
階層型直交格子と埋め込み境界法の組み合わせによる解析(その2)

東京大学大学院

○玉置義治, 原田基至, 今村太郎



2016/07/06 Aerodynamic Prediction Challenge II 金沢歌劇座

1

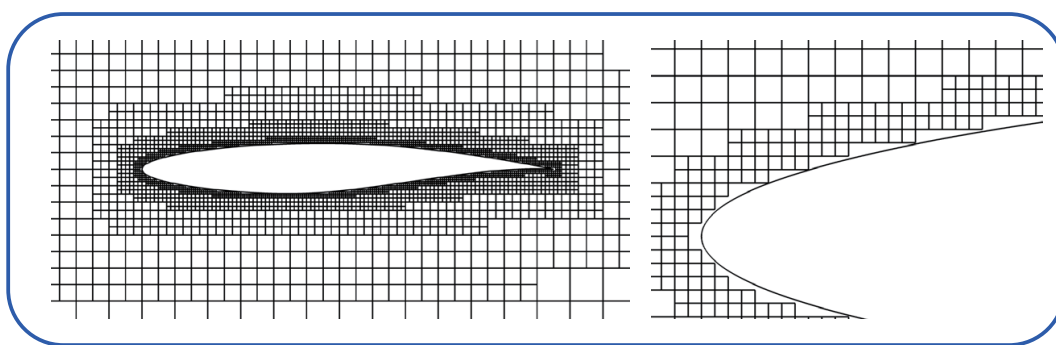
発表内容

- 解析の目的
- 前回からの改善点
- NASA-CRM周りの遷音速流れ解析(課題1-1)
 - ・ 計算手法・格子の設定
 - ・ 格子収束
 - ・ 迎角スweep (課題1-1)
- まとめ・今後の展望

2

解析の目的

- 直交格子における埋め込み境界法を用いた高レイノルズ数流れの解析手法を検証
 - ✓ 自動・高速な格子生成が可能
 - ✓ 格子の歪みがなく, 安定性に優れる
 - ✓ 乱流境界層の扱いに課題→ 壁関数を用いる
- 主に巡航状態($AoA=0.294[deg]$)における格子収束性について調査

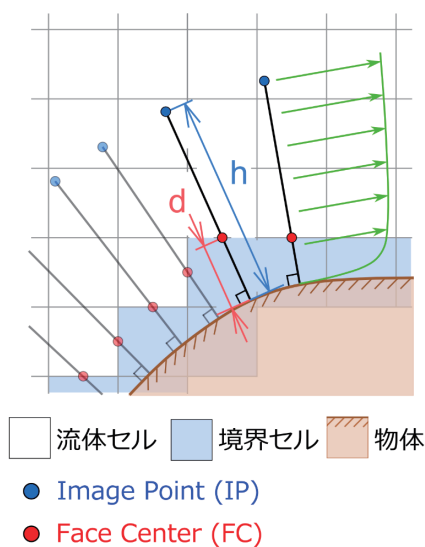
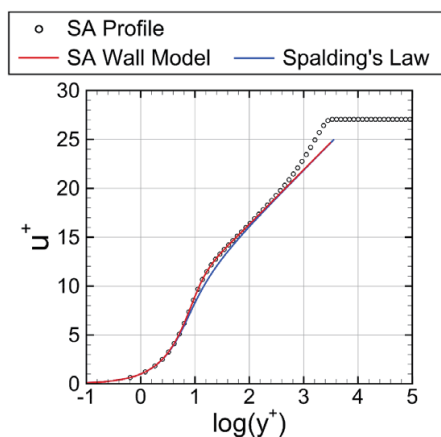


3

埋め込み境界法

点FCに与える境界条件を
埋め込み境界法により求める

- Image Point (IP)から境界条件を外挿
- 壁関数を用いて壁面摩擦を計算

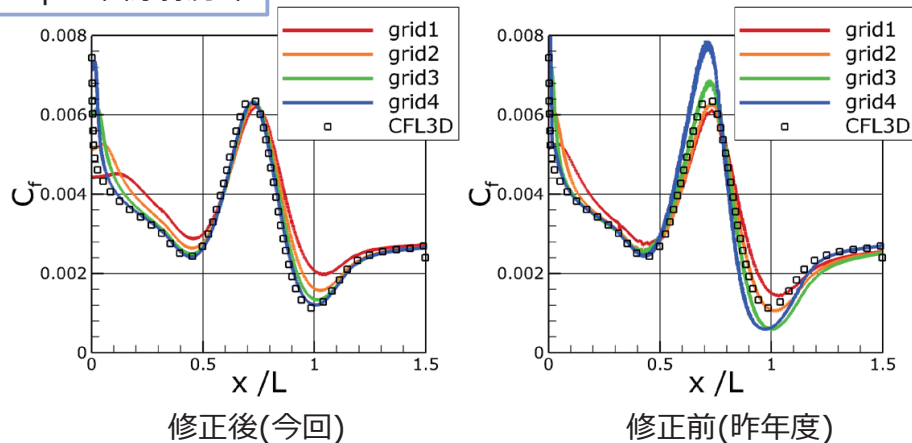


4

APC-Iからの改善点

- 対流境界条件の改善による振動の抑制・表面摩擦の高精度化(◆)
- MPI実装による計算の大規模化
- リミタ, カ積分, 可視化手法等の見直し

2次元Bump 壁面摩擦分布



(◆) 2B02 RANS解析における壁関数を用いた埋め込み境界法の検討

5

発表内容

- 解析の目的
- 前回からの改善点
- NASA-CRM周りの遷音速流れ解析(課題1-1)
 - ・ 計算手法・格子の設定
 - ・ 格子収束
 - ・ 迎角スイープ (課題1-1)
- まとめ・今後の展望

6

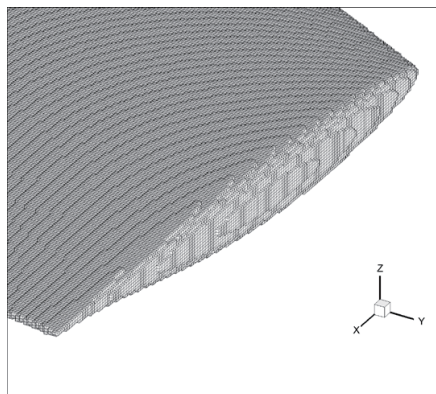
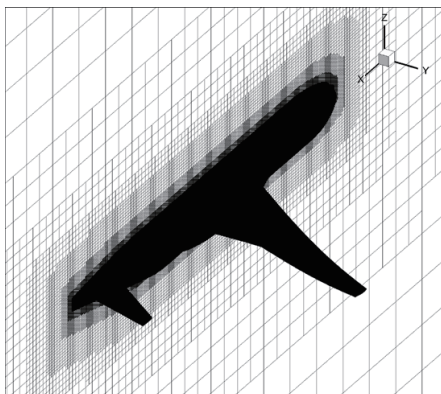
計算手法

	UTCart	FaSTAR (参照結果)
計算格子	セルベース八分木直交格子 (非構造)	HexaGrid Medium
支配方程式	Favre-Averaged Navier-Stokes方程式	
乱流モデル	SA-noft2	
非粘性流束	SLAU	
数値スキーム(対流項)	MUSCL	
数値スキーム(粘性項)	2次精度中心差分	
リミタ	Barth-Jespersen	Hishida
時間積分	LUSGS	

7

計算格子の設定 (UTCart)

格子	Coarse	Medium	Fine (計算中)
最小格子幅 (in.)	0.9768	0.4884	0.3254
平均空力翼弦/最小格子幅	282	565	848
総セル数	~800万	~3000万	~1億

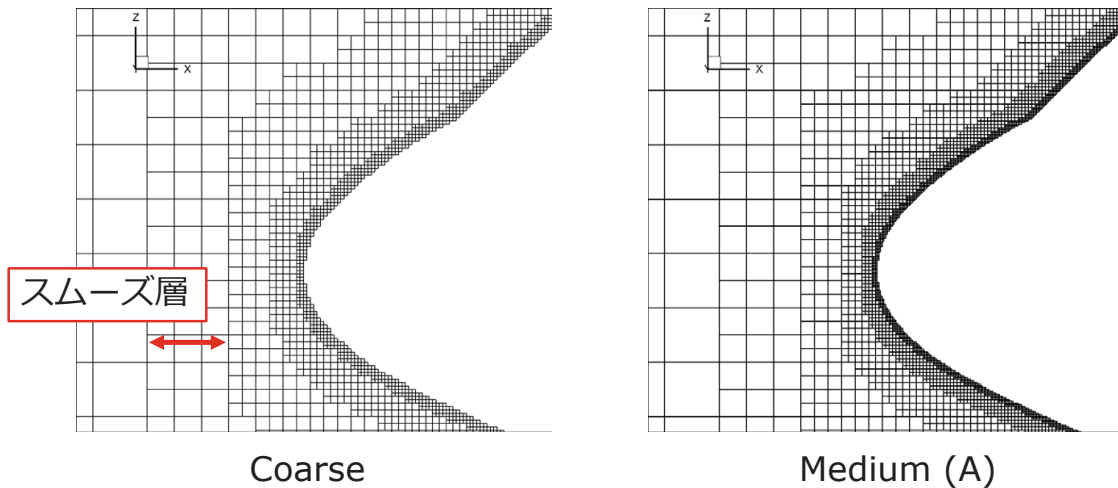


8

スムーズ層の設定

□ Medium (A)格子

- ・ スムーズ層: 3(一定, Coarseと同じ)
- ・ 近傍のみ細分化, 外側の格子はほぼ細分化されない
- ・ セル数30,997,565

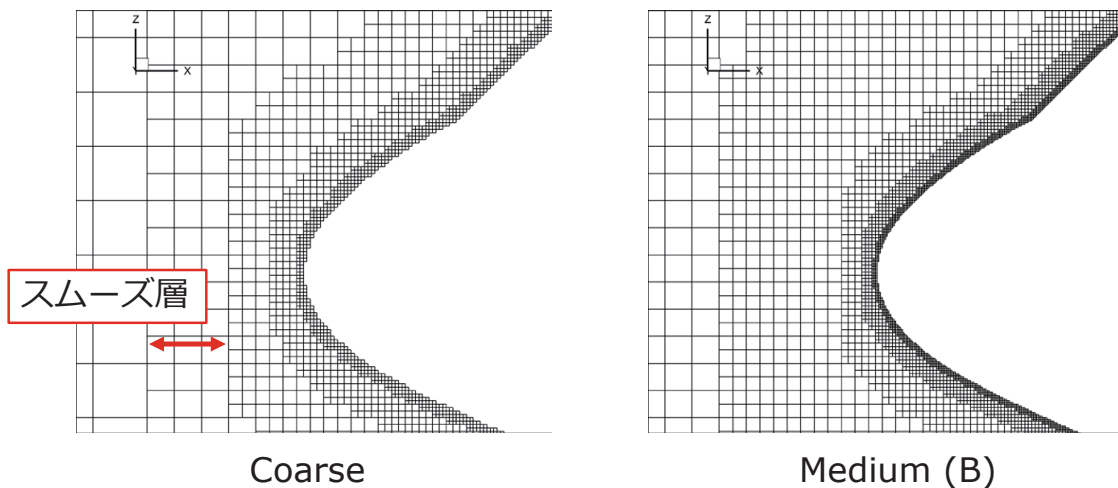


9

スムーズ層の設定

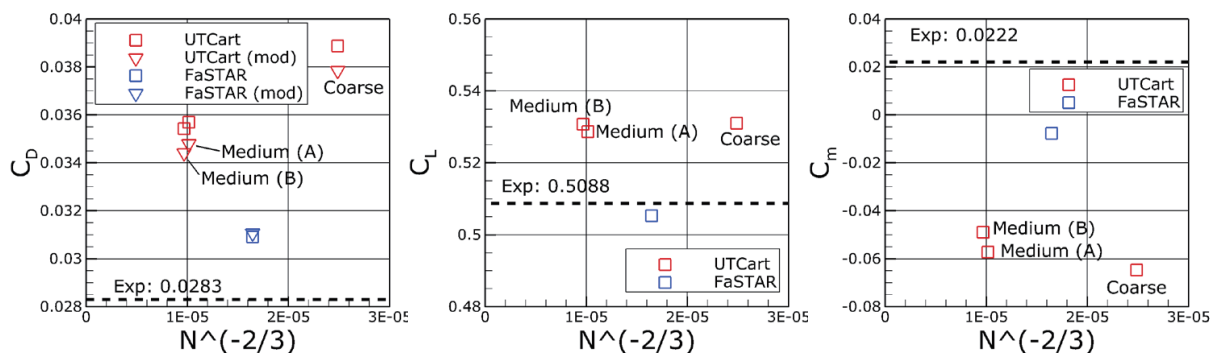
□ Medium (B)格子

- ・ スムーズ層: 3~8 (層ごとに可変)
- ・ 平均空力翼弦の2倍程度までを細分化
- ・ セル数33,262,395 (+7%)



10

格子収束



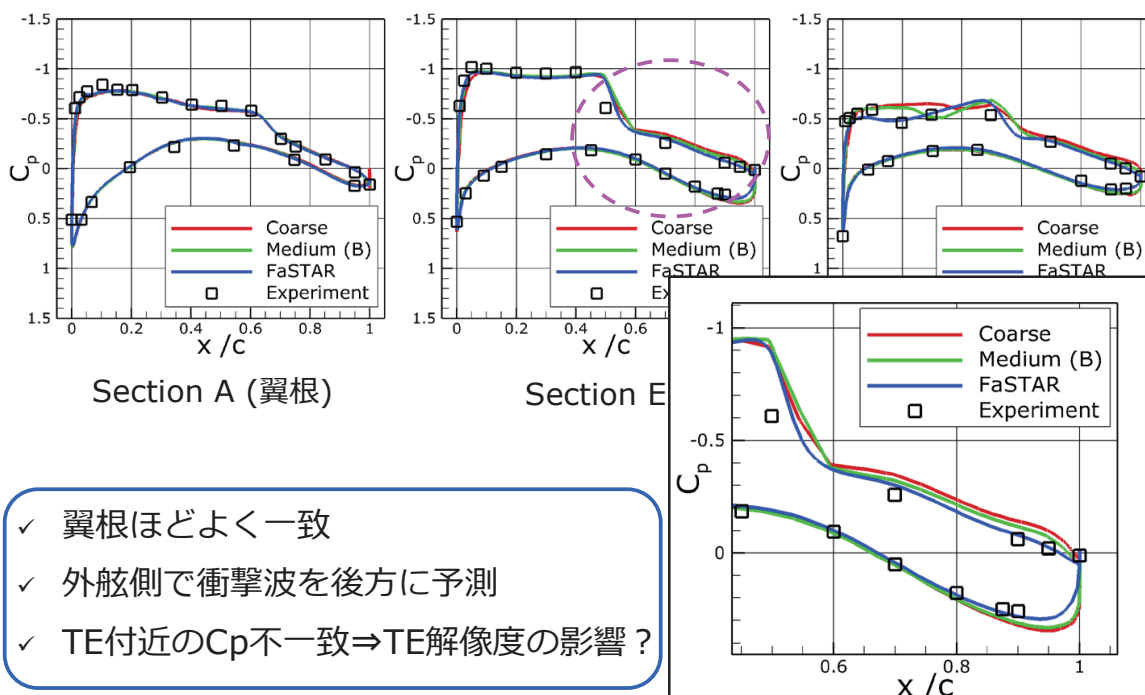
- ✓ 揚力がやや大きい
⇒誘導抵抗の誤差～15 [cnt]
⇒MediumとFaSTARの差～35 [cnt]
- ✓ Medium (A)⇒(B)で抵抗, モーメントが改善
- ✓ 壁面格子幅が抵抗に最も影響

$$\Delta C_D = \frac{1}{e\pi AR} (C_L^2 - C_{L,exp}^2)$$

$e = 0.8, \quad AR = 9$

11

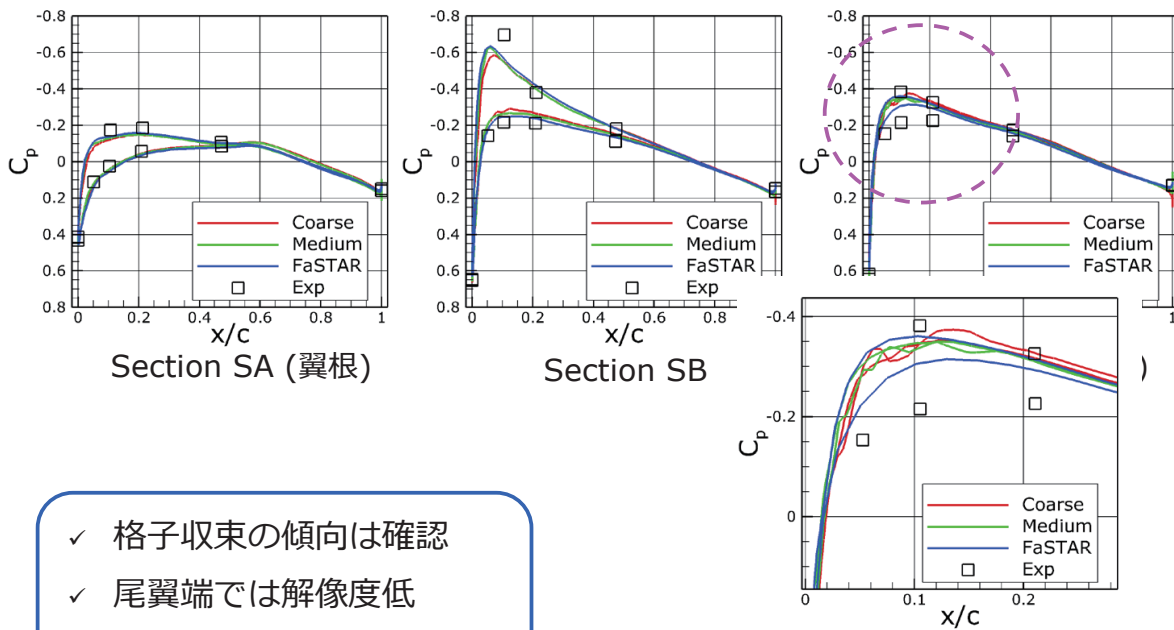
圧力係数(主翼)



- ✓ 翼根ほどよく一致
- ✓ 外舷側で衝撃波を後方に予測
- ✓ TE付近の C_p 不一致⇒TE解像度の影響?

12

圧力係数(尾翼)

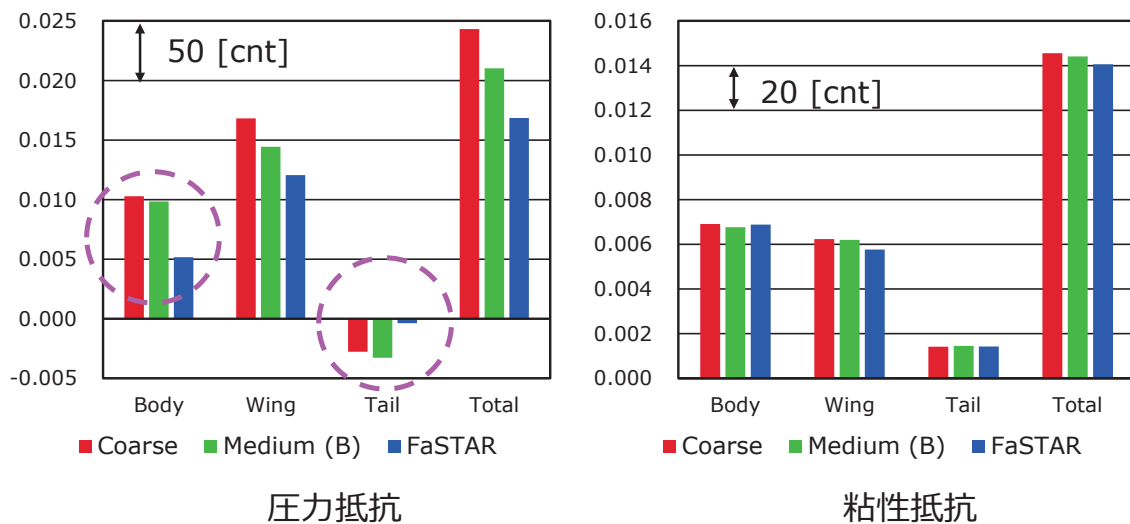


- ✓ 格子収束の傾向は確認
- ✓ 尾翼端では解像度低
- ✓ 実験と計算に差異

13

空力係数の内訳

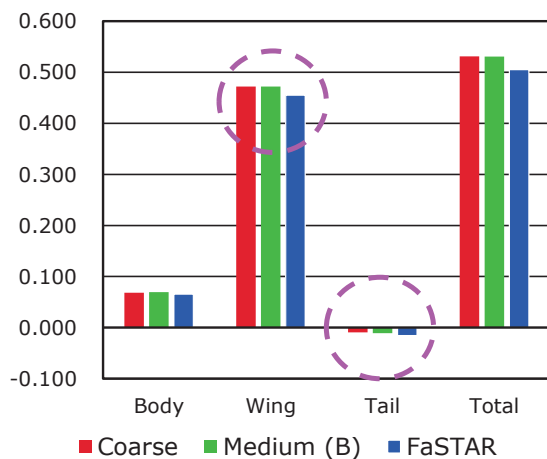
- 粘性抵抗の差異は合計5 [cnt]以内
- 胴体と尾翼における圧力抵抗の収束性に難(力積分方法の問題?)



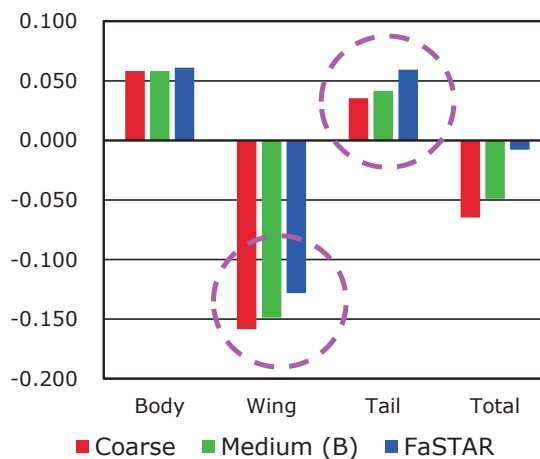
14

空力係数の内訳

- 主翼の衝撃波を後方に予測⇒揚力大, 頭下げ
- 尾翼のモーメント小



揚力



ピッチングモーメント

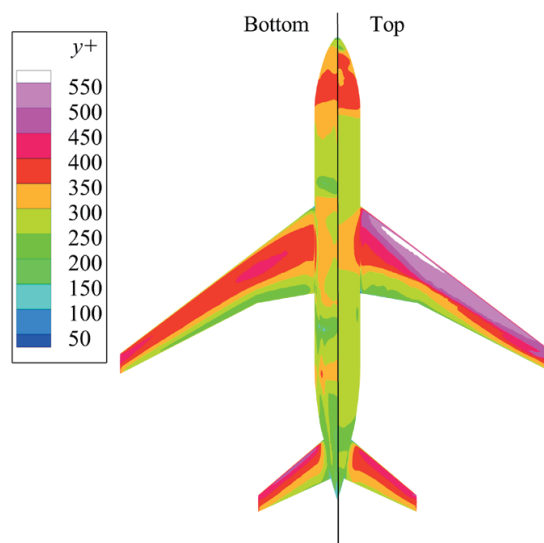
15

表面 y^+_{IP} 分布 (Medium格子)

- IPでの y^+ (※)

⇒翼上面で最大550, 胴体で300~400

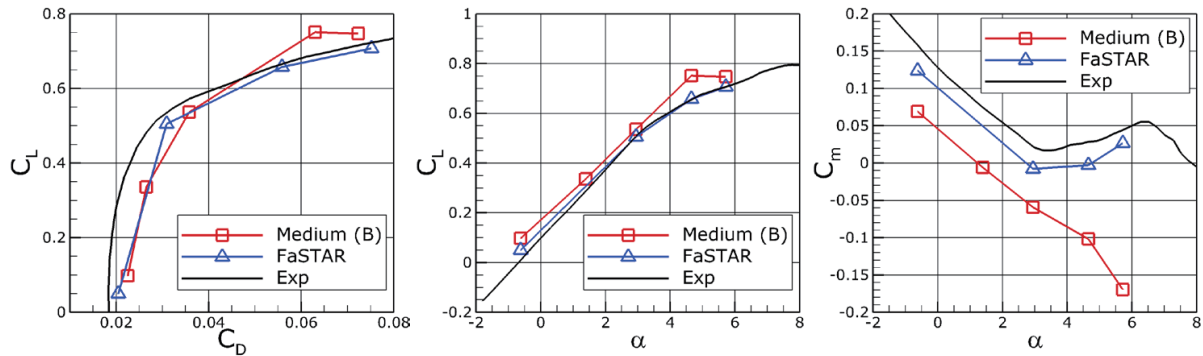
- ・ Corse格子 : 2倍
- ・ Fine格子 : 2/3倍



(※) $d_{IP} = 2\Delta x_{min}$

16

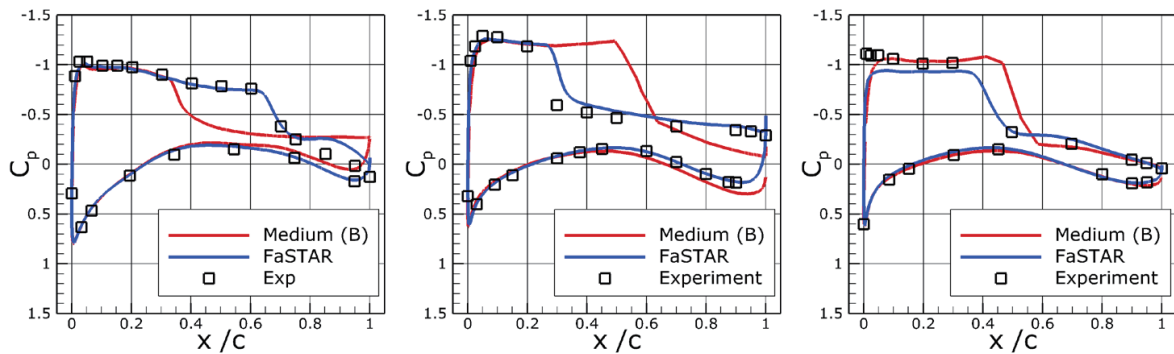
迎角スweep (課題1-1)



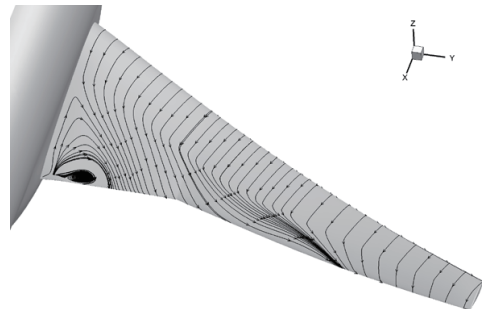
- ✓ 揚力がやや大きい
- ✓ 高迎角で差異大
- ✓ 低迎角でのモーメントの傾きは一致

17

圧力係数(主翼) – AoA 5.72 [deg]



- ✓ 翼根で大きく剥離
 - ✓ 衝撃波背後の剥離が生じない
- ⇒ QCRの利用, Fine格子での計算



18

まとめ

- 直交格子・埋め込み境界法を用いたNASA-CRM周りの遷音速空力予測を実施
- 巡航条件で格子収束の傾向を確認
 - ・ 粘性抵抗の予測は比較的高精度
 - ・ 物体から離れた領域の格子がモーメントに寄与
 - ・ Medium格子で圧力抵抗誤差~35[cnt]
 - ・ 翼端, TE, 尾翼で不一致が見られる⇒モーメントの差異
- 剥離の定量的予測は現状困難

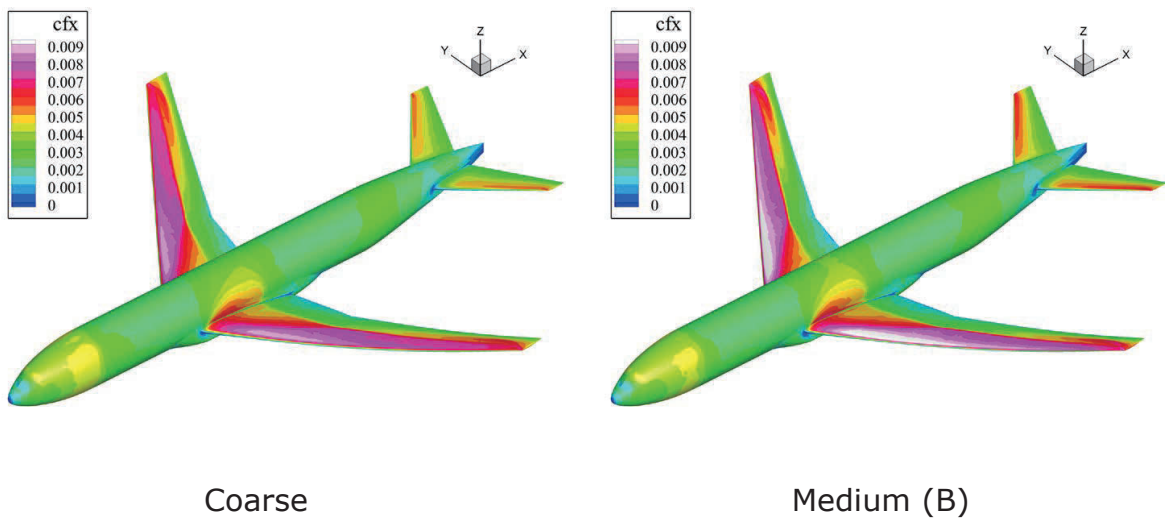
19

今後の改善点

- 非粘性流でのソルバーの検証(圧力抵抗の低減)
 - ・ 力積分方法
 - ・ LE/TE, 翼端等へのフィッティング
 - ・ 表面曲率の考慮, sharp-edgeの取り扱い
- 衝撃波位置, 剥離予測等の高精度化
 - ・ Fine格子での計算
 - ・ QCRの利用
 - ・ 壁関数+埋め込み境界法のさらなる高度化

20

表面摩擦 $\text{AoA}=2.94$ [deg]



圧力係数(主翼) - AoA=-0.62 [deg]

