2021年度　航空機産業調査報告書

次期民間航空機の国際共同開発に向け取り組むべき技術、課題に関する調査

本調査の目的、方法について

次期民間航空機の国際共同開発に向け取り組むべき技術、課題に関する調査

本調査の目的、方法等

海外OEM（Original Equipment Manufacturer）等の最新の技術動向等を調査するとともに、
我が国が優位性を持ち、次期民間航空機開発において国際共同開発への提案や海外OEMとの連携が可能な技術、課題について、調査、分析を実施する。

これまでの国際共同開発実績や我が国優位性等の観点から、以下分野を中心に調査を実施する。
（1）次期民間航空機開発のために構築すべき生産システムの調査
（2）次期民間航空機に取り入れるべき要素技術の調査

上記目的、方法により調査、分析を行ない得られた成果を以下各項目に整理した。次頁以降に各項目について成果の概要を纏める。
（1）デジタル（DX）関連
（2）Production System関連
（3）複合材関連
（4）航空業界のカーボンニュートラル動向

成果概要ーデジタル（DX）関連

1．デジタル・トランスフォーメーション（DX）における技術要素構成

- Global Product Data Interoperability Summit 2020において、DXを支える主要技術の全体像が示された。主要技術には、ロボット、AIやIoT等といった要素技術に加えて、電力、通信やセキュリティー等環境に関わる技術等も含まれる。
- これらDXに係る広範な技術の中で、技術開発要素を整理して、取り組みの構成や内外パートナーとの共同領域についての要件定義を行なうことが肝要である。

DXを支える主要技術

出典: Global Product Data Interoperability Summit 2020
https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2020/12/Boeing-PanelDiscussion-EmergentTechnologyTransformingADIndustry-ET-Open.pdf

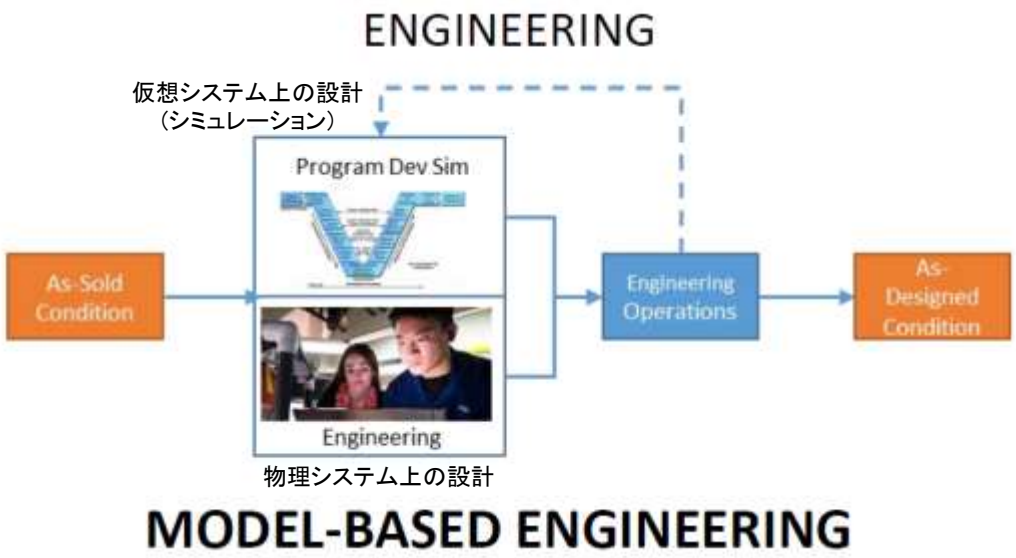
成果概要ーデジタル（DX）関連

2. モデル・ベースド・エンジニアリング (MBE)と 市場要求からアフターサービスまでを繋ぐデジタルスレッド

- MBEとは、物理モデル及びシミュレーションを用いて、初回製造時の品質と信頼性を向上させる、製品開発・製造・ライフサイクルサポートのためのアプローチであり、また、デジタルスレッドは、MBEを実現するために、製品開発・製造・ライフサイクルサポートをデータで繋ぐ手法である。

（1）市場要求からアフターサービスまでを繋ぐデジタルスレッドの事例（設計領域）

下図は、最上流の設計領域で、市場要求(As-Sold Condition)から、設計結果(As-Designed Condition)を繋ぐデジタルスレッドの事例を表している。これは主に<u>海外OEMが経験や強みを有する領域</u>である。



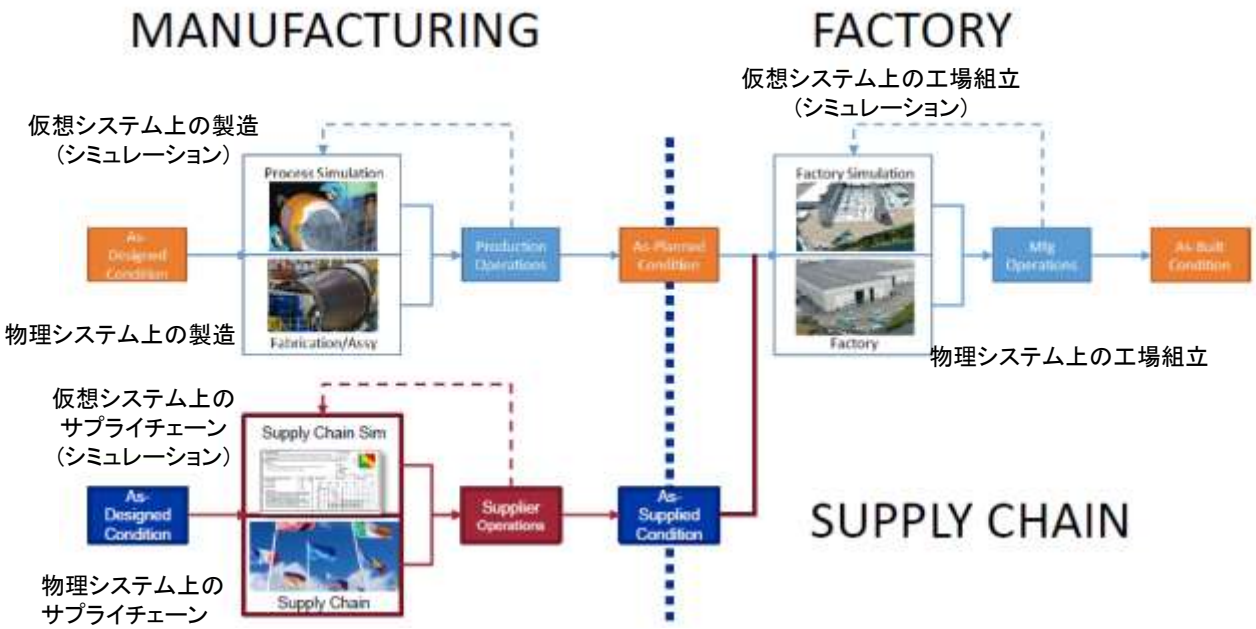
出典: Global Product Data Interoperability Summit 2017
https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2017/09/Boeing-JasonHatakeyama-MBEandCyberPhysicalSystems-Keynote-OPEN.pdf

成果概要ーデジタル（DX）関連

（2）市場要求からアフターサービスまでを繋ぐデジタルスレッドの事例（製造領域～工場組立領域）

下図は、設計領域に続く、製造領域～工場組立領域で、設計結果(As-Designed Condition)から、サプライチェーンを含めた製造結果(As-Planned Condition, As-Supplied Condition)及び工場組立結果(As-Build Condition)を繋ぐデジタルスレッドの事例を表している。

<u>これは日本の航空機メーカーが過去の航空機製造に係る経験や強みを生かせる領域であり、また、その経験や強みを生かし、上流の設計領域との連携を図ることで、開発以後の量産フェーズにおけるサプライチェーンを含めた安定的な量産が可能となる。</u>



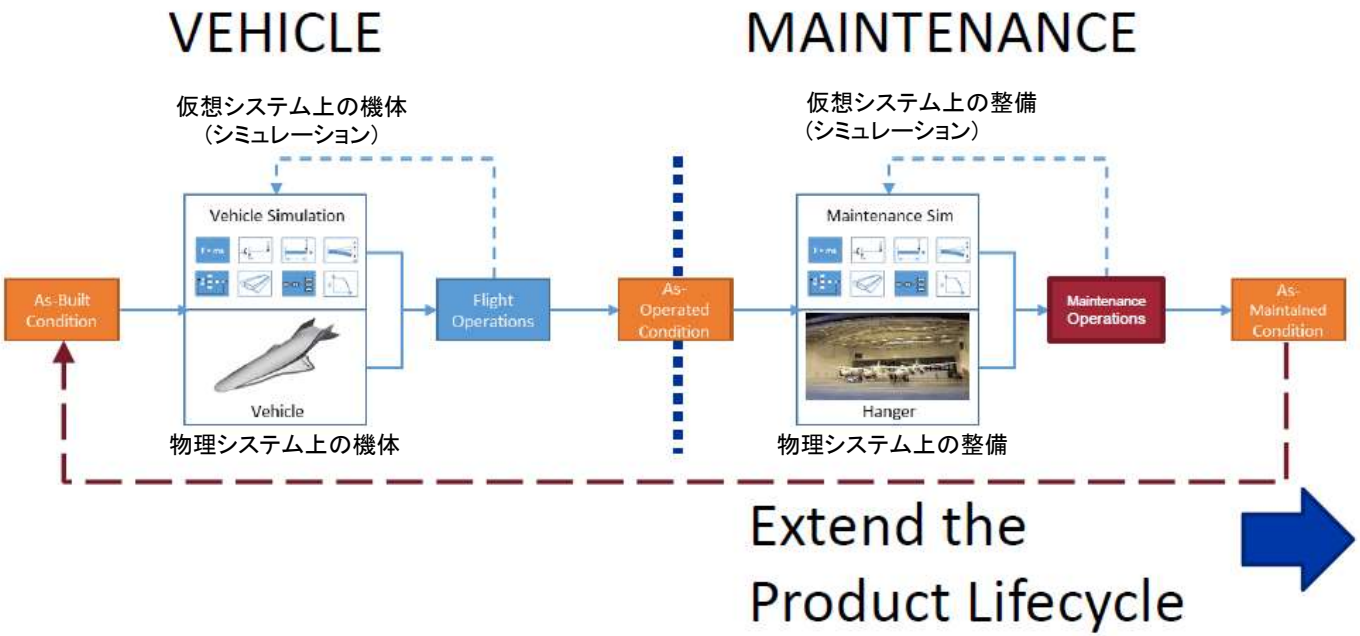
出典: Global Product Data Interoperability Summit 2017
https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2017/09/Boeing-JasonHatakeyama-MBEandCyberPhysicalSystems-Keynote-OPEN.pdf

成果概要－デジタル（DX）関連

（3）市場要求からアフターサービスまでを繋ぐデジタルスレッドの事例（運用領域～整備領域）

下図は、製造領域～工場組立領域に続く、組立結果(As-Build Condition)から、運用結果(As-Operated Condition)及びアフターサービスの整備結果(As-Maintenanced Condition)を繋ぐデジタルスレッドの事例を表している。

<u>この整備領域までを含めてデジタルスレッドの対象とすることで、トレーサビリティ機能を有効に活用することができ、サプライチェーン管理も含めて、不適合対応の迅速化が可能になる。</u>



出典: Global Product Data Interoperability Summit 2017
https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2017/09/Boeing-JasonHatakeyama-MBEandCyberPhysicalSystems-Keynote-OPEN.pdf

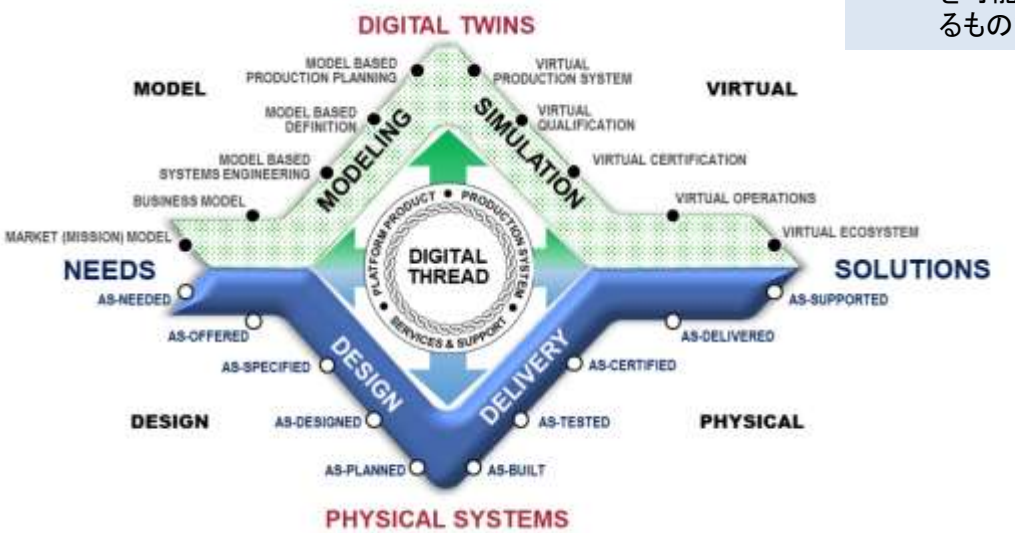
成果概要－デジタル（DX）関連

3. 海外OEMが取り組むMBEコンセプト例

- ここで例示するMBEコンセプトはDiamondと呼ばれており、市場要求（左側）から認証取得後のアフターサービス（右側）までを対象とし、Diamondの上側は仮想システム（物理システムを仮想的に表現したもの＝デジタルツイン（＊））、またDiamondの下側は物理システム、Diamondの内側はモデル・シミュレーションと物理システム設計を繋ぐデジタルスレッドを表している。

- 従来より、航空機開発におけるMBEの取り組みは進められてきたが、近年のデジタル技術の進歩に伴い、MBE手法の活用が急速に進んでいる。

＊注）デジタルツインは、物理的なシステムやプロセスの特定のインスタンスの特性や動作を仮想的に表現したもので、パフォーマンスの予測と最適化を可能にし、運用期間を通じその物理的なシステムやプロセスと同期するものである。



海外OEMが公表しているMBEコンセプト図

主要な用語の定義

Model-Based Engineering
デジタルモデルとシミュレーションを用いて、初回の品質と信頼性を向上させる、製品開発、製造、ライフサイクルサポートのためのアプローチ

Model-Based Systems Engineering
デジタルモデルの原則により、システムのライフサイクルを通じた物理的・運用的挙動のシステムレベルでのモデリングとシミュレーションを規律を以って実行すること

Model-Based Definition
3D モデルを使った部品定義。3D モデル内に特徴や部品特性の定義も含める可能性がある。業界標準フォーム ASME Y14.41 準拠、Boeing フォーム BDS-600 準拠。

Model-Based Instructions
組立作業に必要なグラフィック化された情報、 MBD の技術情報（工程スペック、幾何公差等）を含む。

Architecture
システムの基本的な概念または環境におけるシステムの特性のその要素や関係性を設計思想や進化の原理に基づいて具体化したもの

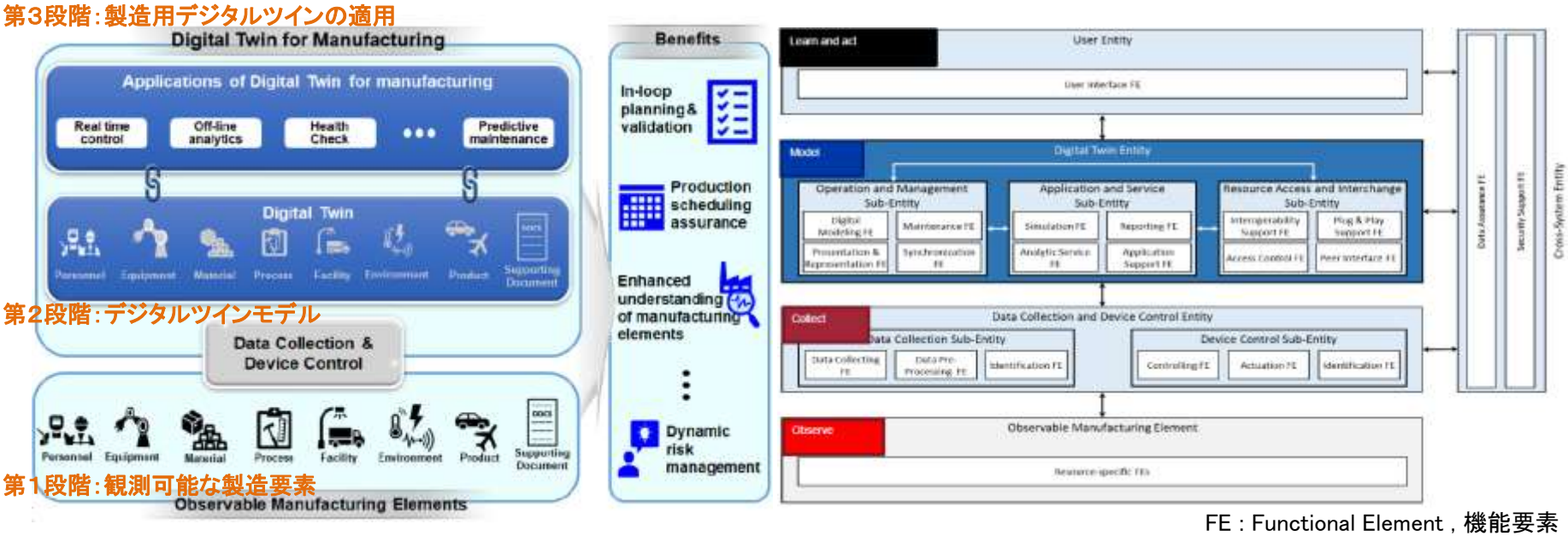
出典: Global Product Data Interoperability Summit 2019
https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2019/09/AirbusBoeing-Feldvoss-AerospaceAndAutomotiveCoo-MBSE-Open.pdf

成果概要－デジタル（DX）関連

4. 製造におけるデジタルツインの国際標準規格とその適用例

- ISO（International Organization for Standardization）の専門委員会TC184は、海外OEMの協力により、製造におけるデジタルツインの国際標準規格ISO23247 (Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing) を2021年11月に策定した。これは、人員・設備・材料・プロセス・設備・環境・製品を含む観測可能な製造要素のデジタルツインの作成を支援するためのフレームワーク（枠組み）を定義したもので、今後この規格に従い、デジタルツインの実装が進むものと考えられる。

- 製造におけるデジタルツインのフレームワークは、観測可能な製造要素の抽出段階、デジタルツインモデル構築段階、そして製造用デジタルツイン適用段階の3段階で構成される。



FE：Functional Element，機能要素

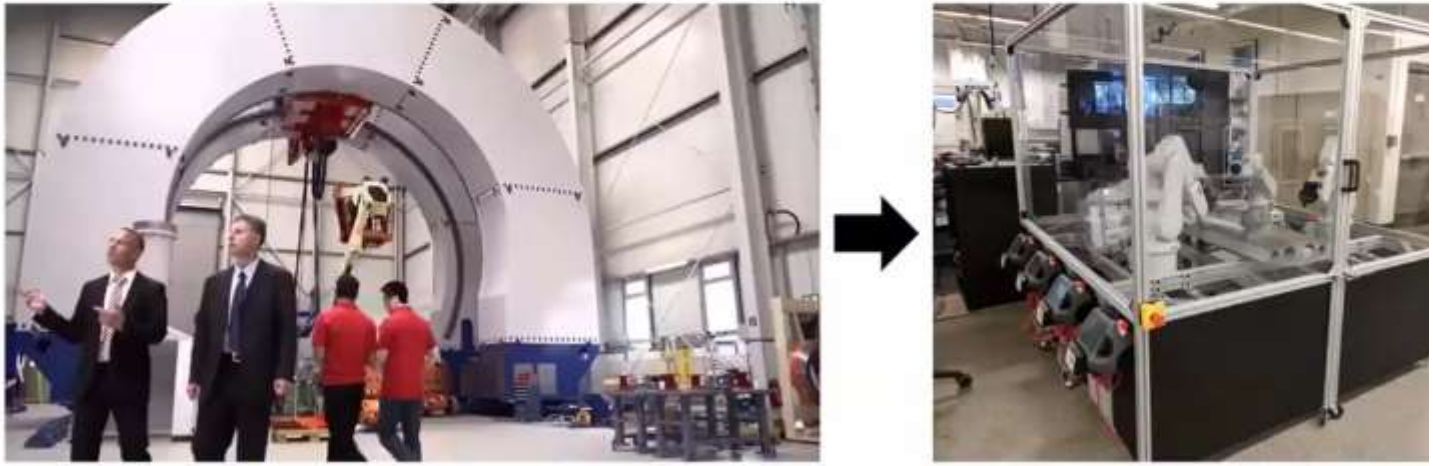
出典: Global Product Data Interoperability Summit 2020
https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2020/11/Boeing-Odendahl-ManufacturingDataStandardsCAMSC-Open.pdf

成果概要ーデジタル（DX）関連

- 海外OEMは、ISO23247を適用したユースケースとして、ボーイング社製787を題材に、手動から自動、単一工作機械からロボットセルの適用、静的プロセスから動的プロセス等、最適化の実証するデモンストレーションが実施されている。

（適用例）Flexible Schedule for Robot Drill & Fill Using Teams of Robots

- Manual -> Automatic
- Massive monolithic machines -> Robot cells
- Static processes -> dynamic processes
- Non-Optimized -> Optimized



海外OEMにおけるISO23247を適用した事例

出典：ISO 23247 Demonstration: Digital Twin Use Case
https://committee.iso.org/sites/tc184sc4/home/news/content-left-area/news-and-updates/iso-23247-demonstration-digital.html

成果概要ーデジタル（DX）関連

5. モデル・ベースド ・エンジニアリングに関する調査結果纏め

- バリューチェーン全体でデジタル技術を生かすデジタルスレッドは、情報伝達モデルをデジタル化して、共有化するものであり、ライフサイクル通しての①全体最適開発、②トレーサビリティ機能を活用することにより安定的な航空機の量産を目標としている。

- モデル化対象として、Product（製品）だけでなく、Factory（工場組立）を含め、生産シミュレーションも行っている。

- サービス・ビジネスに繋ぐ（モノからコトへ繋ぐ）ためにも、機体製造に加えて、整備まで繋ぐことが可能なデジタルスレッドが有効である。

- 基本的に航空機の開発フェーズを対象とするが、広義には、開発以後の量産フェーズにおけるサプライチェーンを含めた安定的な量産、航空会社の整備も対象に含めることが可能である。特に、デジタルスレッドのトレーサビリティ機能は不適合対応の迅速化を可能にし、サプライチェーン管理においても有効である。

- ISOにおいて既に製造におけるデジタルツインの国際標準規格（ISO23247）が構築されており、海外OEMでの適用も始まっている。

成果概要－Production System関連

HiCAM（Hi-Rate Composite Aircraft Manufacturing；高レート複合材機体製造）プロジェクトの事例

- 調査の結果、以下に示すNASA（米国航空宇宙局）のHiCAMプロジェクトの事例が日本のProduction Systemに対する参考となる取り組みであることが分かった。

- 当プロジェクトは、2030年代前半に就航予定である次世代単通路機への適用を目的に、2020年の機体と比較し、コスト・重量を増加させずに、複合材機体構造の製造速度を現状の4～6倍（現状：月産15機→月産100 機）に向上することを目標としており、製造コンセプトの迅速な試作と評価、小規模な製造コンセプトの選定、大規模な製造コンセプトの成熟を行なう各段階を設定し、効率的な開発を行なっている。

- 現状の機体開発における重量重視の考え方に対し、製造速度・コスト・重量をバランスさせる考え方は、次期民間航空機開発における日本のProduction Systemにおいて参考となる。

HiCAMプロジェクトの主な特徴

- 高速製造コンセプトをフルスケールで実証（TRL/MRLを3+ → 6近くに）
  - ✓ 熱硬化性樹脂
  - ✓ 熱可塑性樹脂
  - ✓ 樹脂トランスファー成形
  - ✓ 材料、プロセス、アーキテクチャー
- 効率的な設計、開発、認証のためのモデル・ベースド・エンジニアリング・ツールを実証
- 業界およびFAA（米国連邦航空局）と連携し、現実的な要求を実現

TRL：Technology Readiness Level，技術成熟度レベル
MRL：Manufacturing Readiness Level，製造技術成熟度レベル

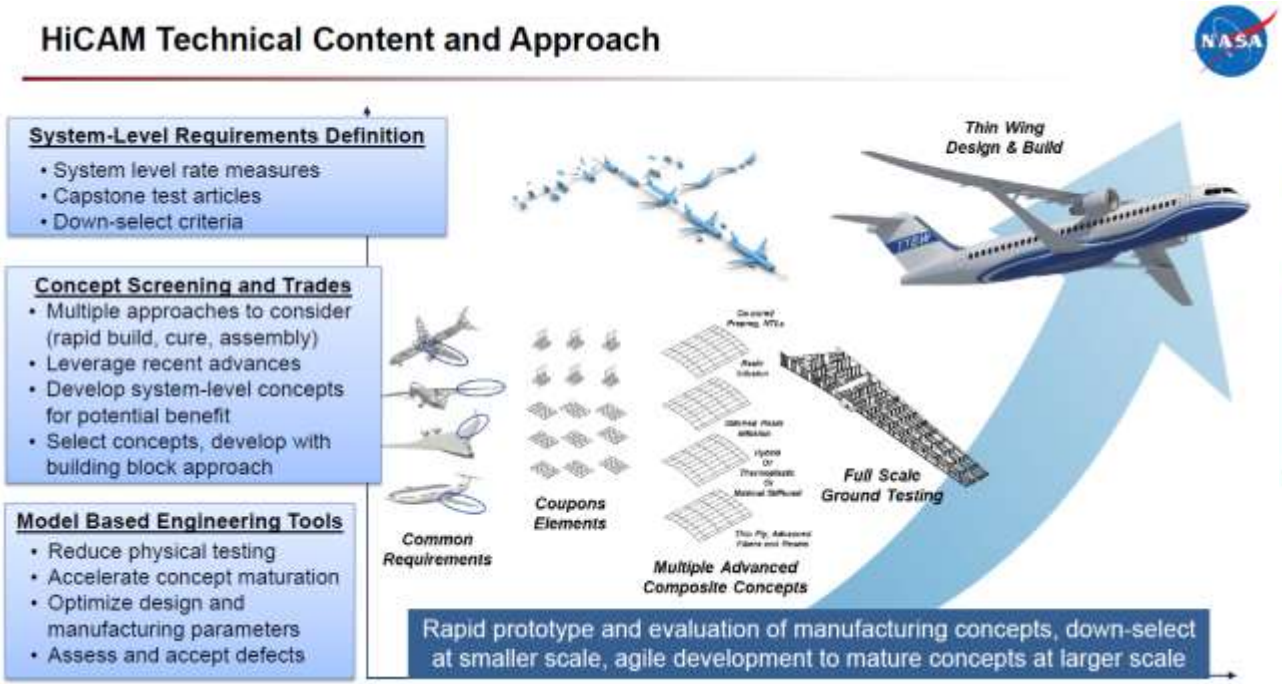
出典:ACC HiCAM Industry Day and Capabilities Statement Request
https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/acc-hicam-industry-day-and-capabilities-statement-request-acchicam00001

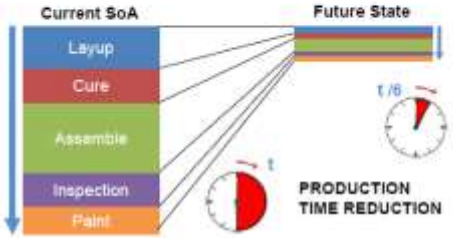
成果概要－ Production System関連

HiCAMプロジェクトの進め方と主要技術項目

HiCAMプロジェクトは、各機種共通の要求条件の設定・クーポンレベルの要素試験実施・複合的な先進複合材コンセプト選定・フルスケール地上試験実施・薄翼設計製造というアプローチで進められる。
主な技術項目は以下の通り。

- システムレベルの要求定義（製造速度の測定、製造コンセプトの選定基準設定等）
- コンセプト審査と比較検証（複数の製造コンセプトの開発及び評価等）
- モデル・ベースド・エンジニアリングツール整備（物理的試験の削減、製造コンセプトの熟成、不適合の評価等）





複合材部品の製造時間の大幅な短縮

出典:ACC HiCAM Industry Day and Capabilities Statement Request
https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/acc-hicam-industry-day-and-capabilities-statement-request-acchicam00001

成果概要－複合材関連

Spirit AeroSystems社の胴体構造開発の事例

- Spirit AeroSystems社は、2019年6月のパリ航空ショーで、次世代単通路機の胴体向けに、複合材料の製造技術を発表した。

- 大きさ18x12フィート（5.5x3.7メートル）の実証用胴体パネルは、ASTRA（Advanced Structures Technology and Revolutionary Architecture）と呼ばれ、既存の複合材料製造技術と比較し30%のコスト削減目標として、新しい材料/プロセスの組み合わせ製造による、インテグレーテッド・ストリンガーを特徴としている。

次世代単通路機用の実証用胴体パネル

出典: Spirit AeroSystems debuts next-generation composite fuselage panel
https://www.compositesworld.com/news/spirit-aerosystems-debuts-next-generation-composite-fuselage-panel

成果概要－複合材関連

Spirit AeroSystems社の胴体構造開発の事例

- ASTRAでは、機体OEMの次世代単通路機開発に向けて、Spirit AeroSystems社（製造技術）、東レ社（新プリプレグ）、NIAR（NCAMPのプロセスによる耐衝撃／強度／疲労／落雷／損傷許容性等の各種試験と材料標準設定）の共同による技術開発が進められた。

NIAR : National Institute for Aviation Research,ウィチタ州立大学内の国立航空研究所
NCAMP : National Center for Advanced Materials Performance,国立先端材料性能センター

- このASTRAの取り組みは、次期民間航空機開発における日本の取り組みの参考になるもので、次期民間航空機開発参画の前に、予め材料標準を取得しておくことで、海外OEMへの開発分担内容の提案において、品質・コスト・日程に係る日本の優位性を確保できる可能性が一層高まるものと考えられる。

成果概要－航空業界のカーボンニュートラル動向

航空業界のカーボンニュートラル動向について調査し、業界としての今後の対応について分析を実施した。全体動向、新技術、オフセットに関する考察を以下に纏める。

1）カーボンニュートラルの全体動向（加速動向）に関して

- 今後の航空輸送需要自体が、環境重視の社会変容に大きく影響され、温室効果ガス削減への取り組みは日増しに加速して重要度が高まる。→業界連携での対応検討意義が大きい。
- “オフセット”（自力で削減できない分の対価を支払って削減目標を達成する）の実状が、当面大きなコスト増になることを認識して（業界としての）中長期事業計画を進める必要がある。

2）新技術での対応、SAFでの対応に関して

- 加速する脱炭素目標に対しては、従来以上の革新的なレベルの技術開発が期待されるが、個社での対応のハードルは高く、一段上の連携も検討が必要と思われる。
- 現時点で最も依存度の高いSAFでは、多岐にわたる供給シナリオで発散しない業界レベルのリードが必要。機体事業の今後のネックにもなり、業界として検討が必要である。

3）オフセット（オフセット・クレジット、ネガティブ・エミッション技術）に関して

- 航空でのカーボンニュートラル対応のハードルは高く、オフセット策は避けがたい。サブ・コントラクター事業でも、CCUS/DACと組合わせたビジネス等、発想転換の必要がある。
- 環境対応は、今後の各社戦略での競争領域ではあるが、業界として情報共有を図り、テーマによっては“連携”取り組み価値を探るため、勉強会を行うことが有効と考えられる。

SAF : Sustainable Aviation Fuel、持続可能航空燃料
CCUS : Carbon dioxide, Capture, Utilization and Storage、CO_2回収・貯留技術
DAC : Direct Air Capture、空気からのCO_2分離回収技術