



認証DXに関する研究開発

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 航空技術部門
航空機DX技術実証 (XANADU) プロジェクトチーム

竹田 智

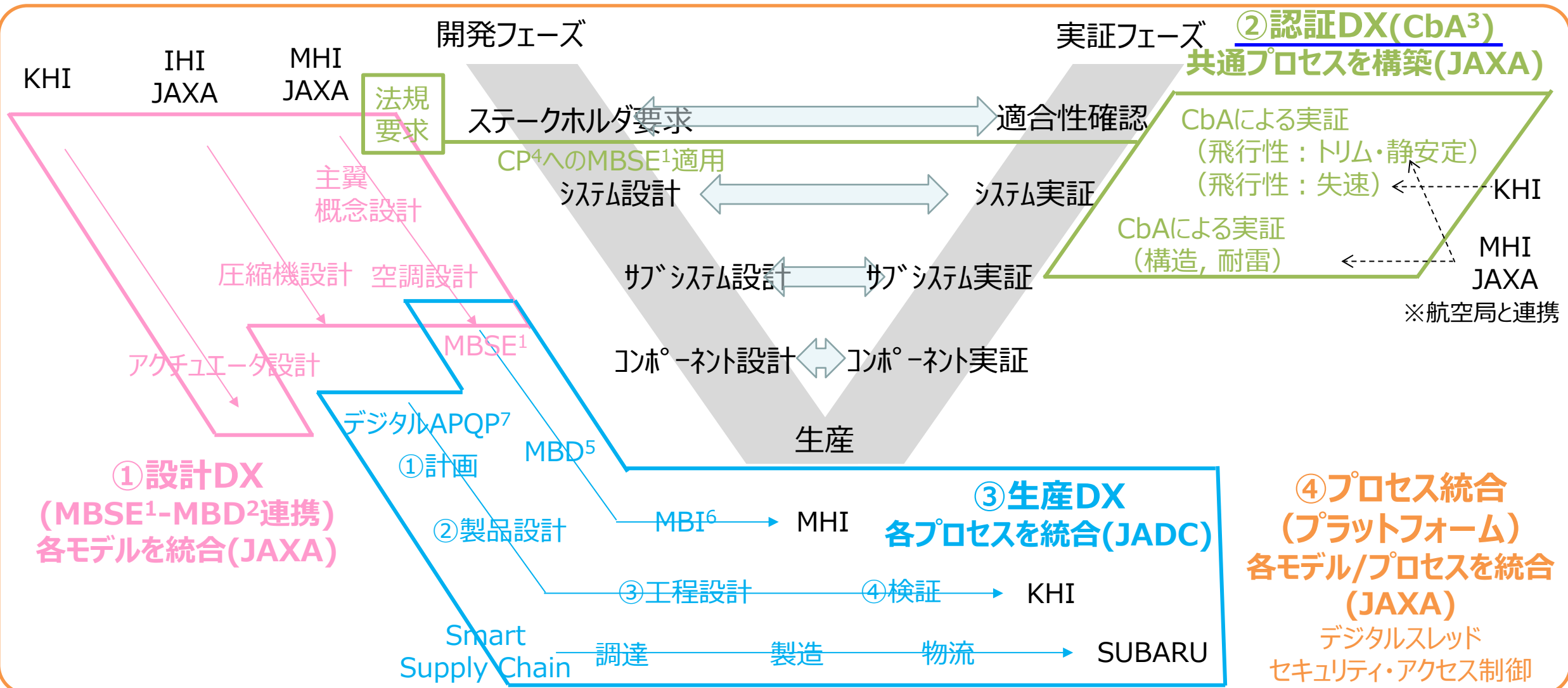
Kプロ事業では設計DX、認証DX、生産DX、プロセス統合（DXプラットフォーム）に取り組む

フェーズ	概要	担当機関
設計DX	Model-Based Systems Engineering (MBSE)とModel-Based Development (MBD)の連携に基づくプロセス、及びリファレンスモデルを構築	JAXA IHI KHI MHI
認証DX	国際的な信頼性保証フレームワークとの連携を図りつつ、認証試験を解析で代替するCertification by Analysis (CbA)のプロセスを構築し、実用性の高いガイドラインを作成	JAXA KHI MHI ※航空局と連携
生産DX	デジタル技術を活用したAdvanced Product Quality Planning (APQP)、Model-Based Definition (MBD)とModel-Based Instructions (MBI) の連携、Smart Supply Chain(SSC)のプロセス構築	JADC KHI SUBARU MHI
プロセス統合 (DXプラットフォーム)	複数組織間でのデータ連携手法、先進デジタルスレッド技術を確立することにより、設計・認証・生産フェーズの各プロセスをシームレスにつなぎ統合するための手法を開発。国際共同開発において適用可能なプラットフォームを構築	JAXA

Kプロ事業で構築するプロセスの全体像



設計/認証/生産の各フェーズのプロセスを統合し、MBSEで要求を全体にフローダウンする仕組みを構築。



¹MBSE: Model-Based Systems Engineering, ²MBD: Model-Based Development, ³CbA: Certification by Analysis, ⁴CP: Certification Plan, ⁵MBD: Model-Based Definition, ⁶MBI: Model-Based Instructions, ⁷APQP: Advanced Product Quality Planning

認証当局の法規要求への適合性を証明する方法

国土交通省航空局（JCAB）、米国連邦航空局（FAA）、欧州航空安全庁（EASA）等

物理試験

実機・実構造を使用

- 高い安全性の確保に貢献
- 多くの試験や大規模・複雑な試験が必要 ⇒ 航空機の開発コストの増大、市場導入までの期間の長期化



全機静強度試験



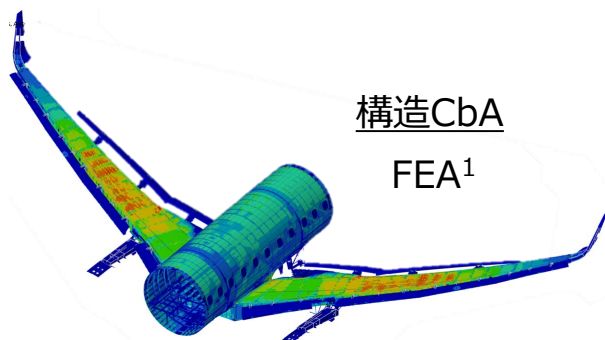
飛行試験



全機耐雷試験

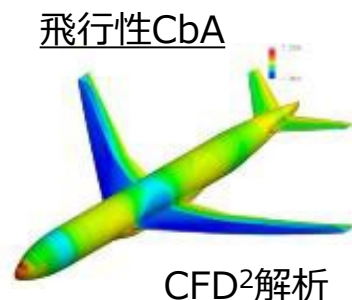
CbA : 解析/シミュレーション

- 物理試験をシミュレーションで代替 ⇒ 認証における解析の役割拡大
- CbAの実現に向けた動きが国際的に活発化 例：EASA Proposed CM No.: CM-S-014 Issue 01
NASA/CR-20210015404



構造CbA

FEA¹

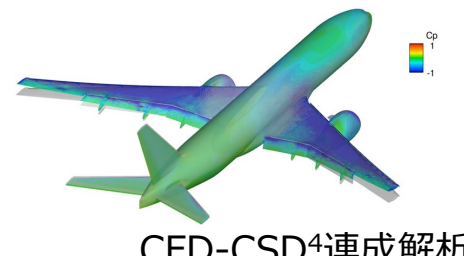


飛行性CbA

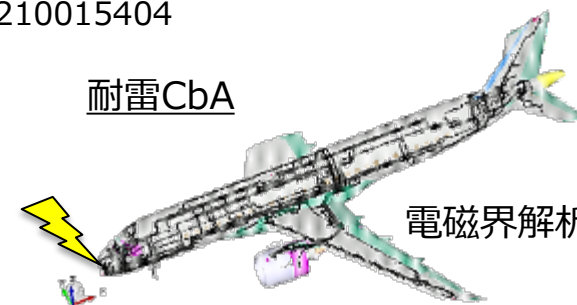
CFD²解析



FDS³



CFD-CSD⁴連成解析



耐雷CbA

電磁界解析

¹ FEA: Finite Element Analysis

² CFD: Computational Fluid Dynamics

³ FDS: Flight Dynamics Simulation

⁴ CSD: Computational Structural Dynamics

航空機の安全性担保 + 認証プロセス効率化

CbA及びCPモデル化のプロセスを構築し、実用性の高いガイドラインを発行する。

実施項目	概要
構造CbA	静強度を題材とし、ツールの成熟度向上、ガイドライン作成を行う。
飛行性CbA	縦及び横方向のトリム・静安定、失速を題材に、ツールの成熟度向上、ガイドライン作成を行う。
耐雷CbA	雷電流による誘導電流を題材に、ツールの成熟度向上、ガイドライン作成を行う。
模擬審査	構築したCbAのガイドラインについて、模擬審査を実施し妥当性を検証する。 (対象：構造CbA、飛行性CbA：縦のトリム・静安定)
CPへのSysMLモデル適用	CPを複雑システムと捉え、SysMLで記載する手法を開発する。

CP: Certification Plan (適合性証明計画)

CbAツールの構築、信頼性評価実施

ガイドライン構築



V&V: Verification and Validation
(検証及び妥当性確認)

認証DXに関する研究開発のイメージ

実施項目：構造CbA（JAXA/MHI）



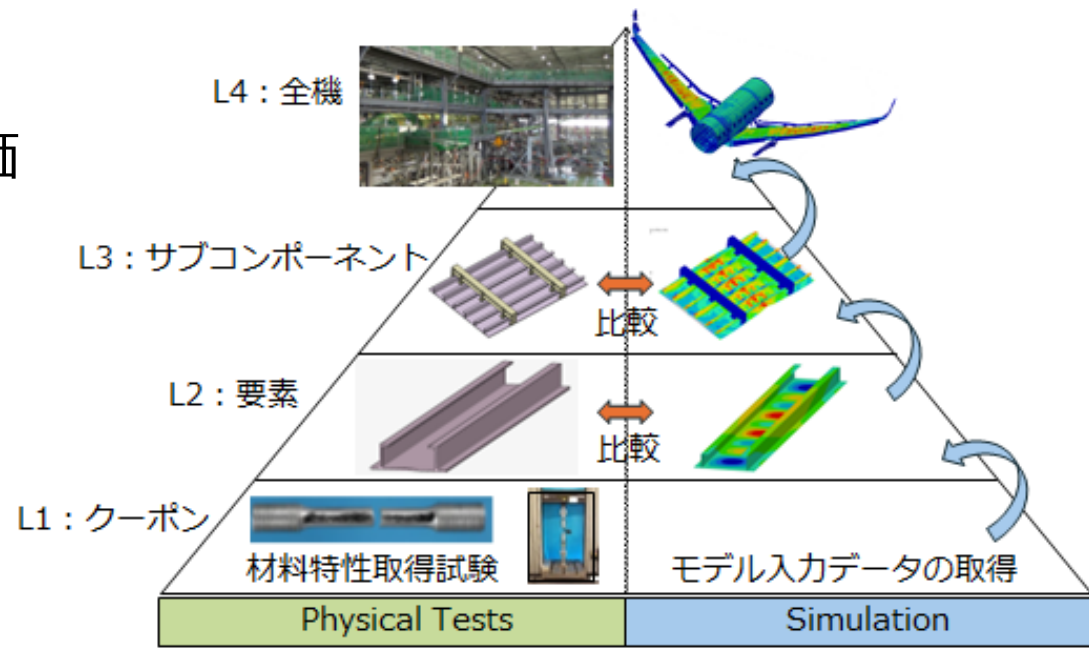
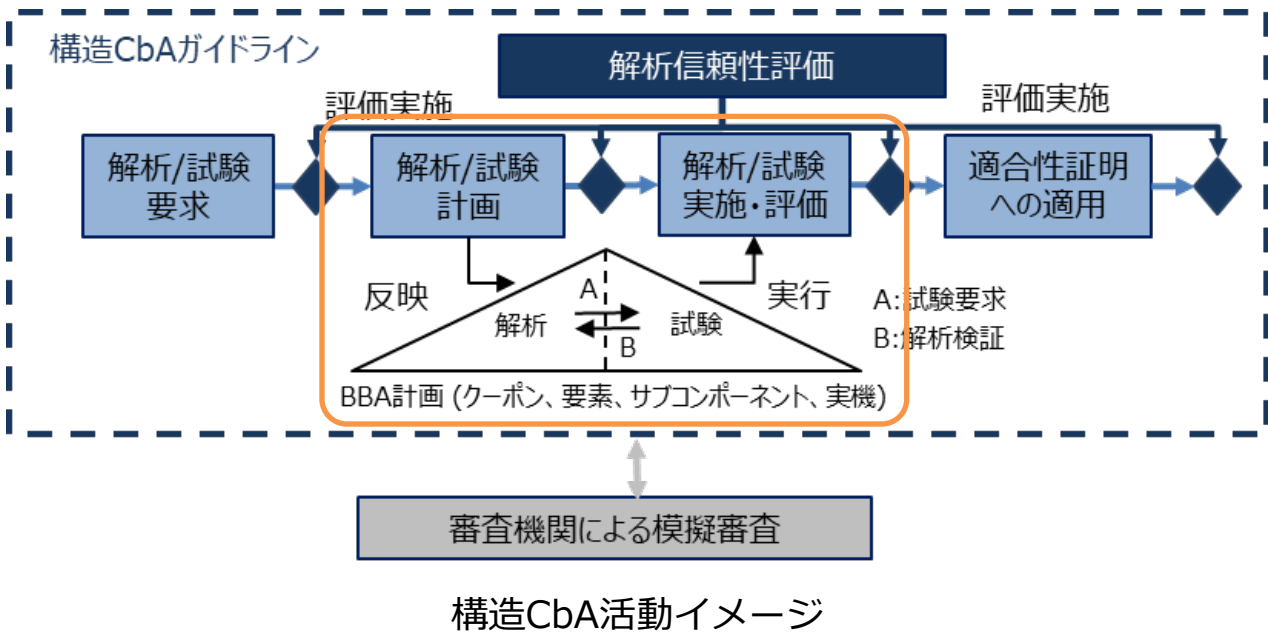
概要

■ 目的

- モデリング&シミュレーション（M&S）技術の成熟度向上
- 信頼性保証プロセスの確立
- 実践的なガイドラインの作成

■ 対象

三菱スペースジェット（MSJ）主翼構造の静強度評価



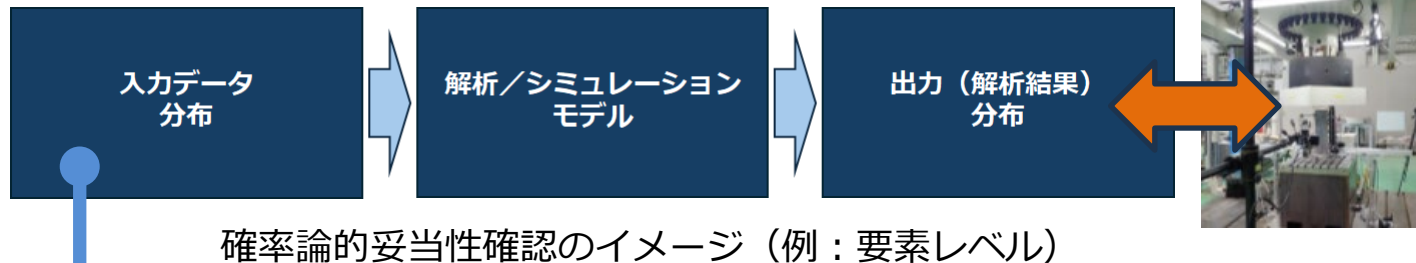
M&S：有限要素解析モデルを用いた非線形シミュレーション
座屈等の物理現象を評価

不確かさの定量化

- 不確かさの定量化（UQ: Uncertainty Quantification）
M&Sアプリケーションの重要度に応じて実施

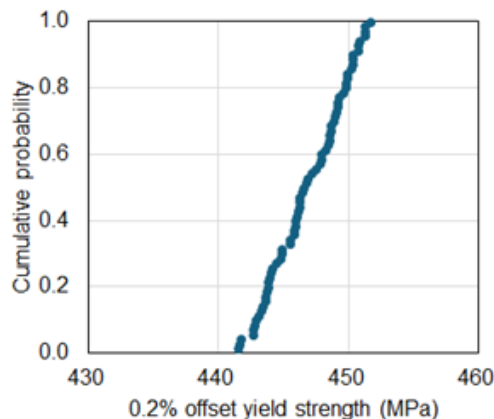
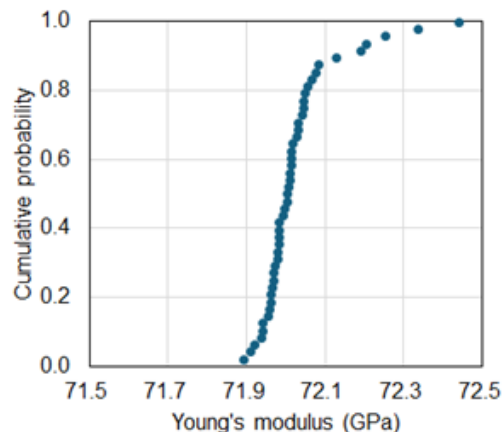
- 妥当性確認：確率論

- 不確かさを定量化したモデル入力データの取得
- 確率論的な数値解析による解析結果の出力
- 解析・試験結果の比較



クーポンレベル モデル入力データの取得：材料特性

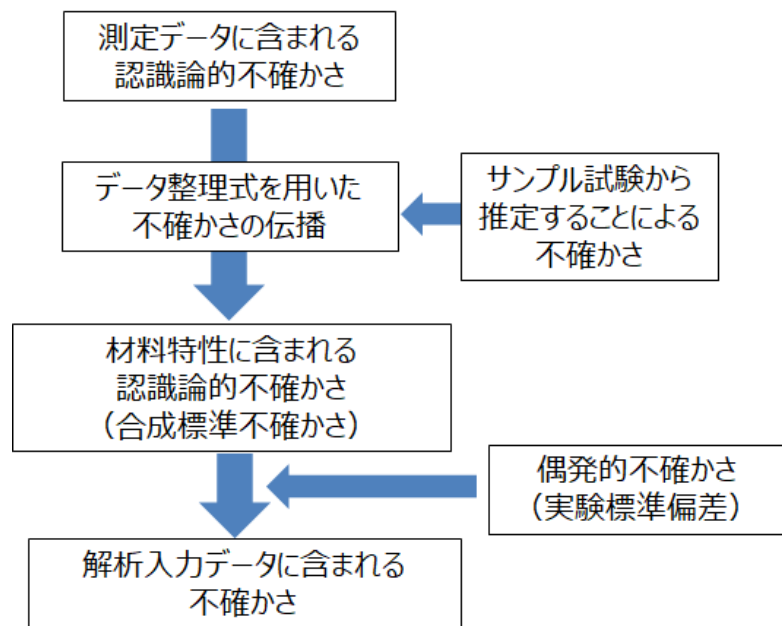
- 材料：アルミニウム合金7050-T7451（AMS4050）
- 試験：ASTM規格に準拠



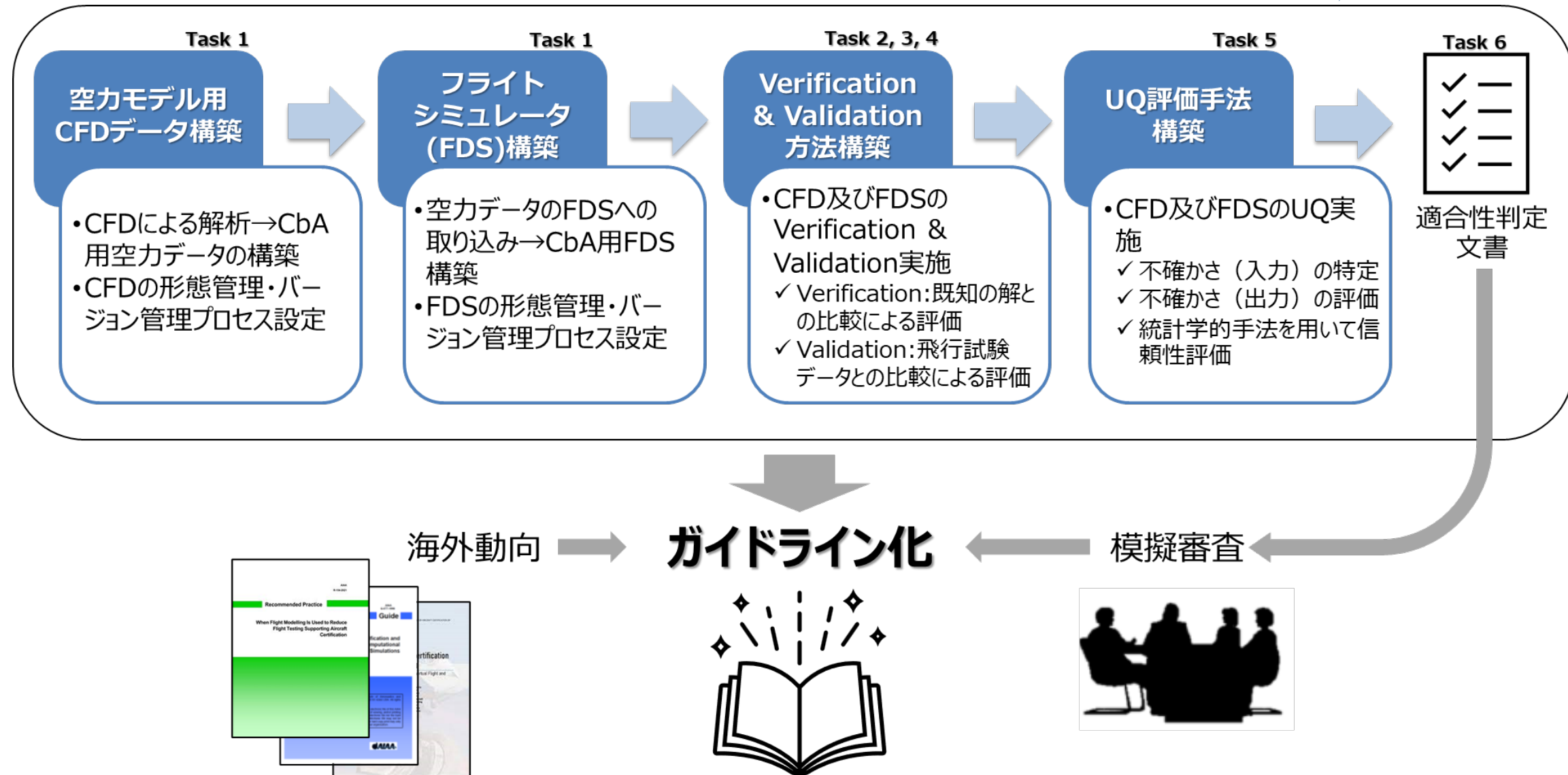
材料特性取得試験結果（例：ヤング率、0.2%耐力）



試験セットアップ



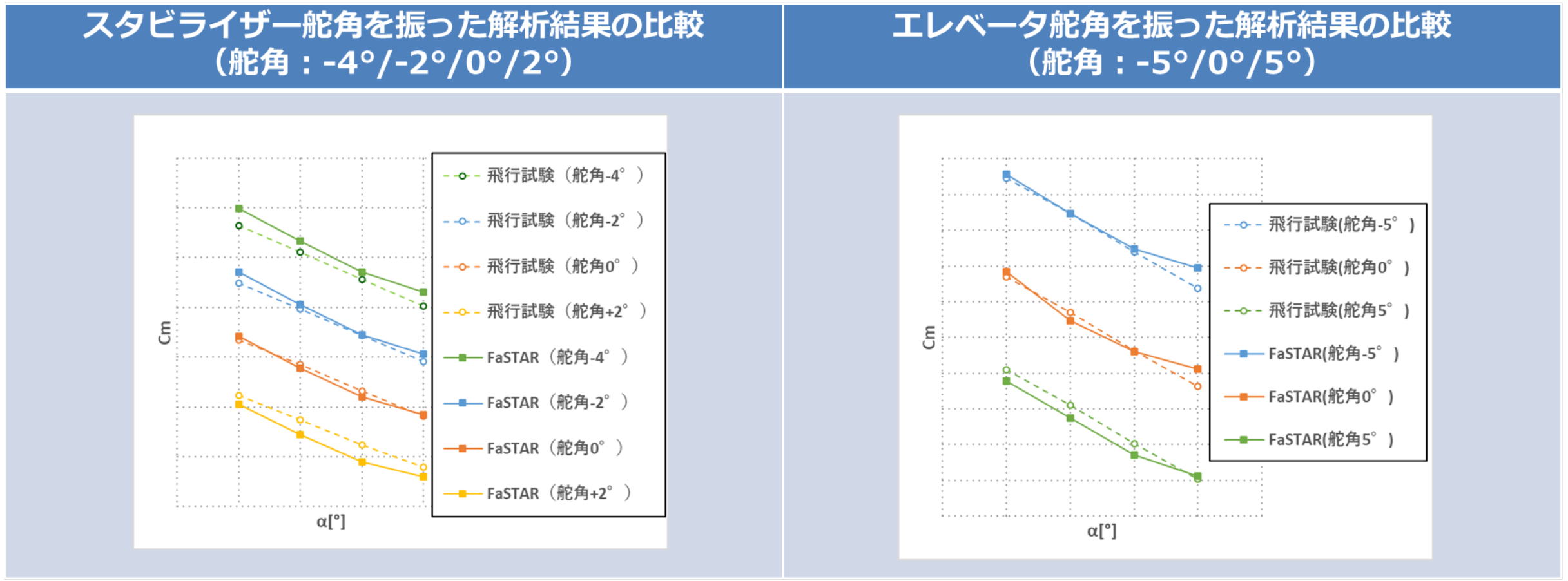
概要



FaSTARのModel Validation（Task4）の内容



- トリム・静安定に関する形態（スタビライザー舵角、エレベータ舵角をそれぞれ振った形態）のCFD解析を実施し、飛行試験結果と空力係数を比較し、定量的な一致度を確認した。



実施項目：飛行性CbA 失速（KHI）



背景と目的

- 認証試験の一部を解析で代替する「解析を援用した認証」（Certification by Analysis: CbA）の議論が活発化しており、飛行性認証に関しては、各国の航空機メーカー、研究機関、および認証当局による国際ワーキンググループを中心に議論が進められている。
- 飛行性CbAの中でも「失速速度の決定」をテーマとし、実機開発への適用を可能とする解析の信頼性保証のガイドラインを、模擬的なプロセスの試行を通して構築する。

失速速度に関する試験は初期の飛行試験フェーズで実施され、多くの試験回数を必要とする上に、機体の急激な挙動や振動など、リスクを伴う試験であり、CbA適用によりコスト、スケジュール、リスクの軽減が期待される。

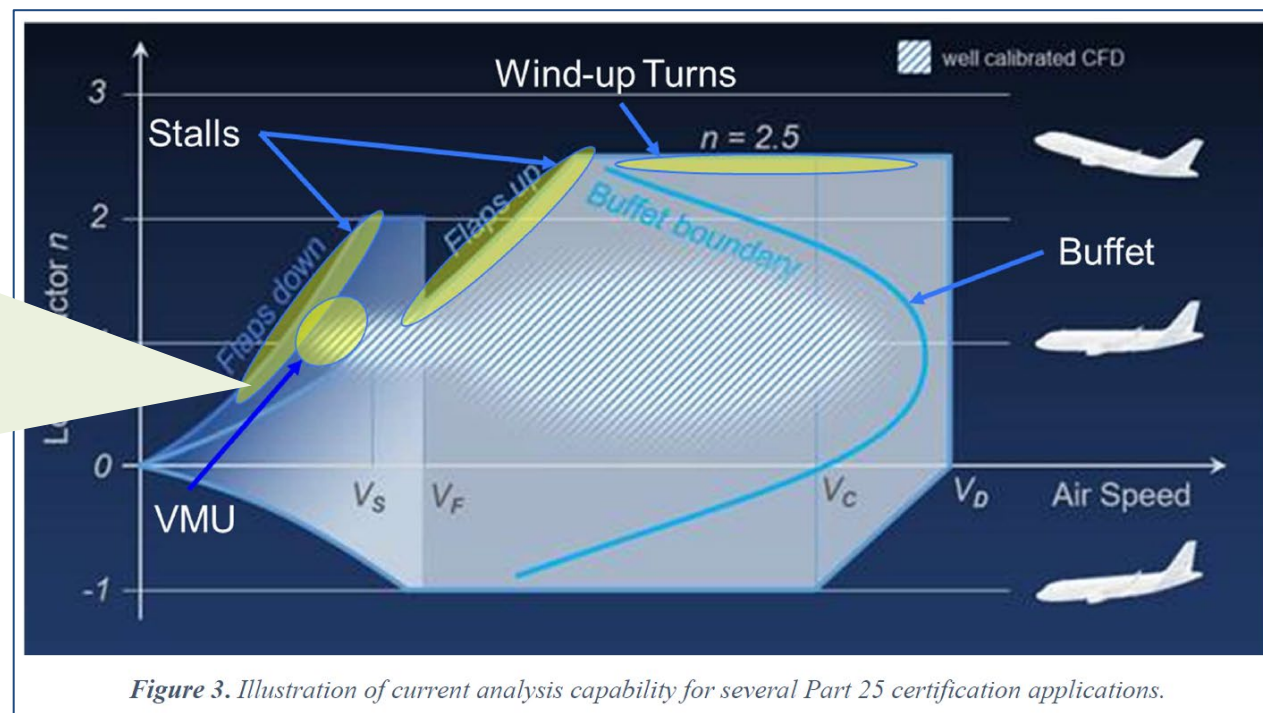


Figure 3. Illustration of current analysis capability for several Part 25 certification applications.

フライトエンベロープにおける数値シミュレーションの適用可能領域と飛行性認証項目の模式図

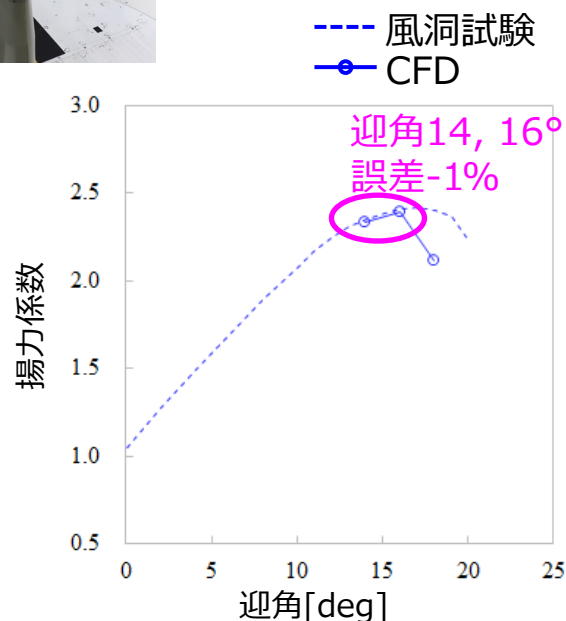
出典) Timothy Mauery, et al.,
"A Guide for Aircraft
Certification by Analysis",
NASA/CR-20210015404,
2021.05

実施項目：飛行性CbA 失速（KHI）



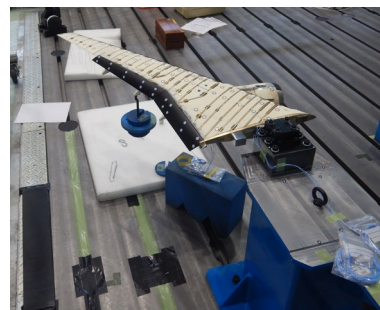
解析の検証

剛体模型の風洞試験とCFD解析



試験と解析の比較

弾性体模型の構造関連試験とCSD解析



主翼剛性試験

供試体に荷重を負荷し、光学計測で変位量を計測

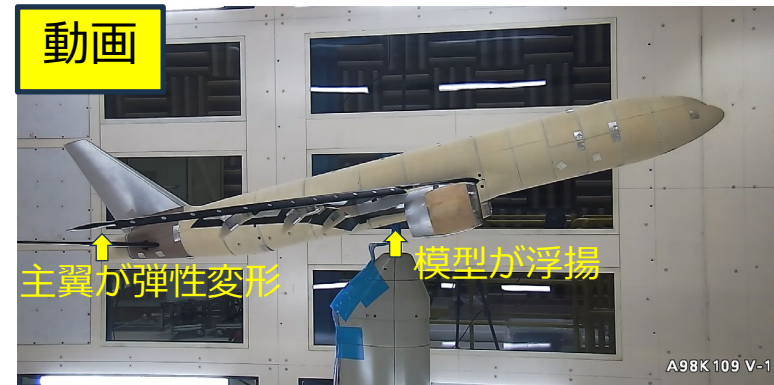


全機振動試験

機体が空中でフリーとなっている状態を模擬。ハンマリングして振動数を計測

構造関連試験の実施状況

弾性体模型の風洞試験とCFD-CSD連成解析



模型をバネ支持した状態で風速を上げていったケース

風洞試験の実施状況

背景・目的

背景

- 航空機電気装備品の間接雷耐雷適合性の証明は重要な証明項目
- 従来手法は実機を用いた全機耐雷試験等、コスト・スケジュールに与える影響が大きい。
- 電磁界解析による実機試験の一部代替が、主要OEM及び各国航空局担当者が参加する国際標準規格会議などで議論が進められており、当プロジェクトからも提案を進めている。
(SAE ARP7093 Guidance for The Use of Simulation for Aircraft Certification of Lightning)

目的

- MSJをリファレンス機体として上記ガイダンスのプロセスに従いつつ、耐雷CbAの解析手法を開発する。
- CbA証明の際に必要な技術的課題を把握する。
- 得られた知見をガイドラインにまとめる。

現在

全機耐雷試験により電線に誘起される電流・電圧ノイズを計測
⇒ 試験機を占有，コスト大，スケジュールリスク大

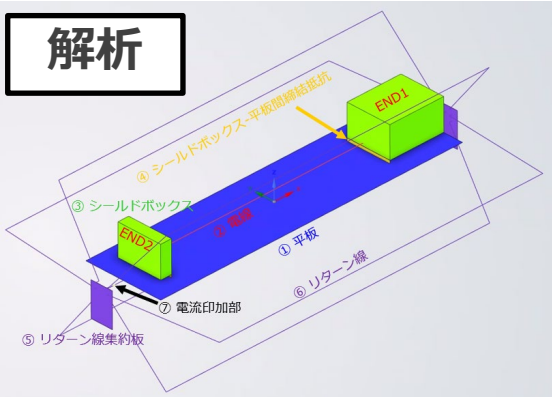
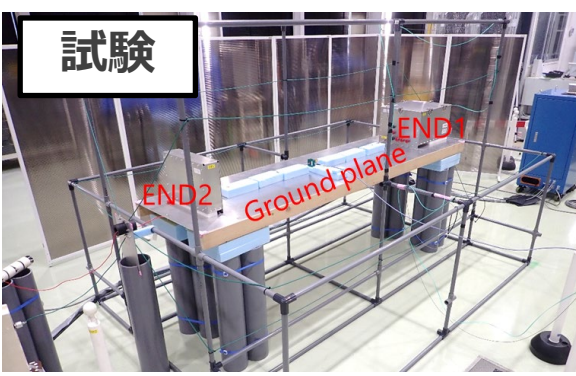


将来像

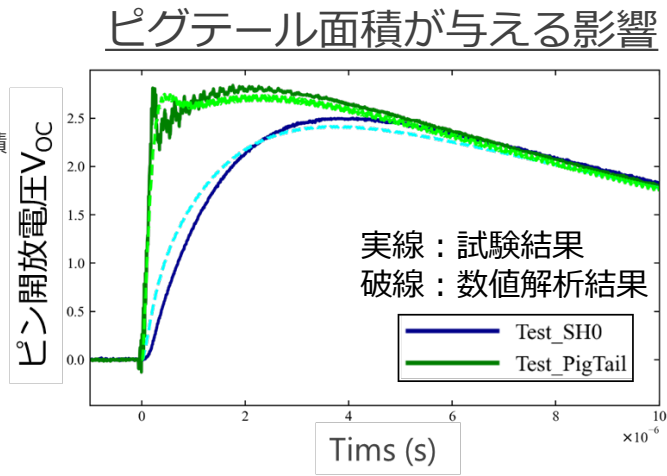
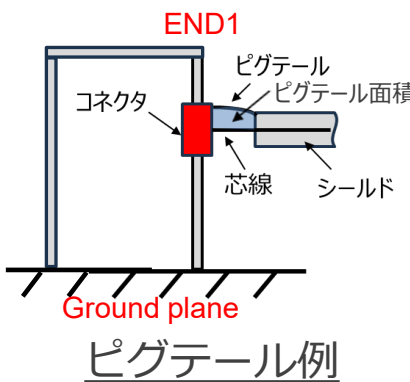
電磁界解析による予測に置き換え
⇒ 実機不要，コスト低，製造前に証明活動の大部分が完了



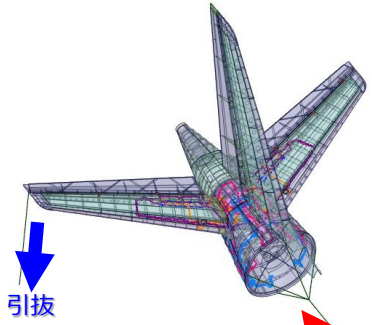
結果 要素モデル 試験と解析



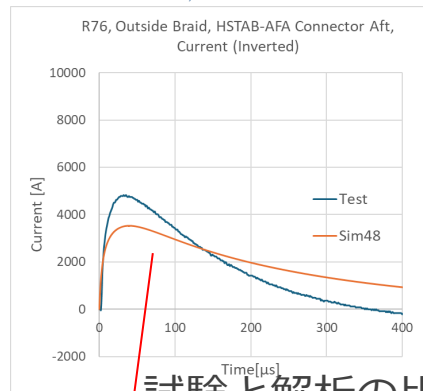
試験と解析の比較



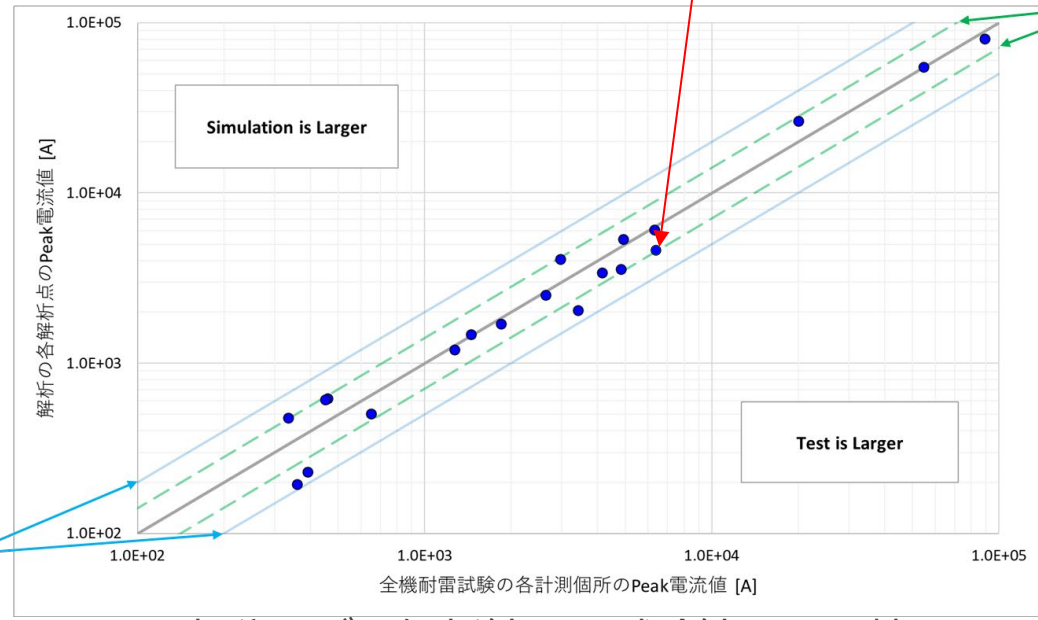
部分モデル 解析



尾翼部分解析モデル



試験と解析の比較



部分モデル解析結果と試験結果の比較

CbAに適用可能な一致度と考えられる。

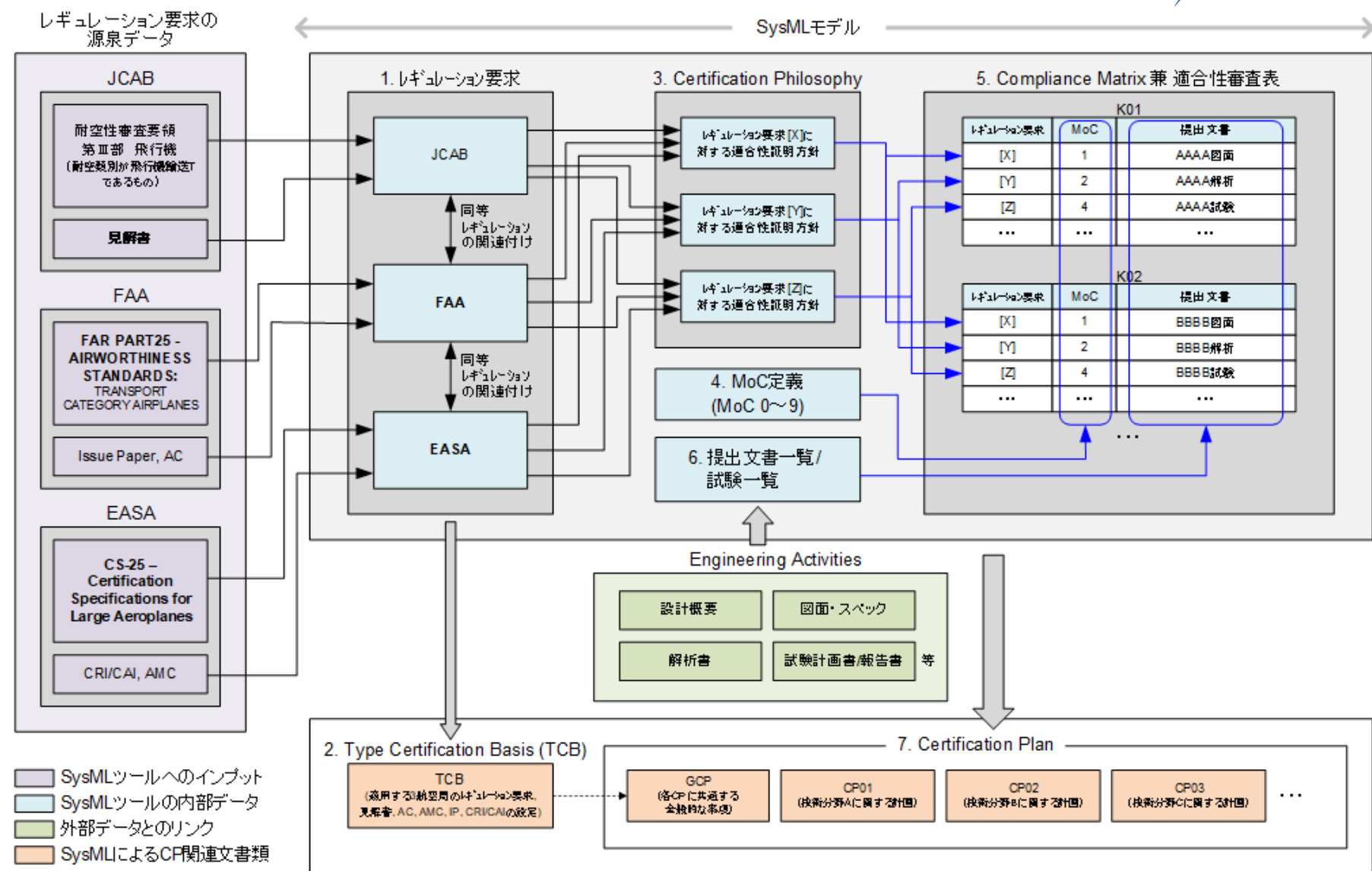
背景・目的

- 昨今の航空機は安全性や利便性が向上するにつれ設計が複雑化
- 複雑化した航空機の認証活動は、
 - ✓ 審査資料がますます膨大
 - ✓ 各資料が多様に関連し合う
- 認証プロセス自身も複雑システム ⇒ 適合性証明計画書（CP）は最上流プロセス
- システム記述言語（SysML） ⇒ 複雑性の整理に有効



SysMLによるモデルベースの考え方をを用いたCP構築で状況改善を目指す

CPモデル化構想



CP: Certification Plan
GCP: General Certification Plan
MOC: Method of Compliance

- 構造・飛行性・耐雷の3分野において、航空機の安全性を担保しつつ認証プロセスを効率化する手法として注目されているCbA（Certification by Analysis）の実現に向けた研究開発に取り組んでいる。
- 解析／シミュレーションの信頼性を保証するためのプロセスを構築し、ガイドライン化を行っている。
- 認証業務の効率化と網羅性の担保を実現するため、適合性証明計画（CP: Certification Plan）をモデルベースで記述するためのプロセスを構築し、ガイドライン化を行っている。

ご清聴ありがとうございました



XANADUプロジェクト

©宇宙航空研究開発機構（JAXA）

この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務（JPNP22007）の結果得られたものです。