

第48回流体力学講演会/第34回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
2016年7月6日(水)、金沢歌劇座



Summary of Second Aerodynamics Prediction Challenge (APC-II)

ワークショップ実行委員会

内容



- 参加者
- 課題1-1
- 課題1-2
- 課題1-3
- まとめ

提出データの統計



- 参加機関とデータ提出数(計16件)
 - 国立研究機関: JAXA(5)
 - 大学: 富山大(1)、東北大(1)、東北大 & 金沢工大(1)、東大(1)
 - 企業: 川崎重工(5)
 - ベンダー: Exa Corporation(1)、電通国際情報サービス(1)
- 格子の種類(課題1-1に使用されたもの)
 - HexaGridで作成した格子(HexaGrid): 2
 - MEGG3Dで作成した格子(MEGG3D): 4
 - UPACS用に作成した格子(UPACS): 3
 - 上記以外の自作格子(Custom): 6

} 提供格子
- 乱流モデル
 - RANS(SA系): 14
 - LES(VLES): 1

3

参加者リスト



| ID | 名前 | 所属 | コード名 | 格子 | 乱流モデル |
|----|----------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| A1 | 橋本 敦 | JAXA | FaSTAR | HexaGrid | SA-noft2-R-QCR2000 SA-DES(課題1-3のみ) |
| A2 | 橋本 敦 | JAXA | FaSTAR | MEGG3D | SA-noft2-R-QCR2000 |
| A3 | 橋本 敦 | JAXA | FaSTAR | UPACS | SA-noft2-R-QCR2000 |
| A4 | 橋本 敦 | JAXA | FaSTAR | Custom(BOXFUN) | SA-noft2-R-QCR2000 |
| B1 | 安田 英将 | 川崎重工業 | Cflow | HexaGrid | SA |
| B2 | 安田 英将 | 川崎重工業 | Cflow | MEGG3D | SA |
| B3 | 安田 英将 | 川崎重工業 | Cflow | UPACS | SA |
| B4 | 安田 英将 | 川崎重工業 | Cflow | Custom(PUFGG) | SA |
| B5 | 安田 英将 | 川崎重工業 | Cflow | Custom(Cflow) | SA |
| C | 伊藤 靖 | JAXA | TAS | MEGG3D | SA-noft2-R-QCR2000(Crot=1) |
| D | 小林 大志 | 富山大学 | FaSTAR | Custom(HexaGrid) | SA |
| E | 佐々木 大輔 三坂孝志, 牧野真弥 | 金沢工業大学 東北大 | BCM-TAS カップリング | MEGG3D | SA |
| F | 澤木 悠太 | 東北大 | SV2nd | UPACS | SA-noft2 |
| G | 玉置 義治 | 東京大学 | IB-Cartesian | Custom(Cartesian) | SA-noft2 |
| H | Andre Ribeiro | Exa Corporation | PowerFLOW | Custom(LBM) | VLES |

4

計算手法



| ID | コード名 | 離散化手法 | セル中心/節点 | 非粘性流束 | 粘性流束 | 時間積分 |
|----|-------------------|---------|------------------------|----------------------|-----------|--------------|
| A1 | FaSTAR | 有限体積法 | セル中心 | HLLEW + U-MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | LU-SGS |
| A2 | FaSTAR | 有限体積法 | セル節点 | HLLEW + U-MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | LU-SGS |
| A3 | FaSTAR | 有限体積法 | セル中心 | HLLEW + U-MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | LU-SGS |
| A4 | FaSTAR | 有限体積法 | セル中心 | HLLEW + U-MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | LU-SGS |
| B1 | Cflow | 有限体積法 | セル中心 | SLAU + MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | MFSGS |
| B2 | Cflow | 有限体積法 | セル中心 | SLAU + MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | MFSGS |
| B3 | Cflow | 有限体積法 | セル中心 | SLAU + MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | MFSGS |
| B4 | Cflow | 有限体積法 | セル中心 | SLAU + MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | MFSGS |
| B5 | Cflow | 有限体積法 | セル中心 | SLAU + MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | MFSGS |
| C | TAS | 有限体積法 | セル節点 | HLLEW + U-MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | LU-SGS |
| D | FaSTAR | 有限体積法 | セル中心 | HLLEW + U-MUSCL(2nd) | 中心差分(2nd) | LU-SGS |
| E | BCM-TAS カップリング | 有限体積法 | セル節点(TAS) セル中心(BCM) | 2nd(TAS) 3rd(BCM) | 2nd(TAS) | LU-SGS |
| F | SV2nd | 2次精度SV法 | セル中心 | SLAU(2nd) | BR2(2nd) | BDF2(LU-SGS) |
| G | IB-Cartesian | 有限体積法 | セル中心 | 2nd | 2nd | LU-SGS |
| H | PowerFLOW | LBM | セル中心 | - | - | Explicit |

5

計算に関する情報(課題1-1)



| ID | コード名 | 計算機のスペック | コンパイラ | コア数 | 計算時間 | メモリ |
|----|-------------------|---|-----------------|--------|--------|---------|
| A1 | FaSTAR | SPARC64XIfx(2GHz)※1 | Fujitsu Fortran | 96コア | 5h30m | 27GB |
| A2 | FaSTAR | SPARC64XIfx(2GHz)※1 | Fujitsu Fortran | 96コア | 9h | 25GB |
| A3 | FaSTAR | SPARC64XIfx(2GHz)※1 | Fujitsu Fortran | 96コア | 1h | 21GB |
| A4 | FaSTAR | SPARC64XIfx(2GHz)※1 | Fujitsu Fortran | 96コア | 30h | 26GB |
| B1 | Cflow | Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2670 0 @ 2.60GHz | Intel Fortran | 44コア | 5h | 20GB |
| B2 | Cflow | Intel(R) Xeon(R) CPU X5660 @ 2.80GHz | Intel Fortran | 44コア | 16h45m | 44GB |
| B3 | Cflow | Intel(R) Xeon(R) CPU X5660 @ 2.80GHz | Intel Fortran | 44コア | 3h40m | 13GB |
| B4 | Cflow | Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 v2 @ 2.60GHz | Intel Fortran | 32コア | 1h15m | 9.2GB |
| B5 | Cflow | Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2670 0 @ 2.60GHz | Intel Fortran | 128コア | 1h45m | 29GB |
| C | TAS | SPARC64XIfx(2GHz)※1 | Fujitsu Fortran | 1152コア | 1h10m | 268.5GB |
| D | FaSTAR | intel Xeon E5-2687W 3.1GHz | Intel Fortran | 16コア | 30h | 19.3GB |
| E | BCM-TAS カップリング | SGI UV2000 | Intel Fortran | 160コア | 168h | 18GB |
| F | SV2nd | Intel Xeon E5-4650v2※2 | Intel Fortran | 512コア | 150h | 600GB |
| G | IB-Cartesian | Xeon E5-2643 v3 @3.40GHz × 2 | Intel Fortran | 12コア | 48h | 60GB |
| H | PowerFLOW | Xeon E5-2680 v2 | Intel | 340コア | 38h | 174GB |

6

参加課題



| 提出内容 | 空力係数(全体) | | | Cp分布(主翼) | | | 空力係数(個別) | | 断面CD,CL,Cm | | Cp分布(主翼以外) | |
|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------------|------|------------|------|
| 課題 | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-1 | 1-2 | 1-1 | 1-2 | 1-1 | 1-2 |
| A1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| A2 | ○ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| A3 | ○ | | | ○ | | | ○ | | ○ | | ○ | |
| A4 | ○ | | | ○ | | | ○ | | ○ | | ○ | |
| B1 | ○ | ○ | | ○ | ○ | | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| B2 | ○ | ○ | | ○ | ○ | | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| B3 | ○ | | | ○ | | | △ | | ○ | | ○ | |
| B4 | ○ | ○ | | ○ | ○ | | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| B5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| C | ○ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| D | ○ | | | ○ | | | ○ | | ○ | | ○ | |
| E | ○ | | | ○ | | | | | | | | |
| F | ○ | | | ○ | | | ○ | | ○ | | ○ | |
| G | △ | | | △ | | | △ | | | | | |
| H | △ | △ | ○ | △ | △ | ○ | △ | △ | | | △ | △ |
| 計 | 15(13) | 8(7) | 3(3) | 15(13) | 8(7) | 3(3) | 14(7) | 8(3) | 12(12) | 7(7) | 13(12) | 8(7) |

○: 全て提出 △: 一部のみ提出 空白: 不参加または未提出

7

APC-IIで取り組む主な課題



- CLの勾配が合わない
→ 低迎角の迎角の刻みをAPC-Iから3点増やして比較
- Cmのばらつきが大きい
→ コンポーネント別の空力係数を集計して、原因を究明
→ 尾翼のCp分布を実験と比較
→ 尾翼のCplは支持の影響が大きいため、支持付きの計算も実施
- 非定常解析の検証データが無い
→ JAXAで計測した風洞試験データを提供
→ それに伴い、APC-Iから条件(迎角、Re数など)を変更

8

課題1-1(必須):迎角スweep(支持無)



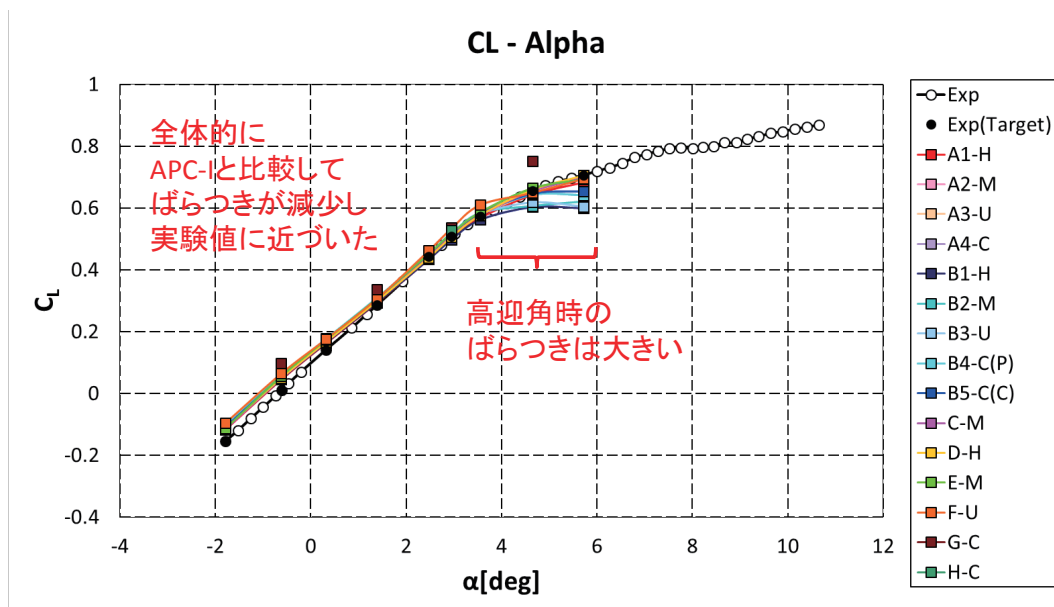
- 形状: NASA-CRM(水平尾翼 0°)、変形有
- 格子: Medium(1000万)相当
- 条件: $M = 0.847$, $Re_c = 2.26 \times 10^6$, $T_{ref} = 284K$
- 迎角: $-1.79deg$, $-0.62deg$, $0.32deg$, $1.39deg$, $2.47deg$, $2.94deg$, $3.55deg$, $4.65deg$, $5.72deg$
- 提出データ:
 - 空力係数(C_D, C_L, C_m)
 - 圧力・摩擦の寄与に分解
 - コンポーネント別(主翼・胴体・尾翼の3つ)に分解
 - C_D, C_L, C_m のスパン方向分布
 - 表面 C_p 分布
 - 主翼・尾翼・後胴

9

課題1-1:迎角スweep(支持無)



空力係数を前回(APC-I)と比較する

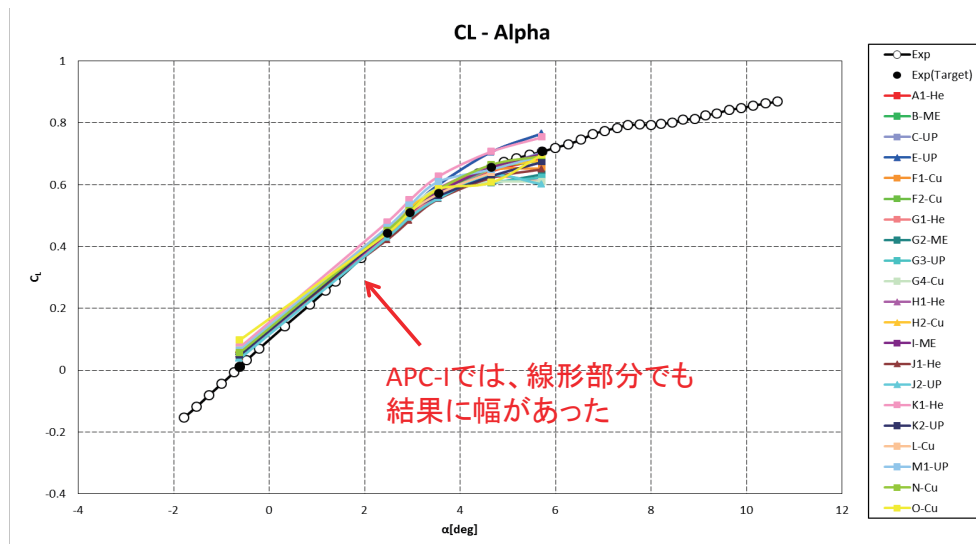


10

(参考)APC-Iの迎角スweep



空力係数を前回 (APC-I) と比較する

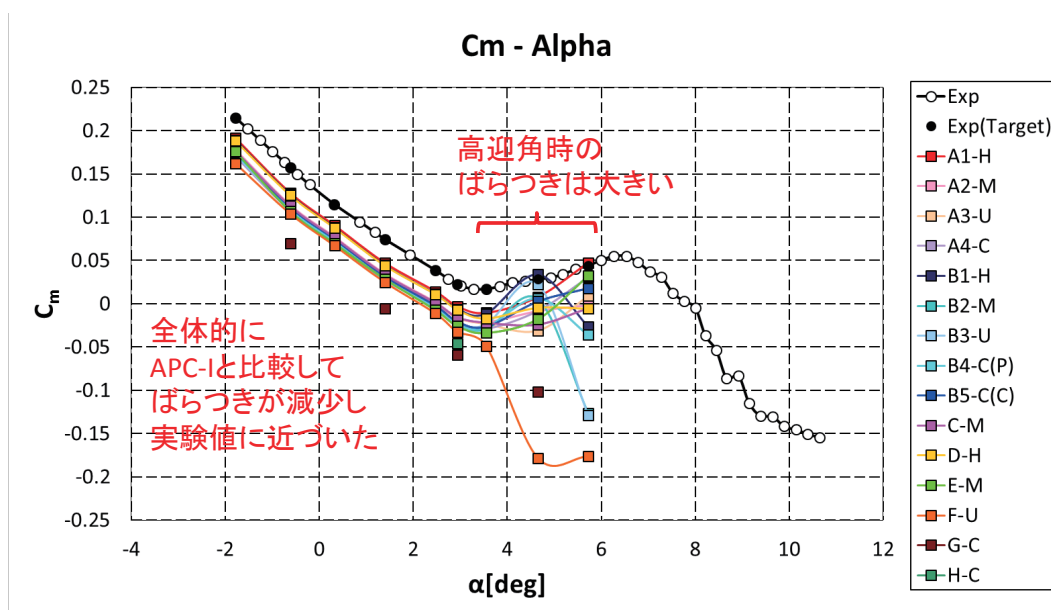


11

課題1-1: 迎角スweep (支持無)



空力係数を前回 (APC-I) と比較する



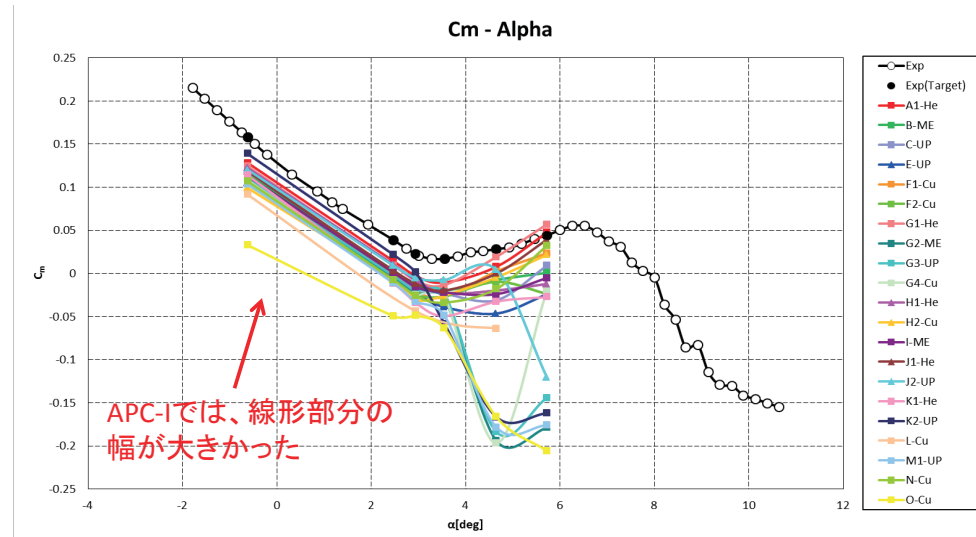
APC-Iよりばらつきは小さい

12

(参考)APC-Iの迎角スweep



空力係数を前回 (APC-I) と比較する

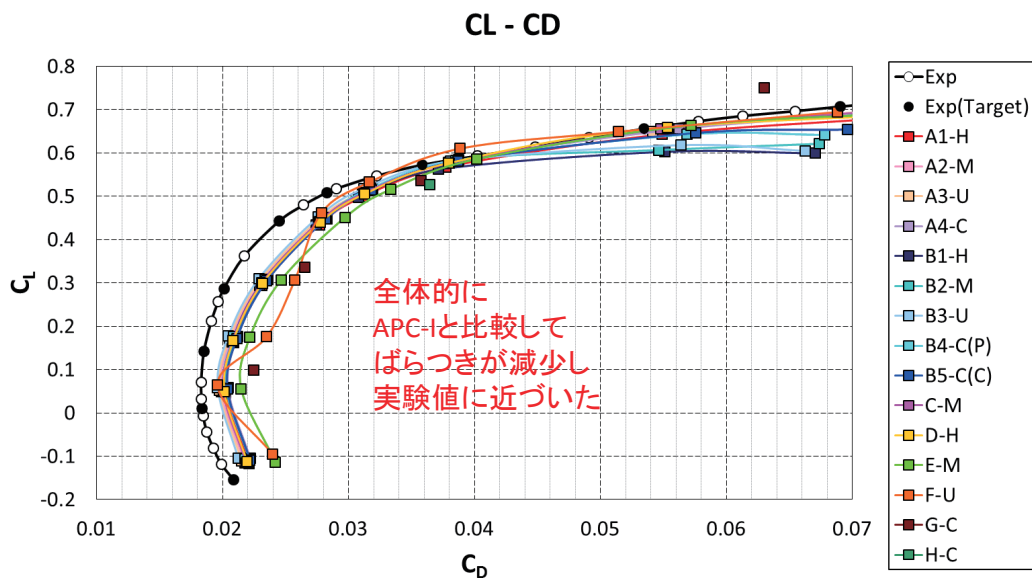


13

課題1-1: 迎角スweep (支持無)



空力係数を前回 (APC-I) と比較する



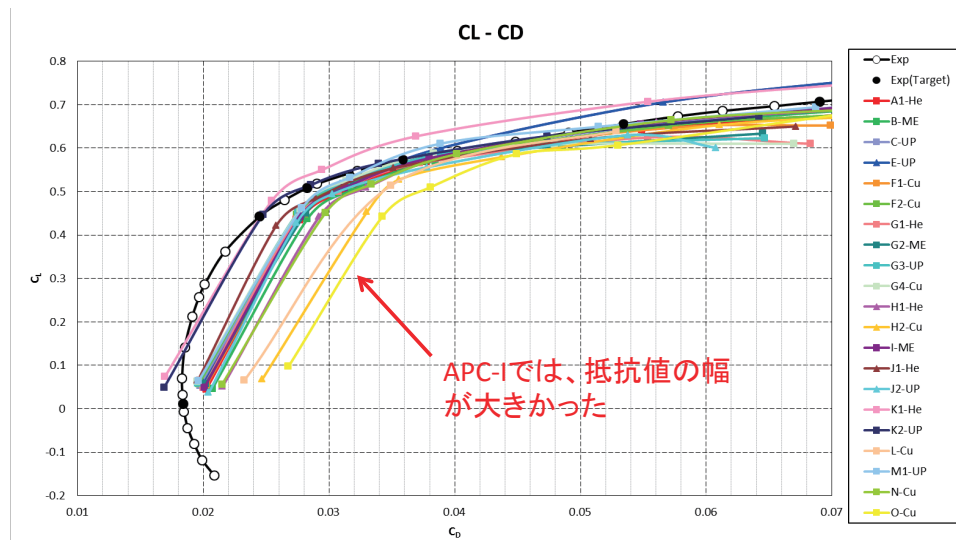
APC-Iよりばらつきは小さい

14

(参考)APC-Iの迎角スweep



空力係数を前回 (APC-I) と比較する

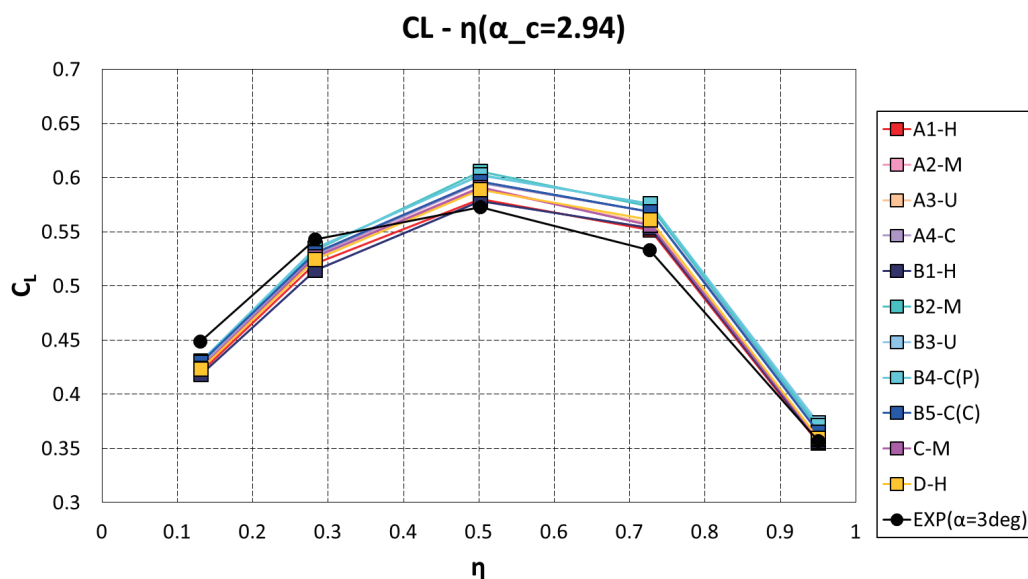


15

課題1-1: Section C_L (支持無)



スパン方向の揚力分布を評価

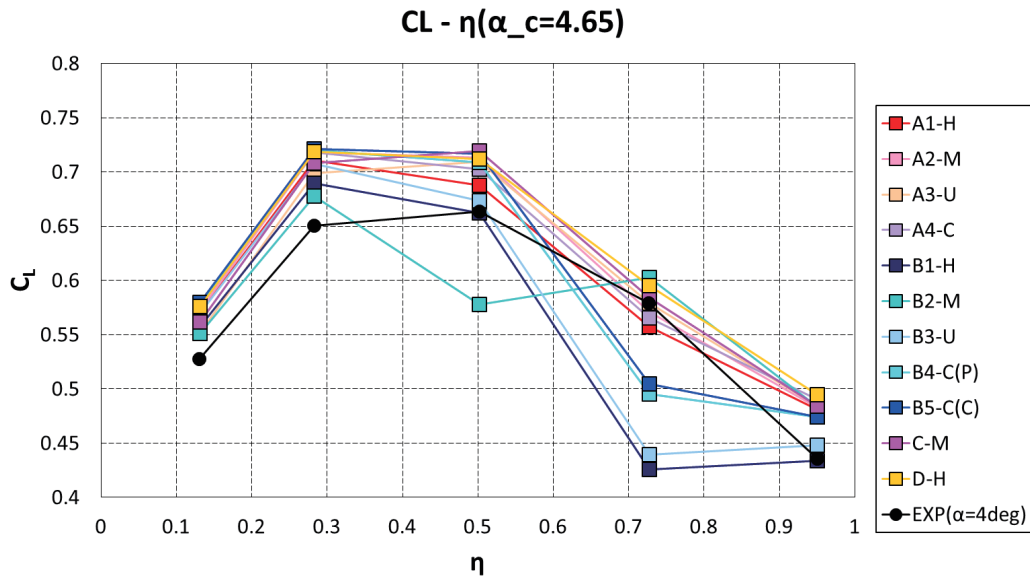


16

課題1-1: Section C_L (支持無)



スパン方向の揚力分布を評価



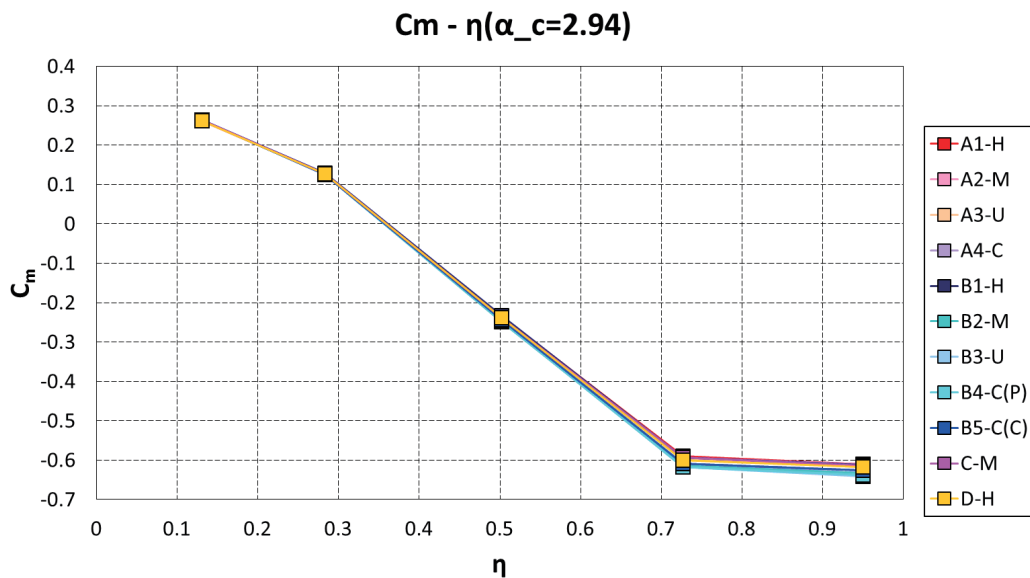
$\alpha=4.65\text{deg}$ では、 $\eta=0.7$ 付近を中心にばらつきが大きい
解析手法・格子・乱流モデル(QCR)の影響

17

課題1-1: Section C_m (支持無)



スパン方向のピッチング・モーメント分布を評価



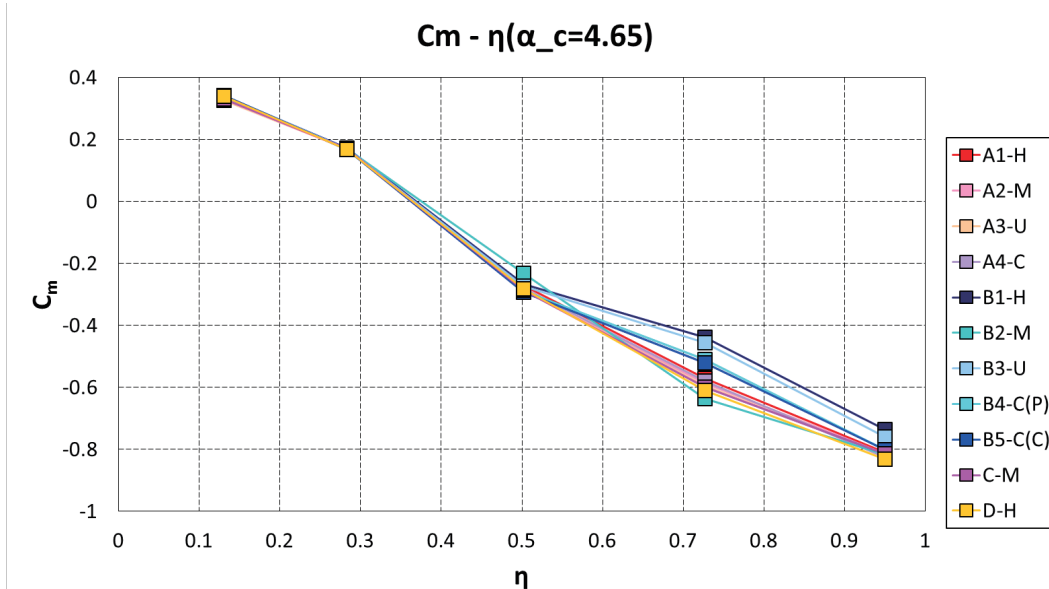
巡航の迎角ではばらつきが小さい

18

課題1-1: Section C_m (支持無)



スパン方向のピッチング・モーメント分布を評価



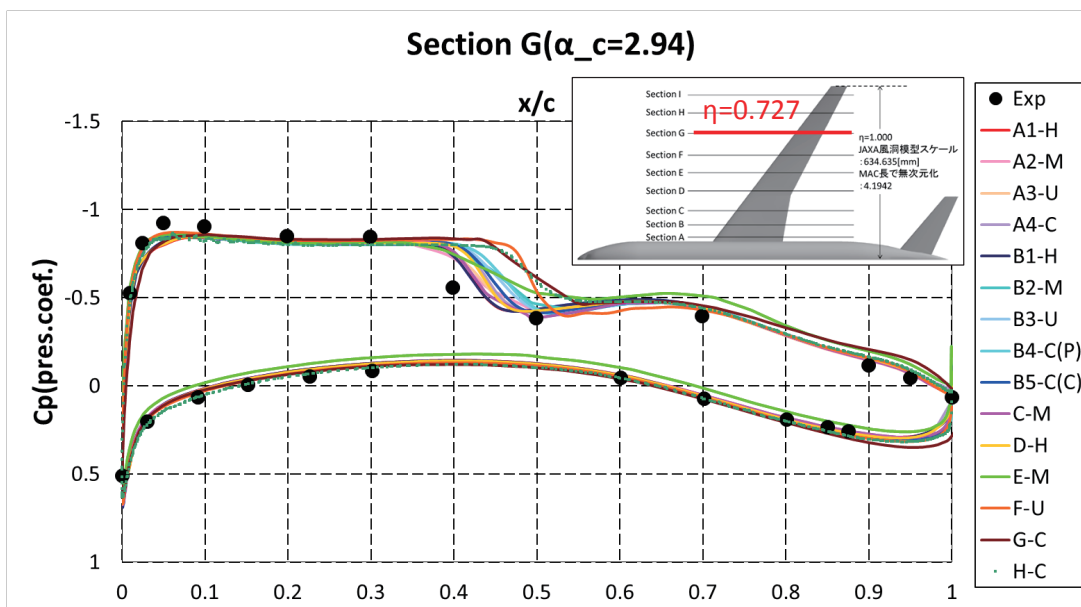
$\alpha = 4.65 \text{deg}$ では、 $\eta = 0.7$ 付近を中心にばらつきが大きい
解析手法・格子・乱流モデル(QCR)の影響

19

課題1-1: Section C_m (支持無)



スパン方向分布と C_p 分布の関連



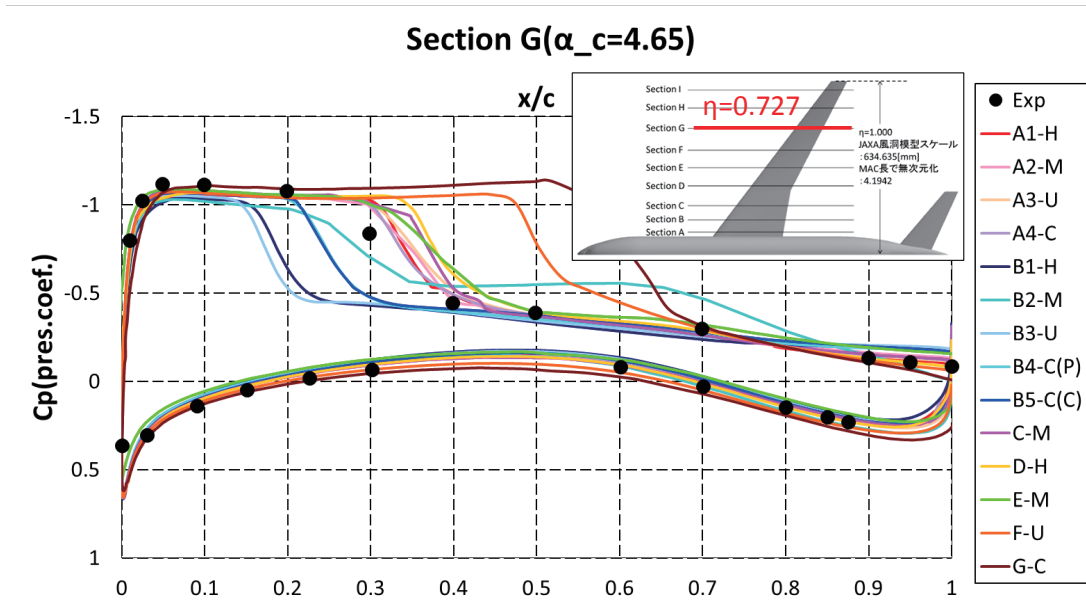
巡航の迎角では衝撃波位置のばらつきが小さい

20

課題1-1: Section C_m (支持無)



スパン方向分布と C_p 分布の関連



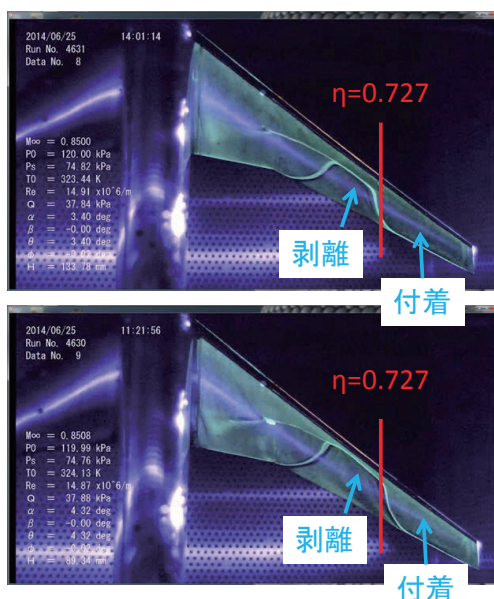
$\alpha=4.65\text{deg}$ では、Section F~H ($\eta=0.6\sim0.85$) でばらつきが大きい

21

課題1-1: Section C_m (支持無)



スパン方向分布と C_p 分布の関連



オイルフロー計測結果

$\eta=0.7$ 付近は、付着領域と剥離領域の境界付近
→ 予測が難しい

22

課題1-1 まとめ



- CL, CD, Cmのばらつきが、前回のAPC-IIに比べて、小さくなった。
→日本全体のCFD技術の底上げ。
- Cl- η 、Cm- η は巡航状態では差が小さいが、高迎角で $\eta=0.7$ 付近で差が生じる。その付近は、剥離領域と付着領域の境界位置であり、解析手法・格子・乱流モデル(QCRの有無など)が、影響していると考えられる

23

課題1-2(任意):迎角スweep(支持有)

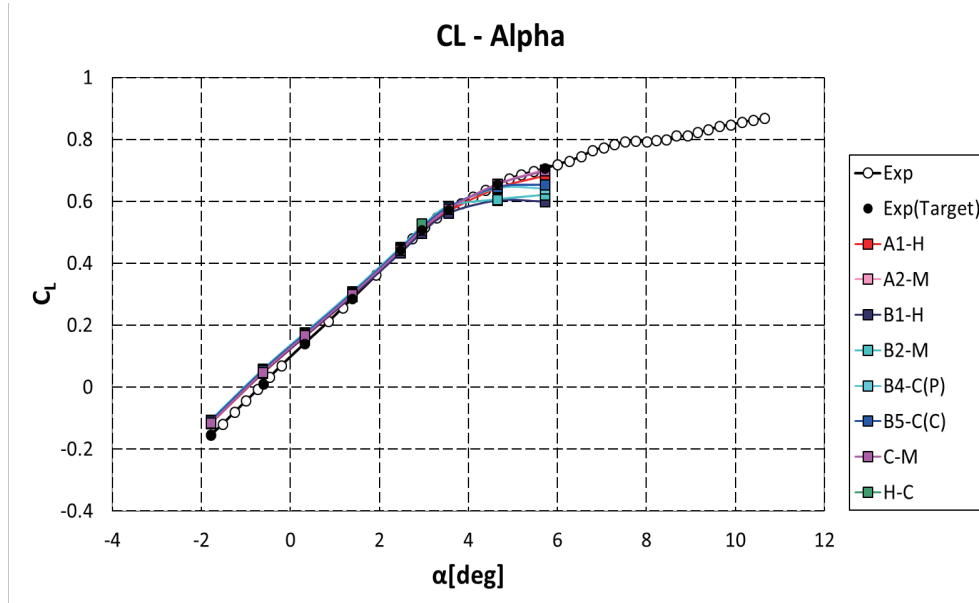


- 形状:NASA-CRM(水平尾翼 0°)、変形有、**支持有**
- 格子:Medium(1000万)相当
- 条件: $M = 0.847$, $Re_c = 2.26 \times 10^6$, $T_{ref} = 284K$
- 迎角:**-1.79deg**, -0.62deg, **0.32deg**, **1.39deg**, 2.47deg, 2.94deg, 3.55deg, 4.65deg, 5.72deg
- 提出データ:
 - 空力係数(C_D, C_L, C_m)
 - 圧力・摩擦の寄与に分解
 - コンポーネント別(主翼・胴体・尾翼の3つ)に分解
 - C_D, C_L, C_m のスパン方向分布
 - 表面 C_p 分布
 - 主翼・尾翼・後胴・支持

24

課題1-1:迎角スweep(支持無)

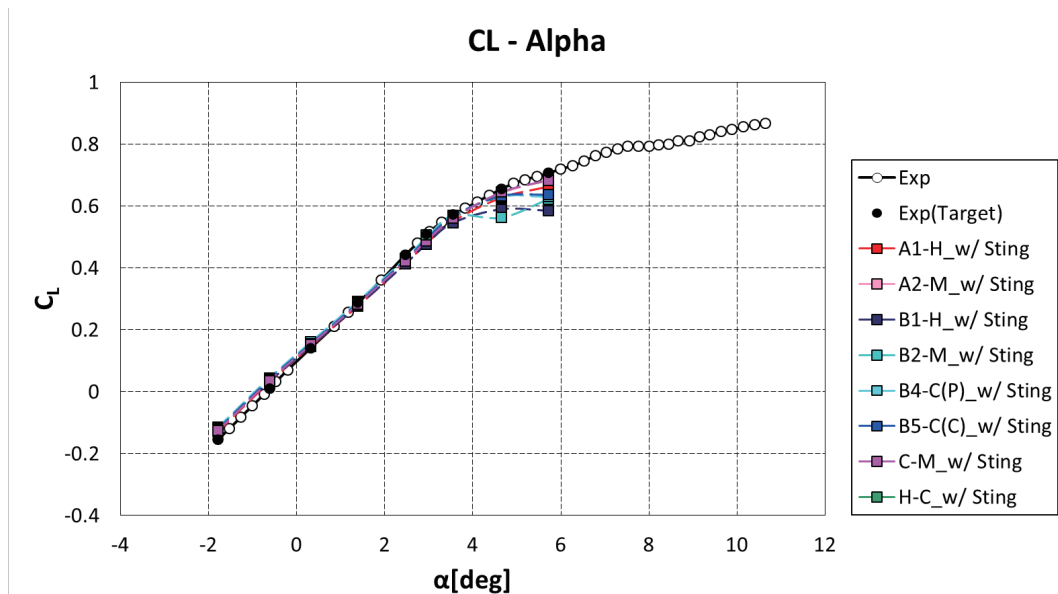
支持の効果



25

課題1-2:迎角スweep(支持有)

支持の効果

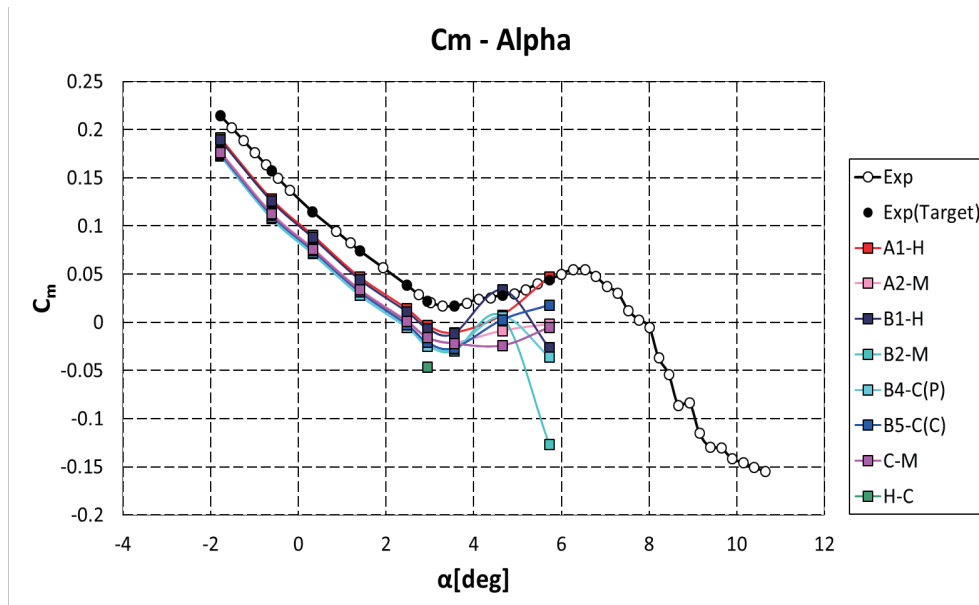


支持有の方が実験に近い

26

課題1-1:迎角スweep(支持無)

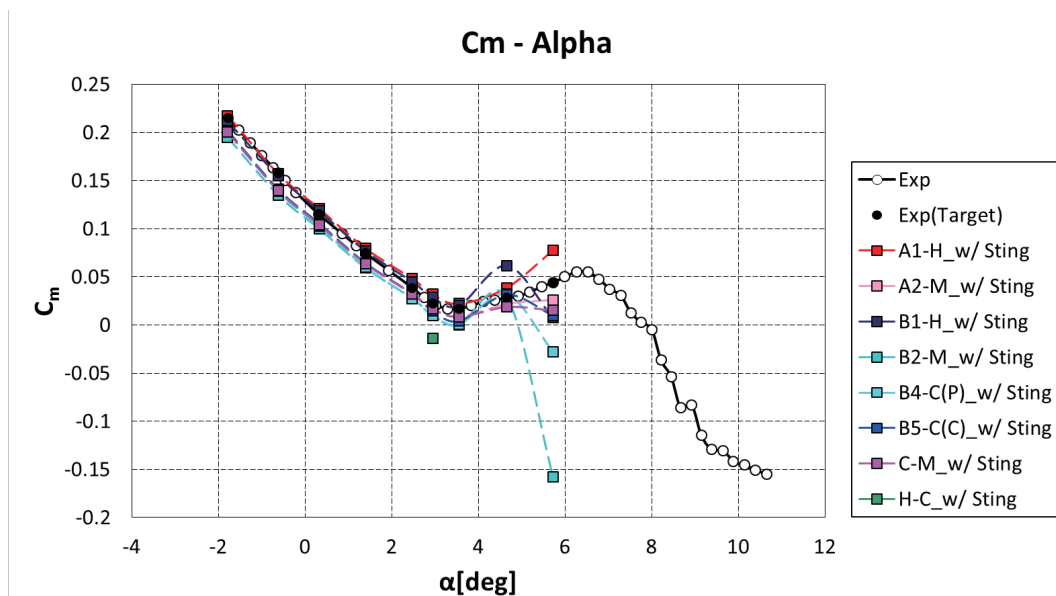
支持の効果



27

課題1-2:迎角スweep(支持有)

支持の効果

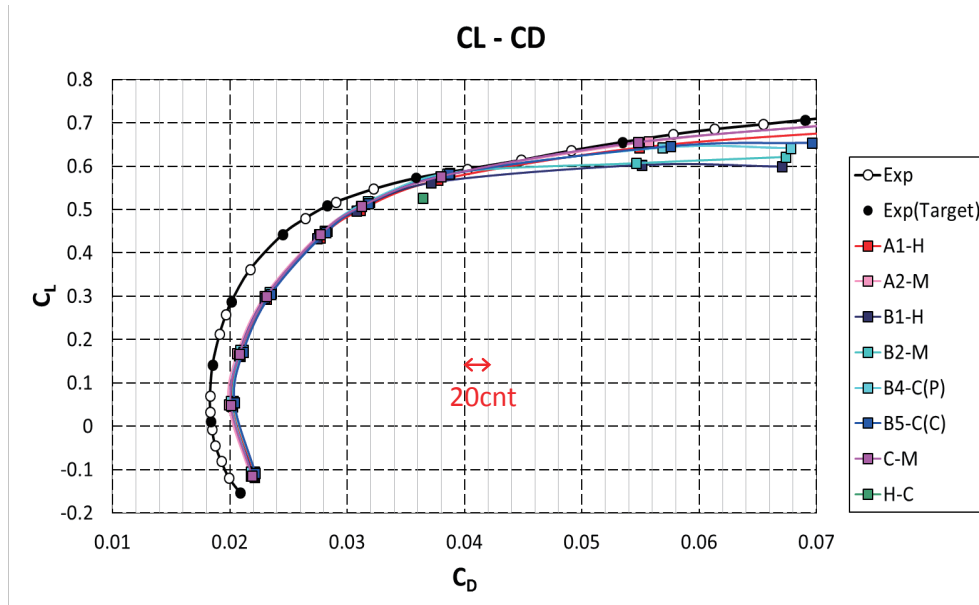


支持有の方が実験に近い

28

課題1-1:迎角スweep(支持無)

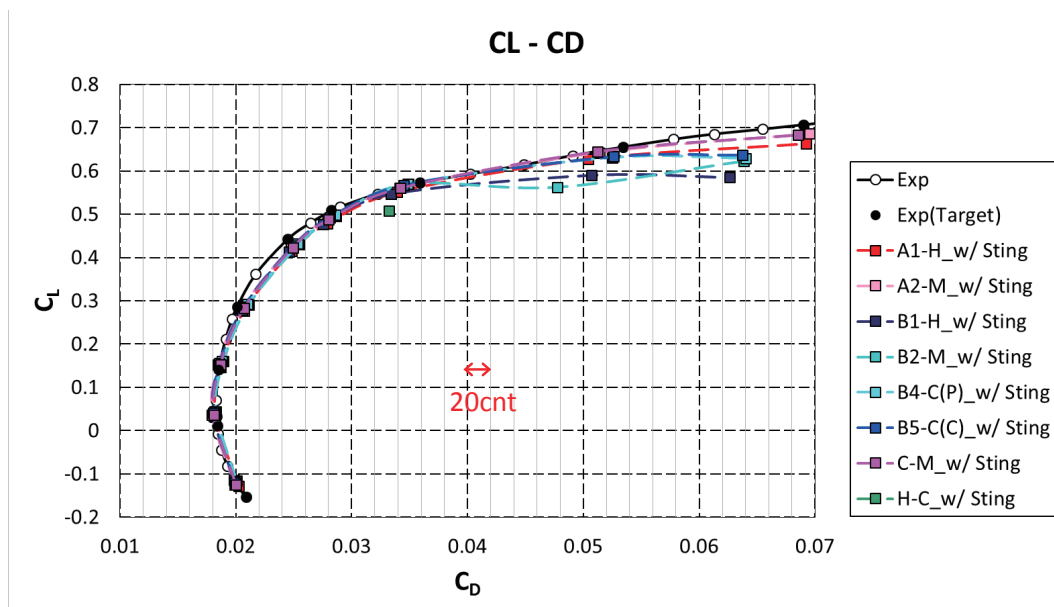
支持の効果



29

課題1-2:迎角スweep(支持有)

支持の効果



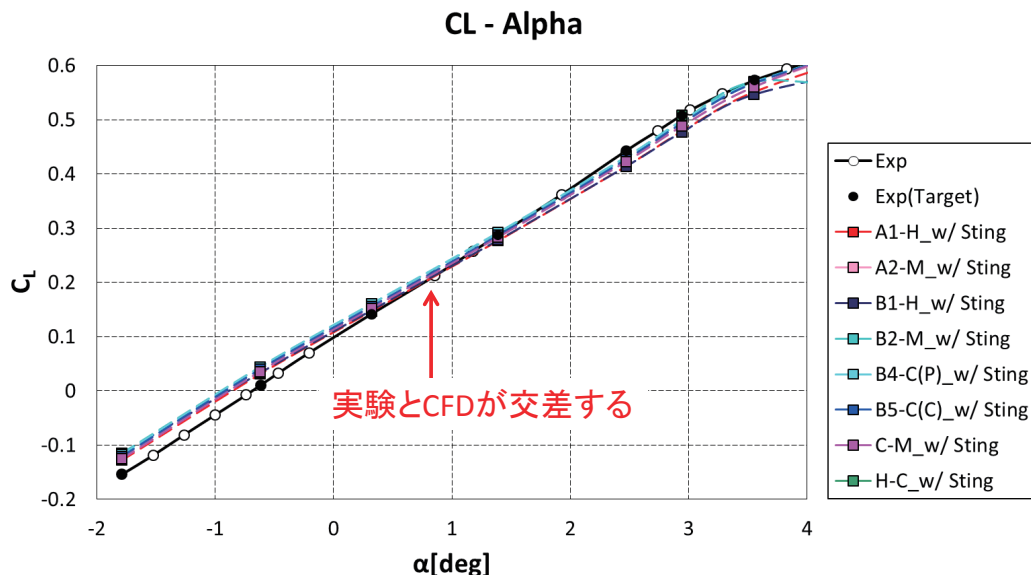
支持有の方が実験に近い

30

課題1-2: 低迎角の C_L - α (支持有)



低迎角における C_L の勾配を評価



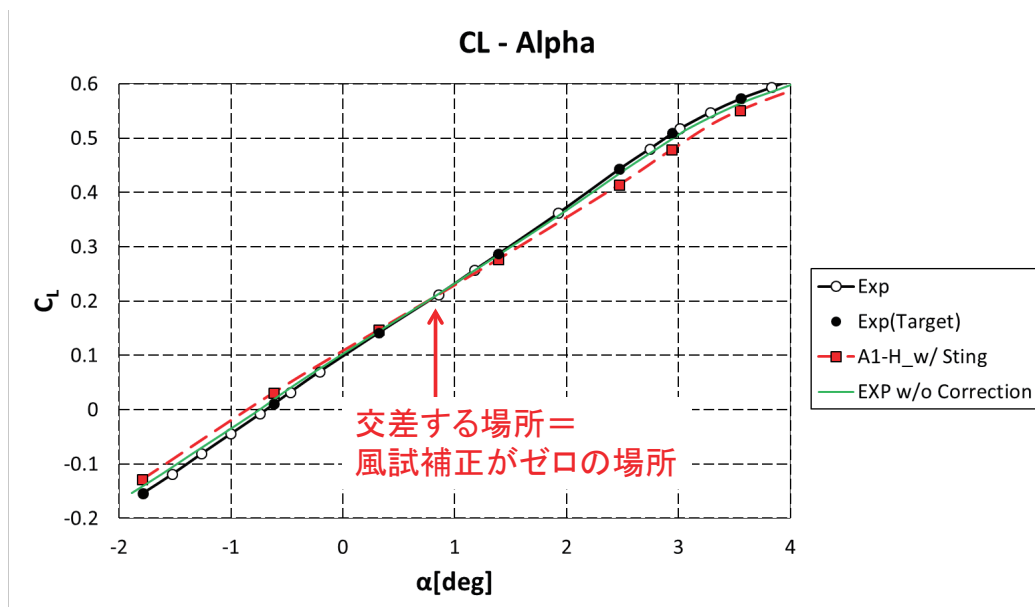
計算する迎角を増やすことで、勾配が異なることが明確になった

31

課題1-2: 低迎角の C_L - α (支持有)



低迎角における C_L の勾配を評価

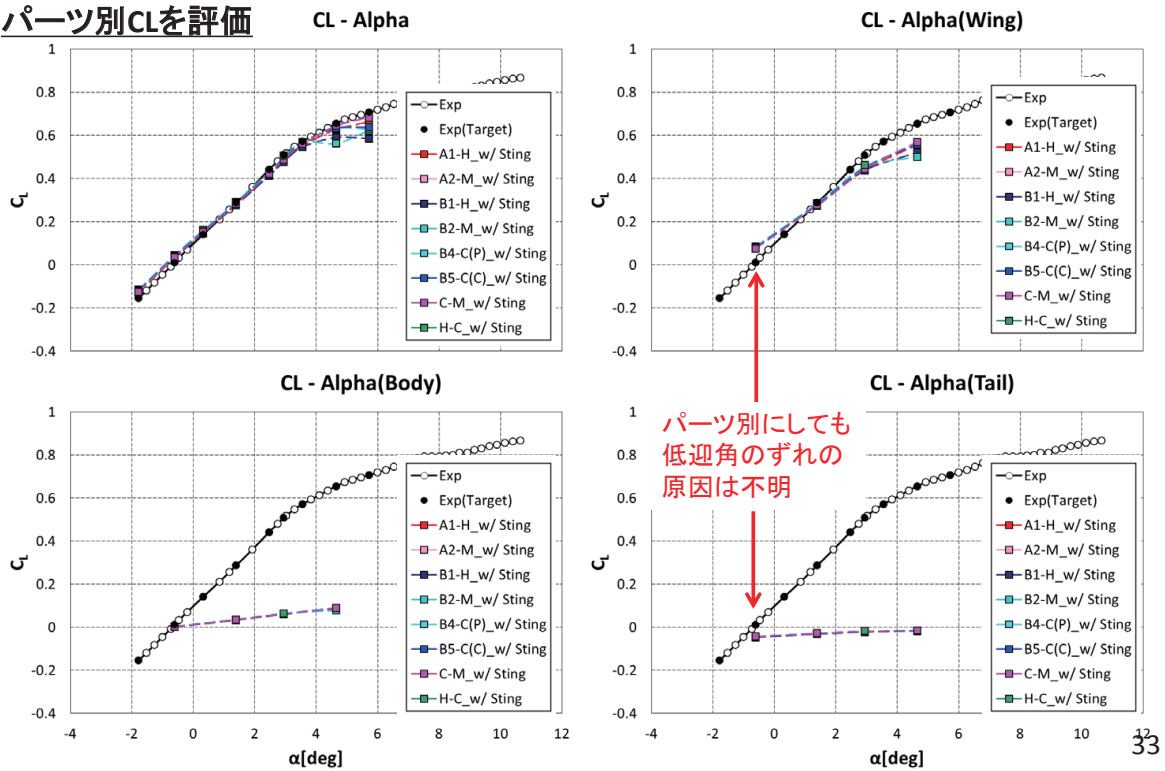


交差する場所は補正ゼロの場所と一致するが、これは何を意味しているのか

32

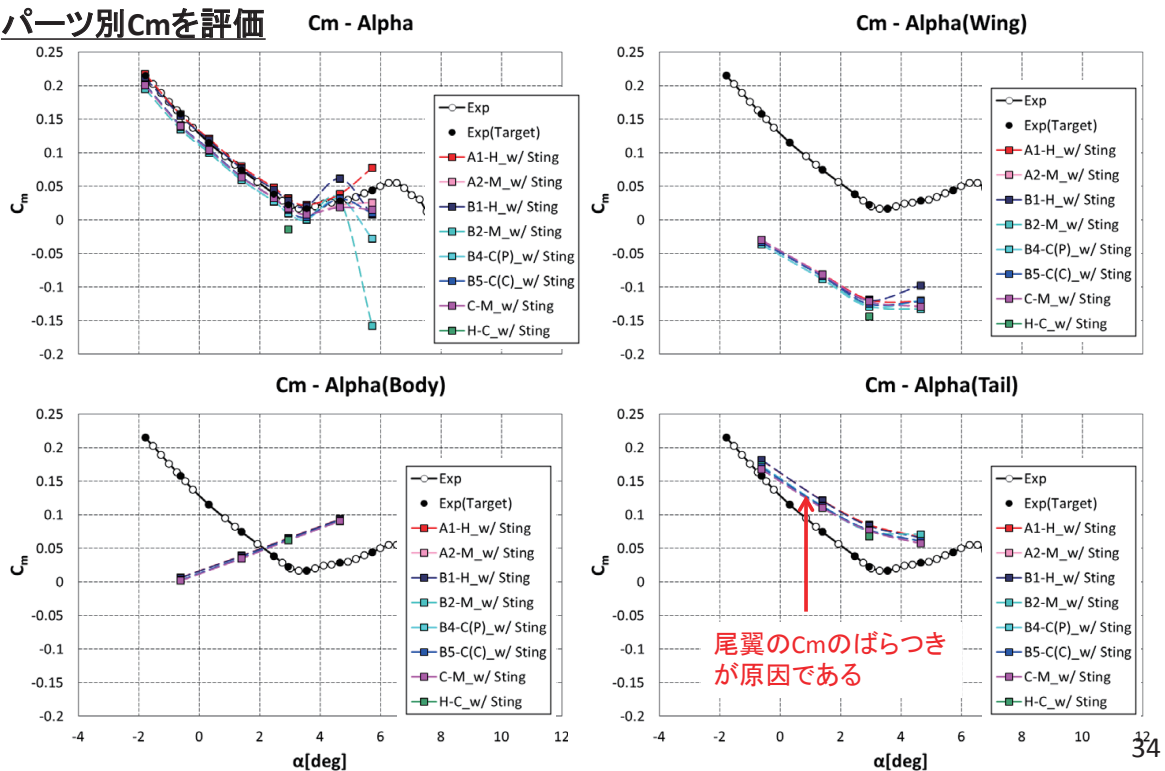
課題1-2: パーツ別の C_L - α (支持有)

パーツ別 C_L を評価



課題1-2: パーツ別の C_m - α (支持有)

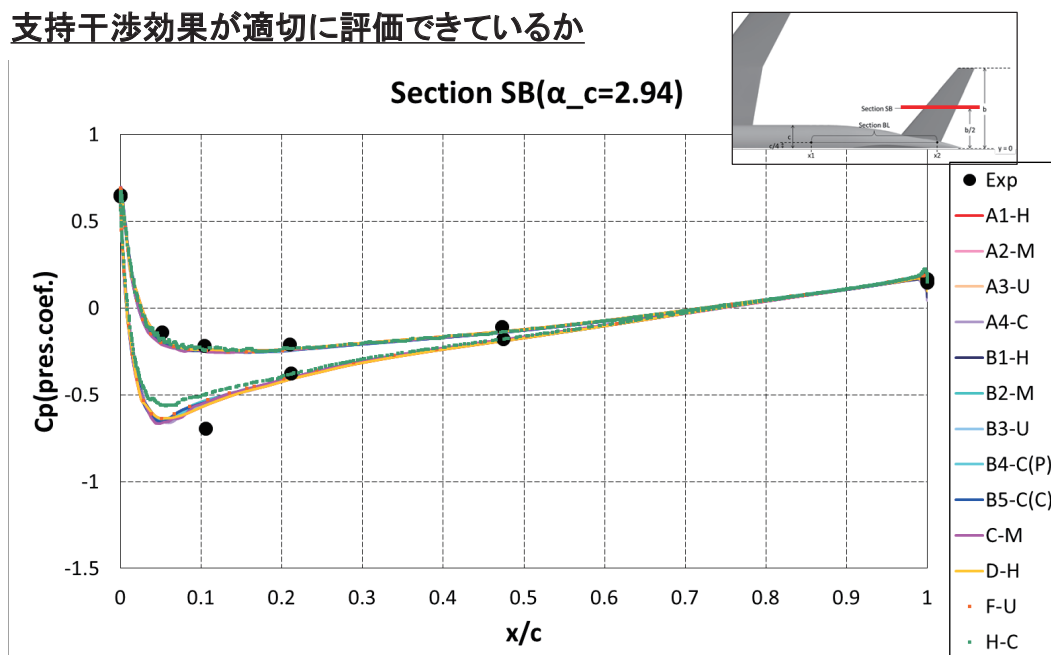
パーツ別 C_m を評価



課題1-1: 尾翼の C_p 分布(支持無)



支持干渉効果が適切に評価できているか



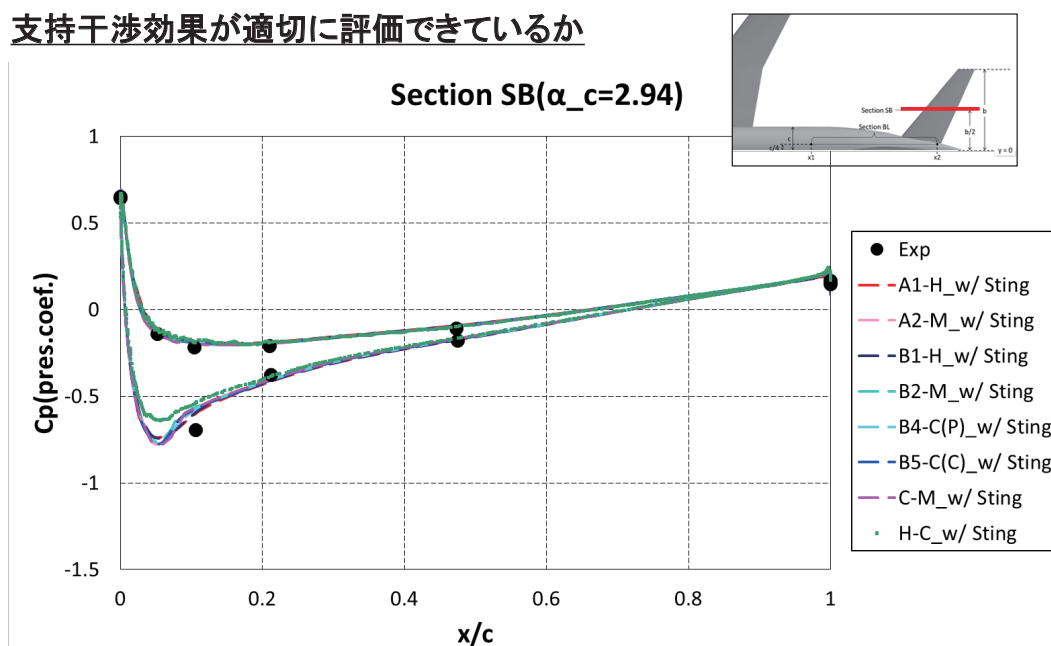
負圧のピークが実験と合っていない

35

課題1-2: 尾翼の C_p 分布(支持有)



支持干渉効果が適切に評価できているか

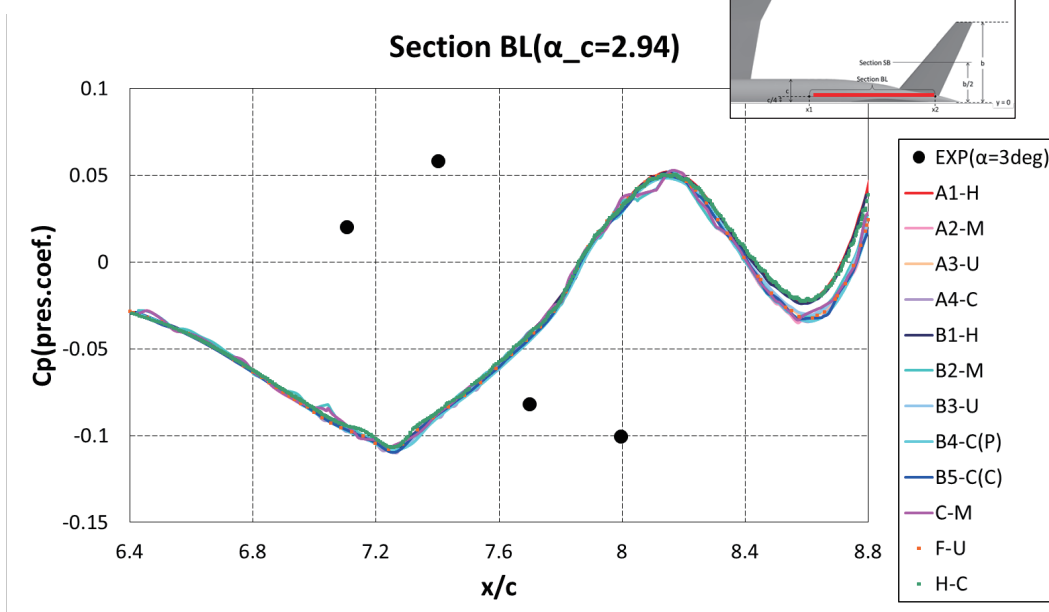


支持有にすることで負圧のピークも実験に近づく

36

課題1-1: 後胴の C_p 分布(支持無)

支持干渉効果が適切に評価できているか

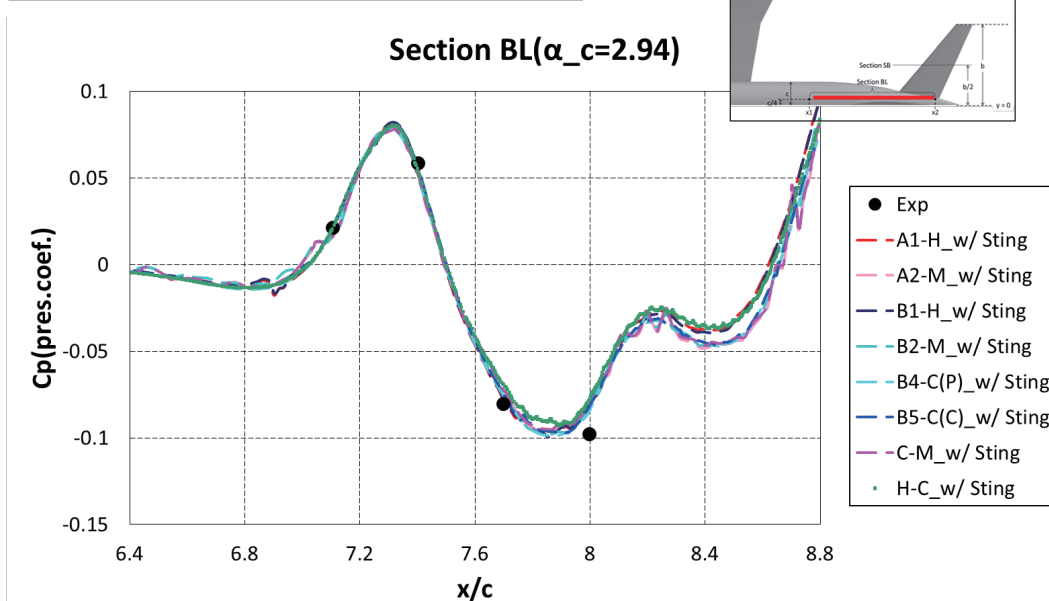


全く、実験に合わない

37

課題1-2: 後胴の C_p 分布(支持有)

支持干渉効果が適切に評価できているか



支持有にすることで実験と同じような分布

38

課題1-2 まとめ



- 支持を考慮することで、実験に近づく。特に、 C_m の線形部分や、 CD_0 に改善が見られる。
→ 非常に高い精度で実験データを再現
- 迎角を追加することで、 $CL-\alpha$ の勾配が低迎角で異なることが明らかになった。実験とCFDが交差する場所は、補正がゼロの場所であるが、詳細は不明。
- C_m の線形部分のばらつきは、尾翼が原因。
- 支持の影響は、尾翼や後胴で適切にとらえられている。

39

課題1-3(任意): 非定常計算



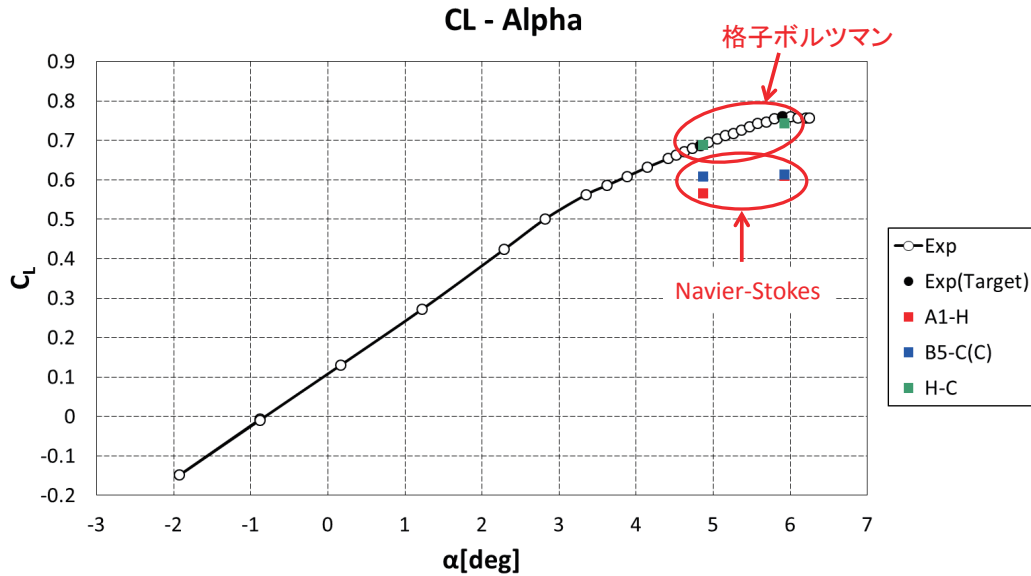
- 形状: NASA-CRM(水平尾翼 0°)、変形有
- 格子: 自由
- 条件: $M = 0.85$, $Re_c = 1.5 \times 10^6$, $T_{ref} = 282K$
- 迎角: $4.87deg$, $5.92deg$
- 提出データ: 空力係数(C_L, C_D, C_m)と表面 C_p 分布の平均量とRMS

40

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



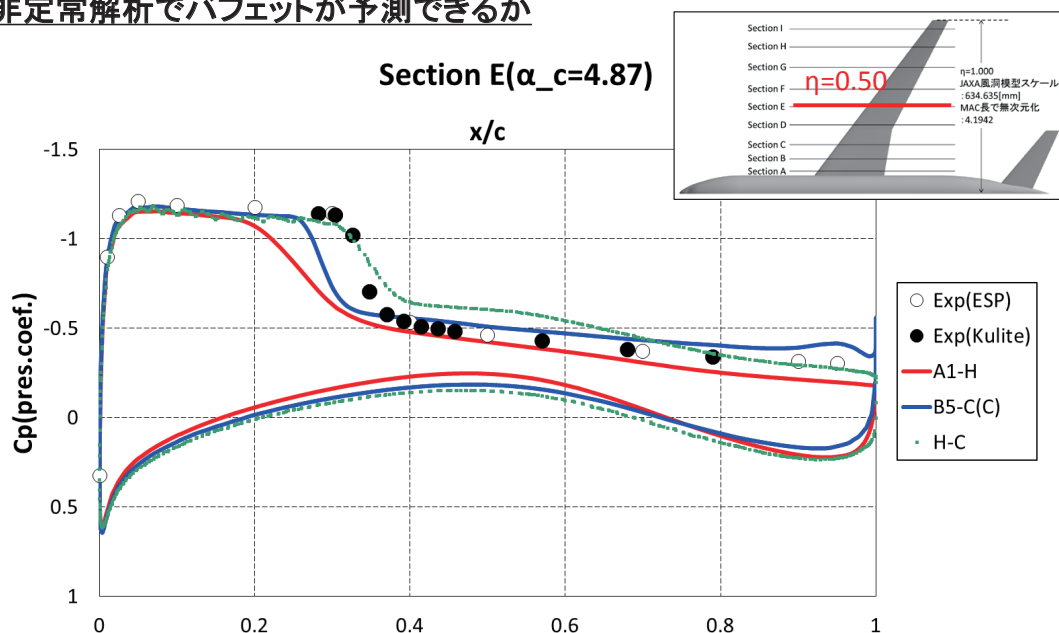
手法により結果に差がある

41

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



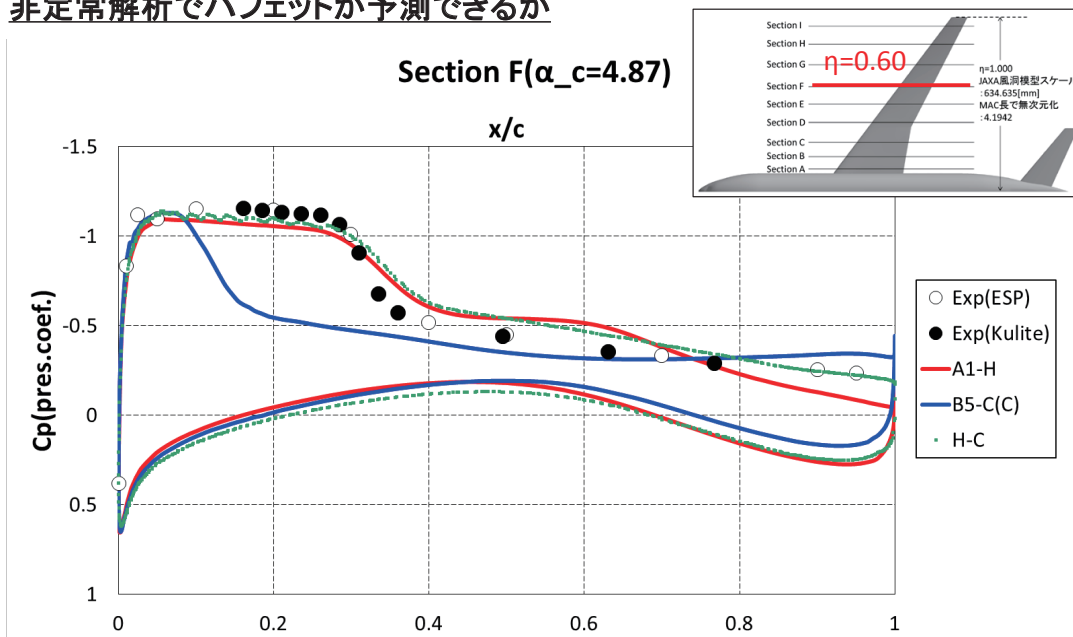
衝撃波位置にばらつきがある

42

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



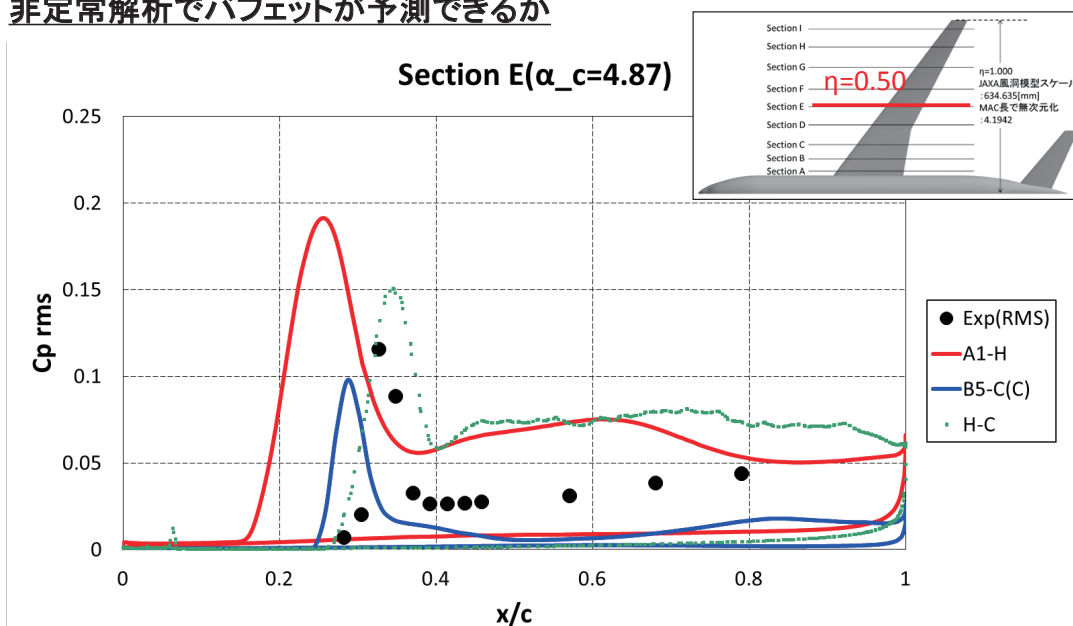
衝撃波位置にばらつきがある

43

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



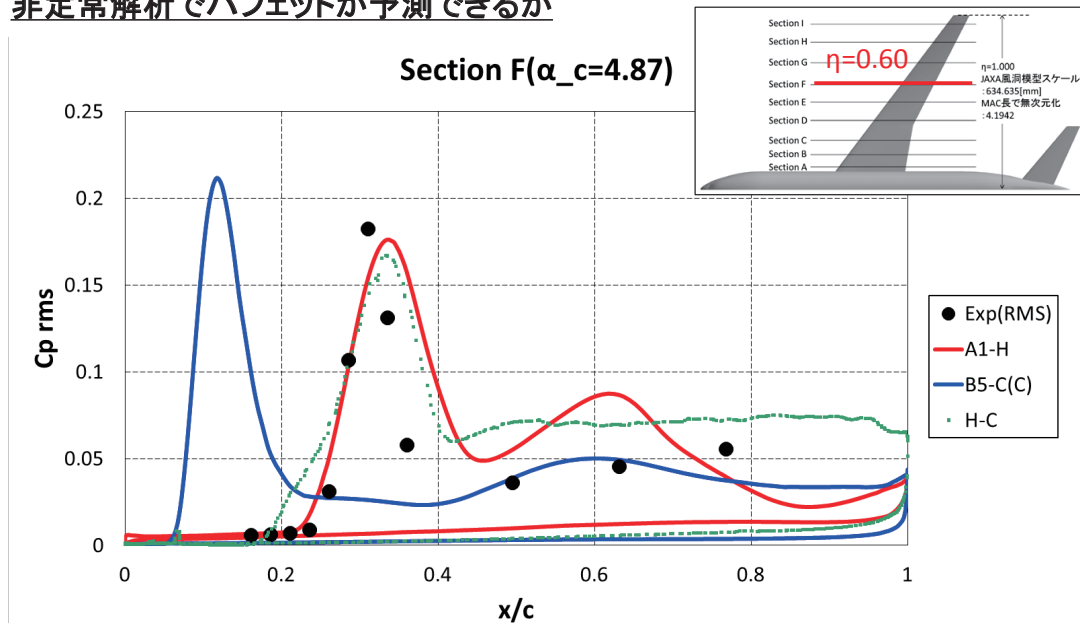
RMSのピーク位置は衝撃波位置に関係しているが、
ピーク変動量は同程度 (= 衝撃波強さで決まる)

44

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



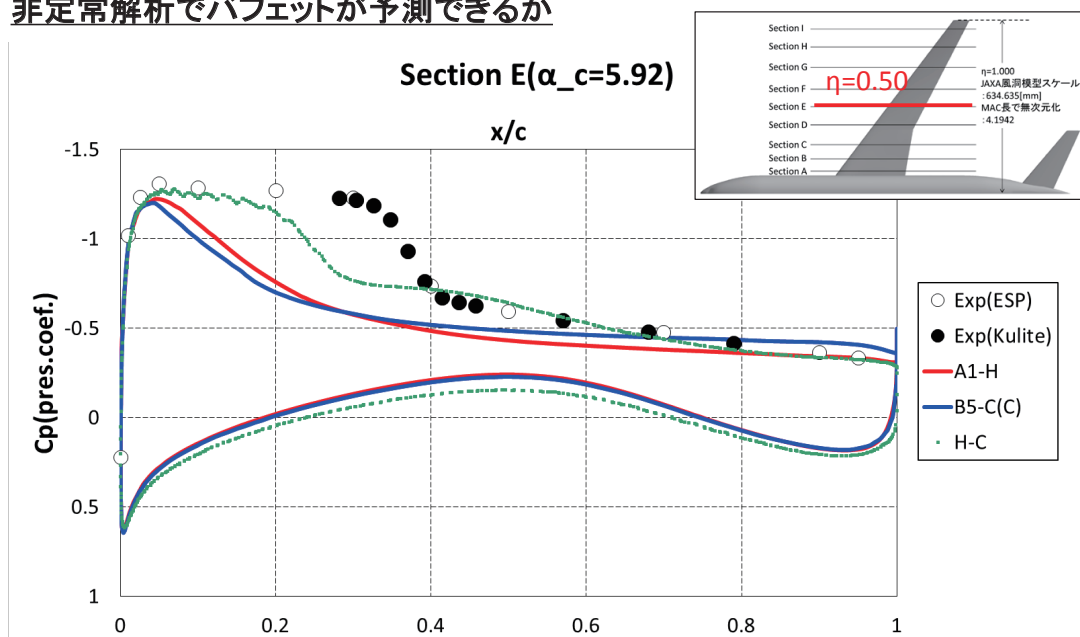
RMSのピーク位置は衝撃波位置に関係しているが、
ピーク変動量は同程度 (= 衝撃波強さで決まる)

45

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



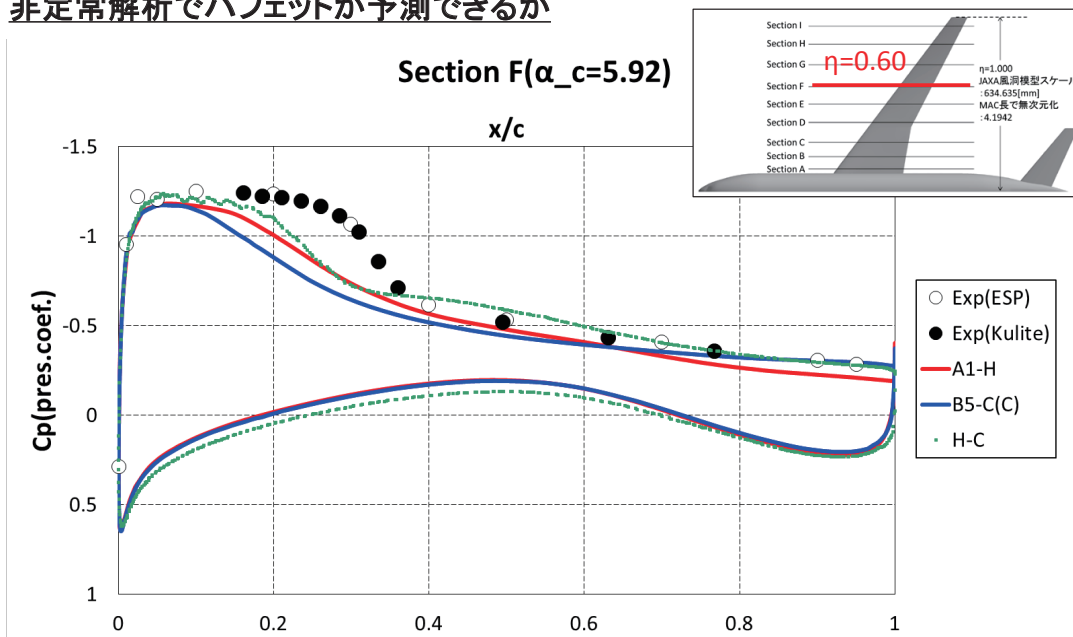
高迎角では衝撃波位置が前方に移動し、実験と合わない

46

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



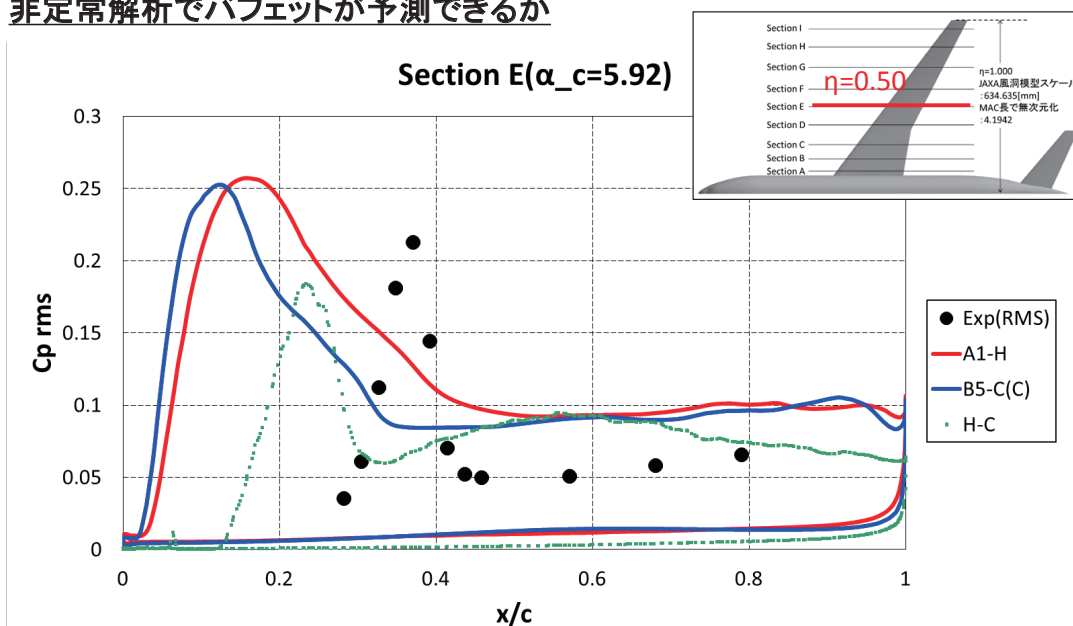
高迎角では衝撃波位置が前方に移動し、実験と合わない

47

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフエットが予測できるか



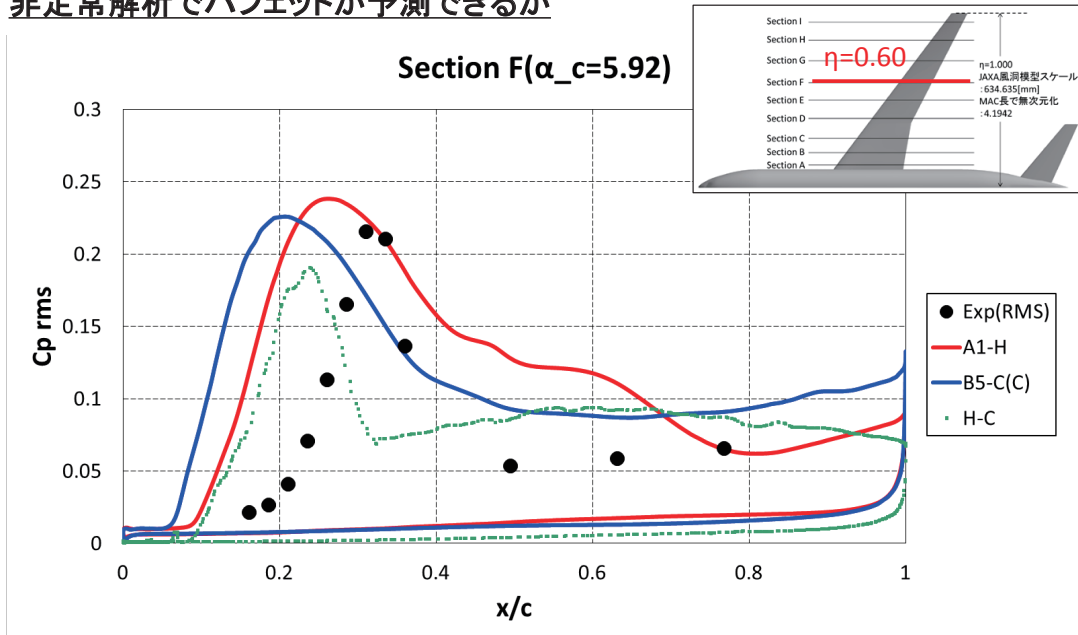
RMSピーク変動量は同程度
衝撃波より下流の変動は大きめに予測

48

課題1-3: 非定常計算



非定常解析でバフェットが予測できるか



RMSピーク変動量は同程度
衝撃波より下流の変動は大きめに予測

49

課題1-3 まとめ



- 非定常解析における衝撃波位置の予測精度に課題。特に、高迎角の 5.92° の予測が困難。
- RMSのピーク変動量は同程度。おそらく、衝撃波強さで決まっている。
- 衝撃波より下流の変動は大きめに予測。原因として、解像度不足が考えられる。

50

全体のまとめ



- 課題1-1
 - CL, CD, Cmのばらつきが、前回のAPC-IIに比べて、小さくなった。
→ 日本全体のCFD技術の底上げ。
 - $Cl-\eta$ 、 $Cm-\eta$ は巡航状態では差が小さいが、高迎角で $\eta=0.7$ 付近で差が生じる。その付近は、剥離領域と付着領域の境界位置であり、解析手法・格子・乱流モデル(QCRの有無など)が、影響していると考えられる
- 課題1-2
 - 支持を考慮することで、実験に近づく。特に、 Cm の線形部分や、 CD_0 に改善が見られる。→ 非常に高い精度で実験データを再現
 - 迎角を追加することで、 $CL-\alpha$ の勾配が低迎角で異なることが明らかになった。実験とCFDが交差する場所は、補正がゼロの場所であるが、詳細は不明。
 - Cm の線形部分のばらつきは、尾翼が原因。
 - 支持の影響は、尾翼や後胴で適切にとらえられている。
- 課題1-3
 - 非定常解析における衝撃波位置の予測精度に課題。特に、高迎角の 5.92° の予測が困難。
 - RMSのピーク変動量は同程度。おそらく、衝撃波強さで決まっている。
 - 衝撃波より下流の変動は大きめに予測。原因として、解像度不足が考えられる。

51

今後の課題(案)



- まだ存在する実験との差($CL-\alpha$ 、 $Cm-\alpha$ 、 $CL-CD$)
 - 壁干渉(多孔壁)
 - 遷移
 - その他
- 高迎角時の予測精度向上
 - 定常解析: 乱流モデルの改良など
 - 非定常解析: 乱流モデル(URANS, DES, WMLESなど)の比較、NSとLBMの差の分析、流れ場の乱流統計量の比較など
 - さらに高迎角の計算($\alpha \sim 10^\circ$)
 - 低速バフエット($M=0.70$)
- その他の課題?

52

謝辞



- 多くの方にご参加いただき、どうもありがとうございました。
- 下記の方にもご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。
 - 格子の提供: 山本一臣、村山光宏、伊藤靖 (JAXA)、田中健太郎 (菱友システムズ)
 - 格子変形ツール: 保江かな子 (JAXA)
 - Web、格子・形状作成、データ集計: 林謙司、上島啓司 (菱友システムズ)
 - 実験データの提供: 小池俊輔、風洞試験にご協力頂いた皆様 (JAXA)

53



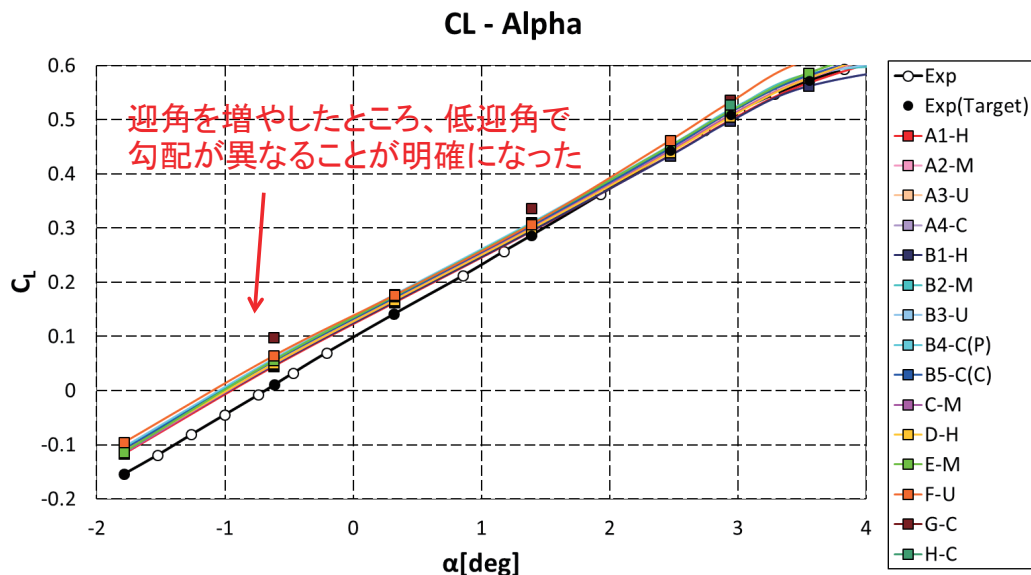
以降、参考資料

54

課題1-1: 低迎角の C_L - α (支持無)



低迎角における C_L の勾配を評価

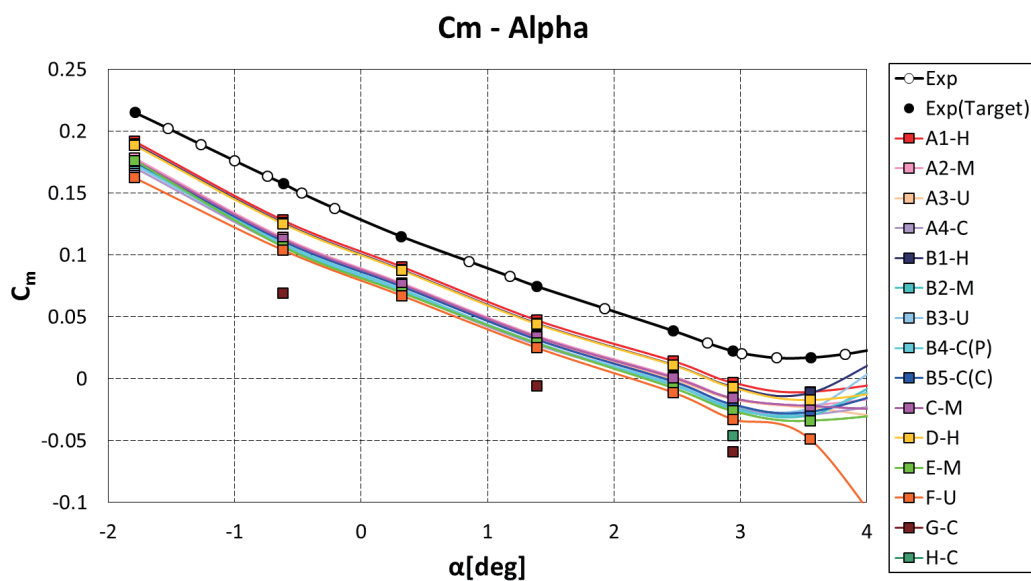


55

課題1-1: 低迎角の C_m - α (支持無)



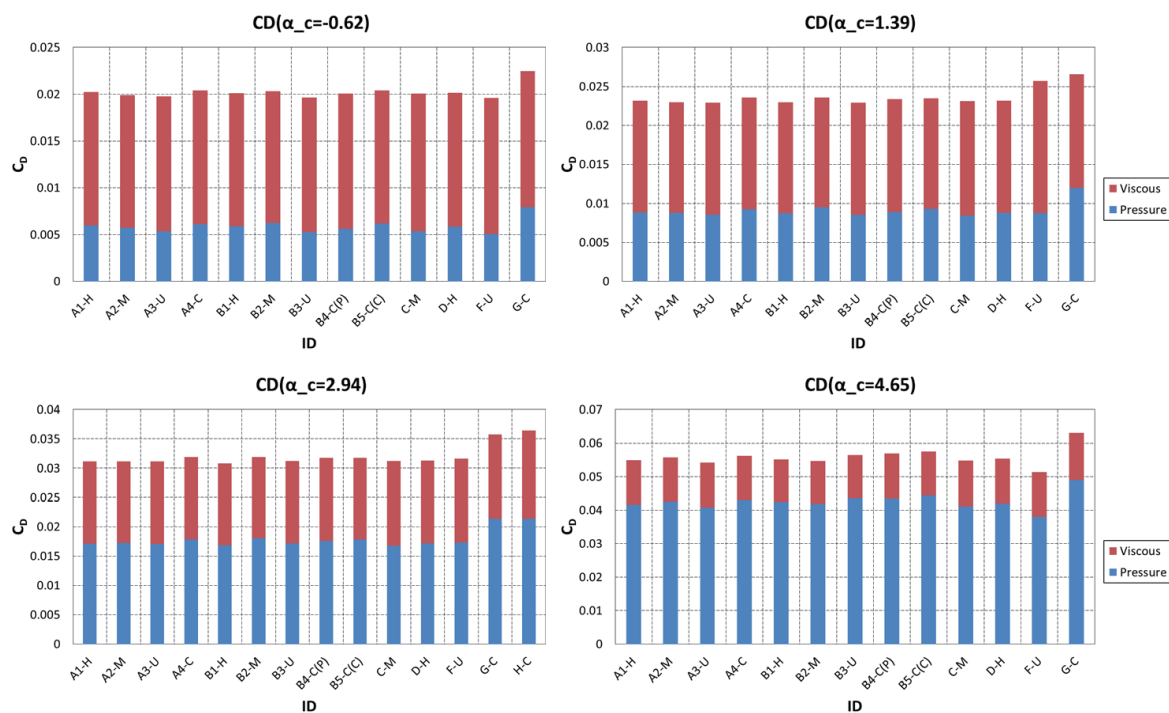
低迎角における C_m の勾配を評価



定量的に実験と差がある

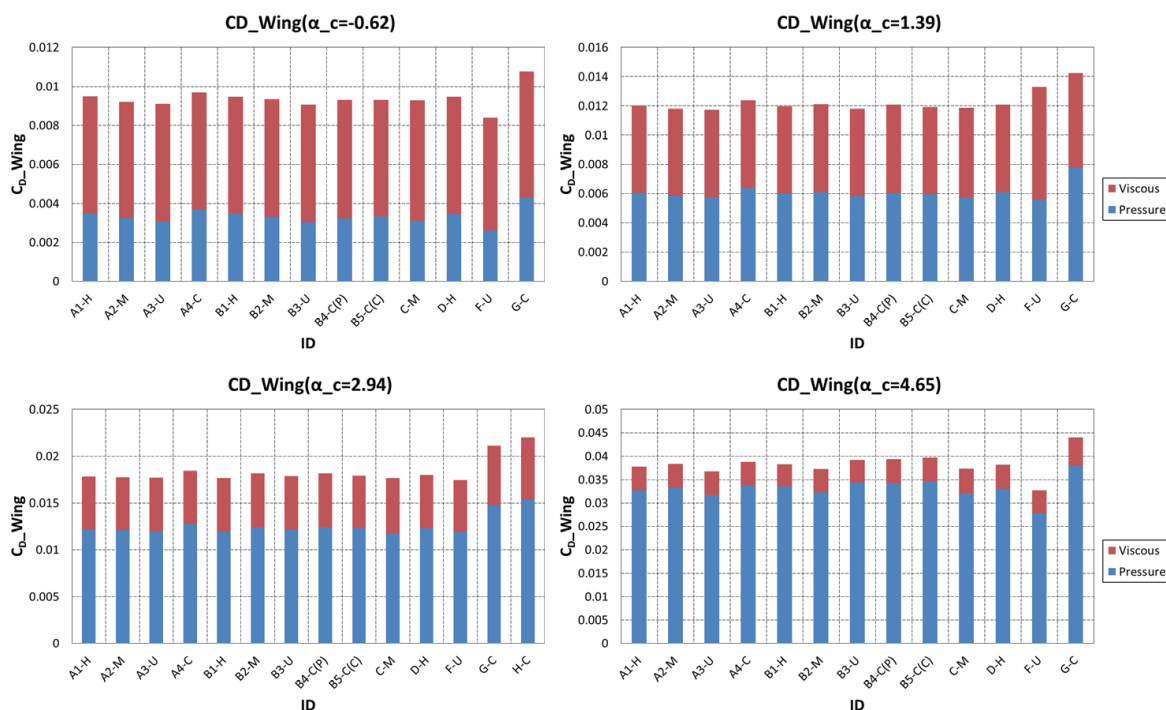
56

課題1-1: 圧力・摩擦別の C_D (支持無)



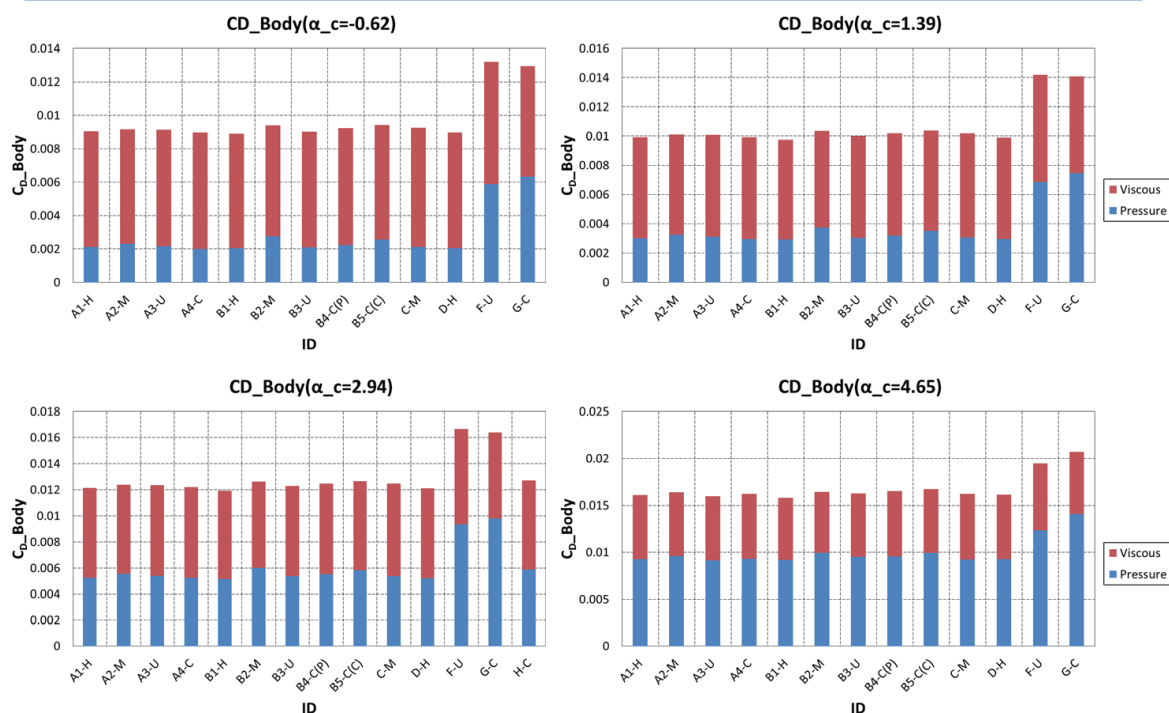
57

課題1-1: 圧力・摩擦別の C_D (支持無)



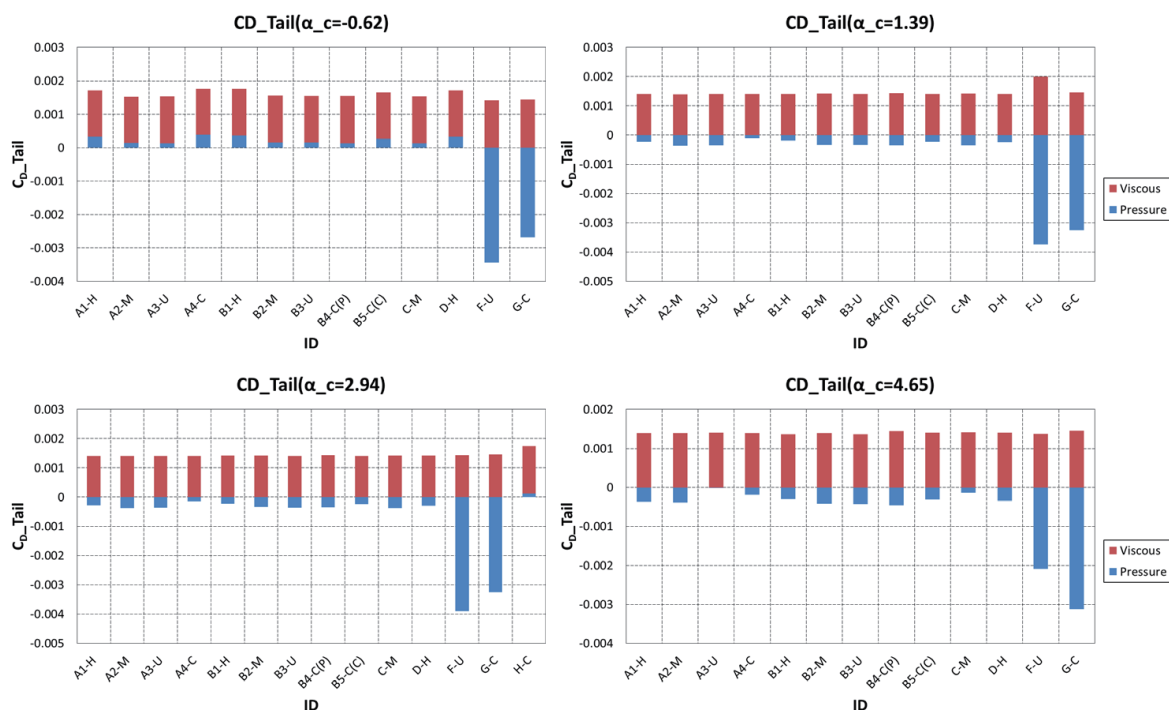
58

課題1-1: 圧力・摩擦別の C_D (支持無)



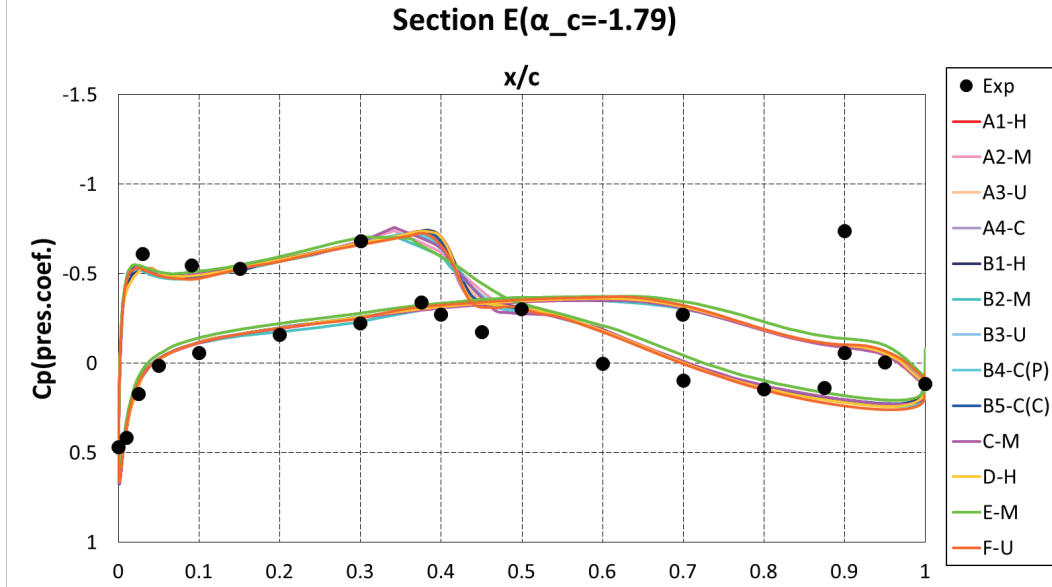
59

課題1-1: 圧力・摩擦別の C_D (支持無)



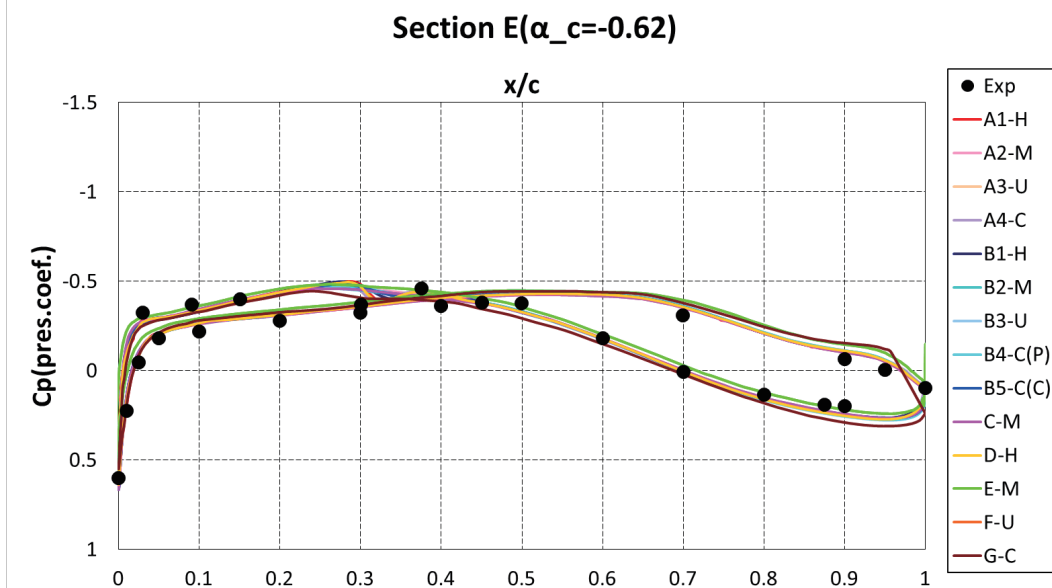
60

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



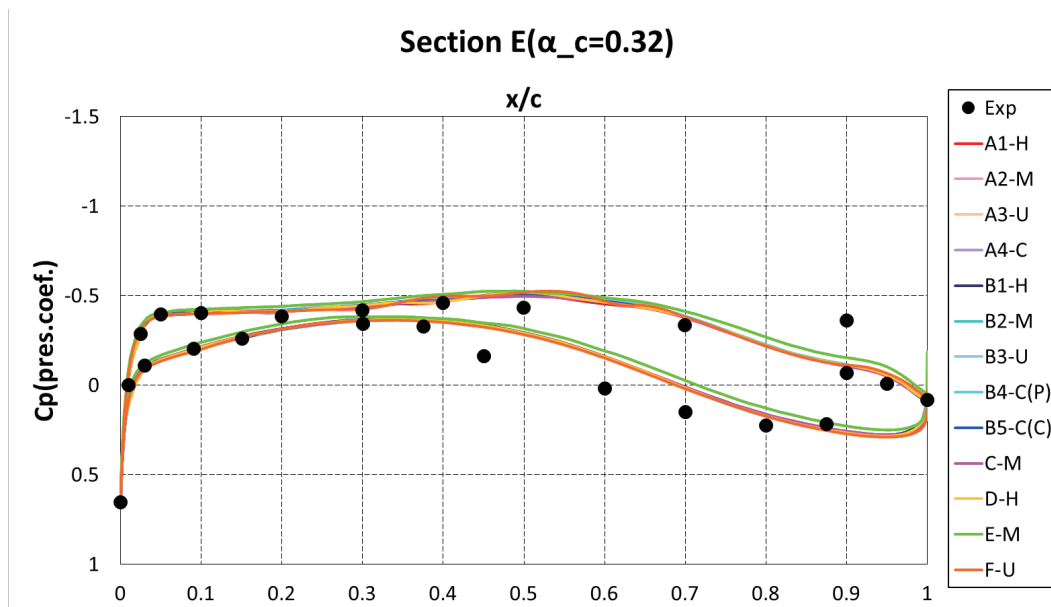
61

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



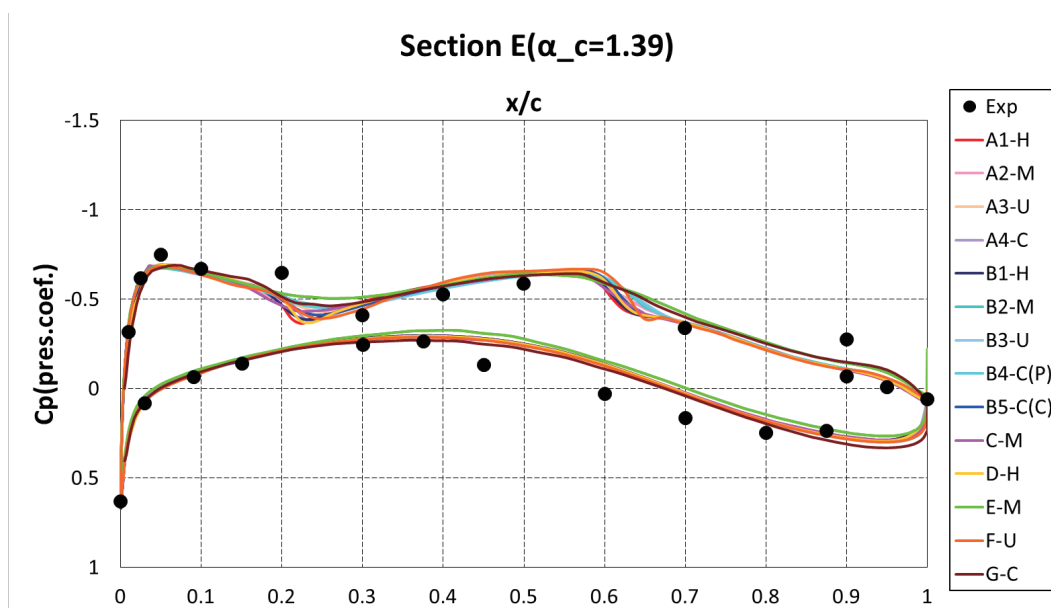
62

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



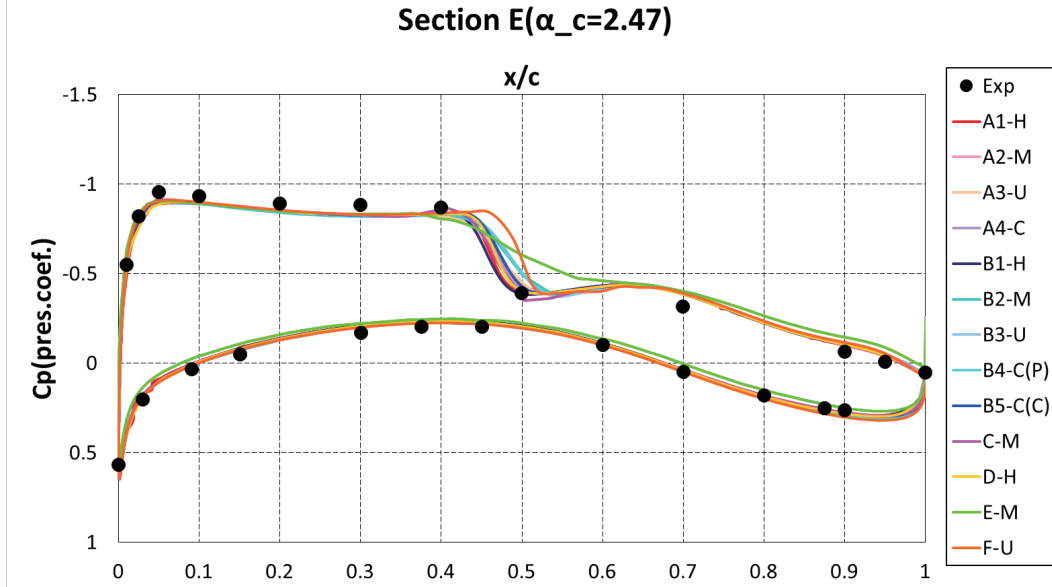
63

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



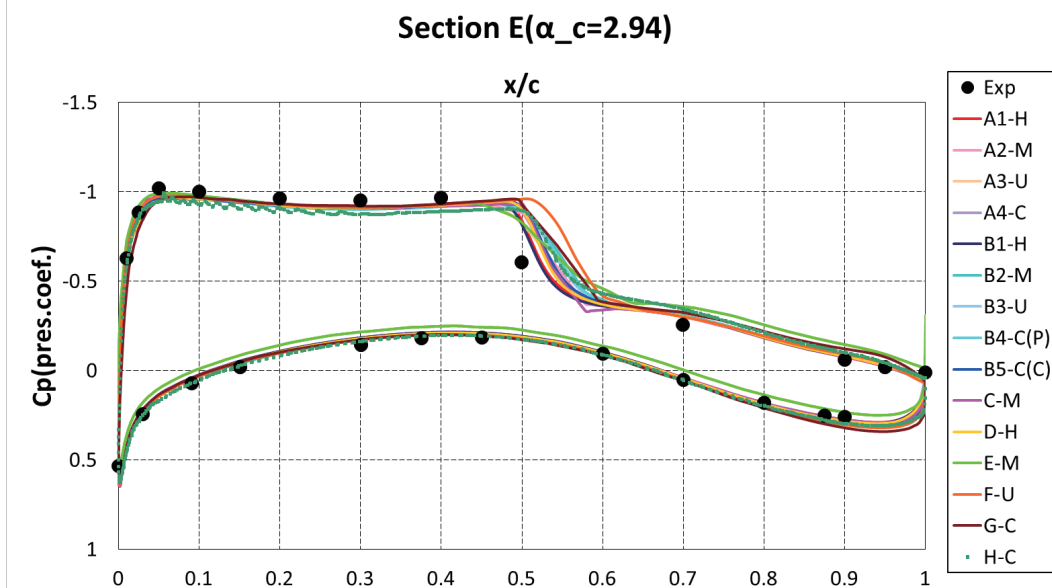
64

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



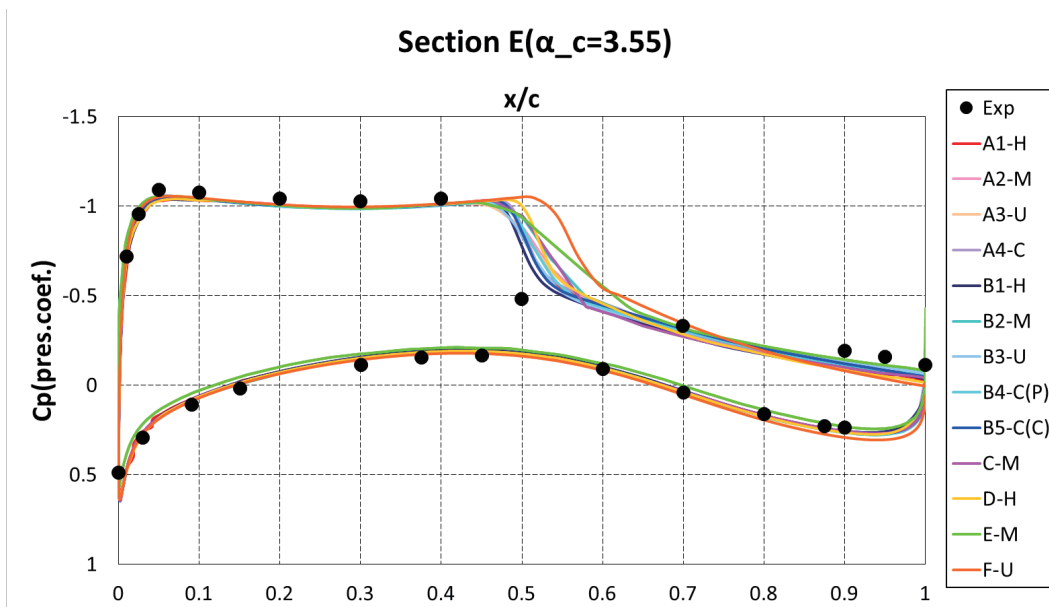
65

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



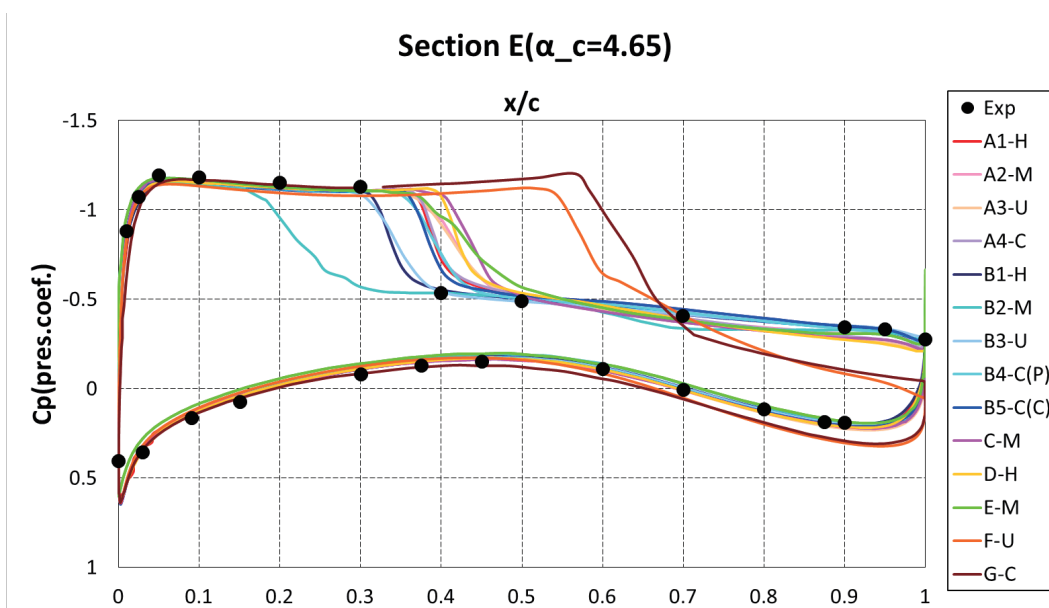
66

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



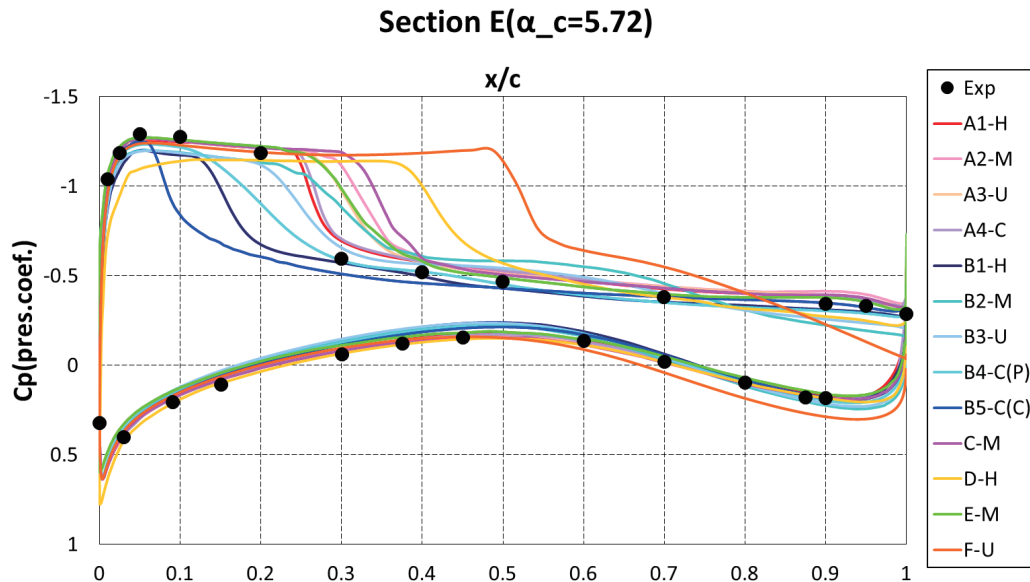
67

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



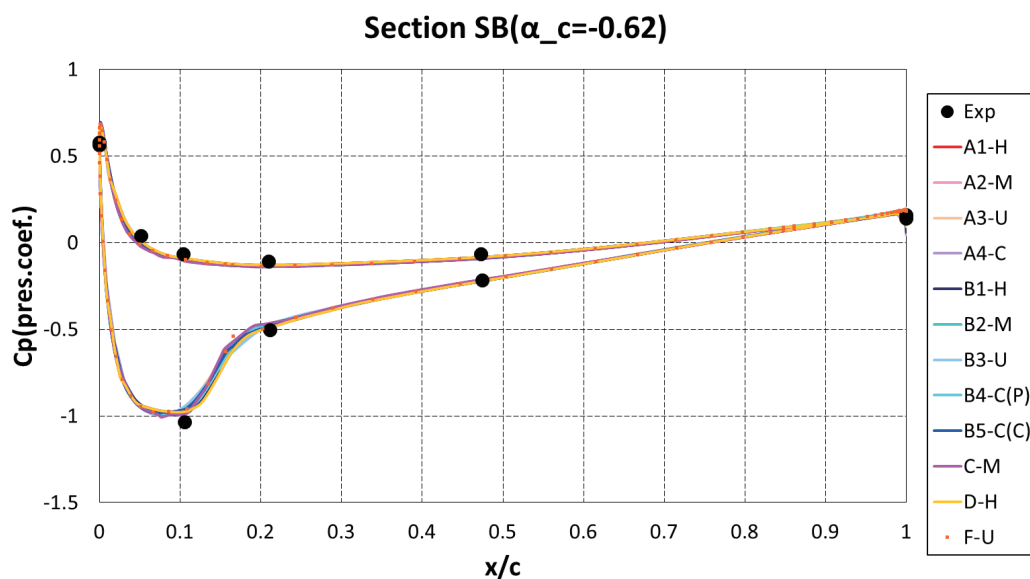
68

課題1-1: 主翼の C_p 分布(支持無)



69

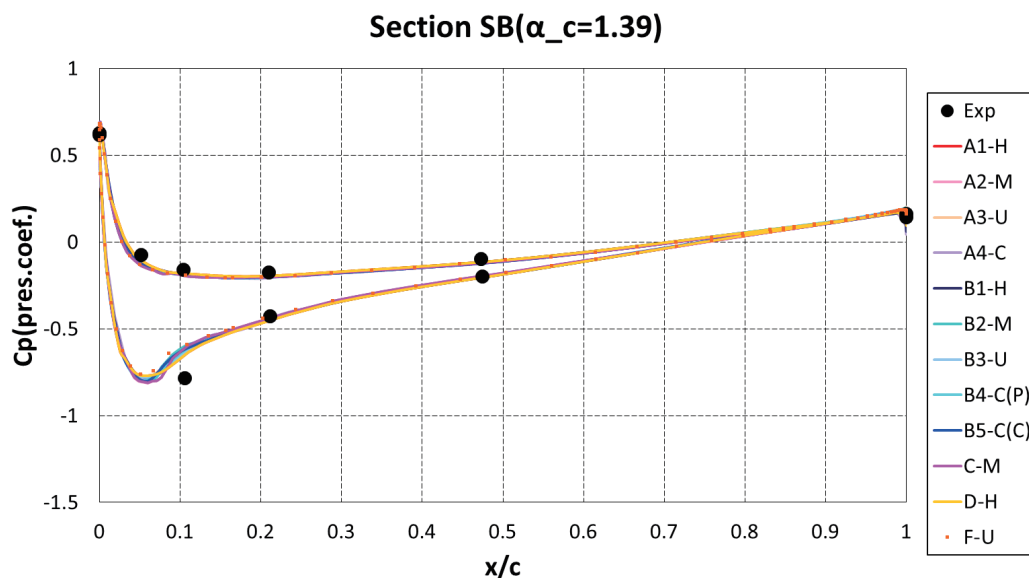
課題1-1: 尾翼の C_p 分布(支持無)



負圧のピークが実験と合っていない

70

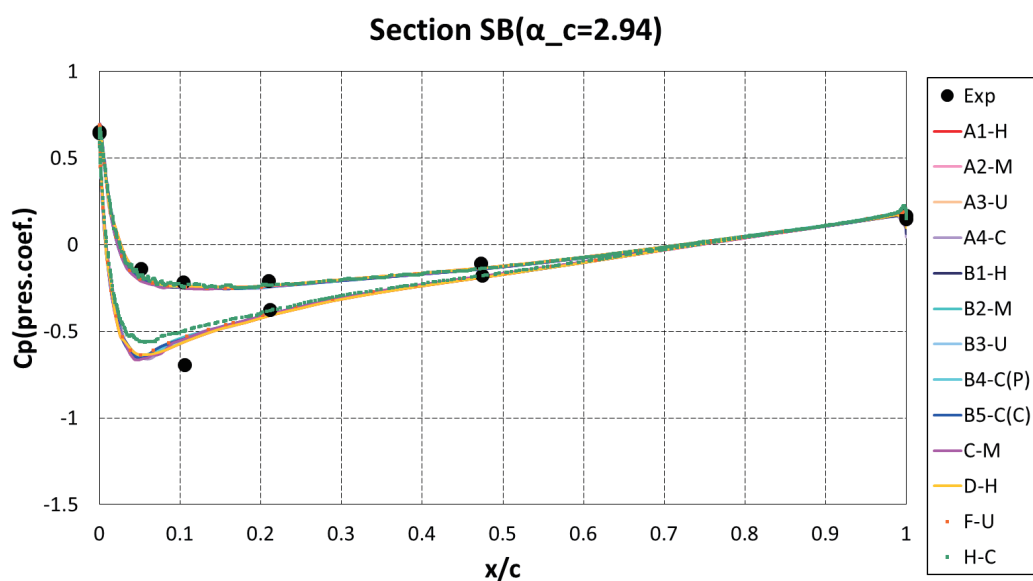
課題1-1: 尾翼の C_p 分布(支持無)



負圧のピークが実験と合っていない

71

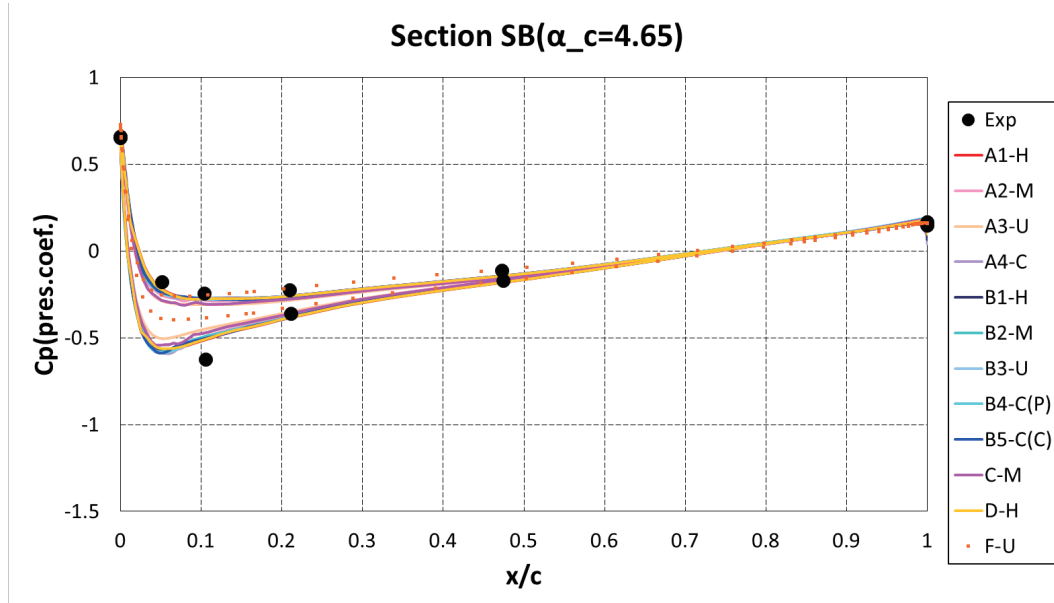
課題1-1: 尾翼の C_p 分布(支持無)



負圧のピークが実験と合っていない

72

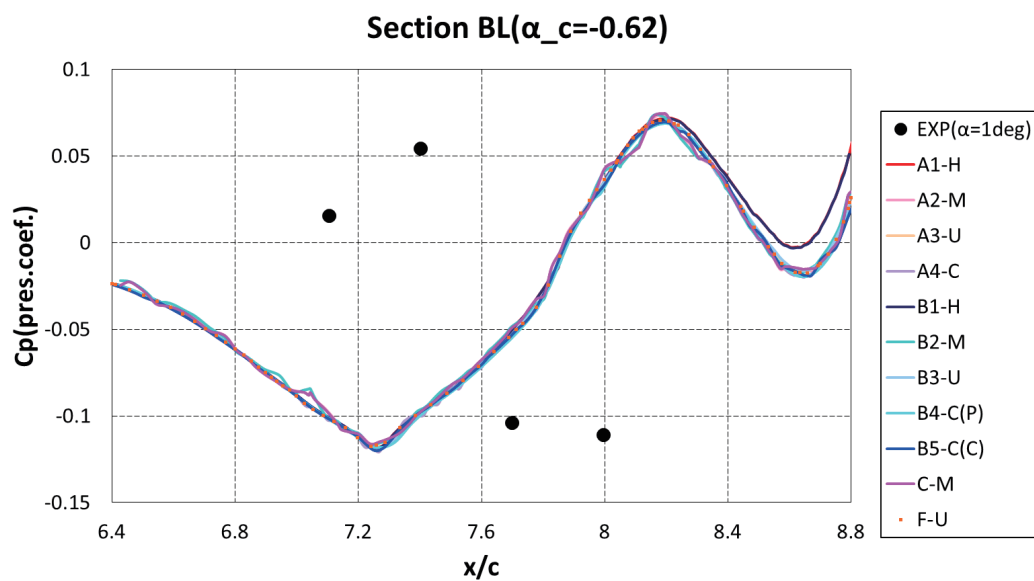
課題1-1: 尾翼の C_p 分布(支持無)



負圧のピークが実験と合っていない

73

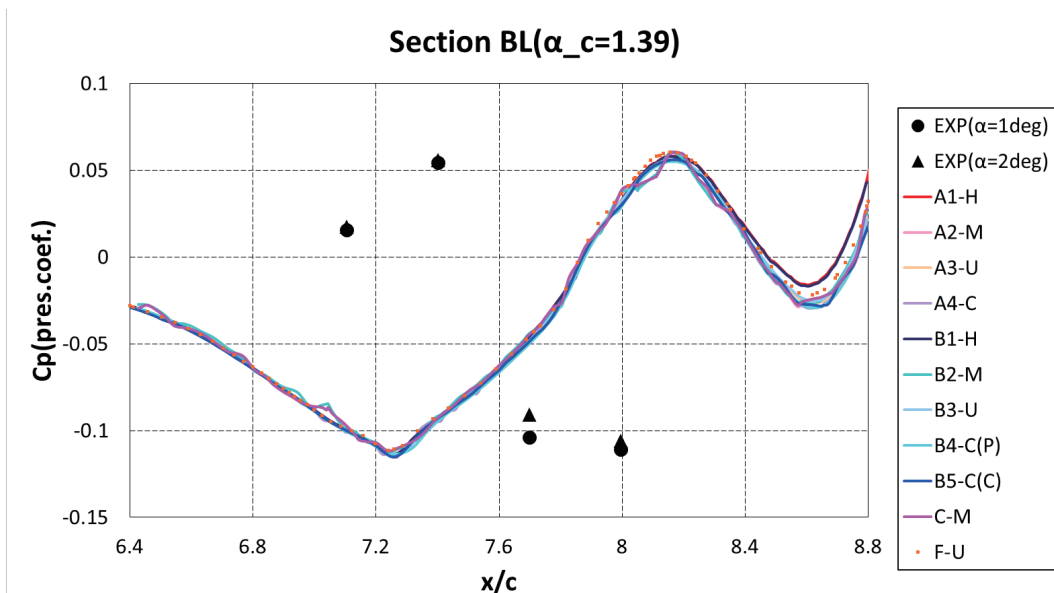
課題1-1: 後胴の C_p 分布(支持無)



支持の影響が大きい

74

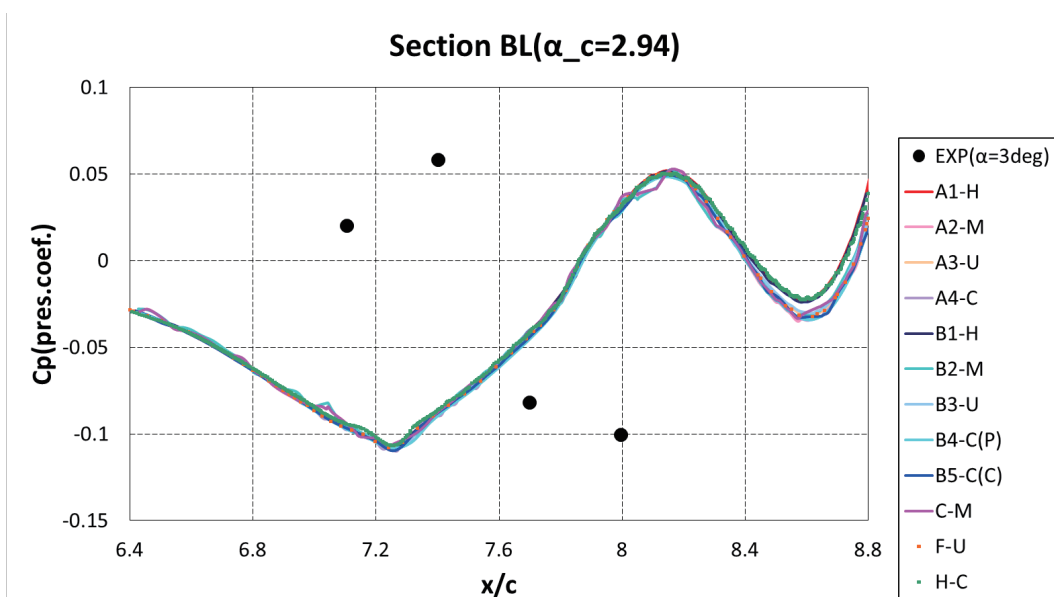
課題1-1: 後胴の C_p 分布(支持無)



支持の影響が大きい

75

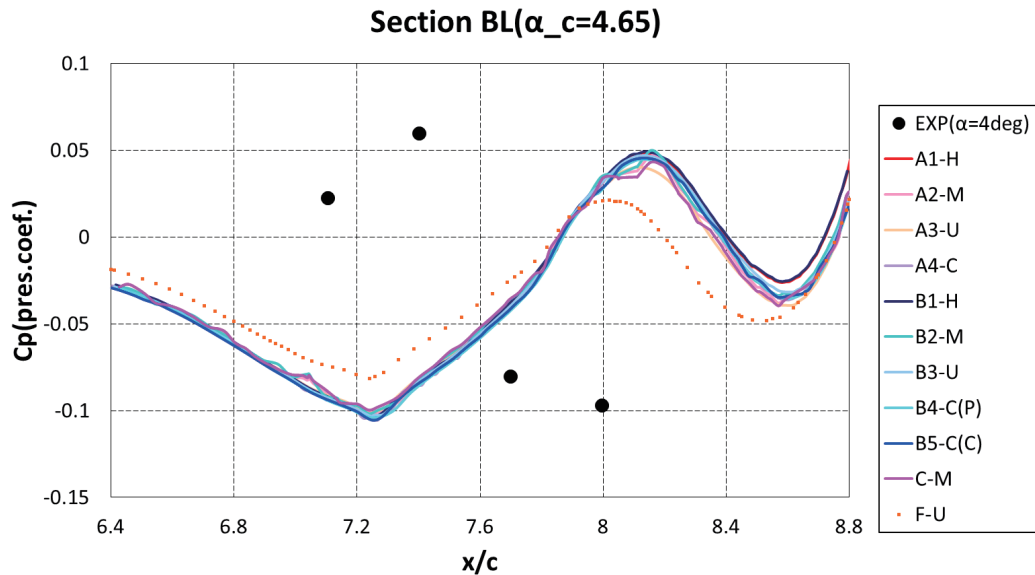
課題1-1: 後胴の C_p 分布(支持無)



支持の影響が大きい

76

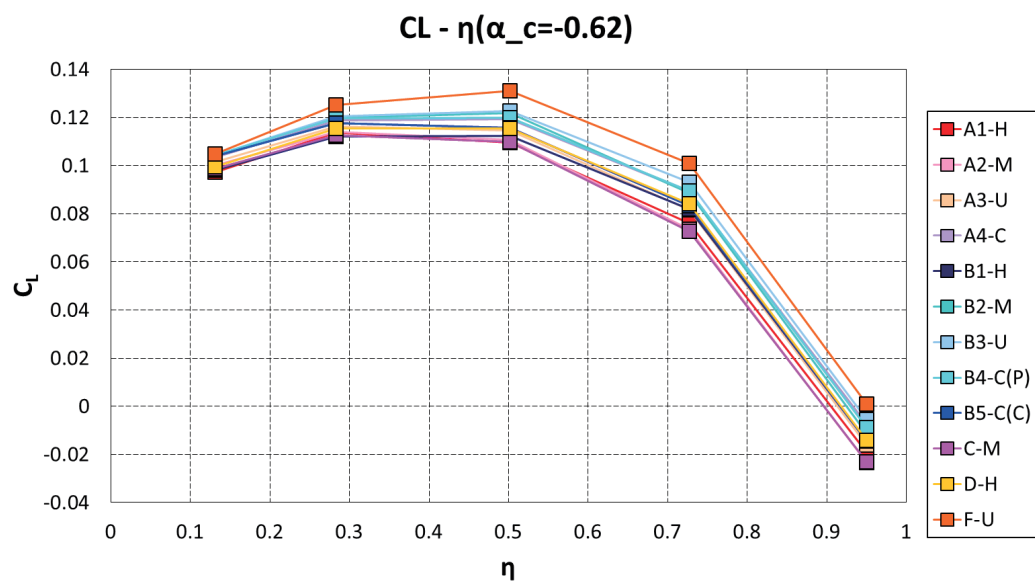
課題1-1: 後胴の C_p 分布(支持無)



支持の影響が大きい

77

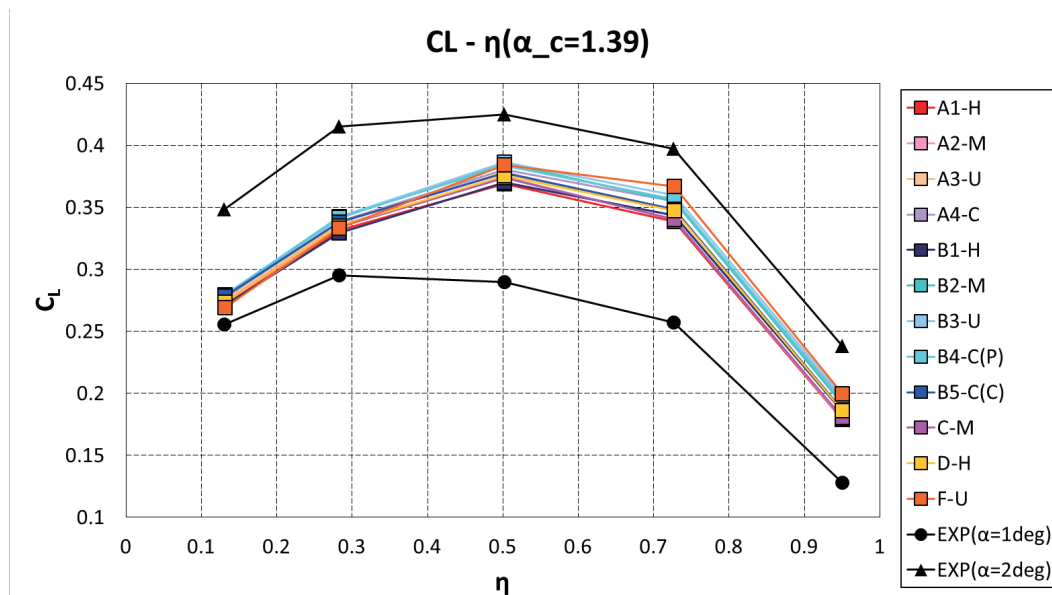
課題1-1: Section C_L (支持無)



$\alpha=4.65\text{deg}$ でばらつき

78

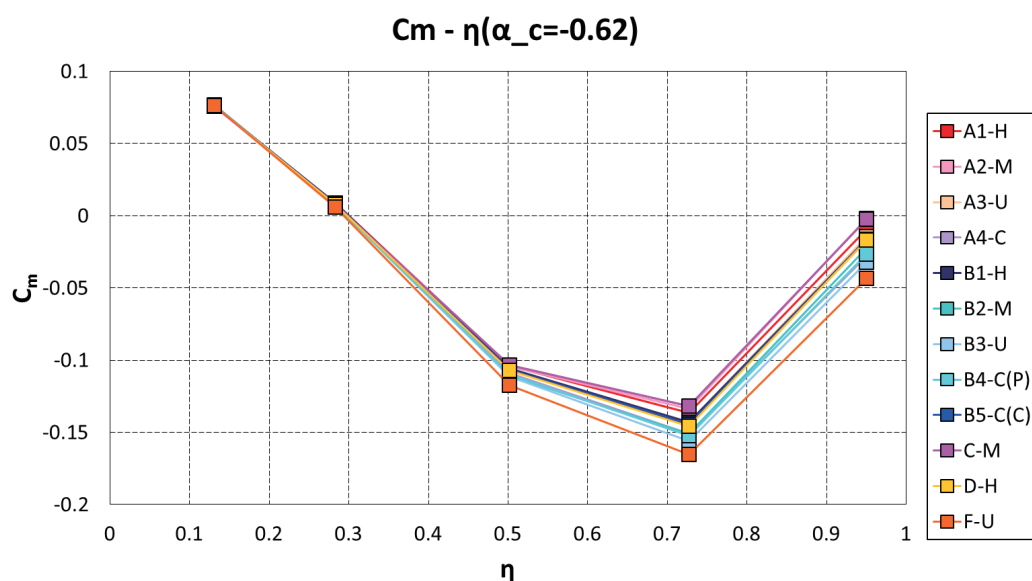
課題1-1: Section C_L (支持無)



$\alpha=4.65\text{deg}$ でばらつき

79

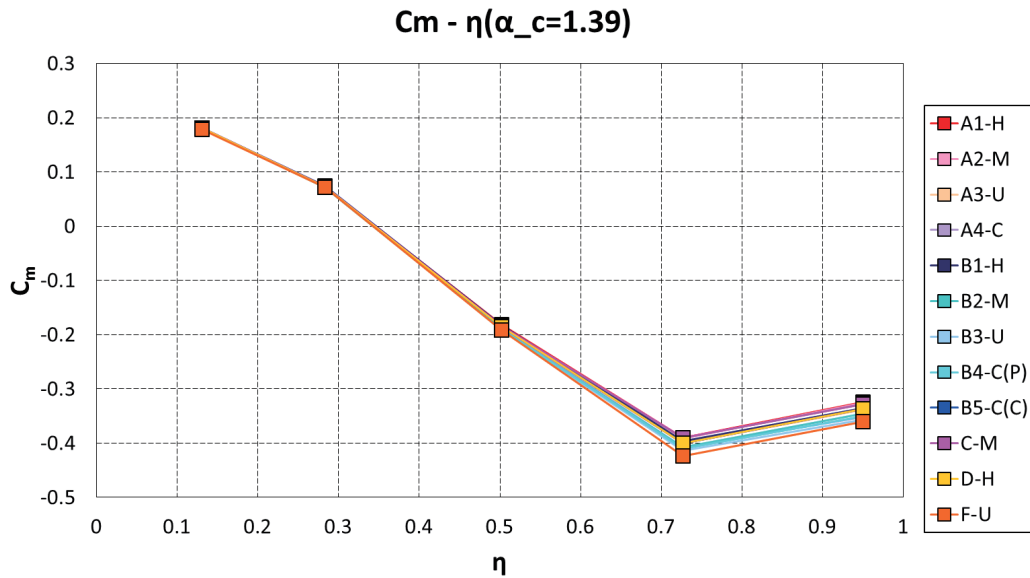
課題1-1: Section C_m (支持無)



翼端側でばらつき

80

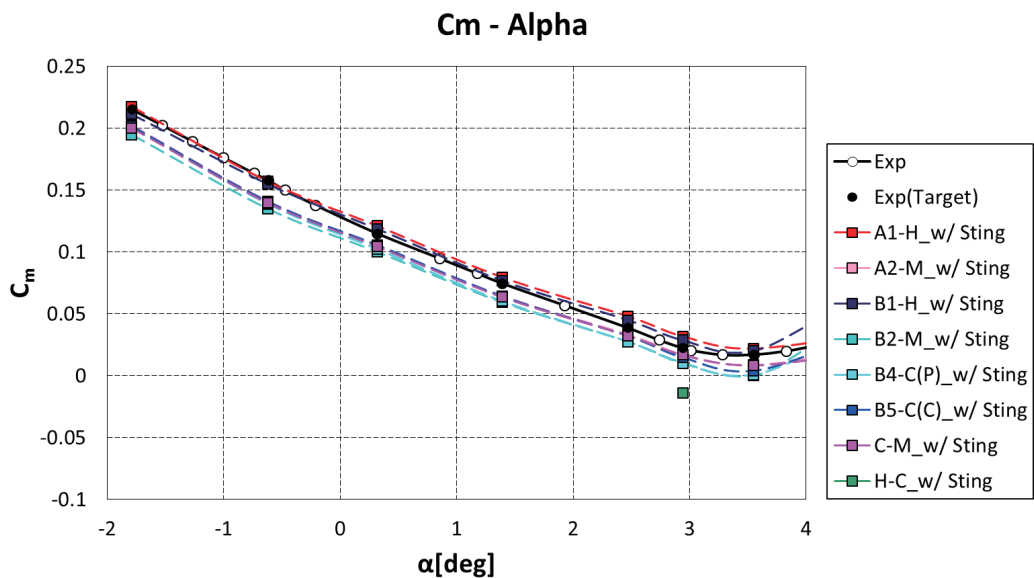
課題1-1: Section C_m (支持無)



翼端側でばらつき

81

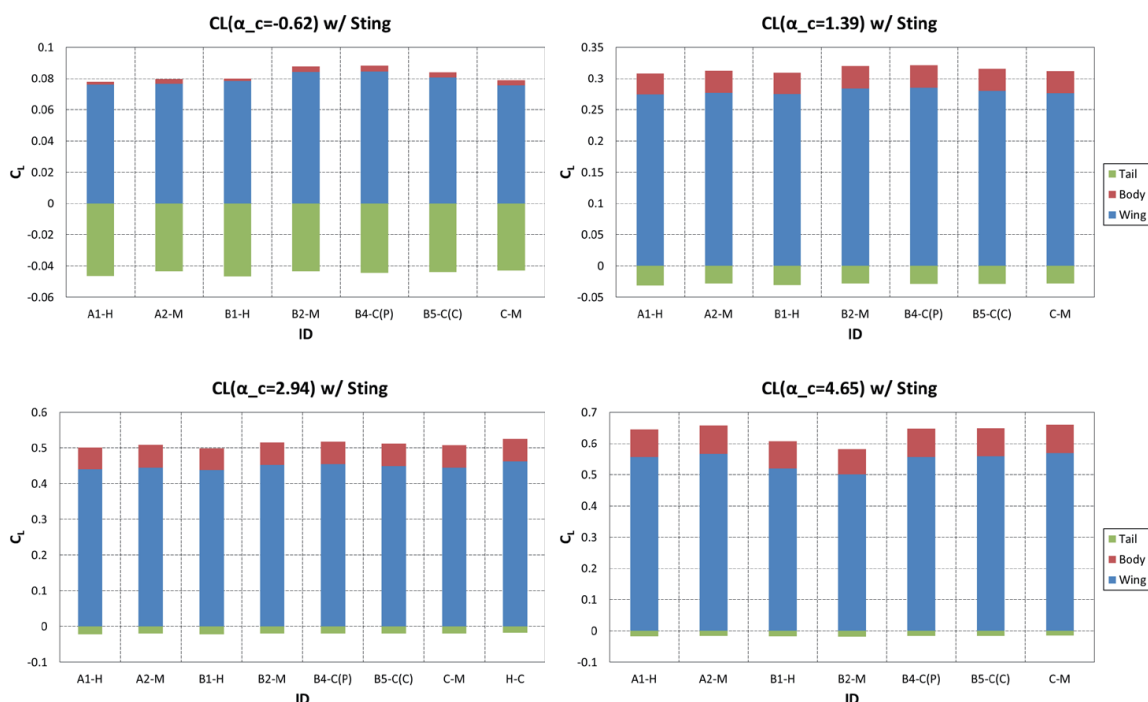
課題1-2: 低迎角の $C_m - \alpha$ (支持有)



支持有にすることで実験に近づく
HexaGridの結果は他の格子より大きめ

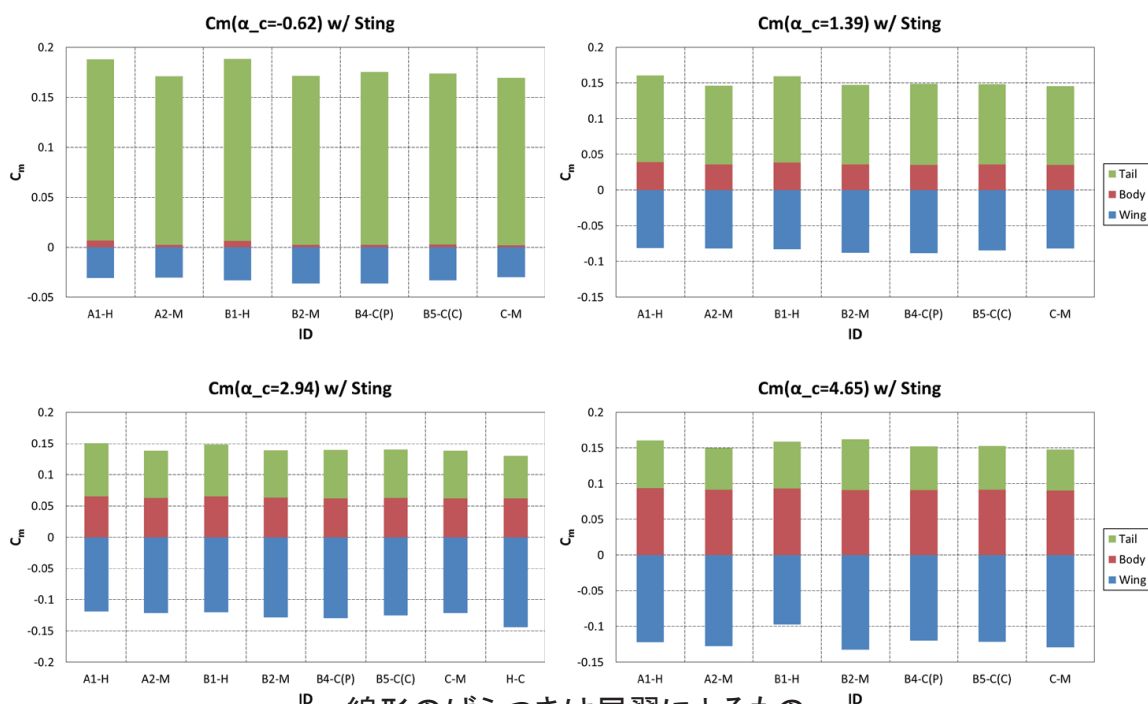
82

課題1-2: パーツ別の C_L (支持有)



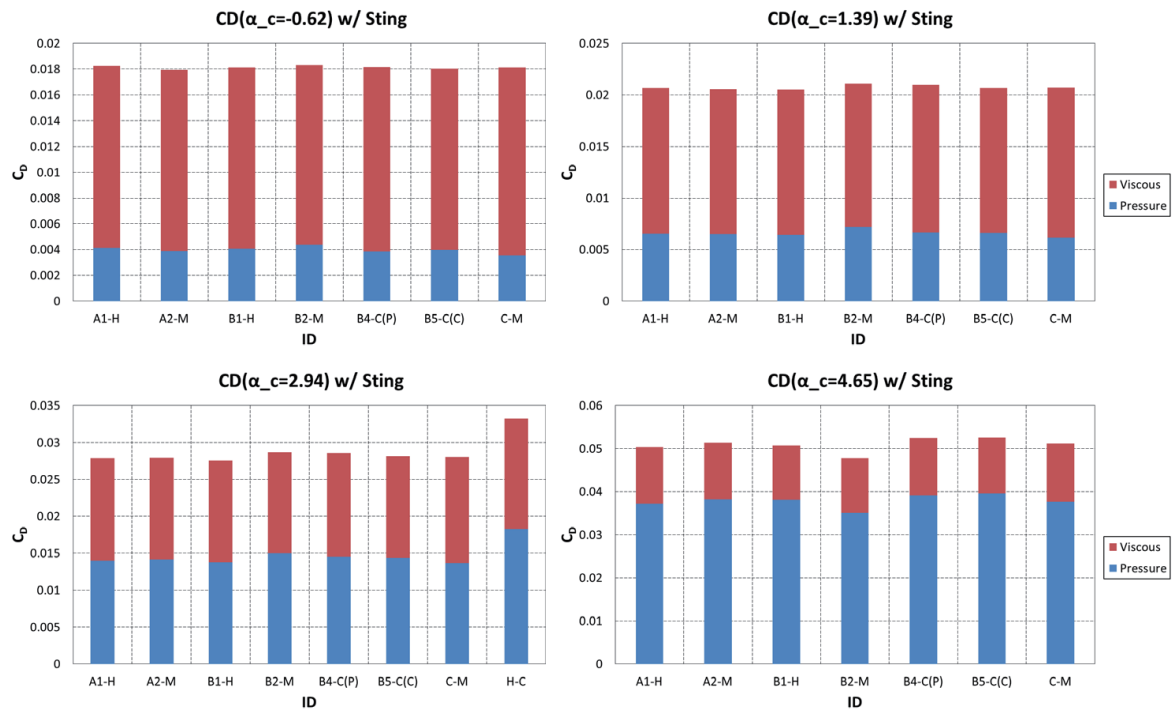
CLがずれている低迎角では、主翼: プラス、尾翼: マイナス、胴体: 0₈₃

課題1-2: パーツ別の C_m (支持有)



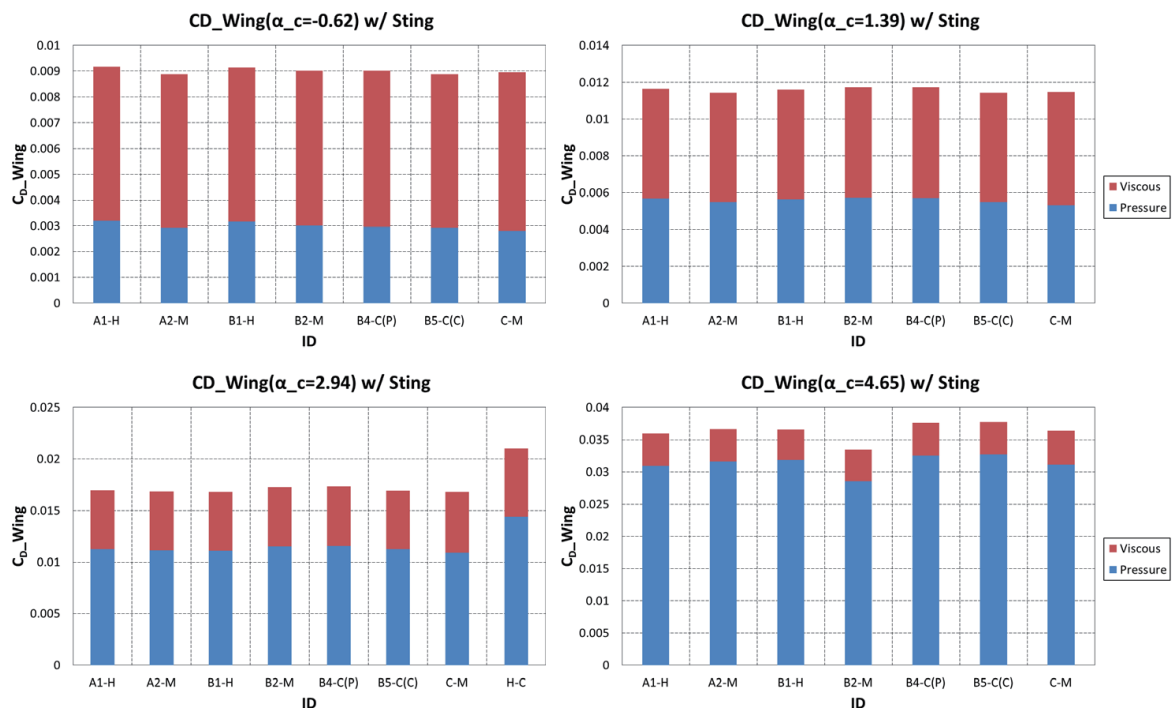
線形のばらつきは尾翼によるもの
HexaGridは他の格子より大きめ

課題1-2: 圧力・摩擦別の C_D (支持有)



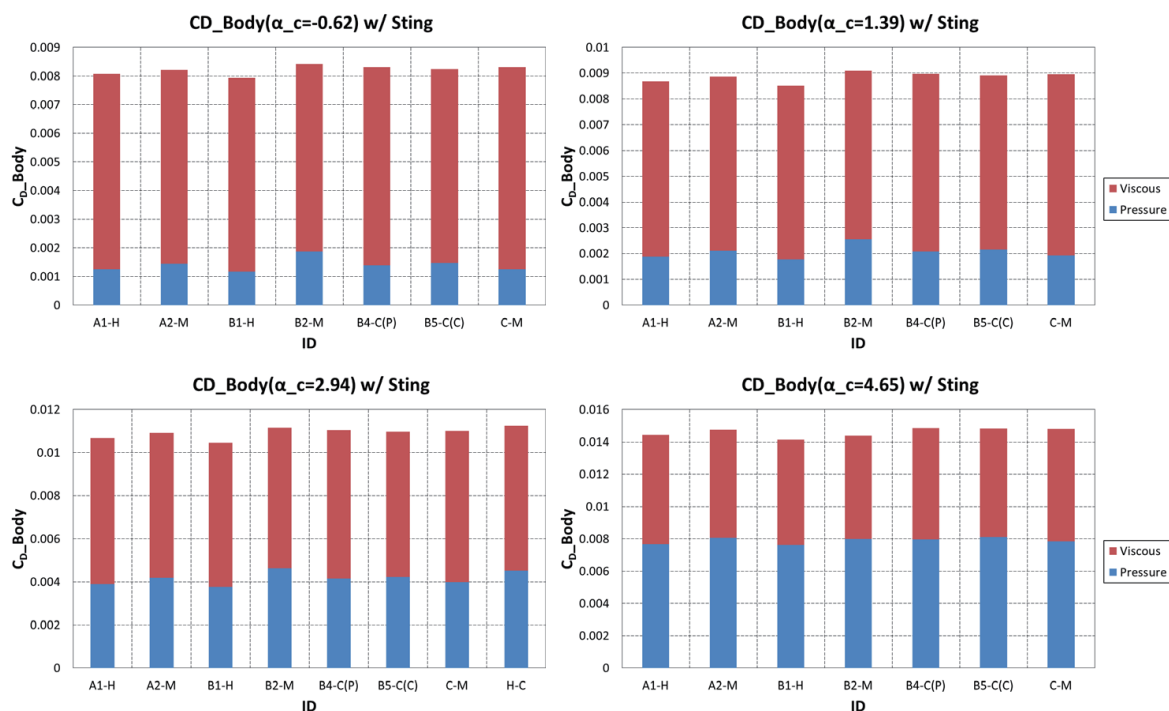
85

課題1-2: 圧力・摩擦別の C_D (支持有)



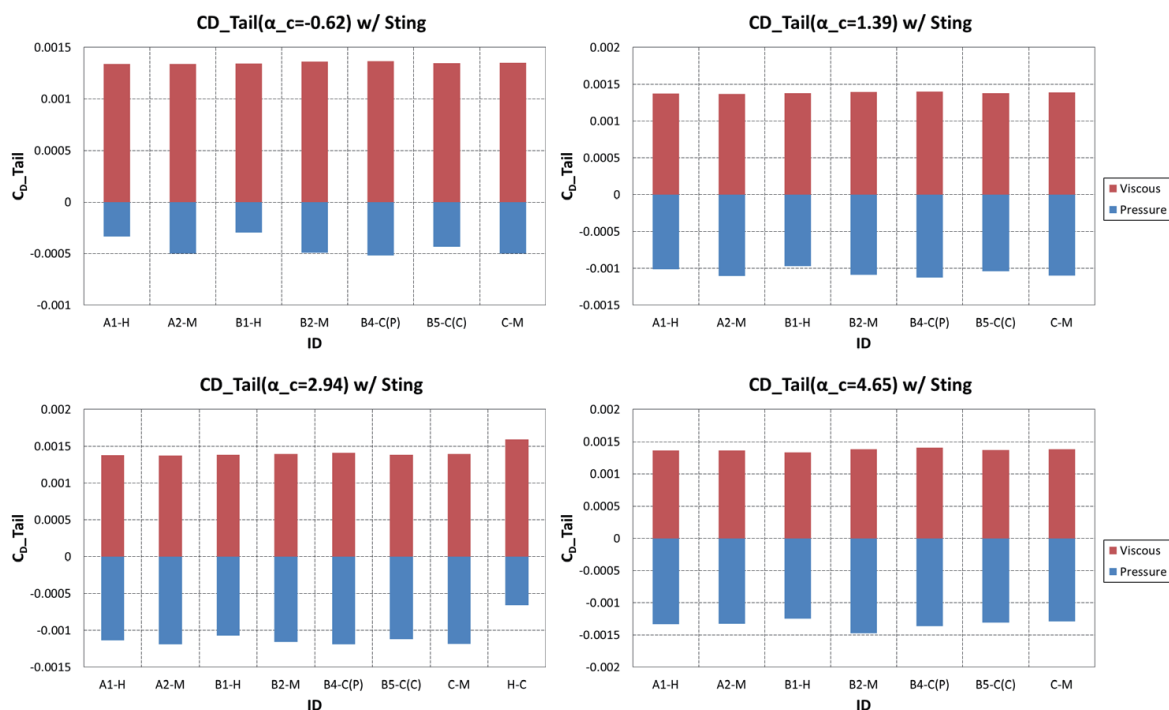
86

課題1-2: 圧力・摩擦別の C_D (支持有)



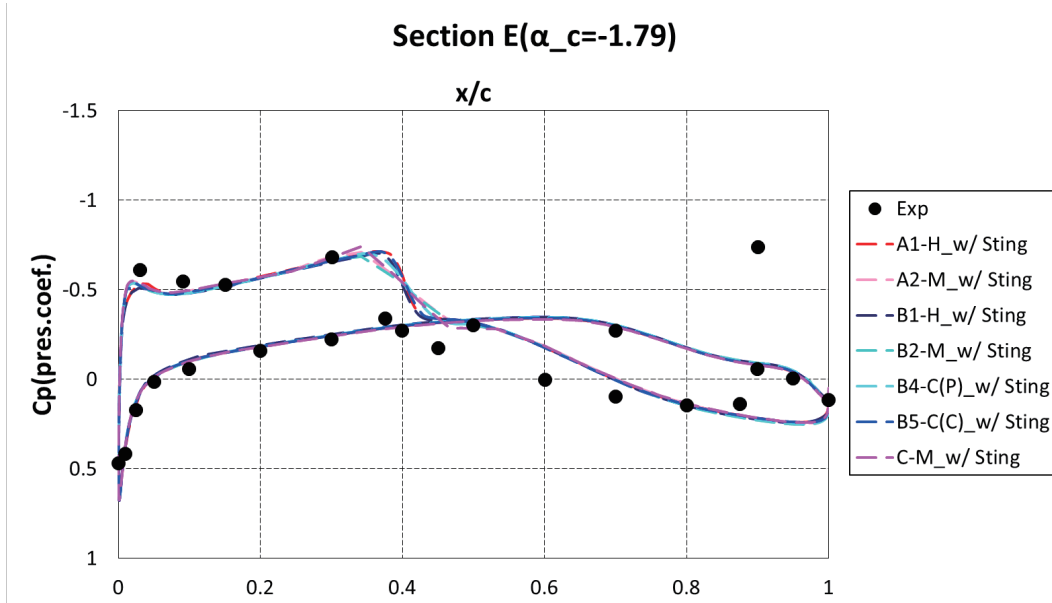
87

課題1-2: 圧力・摩擦別の C_D (支持有)



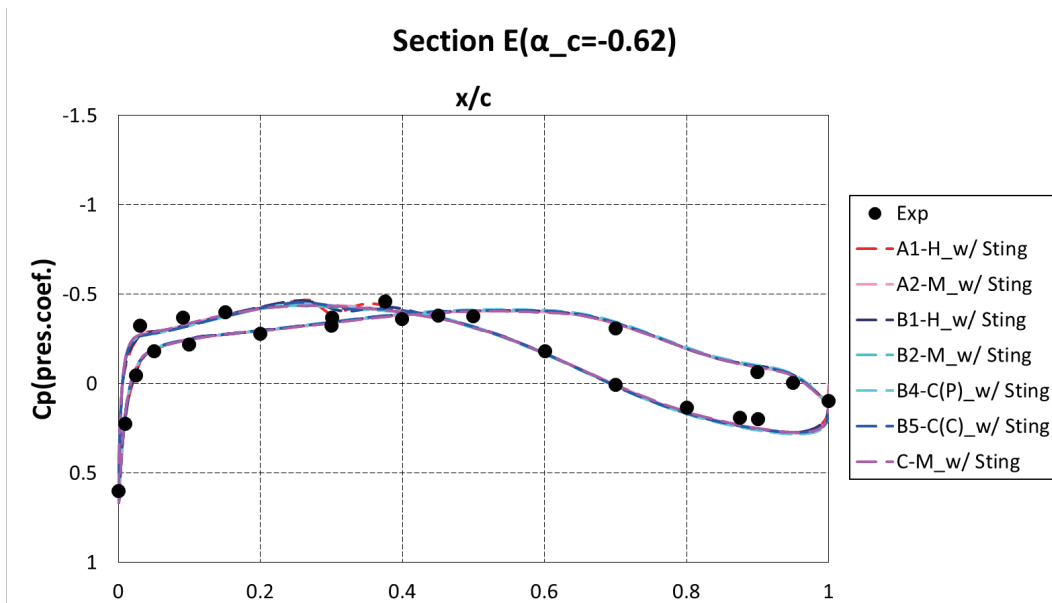
88

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



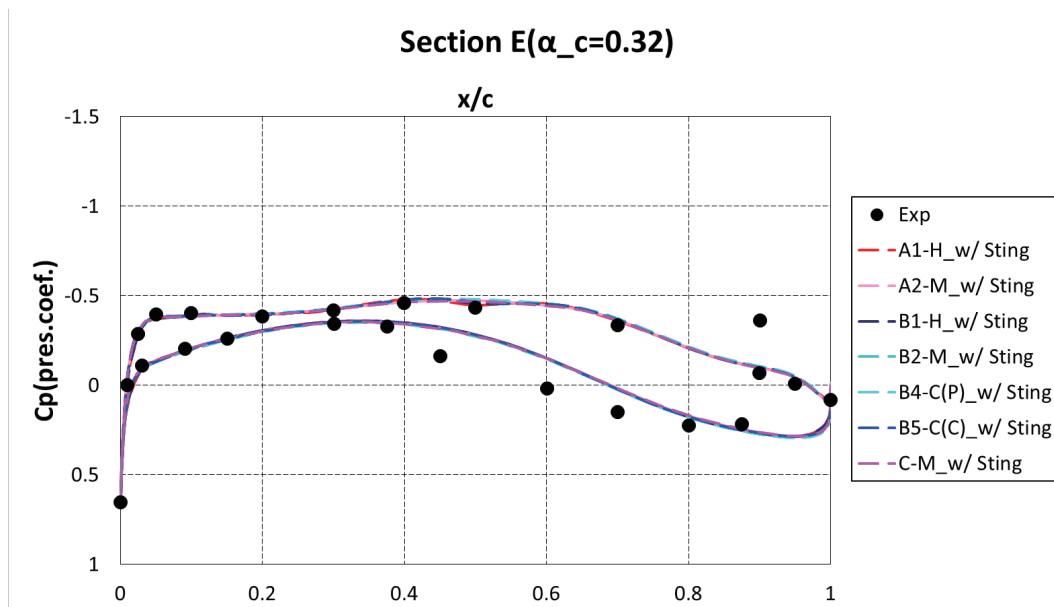
89

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



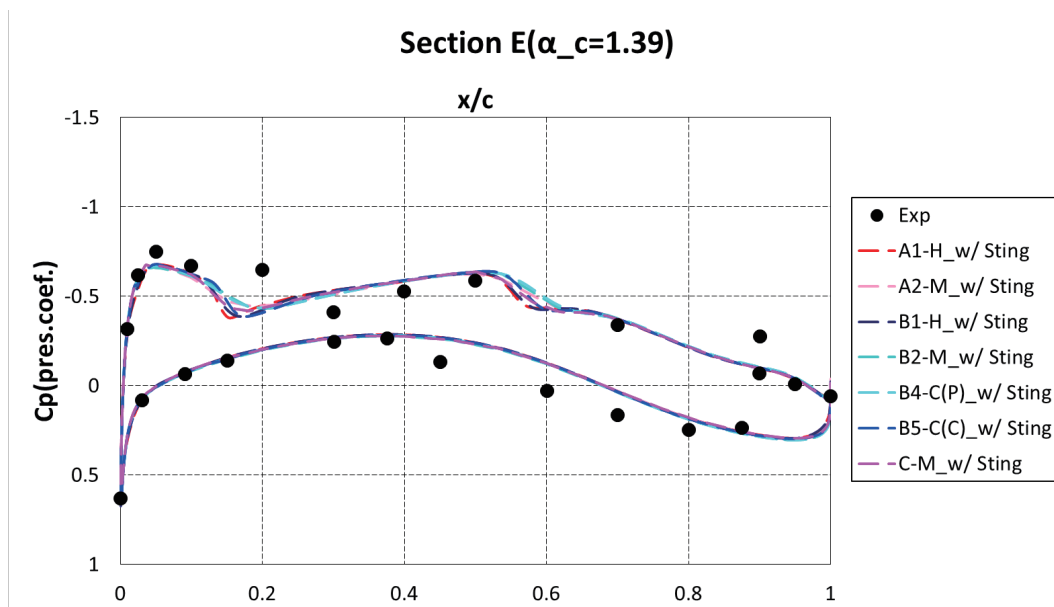
90

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



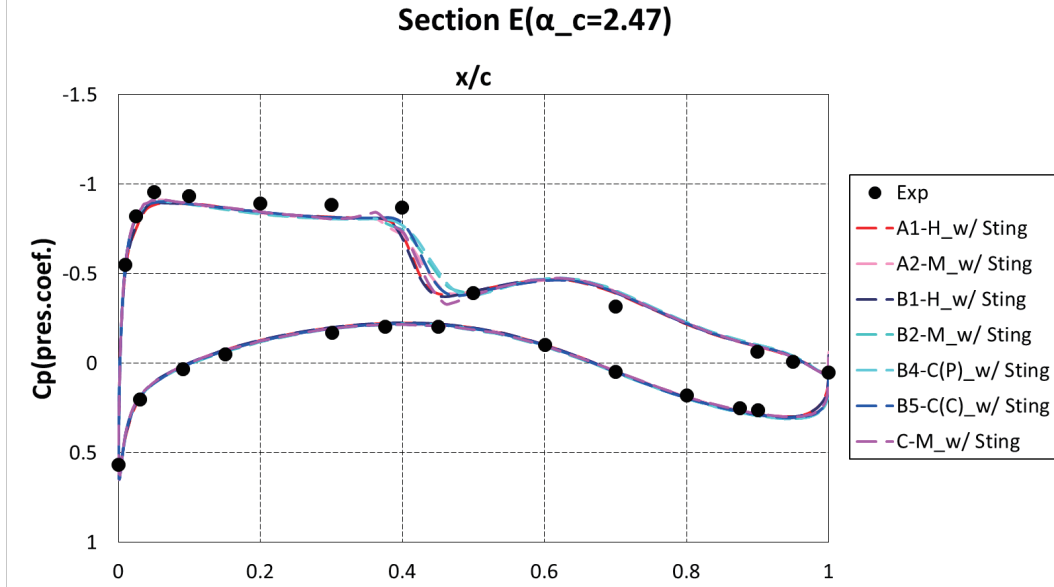
91

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



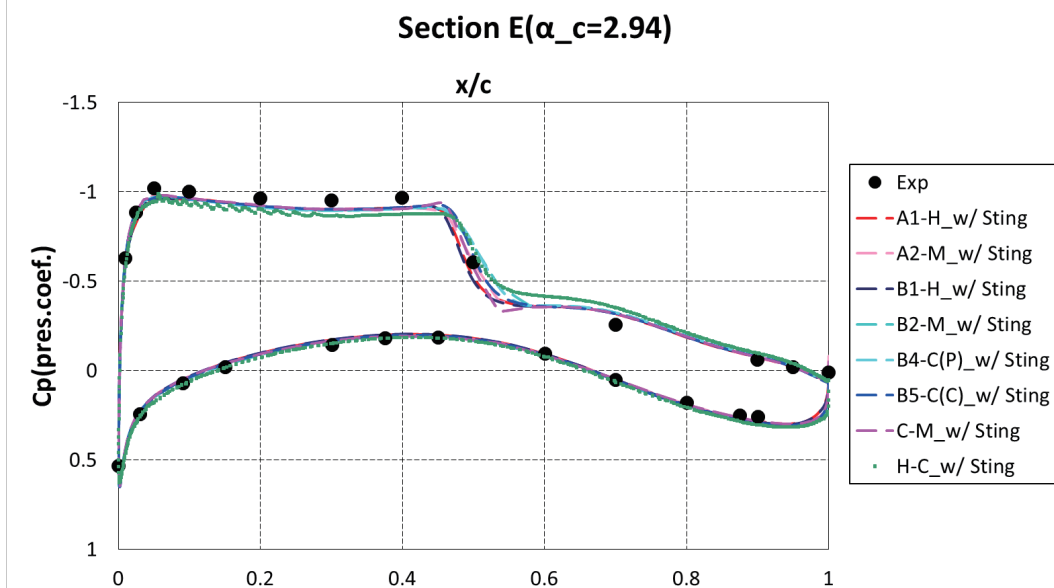
92

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



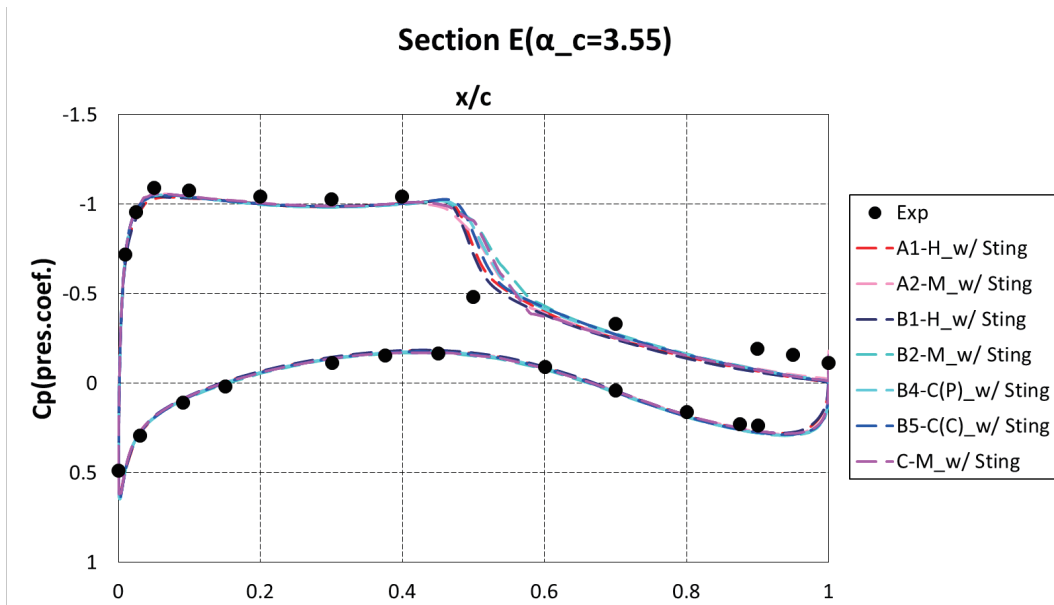
93

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



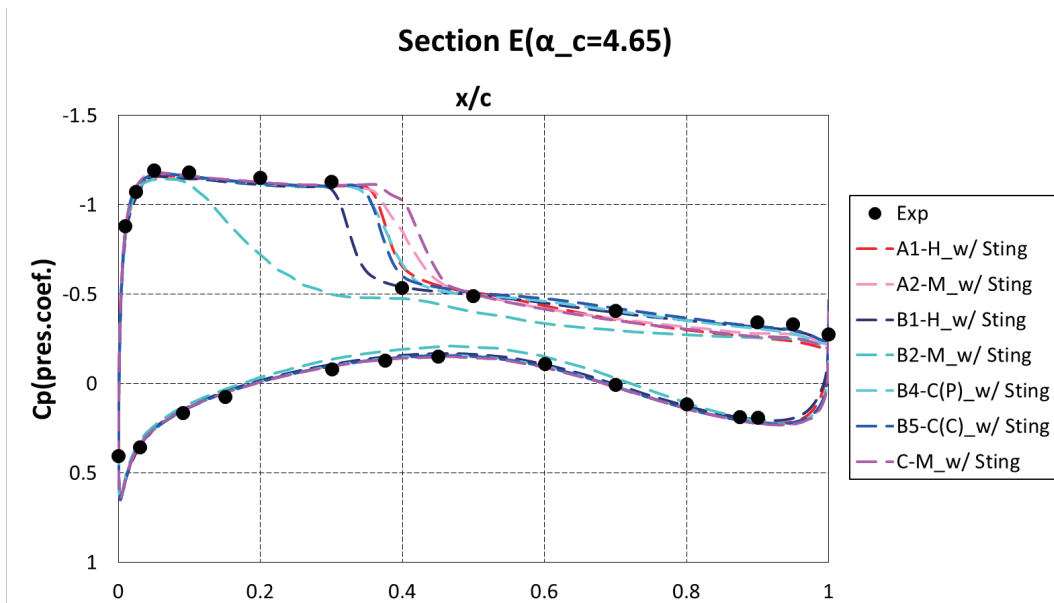
94

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



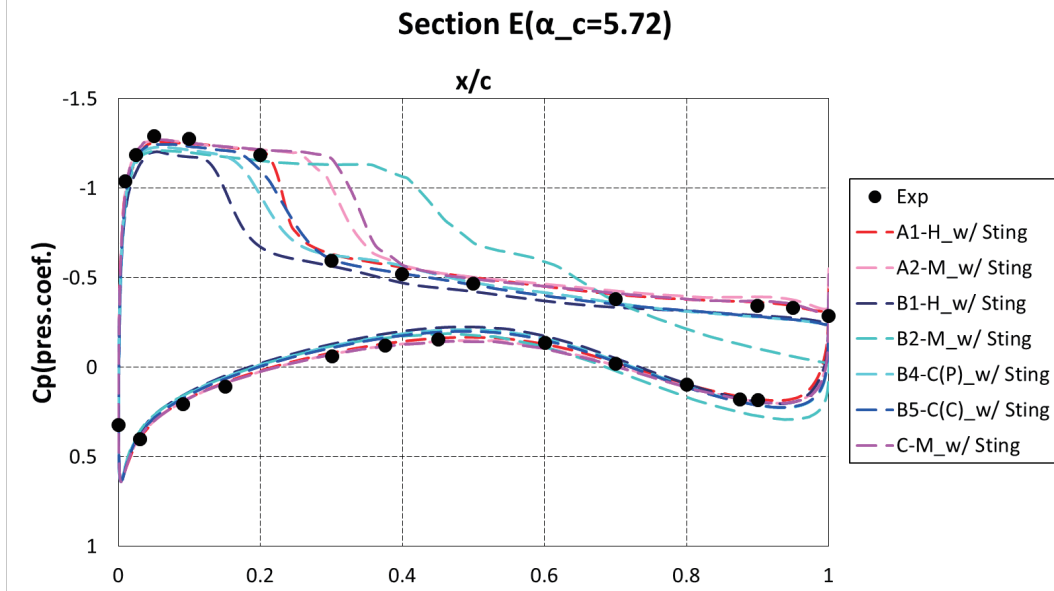
95

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



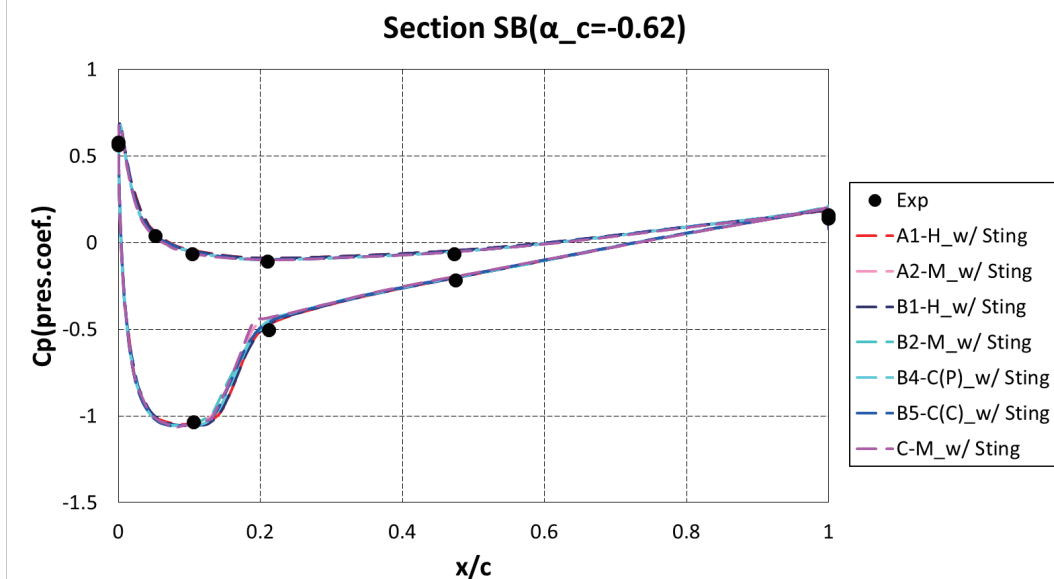
96

課題1-2: 主翼の C_p 分布(支持有)



97

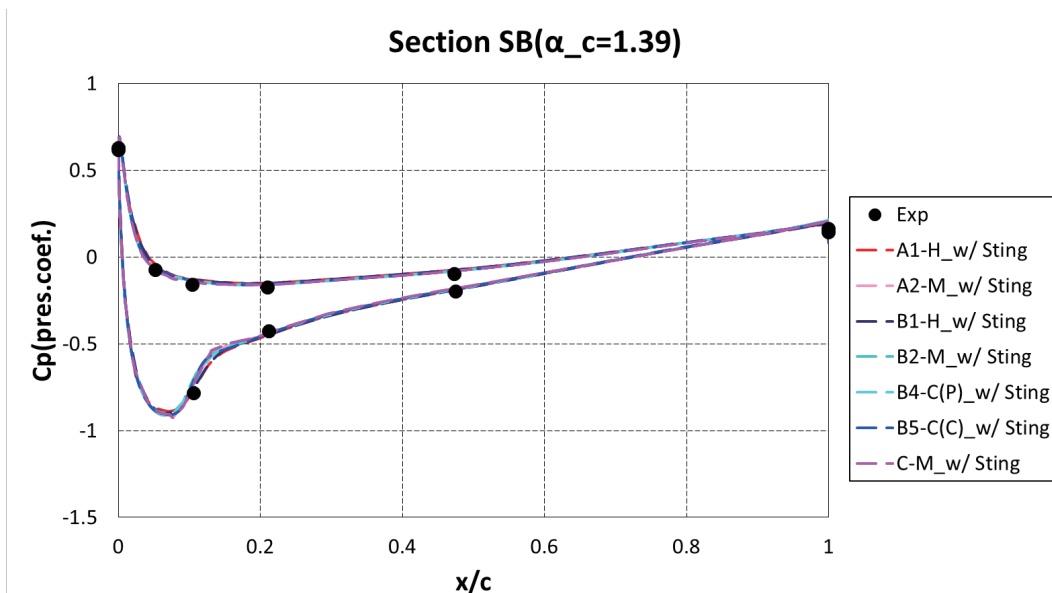
課題1-2: 尾翼の C_p 分布(支持有)



支持有にすることで負圧のピークも実験に近づく

98

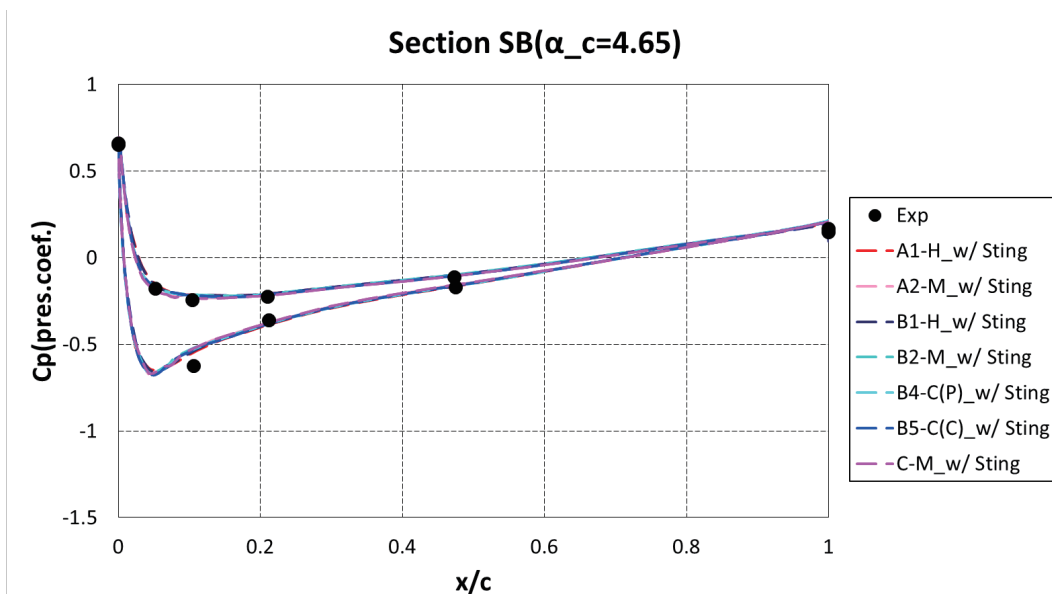
課題1-2: 尾翼の C_p 分布(支持有)



支持有にすることで負圧のピークも実験に近づく

99

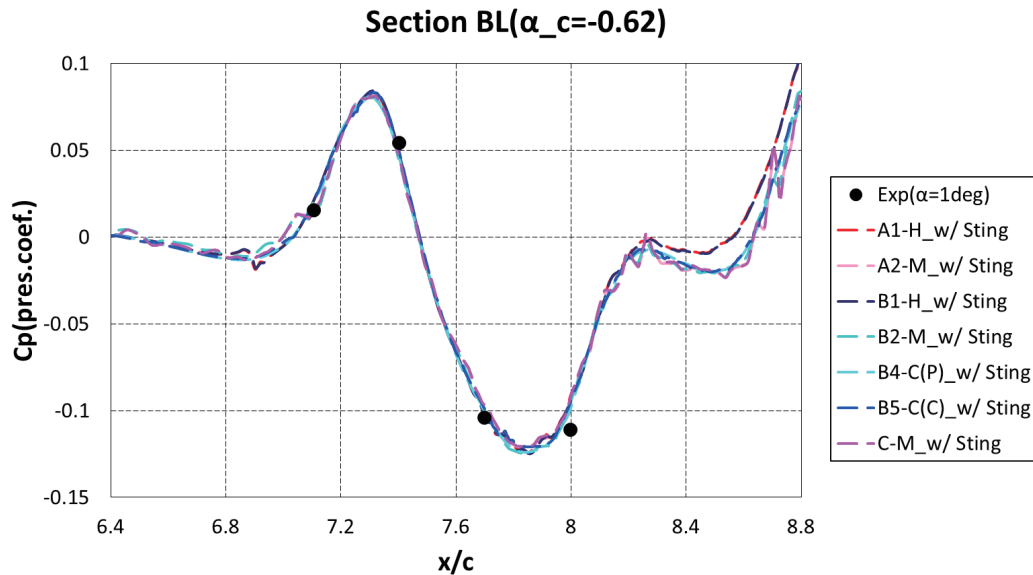
課題1-2: 尾翼の C_p 分布(支持有)



支持有にすることで負圧のピークも実験に近づく

100

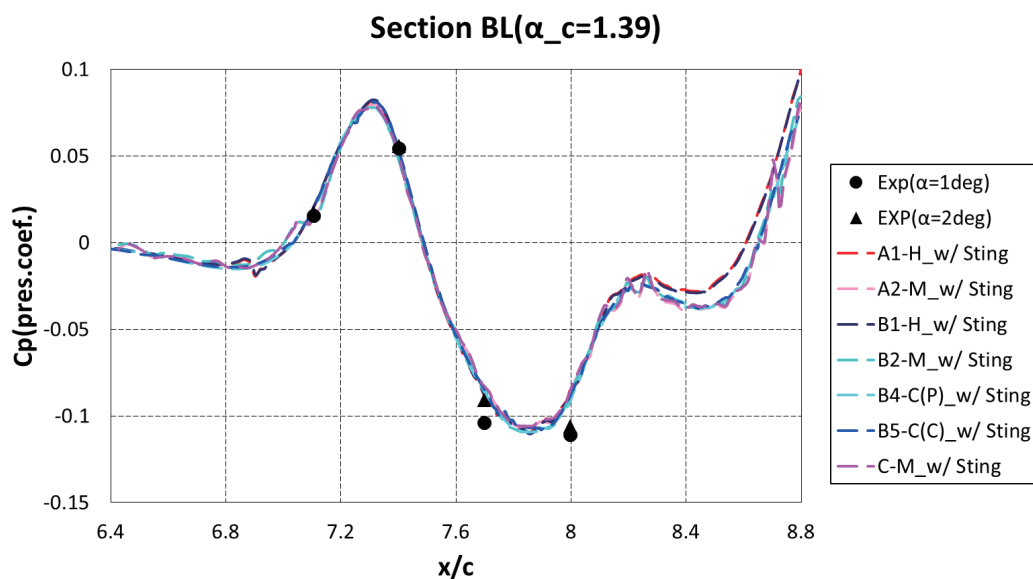
課題1-2: 後胴の C_p 分布(支持有)



支持有にすることで実験と同じような分布

101

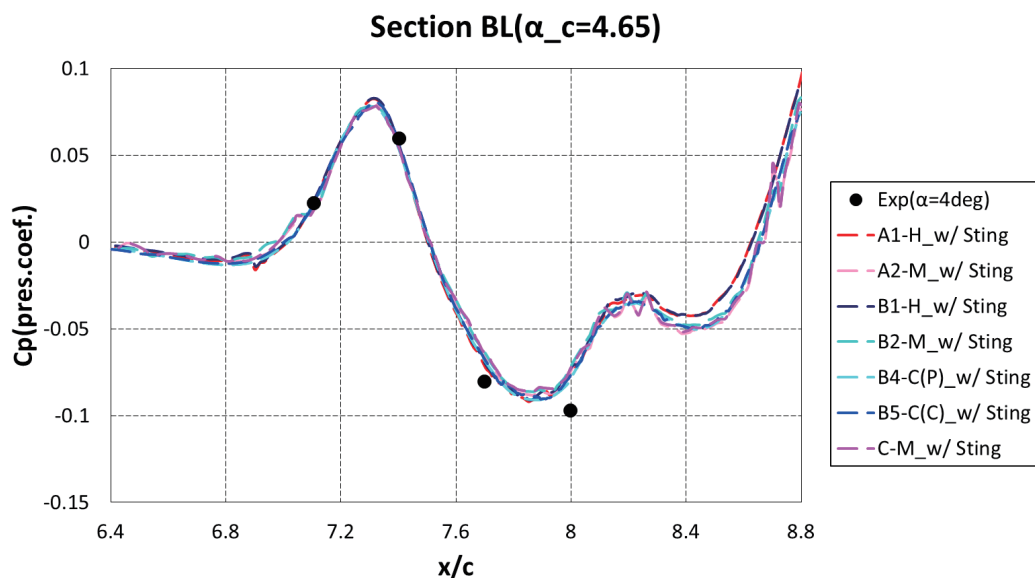
課題1-2: 後胴の C_p 分布(支持有)



支持有にすることで実験と同じような分布

102

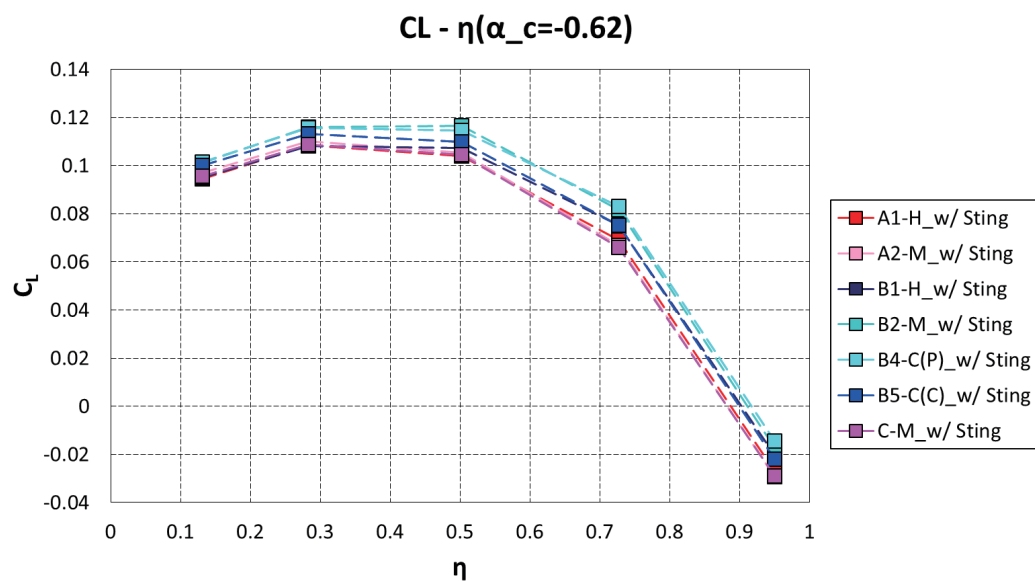
課題1-2: 後胴の C_p 分布(支持有)



支持有にすることで実験と同じような分布

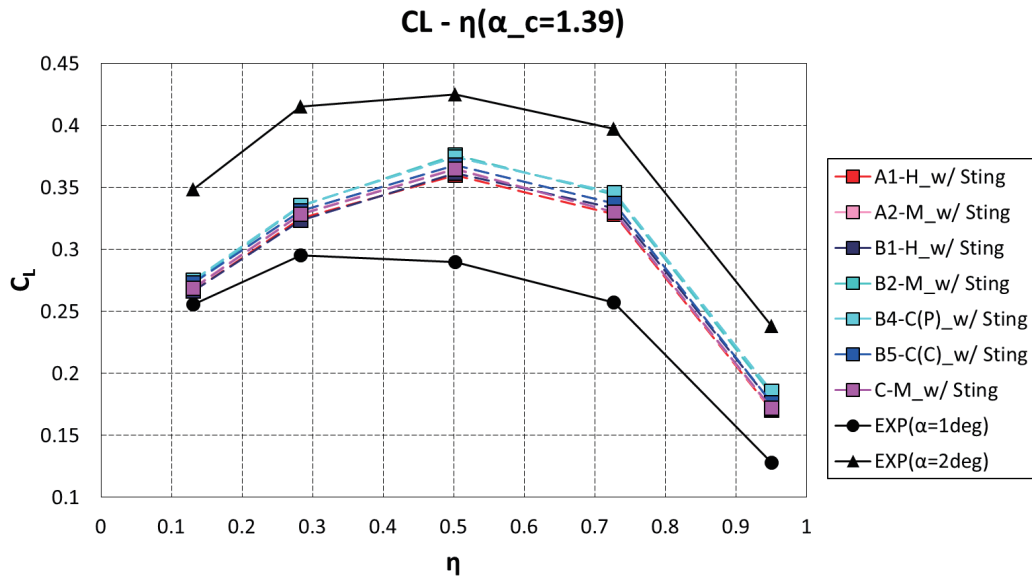
103

課題1-2: Section C_L (支持有)

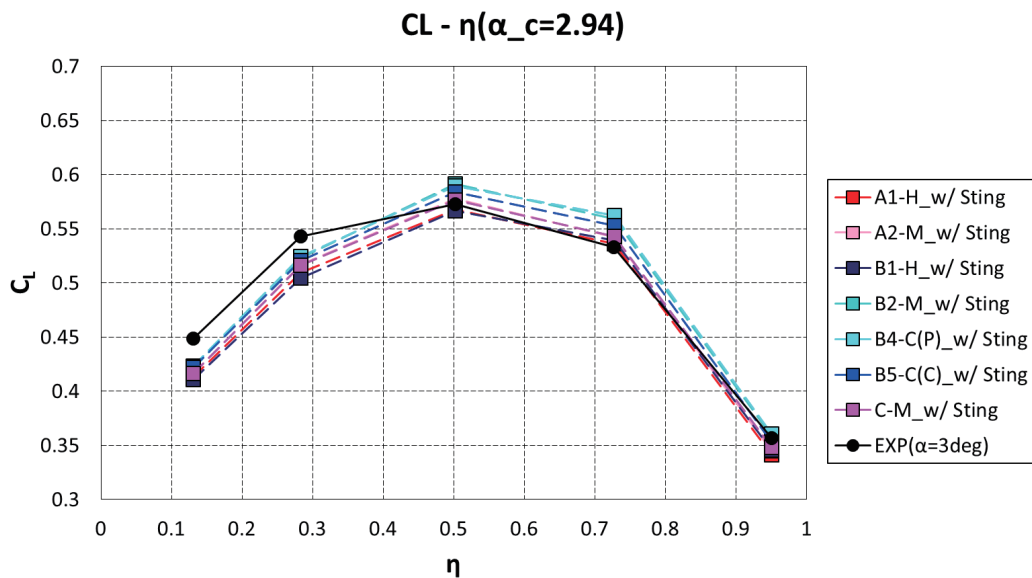


$\alpha=4.65\text{deg}$ でばらつき

104

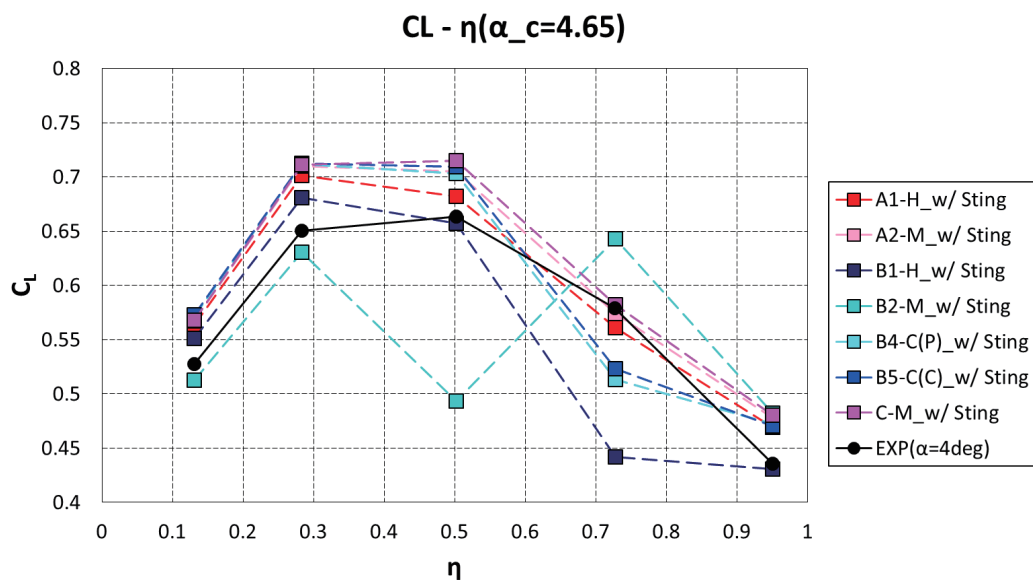
課題1-2: Section C_L (支持有)

105

課題1-2: Section C_L (支持有)

106

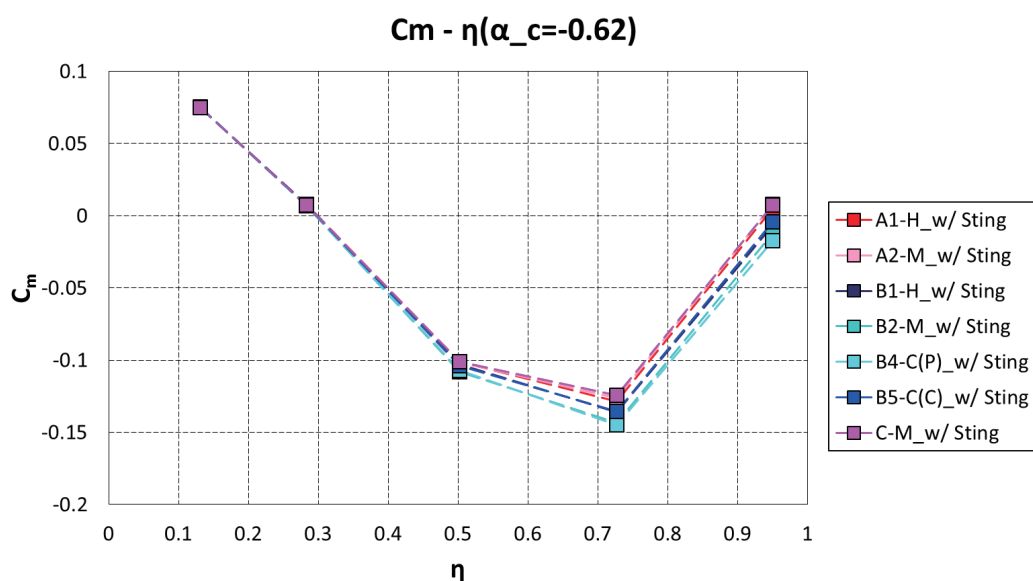
課題1-2: Section C_L (支持有)



$\alpha = 4.65\text{deg}$ でばらつき

107

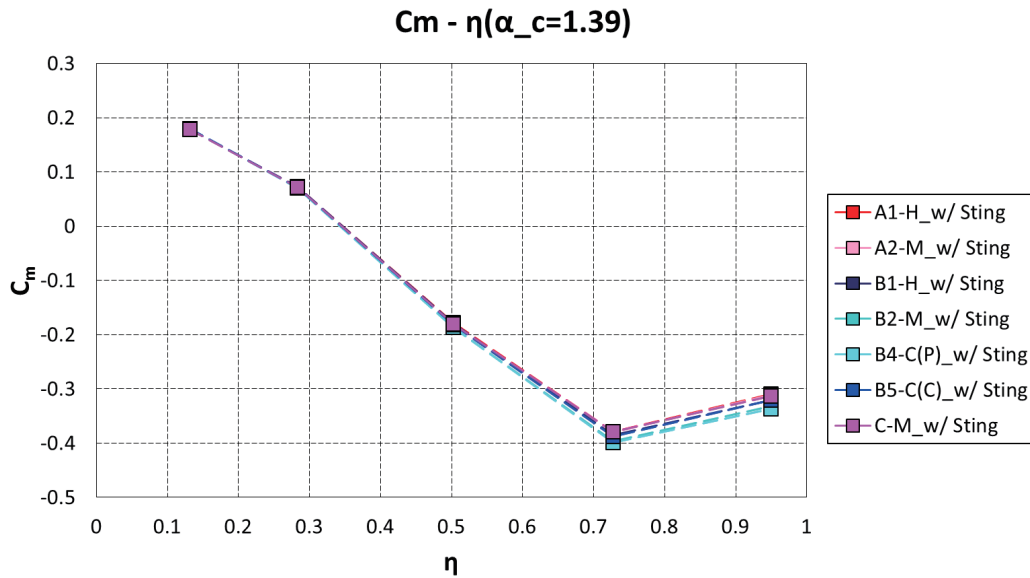
課題1-2: Section C_m (支持有)



翼端側でばらつき

108

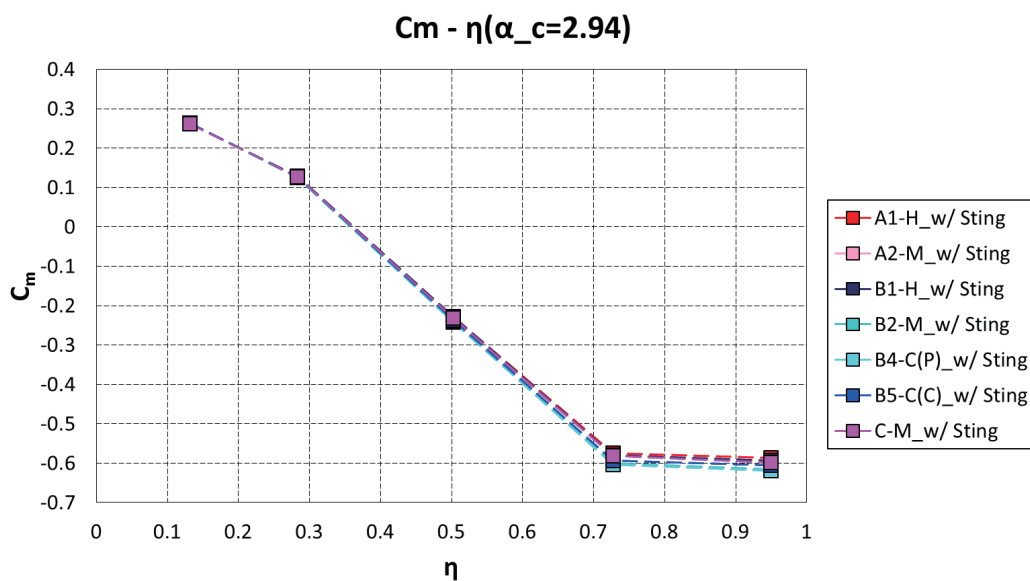
課題1-2: Section C_m (支持有)



翼端側でばらつき

109

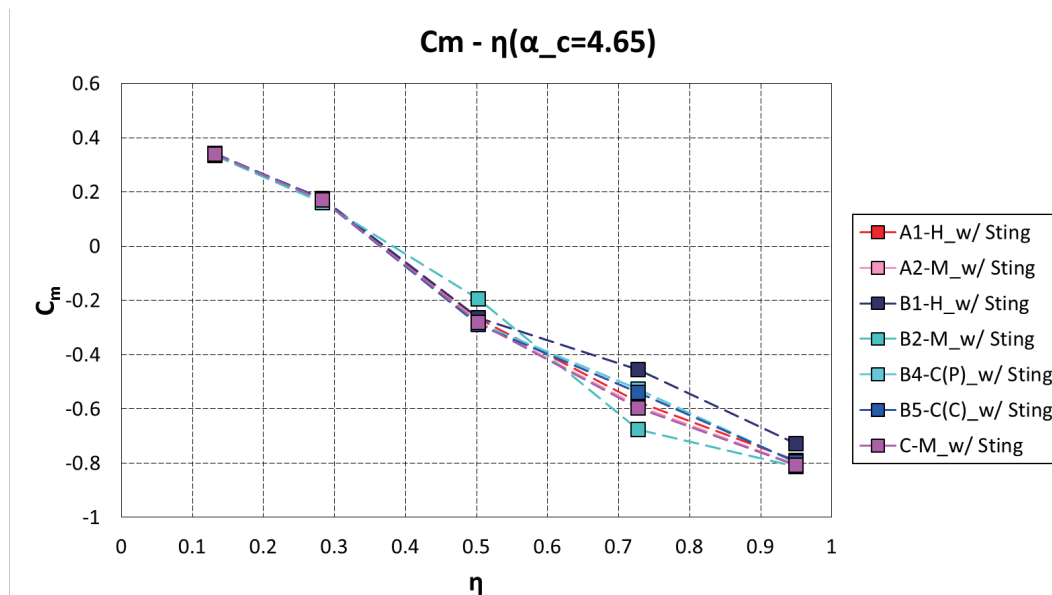
課題1-2: Section C_m (支持有)



翼端側でばらつき

110

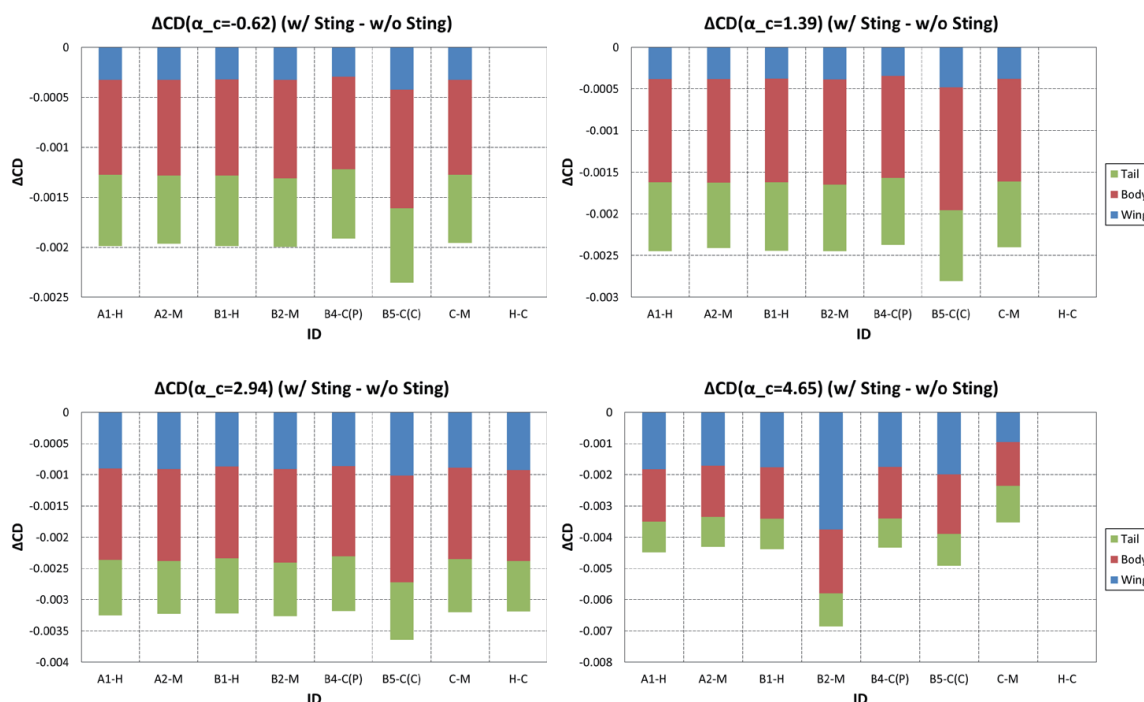
課題1-2: Section C_m (支持有)



翼端側でばらつき

111

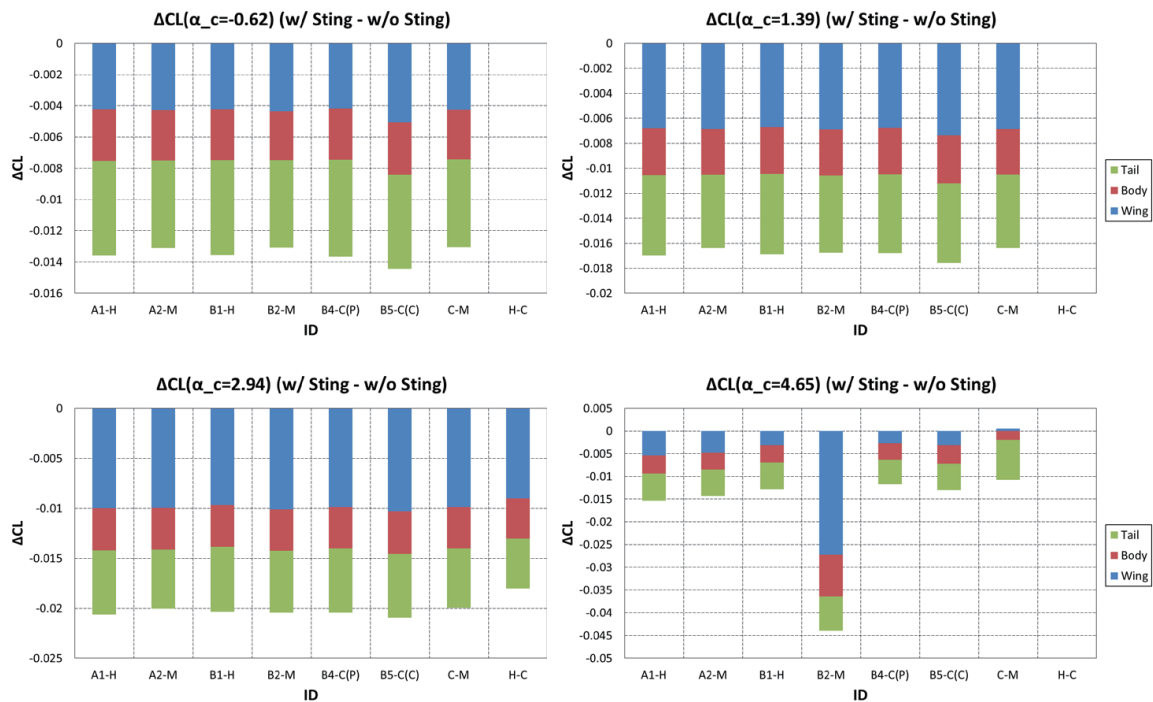
支持干渉量 (支持有-支持無)



高迎角のばらつきは翼根剥離の影響？

112

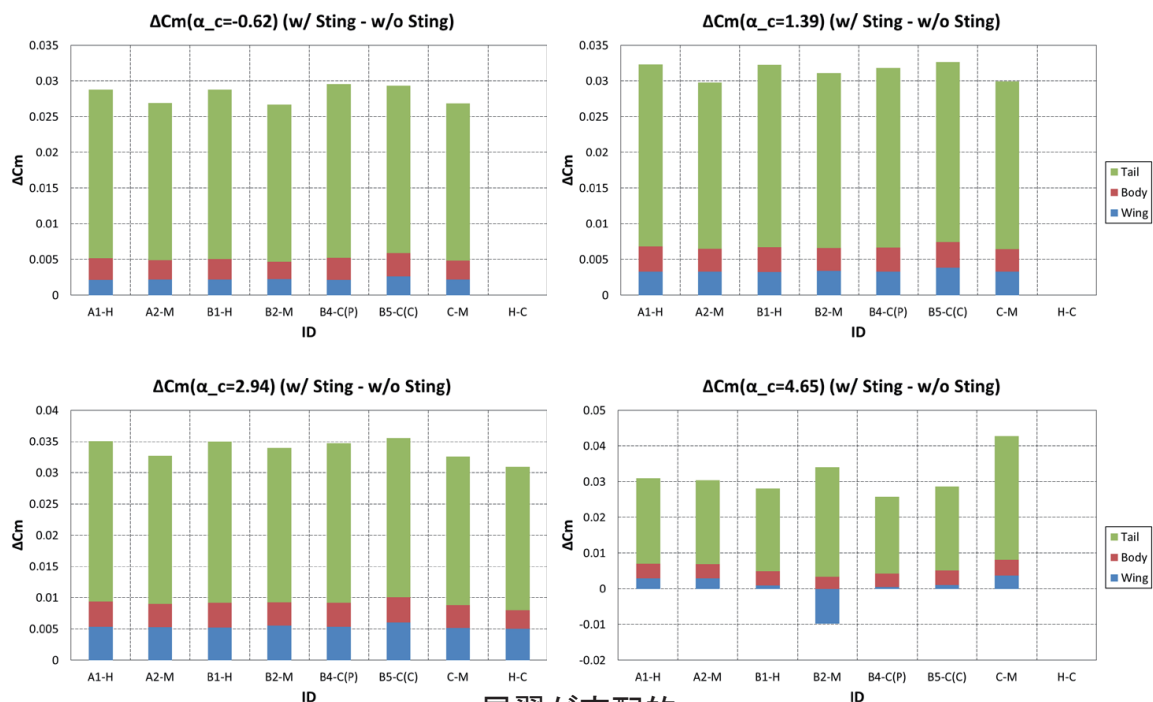
支持干渉量（支持有-支持無）



高迎角のばらつきは翼根剥離の影響？

113

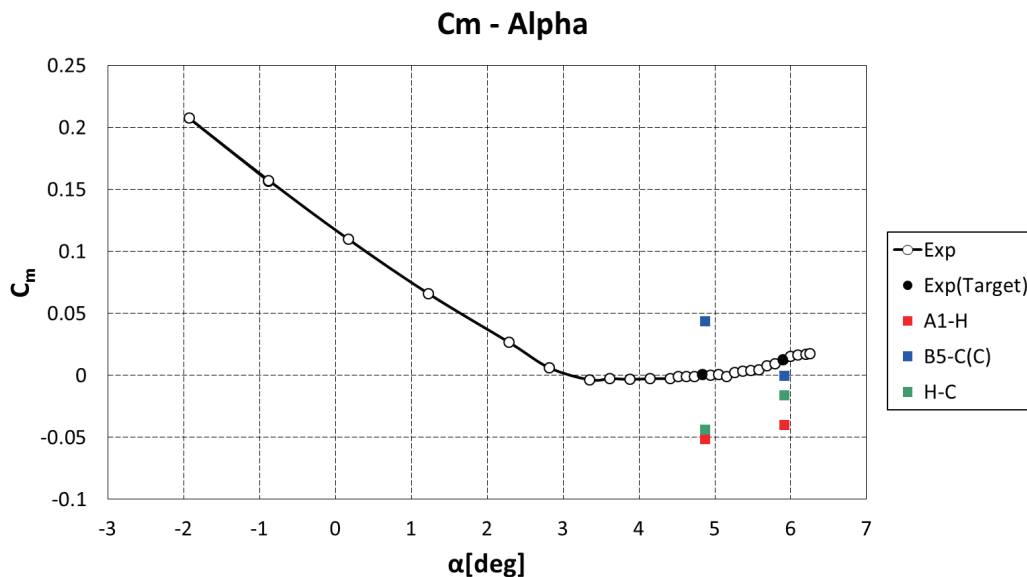
支持干渉量（支持有-支持無）



尾翼が支配的
格子によって干渉量に違い

114

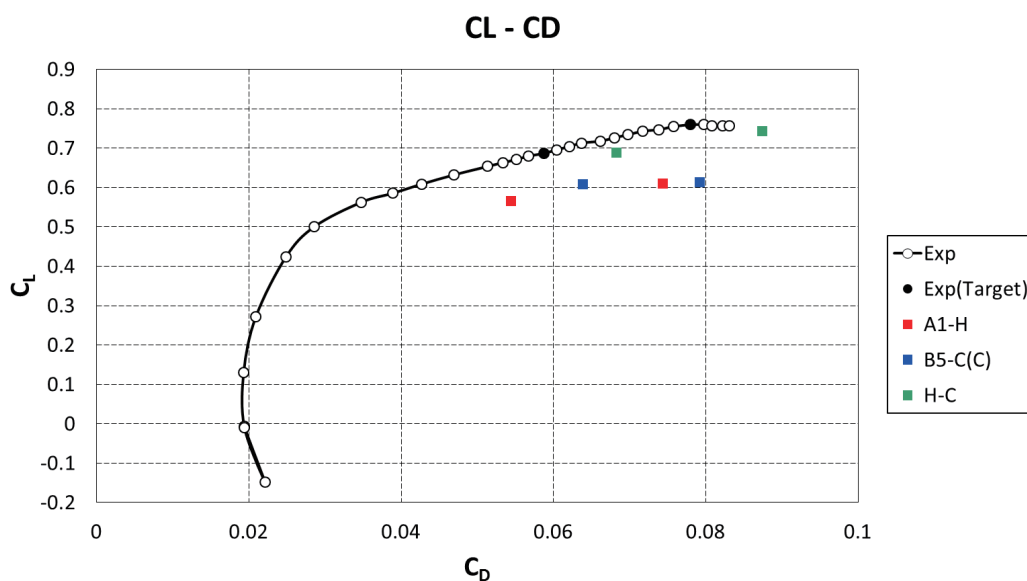
課題1-3: 非定常計算



定常解析と比較して実験との差が大きい

115

課題1-3: 非定常計算



定常解析と比較して実験との差が大きい

116