

EFD/CFD融合研究会

Beyond the Hybrid Wind Tunnel



三菱重工業
名古屋航空宇宙システム製作所
民間機技術部 基礎設計課 真保雄一



2

内 容

はじめに

空力設計におけるCFDと風洞試験の位置付け

EFDでできるようになったこと

EFDでまだできないこと

CFDでできるようになったこと

CFDでまだできないこと

EFD／CFD融合に期待すること

それでもできないこと

はじめに

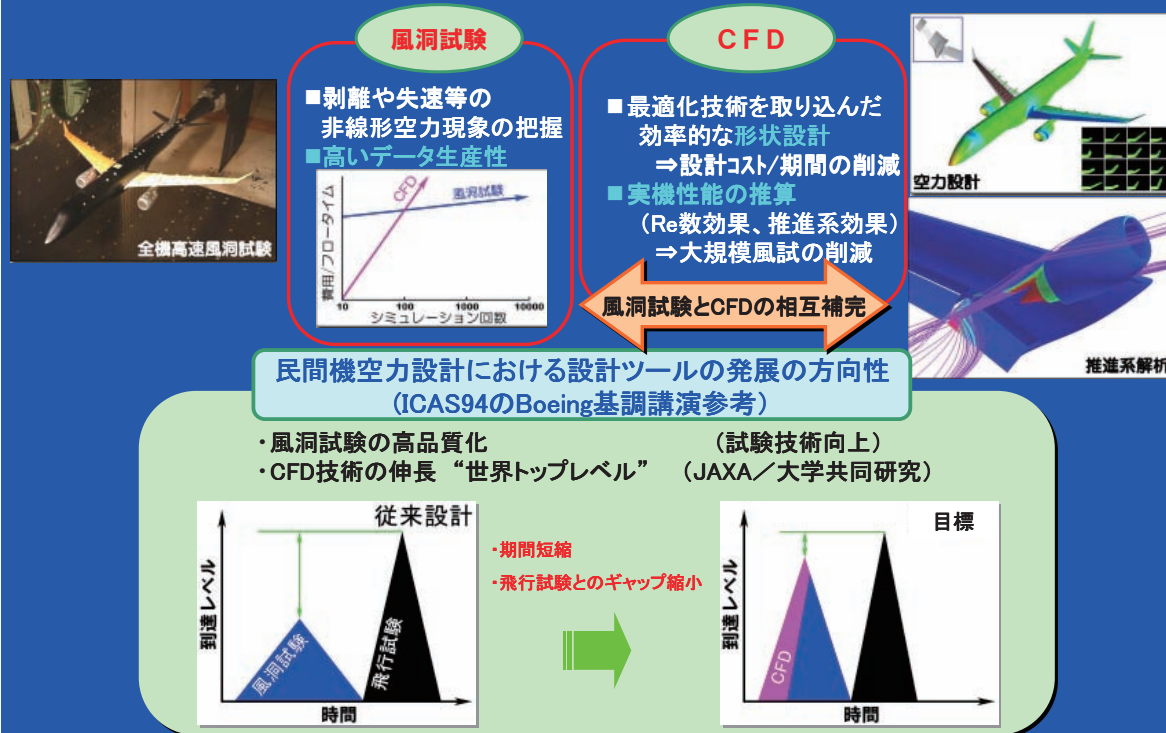
世界で愛される(売れる)飛行機を作ることが目的である。
風洞試験(EFD)もCFDも、そのための手段にすぎない。

空力設計におけるCFDとEFDの位置付け

設計項目	CFD	EFD (WTT)	データベース 推算ツール等	概要
空力外形線図 (Outer Mold Line:OML)設計	◎ (最適化)	△ (確認)	○ (スピード)	整備、構造、工作性等の制約条件下で、 設計要求を満足する最適形状設計
空力性能推算	○	○	△	抵抗、離着陸滑走路長(高揚力性能装置) 等の性能値
空力データ 作成	△	◎	○	飛行運動解析への入力データ 全飛行領域での機体6分力、空力微係数、 各舵効き、空力弾性効果、動安定効果等
空力荷重データ 作成	○	◎	△	構造、装備設計への入力データ 機体コンポーネント毎の荷重分布(圧力分布⇒ 曲げ、せん断、トルク)、ヒンジモーメント 空力データ同様膨大な評価点
空力弾性 効果推算	△	○	◎	構造設計への入力データ(Jig線図) NASTRANが主要設計ツール フラッタ特性は風洞試験にて確認

空力設計におけるCFDとEFDの位置付け

5



EFDでできるようになったこと

6

より実機に近いRe数で

国内では大型風洞/大型模型

世界の趨勢は加圧、低温風洞

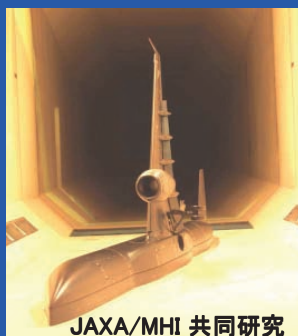
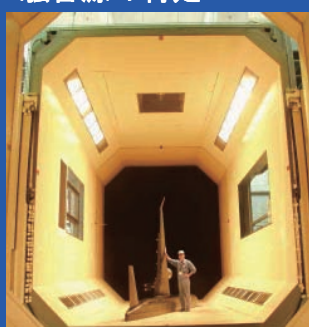
計測/処理技術の向上

壁補正、偏流補正、浮力補正、支持干渉補正

抵抗計測再現性の向上(風洞、天秤の温度管理)

定量的流れ場診断(気流可視化)技術

騒音源の特定

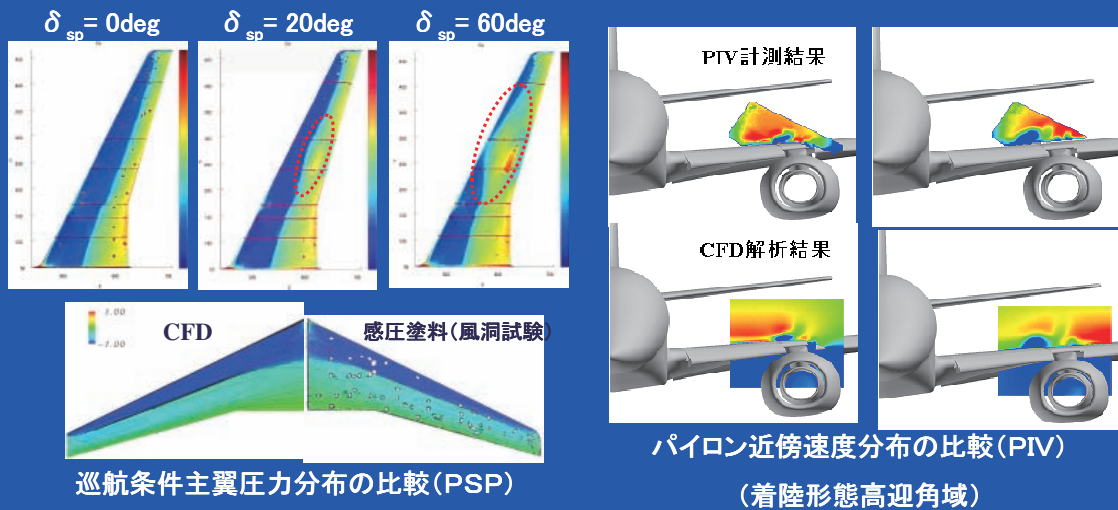


JAXA/MHI 共同研究



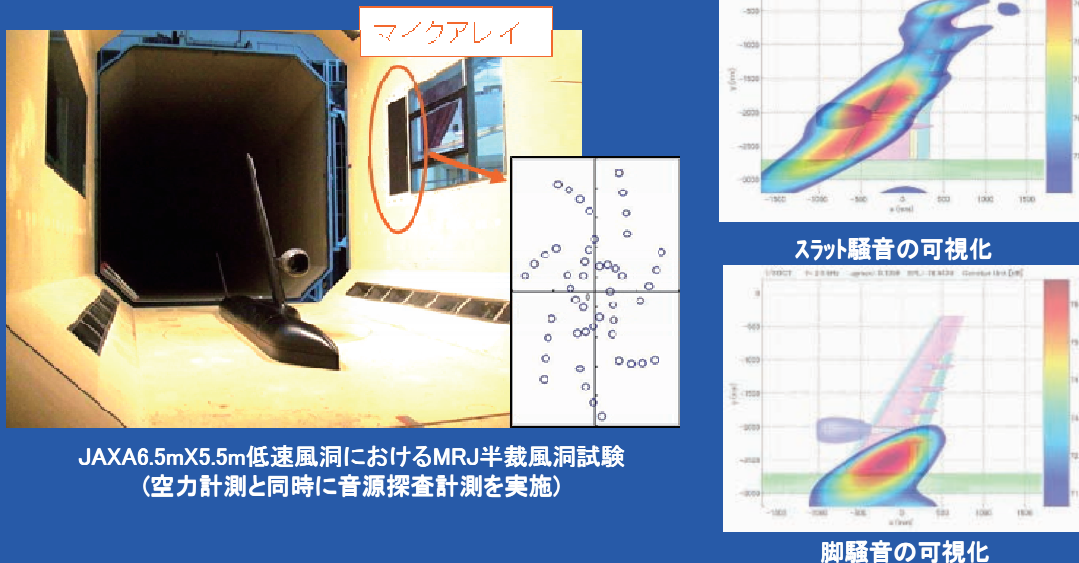
EFDでできるようになったこと

定量的流れ場診断(気流可視化)技術(JAXA/MHI共同研究)



EFDでできるようになったこと

騒音源の特定(JAXA/MHI共同研究)



9

EFDでまだできないこと

「航空機の性能は開発に使用した風洞の質で決まる」

①実機状態のより忠実な模擬

- ・実機Re数での試験(国内では不可)
- ・空弾変形を考慮した幾何形状
- ・**パワー効果**
- ・境界層の遷移点
- ・隙間、シール効果

②データの処理とその活用

- ・実機データとの対応付け(特に抵抗の絶対値)
- ・壁干渉/支持干渉の定量的データベース化
- ・バフェットの予測
- ・舵角の遠隔操作による試験の効率向上
- ・データのリアルタイムモニタ(特に遷音速風洞)
- ・画像計測のリアルタイムモニタ
- ・空力現象/模型支持系の振動予測

10

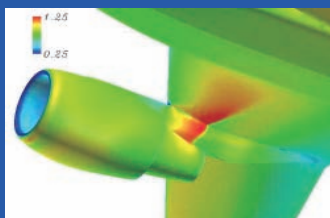
CFDでできるようになったこと

- ・複雑形状への対応
非構造格子法の成熟(東北大学/MHI共同研究)
- ・解析格子生成の高速化
形状生成の自動化、CATIAレス化(day⇒hour)
非構造格子法(格子生成のオーダー week⇒day)
- ・高効率解析
JAXA殿計算機による大規模並列解析(全機を1日で)
- ・最適化技術との融合による設計適用
MDO(東北大学/MHI共同研究)
- ・大規模非定常解析
空力騒音解析/フラッタ解析(JAXA/MHI共同研究)

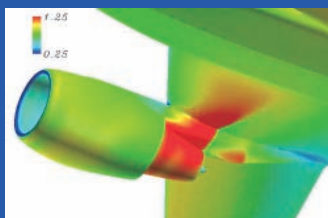
11

CFDでできるようになったこと

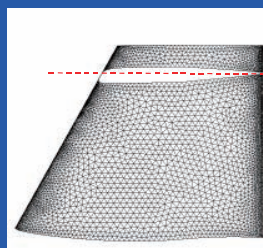
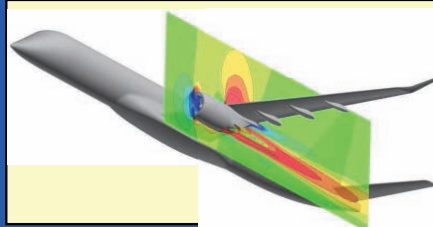
吸排気条件を模擬した推進系統合設計の最適化(東北大学/MHI共同研究)



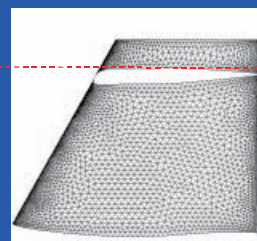
フロールーナセル



吸排気条件模擬



Initial

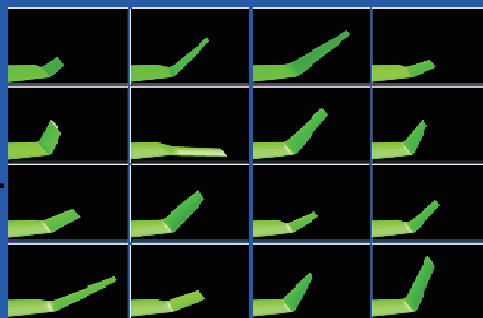
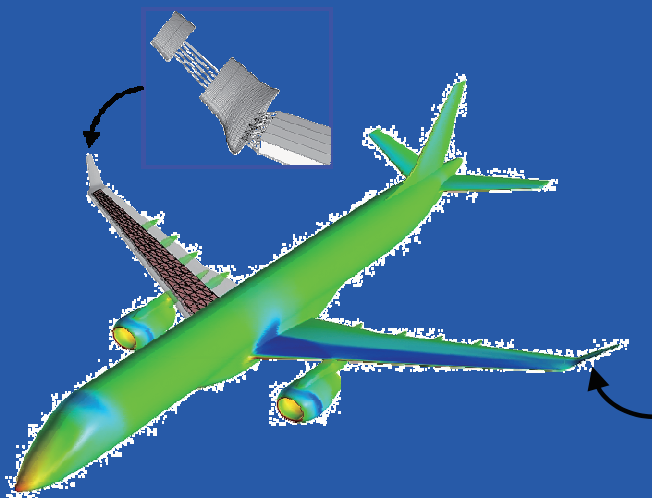


Modified

12

CFDでできるようになったこと

ウイングレット形状の最適化(東北大学/MHI共同研究)

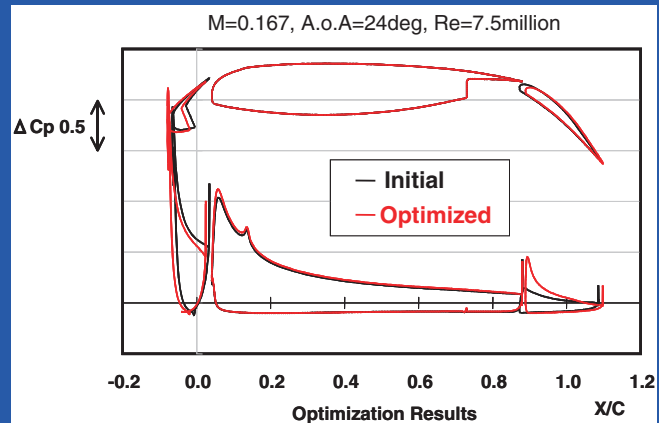
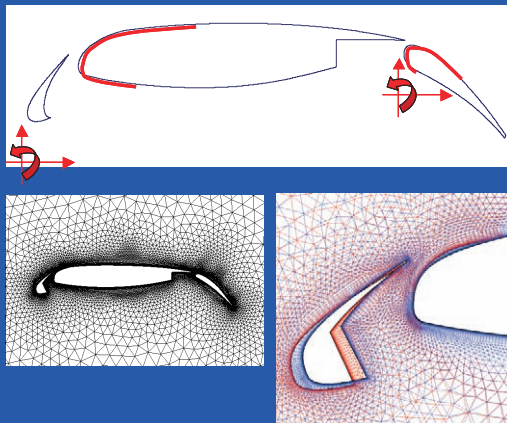
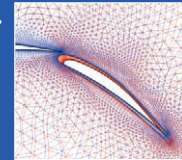


13

CFDでできるようになったこと

高揚力装置最適化(東北大学/MHI共同研究)

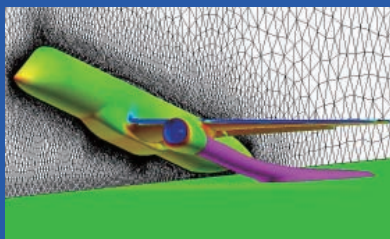
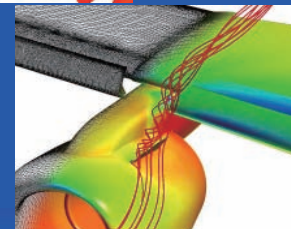
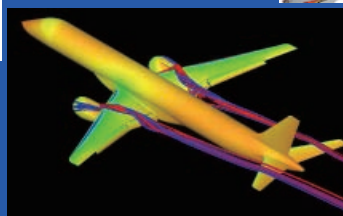
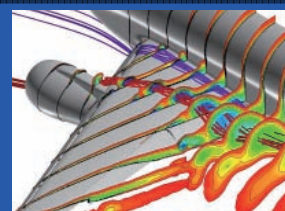
- ・設計変数26(スラット配置×3、フラップ配置×3、母翼前縁形状×10、フラップ前縁形状×10)
- ・Adjoint法と非構造格子CFDを組み合わせ、 C_{lmax} を7%向上



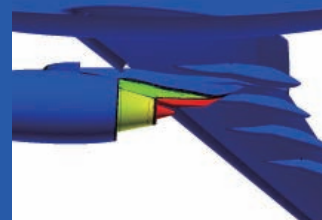
14

CFDでできるようになったこと

三次元高揚力装置解析(JAXA/MHI共同開発)



地面効果解析



エンジン排気流とパイロン・高揚力装置との熱干渉解析

CFDでできるようになったこと

空力騒音解析/フラッタ解析(JAXA/MHI共同研究)

世界最先端のCAA技術と風洞試験により騒音予測低減技術を開発, 設計に適用中

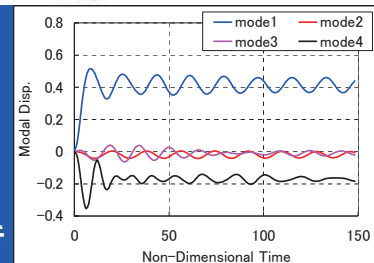
NASTRANでは課題の残る遷音速フラッタのCFD活用



降着装置を含む全機解析



Eulerフラッタ解析



CFDでまだできないこと

①更なる高精度化

- ・Re数効果の定量的予測
- ・遷移と剥離の流体现象としての捕獲と再現
- ・実機データとの対応付け(特に抵抗、 C_{Lmax} の絶対値)
- ・微細形状の取扱い

②適用範囲の拡大

- ・空弾効果を含む舵効き
- ・バフェットの予測

17

EFD/CFD融合に期待すること

①風洞試験の高精度化

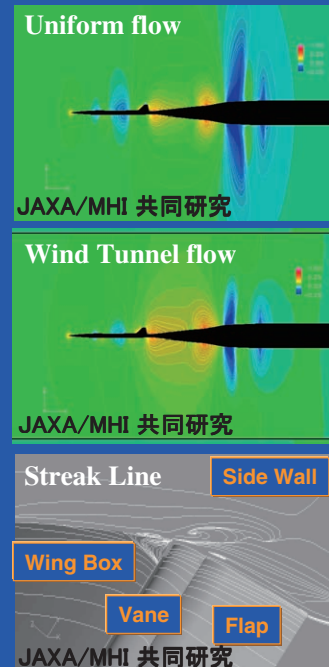
- ・設計リスクの回避
(判断を誤らせるデータの取得を事前に排除)
⇒ 試験計画への反映
- ・データの精度向上
⇒ 各種補正をデータベース化し
リアルタイムで適用

②CFDの高度化/適用範囲の拡大

- ・剥離を伴う流れ場の精度向上
⇒ C_{Lmax} 、パフェットの予測
- ・舵効きデータ作成への適用
⇒ コスト、時間が風洞試験と同等レベルに

③ユーザフレンドリーな環境の整備

- ・風洞のファイナルデータと事前予測のリアルタイム比較
- ・風洞データから実機性能への直接変換



18

それでもできないこと

実機との対応付け

機体を自前で開発しない限りできない。

JAXA風洞のみならず、千歳三音速風洞を含めた、国内風洞設備の高度化へ。

CFD解析の高精度化、限界把握へ。

