

デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞(DAHWIN)による 風洞試験/数値シミュレーション融合の試み



WTT

CFD

口石 茂(宇宙航空研究開発機構)

2013年11月29日

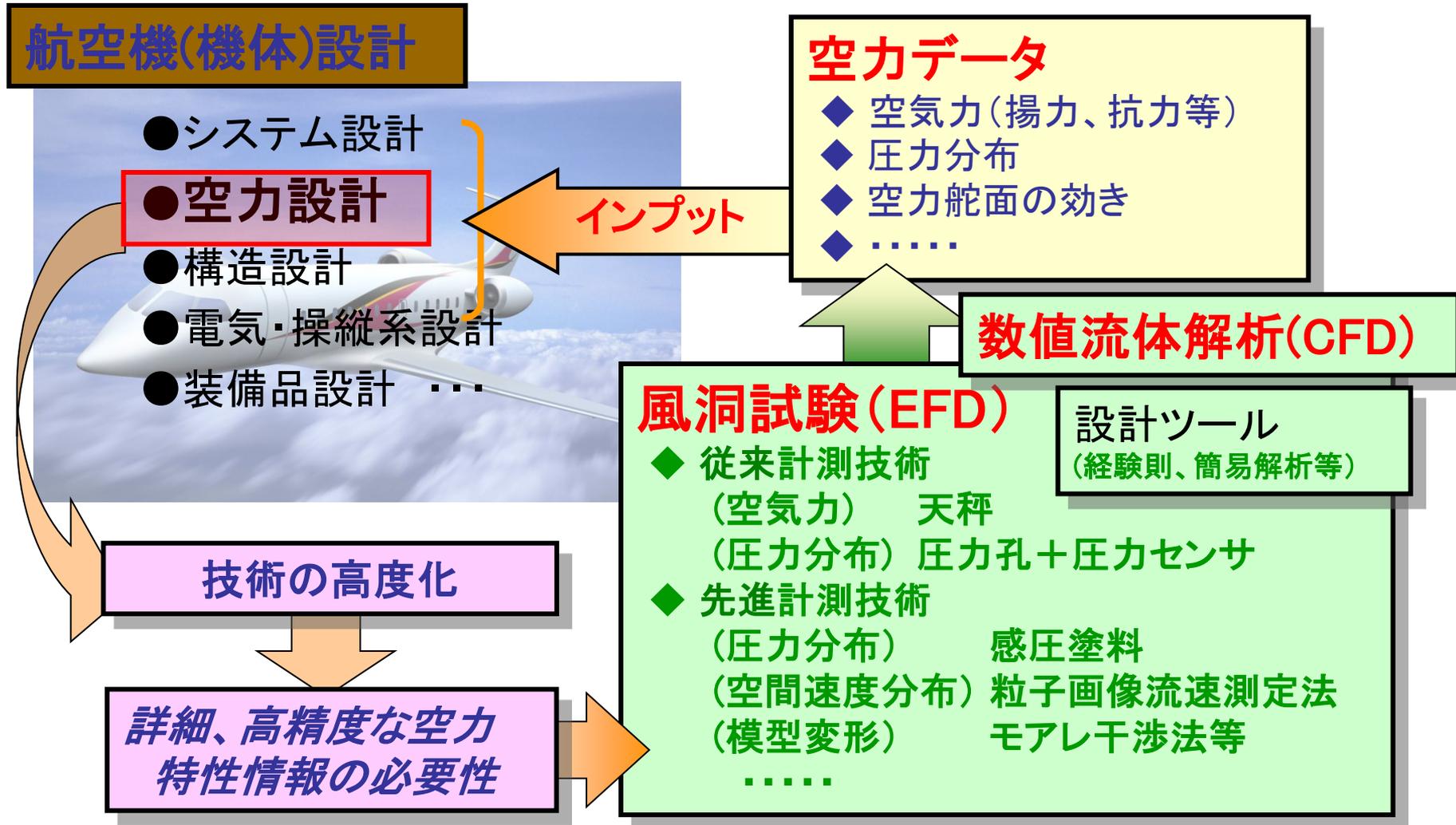
第19回ビジュアルリゼーションカンファレンス

内容

- DAHWIN概要
- コアシステム概要
- サブシステム概要(1)デジタル風洞
- サブシステム概要(2)アナログ風洞データ処理システム
- システム適用例と今後の課題

DAHWIN概要

航空・宇宙機空力設計における空力特性予測



風洞試験 (EFD)

(EFD: Experimental Fluid Dynamics)

- 航空宇宙機開発のための風試*時間:
スペースシャトル開発では**約10万時間**
(1つの風洞を11年以上連続運転するのに相当)
⇒ 設計(形状決定)における中心的要素

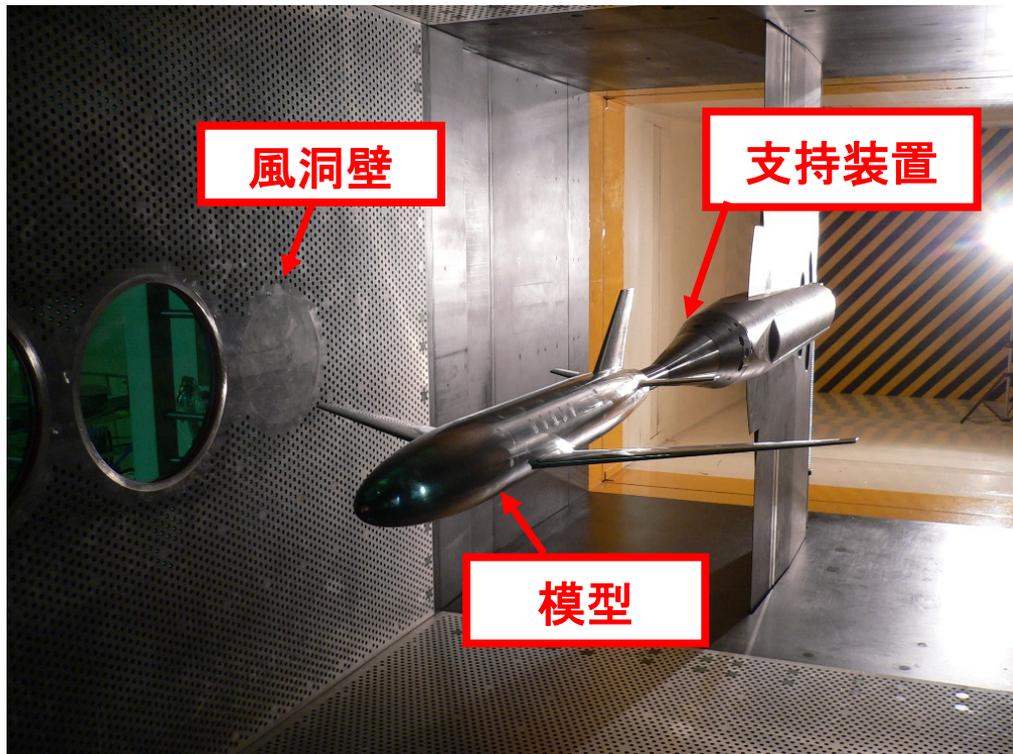
*風試＝風洞試験

強み

- 実際の流れ
⇒ 信頼性高

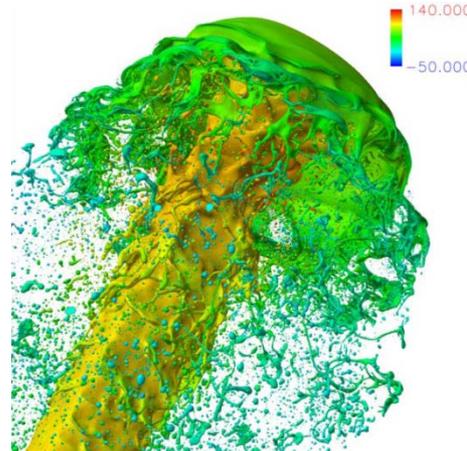
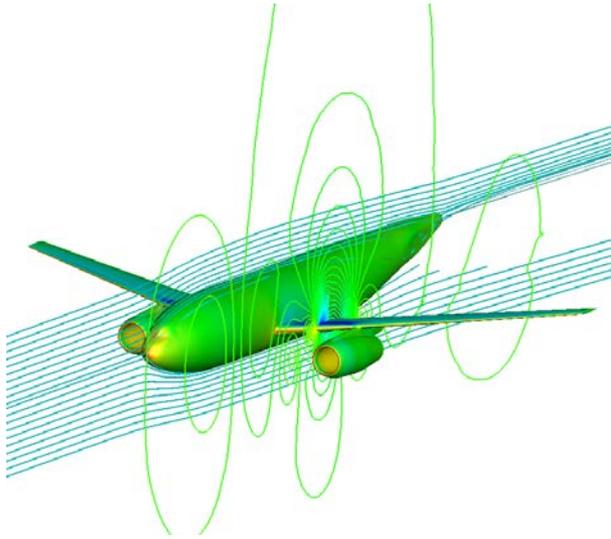
弱み

- 高コスト(準備時間長)
- 情報が限定的
- 空を飛ぶ状態との違い
(壁や支持装置の存在、
スケールの違い)



流れの数値シミュレーション (CFD)

(CFD: Computational Fluid Dynamics)



強み

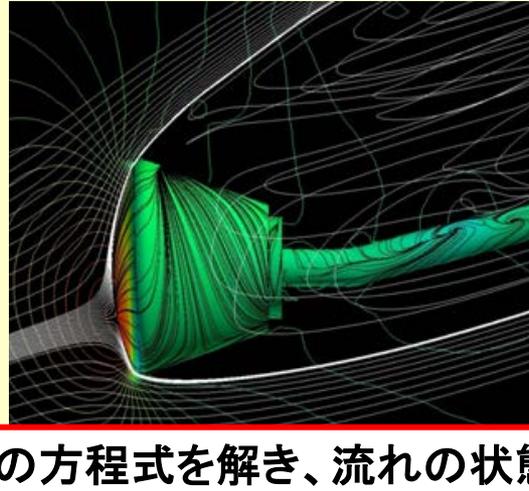
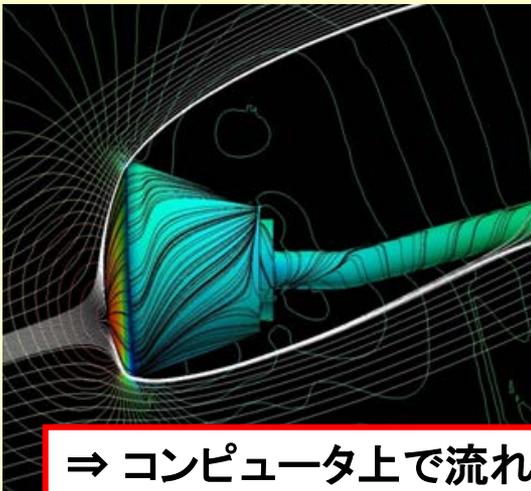
- 情報量が多い
- 低コスト

弱み

- バーチャルな流れ
⇒ 信頼性低

物理モデルA

物理モデルB



⇒ コンピュータ上で流れの方程式を解き、流れの状態や空気の力を知る方法
⇒ 用いる式(物理モデル)で結果が異なる

あるべき姿

EFD(アナログ)

強み

- 実際の流れ
⇒ 信頼性高

弱み

- 高コスト(準備時間長)
- 情報が限定的
- 空を飛ぶ状態との違い
(壁や支持装置の存在)

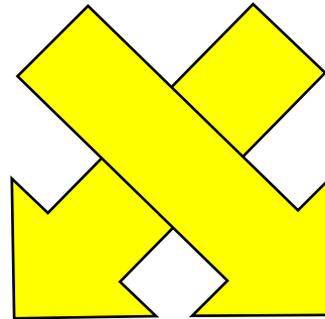
CFD(デジタル)

強み

- 情報量が多い
- 低コスト

弱み

- バーチャルな流れ
⇒ 信頼性低



相互補完

デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞

■定義

風洞試験(アナログ風洞)に対してCFD(デジタル風洞)を強く連携させた、
コンカレントなEFD/CFD融合システム

■目的

EFD/CFD融合技術を用いた、実用風洞の高度化による

- 航空・宇宙機の設計時間/コスト/リスクの低減
- 設計用空力データの精度及び信頼性の改善

⇒ JAXA宇宙航空プロジェクトや産業界の航空機開発への貢献増進



(三菱航空機(株) 提供)

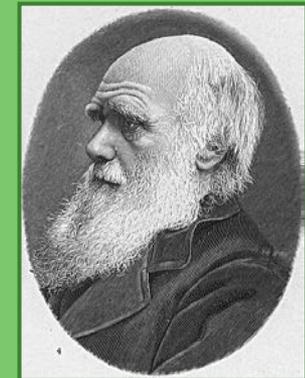
デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞 (DAHWIN)

Digital/Analog-Hybrid Wind Tunnel (DAHWIN:ダーウィン)

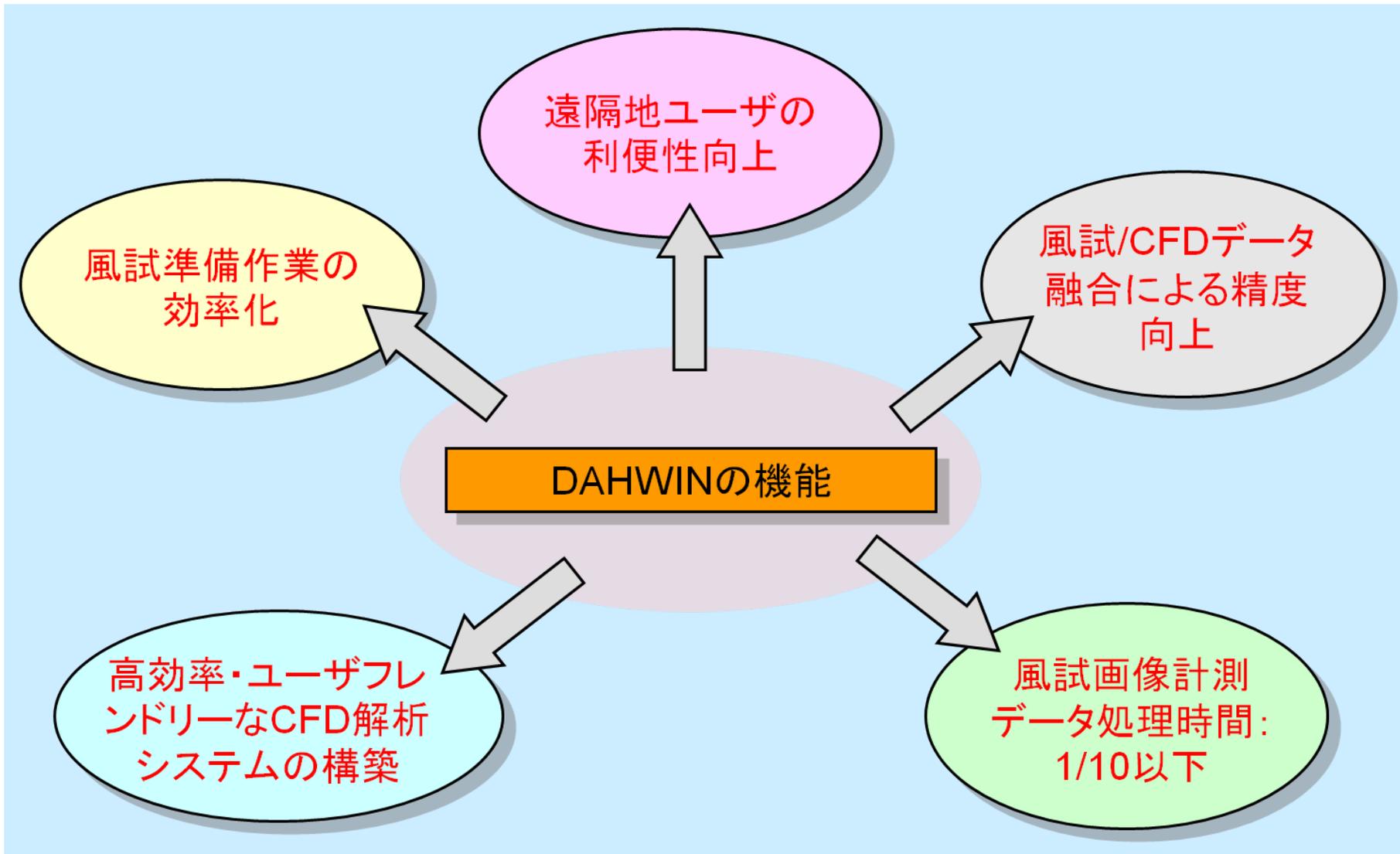
(参考) チャールズ・**ダーウィン** (1809-1882年)

「進化論」の提唱者

⇒ 「**DAHWIN**」が、EFDとCFDの融合による
「進化」の基礎となることをイメージ

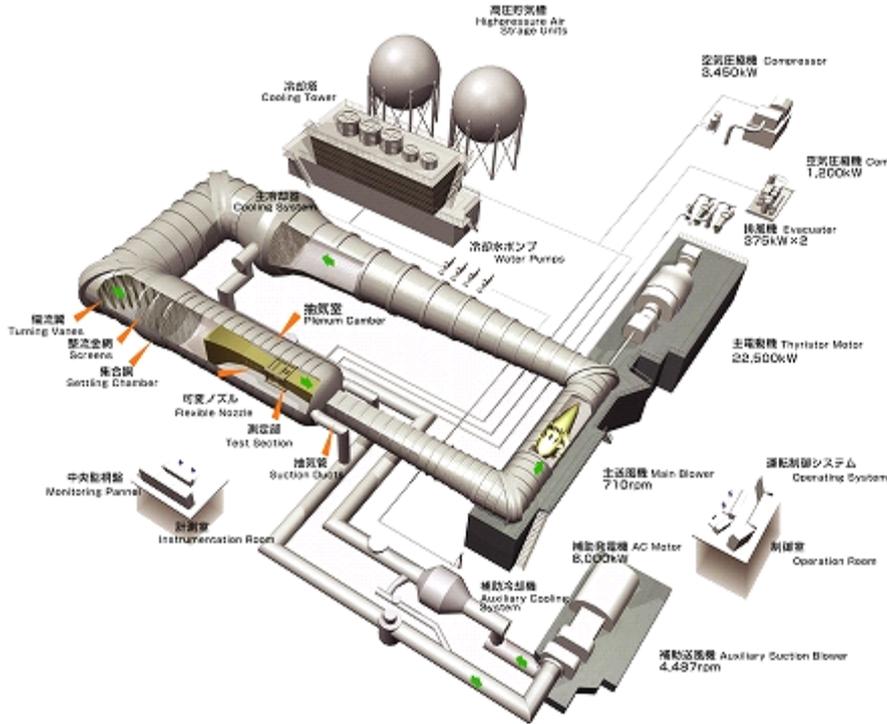


DAHWINの目標



DAHWINのベースとなる大型設備

■ アナログ風洞: JAXA 2m × 2m 遷音速風洞 (TWT1)



- ✓ 1960年稼動開始 (1994年改修)
- ✓ 連続・回流式
- ✓ $M = 0.1 - 1.4$

- ✓ 2009年稼動開始
- ✓ 3008 CPU, 120Tflops, 94TB Memory (M-System)



■ デジタル風洞: JAXA スーパーコンピュータシステム (JSS)

⇒ DAHWINは、アナログ風洞とデジタル風洞とを有機的に橋渡しするシステム

DAHWINによる効果

1. 風試準備作業の効率化

- － 風試計画/模型設計支援、風試セッティングシミュレーション機能の整備

2. 高効率・ユーザフレンドリーなCFD解析システムの構築

- － 自動格子生成ソフト(HexaGrid)、高速CFDソルバ(FaSTAR)の開発
- － 解析処理のワークフロー化

3. アナログ風洞画像計測データ処理の高速化

- － PIV(粒子画像流速測定法)、PSP(感圧塗料法)、模型変形計測データ処理の高速化による、風試中のリアルタイムデータ評価

4. 遠隔地風洞ユーザの利便性向上

- － インターネットを介した風試/CFDデータリアルタイムモニタリングの実現による、出張頻度低減

5. 風試/CFDデータ融合による精度向上

- － CFDを用いた風試データ補正の高精度化
- － 高頻度かつ厳密なCFD検証による、CFD信頼性の向上

コアシステム概要

システム概要

任意の場所からシステムにアクセスして、実験／CFDデータを操作・閲覧

ユーザ



JAXAスパコン(JSS)
(デジタル風洞)



2m×2m遷音速風洞
(アナログ風洞)



セキュリティを重視

インターネット

システム(Web)上でCFD解析

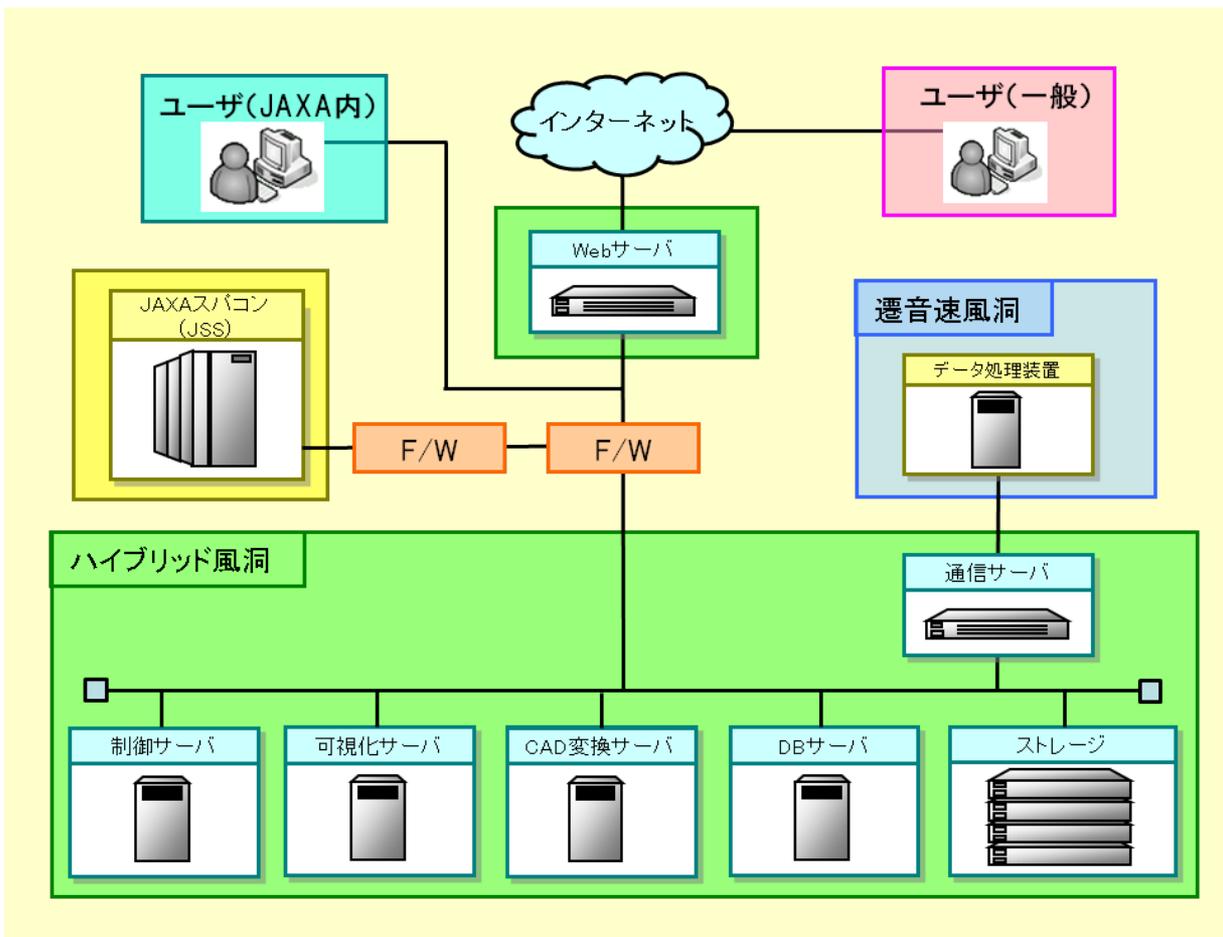


HW/SWの集合体

DAHWIN

システム構成

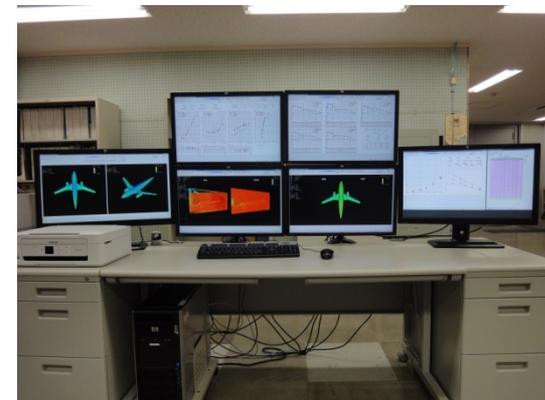
■DAHWINを軸として、風洞/JSS間のインターフェースを形成



ネットワーク構成



システム本体



モニタリングPC

システム利用フロー

事前CFD



試験準備



風洞試験

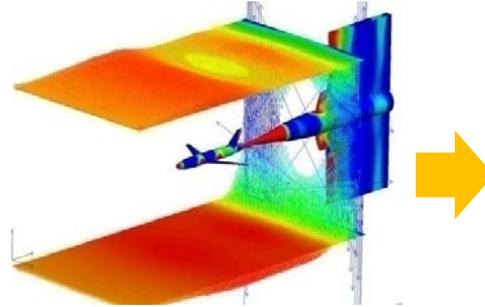
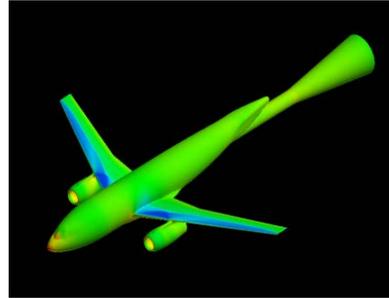


風試／CFDデータ融合



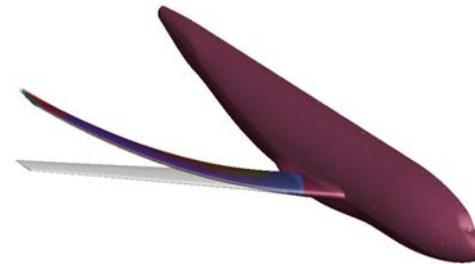
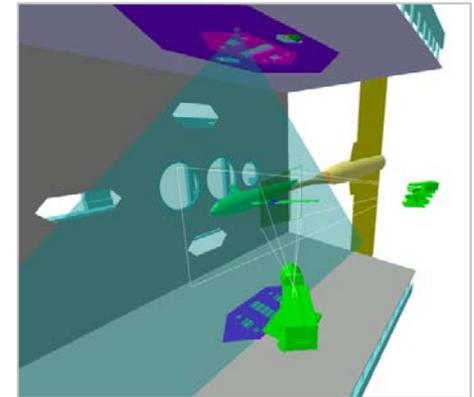
風試／CFD統合DB化

・将来風試やEFD/CFD研究に有効活用



- ・模型設計
- ・試験条件策定
- ・壁・支持干渉事前評価
- ・機材設置シミュレーション

- ・モニタリング
- ・データ健全性評価
- ・壁・支持干渉補正
- ・過去データとの比較



開発環境(ソフトウェア)

RCM : R&D Chain Management
(株)キャトルアイ・サイエンス

1. フレームワーク

- ミドルウェア (RCM System Software[®]) を採用
- 開発アプリケーションと動作定義(ワークフロー)をシームレスに結合

2. 可視化ソフトウェア

- コンタ表示: FieldView
- グラフ表示: Tecplot

3. CADソフトウェア

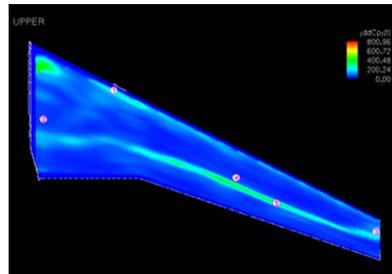
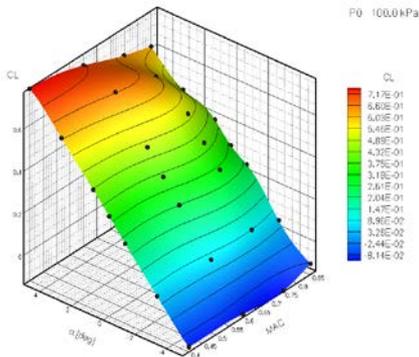
- CATIA V5の採用により、設計現場との互換性を重視

4. DAHWINコアシステム

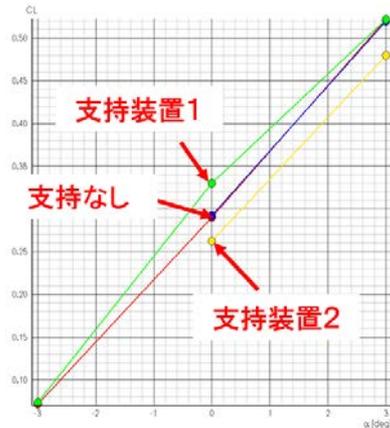
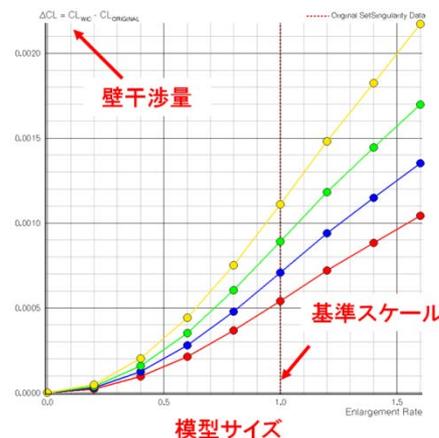
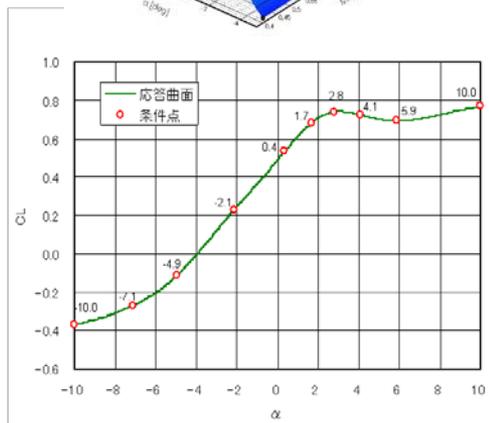
- 動作定義: 328個
- アプリケーション(実行モジュール): 約100個

風試準備作業の効率化：風試計画設定支援機能

■事前CFD解析データを活用することにより、風試条件、模型サイズ、支持装置、翼面圧力孔位置それぞれの設計を支援



➤ 圧力孔配置支援：主翼断面の圧力2次勾配から圧力分布の変曲点を抽出し、その近傍に圧力孔を配置



➤ 風試条件設定支援：事前CFD応答曲面から、計測ポイントや模型姿勢角を算出

➤ 模型サイズ決定支援：模型サイズをパラメータとして、パネル法により壁干渉量を算出

➤ 支持装置選択支援：異なる支持形態のCFDデータの比較により、支持装置選択を支援

高効率・ユーザフレンドリーなCFD解析システム: パラメトリックCFD機能

06.60 パラメトリックCFD解析実行

Call from 05.00
(3.40 パラメトリックCFD解析実行)

データタイプ: DLR-F6

対称面情報: Y-Max

解析条件ファイル(PARAMAT):

格子アプリ情報: HexaGrid

HexaGrid

格子生成パラメータファイル(input.tbt)

格子生成拡張パラメータファイル(input_Adv.tbt)

回転角度(弧度で入力): x: 0, y: 0, z: 0

代表長さ(形状データと同じ単位, 少数点形式で入力): 127

輪実数(又は-1を入力): x: 1, y: 1, z: 1

マルチパラメータ

マッシュ数の入力: List

マッシュ数 (value,value,...): 0.8,0.85,0.9

迎角の入力: list

迎角 (value,value,...): 3.0,4.0,5.0

マルチパラメータ

レイブルス数: 風況条件から算出

代表長さ[mm]: 127

総圧P0[kPa]: 100

総温T0[℃]: 48.9

投入ジョブ情報

CFD解析後ファイル削除フラグ: SAVE

ジョブ名: hybrid

ジョブグループ名: パラメータ決定

増減数(0以上94まで): 32

計算回数: 4

計算時間: 5000

必要なメモリ(MB): 2000

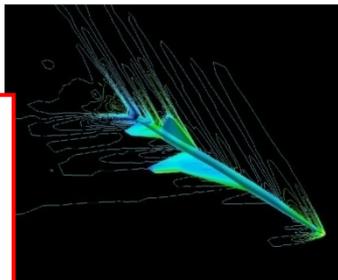
Submit Close

自動格子生成ソフト:
HexaGrid
高速CFDソルバ:
FaSTAR

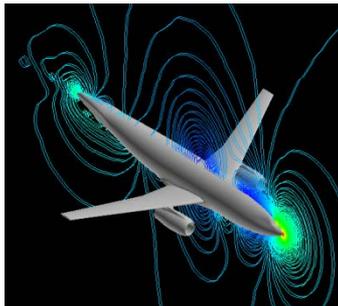
CFD解析
自動実施

パラメータ範囲と
刻み幅を入力

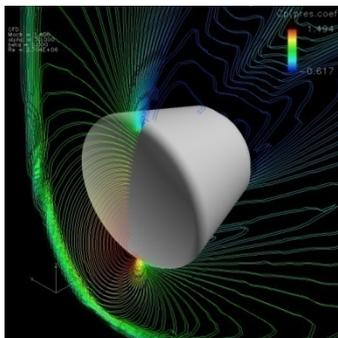
✓ GUI入力のみで格子生成、ジョブ
投入、DB登録までを自動実行



➤全28ケース
➤格子点数12~15M



➤全42ケース
➤格子点数15~24M



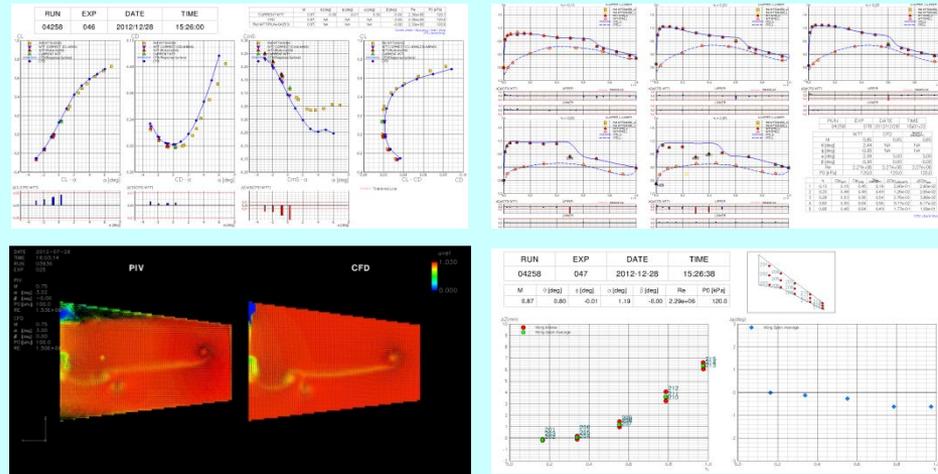
➤全174ケース
➤格子点数3.5~9M

⇒ 従来は数ヶ月を要していた一連の風試前CFD解析作業を、本システムにより
2週間程度で完了させることが可能に(解析時間は市販CFDソルバ比1/10以下)

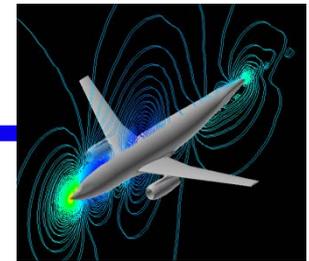
遠隔地風洞ユーザの利便性向上：風試モニタリング機能

モニタリング画面(システムで作成)

風試データ



CFDデータ



インターネット

✓ モニタリング以外の機能も
遠隔地操作が可能



風洞計測室



事業所A



事業所B



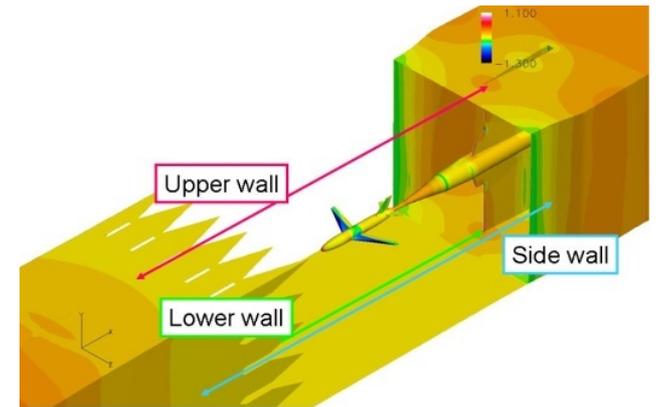
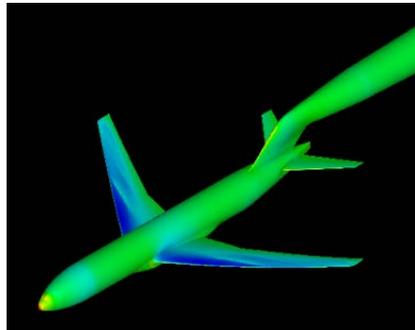
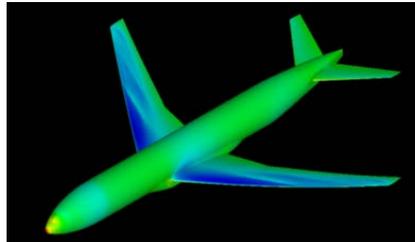
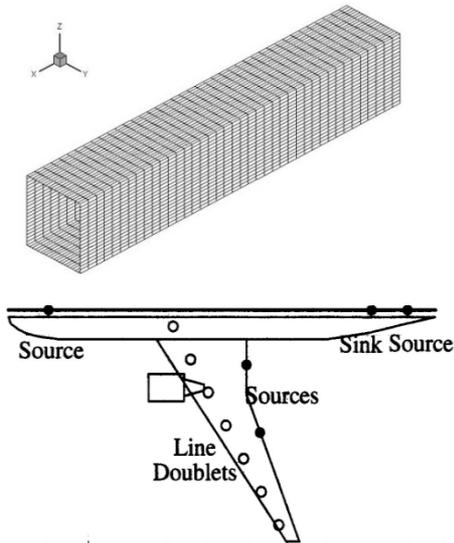
事業所C

...

⇒ インターネットを介して、風試/CFDモニタリング画面をリアルタイム確認、ユーザー間の情報共有が可能に(出張頻度削減効果)

風試/CFDデータ融合による精度向上：風試データ補正機能

■パネル法による風洞壁干渉補正、事前CFDによる支持干渉補正、風洞丸ごと解析による風洞壁/支持干渉同時補正の3機能を整備



➤ 風洞壁干渉補正：JAXA既存のパネル法コードを組み込み、風試中のリアルタイム処理を実現

➤ 支持補正干渉：支持装置あり／なしのCFD解析を行い、空力係数の差分値から補正量を算出

➤ 風洞壁/支持干渉同時補正：模型/風洞壁/支持装置の全てを考慮した解析（風洞丸ごと解析）により、風洞壁/支持干渉を同時補正

⇒ 風試単独では補正が困難な風洞壁、支持装置の影響除去を、CFDによりカバー

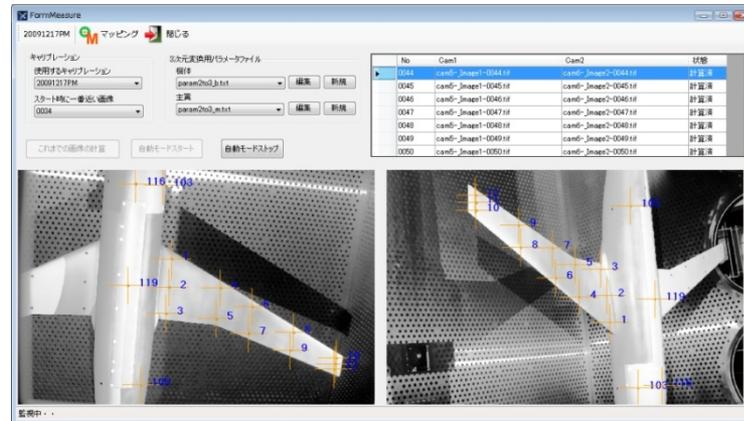
風試/CFDデータ融合による精度向上：計測反映CFD解析機能

- 風試データの気流状態量および模型姿勢角を用いて、CFD解析を再実施
- 模型変形計測データを用いてCFD格子を修正(変形)し、CFD解析を再実施

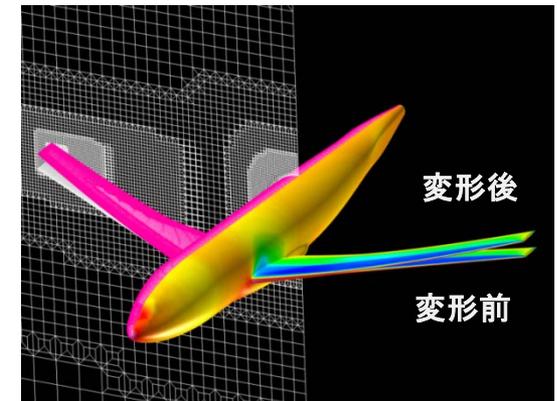
風洞基本量

- マッハ数
- レイノルズ数
- 模型迎角

模型変形計測データ



計測反映解析結果



⇒ 計測結果をCFDに反映することにより、厳密な風試/CFD比較が可能に

サブシステム概要(1)

デジタル風洞

デジタル風洞に組み込まれているソフトウェア

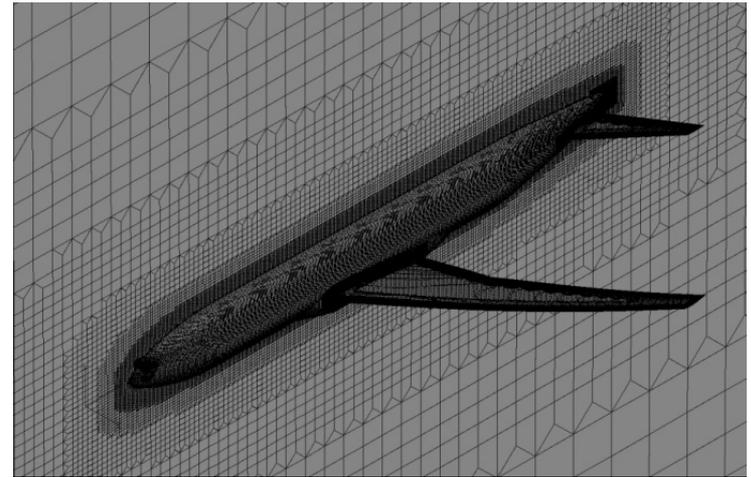
高速に空力データベースを構築するために...

自動格子生成ソフト: HexaGrid

- ・ CAD形状データから、自動的に格子を作成
- ・ 少ないパラメータで生成可能
- ・ 複雑な形状に対応

手動で作成すると1カ月 → HexaGridで1~2時間

Lahur, P. R., "Automatic Hexahedra Grid Generation Method for Component-based Surface Geometry,"
AIAA Paper 2005-5242



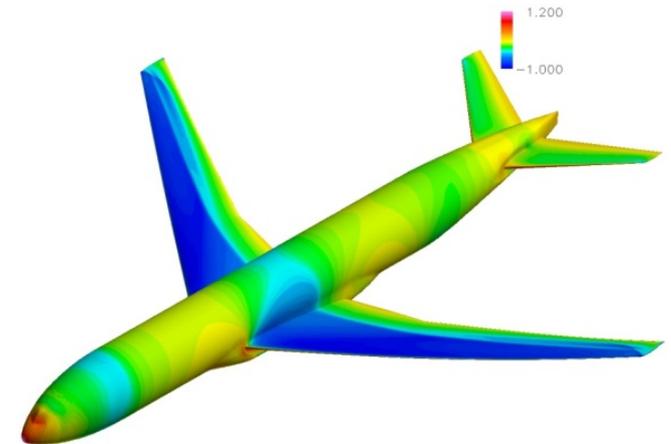
HexaGridで自動生成した格子

高速流体ソルバ: FaSTAR

- ・ 短時間で解析可能(世界最速レベル)
- ・ Euler, RANSによる解析が可能

現状1.8時間/ケース

Hashimoto A., et al, "Toward the Fastest Unstructured CFD Code "FaSTAR"", AIAA Paper 2012-1075

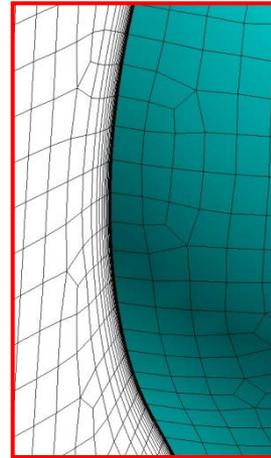


FaSTARによる計算例: Cp分布

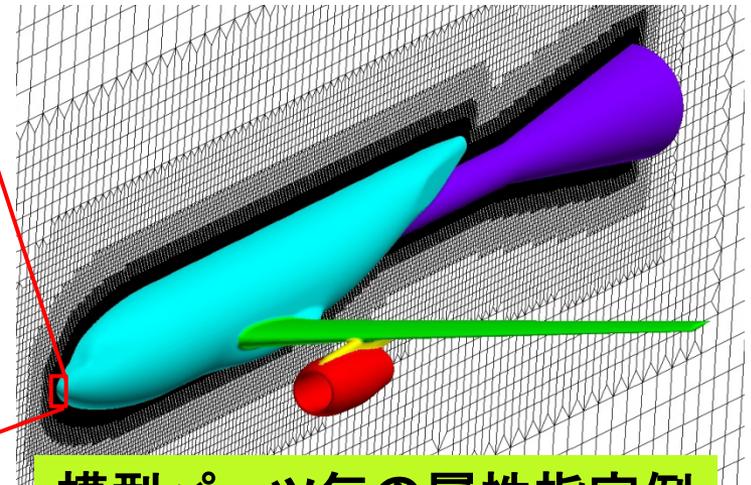
HexaGridの特徴

風試模型のSTLデータから、6面体セルベースのCFD解析用格子を自動的に生成可能

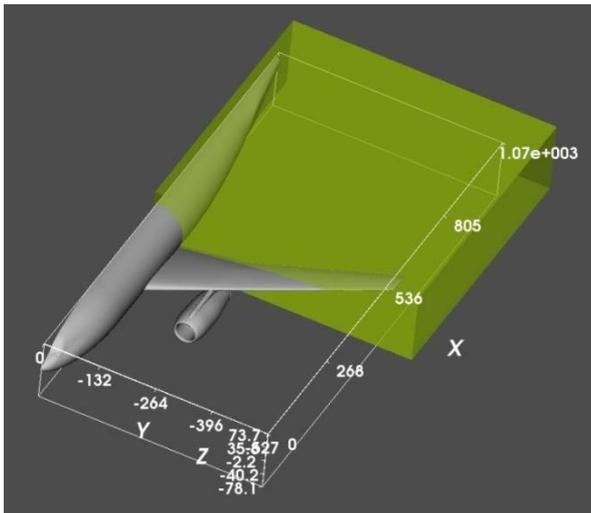
- ▶ 主な設定パラメータ:
外部領域、表面最大・最小セル幅、境界層内最小格子幅など
- ▶ 隣接STLデータの法線ベクトルの角度によって格子を自動細分化
- ▶ リファインメントボックスにより、任意の空間の格子を細分化可能
- ▶ 風試模型パーツ毎の空力係数算出が可能な属性指定に対応



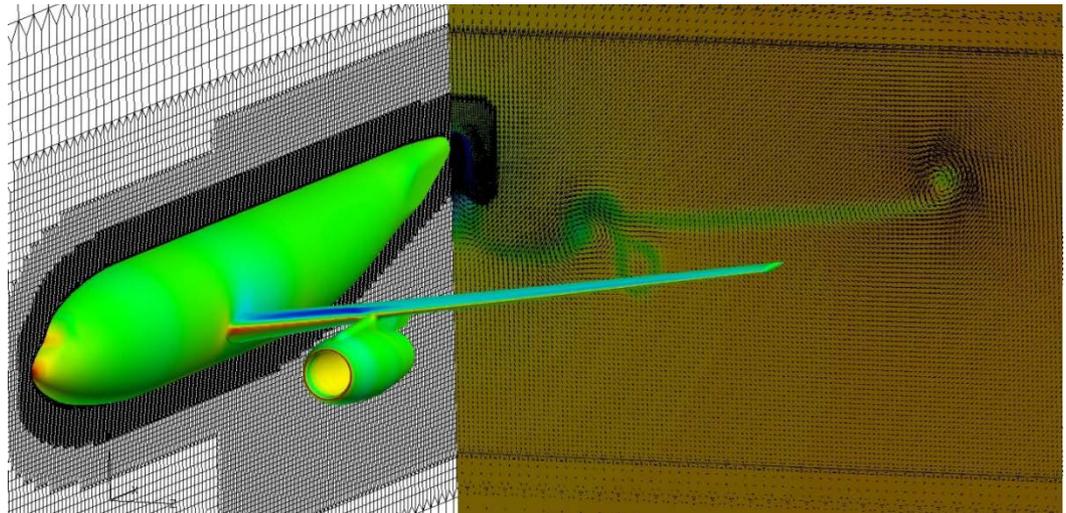
境界層格子



模型パーツ毎の属性指定例

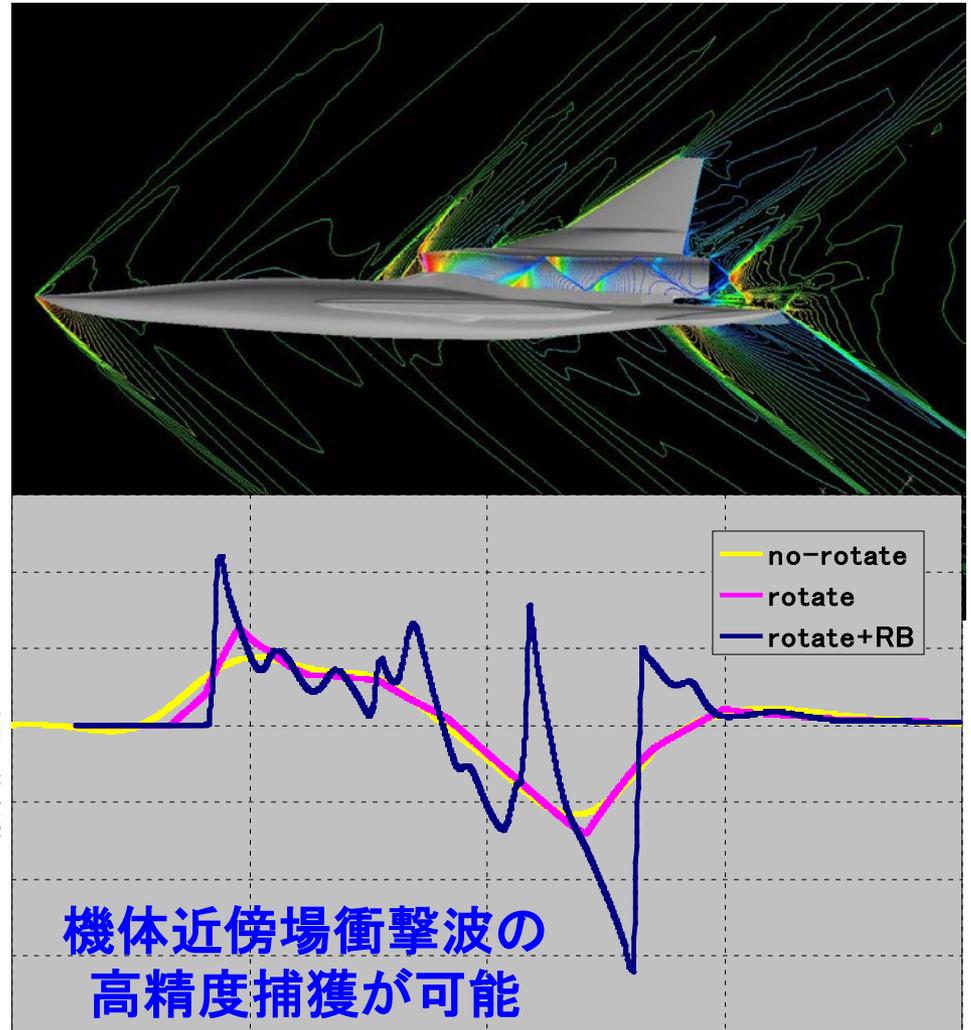
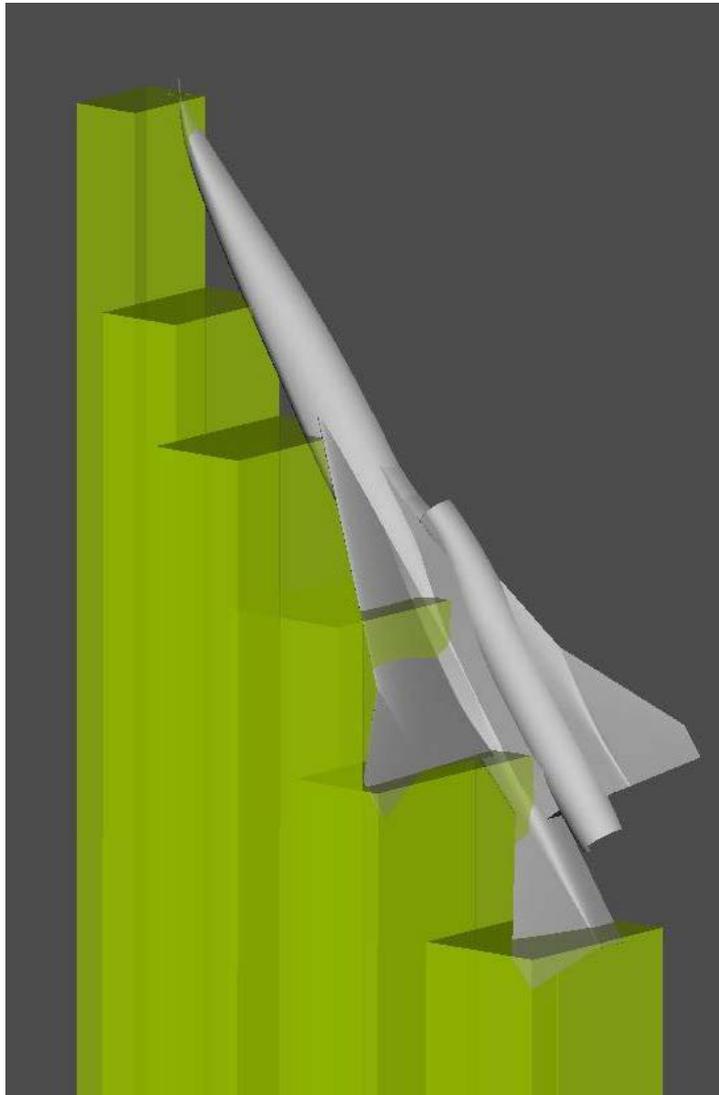


リファインメントボックスの利用例: 翼端渦の解析



リファインメントボックスの利用例

機体下方の対称面内の衝撃波の解像度が向上する



無次元距離

FaSTARの特徴

高速流体解析ソルバ: FaSTAR (FAST Aerodynamic Routines)

格子データ (HexaGrid, Gridgen)
計算条件

↓
Pre-Process

- ・データ構造の変換
- ・領域分割
- ・セルの面積と体積の計算
- ・並び替え
- ・格子品質チェック

↓
Solver

- ・流体解析

↓
Post-Process

- ・可視化用データ作成

↓
空力データ (六分力)

↓
可視化データ (Fieldview, Tecplot, Paraview)

プロセスの分離

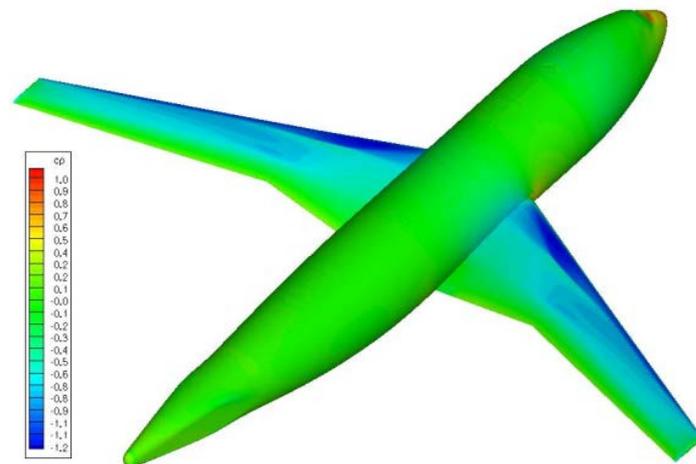
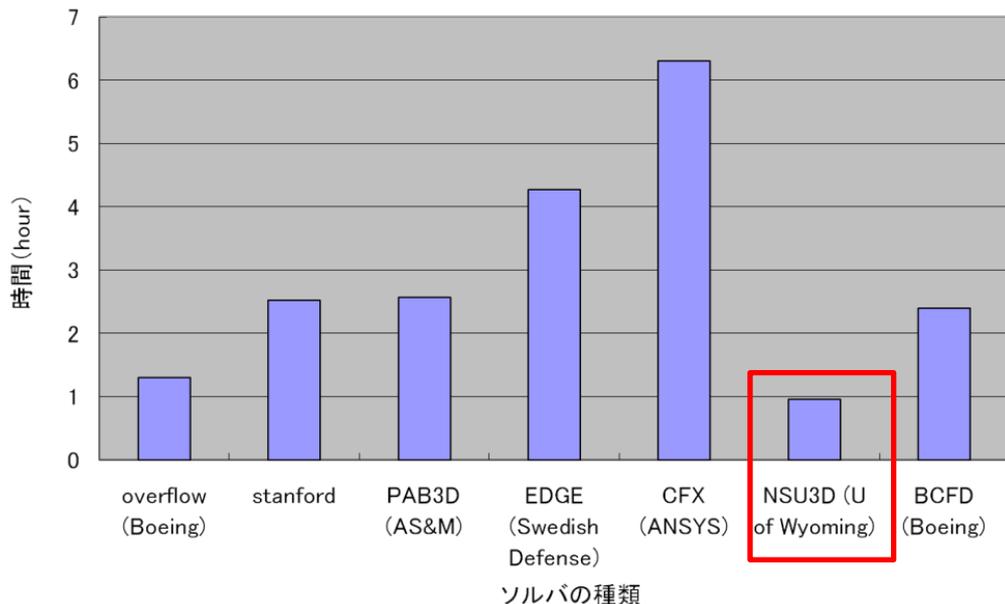


- ・コンパクトな設計
(ソルバをシンプルに)
- ・開発の効率化
(共同作業がしやすい)
- ・メンテナンス性の向上
(インターフェイスが明確)
- ・ファイルのデータ量が多い

FaSTARの性能、解析規模

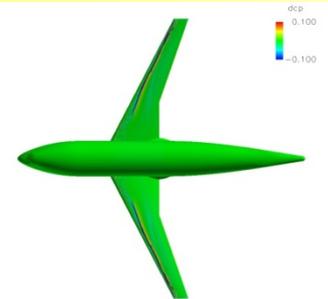
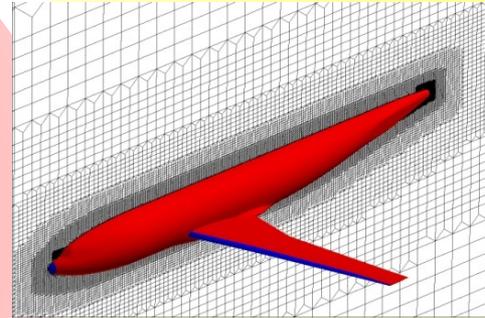
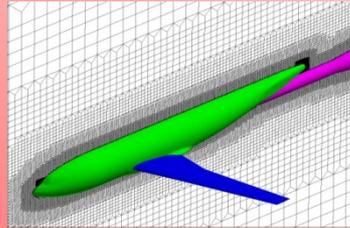
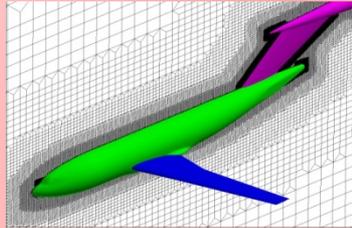
- 格子: 非構造格子
 - 方程式: RANS方程式
 - 計算資源: JAXAスパコン 100コア
 - 格子点数: 1000万点
 - 計算時間: 1時間/ケース
 - 誤差: 10カウント(1カウント=0.0001)
- ← 汎用性
 - ← 抵抗予測(圧力、摩擦)
 - ← 常時使用可能な資源
 - ← 現実的なターンアラウンド
 - ← 世界最速レベル
 - ← 格子数より

通常の解析(格子1000万点、100CPU)に対する計算時間

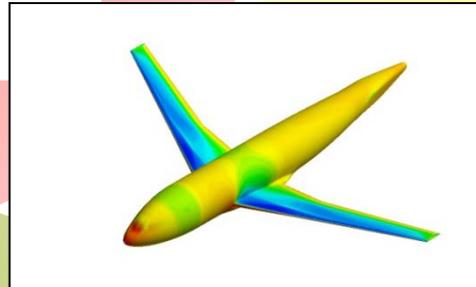
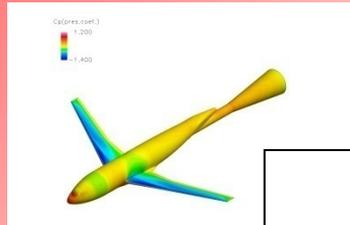
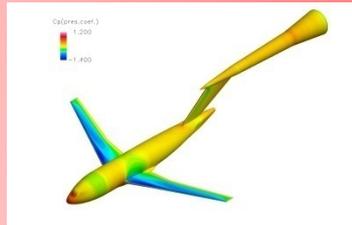


DLR-F6風洞試験模型の計算例

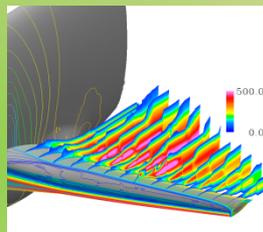
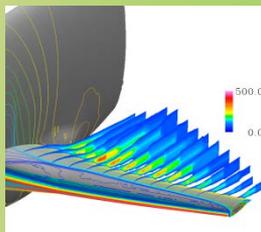
HexaGrid/FaSTARの解析機能



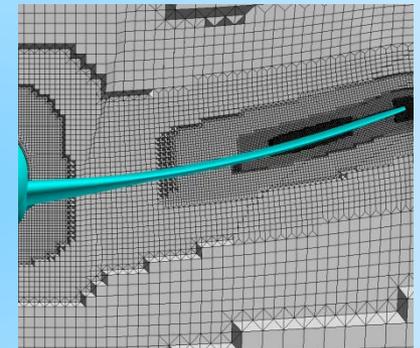
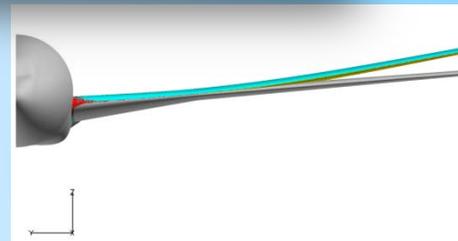
強制遷移解析



支持干渉解析



不確定性評価
(乱流モデル、格子)



流体構造連成解析

サブシステム概要(2)

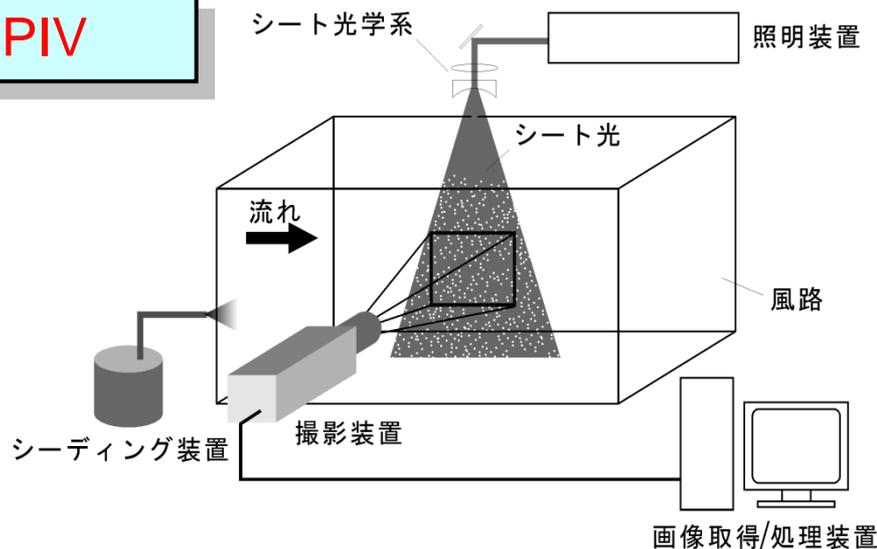
アナログ風洞データ処理システム

粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry; PIV)

$$u(x, t) = \frac{\Delta x(x, t)}{\Delta t}$$

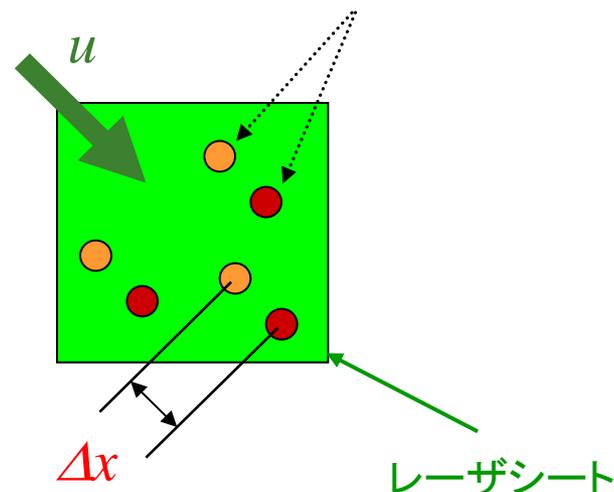
流速 = 粒子移動距離 / 時間間隔

2D PIV



レーザー光のシード粒子への
2回の照射

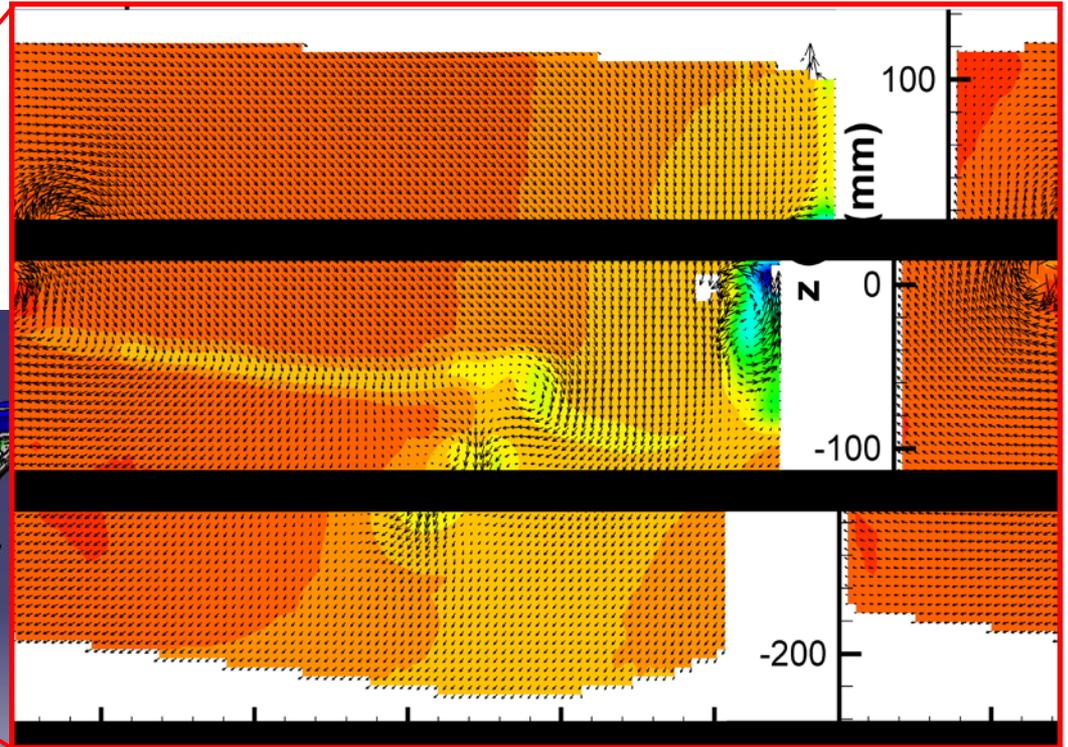
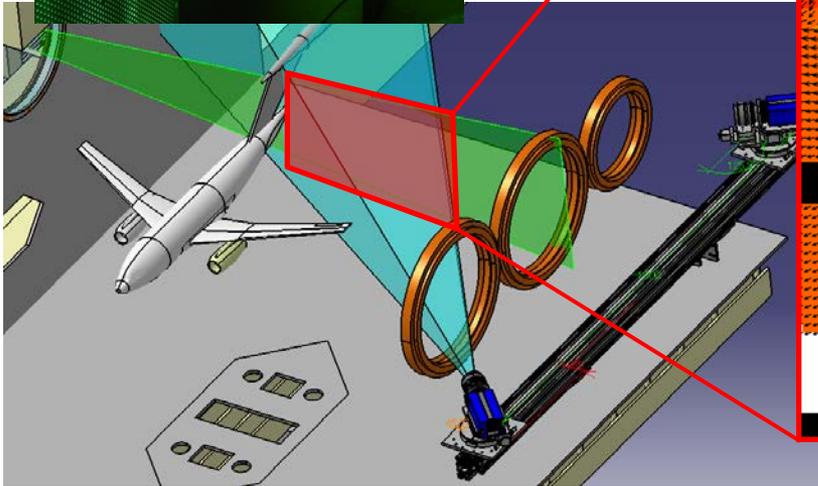
同一粒子の画像



PIV計測例



DLR F6
縮尺模型



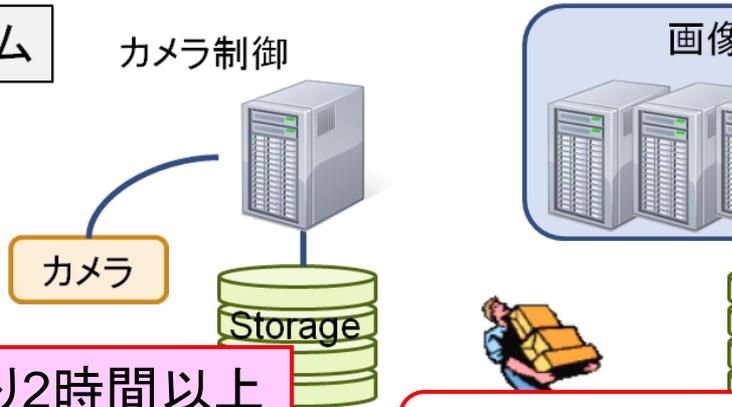
PIV計測結果

1試験条件: 200~2,000 セット
→ 撮影時間: 1分~10分程度

PIV処理時間: 1,000 セット
→ 2.2 時間(Pentium D 820(2.8GHz Dual Core) × 8台)
PC1台では11.8時間

PIVデータ高速処理システム

既存システム

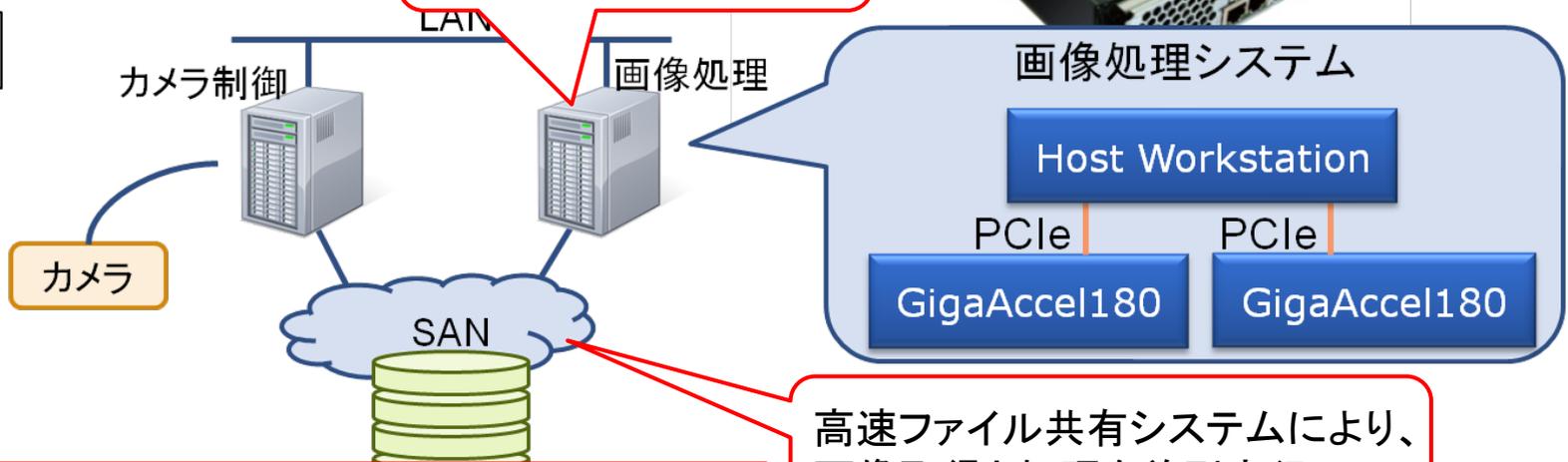


社名 : フィックスターズ
商品名 : GigaAccel180
特徴 : PowerXCell 8i アーキテクチャ
動作周波数 2.8GHz
搭載メモリ 4GB
PCIe によるホストとの通信

1セット当たり2時間以上の処理時間が必要

PC1台のみで高速処理
(可搬性に優れる)

新システム



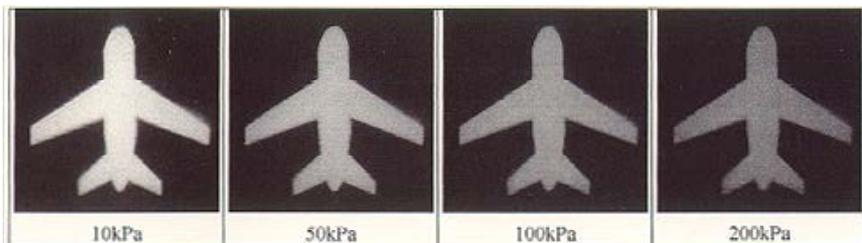
高速ファイル共有システムにより、
画像取得と処理を並列実行

✓ 現行のPCクラスタより**24倍**まで高速化達成
(1セット当たり10分以内の処理実現)

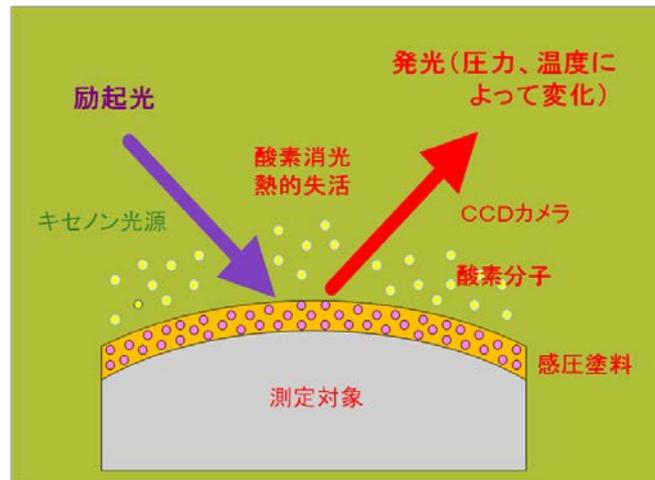
感圧塗料計測 (Pressure-Sensitive Paint; PSP)

感圧塗料 (Pressure-Sensitive Paint)

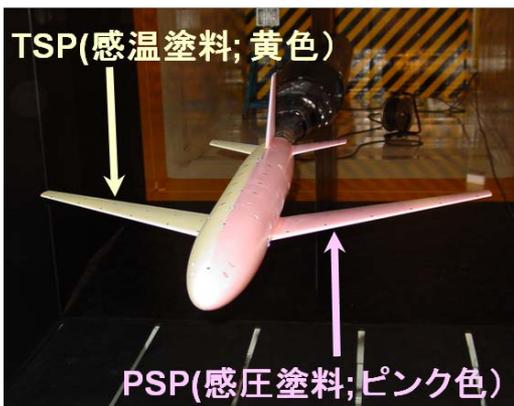
圧力の高低により発光量が変化



→
圧力 大(温度大)
発光量 小



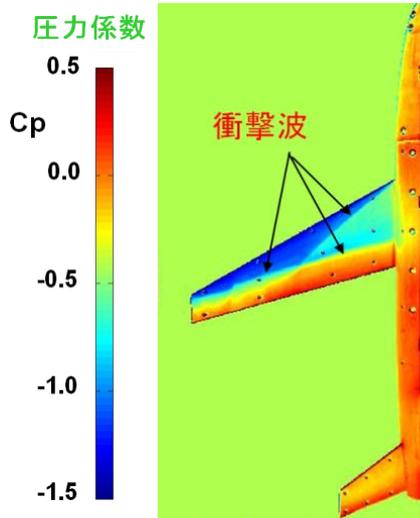
感圧塗料の測定原理



ONERA M5標準模型
(全長 1.058m、スパン 0.982m)

PSP/TSP塗り分け法:

PSPの温度感度をTSP(感温塗料)データにより補償



	PSP	圧力センサー計測 (従来技術)
取得可能 圧力 データ	「面」データ: 詳細分布 ⇒ 設計者への視覚的 データ提供	「点」データ: 圧力孔位置のみ
模 型	空気力測定のための 通常模型と併用可 (PSPを塗布)	多数の圧力孔を有する 圧力模型が必要 ⇒ 製作期間長、コスト高
信頼性/ 計測精度	圧力センサにやや劣る ⇒ 少数の圧力孔の併用 により精度改善可	現在のところ最も信頼性 高い (長い実績)

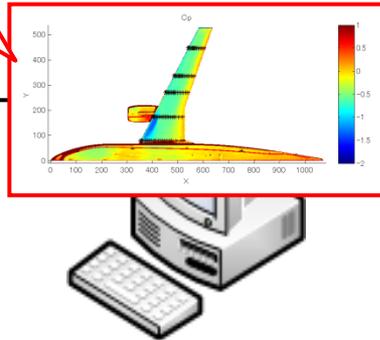
PSP計測データ高速処理システム

処理データのコアシステム
へのアップロード



ハイブリッド風洞コアシステム

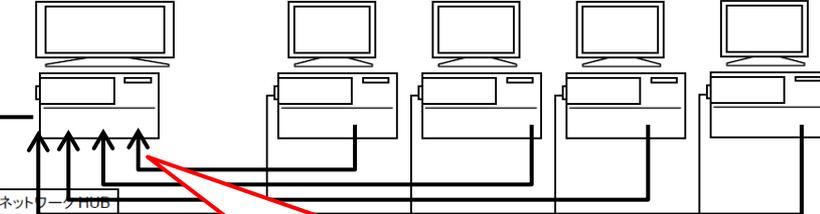
模型表面静圧計測システム
(圧力孔+圧力センサ)



PSP処理用PC

画像取込 PC マスタ

画像取込 PC スレーブ



LANによる画像データ転送

ファンクション
ジェネレータ 5

UniCap マスタ側ソフトウェア
ライセンス 1式

UniCap スレーブ側ソフトウェア
ライセンス 3式

トリガ信号

カメラ部

風洞計測データ受渡し
のオンライン化

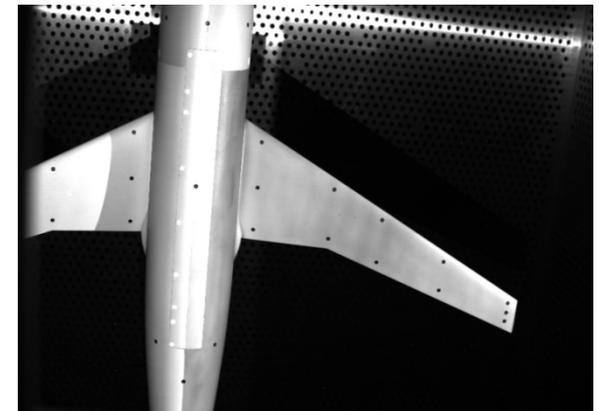
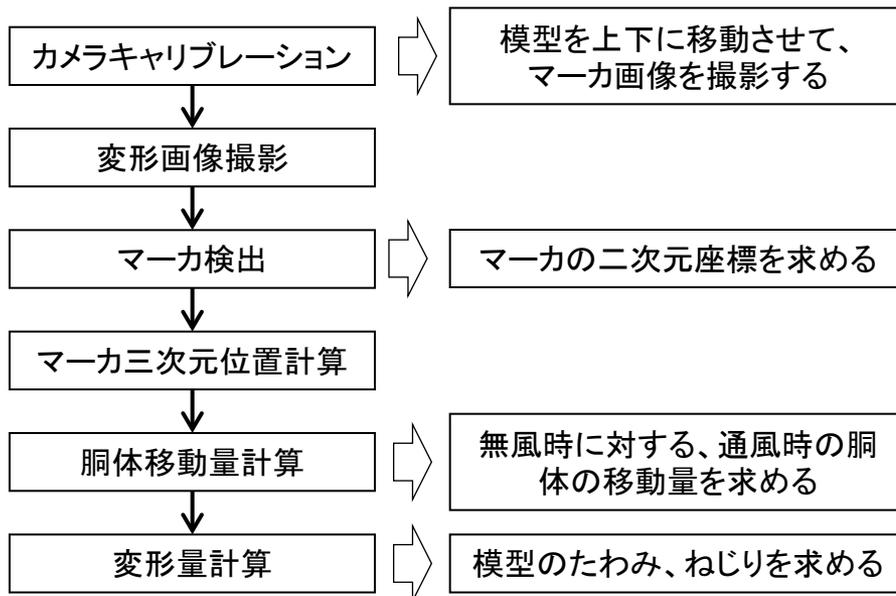
✓画像取得から圧力分布データ算出まで2分で完了

模型変形計測 (Model Deformation Measurement; MDM)

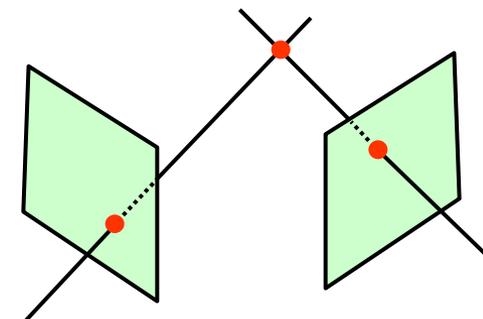
模型にマーカを貼り、その三次元位置をカメラ2台によるステレオ視により、写真測量法の原理で計測する手法

● 利点

- 非接触、多点計測
- 高精度な計測が可能 (カメラ解像度による)
- 計測位置が明確



マーカ画像



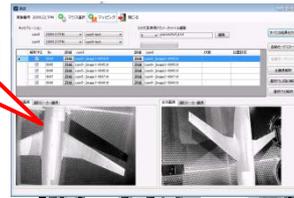
2台カメラによるステレオ計測

MDMデータ高速処理システム

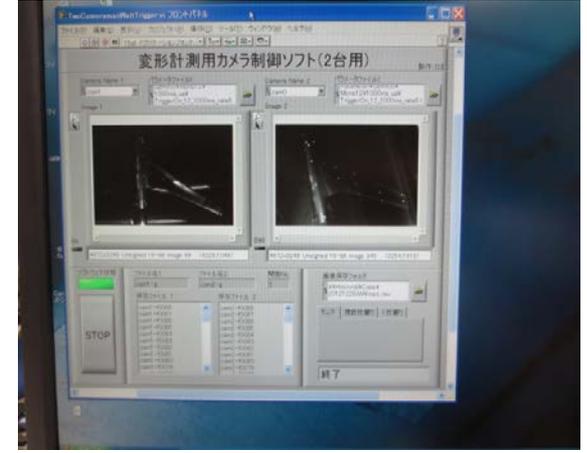


ハイブリッド風洞コアシステム

マーカ検出の自動化



MDM処理用PC



MDM画像取得用PC

風洞基準量データ配信システム

通風条件 (RUN番号、計測番号、マッハ数、
模型姿勢角etc) の自動取得



ファイルサーバ(NAS)

✓データ処理作業の自動化

✓画像取得から模型変形データ算出まで20秒

システム適用例と今後の課題

JAXA 2m × 2m遷音速風洞試験適用例



D-SEND#2基本全機試験



D-SEND#2ブーム確認試験



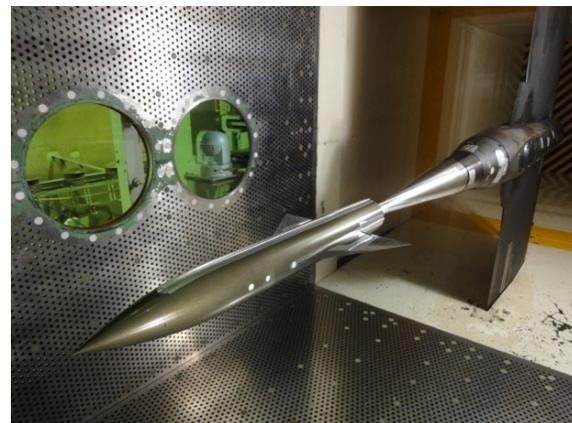
HTV-R回収カプセル試験



DLR-F6 PIV/PSP/模型変形計試験



NASA CRM縮尺模型試験



AGARD-B標準模型試験

⇒ 開発期間中、10件以上の風洞試験(国際共同研究関連を含む)にシステムを適用、特にJAXAプロジェクト(D-SEND#2)および外部ユーザ試験の効率化、利便性向上に直接的に貢献

NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■標準模型：風洞間でのデータ比較やCFD検証のために使用



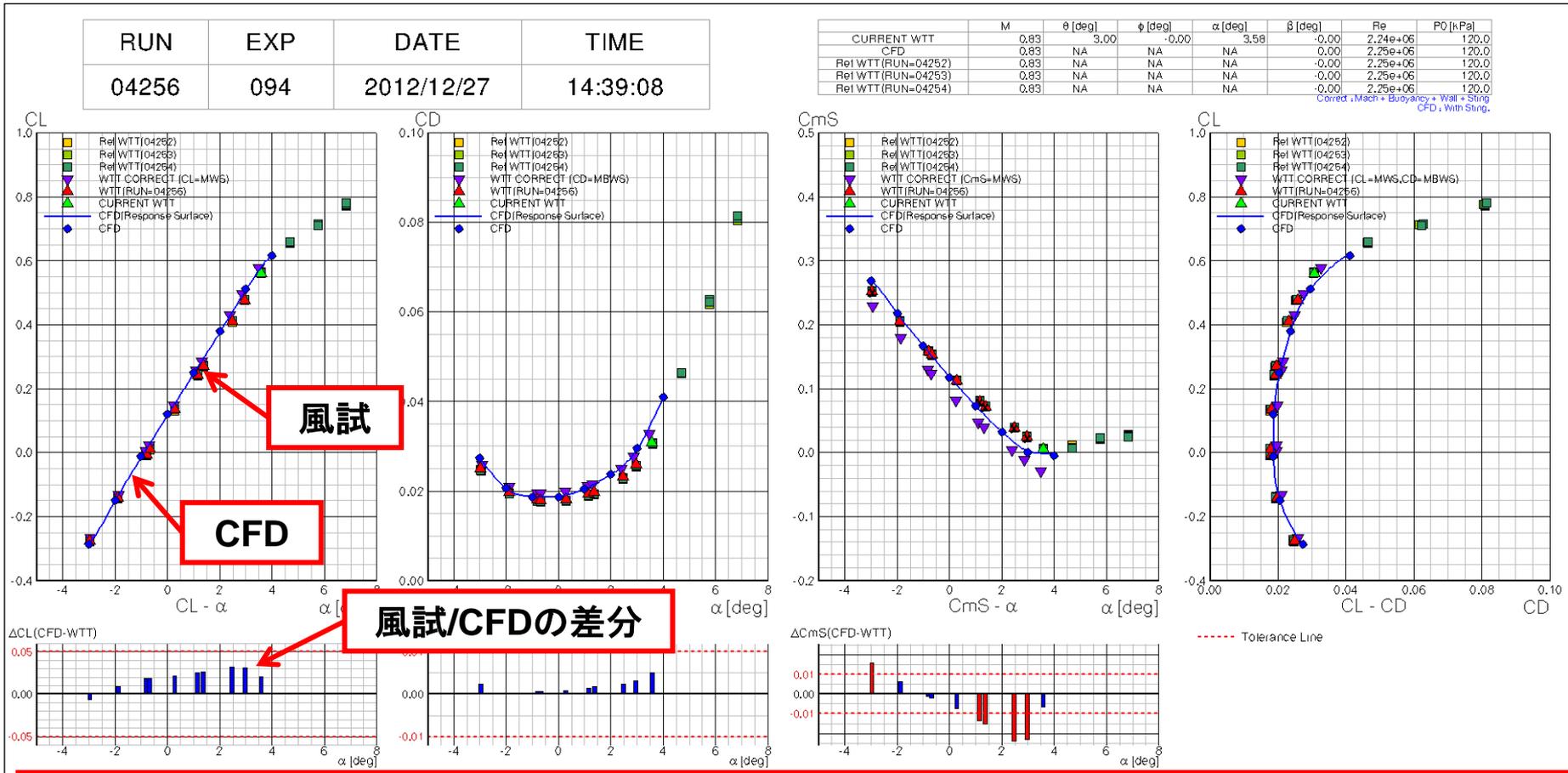
NASA CRM模型



DLR-F6模型

NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

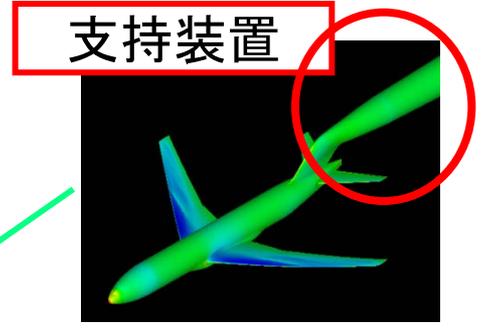
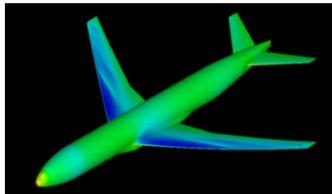
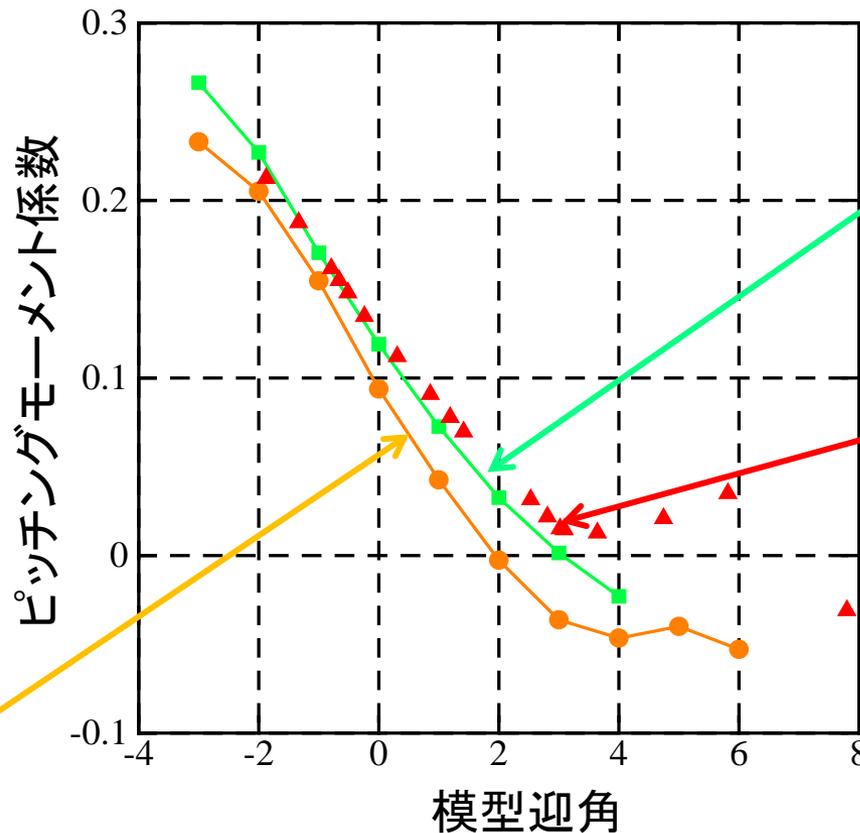
■ 空力係数モニタリング画面



⇒ 従来は試験終了後に実施していたCFDとの比較が、試験中にリアルタイムで可能に
 ⇒ インターネットを介して遠隔地(メーカ事業所等)からのモニタリングも可能

NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■ 空気力計測結果 (M=0.85, P0=120 kPa)

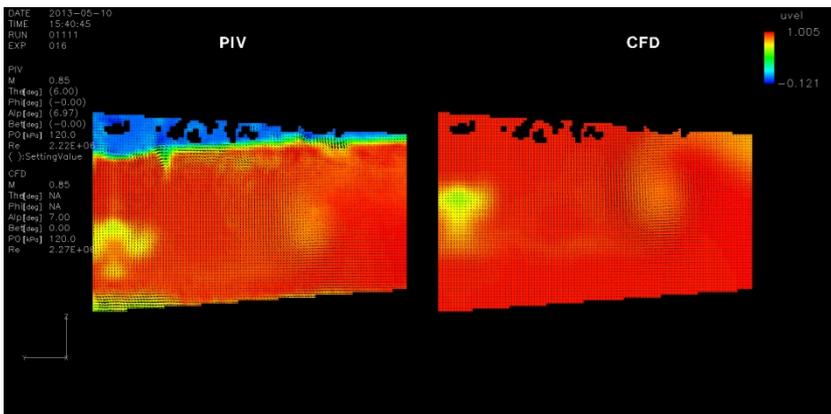
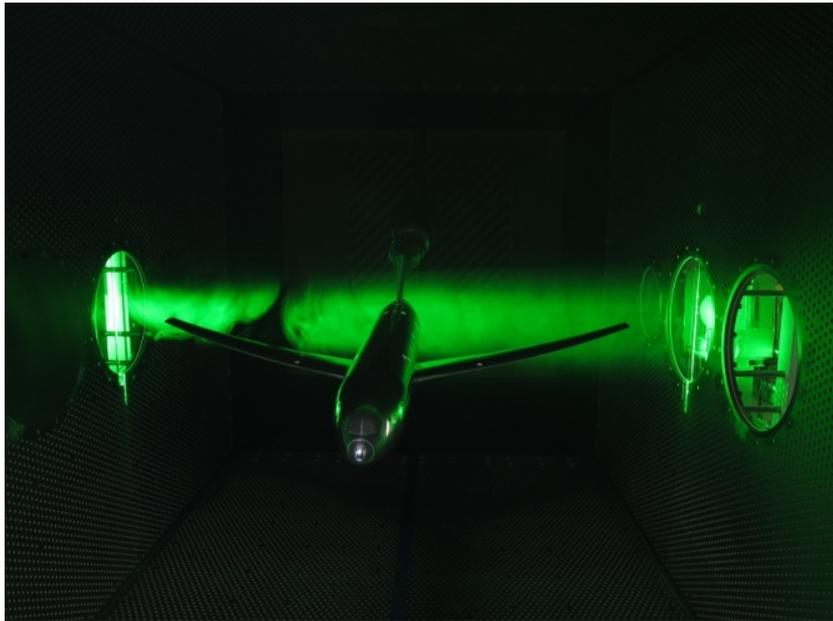


風洞データ

⇒ 風洞試験状態を忠実に模擬することにより、高精度なCFD事前予測が可能に

NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■ PIV計測結果



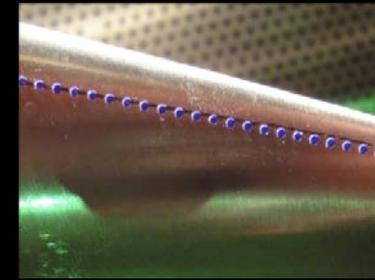
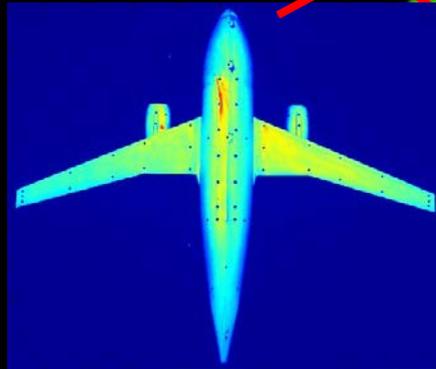
- ステレオPIV(2次元断面の速度3成分計測)
- 計測面：模型後流(気流方向3断面)
- データ処理システムの高速化により、通風中のデータ処理、モニタリング、CFDとの比較を実現
- 計測の問題点を試験中に確認し、次の試験でのデータ処理や機器設定に反映
- データ処理、フォーマット変換、システム登録までのフロー自動化が課題

NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■ PSP計測結果

CFD

PSP



マーカー位置合わせ

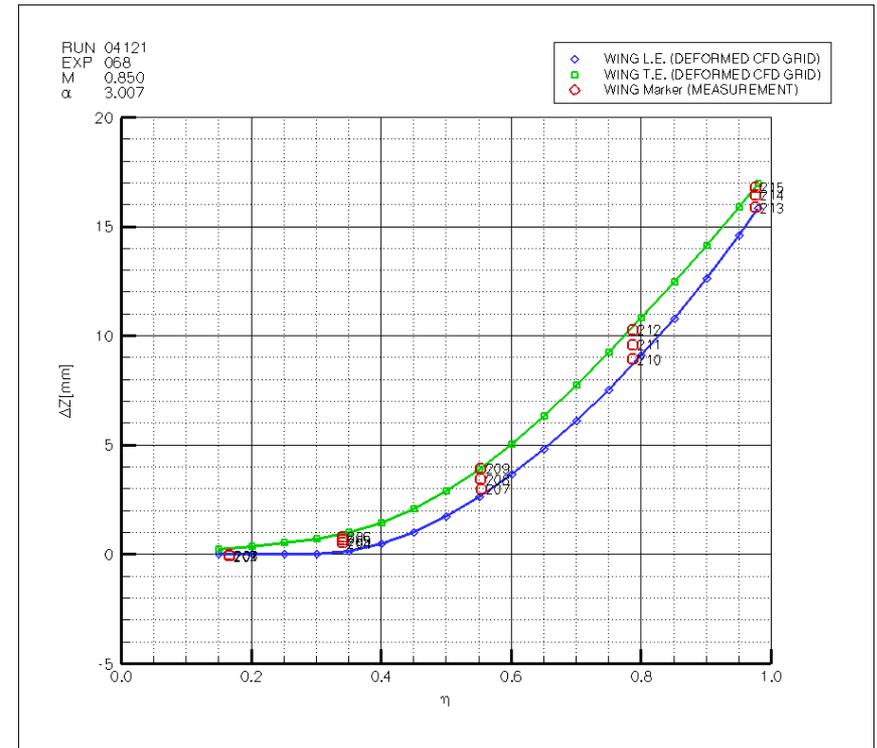
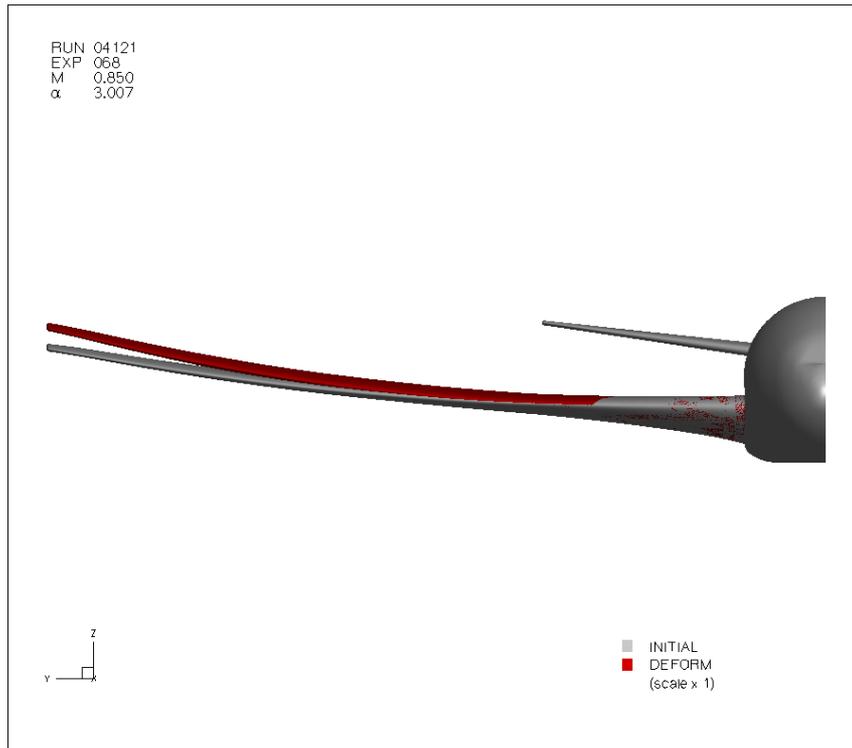
ラフネス

✓計測の問題点を試験中に確認

⇒ 次の試験でのデータ処理や機器設定に反映

NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■ 変形計測反映結果 (AOA = 3.01)

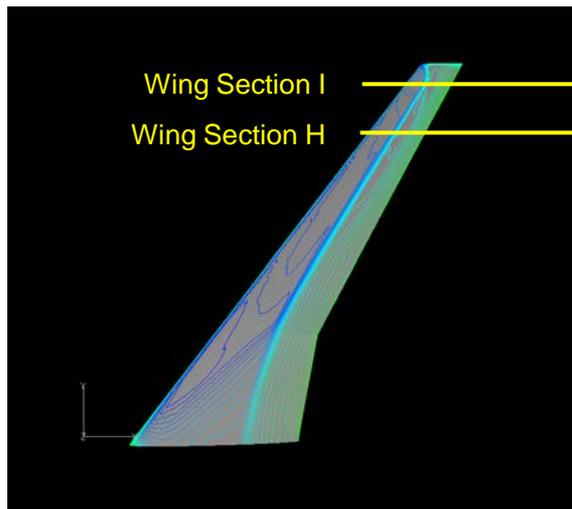


- CDに対する変形の影響は、34.5カウント
- 変形を考慮することによりCFDが風試データに近づく。
- 変形の影響は、pressure forceの変化によるものが支配的

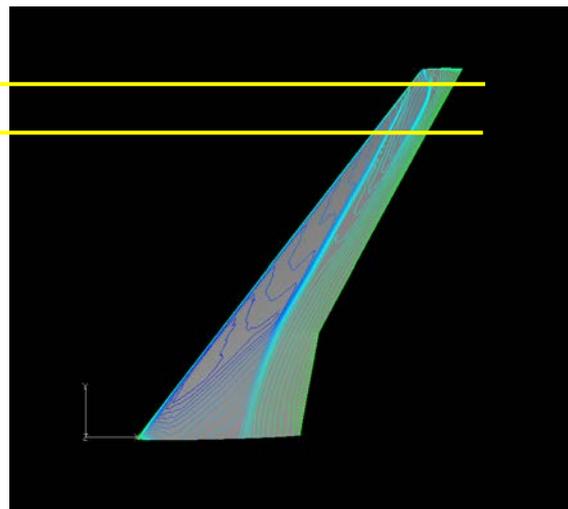
NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■ 主翼表面圧力分布比較

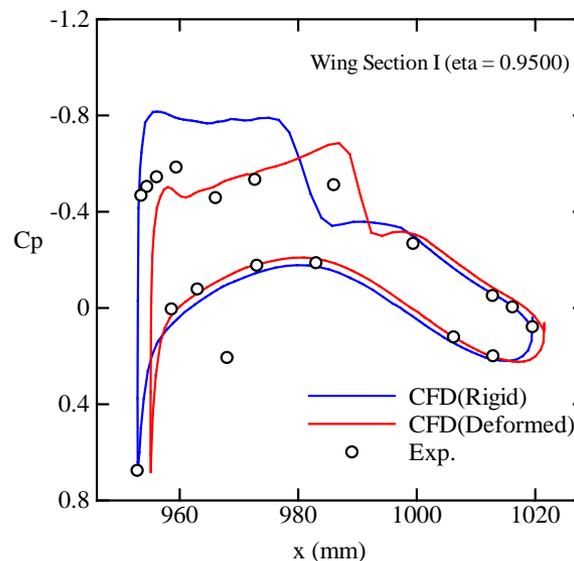
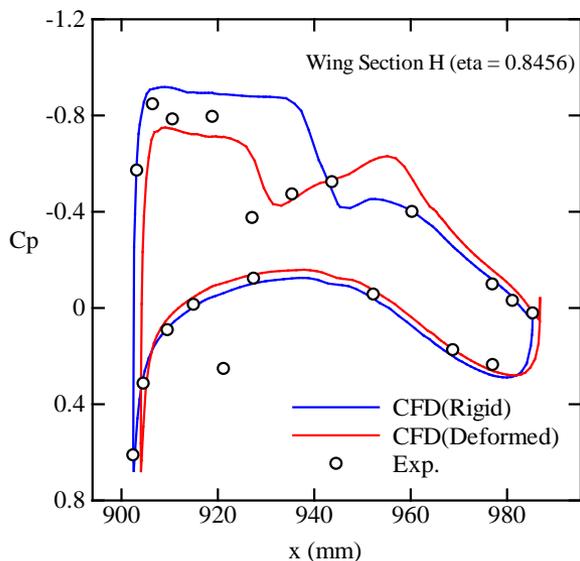
変形前 (rigid)



変形後 (deformed)

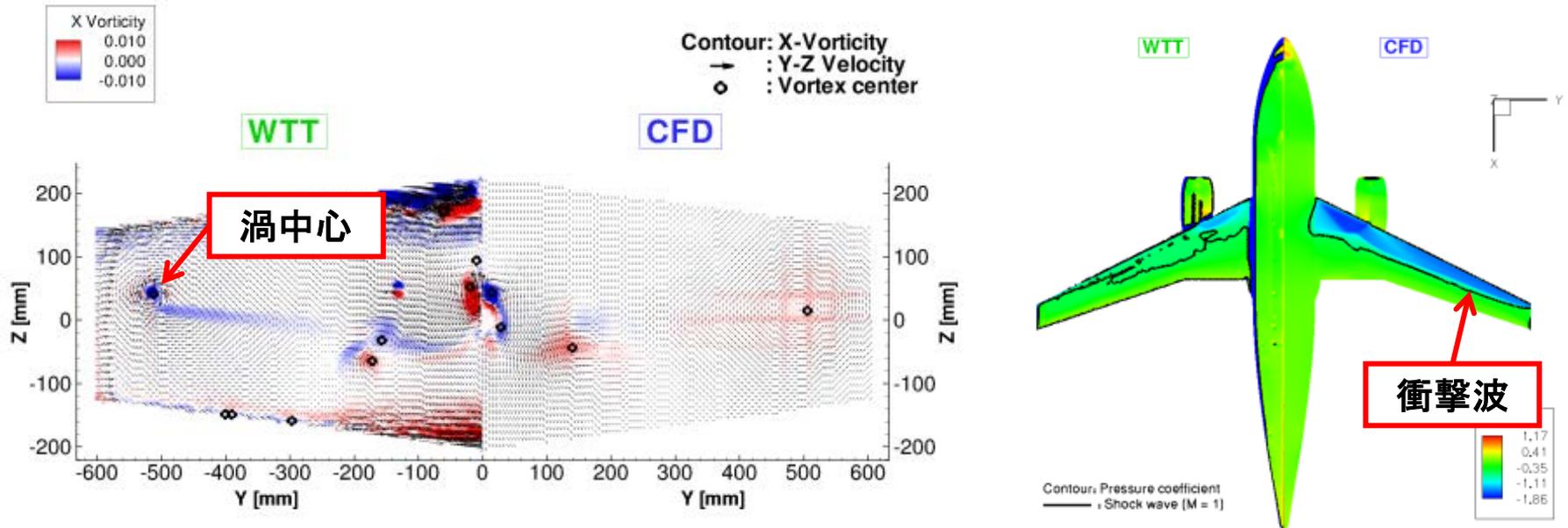


- 変形により、翼先端における衝撃波の様相が異なっている。
- 変形を考慮することで、CFDと風試は傾向的に近づく



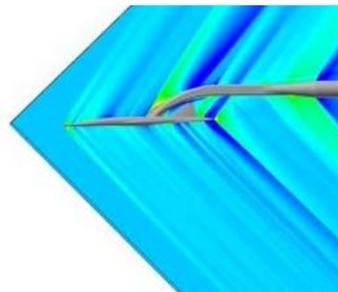
NASA CRM/DLR-F6形状模型試験

■流れ場特徴点抽出、比較

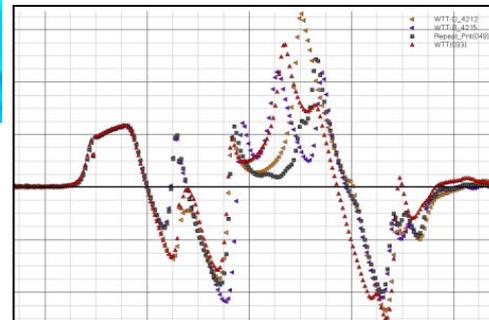


⇒ 渦中心や衝撃波位置等、流れ場特徴点(特異点)を風試/CFD両者で抽出の上、比較

低ブーム概念実証機(D-SEND#2プロジェクト)試験



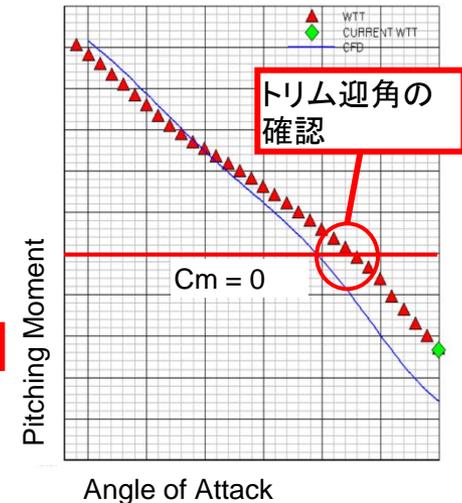
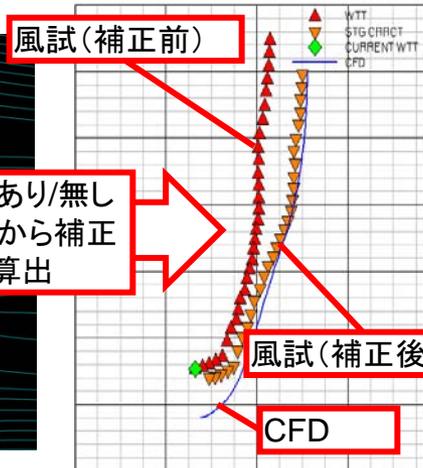
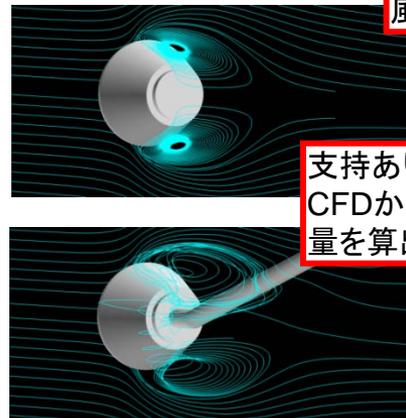
ソニックブーム(風洞壁圧)のリアルタイムモニタリングを実現



- 従来の天秤による力計測や模型表面圧力計測に加えて、ソニックブーム計測のような新種の(特殊な)試験に対してもシステムが柔軟にサポート
- ユーザからのDAHWINの有用性に関するコメント:
 - ⇒ - 風洞試験期間中のリアルタイムモニタリングが可能となったこと
 - FaSTARという実用的CFDツールにより比較的手軽に事前CFD解析が可能となり、リアルタイムに比較ができるようになったことは大変意義深い。

DAHWINの特記すべき効果: ソニックブーム計測データの自動処理と風試/CFD比較により風試中にリアルタイム確認が可能となったことにより、特定のマッハ数での風洞壁からの圧力波の影響を即座に察知し、試験マッハ数の変更に反映(手戻り防止、風試後作業の削減)。

回収機能付加型HTV (HTV-R) 試験



- 事前CFD: 全174ケース実施(全所要時間2週間程度)
- HTV-Rプロジェクトチーム事業所(筑波)において、風試状況をモニタリング
 - ⇒ 風試関係者の出張頻度低減、データ確認効率・高速化に貢献
 - ⇒ モニタリング画面によるトリム迎角の確認がシステムにより実現
- 模型支持装置の影響を、CFDにより補正
 - ⇒ 風試中における補正*の実現により、風試データのリアルタイム妥当性確認に貢献

*従来は風試後のポスト処理

DAHWINの特記すべき効果: ・出張頻度の軽減、・風試とCFDの抵抗データの差異の原因が支持干渉であることが即座に確認でき、無駄な追加作業なく試験を続行、・圧力分布切出し機能により風試/CFD両者の圧力分布の差異の原因を風試中に究明(風試後作業削減かつ手戻りなし)

DAHWINの課題

■ システムのカスタマイズ性向上

⇒ 風試における確認項目(興味の対象)は、試験ごとに異なる

(例)モニタリング項目の拡張(ヒンジモーメント、コンポーネント荷重等)

⇒ 空気力、圧力のみならず、より局所的かつ特定な情報のモニタリング

■ CFDデータを活用した、風試物理現象の理解

⇒ 風試は計測対象が限られるため、物理現象の詳細理解は困難

⇒ CFDデータにより情報を補完

■ CFDの精度向上・信頼性確保

⇒ 遷音速域における複雑形状まわりのCFDは、物理的にも数値的にも課題が多い

⇒ CFDにはスキーム、リミター、乱流モデル等、計算手法に多数のオプションが存在(最適な組み合わせは?)

DAHWINの課題 —可視化の観点から—

■ 不確かさ幅(エラーバー)を含めた可視化

⇒ 今後、風試/CFDデータは、最尤値+不確かさ幅の形で提供

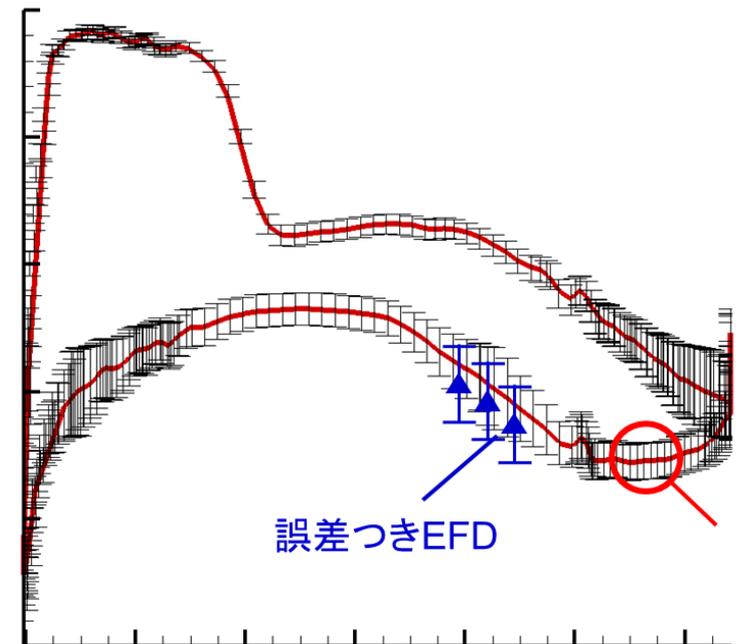
⇒ 不確かさ幅を含めた風試/CFDデータの比較・可視化は、1次元データであれば可能

⇒ 2次元以上のデータは？

■ インターネットを介した可視化ソフトウェアの活用

⇒ 現状は画像データの配信のみ

⇒ 将来的には、遠隔地からでも可視化ソフトを直接操作することにより、可視化の利便性向上を図りたい(3次元物体の回転処理等)



DAHWINのさらなる発展に向けて

1. EFD/CFD融合技術の推進

- 融合の度合いを高め、システムの機能を拡張

2. 他速度域風洞への拡張

- 6.5m × 5.5m低速風洞他

3. 設計開発ルーチンへの組み込み

- 風試/CFDデータを活用した形状最適化への適用

4. フライトデータとの統合による実機空力特性推算

- 飛翔(ジェットFTB)の導入、MRJ開発等により、今後フライトデータの蓄積が期待
- 風試/CFD/フライトデータ統合による実機推算技術の確立、システム化



6.5m × 5.5m低速風洞



飛翔(ジェットFTB)

謝辞

以下のDAHWINの開発に関わってきた方々に、心から感謝の意を表します。(順不同、敬称略)

- (株)菱友システムズ
- (株)キャトルアイ・サイエンス
- 三菱スペースソフトウェア(株)
- (株)計算力学研究センター
- (株)シーイーシー
- (株)フィックスターズ
- (株)シルク・ラボラトリ
- アドバンスソフト(株)
- お茶の水女子大学
- JAXA DAHWIN開発チーム