の矩形断面
- 流量を一定でシステム圧 P_s を減圧
 - キャビテーション発生

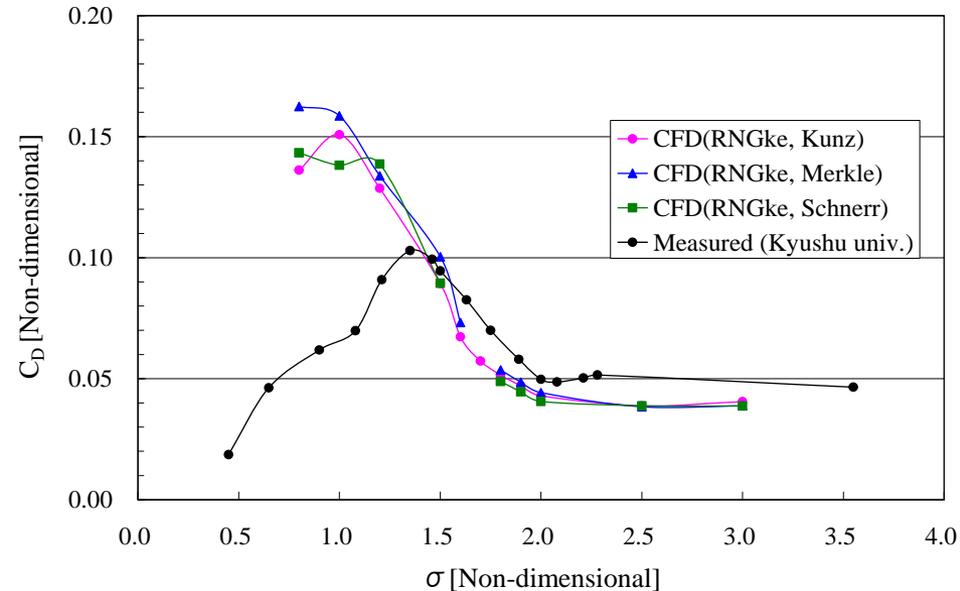
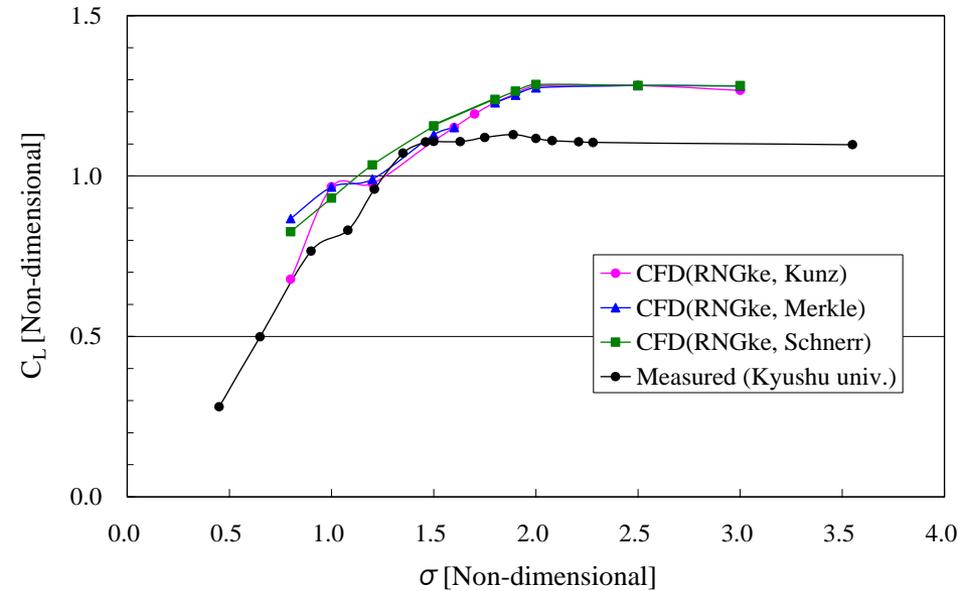


✓キャビテーション数 σ

$$\sigma = \frac{P_t - P_v(T)}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

P_t ; 試験部圧力
 P_v ; 飽和蒸気圧
 U ; 流速

どれも大差ない。CFDはブレークダウンが早い。



C_L, C_D の比較

キャビテーションモデルによる違い

乱流モデルはRNGkEpsilon

C_L, C_D は準定常状態後, 0.4[s]間平均

キャビテーションモデル

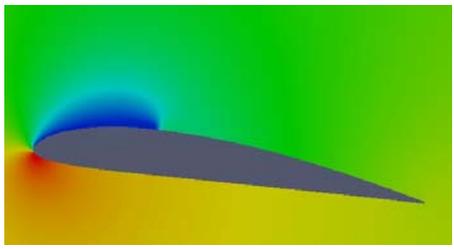
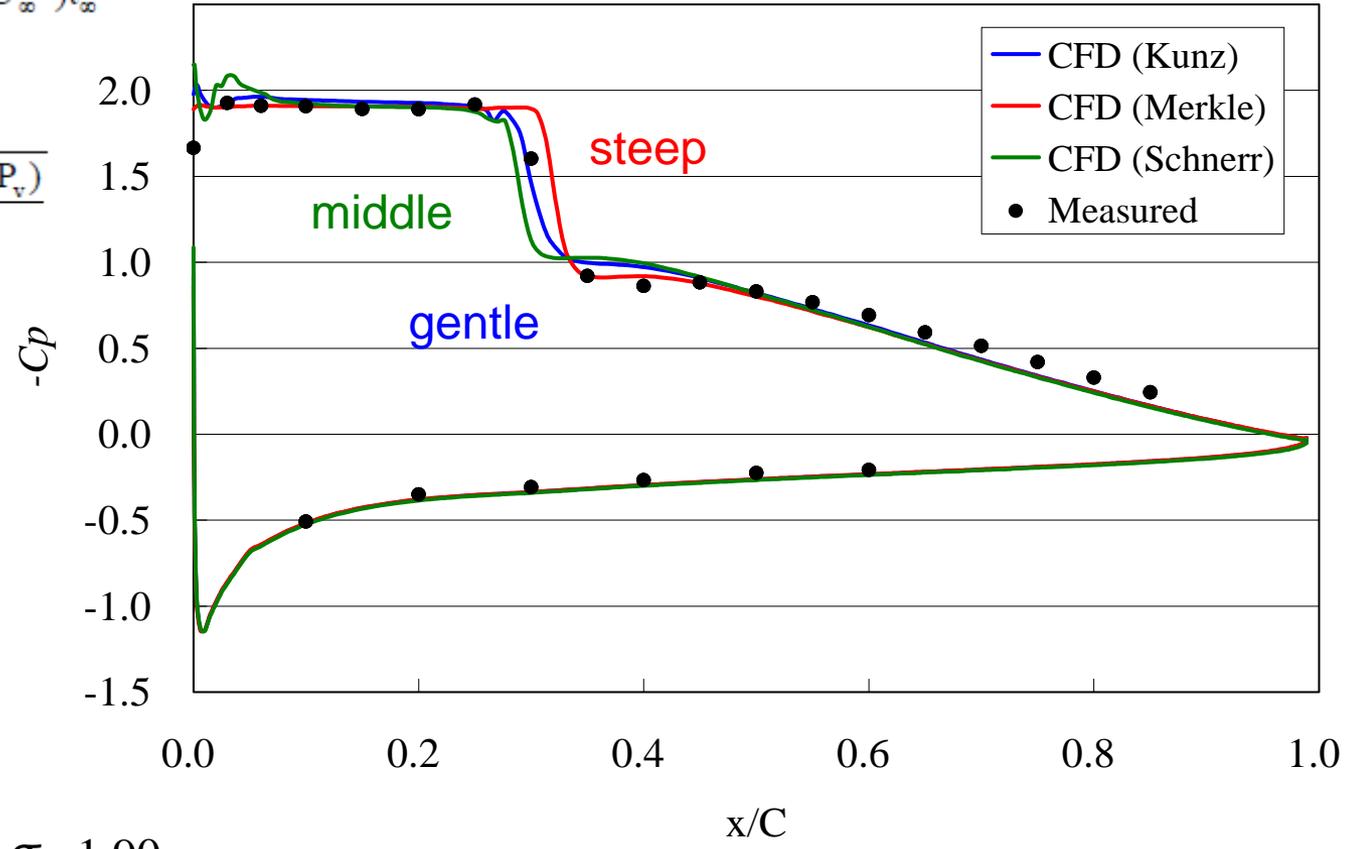
Kunz: $R_c = C_c \frac{\rho_v \alpha_1^2 (1 - \alpha_1)}{\rho_1 t_\infty}$

Merkle: $R_c = C_c \frac{\alpha_1 \max[0, P - P_v](1 - \alpha_1)}{(1/2 \rho_1 U_\infty^2) t_\infty}$

Schnerr-Sauer:

$$R_c = C_c \frac{\rho_v \rho_1}{\rho} \alpha (1 - \alpha) \frac{3}{R_B} \sqrt{\frac{2(P - P_v)}{3\rho_1}}$$

condensation term



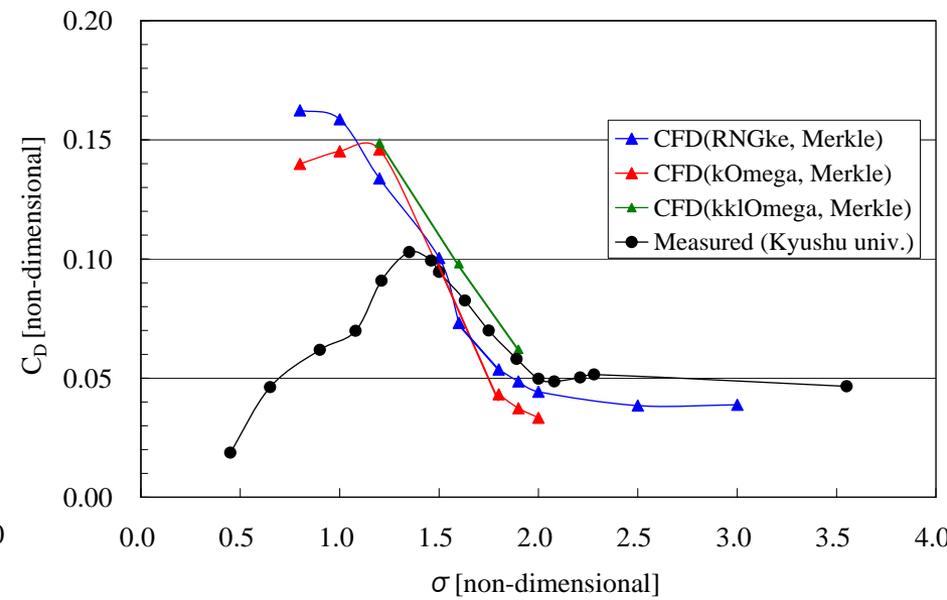
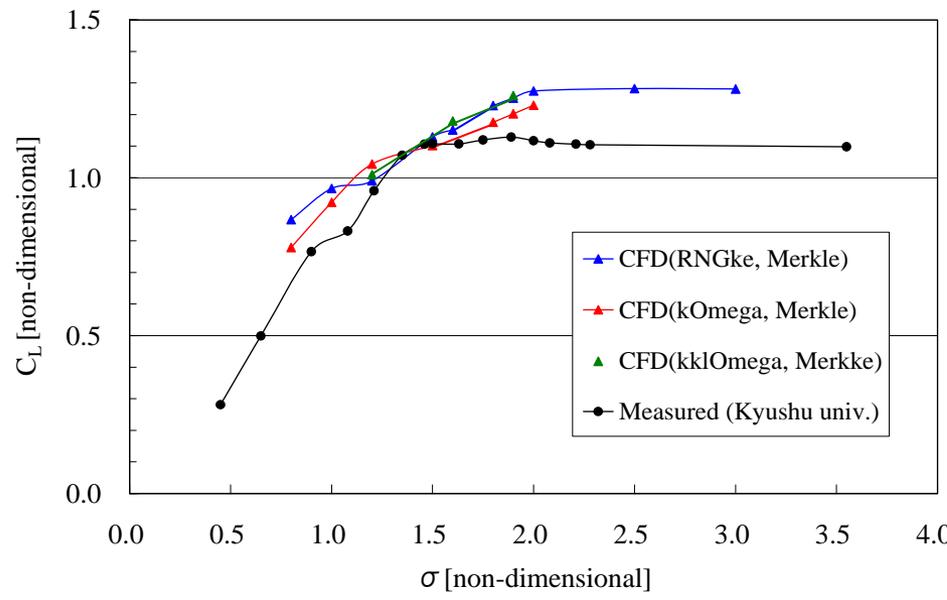
$\sigma = 1.90,$

乱流モデル: RNG kEpsilon

キャビテーションモデルによる翼表面圧力分布の違い

実験と解析の比較

どれも大差ない。CFDはブレークダウンが早い。

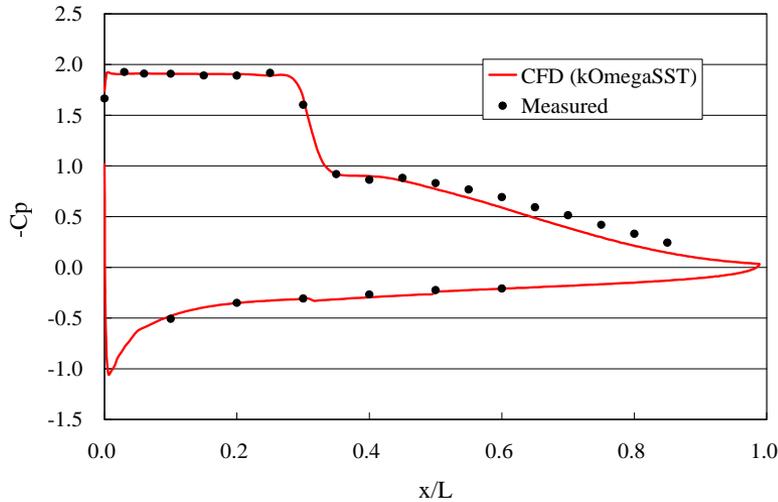


CL, CDの比較

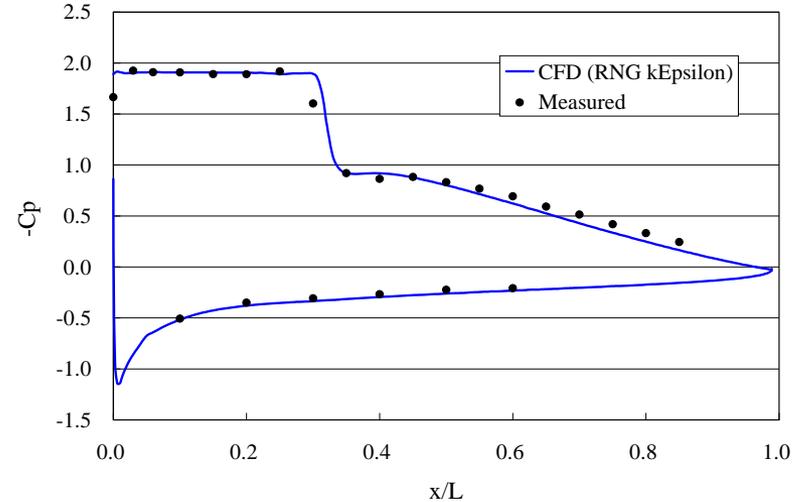
乱流モデルによる違い

キャビモデルは Merkle

kOmegaSST

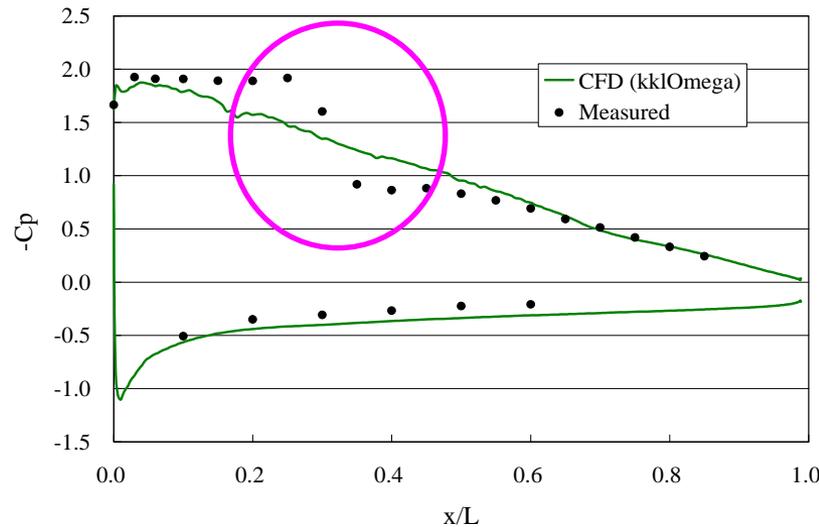


RNGkEpsilon



kk1Omega

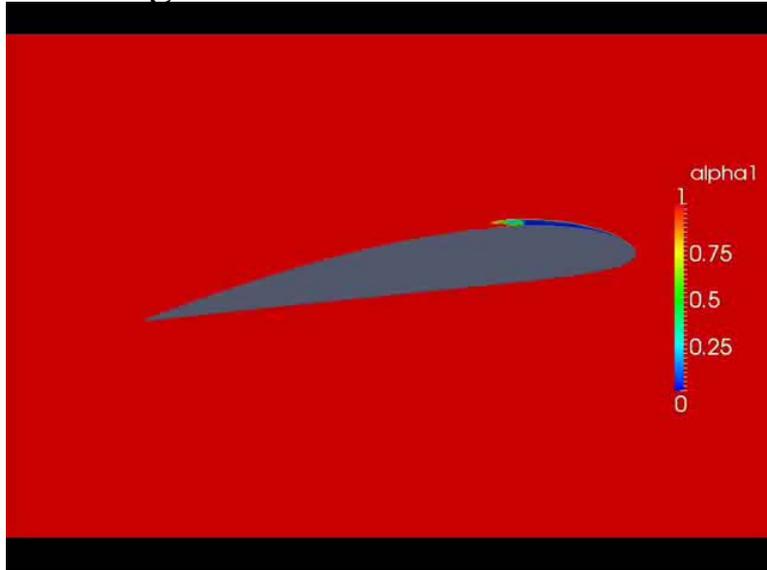
これは少し違う
動画で比較する



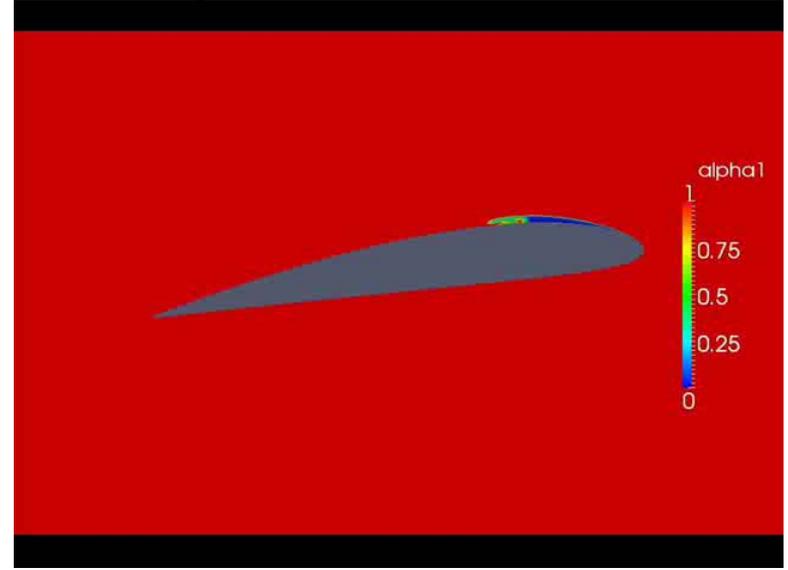
$\sigma = 1.90$,
キャビモデルは
Merkle

実験と解析の比較

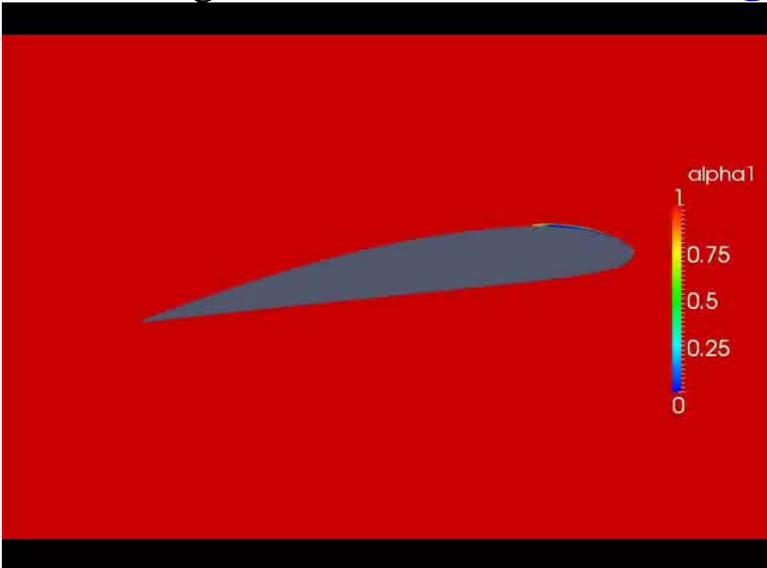
kOmegaSST



RNGkEpsilon



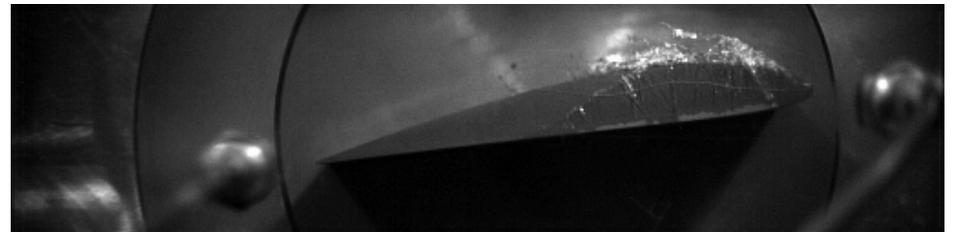
klOmega



Sheddingが上手く模擬できない.

$\sigma = 1.90$, Merkle

Experiment



非定常性が強くなったが平均キャビ長さは短い.

乱流モデルによるキャビテーション長さの違い(動画)

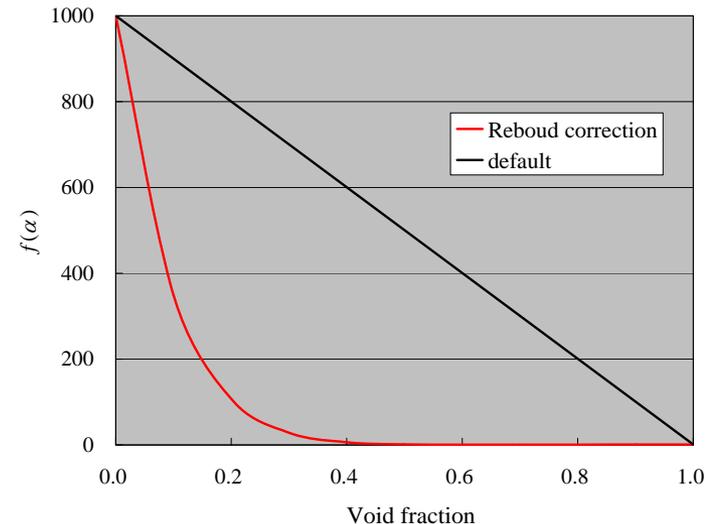
■ Reboud Correction※

$$\text{乱流渦粘性: } \mu_t = f(\alpha) C_\mu k^2 / \varepsilon$$

$$\text{混合密度: } f(\alpha) = \rho_l (1 - \alpha)^n + \rho_v \alpha$$

n=10 としてボイド率が高くなったときに乱流渦粘性をカットする。

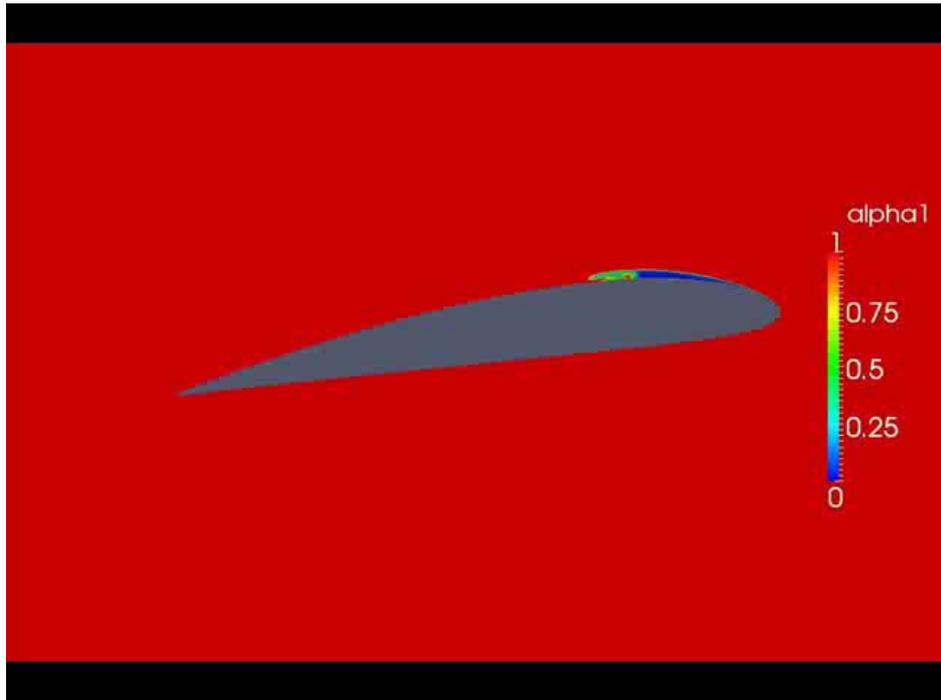
ちょっとカスタマイズ
(九大大学院の 松成さんにご教授頂きました)



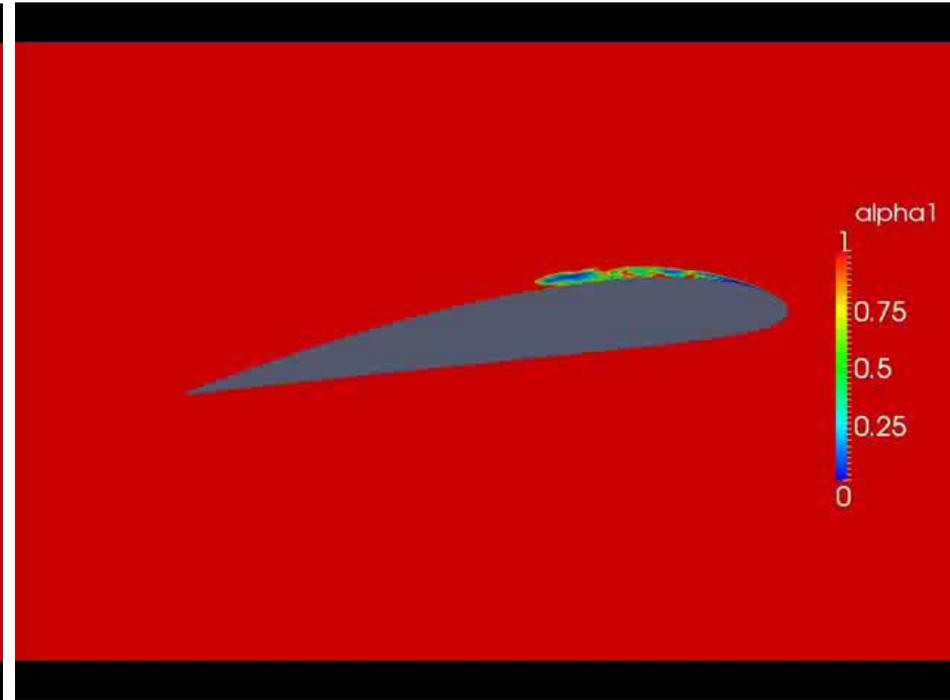
※Ref.

J.L.Reboud, et al., “Evaluation of turbulence model influence on the numerical simulations of unsteady cavitation”, Trans. of the ASME vol.125,2003.

非定常性が強くなり、平均キャビ長さも長くなったが、実験と比べると未だ短い

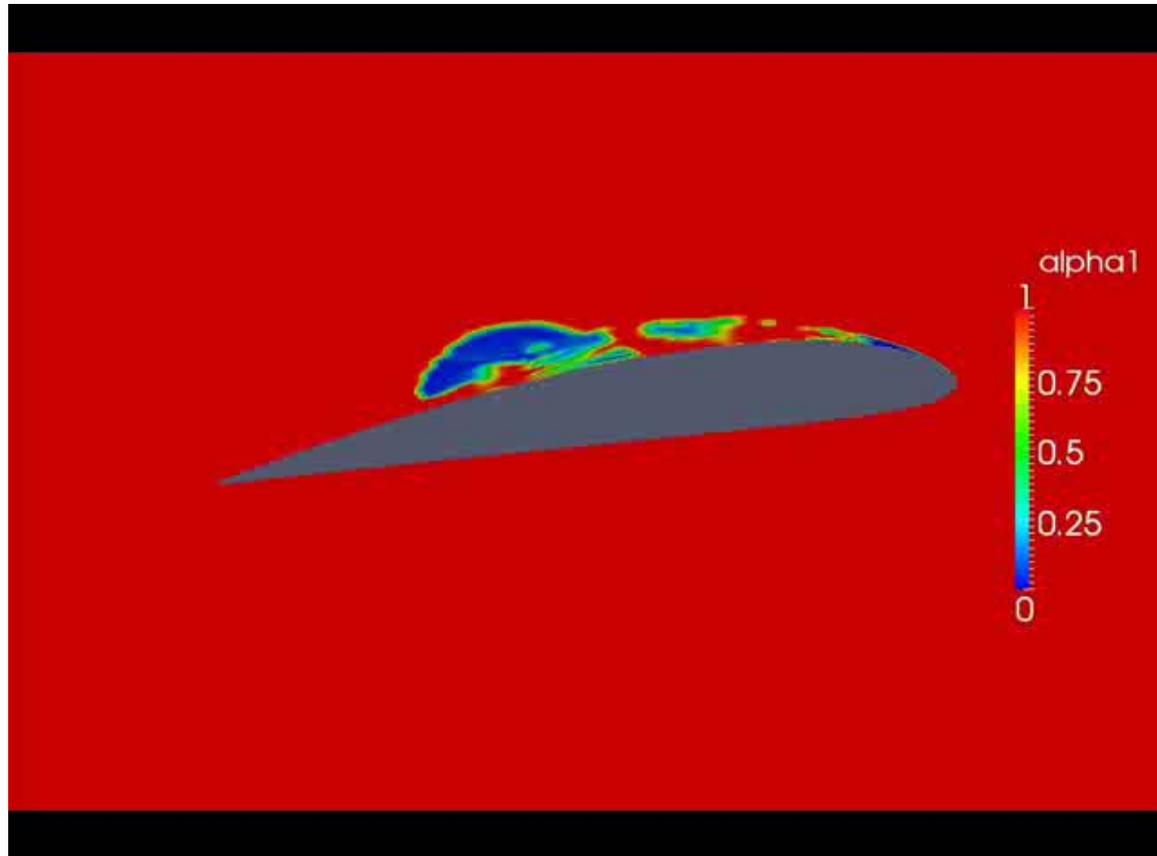


No Reboud Correction

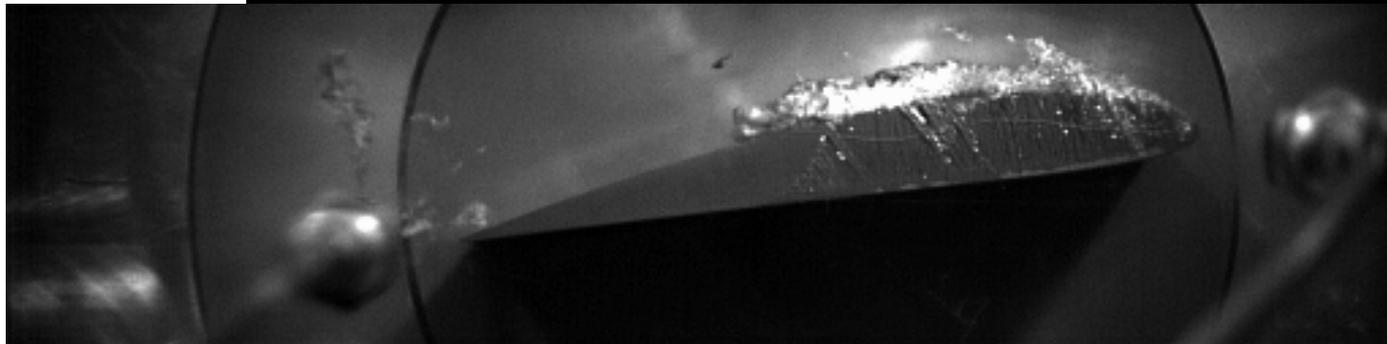


Reboud Correction

Merkle, RNG kEpsilon, $\sigma=1.90$



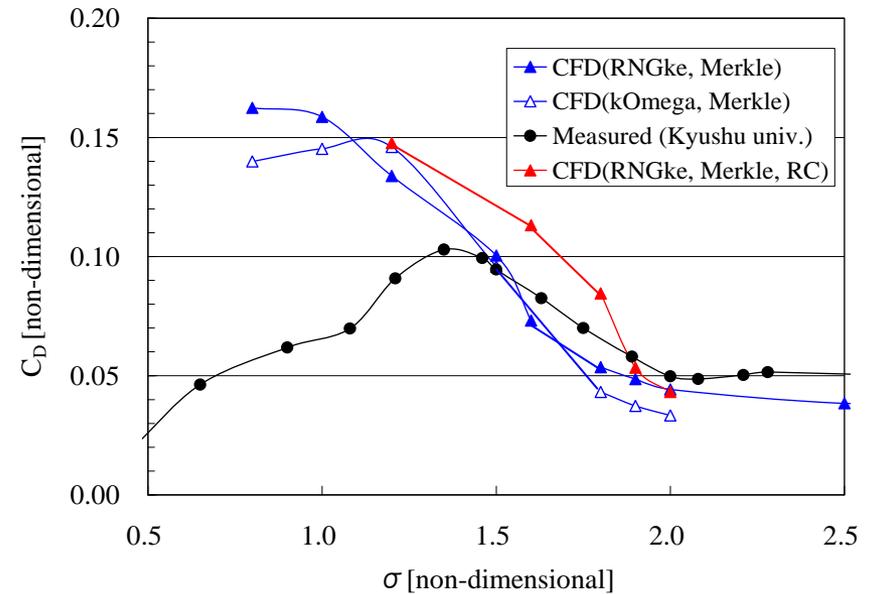
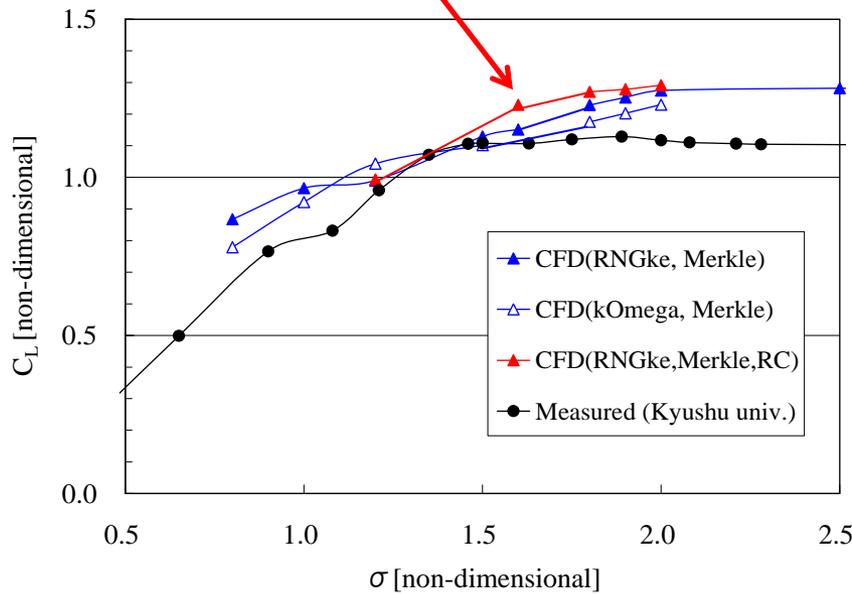
Reboud correction
Merkle, RNG kEpsilon,
 $\sigma=1.60$



Experiment

実験と解析の比較

ブレークダウン特性に改善が見られる



C_L, C_D の比較

キャビモデルは
Merkle



まとめ

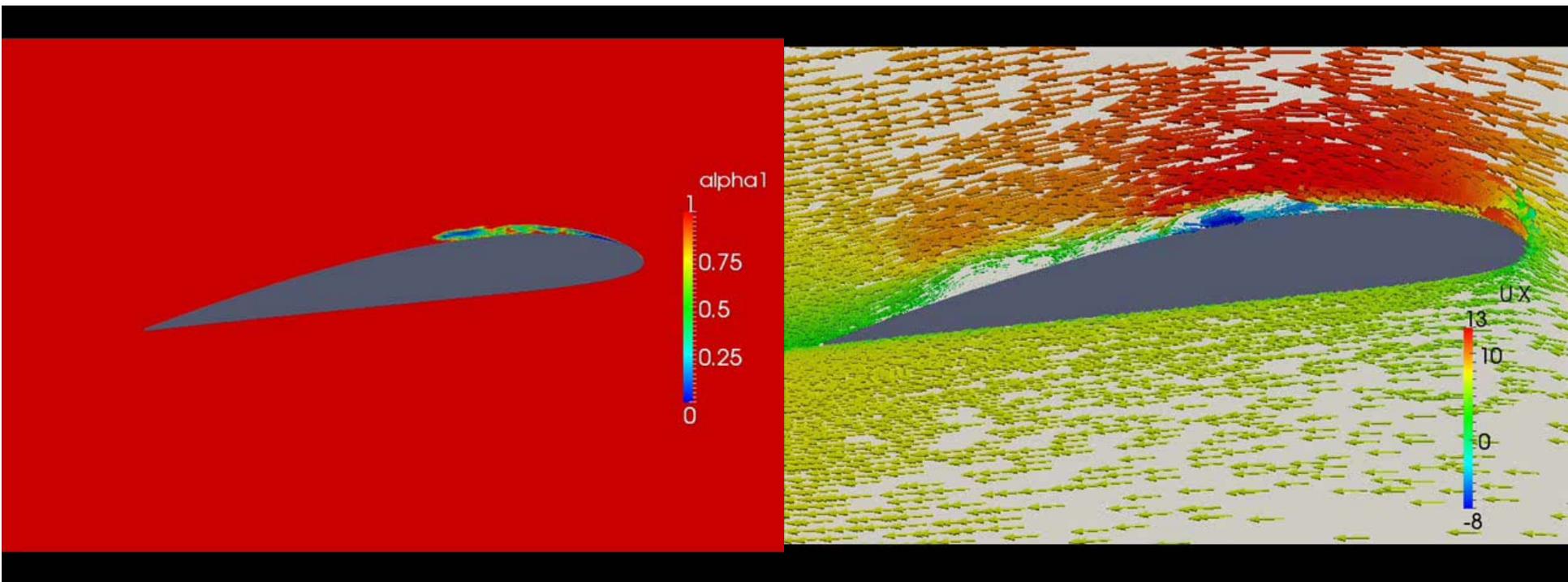
OpenFOAMを使い, 二次元翼(Clark Y)について

キャビテーションCFDを実施し, 実験と比較して以下の知見を得た.

- ◆ 実験値に比べて, 計算値はブレークダウンが早い.
- ◆ 3種類のキャビテーションモデルは, 翼面圧力分布に関して, キャビテーション後端で違いが見られた.
- ◆ RNGkEpsilon, kOmegaSST 乱流モデルは非定常性が現れにくい.
- ◆ kklOmega乱流モデル, Reboud correction は, 非定常性が強くなり, ブレークダウン特性に改善が見られた.

今後は, LES解析および三次元計算を行い, 定量的評価を行う.

以上



Void fraction

Velocity vectors

Re-entrant jet が出ています(右図青色部分)。👍
キャビ長さも改善が見られますが、break downは早いです。
渦粘性の弱い乱流モデルが必要と思われます。



ご清聴ありがとうございます。

Thank you for your kind attention.

九州大学渡邊聡研究室の関係各位に
感謝致します。

会社ホームページアドレス

<http://www.torishima.co.jp/>

日本機械学会流体工学部門ニューズレター

http://www.jsme-fed.org/newsletters/2012_12/no6.html#ctop