

# 航空・流体力学分野におけるデータ同化の応用 ～設計に活かすデータ同化技術の構築に向けて～

加藤博司(宇宙航空研究開発機構)  
三坂孝志(東北大学)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ  
2015年1月26日(月)  
秋葉原コンベンションホール

## 内容



- 不確実性低減に向けて
- 東北大学・大林研究室における取り組み
- JAXA航空本部における取り組み
- 設計に活かすデータ同化研究会



## → 不確実性低減に向けて

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

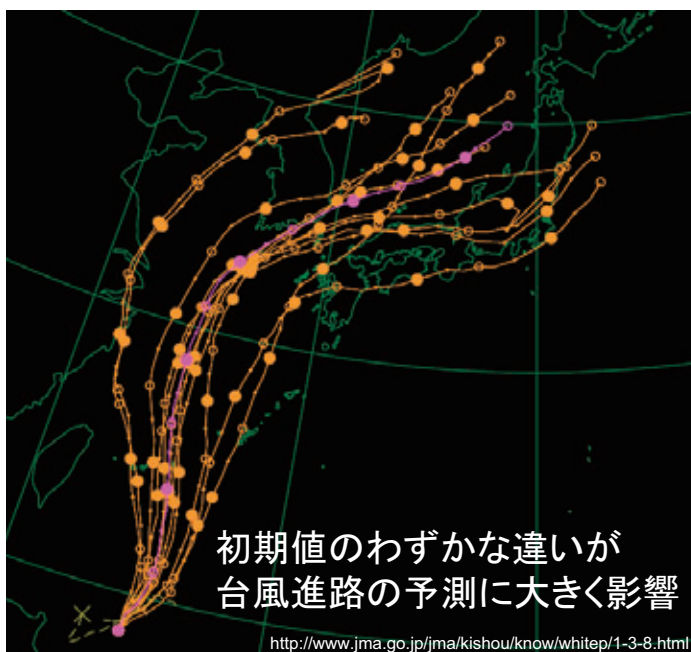
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

3

## 不確実性低減に向けて 1/8



- (数値)天気予報の**不確実性低減**にデータ同化技術は実利用
- 天気予報の不確実性
  - 初期・境界値
  - モデル自体
    - 実在気体
    - 混相流
    - 複雑な物理過程



台風進路のアンサンブル予報

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

4

## 不確実性低減に向けて 2/8



- 複雑流れ場の現象理解・予測を実現するためには？
- － 計測技術・計算技術の高度化
  - － **両技術に内在する不確実性低減**



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

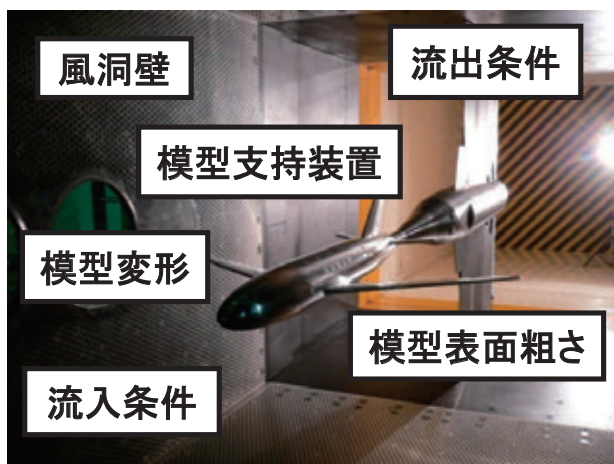
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

5

## 不確実性低減に向けて 3/8



- 風洞実験に内在する不確実性



アメリカ航空宇宙学会

- ・ 風洞実験の不確かさに関する規格を制定

“Assessment of Experimental Uncertainty With Application to Wind Tunnel Testing”



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

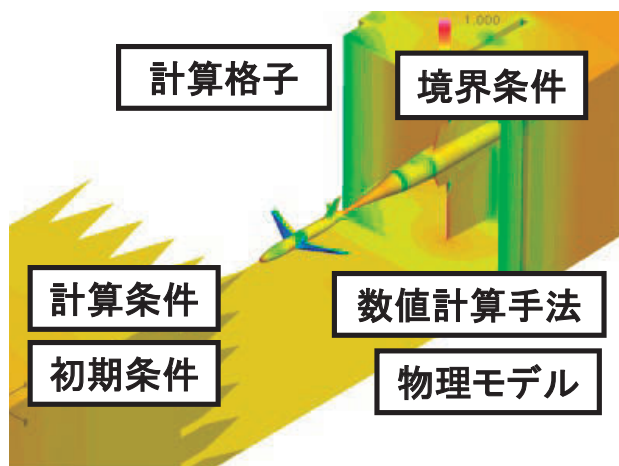
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

6

## 不確実性低減に向けて 4/8



→ CFDに内在する不確実性



近年、数値シミュレーション技術の不確実性に関する研究が盛んに

- V&V (ASME)
- Uncertainty Quantification in Industrial Analysis and Design (ERCOFTAC)
- PSAAP (Stanford Univ.)

**Uncertainty  
Quantification (UQ)**

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

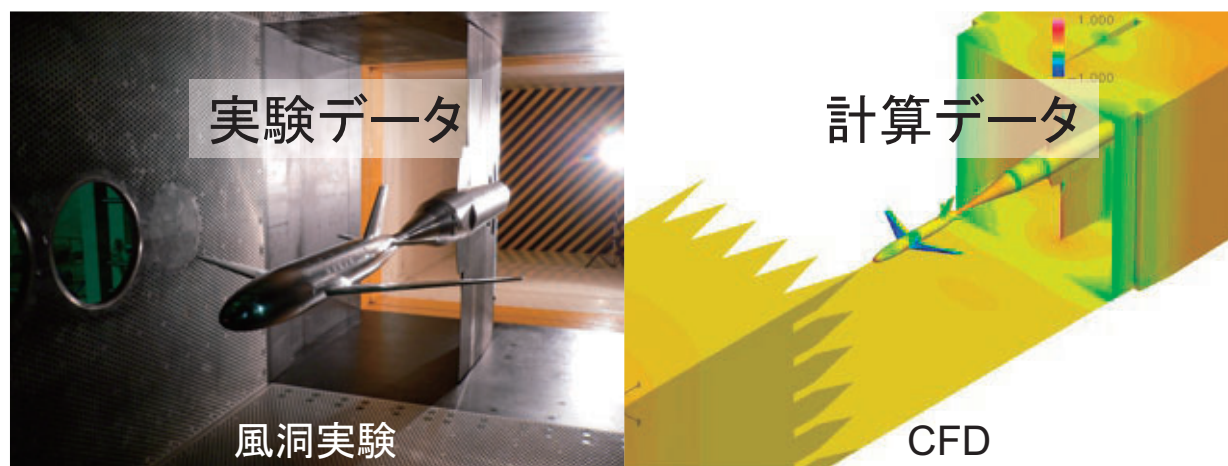
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

7

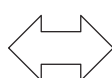
## 不確実性低減に向けて 5/8



→ 両技術から得られるデータの積極的な活用



“比較検証”という考え方  
必要な技術: 実験、計算



“融合”という考え方  
必要な技術: 状態空間モデル

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

8



## 不確実性低減に向けて 6/8



### → 状態空間モデル

- 制御工学の分野で広く利用されている
- 観測値とモデル値を利用して尤もらしい状態を推定する  
(問題設定が重要)

状態空間モデル

$$\begin{aligned} \text{観測モデル: } & y_t = H_t(x_t, w_t) \\ \text{システムモデル: } & x_t = f_t(x_{t-1}, v_t) \end{aligned}$$

データ同化

**大規模**状態空間モデルの状態推定技術

制御工学分野との違い

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

9

## 不確実性低減に向けて 7/8

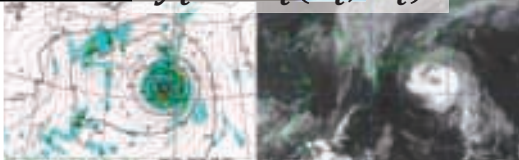


### → 天気予報システムでの状態空間モデル



観測モデル:

$$y_t = H_t(x_t, w_t)$$



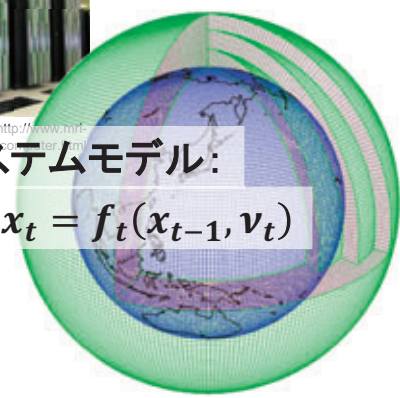
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/whitep/1-3-6.html>

気象観測



システムモデル:

$$x_t = f_t(x_{t-1}, v_t)$$



<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/whitep/1-3-1.html>

数値天気予報

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

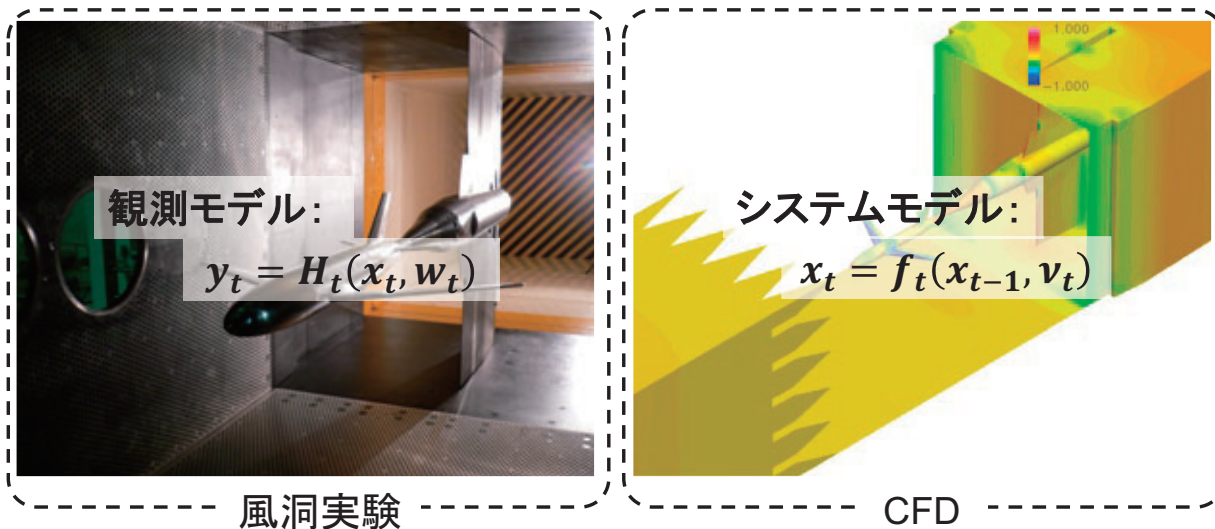
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

10

## 不確実性低減に向けて 8/8



### → 航空流体力学分野での状態空間モデル



### データ同化技術の応用へ

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

11



## 東北大学・大林研究室における取り組み

### 内容

- 東北大学・大林研究室での取り組み
- 摩擦応力線を用いた失速予測
- まとめ・適用例を通して

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

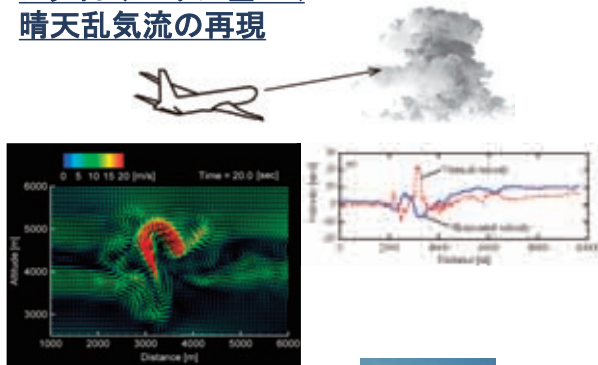
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

12

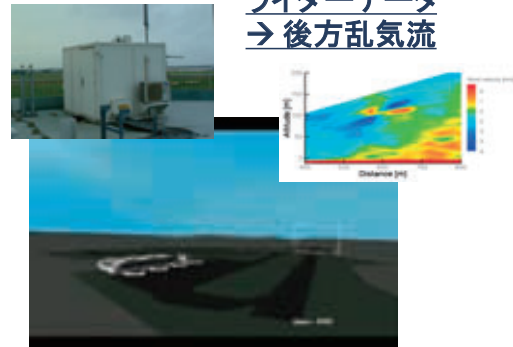
## データ同化の航空気象への応用



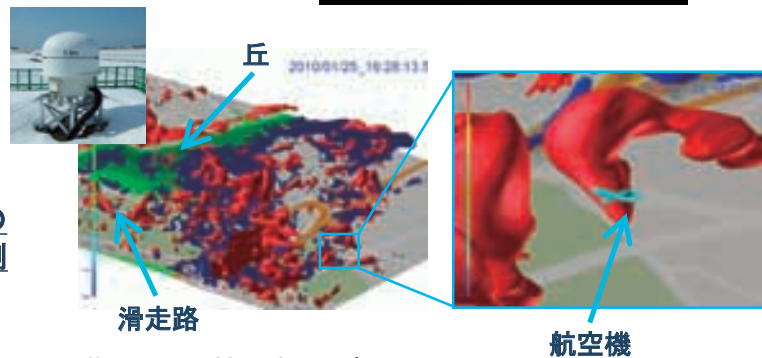
フライトデータに基づく  
晴天乱気流の再現



ライダーデータ  
→ 後方乱気流



レーダーデータ  
→ 低層風擾乱の  
リアルタイム予測



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

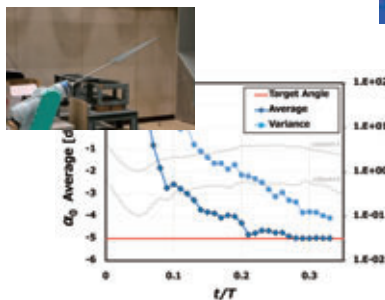
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

13

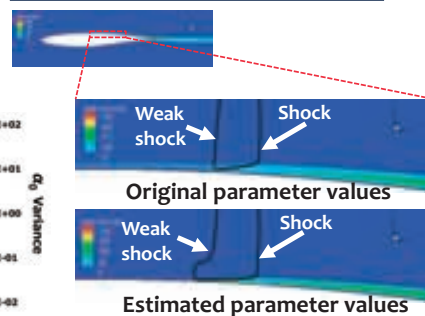
## データ同化の流体工学問題への応用



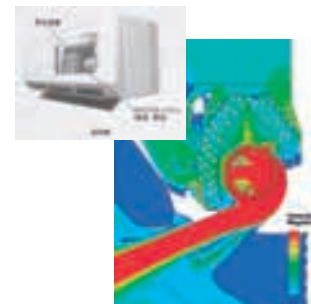
デルタ翼の動的風洞計測  
融合シミュレーション



乱流モデルのパラメータ推定



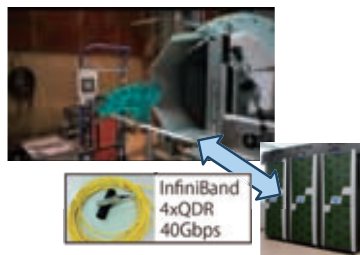
風速計測値を用いた多  
孔質体の抵抗係数推定



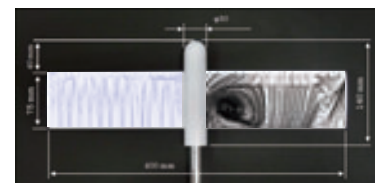
非定常圧力計測値を用いた  
車両周りの流れ解析



スパコンを用いた  
適応型計測



摩擦応力線を用いた失速  
予測 (M2方展)



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

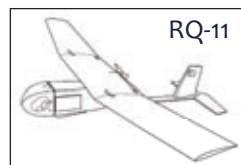
14

## 低レイノルズ数翼の空力特性



### 超小型無人航空機(UAV, MAV)の普及

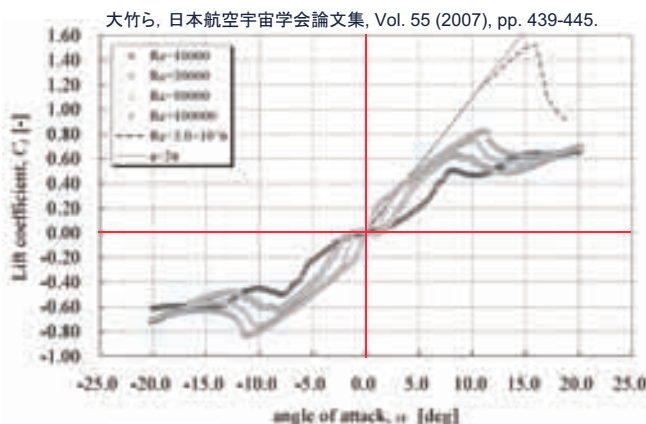
- 事故率が高い
- Loss-of-control in flight (LOC-I)



翼幅: 1m,  
飛行速度: 45-97km/h



<http://investor.avinc.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=661232>



### 低レイノルズ数領域の特徴

- 線形性の崩れ
- 遷移や剥離の影響が特に大きい

### 目的

データ同化を用いて, 翼面の摩擦応力線から境界層遷移位置を推定する → 非線形空力現象である失速をより正確に予測する

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

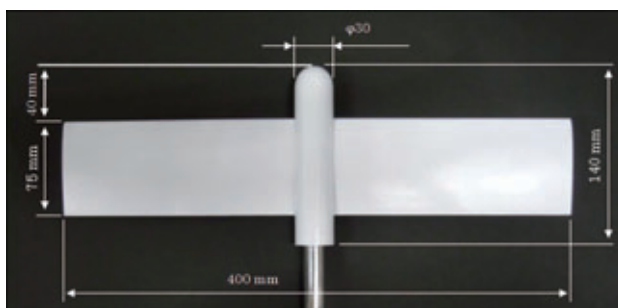
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

15

## 風洞実験手法(東北大学・浅井研究室)



### NACA0012矩形翼



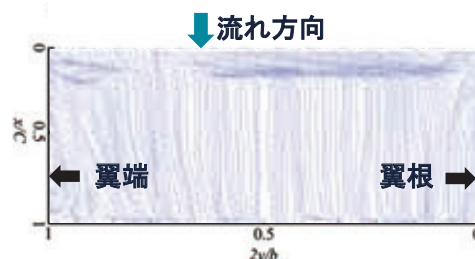
風洞実験用模型



模型と支持装置

### 実験条件

実験装置	東北大低乱熱伝達風洞
一様流速度	30 m/s
迎え角範囲	-10 ~ 30 deg
翼弦長	75 mm
翼幅	400 mm
計測方法	蛍光油膜法



翼上面の摩擦応力線(迎角8度)

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

16



## 数値解析手法



- 数値解析コード: JAXA FaSTAR



一様流速度	30 m/s
レイノルズ数	$1.5 \times 10^5$
乱流モデル	Menter SST

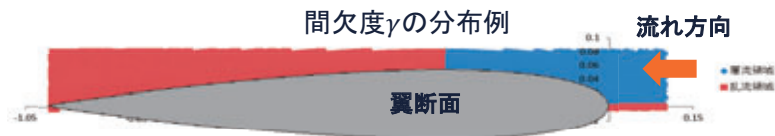


格子点数: 75万点

- 境界層遷移・はく離位置の制御

→ 乱流エネルギー方程式に間欠度 (層流  $\gamma = 0$ , 乱流  $\gamma = 1$ ) を導入し、境界層遷移位置およびはく離位置を制御する

$$\frac{D\rho k}{Dt} = \gamma \min\left(P, \frac{Re_\infty}{M_\infty} 20\beta^* \rho \omega k\right) - \frac{Re_\infty}{M_\infty} \beta^* \rho \omega k + \frac{M_\infty}{Re_\infty} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

17

## データ同化の問題設定



- 標準的なアンサンブル・カルマンフィルター(EnKF)を利用



- 推定するパラメータ:  
 $x_{tr} = f(y)$  を定義する  
コントロールポイント



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

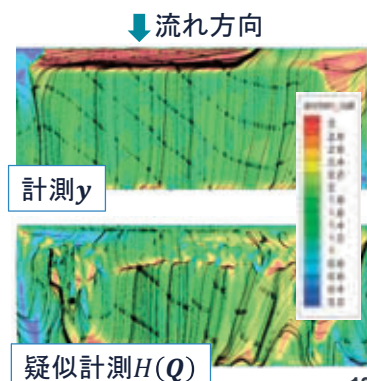
- 観測モデル: 摩擦応力線の arc tangent

$$H(Q) = \left| \arctan \frac{b_x}{b_y} \right|$$

$b_x$ : 流れ方向成分  
 $b_y$ : スパン方向成分

- コスト関数

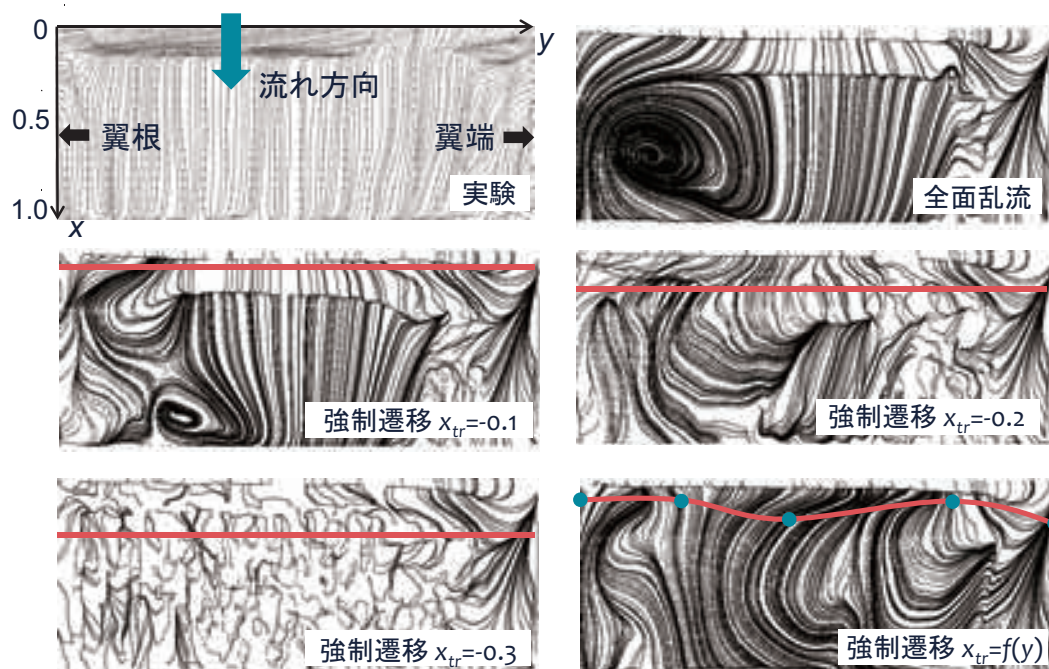
$$J(Q) = \sum_{surf} \frac{1}{2} (y - H(Q))^2$$



第7回EFD/CFD融合ワークショップ

18

## 境界層遷移位置の流れ場への影響(迎角8度)



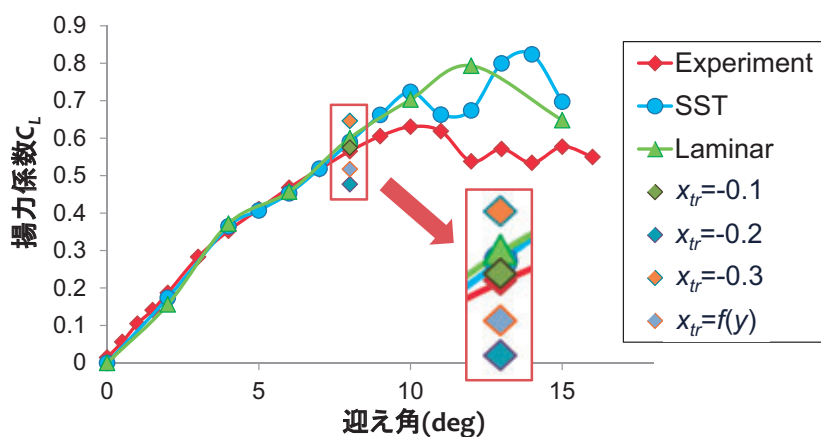
- 強制遷移位置の変化に対して、応力線分布は大きく影響を受ける

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

19

## 揚力係数への影響(迎角8度)



- 迎角7度以下では実験値≈計算値, 迎角8度以上で計算と実験の差が開き始める(前縁はく離泡, 後縁はく離)
- 遷移強制位置の変化は揚力係数に対しても感度がある



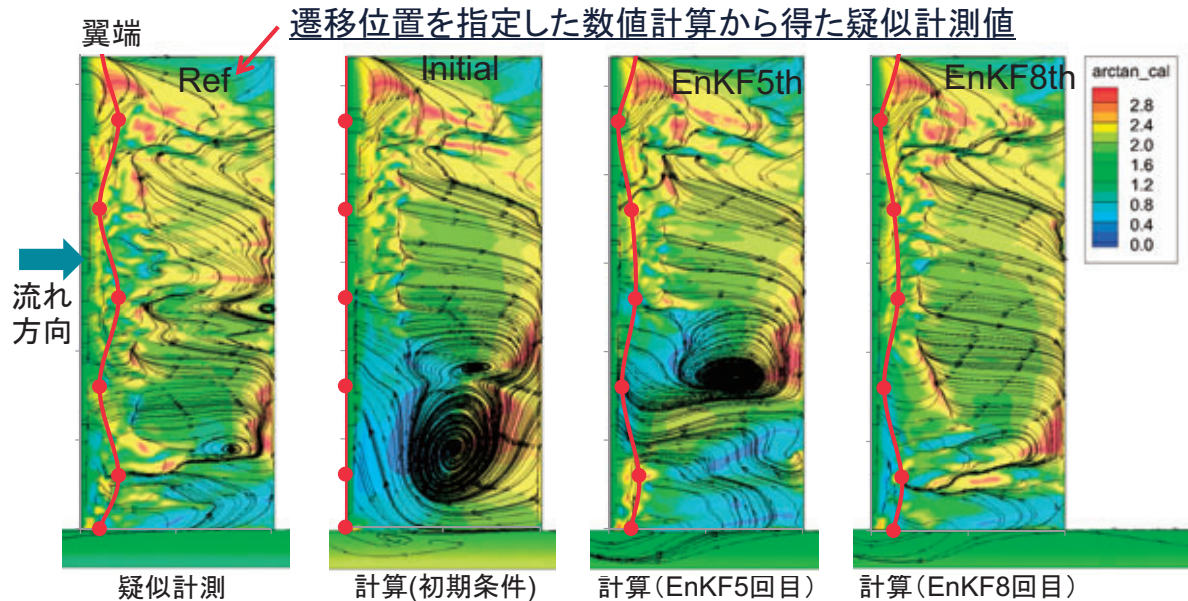
実験で得られた摩擦応力線に基づいて境界層遷移位置を制御することで失速後の揚力係数を実験値に近づける

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

20

## 摩擦応力線の変化(双子実験)



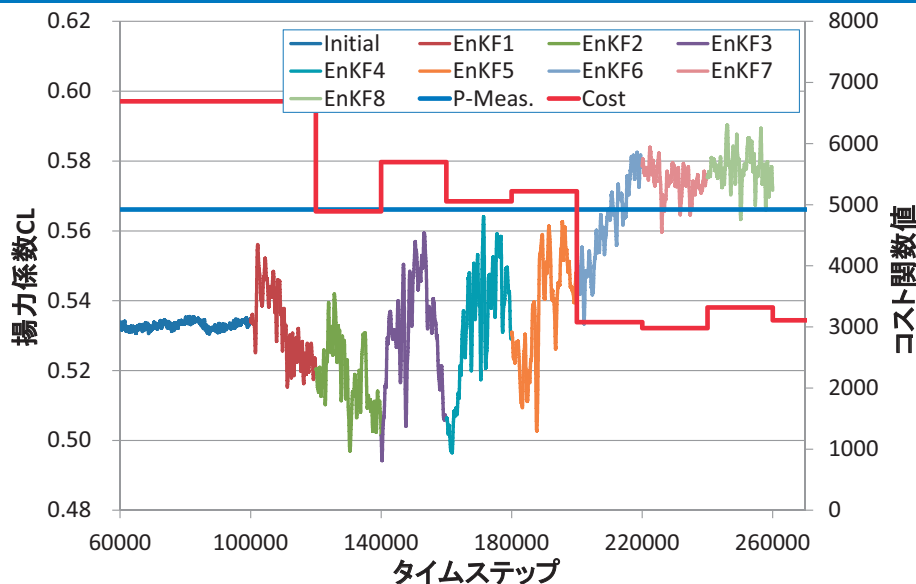
- 細かく見ていくと一致しているわけではないが、摩擦応力線の大きな分布が疑似計測値に近づいている

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

21

## 揚力係数の履歴(双子実験)



- 摩擦応力線分布が実験に近づく(コスト関数が減少する)と揚力係数は実験値に近づく

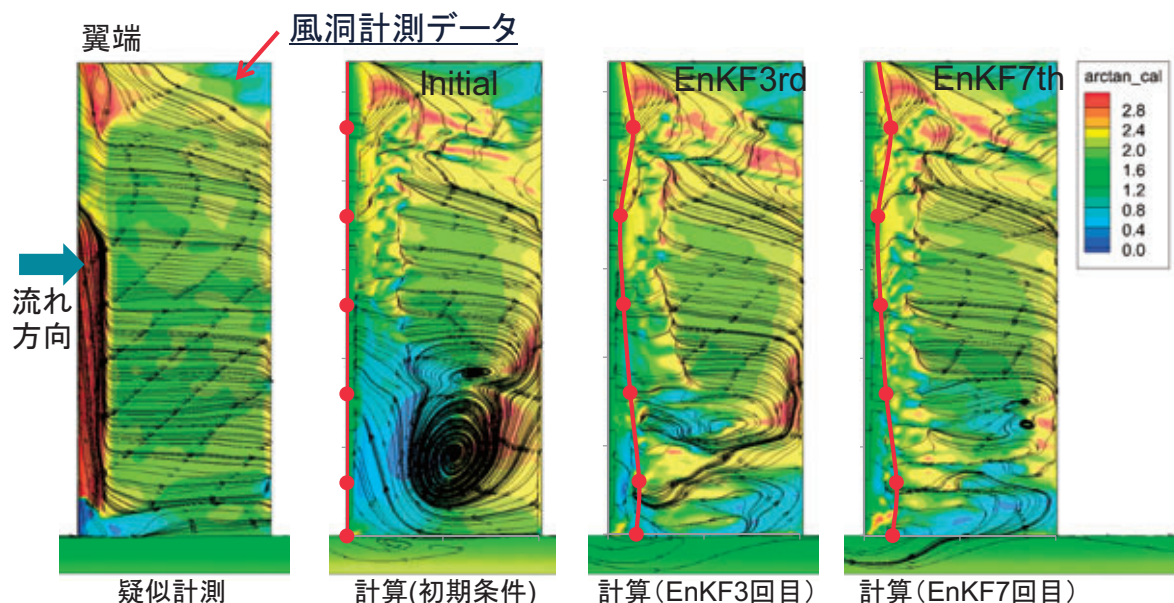
秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

22



## 摩擦応力線の変化(実計測データ)



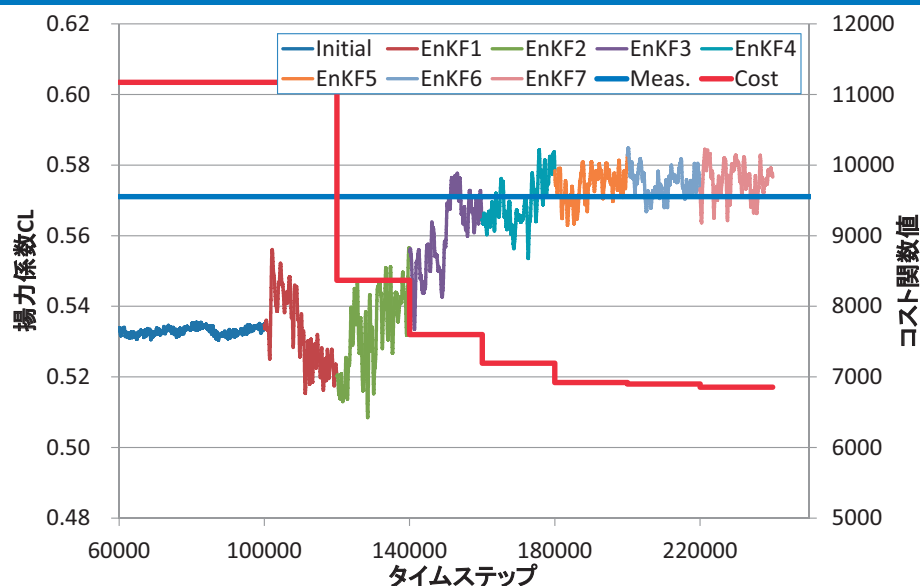
- 初期の大きな渦構造が消え、全体的に流れに沿った摩擦応力線になってきているが、前縁部分の横流れは再現されていない

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

23

## 揚力係数の履歴(実計測データ)



- 双子実験に比べるとコスト関数の減少幅は小さい(61%)
- 揚力係数, コスト関数共に比較的早く収束

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

24



## まとめ



翼上面の境界層遷移位置を摩擦応力線の計測値から推定し、高迎角の揚力係数を予測した

- 遷移位置を変化させることで、摩擦応力線および揚力係数が影響を受けることを確認し、遷移位置をデータ同化で推定すべきパラメータとした
- 双子実験・実データ同化ともに遷移位置を制御することで揚力係数が実験値に近づいた
- 今後は他の流れ条件(迎角, Re数)で検討を行う

## 大林研究室における適用例を通して



- **航空気象への応用**
  - 気象分野のデータ同化の延長線上であるが、航空機スケールの大気流れのシミュレーション(LES)が必要
  - 不確定な初期・境界条件から流れ場再現というデータ同化の目的が明確
- **流体力学問題への応用**
  - 現状, とりあえず適用してみるという形
    - 解析精度の向上という目的はあるものの...
  - 実験計測値に基づくモデルパラメータ修正は有望
    - **Data-driven simulation**
      - ✓ RANS乱流モデルパラメータ
      - ✓ LESなら格子細分化(?)
  - データ同化結果から実験へのフィードバック
    - ✓ 計測位置の最適化



## → JAXA航空本部における取り組み

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

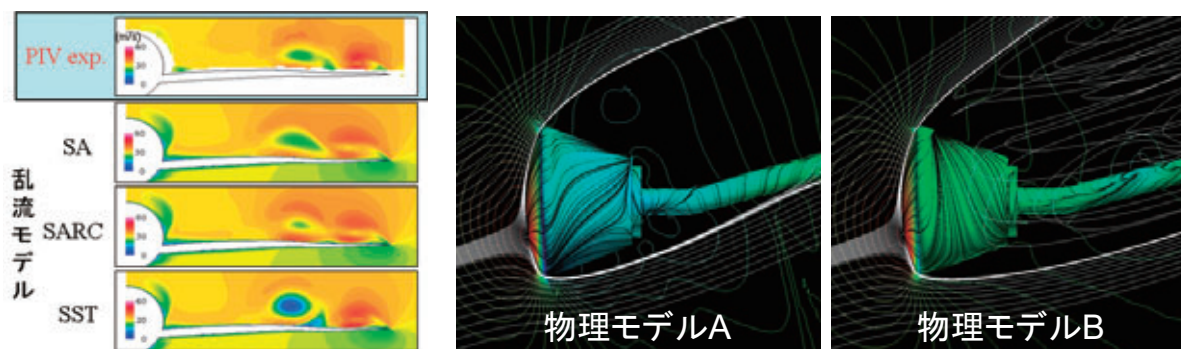
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

27

## JAXA航空本部における取り組み 1/2



- 乱流モデルに対するデータ同化の応用
  - CFDの**主要**な不確実性要因



乱流モデルの選択による解析結果への影響

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

28

## JAXA航空本部における取り組み 2/2



### ➔ 乱流モデルに対するデータ同化の応用事例

#### 1. 乱流モデルのパラメータ推定

- 局所的最適化
- 客観的最適化

#### 2. 乱流粘性係数推定

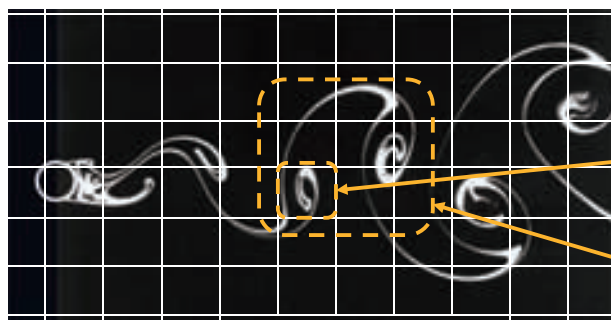


### ➔ 乱流粘性係数推定

(参照)

H. Kato, A. Yoshizawa, G. Ueno and S. Obayashi,  
“A data assimilation methodology for reconstructing turbulent flows around aircraft,”  
*Journal of Computational Physics*, Vol. 283, Pages 559–581, 2015.

## 乱流粘性係数推定 1/5



計算格子

(格子サイズと比較して)  
小さな渦

(格子サイズと比較して)  
大きな渦

Picture from  
Van Dyke, M. An Album of Fluid Motion, The Parabolic Press, Stanford, 2002

### ➔ 乱流の計算手法

- 直接数値計算(DNS)
  - 乱流の全てのスケールを直接計算
- Large Eddy Simulation (LES)
  - 乱流の小さなスケールはモデル化、大きなスケールは直接計算
- **Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulation (RANS)**
  - **乱流の全てのスケールをモデル化**

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

31

## 乱流粘性係数推定 2/5



➔ レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式に現れる  
レイノルズ応力項を解く必要

レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

ナビエ・ストークス方程式に  
対する付加項(レイノルズ応力項)



$$\tau_{ij} = -\rho u'_i u'_j \quad \text{:レイノルズ応力} \rightarrow \mu_t \text{: 乱流粘性係数}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + (\mu + \mu_t) \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

渦粘性型乱流モデル → 実験値から推測

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

32



## 乱流粘性係数推定 3/5



### ➔ モデル駆動型アプローチ(シミュレーション科学)

データに基づく仮定からモデルを構築し、どういう状態になるかを予測する

(問題解決の流れ)

基礎的乱流場、DNS → 乱流モデル → 複雑乱流場  
(乱流粘性係数)

### ➔ データ駆動型アプローチ

データからどういう状態が最適なのかを推測する

(問題解決の流れ)

複雑乱流場 → 実験値 → 乱流粘性係数

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

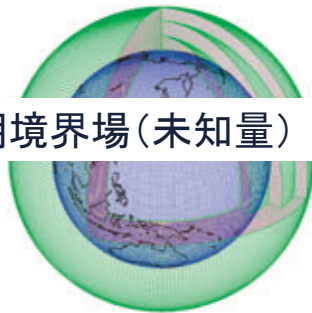
33

## 乱流粘性係数推定 4/5

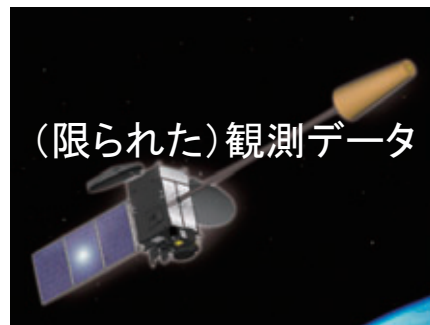


### ➔ 気象海洋分野

初期境界場(未知量)

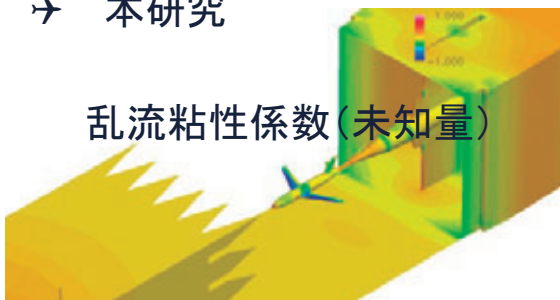


(限られた)観測データ



### ➔ 本研究

乱流粘性係数(未知量)



(限られた)実験データ



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

34

## 乱流粘性係数推定 5/5

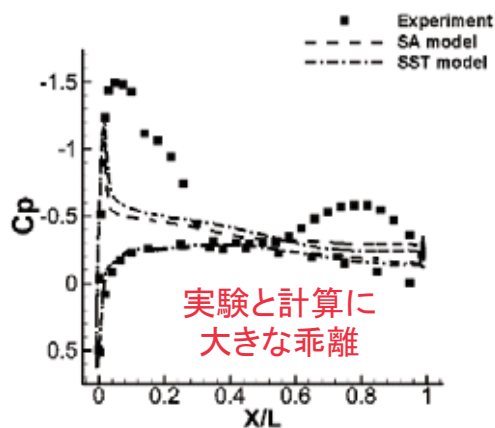


### → 解析対象

- ONERA M6翼型周りの遷音速流れ
- 流れ場条件
  - マッハ数: 0.8372
  - レイノルズ数: 11.72 million
  - 迎角: 6.06 deg.



ONERA M6 wing



翼端付近の圧力係数分布

### → 推定対象

- 乱流粘性係数
- 迎角
- マッハ数

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

35



### → 研究手法

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

36

## 研究手法 1/7



### ➔ データ同化システム

#### – システムモデル(CFD)

- FaST Aerodynamic Routines (FaSTAR)



- JAXA 数値解析技術研究グループで開発中
- 様々な数値計算手法の実装
- 世界最速レベルの高い計算速度(収束速度)
- ブラックボックス化されていない(注)オープンソースということではありません

#### – データ同化手法

- アンサンブルカルマンフィルタ EnKF (Evensen, 1994)
- アンサンブルカルマンスムーザ
- アンサンブル変換カルマンフィルタ ETKF (Bishop, 2001)
- アンサンブル変換カルマンスムーザ

## 研究手法 2/7



### ➔ データ同化の実施に向けて

#### 1. 状態空間モデルの定義

- システムモデル → FaSTAR
- 観測モデル → 翼表面圧力(159点)

#### 2. 初期アンサンブルメンバーの作成

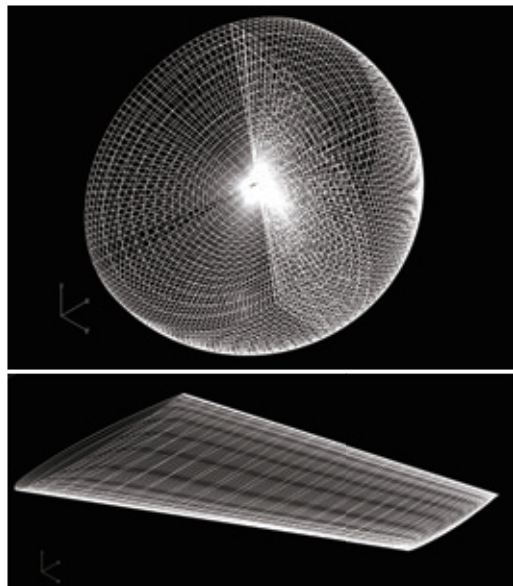
- アンサンブルメンバー数: 40

#### 3. データ同化の実施

## 研究手法 3/7



→ システムモデル → FaSTAR



計算格子(678,053点)

計算手法

CFL number	50
Inviscid flux	HLLEW
Reconstruction	GLSQ
Limiter function	Hishida's limiter
Viscous flux	Cell gradient
Time integration	GMRES

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

39

## 研究手法 4/7



→ 乱流粘性係数推定のための状態ベクトルの修正

修正前

修正後

格子番号 1  $\xi_1 = (\rho_1, u_1, v_1, p_1, \tilde{v}_1)$



$\xi_1 = (\rho_1, u_1, v_1, p_1, \mu_{t1})$

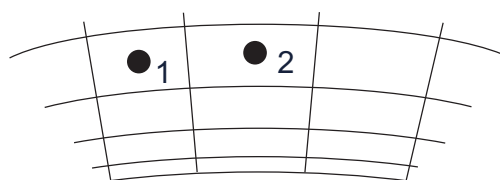
格子番号 2  $\xi_2 = (\rho_2, u_2, v_2, p_2, \tilde{v}_2)$



$\xi_2 = (\rho_2, u_2, v_2, p_2, \mu_{t2})$

⋮

⋮



境界

計算格子

$$\mathbf{x}_t = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \\ \vdots \\ \xi_M \end{pmatrix} \quad M: \text{格子点数}$$

$$\mathbf{X}_t = (\mathbf{x}_t^{(1)} \quad \mathbf{x}_t^{(2)} \quad \mathbf{x}_t^{(3)} \quad \dots \quad \mathbf{x}_t^{(N)})$$

$N$ : アンサンブルメンバー数

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

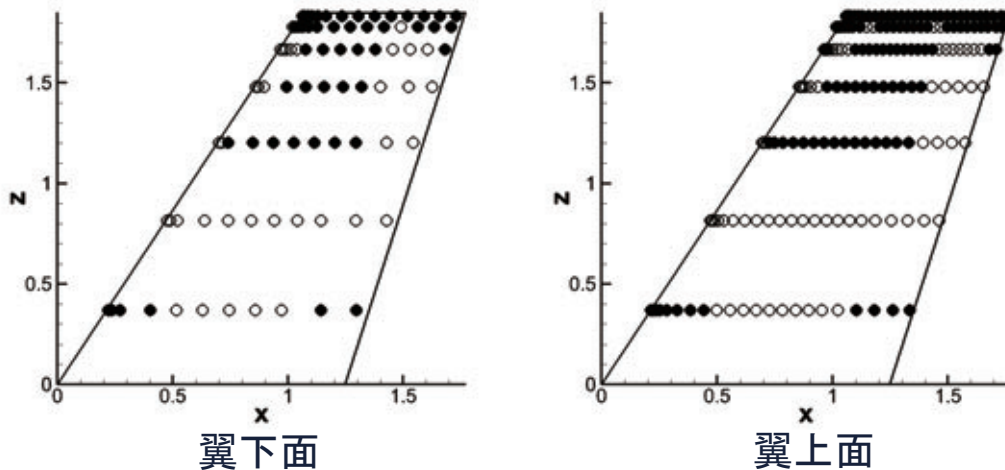
40



## 研究手法 5/7



→ 観測モデル → 実験値: 翼表面圧力(159点)



実験の計測箇所

○ 計測箇所(全て)      ● 計測箇所(データ同化用)

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

41

## 研究手法 6/7



→ 初期アンサンブルメンバーの作成

- SA乱流モデルを初期アンサンブルメンバーの乱流粘性係数を表現するために使用する
  - ・異なるカルマン定数を割り当てる
- 迎角、マッハ数も初期アンサンブルメンバーに異なる値を割り当てる

パラメータ	オリジナル値	抽出範囲
迎角(°)	6.06	5.57 – 6.55
マッハ数	0.8372	0.719 – 0.890
カルマン定数	0.41	0.213 – 0.605

割り当てる値は、Latin Hypercube Sampling法を使用して抽出

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

42

## 研究手法 7/7



### ➔ データ同化のプロセス

1. 初期アンサンブルメンバーの作成
2. データ同化の実施  
(予測ステップ)
  - CFD計算  
(フィルタリングステップ)
  - ETKF実施  
(後処理)
  - 負の乱流粘性係数に対する処理
3. データ同化を複数回繰り返す
4. アンサンブル平均値を使用してCFD計算を再実施

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

43



### ➔ 結果

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

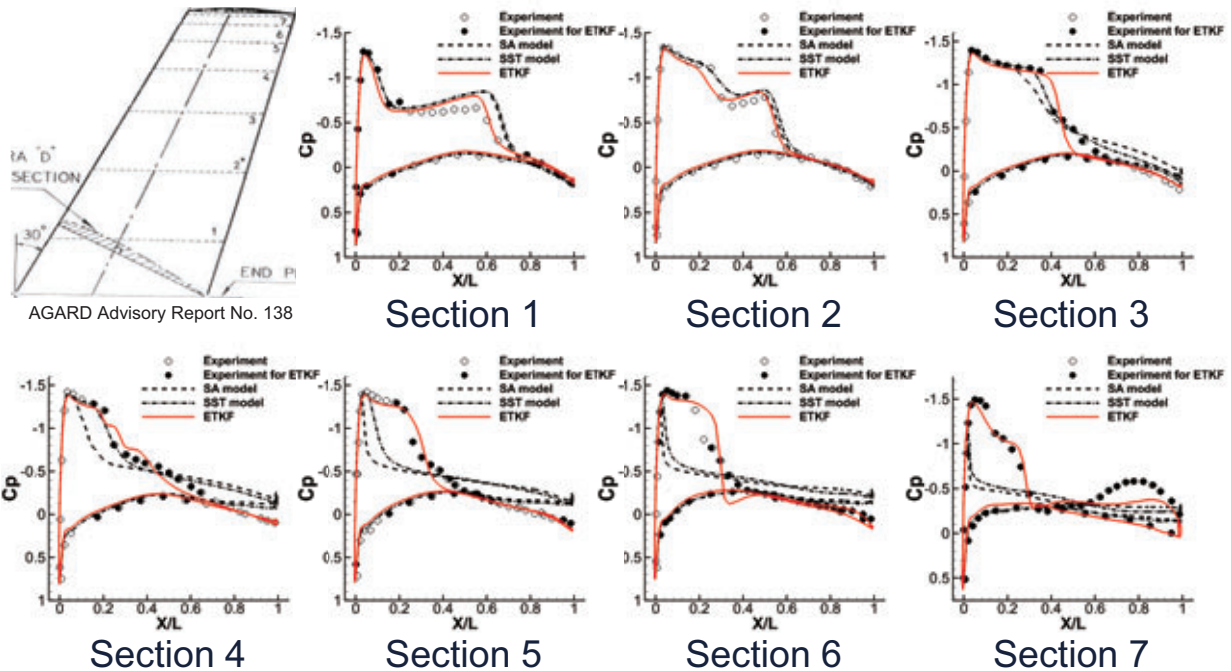
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

44

## 結果 1/5



### ➔ 圧力係数の比較



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

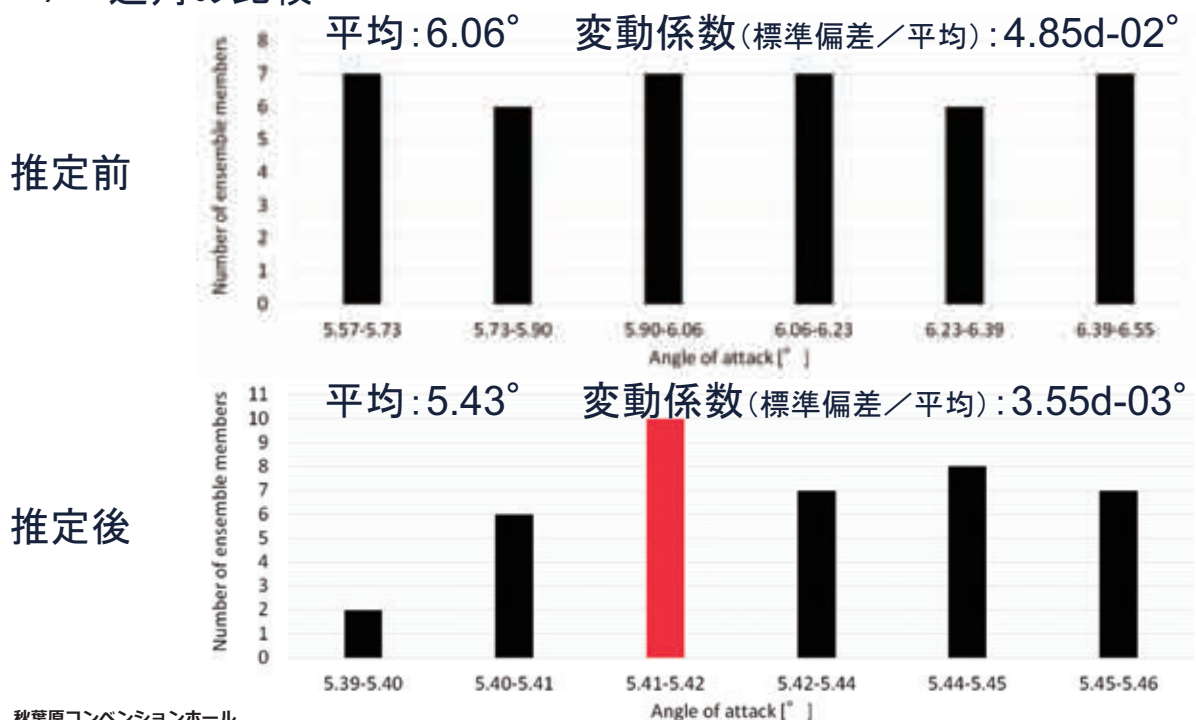
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

45

## 結果 2/5



### ➔ 迎角の比較



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

46

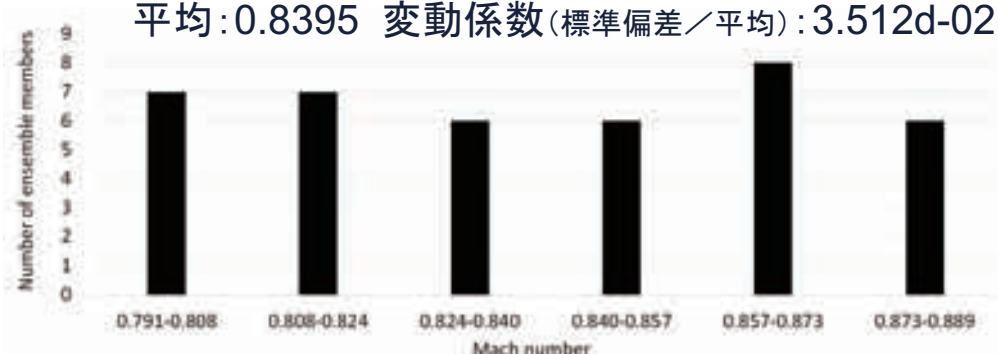
## 結果 3/5



### → マッハ数の比較

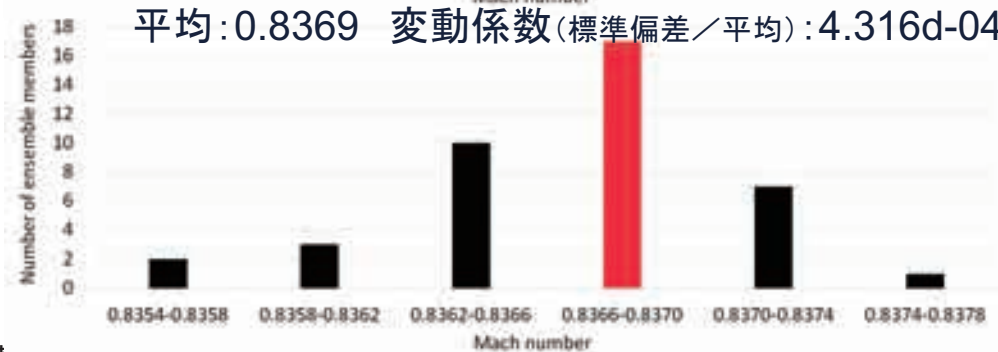
平均: 0.8395 変動係数 (標準偏差 / 平均): 3.512d-02

推定前



推定後

平均: 0.8369 変動係数 (標準偏差 / 平均): 4.316d-04



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

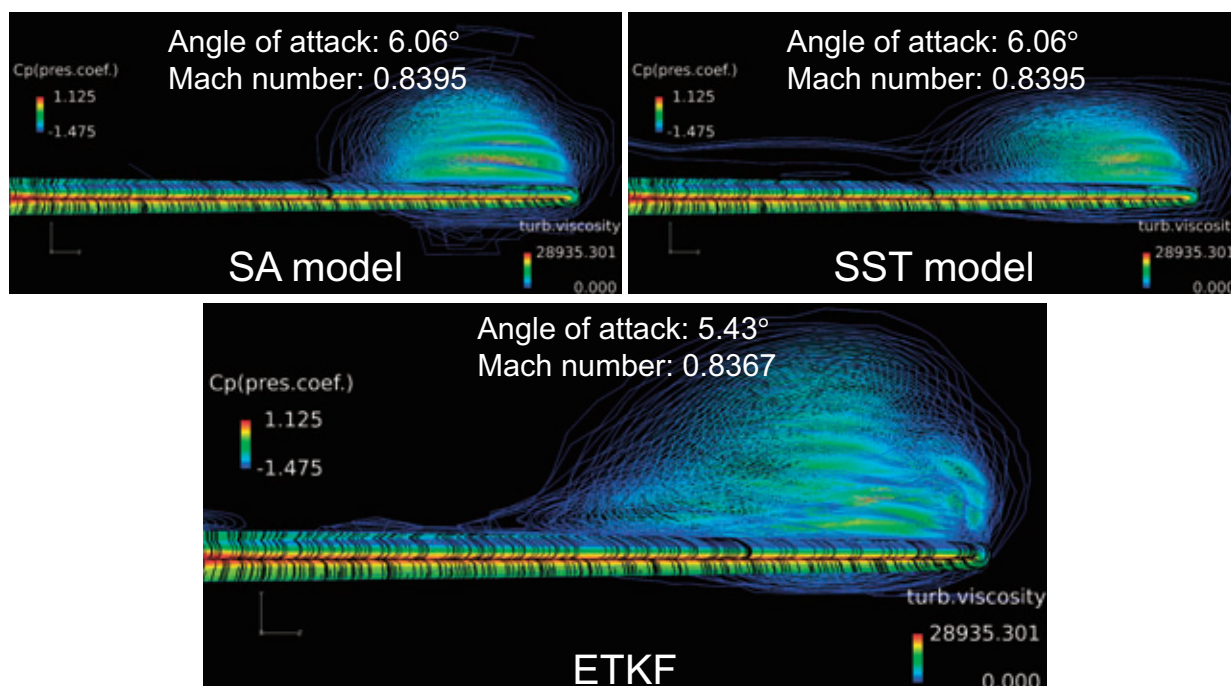
第7回EFD/CFD融合ワークショップ

47

## 結果 4/5



### → 乱流粘性係数の比較



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

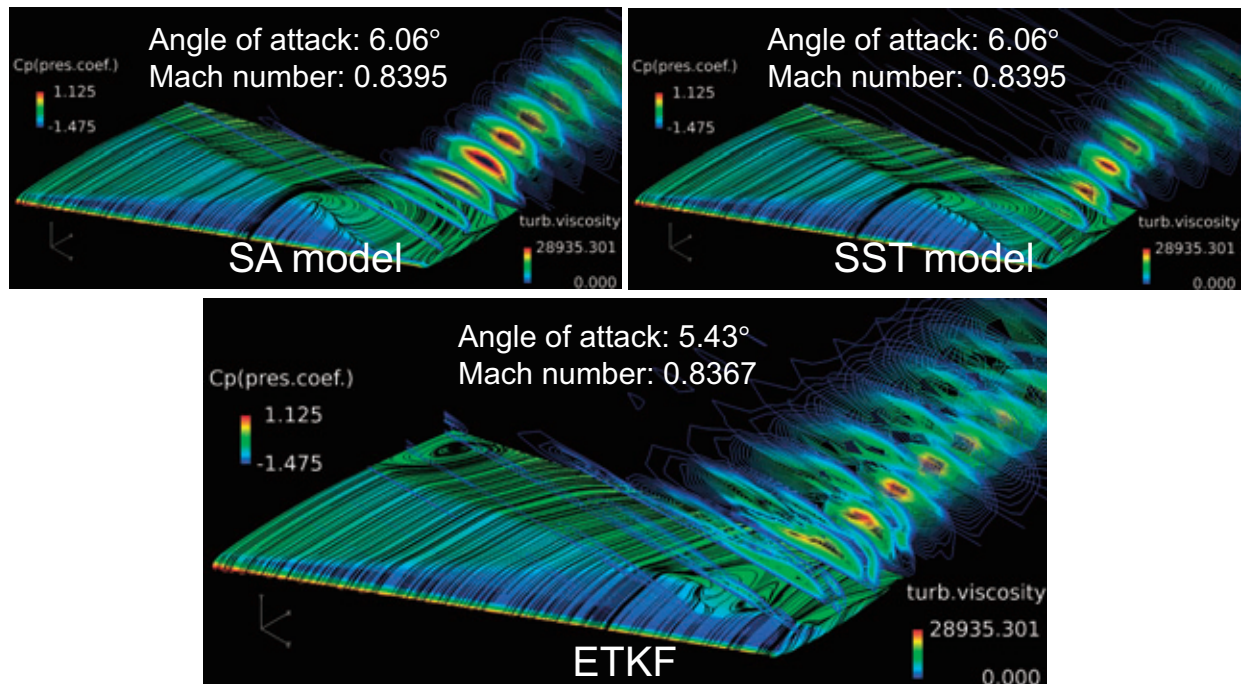
48



## 結果 5/5



### → 流れ場の比較



秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

49



### → 本研究のまとめ

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

50

## 本研究のまとめ



- ➔ データ同化技術を航空流体力学分野に応用
- ➔ 乱流粘性係数(未知量)の推定に利用
- ➔ 結果は、データ同化が航空流体力学分野に有効であることを示唆する
  - データ同化結果から実験へのフィードバック
    - 迎角補正:  $6.06^{\circ} \rightarrow 5.43^{\circ}$
    - マッハ数補正:  $0.8395 \rightarrow 0.8367$
  - データ同化結果からCFDへのフィードバック
    - 乱流モデル改善: 翼中央付近での乱流粘性係数の上昇



➔ 設計に活かすデータ同化研究会

## 設計に活かすデータ同化研究会 1/6



### ➤ データ同化の可能性

シミュレーションに必要な初期・境界値を推定する  
(初期値推定については天気予報で実用化)

シミュレーション内で経験的に与えられているパラメータの最適化

シミュレーションと観測を融合して新たな統合データセットを作成する。  
これは再解析データセットと呼ばれ、新しい科学的発見をもくろむ。

感度解析を行い観測システムの評価と改善策を効率的に行う。

従来シミュレーション科学において副次的問題とされてきた  
シミュレーションモデルの評価法に統一的視点を与える。

樋口(統数研)  
蒲地(気象研)  
他

どうしてデータ同化技術は流体力学分野で普及しないのか？

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

53

## 設計に活かすデータ同化研究会 2/6



### ➤ データ同化技術は流体力学分野で普及しているとはいえない

- 同じ流体を問題として扱う**気象海洋分野**ではデータ同化を利用する**目的が明確**「天気予報を高度化するために初期・境界場を高精度に推定する」

### ➤ データ同化技術に興味を持つ企業は(少なからず)存在する

- **設計プロセスを高度化したいというニーズは存在する**

### ➤ 導入するにあたって“キッカケ”となるような成果が存在しない

- **CFDも設計に利用されることで普及したはず**
- **個人レベルでの研究**を脱する必要性

### ➤ データ同化技術を設計プロセスに実際に利用していくためには何が必要か？どういう場面で必要とされているか？

- 実際にもものづくりを行う企業を巻き込んで**データ同化の利用を推進する**

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

54

## 設計に活かすデータ同化研究会 3/6



- ➔ 設置機関(予定): 日本機械学会 計算力学部門
- ➔ 活動期間(予定): 2015年4月～2017年3月
- ➔ 活動方針
  1. 設計にデータ同化を利用するのに必要な「**手順・知識**」を構築する
  2. 得られた技術は**積極的に外部に発信**し、データ同化技術を設計プロセスに活用していくための体系を構築する
  3. **企業側の参加**を募り、ニーズのより正確な把握を試みる
  4. 企業側の**設計プロセスの理解**を深め、データ同化の応用可能性を検討する
  5. **ベンチマーク問題**の実施も検討する
  6. データ同化の**正しい理解(できること、できないこと)**を目指し、勉強会、異分野データ同化研究者の講演、動向調査、チュートリアル等を実施する
  7. 設計でのデータ同化技術の応用のために(必要とあれば)**新たなデータ同化手法の開発**を検討する
  8. データ同化法の**新たな適用先**の掘り起こしを行う

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

55

## 設計に活かすデータ同化研究会 4/6



### ➔ 研究会の体制

- ・主査 大林茂(教授、東北大学流体科学研究所 所長)
- 加藤博司(研究員、JAXA航空本部)
- ・幹事 三坂孝志(助教、東北大学学際科学フロンティア研究所)

● **参加者は限定しない  
オープンな研究会**

#### ・委員(五十音順、敬称略)

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 秋田剛(准教授、千葉工業大学)         | 下山幸治(准教授、東北大学流体科学研究所)    |
| 石向桂一(招聘研究員、JAXA航空本部)    | 高木亮治(准教授、JAXA宇宙科学研究所)    |
| 磯島宣之(日立ハイテクノロジーズ)       | 中村和幸(准教授、明治大学)           |
| 伊藤聡(教授、統計数理研究所)         | 長尾大道(准教授、東京大学地震研究所)      |
| 上野玄太(准教授、統計数理研究所)       | 芳賀臣紀(宇宙航空研究員、JAXA研究開発本部) |
| 川村哲裕(本田技術研究所)           | 橋本敦(研究員、JAXA航空本部)        |
| 倉谷尚志(本田技術研究所)           | 早瀬敏幸(教授、東北大学流体科学研究所)     |
| 小西康郁(研究支援者、東北大学流体科学研究所) | 樋口知之(教授、統計数理研究所 所長)      |
| 佐藤孝磨(日立製作所)             | 船本健一(助教、東北大学流体科学研究所)     |
| 佐藤航(日立製作所)              | 米澤誠仁(本田技術研究所)            |

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

56

## 設計に活かすデータ同化研究会 5/6



- 設計プロセスにおけるデータ同化の可能性
  - 実験データ、計算データを比較する場面で“人”が試行錯誤的に行っている部分に方法論を提供
    - 設計プロセスへのメリット
      - 設計プロセスの自動化、効率化、高度化
      - 実験・計測システムの最適化
      - モデル高度化への指針を提供
  - 実験・計測技術と計算技術の統合による現象表現
    - 実験・計測側へのメリット
      - 実験・計測データの高度な補間
    - 計算側へのメリット
      - モデルで捉えきれていない現象を再現

**データ同化の普及のためには、これらの機能に関する  
具体的事例を作成し提示していくべき**

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

57

## 設計に活かすデータ同化研究会 6/6



- 研究会の最終ゴール
  - データ同化技術を設計プロセスの高度化に実際に活用し、インパクトのある成功事例を創出する
    - 設計プロセスにデータ同化が活かされていく“キッカケ”を作る

ご関心がある方は、以下までご連絡ください

加藤博司 [kato.hiroshi@jaxa.jp](mailto:kato.hiroshi@jaxa.jp)

三坂孝志 [misaka@edge.ifs.tohoku.ac.jp](mailto:misaka@edge.ifs.tohoku.ac.jp)

秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

58





秋葉原コンベンションホール  
2015年1月26日(月)

第7回EFD/CFD融合ワークショップ

59