

2022年度 航空機産業調査サマリー

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

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

目的

海外OEM（Original Equipment Manufacturer）等の最新のDX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について調査、分析を行う。

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. 海外OEMの直面するビジネス課題
2. 次期民間航空機開発のために構築すべき生産システム
3. 次期民間航空機に取り入れるべき要素技術



調査、分析から得られた成果を以下各項目に整理した。

1. 海外OEMの課題
2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連
3. 航空業界のカーボンニュートラルの取組
4. ボーイング社の技術開発動向
5. 日本が優位性を示すことができる要素技術例

1. 海外OEMの課題 (1/3)

ボーイング社の経営全般についての課題

<主な発生事象>

- ・ 2018年、2019年の二度にわたる墜落事故による737MAX出荷停止
- ・ 2020年に始まったCOVID-19による航空旅客の激減と航空機需要の低迷
- ・ 2020年に発生した787品質問題による出荷停止
- ・ 旅客機の引渡機数の激減／生産機数の大幅な減少
- ・ 防衛事業では固定価格契約に起因する膨大な追加コストの発生
- ・ 設計、製造品質の影響のFAAとの関係への波及。737MAX-7、-10及び777XのTC取得日程の度重なる遅延の発生



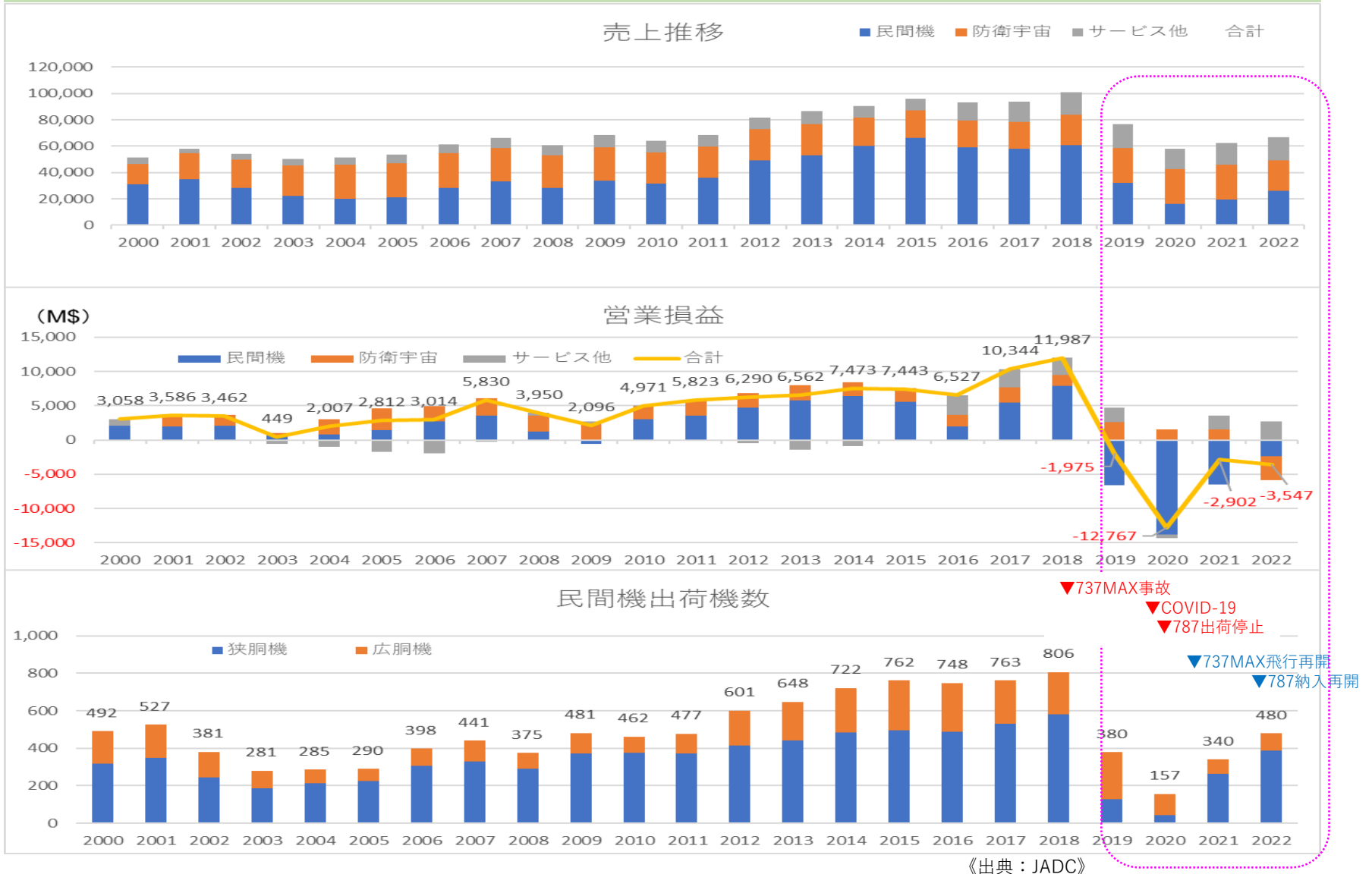
- ・ 2019年以降大幅な赤字に転落し、有利子負債も増大した。
- ・ 現在、737MAX、787の出荷再開、更にCOVID-19に伴う航空旅客への影響が徐々に収まりつつあるが、ボーイング社本体及びサプライチェーンにおける労働力不足により、増産を軌道に乗せ、業績を本格的に回復するにはまだ時間がかかる。



- ・ こうした状況下、ボーイング社は新機種開発ローンチを手控え、生産体制の立て直し、次機種開発のためのDXを活用したプロセス再構築に取り組んでいる。
- ・ 2050年を見据えたカーボンニュートラルへの取組など、我が国としてボーイング社と協調して進めるべき課題は多岐にわたる状況である。

1. 海外OEMの課題 (2/3)

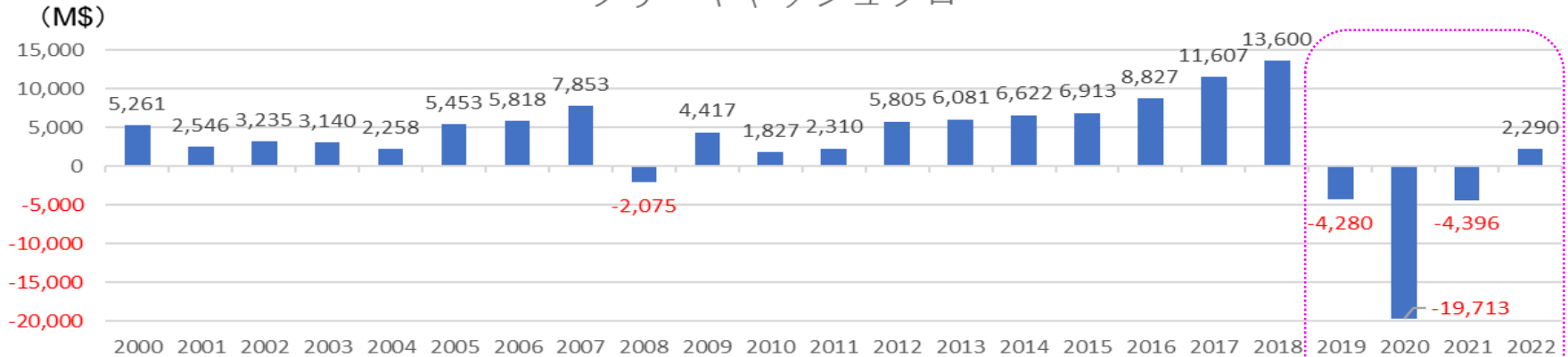
ボーイング社の経営全般についての課題



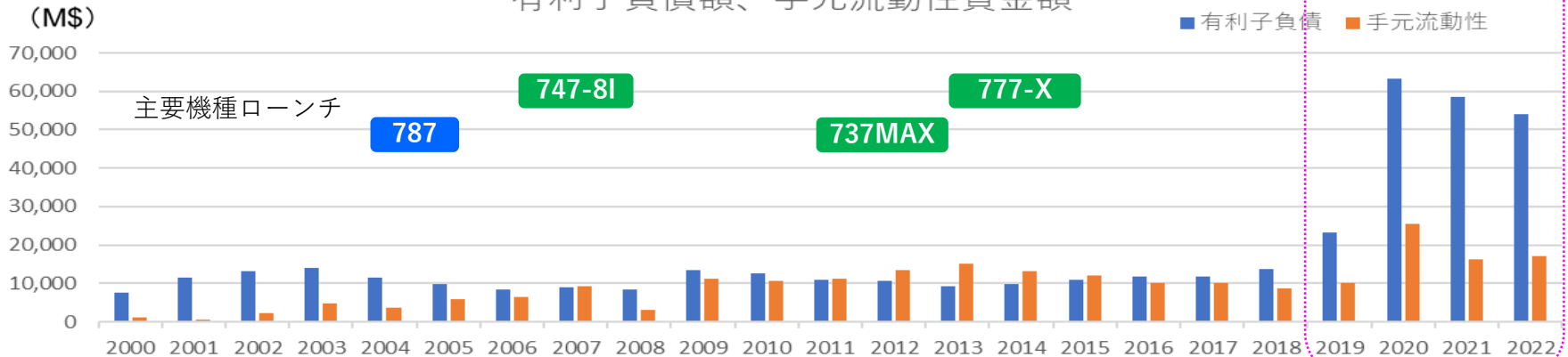
1. 海外OEMの課題 (3/3)

ボーイング社の経営全般についての課題

フリーキャッシュフロー



有利子負債額、手元流動性資金額



《出典：JADC》

- この20年間で全くの新規開発は787のみ。他は、従来機を改造した派生型機である。
- 737MAX、777-Xの型式証明が大幅に遅れていること、及び決算、財務状況から考えて、新型機開発の着手は現在の混乱が収まったのちで、早くても2020年代終盤と思われる。

2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連（1/6）

ボーイング社におけるDXの位置づけ（1/2）

カルフーン社長発言

2022年6月 Seattle Times

- ・新しいデジタルツールによって、航空の設計、製造などの方法が革命的に変化すると期待している。
- ・しかし、自信をもって次の航空機に適用できるまでには少なくとも数年(at least a couple of years)がかかるだろう。
- ・デジタルツールが整えば、次の航空機をデザインする。

2022年11月 投資家向け説明

- ・2020年代の新機種ローンチはなく、2030年代半ばまでは、新機種の開発(~EIS)は行わない予定である。
- ・新機種は最新技術が採用された完全に次世代の航空機となる必要がある。
市場のニッチを埋めるものではない。
- ・新機種の開発となれば、現行機に比べ20%から30%の燃費性能の向上が必要になるが、現段階ではその技術の開発が追い付いていない。
- ・業界全体でも2030年代までは画期的な新型機は登場しない。また、新機種は経済性、生産性、安全性、デジタル化、サステナビリティでの真の差別化が必要である。

2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連（2/6）

ボーイング社におけるDXの位置づけ（2/2）

(1)新機種開発の条件、時期等

1)必須条件は以下が準備できていること。

- ①量産に耐えうる生産システム
- ②20%以上効率の良い新エンジン
- ③十分に実証されたDXシステム

2)ローンチ時期の見方はややバラつきがあるが、最速2020年代末、現実的には2030年代に入ってから。

(2)DXの位置づけ

1)早く進めたい。

新機種ローンチに十分な時間余裕を持って、DXシステムの実証作業を完了させる必要がある。

2)3DXシステムに関して、小さなシステムで早く検証作業を完了させる必要がある。

3)日本とのJoint Workは極めて重要である。

(3)具体的な課題

1)生産プロセスの各工程（生産準備、工程設定、治具設計、機械加工等）の管理は紙面が主体であり、それぞれ連携されていないため開発作業の効率が悪い。

2)製品開発において、設計変更の波及範囲が複雑で一元化できていない。

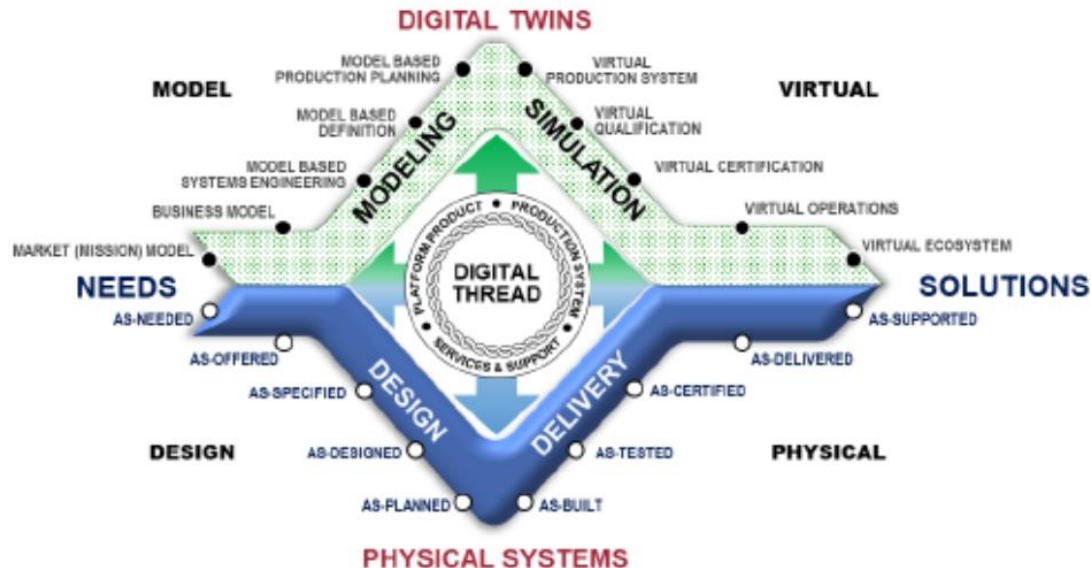
3)部品が多く分担生産の事業構造のため、Tier1~3のサプライチェーンマネジメントが複雑化している。

⇒設計から生産まで同一データを活用し、何度もシミュレーションのループを回すことで上記課題を解決すること。

2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連（3/6）

DXによる課題解決の方向性

- バリューチェーン全体でデジタルを生かす“Digital Thread”は、情報伝達モデルをデジタル化して共有化。ライフサイクルを通しての①全体最適開発、②Traceability機能で安定量産を狙う。
- モデル化対象として、ProductだけでなくFactory（生産）も捉え、生産シミュレーションも行う。
- サービス・ビジネスに繋げる（モノからコトへ）には、開発を超えて運用/保守まで繋げるDigital Threadが有効。
- 基本は開発対象で捉えられるが、広義には、開発以後、量産でのサプライチェーンを含めた安定生産、エアライン運用でのMROのexecutionに繋ぐ取り上げもある。ThreadのTraceability機能を用いた不具合対応の迅速化はサプライチェーン管理に有効。
- Digital Twinはコンピュータ仮想空間に実体（航空機及び工場）をモデル化したものを置いて対比しながら開発する技術の総称。



《Boeingが公表しているMBEコンセプト図》

2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連（4/6）

取り組むべき具体的な課題（1/3）

(1)設計3D データからのシームレスな生産準備／工程設定／治具設計・NCプログラム作成の仕組み作り

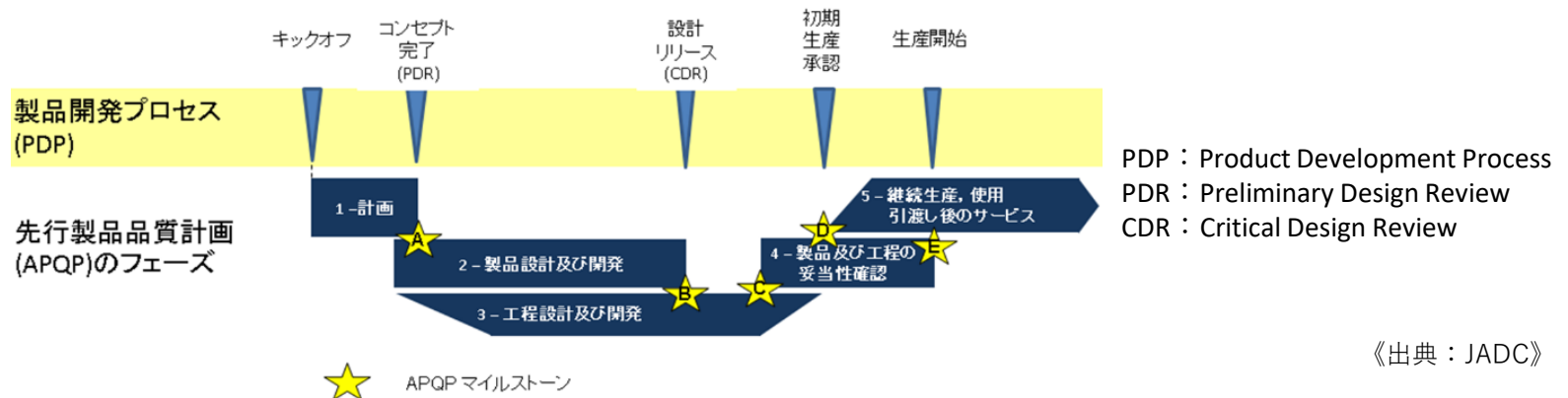
- 1) MBSE(Model Based Systems Engineering) / MBD(Model Based Definition)により、生産準備、工程設定、治具設計・NCプログラム作成等を高効率で行う為の設計3Dデータを創り込むプロセス技術
- 2) 上記設計3Dデータを事前シミュレーション、工程設定プランニング／作業指示書作成、自動治具設計・自動NCプログラム作成等で高効率に利活用する仕組み
- 3) 上記検討に必要な既存の有力PLM(Product Lifecycle Management)プラットフォームの機能等の調査、確認
- 4) なお、海外OEMは、
 - ISO10303等の国際規格に基づき、各MBE（Model Based Enterprise）領域におけるデータの互換（Interoperability）を念頭にDXへの取組を進めており、特定ベンダーのツールに依存しないプロセス構築を念頭に置く必要がある。
 - 業者選定用見積仕様（Technical Data Package）から開発後のノウハウ蓄積（Long term archival and Retrieval）に至る幅広いプロセスを対象と捉えている。今後の国際競争力を確保する上で、ライフサイクルを通じて一貫通貫のプロセス構築、海外OEMとの協業が重要である。

2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連（5/6）

取り組むべき具体的な課題（2/3）

(2)海外OEMが次期民間航空機開発のために導入しようとしているAPQP（Advanced Product Quality Planning）へのデジタル技術の活用

- 1) 次期民間航空機の国際共同開発に求められるAPQPについて、海外OEMや規格の動向を踏まえた上で、航空機開発のDX時に求められるAPQPをデジタル技術を活用して確立する。
- 2) デジタル化されたAPQP／PPAP（Production Parts Approval Process）成果物の作成を、機体、及び生産システムの開発と連携する事で、事前検討を効率的で効果的なものとする。
- 3) デジタル化の目的は機体と生産システムの同時開発であり、デジタル技術を活用した効果的かつ効率的なデジタルAPQPプロセスの構築が必要である。これにより、現状のAPQPのプロセスを革新し次の航空機開発のサポートが可能となる。
- 4) なお、APQPの適用が先行している自動車業界の実態も調査し、民間航空機開発においても適用可能なプロセス等を調査し、自動車業界との環境の相違を踏まえ、実用性の高いプロセスを構築していく必要がある。



2. DX（デジタルトランスフォーメーション）関連（6/6）

取り組むべき具体的な課題（3/3）

(3) 将来航空機への適用が見込まれる、最新のデジタル技術を活用したスマートサプライチェーンの実現

- 1) 海外OEM・国内／海外サプライヤーにおけるサプライチェーンマネジメント（SCM）の技術動向、SCMに必要となる工場及び輸送のDigital Twin構築に関する技術動向、サプライチェーン上の滞留を回避するための最適化に関する技術動向等の調査、課題抽出が必要である。
- 2) 調査にあたっては、中小企業も巻き込んだ我が国航空機産業サプライチェーン強靱化の観点から、必要性ならびに実現性についての検討が必要である。
- 3) また、サプライチェーンにおける生産実測データと、最新のデジタル技術を活用した高精度構造設計／組立手法に関する技術動向の調査、対策が必要である。
- 4) なお、海外OEMは、
 - ・過去の開発においてTier1経由でTier 2-3に至るという階層構造により、世界中の多くの企業の協力による生産を行ったが、SCMが複雑化した。
 - ・従って、サプライチェーンのリスク監視に課題があると考え、その見える化を行うべく研究開発を進めており、今後Tier1にも、Tier2以下のサプライチェーンの状況をモニターすることをより一層強く要求することが予想される。

3. 航空業界のカーボンニュートラルの取り組み

海外OEMにおけるカーボンニュートラルの考え方の例

- 2050年頃までの中長距離路線の機体(150席以上)に適用される現実解は、主にSAF(Sustainable Aviation Fuel)である。
- SAFは、現状では供給量不足の問題があるが、自動車の電動化が進んだ後、ガソリン需要減少に伴い、大手石油精製会社の生産設備をSAF生産(=水素を利用した化学的なSAF生産)に切り替える動きになれば解決可能性が有る。
- SAFを使用するとしても、エンジンの低燃費化(現状の20%改善)や機体軽量化技術(高レート生産可能な複合材)、空力改善技術(トラス翼)などは必要となる。
- 航空機のライフサイクルにおけるサステナビリティへの取組は重要と考えており、省エネ生産やリサイクルにも取り組む必要がある。

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter > 9-50 seats > < 60 minute flights > <1% of industry CO ₂	SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF
Regional > 50-100 seats > 30-90 minute flights > ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul > 100-150 seats > 45-120 minute flights > ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	Electric or Hydrogen combustion and/or SAF	Electric or Hydrogen combustion and/or SAF	Electric or Hydrogen combustion and/or SAF
Medium haul > 100-250 seats > 60-150 minute flights > ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen
Long haul > 250+ seats > 150 minute + flights > ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

B737
A220,320
E190,195

B767,787,777
A330,350

©Waypoint2050

4. ボーイング社の技術開発動向 (1/2)

ボーイング社/NASA共同研究：Transonic Truss-Braced Wing (TTBW) 機

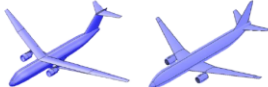

- NASAは、民間機燃料効率の最大30%向上を目的とするプロジェクトの一環として、ボーイング社に実証機の開発を依頼。
- ボーイング社カルフーン社長の発言 (2023年1月25日) ; 「NASAと10年以上にわたって取り組んできた。今回着手したのは、いかにして商業化するか、実際に新しい航空機に組み込むことができるか。ナローボディ機で大きな役割を果たすだろう。」



《出典：Boeing HP》

Concept Overview

- Two single-aisle concepts
 - 2035 entry into service (EIS)
 - Transonic Truss-Braced Wing¹ (TTBW)
 - Conventional Configuration² (CC)
- Minimum block fuel designs
- Two-spool, direct-drive engine
- High-lift and landing gear geometry scaled from:
 - Boeing contractor reports³
 - Other available single-aisle aircraft designs



Metric	TTBW	CC
Design Range [NM]	3500	
Cruise Mach	0.8	
Passengers	154 (2 class)	154 (3 class)
Thrust [lb] (Sea Level Static)	23,200	21,800
Span [ft]	158.1	123.7
Aspect Ratio	19.6	13.1
Gross Takeoff Weight (GTOW) [lb]	135,600	136,200
Max Landing Weight (MLW) [lb]	116,600	114,400

¹AIAA Paper 2020-0011

²AIAA Paper 2016-1027

³Droney, C. and Zidovetzki, E. SUGAR Phase IV Mach 0.80 Transonic Truss-Braced

Wing Concept Data Package. Unpublished NASA Contractor Report.

《出典：NASA HP》

4. ボーイング社の技術開発動向（2/2）

経済産業省／ボーイング社が航空機の技術協力に係る合意（2022年8月1日）

経済産業省とボーイング社は、2019年に合意した技術協力を拡大することを決定した。

- ・ SAF、電動化及び水素による推進力技術
- ・ 航空機からの二酸化炭素排出量をゼロとする将来的な飛行構想
- ・ 持続可能な航空宇宙の実現に向けた協力

経済産業省は、次世代の航空機の実現に向けた研究開発、市場調査、技術実証など、必要な支援に努める。

ボーイング社はボーイング・リサーチアンドテクノロジーの日本拠点（研究開発センター）設置を発表した。

- ・ 同センターはSAF、電動化、水素による推進力技術、ロボティクス、デジタル化、自動化、そして炭素繊維複合材分野での研究開発に注力
- ・ ボーイング社は、国産 SAF商用化、普及・拡大に取り組む「ACT FOR SKY」に参加
- ・ ANA及びJALと持続可能な航空技術の研究を共に推進する覚書に署名
電動、ハイブリッド、水素及びその他の新しい動力による推進システムの研究協力

⇒日本として2050年カーボンニュートラルに向けて、幅広い選択肢の準備が必要。
各技術の開発・事前実証・適用・運用評価・改善のサイクルを回す必要がある。

5. 日本が優位性を示すことができる要素技術

国際共同開発でのポジション強化、差別化のための技術

1. Digital Transformation
 - ・ボーイング社他海外OEMのプロセス改善に協力する
 - ・3つのDXに重点的に取り組む
 - ① MBD/MBI, ②Digital APQP, ③Smart Supply Chain
2. 航空機推進系技術（燃料を含む）
 - ・燃料電池（リチウムイオン二次電池）、電動パワートレイン、超電導・水素エンジン、水素保管、ハンドリング技術
 - ・国産SAF
3. 炭素繊維複合材（CFRP）
 - ・東レ、三菱ケミカル、帝人の日系3社による世界市場の半分以上の占有
 - ・JAI（MHI, KHI, SUBARU）の機体主要構造部への使用実績
 - ・JAXAとの共同による高生産性・高靱性CFRP開発（革新的構造材料プロジェクト）

これらの優位技術を磨くことで、日本は国際共同開発でのポジション強化、差別化に繋げることができる。