

第47回流体力学講演会 / 第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム  
First Aerodynamics Prediction Challenge (APC1)

2015年 7月 3日



## 不連続ガレルキン法による NASA-CRMまわりの定常流解析

○浅田啓幸 澤田恵介(東北大学)

### 数値計算法

#### ■ 不連続ガレルキン法(DG法)

- 高次精度非構造格子法
- セル内部に分布

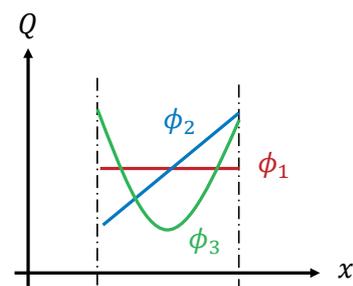
$$Q = Q_1\phi_1 + Q_2\phi_2 + Q_3\phi_3 + \dots$$

( $\phi_j$ : 基底関数、 $Q_j$ : 自由度)

- セル外部のステンシル必要なし
  - 優れたコンパクト性

#### ■ セル緩和型陰解法(CRISキーム)

- セル内部の情報のみで時間積分
  - DG法のコンパクト性とマッチ



## 参加した課題

### ■ 課題0: Verificationの課題

- ① 平板上の乱流境界層解析

} 空間2,3,4次  
精度

### ■ 課題1: NASA-CRM空力係数の予測

- ① 空力係数の予測(変形あり)
- ② 格子収束性(ただし  $\alpha = 2.94^\circ, 4.65^\circ$ )

} 空間4次精度

### ■ 課題2: NASA-CRM主翼後流の予測

- ① 後流速度分布の予測( $\alpha = 3.07^\circ$ のみ)

3

## 課題0 : verificationの課題

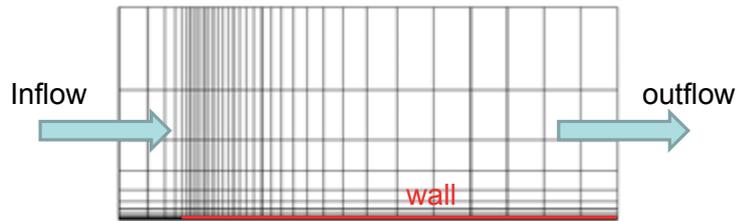
空間2,3,4次精度DG-CRISキーム

4

## 平板上の乱流境界層解析

### ■ 計算条件

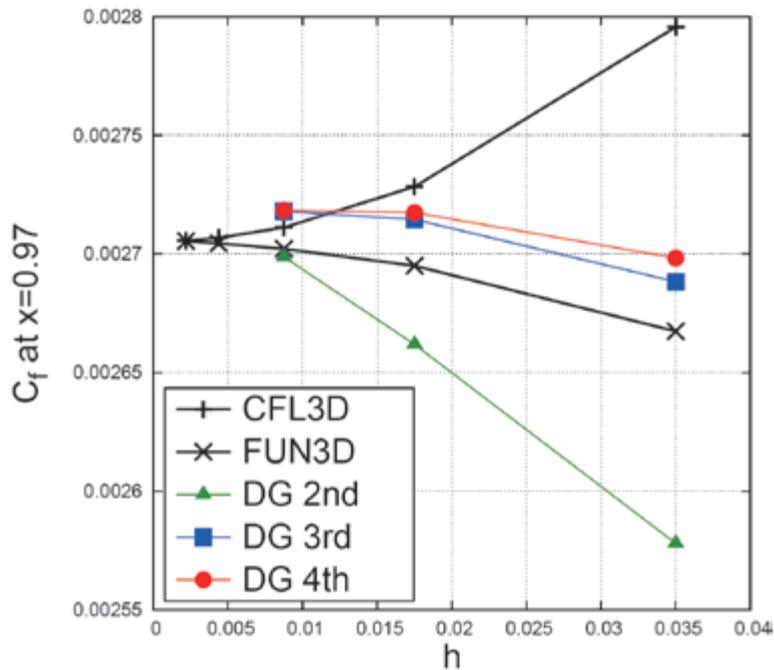
- $M_\infty = 0.2$
- $Re = 5.0 \times 10^6 (L = 1)$
- 乱流モデル: SAモデル (no-ft2)
- 計算格子: NASA提供の格子 (粗い格子から3つ)



	Mesh 1	Mesh 2	Mesh 3	Mesh 4	Mesh 5
総格子数	816	3,264	13,056	52,224	208,896
最小格子幅 (最小 $y^+$ )	1.56	0.78	0.39	0.195	0.0975

5

### $x = 0.97$ における $C_f$



境界条件の設定に問題ありの可能性が高い

6

## 課題1:NASA-CRM空力係数の予測

### 空間4次精度DG-CRISキーム

7

### 計算条件

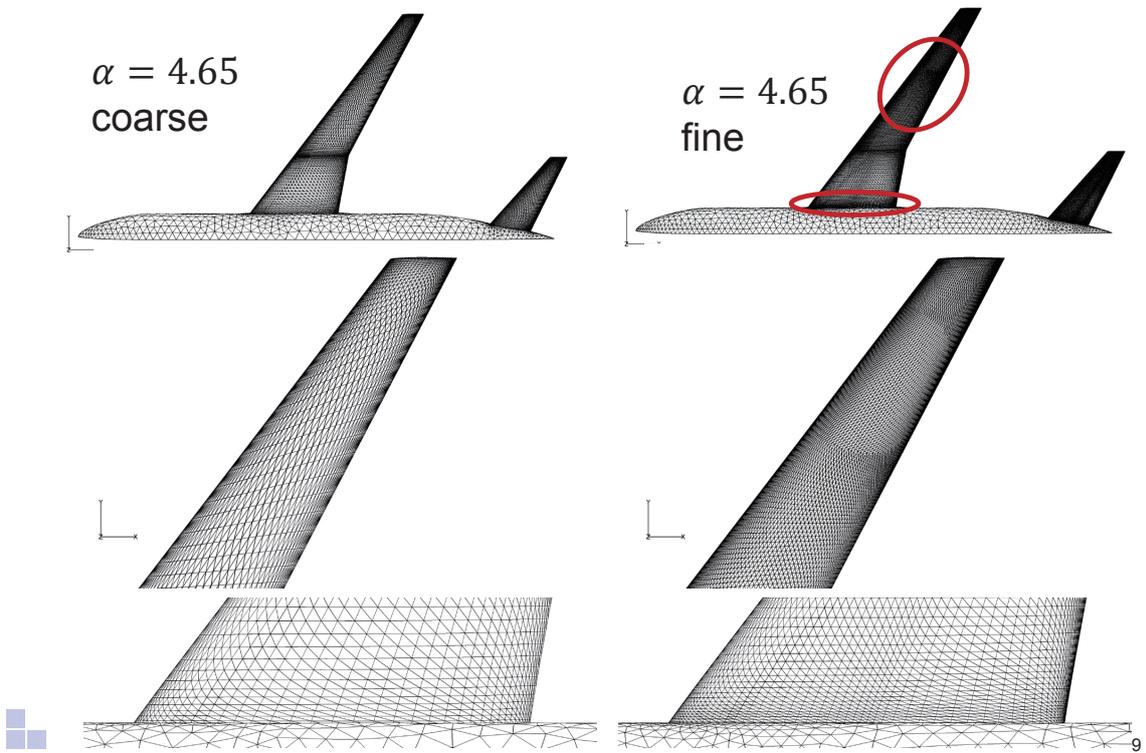
- $M_\infty = 0.847$ 、 $Re = 2.26 \times 10^6$  ( $L = 0.15131$ [m])
- $\alpha = -0.62, 2.94, 4.65$  [°]
- 乱流モデル: SAモデル (no-ft2)
- 計算格子: 自作格子

$\alpha$ [°] (coarse)	-0.62	2.94	4.65
総格子数	977,992	1,017,696	1,038,313
最小 $y^+$	2.0	2.0	2.0
層状格子成長率	1.25*	1.25*	1.25*
$\alpha$ [°] (fine)	-0.62	2.94	4.65
総格子数		2,759,946	2,691,912
最小 $y^+$		1.0	1.0
層状格子成長率		1.35	1.35

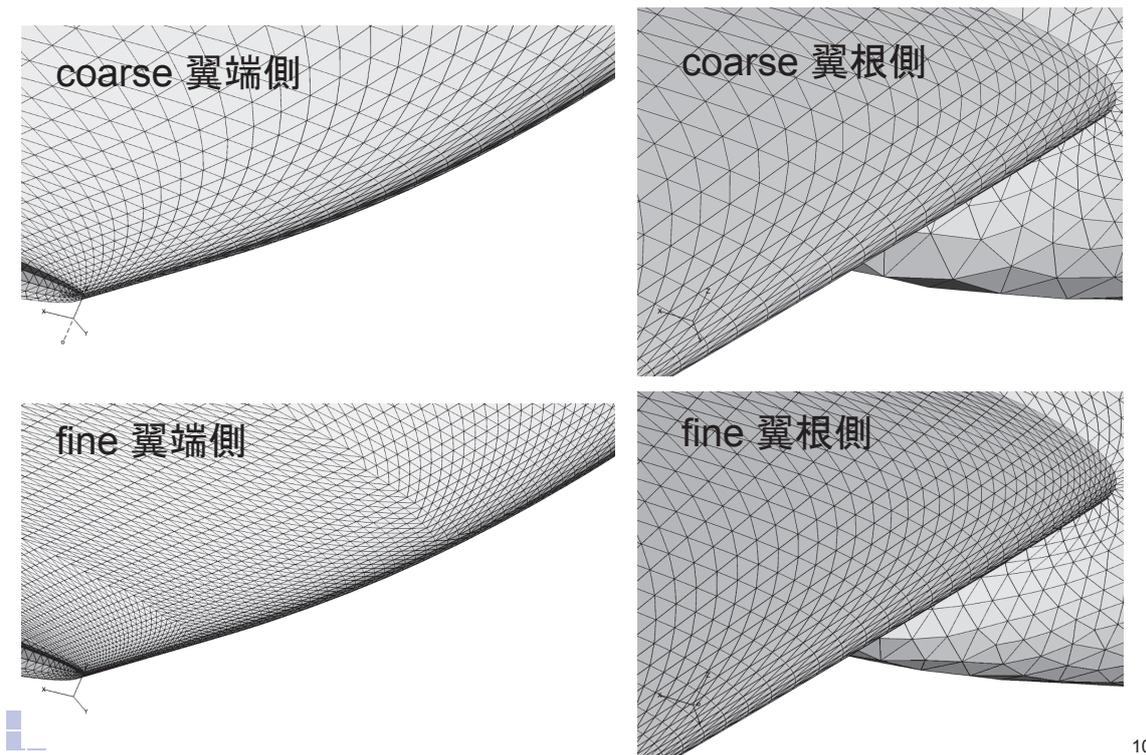
※ 成長率の成長率を1.005とした(最大成長率1.5)

8

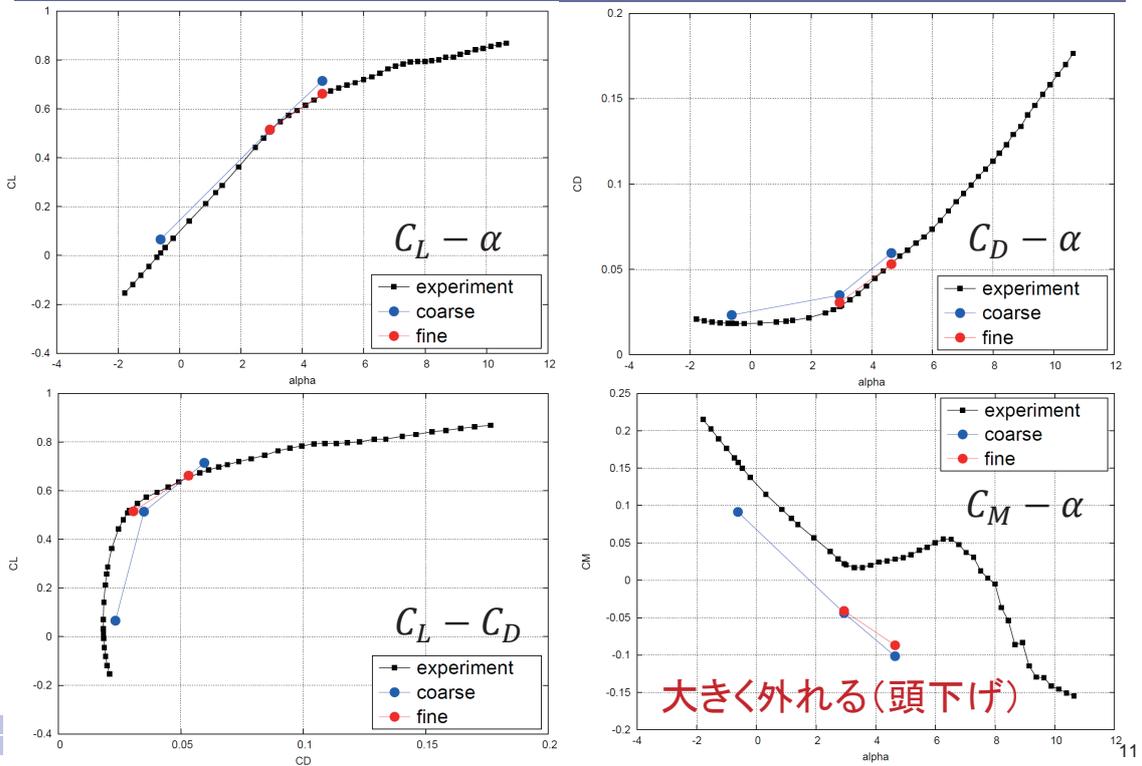
## 計算格子の様子



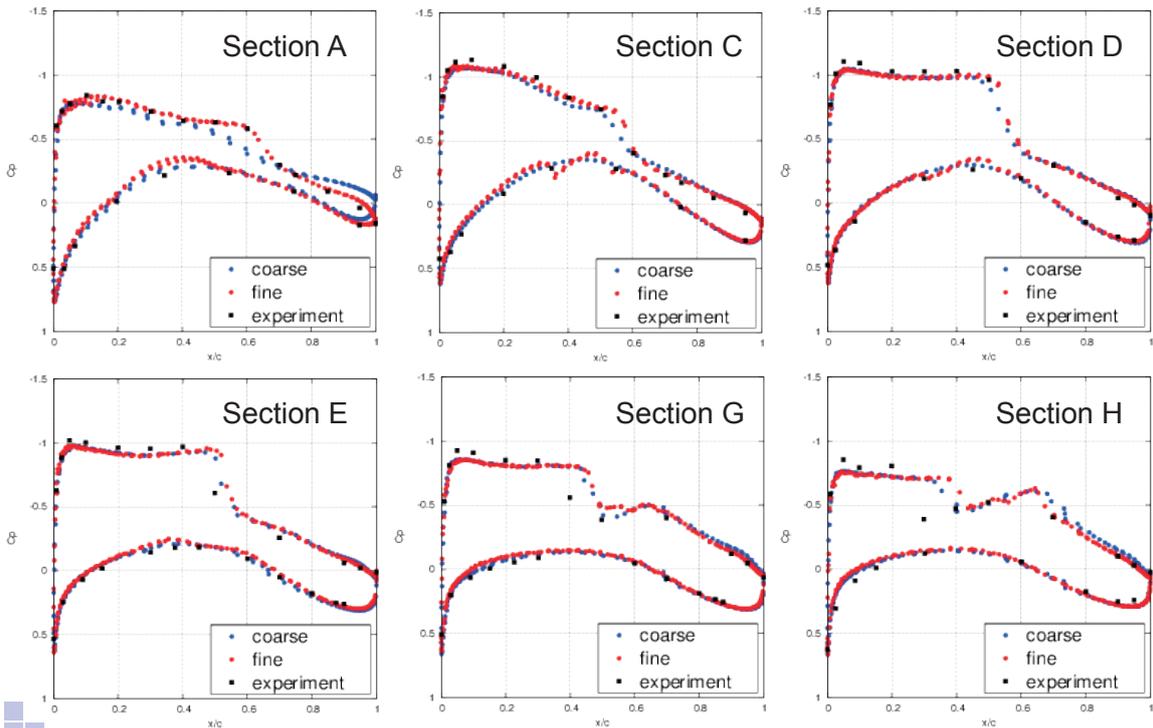
## 計算格子の様子(前縁)



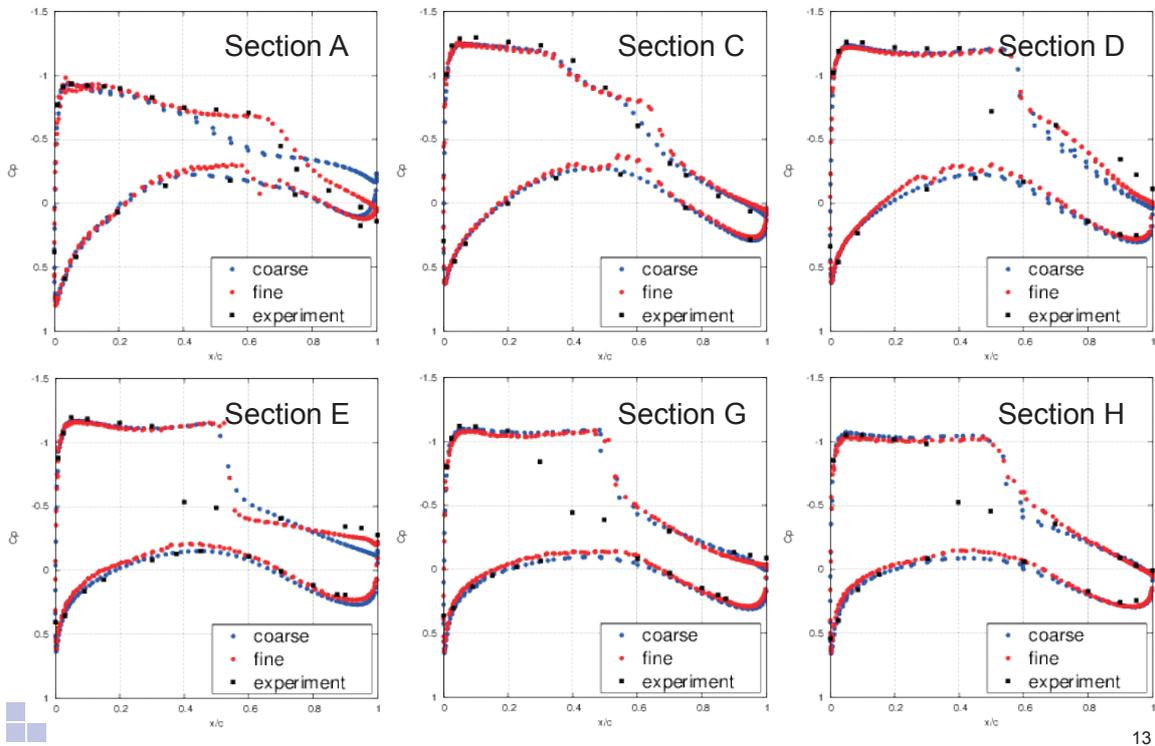
# 空力係数



# 主翼表面の $C_p$ 分布 ( $\alpha = 2.94^\circ$ )

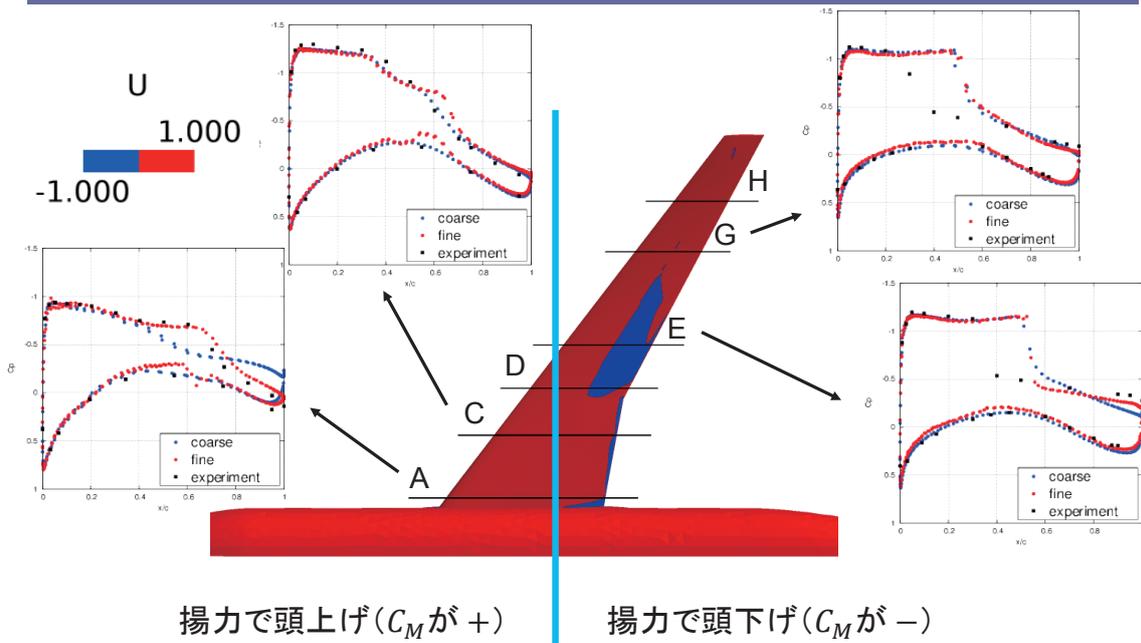


## 主翼表面の $C_p$ 分布 ( $\alpha = 4.65^\circ$ )



13

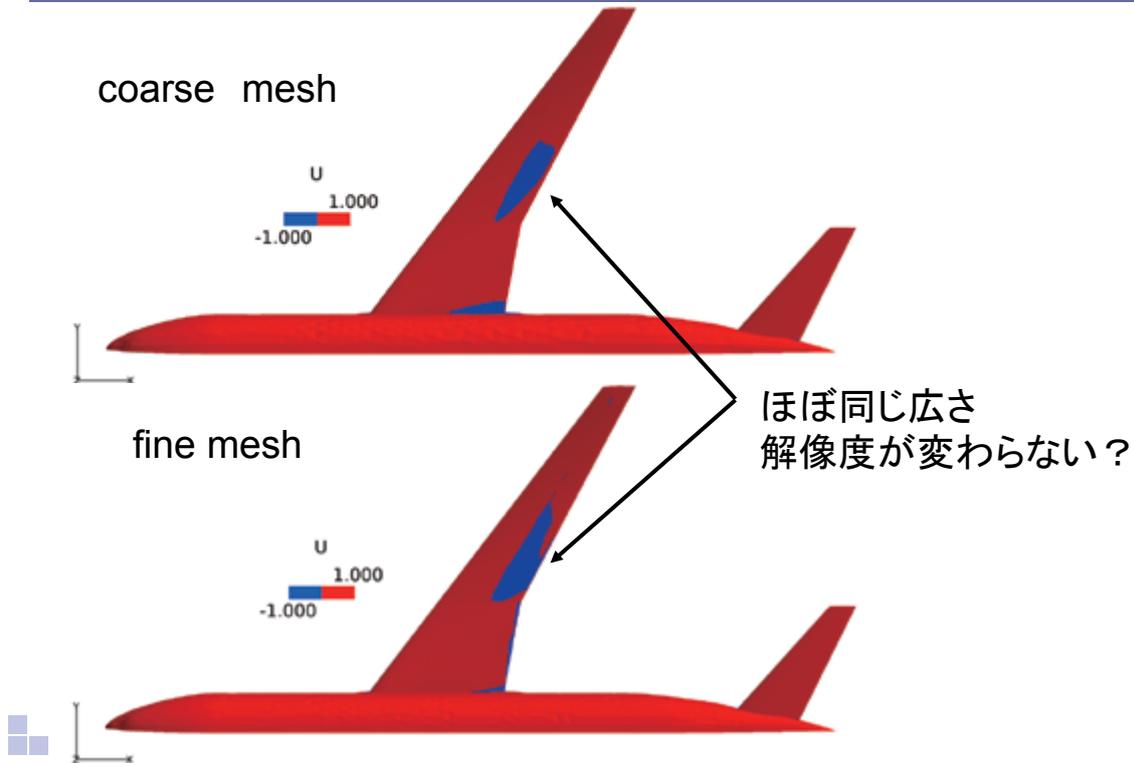
## $C_M$ が頭下げになる要因 ( $\alpha = 4.65^\circ$ )



翼根の剥離ではなく、衝撃波の後退が原因

14

## 剥離領域の違い( $\alpha = 4.65^\circ$ )



15

## まとめ

### ■ 課題0: verificationの課題

- $C_f$ の収束値は、少しずれはあるが概ね一致
- 空間精度向上で格子が粗くても格子収束

### ■ 課題1: NASA-CRM空力係数の予測

- $C_L$ と $C_D$ は細かい格子ならば良い一致
- $C_M$ は格子が細かくても実験値から大きく外れる
  - 翼根の剥離が原因ではない
  - 衝撃波が後方にずれることが原因
  - 衝撃波による剥離をしっかりと捉えられていない?

16

## まとめ

### ■ 課題2: NASA-CRM主翼後流の比較

- 計算はしたが、比較はデータ公開後

