



航空機メーカーの視点からのEFD/CFD融合について

JAXA EFD/CFD融合研究会

2008年 2月26日 / JAXA航空宇宙技術研究センター

富士重工業株式会社
航空宇宙カンパニー



1



航空機開発における実験空気力学(EFD*)と計算空気力学(CFD**)の現状と今後のEFD/CFD融合とその課題について、航空機メーカーの視点から紹介する。

(*) Experimental Fluid Dynamics

(**) Computational Fluid Dynamics

【内容】

- ✓航空機開発におけるEFD/CFDの現状
- ✓富士重工業の航空機開発におけるEFD/CFD
- ✓空力設計におけるEFDとCFDの役割
- ✓デジタルアナログハイブリッド風洞構想
- ✓航空機メーカーからのEFD/CFD融合の提案
- ✓JAXA殿ハイブリッド風洞構想への期待



2



➤現状の技術レベルと航空機開発への適用

航空機開発におけるEFD(主に風洞試験)は、部分的にCFDに置き換わっているが、いまだ不可欠な設計確認の手段である。また、近年CFDの信頼性は飛躍的に向上しているものの航空機開発への全面適用の事例はない。

航空機開発における現在のCFDの役割を以下に示す。

- ✓新しい航空機の空力設計
- ✓風洞試験の支持干渉効果の調査
- ✓風洞試験で模擬できない条件
- ✓風洞試験の空力現象の理解
- ✓風洞試験データの補間



➤EFD/CFD開発に対する世界の取組み(欧州)

欧州では、EWA (European Windtunnel Association)*にて各国の産学官が連携した活動を行っている。



✓目的

- ・主要風洞と先進計測技術の連携による欧州航空研究の強化
- ・研究機関や航空産業への包括的な技術提供 等

✓概要

- ・構成： 欧州8カ国 14機関
- ・期間： 2004年から5年間
- ・資金： 7,500,000ユーロ [約12億円]

(欧州委員会 第6フレームワークプログラム)

(*) <http://www.eu-ewa.aero/>



富士重工業の航空機開発におけるEFD/CFD www.fhi.co.jp

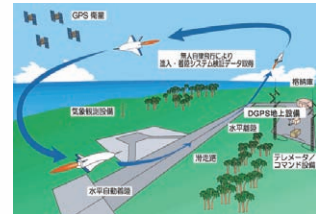
▶ **高速飛行実証フェーズI (HSFD1)**

- ✓ **概要:** 2002年クリスマス島(キリバス)にて飛行実験を実施
- ✓ **目的:** 再使用型輸送系の進入・着陸システム検証
自立飛行技術の蓄積



✓ **特徴:**

- ◆ CFDを活用した主翼設計
- ◆ 飛行制御用空力データは風試で取得
 - ・地面効果
 - ・支持干渉効果
- ◆ Re数効果補正
- ◆ インテーク・スピレージ抵抗推算



HSFD1実験構想



飛行試験状況



低速風洞試験



富士重工業の航空機開発におけるEFD/CFD www.fhi.co.jp

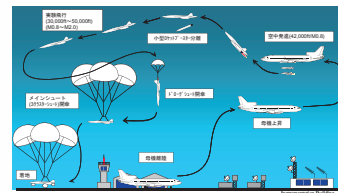
▶ **小型超音速ジェット実験機構想 (NEXST-2)**

- ✓ **概要:** 次世代超音速機技術の飛行実証
2003年より基本設計に着手
- ✓ **目的:** 最適化手法を含むCFD空力設計技術
超音速推進システム設計技術
複合材構造適用技術
システム統合技術 等の飛行実証

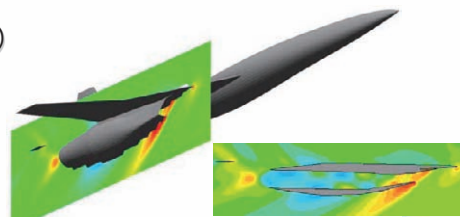


✓ **特徴:**

- ◆ CFDによる主翼-胴体設計 (JAXA殿)
- ◆ CFDに利用による以下を実施
 - ・尾排干渉を考慮した尾翼配置
 - ・母機発進/ブースター分離検討



NEXST-2実験構想



全機CFD解析事例



富士重工業の航空機開発におけるEFD/CFD

www.fhi.co.jp

➤自動離着陸実験機(FHI独自研究)

- ✓概要: 航法にGPS*を使用した小型固定翼機の完全自動離着陸装置(FABOT**)を開発し飛行実験に成功
 (*) Global Positioning System: 汎地球測位システム
 (**) FABOT: Fuji Aerial roBOT
- ✓目的: 最新のUAV開発技術を応用し, わが国初となる小型低速機による離陸から着陸までの完全自律飛行技術の実現
 (大規模な地上支援装置なしでの完全自動離着陸)
- ✓特徴:

- ◆簡易推算手法による空力データ
- ◆CFDによる主翼変形効果を考慮した空力データ同定



FABOT飛行実験状況



7

空力設計におけるEFDとCFDの役割

www.fhi.co.jp

➤EFDとCFDの役割

EFDとCFDの空力設計における役割の現状を下表にまとめる。

	現状の空力設計への寄与	備考
EFD	<ul style="list-style-type: none"> ・過去の豊富な実績に基づく信頼性 ・複雑形状の空力特性推定 ・非定常現象問題に適用可能 ・レイノルズ数効果は高レイノルズ風洞適用 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験費高価 ・試験期間長い
CFD	<ul style="list-style-type: none"> ・多数の設計パラメータの空力設計に適用 ・多分野最適問題に適用 ・一部の非定常現象を除く問題に適用可能 (剥離・遷移, 衝撃波現象) 	<ul style="list-style-type: none"> ・計算費安価 ・計算期間短い

⇒現状技術で高い信頼性を有するEFDをCFDで補強することによって, 効率的で精度の高い設計情報を提供することが可能。



8

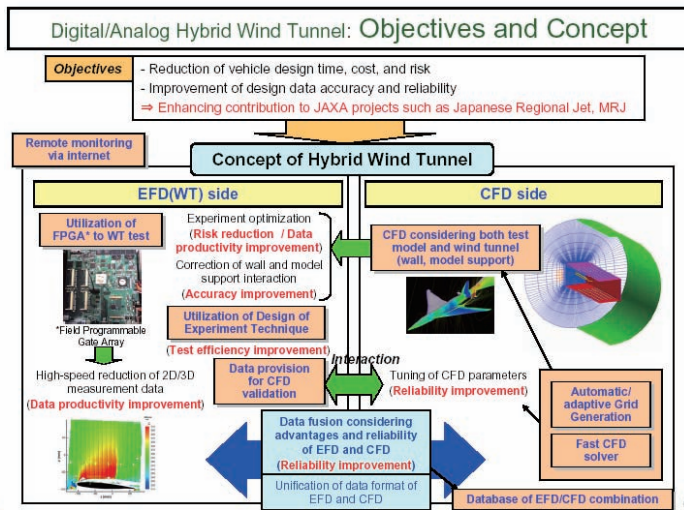
デジタルアナログハイブリッド風洞構想

www.fhi.co.jp

➤JAXA殿デジタルアナログハイブリッド風洞構想

以下に示す風洞試験の精度向上，機能拡大を実現するため，近年開発された新しい計測法(PIV, PSP等)を活用したCFDと接続した新しい風洞試験システム

- ◆ 模型変形効果
- ◆ 支持干渉
- ◆ 風洞壁干渉
- ◆ 詳細空間情報
- ◆ その他



航空機メーカーからのEFD/CFD融合の提案

www.fhi.co.jp

➤JAXA殿計画に対する提案(まとめ)

項目	重要度	目的
①主翼変形効果	◎	弾性変形を考慮した精度良いデータ取得
②風洞特性補正	◎	風洞補正，支持干渉補正の精度向上
③実機特性推定	○	レイノルズ数効果の推定
④後流渦特性	○	後流渦，ヘリブレード渦の影響
⑤遠方場騒音特性	◎	機体騒音，ソニックブームの遠方場影響
⑥分離特性	○	母機離脱，ブースター分離の過渡特性把握
⑦ジェット干渉効果	◎	ジェット干渉効果の可視化による現象把握





①主翼変形効果

概要:

- ✓風洞試験で計測した模型の主翼変形効果を補正
- ✓主翼変形効果を別途推算

適用対象:

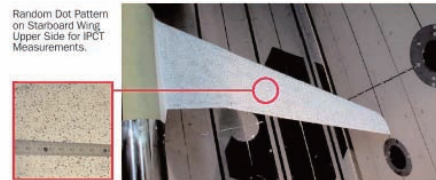
- ✓固定翼機
- 特に大アスペクト主翼の弾性変形

技術課題:

- ✓風洞試験における主翼変形の計測法
(SPT, IPCT, モワレ縞法等)
- ✓CFD補正データの同時性, 精度確保



風洞試験における主翼変形例
(出展: ボーイング社ホームページより)



IPCT法による主翼変形計測例
(出展: EWAニュースレターより)

11



②風洞特性補正

概要:

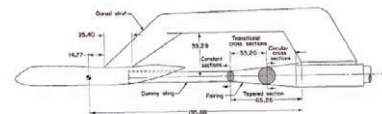
- ✓模型支持系による支持干渉効果を補正
- ✓風洞壁干渉, 静圧勾配等の風洞特性の補正

適用対象:

- ✓固定翼機(全般)の高精度試験データ取得

技術課題:

- ✓CFDによる精度良い支持系・風洞特性の模擬
- ✓風洞特性の詳細な把握
 - ・静圧分布, マッハ数分布
 - ・模型ブロッケージ 等
- ✓風洞模型と支持系の干渉効果分離



支持干渉風洞試験例
(出展: NASA TN D-4021)

12



航空機メーカーからのEFD/CFD融合の提案 www.fhi.co.jp

③実機特性補正

概要:

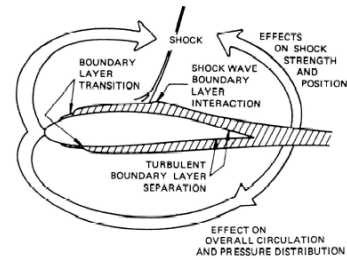
- ✓ 風洞試験と実機飛行条件のレイノルズ数効果(摩擦抵抗)を補正
- ✓ 同 境界層遷移・剥離位置の補正

適用対象:

- ✓ 固定翼機(全般)の実機性能取得

技術課題:

- ✓ CFDによる精度良い境界層遷移・剥離の予測
- ✓ 風洞試験による境界層遷移・剥離位置の特定



→ DIRECT REYNOLDS NUMBER EFFECT
⇒ INDIRECT REYNOLDS NUMBER EFFECT

CHARACTERISTIC	DOMINANT RE-NUMBER EFFECT	
	DIRECT	INDIRECT
LIFT AND PITCHING MOMENT		X
VISCOUS DRAG	X	
WAVE DRAG		X
DRAG DIVERGENCE		X
BOUNDARY LAYER SEPARATION	X	
BUFFET BOUNDARY	X	X

レイノルズ数効果の概要

13



航空機メーカーからのEFD/CFD融合の提案 www.fhi.co.jp

④後流渦特性

概要:

- ✓ 風洞試験とCFDを接続した後流渦特性取得

適用対象:

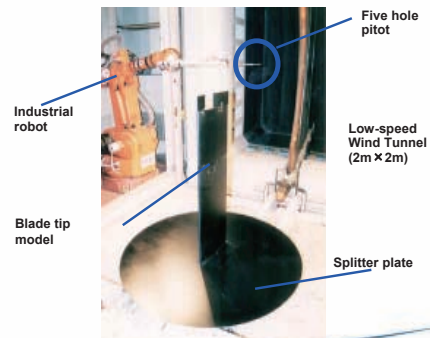
- ✓ 回転翼機 ローターブレードのBVI騒音軽減
- ✓ 民間輸送機 特に大型機の後流渦影響

技術課題:

- ✓ 風洞試験による近傍場後流渦計測法
- ✓ CFD遠方場特性の推定方法, 推定精度
- ✓ 風洞試験(近傍場)とCFD/CAA(遠方場)の接続方法



ローターブレード後流渦計算例



ローターブレード後流渦計測例

14





⑤遠方場騒音特性

➤概要:

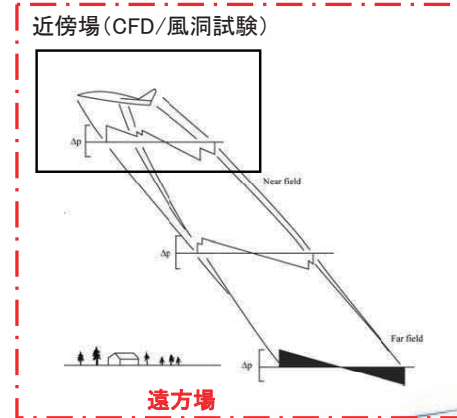
- ✓風洞試験・CFDとCAAを接続した航空機騒音特性の把握
- ✓風洞試験・CFDと接続したソニックブーム特性把握

➤適用対象:

- ✓固定翼機(全般)の騒音影響
- ✓超音速固定翼機のソニックブーム影響

➤技術課題:

- ✓遠方場特性の騒音/ブーム推定方法
- ✓近傍場(風洞試験/CFD)と遠方場(CAA)の接続方法



ソニックブームの遠方場特性

15



⑥分離特性

➤概要:

- ✓母機発進・ブースター分離時の過渡特性を把握
- ✓予想飛行経路のデータをCFDで補間

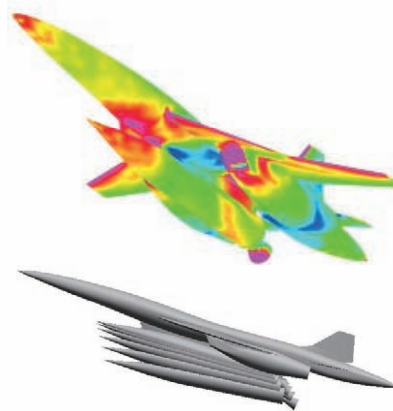
➤適用対象:

- ✓母機搭載型 無人機の分離
- ✓補助ブースター搭載の航空機

➤技術課題:

- ✓2体問題のCFD解析
- ✓動的特性の考慮
- ✓CTS*風洞試験の高度化

(* CTS: Captive Trajectory System)



ロケットブースター分離解析例

16





航空機メーカーからのEFD/CFD融合の提案

www.fhi.co.jp

⑦ジェット干渉効果

➤概要:

- ✓風洞試験とCFDを接続したジェット排気影響取得
- ✓気流可視化による干渉現象把握

➤適用対象:

- ✓固定翼機(全般)の尾排干渉
- ✓その他 機体-推進系の干渉問題

➤技術課題:

- ✓風洞試験における流れ場の定量計測
(PIV, LDV等)
- ✓CFDジェット干渉効果の推定精度



PIV法によるジェット計測例
(出展: EWAニュースレターより)



17

 SUBARU



JAXA殿ハイブリッド風洞構想への期待

www.fhi.co.jp

➤EFD/CFD融合の課題

前述にて提案したEFD/CFD融合の課題を以下に示す。

✓EFD融合に適用するCFDの精度確保

EFD計測精度に対応して、適用するCFD推算精度・適用可能範囲を検証する必要がある。

✓CFDによるEFD環境の模擬

CFDで模擬するために、従来以上のEFD情報(風洞特性, 気流条件, 模型仕様等)を提供する必要がある。

また, 将来の発展性として実機飛行条件への拡張可能性を確保することが望ましい。

✓EFDおよびCFD技術の高度化継続

EFD計測技術およびCFD推算技術の高度化を継続する必要がある。



18

 SUBARU



JAXA殿ハイブリッド風洞構想への期待

www.fhi.co.jp

▶ハイブリッド風洞への期待

✓将来は、CFD設計のみによる航空機開発が指向されると予想されるが、現実問題としてEFD(風洞試験)なしの開発には高い壁が存在する。したがって、当面は実機飛行環境での空力性能・特性を高い確度で推定できるEFDの実用化を目標とすべきと考える。

✓JAXA殿が提案するCFDを援用したEFD(風洞試験)による確度の高い試験データの供給が、近い将来の航空機開発の費用低減、期間短縮に貢献すると考える。

✓航空機開発において、空力設計・解析は基礎計画から基本設計における重要な役割を担っており、JAXA殿の提案するEFD/CFDの融合が、今後予想される多岐に渡る航空機の設計課題を短期間で定量的に策定可能とすることが期待される。

19



ありがとうございました。

Think. Feel. Drive.



SUBARU