

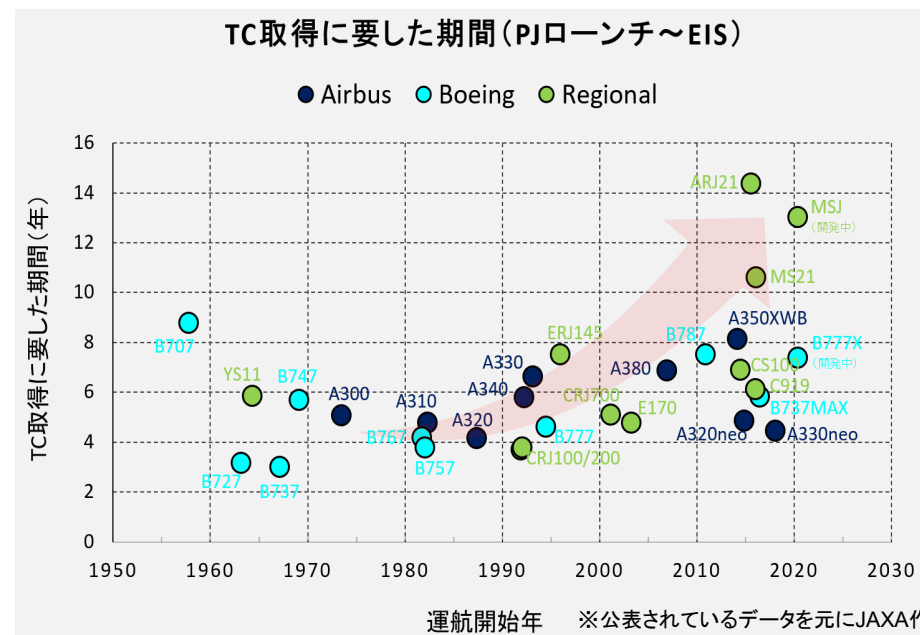
# 航空機ライフサイクルDX技術の研究開発 —航空産業の国際競争力強化と革新的な航空機の創出に向けて—

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門  
航空機ライフサイクルイノベーションハブ  
青山 剛史

# 1. 航空機ライフサイクルDX技術 (1/4)

## 【背景・経緯】

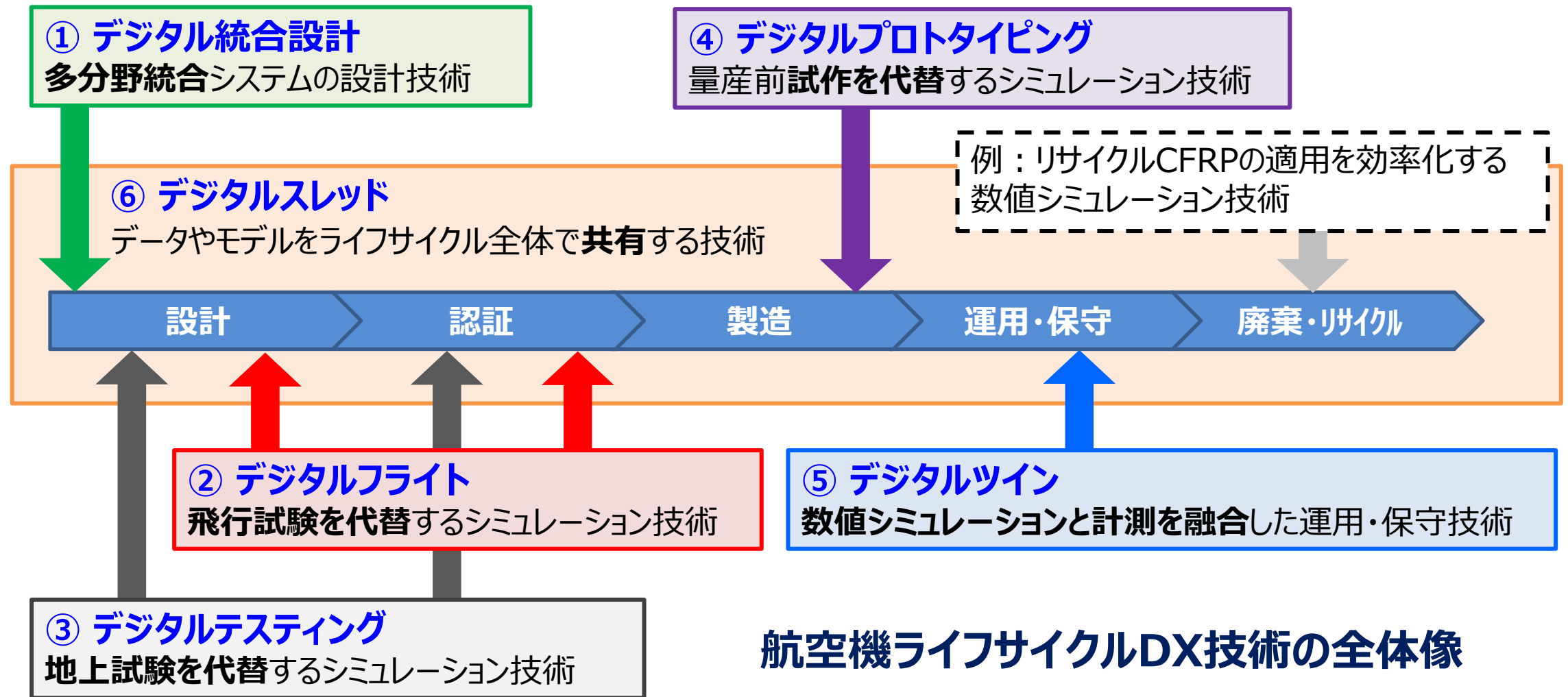
- 世界の潮流 : Industry 4.0 (独)、Industrial Internet (米) を起点として、デジタル技術を活用したものづくり・サービスの実用化が加速。最近では、デジタル技術による社会変革(DX: Digital Transformation) が注目され、第6期科学技術・イノベーション基本計画でも大きく取り上げられている。
- 航空分野の現状 : 航空機設計では、手戻りが開発スケジュール・コストを圧迫している状況。そこで、**モデルを活用したシステムズ・エンジニアリング (MBSE: Model-Based Systems Engineering)** や**多分野統合システム解析**の活用が期待されている。また、特に複合材適用が進む近年、認証取得が長期化傾向にある。そこで、欧米を中心に解析による認証 (**CbA: Certification by Analysis**) に向けた動きが加速している。
- JAXAの「航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン検討に係る有識者委員会」で、「**新たな航空機を創出する航空機ライフサイクルDX技術**」が重点課題として位置づけられ、航空科学技術委員会に報告された。
- 数値シミュレーションの将来ビジョンを議論した「数値シミュレーション技術に関する外部有識者委員会」(JAXA内) においても、**DXを推進する方策**が取りまとめられた。



# 1. 航空機ライフサイクルDX技術 (2/4)

## 航空機ライフサイクルDXの定義

各フェーズに高度な数値シミュレーションを適用して航空機のライフサイクルを革新する



## 航空機ライフサイクルDX技術の全体像

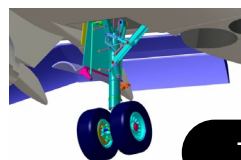
# 1. 航空機ライフサイクルDX技術 (3/4)

## 航空機ライフサイクルDX技術の主な研究開発の概要

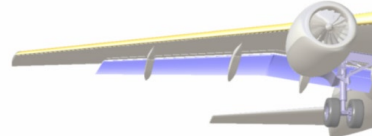
### 1 デジタル統合設計

#### ■ 多分野統合システム設計の研究開発

AIによる解析の軽量迅速化、多分野統合システム解析（空力・構造・飛行・制御・推進等）技術を構築し、サブシステムで実証 革新コンセプト創出



サブシステムによる実証



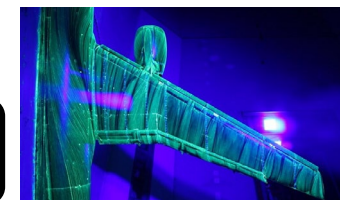
AI設計による革新コンセプトの創出

### 2 デジタルフライト

#### ■ 飛行試験の代替を実現する研究開発

実機スケール・複雑形状を考慮した離着陸形態の高忠実非定常空力解析の検証  
飛行シミュレータを用いたCbAの提案

離着陸形態の非定常解析及び検証



飛行シミュレータを用いたCbA

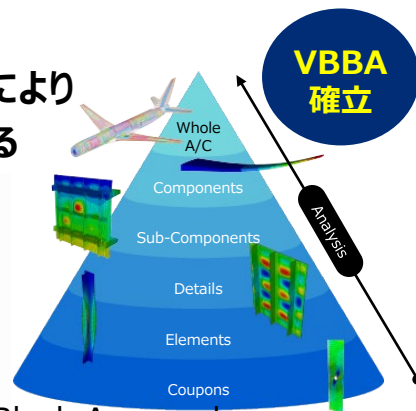
### 3 デジタルテスト

#### ■ 構造強度証明を迅速化する技術開発

航空法に適合した一貫性ある解析技術適用により  
認証期間を短縮、国際競争力強化に貢献する

耐空性審査要領

CFR/CS Part25



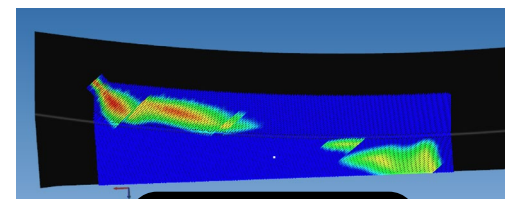
VBBA: Virtual Building Block Approach

### 4 デジタルプロトタイピング

#### ■ 迅速な量産開始を実現する研究開発

サイバー空間での試作シミュレーション手法を構築し、開発プロセスの実証研究を行う

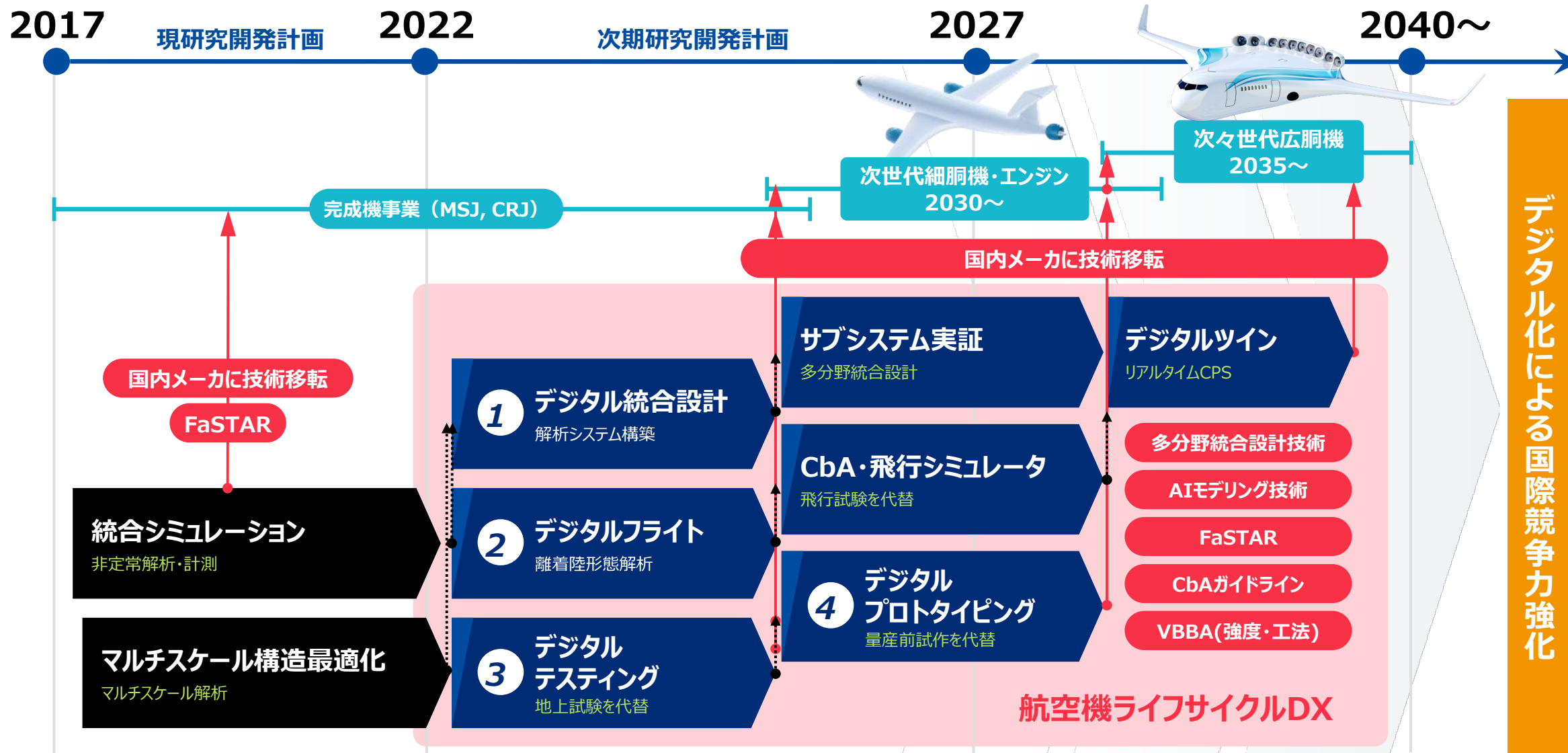
製造品質定量化



製造シミュレーション

# 1. 航空機ライフサイクルDX技術 (4/4)

## ロードマップ



# 2. デジタル統合設計 (1/2)

## ISSAC2 (デジタル統合設計) の全体像

- 航空機設計のデジタル化実現に向けて必要となるデジタル技術の研究開発を実施
- JAXAの強みであるシミュレーション技術を活かせる下記のフェーズに取り組む。

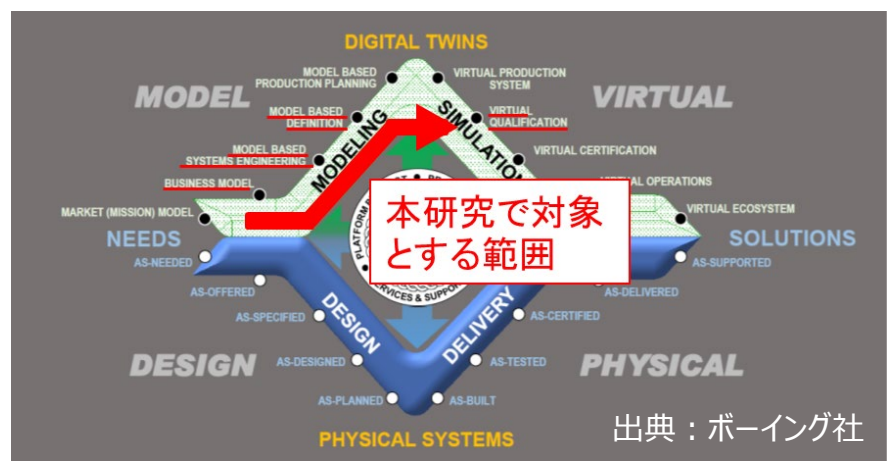


**機体設計フレームワーク**  
 運航コストを算出し、ビジネス  
 成立性を検討  
 ※FY2022～実施予定

一部事業化

**データ駆動モデリング**  
 システム定義とシミュレーションを連携させる  
 ため、軽量・迅速な予測ツールを開発

MBSEデジタル統合設計技術 ※FY2022～実施予定  
 シミュレーションを連携させた高度なMBSEを実証するための研究事業



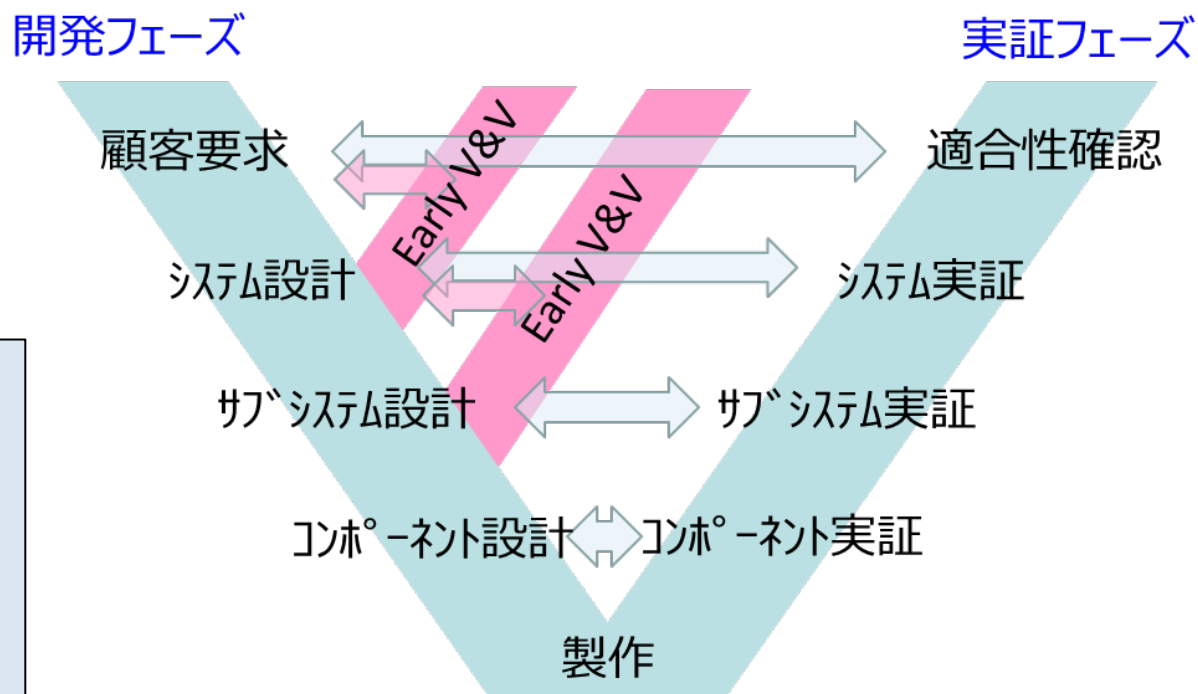
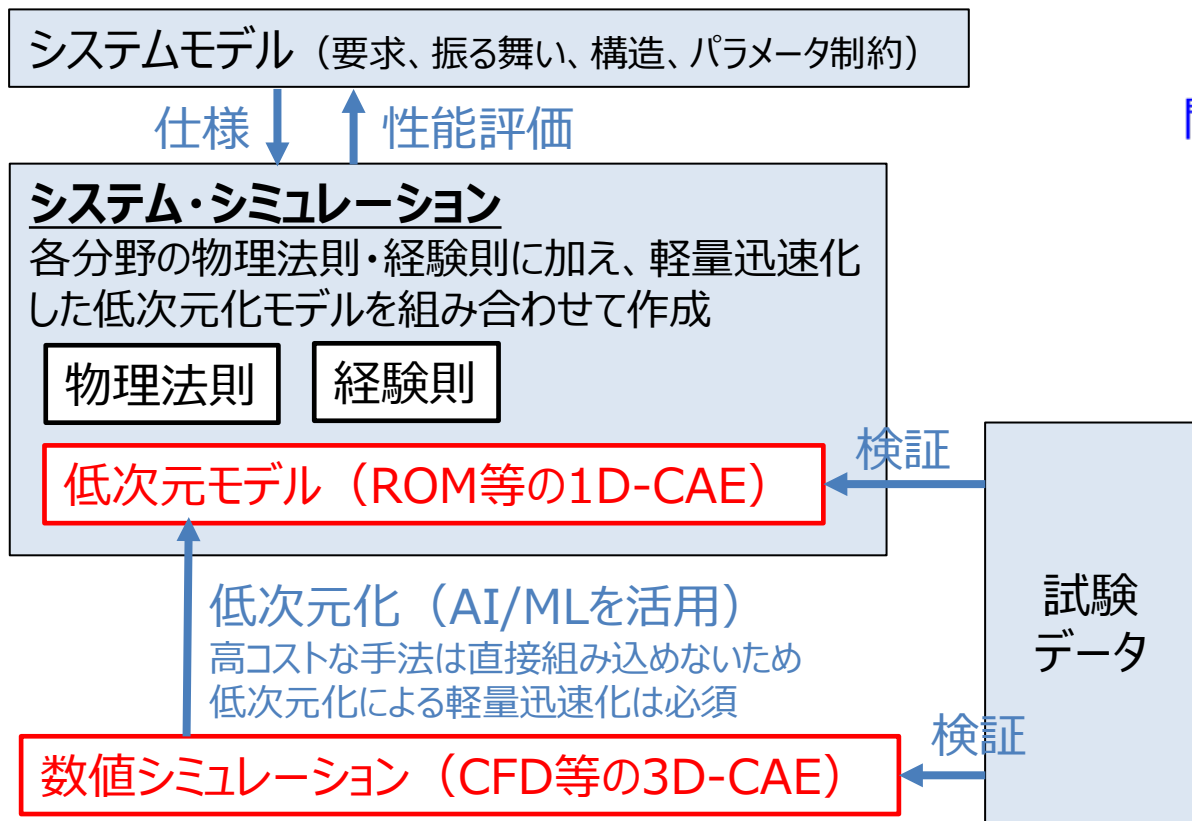
将来的にシステム  
 定義と連携

- 回転翼機の空力・騒音評価**  
 eVTOLの空力・騒音シミュレーション及び音響試験  
 技術を開発
- 極超音速機の熱・空力特性予測**  
 極超音速機の熱・空力シミュレーション及び極超音  
 速試験技術を開発
- エンジン全体統合解析**  
 圧縮機/燃焼器/タービン統合シミュレーションを開発

# 2. デジタル統合設計 (2/2)

## MBSEを用いたデジタル統合設計技術

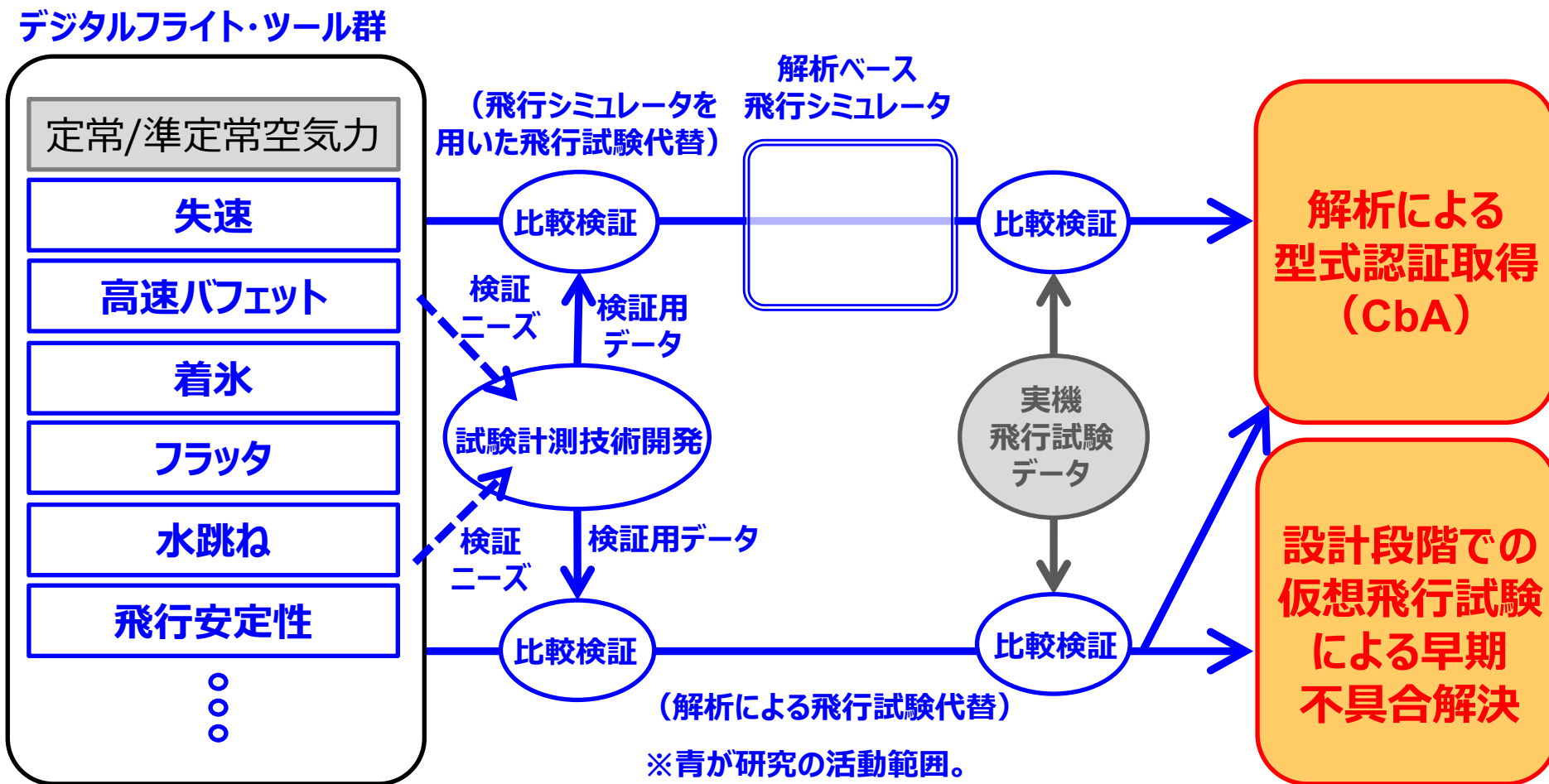
システムモデルとシミュレーションを連携させることで、システムの要求・機能・特性の妥当性評価を効率的、高精度に実施し、システムの最適化を可能にする。航空機システムの全容と本質を定義したシステムモデルと、3D-CAEに基づく1D-CAEモデルを採用し、両者を連携する点に新規性がある。また、早期に検証・妥当性確認 (Early V&V) を実施することで、手戻りを防止する。今後、トライアルケースを設定し、技術の構築及び実証を進めていく予定である。



# 3. デジタルフライト (1/2)

- 航空機開発における設計から認証段階の空力特性試験を代替する**デジタルフライト技術**を構築する。
- デジタル化によって、**設計段階の早期不具合解決**や**解析による型式認証取得 (CbA\*)**を可能とし、リスク・コストの低減によって我が国の航空産業の競争力・持続可能性を強化する。

\*CbA: Certification by Analysis



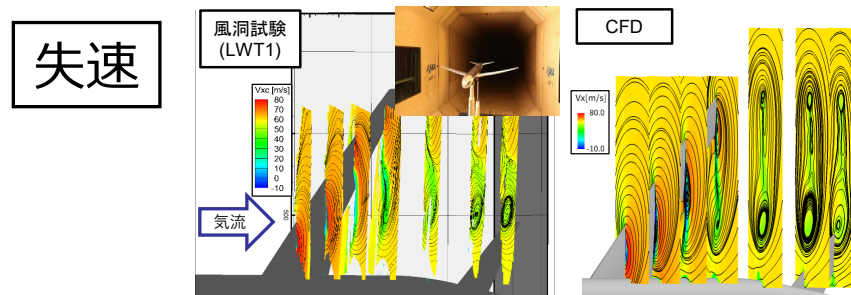


# 3. デジタルフライト (2/2)

## CbAを目指す型式認証項目

技術課題	耐空性 審査要領	証明事項の例
定常/準定常空気力	2-5-1-2、 2-5-1-3、 2-6-2-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>縦・横・方向のトリムの保持。</li> <li>上昇、進入、着陸状態でのトリム速度の10%以内への復元。 など</li> </ul>
失速	2-3-2、2-7-1、2-7-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>失速まで異常な機首上げが起こらないこと。</li> <li>補助翼及び方向舵による片揺れ、横揺れの修正。</li> <li>失速後、通常の操作により速やかに回復。 など</li> </ul>
着氷	2-1-1-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>着氷気象状態における安全性基準への適合性。</li> </ul>
高速バフエット	2-9-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全な飛行を妨げる（飛行機の操縦、パイロットの疲労、構造損傷）バフエットを生じない。 など</li> </ul>
フラッタ	4-1-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>空力弾性安定性包絡線内において、空力弾性不安定を生じない。</li> <li>VD/MD までの飛行フラッタ試験を実施。</li> </ul>
水跳ね	5-6-1-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>滑走路等で危険な量の水、どろがエンジン等に入らない。 など</li> </ul>
飛行安定性	2-6-2、2-6-3、2-6-4、2-6-5-1、2-6-5-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>巡行・離着陸形態で縦および横方向に静安定性、操縦力対速度曲線を有すること。</li> <li>操縦装置自由及び固定の場合、急激に減衰する縦短周期特性。 など</li> </ul>

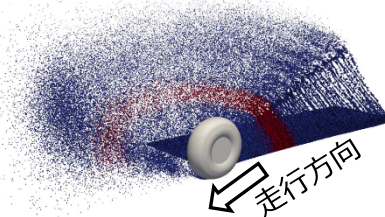
## デジタルフライト・ツール/試験計測技術の研究開発



CRM<sup>\*1</sup>模型失速流れの実験(PIV<sup>\*2</sup>)-CFD比較

\*1 Common Research Model; NASAの風洞標準模型  
\*2 Particle Image Velocimetry; 粒子画像流速計測法

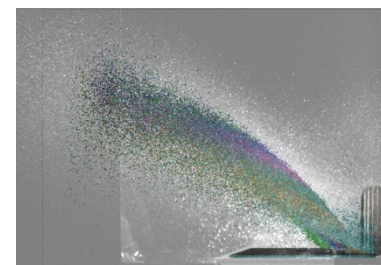
### 水跳ね



水跳ねシミュレーション (粒子法)

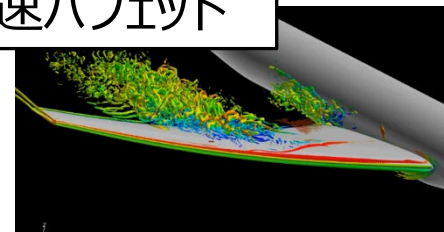


車輪走行水跳ね試験

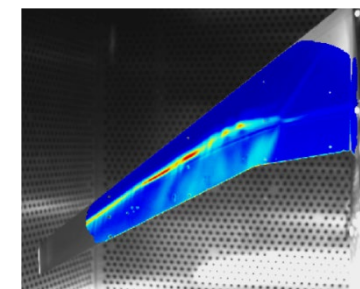


粒子法-車輪走行試験比較

### 高速バフエット



非定常CFD高速バフエット解析



非定常PSP<sup>\*3</sup>高速バフエット計測

\*3 Pressure-sensitive Paint; 感圧塗料計測

# 4. デジタルテストティング (1/2)

## 現状：試験中心

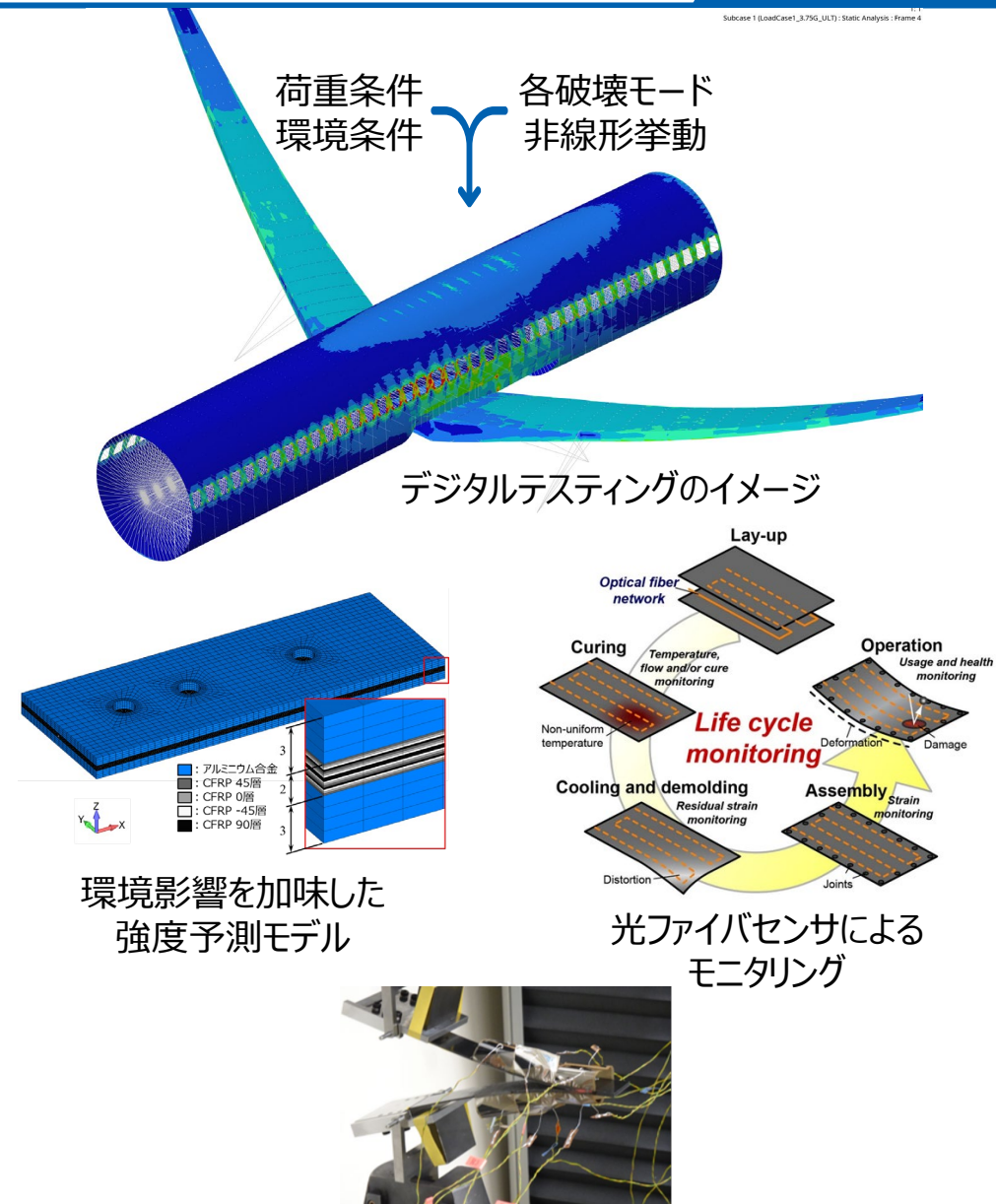
CFRP等の複合材の適用拡大に伴い、航空機の地上実証試験のコスト・期間が年々拡大。

- 構造様式、製造方法の高度化・複雑化。さらに複合材構造は環境、荷重等の影響も受けやすく、強度影響因子が増大。
- 検出困難な製造欠陥から運用中の大規模損傷までの安全性担保要求に対する適切な証明技術の不足。
- 認証で使われる材料・構造試験技術、試験規格の未成熟による不確定性要因が多く、試験結果検証は長期間化。

## 解決策：解析中心

航空機認証で実施される地上試験を解析に置き換え、CbAを主軸とした認証プロセスに移行。

- 設計仕様だけでなく、環境、荷重条件、破壊、非線形性の影響を忠実に再現できる**解析モデルによる構造強度予測技術**。
- 機体構造の全ての損傷リスクに対するエビデンス取得、安全性証明が可能な**ライフサイクルモニタリング技術**。
- **解析モデルによる試験実施及び試験規格提案の一部代替**。不確定性要因が定量化されたシミュレーションによる基礎物性取得等。

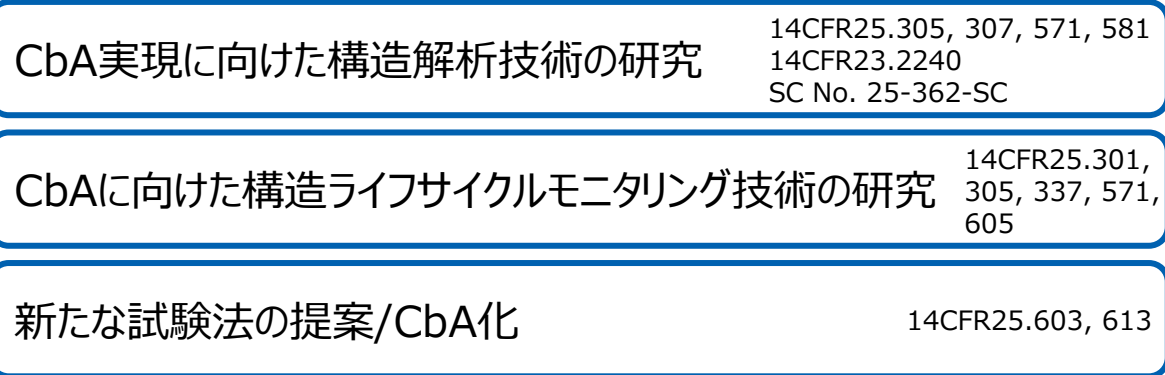


CbAに対応するデジタル試験法の提案

# 4. デジタルテストティング (2/2)

## 研究構成と適用基準

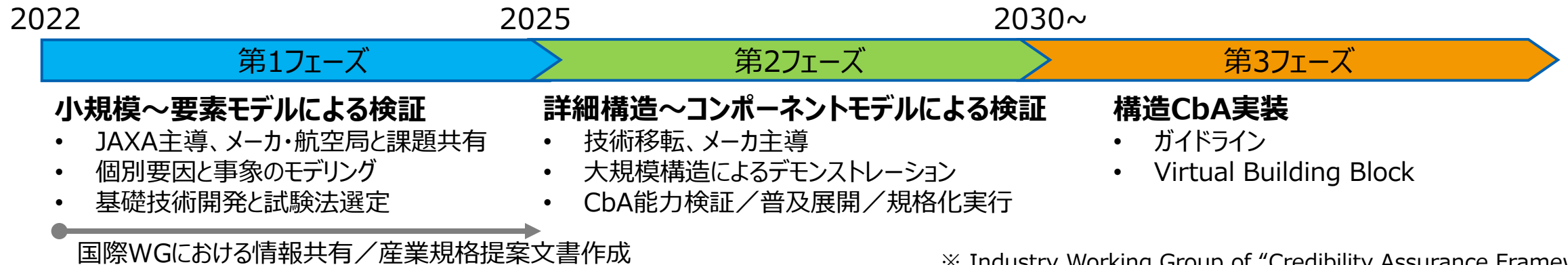
### デジタル認証に向けた構造・複合材技術の研究



## その他の活動

- 航空機構造のCbA実現に向け、各国航空機OEM、航空当局、研究機関が参画する※国際Working Groupに2020年から“Active member”として参加。産業規格提案文書作成活動に協力中。
- 参加機関：Airbus, Boeing, Airbus-Canada, Bombardier, CIRA, Dassault, DUT, Embraer, EASA, FAA, ONERA, DLR, GKN, Gulfstream, IABG, JAXA, JCAB, MITAC, NASA, ANAC, NIAR, NRC, Sonaca, Textron, Transport Canada

## 基本計画



※ Industry Working Group of “Credibility Assurance Framework for Airframe Modeling and Simulation Application”

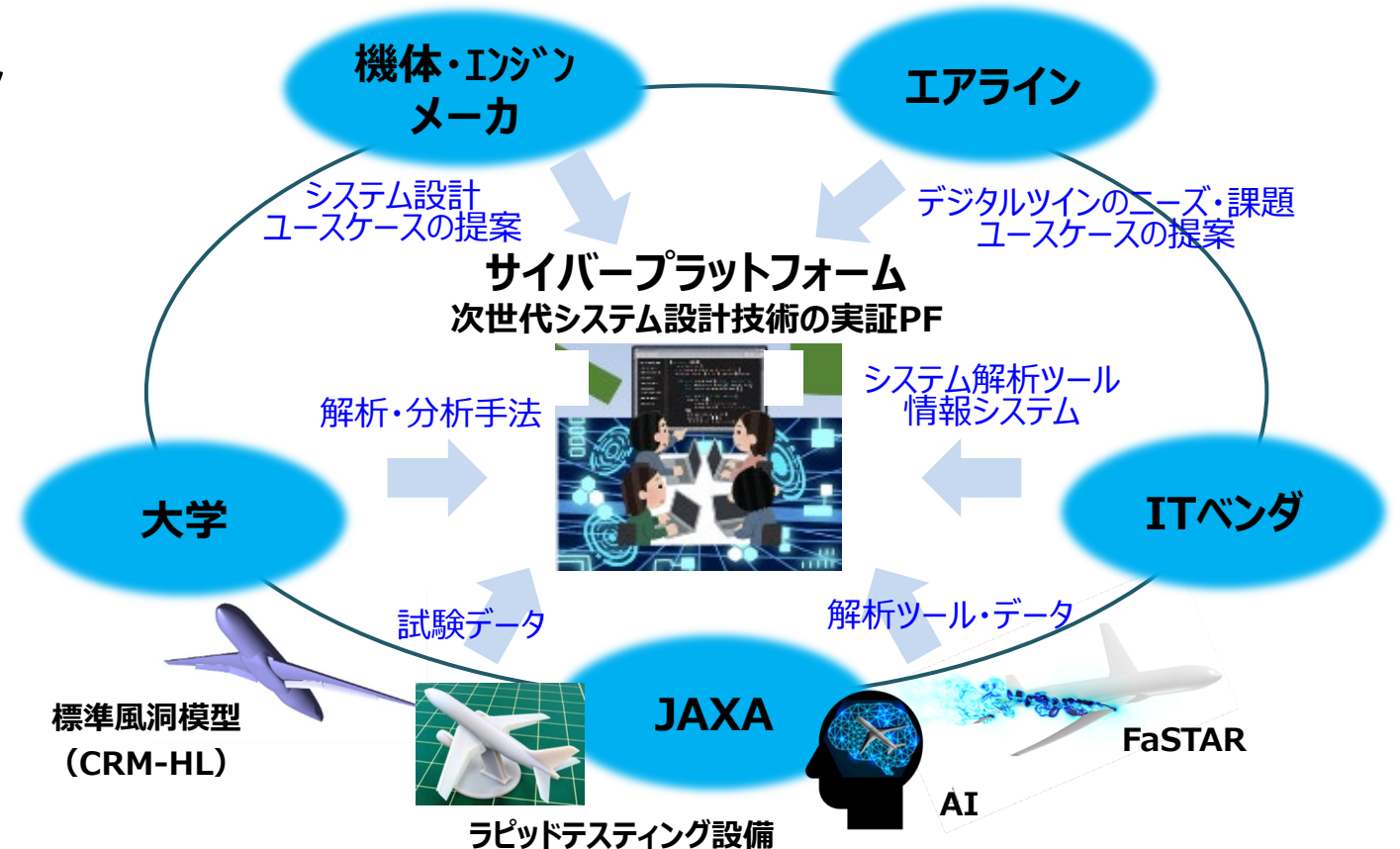
# 5. 航空機DXコンソーシアム (1/2)

## 航空機DXコンソーシアムとサイバープラットフォーム構想

- ✓ 航空機ライフサイクルDX技術の開発においては、ステークホルダのニーズ吸い上げと技術の実装先が不可欠  
⇒ 航空機DXコンソーシアムの設立
- ✓ 多分野のステークホルダが協働できる、サイバープラットフォームの構築を構想。
- ✓ 今後、国内メーカーがボーイングやエアバス等の海外OEMと仕事を継続するためには、デジタル技術で繋がること  
が不可欠との危機意識が強い。
- ✓ JAXA内には、内外の研究者、ソフトウェア開発者が協働できるISSAC PLATZと命名したプラットフォームを構築中。



デジタル設計デモンストレータ



# 5. 航空機DXコンソーシアム (2/2)

## 航空機DXコンソーシアムの検討状況

### 【理念】

- DXによる我が国の航空エコシステムの利便性向上、裾野拡大、および国際競争力向上
- 航空産業のDXを担う人材の育成

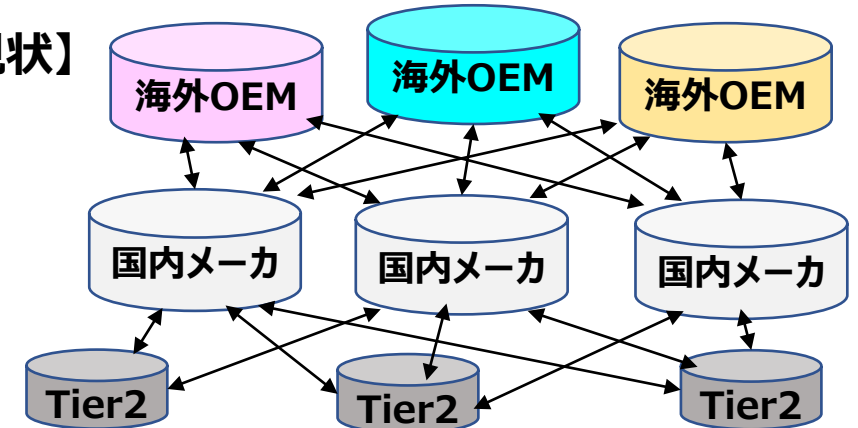
### 【ミッション】

- 航空機のライフサイクル全体にわたるDXの推進による、航空産業の製品、サービス、プロセスの革新
- 産学官連携の場の提供

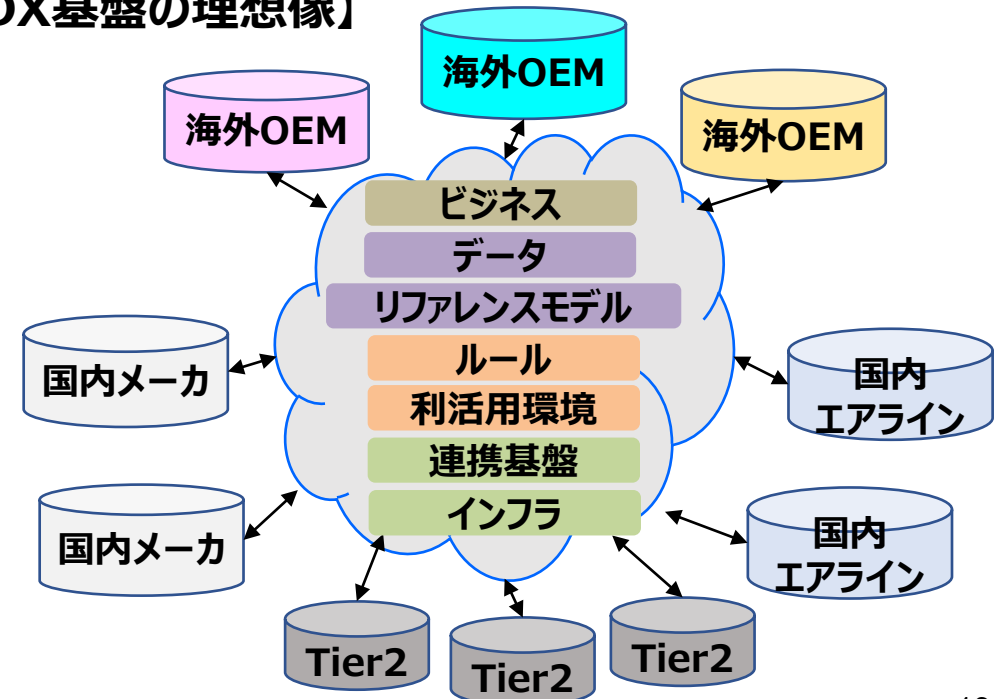
### 【活動】

- 将来ビジョンおよびロードマップの策定
- **DX基盤構築に向けた検討**
- 現在国内メーカーの主戦場であるTier1事業の競争力強化、高付加価値化、事業拡大へのDX技術の活用検討
- 国内外の動向調査
- 産学官のニーズ・シーズマッチングによる研究立案
- 情報共有のためのイベント開催

### 【現状】



### 【DX基盤の理想像】



- 航空機のライフサイクルにおける各フェーズで高度数値シミュレーションを活用することで開発を革新的に効率化する、**航空機ライフサイクルDX技術**の背景・経緯と概要をご説明した。
- 航空機ライフサイクルDX技術の中の主要な3テーマについて、実施内容をご紹介した。
  - **デジタル統合設計**：多分野統合システムの設計技術
  - **デジタルフライト**：飛行試験を代替するシミュレーション技術
  - **デジタルテストング**：地上試験を代替するシミュレーション技術
- ステークホルダのニーズ吸い上げと技術の実装先として想定している**航空機DXコンソーシアム**の検討状況をご紹介した。



ご清聴ありがとうございました。