

静粛超音速機統合設計技術の研究開発 —陸上超音速飛行を可能とする実用的なソニックブーム国際基準の策定に向けて—

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門
静粛超音速機統合設計技術実証チーム長
牧野好和

1. JAXA航空シンポジウム2019での紹介概要
2. 民間超音速機に関する動向アップデート
3. 民間超音速機実現に向けた課題
4. JAXAの超音速機研究開発の成果紹介
 4. 1 これまでの取り組み
 4. 2 今後の方向性
5. まとめ

1. JAXA航空シンポジウム2019での紹介概要

- いくつかの海外ベンチャー企業が海上を超音速飛行する実機の開発を進めており、世界的に民間超音速機開発に向けた機運が高まってきている状況について紹介しました。（その一つである米国のBOOM社にはJALが出資しています。）
- さらに低ソニックブーム設計技術の進歩により、将来的な陸地上空超音速飛行に向けた国際基準策定の議論が進められていることを紹介しました。
- JAXAで進めている静粛超音速機統合設計技術の研究開発成果として、低ブーム／低抵抗設計技術や離着陸騒音低減技術などについて紹介しました。



<https://www.aerionsupersonic.com>



<https://boomsupersonic.com>



米国ベンチャーによる実機開発計画

Aerion : 超音速ビジネスジェットAS2の開発を進めていたが、COVID-19の影響もあり2021年5月に事業を停止するとの報道がなされた。

Boom : 海上を超音速飛行する50席クラスの旅客機Overtureの開発を進めている。JAL、Virgin等が出資。2021年6月にはUnited航空がOverture15機を発注した。ロールス・ロイス社とOvertureのエンジン開発で提携を発表。2029年の市場投入を目指している。Overtureの1/3スケールの実証機XB-1を開発し2020年10月にロールアウトした。



BOOM Overture

Boom Overture	
座席数	40-55席
巡航速度	Mach 1.7
陸上飛行速度	亜音速飛行
エンジン	RR社製 3基



実証機XB-1

2. 民間超音速機に関する最近の動向

NASA低ブーム実証機 (LBFD, QueSST, X-59)

NASAはICAOにおけるソニックブーム基準策定に寄与することを目的として、有人低ブーム実証機の開発を進めている。



NASA QueSSTスケジュール

Phase1 : 2018-2022	機体開発 (初飛行2022)
Phase2 : 2022-2023	音響検証
Phase3 : 2024-2026	社会反応調査
Phase4 : 2027	規制当局へ最終データ提供

2. 民間超音速機に関する最近の動向

NASA/Boeing/JAXA三者共研 (X-59設計検証)

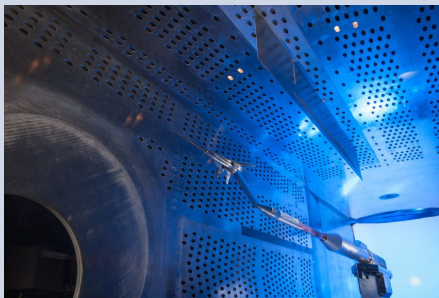
2021年10月JAXAはNASA、ボーイング社と低ソニックブーム実験機X-59の低ソニックブーム設計を検証する共同研究を開始しました。

- NASAが開発を進めるX-59の風洞試験模型をNASA,JAXA双方の風洞設備で試験し、ソニックブーム特性に関するデータを取得・交換して相互検証するとともに、ボーイングとJAXAとで当該模型の数値流体 (CFD : Computational Fluid Dynamics) 解析を実施し、三者によるCFD結果と風洞試験結果の比較検証を行います。
- 獲得したデータ、解析結果により、NASA側はX-59の低ソニックブーム設計を高い精度で検証することができ、JAXAとしても、NASAの風洞試験結果やボーイングのCFD解析結果を利用してソニックブーム推算技術の高度化が可能となります。



X-59ブーム確認風試模型

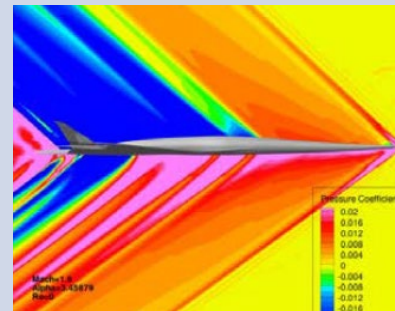
NASA風洞



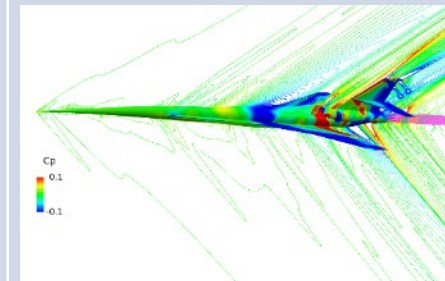
JAXA風洞



Boeing CFD



JAXA CFD



NASA Press Release (Feb 17, 2021)
<https://www.nasa.gov/aeroresearch/nasa-and-jaxa-to-work-together-on-testing-x-59-model>

JAXA Press Release (Oct 14, 2021)
https://global.jaxa.jp/press/2021/10/20211014-1_e.html

3. 民間超音速機実現に向けた課題

経済性に関する課題

巡航性能向上
抵抗を1%下げると3%乗客を増やせる
軽量化には複合材の適用が有効

システム統合設計の
必要性

環境適合性に関する課題

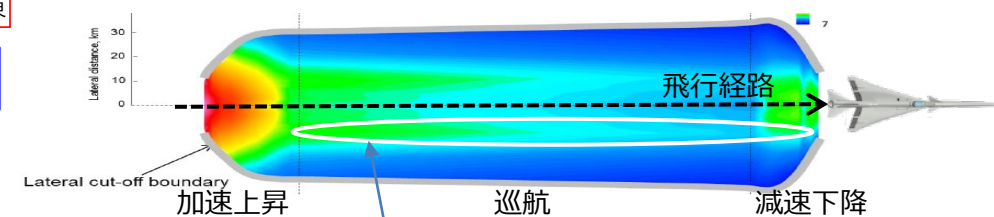
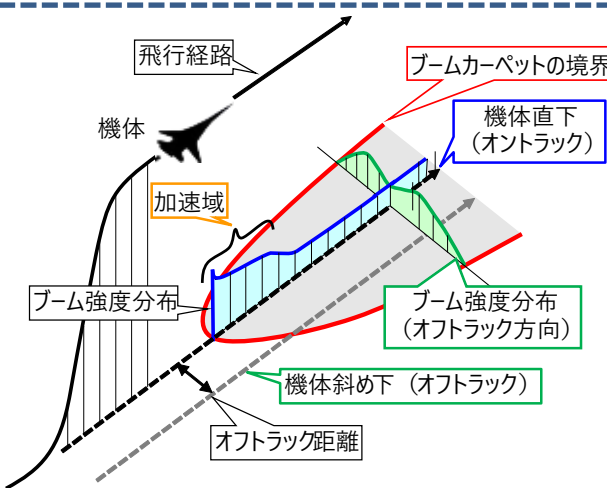
ソニックブーム低減
現在の規制では陸上超音速飛行は禁止
現在ICAOにおいてソニックブーム基準を検討中

環境適合性に関する課題

空港騒音基準適合
現在のICAO亜音速機基準はChapter 14
2020年3月にFAAが超音速機用の離着陸騒音基準案として CFR14 Part36の改定案を公開した。

ソニックブーム認証手順検討において、ソニックブームの最大値が観測される場所の設定が議論されている。

➡ ソニックブームが観測される全域での低ソニックブーム設計が課題



飛行経路直下からずれた側方のピークが存在することを示した。

低ブーム機の地上ソニックブーム強度分布解析例
(青→緑→赤の順でブームが強い)

静粛超音速機統合設計技術の研究開発で設定した技術目標（超音速旅客機実現に必要な環境適合性と経済性の両立）

環境適合性（ソニックブーム、離着陸騒音）

- ① ソニックブーム : 85PLdB以下（陸域上空の超音速飛行が可能と想定される数値）
- ② 離着陸騒音 : ICAO Chap.14適合（FAA新基準よりも厳しい亜音速機基準）

経済性（大西洋横断が可能な航続距離3,500nm（約6,500km））

- ③ 揚抗比 : 8.0以上
 - ④ 構造重量 : 15%減
- } 航続距離の目標を揚抗比、構造重量の要求に分解

【要求仕様】

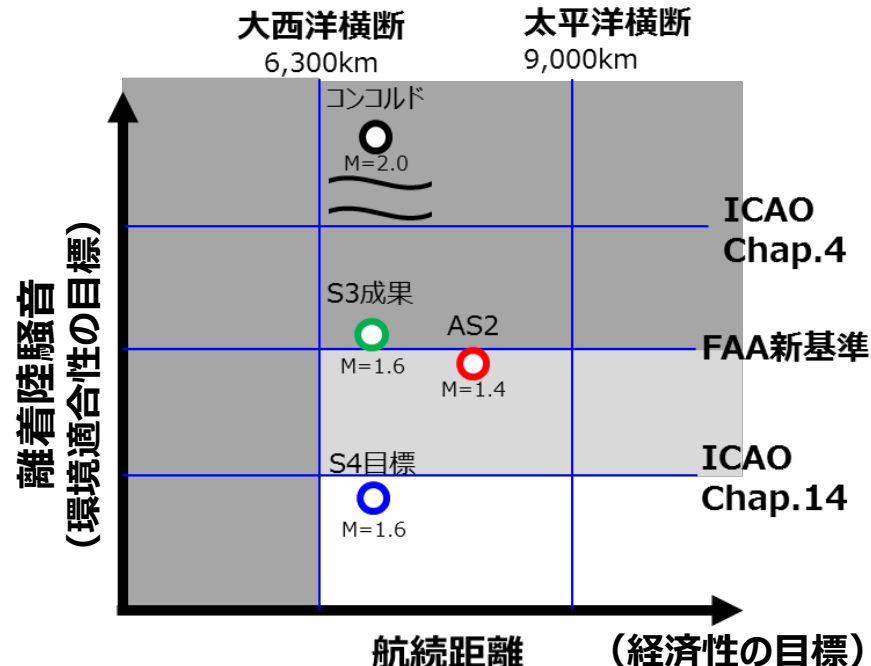
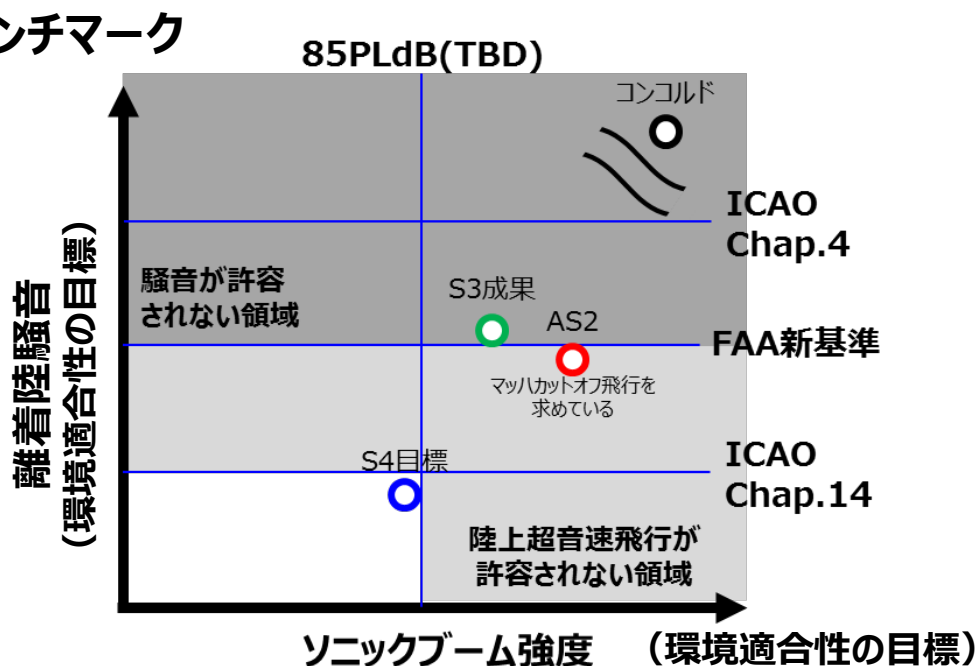
乗客 : 50人
 巡航速度 : マッハ1.6
 航続距離 : 3,500nm (6,500km) 以上



【課題】 **【技術目標】**

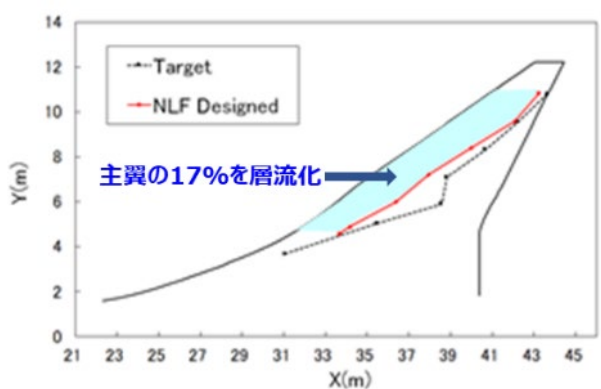
ソニックブーム : 85PLdB以下
 空港騒音 : ICAO Chapter 14適合
 巡航性能 : 巡航揚抗比8以上、構造重量15%減

技術目標のベンチマーク

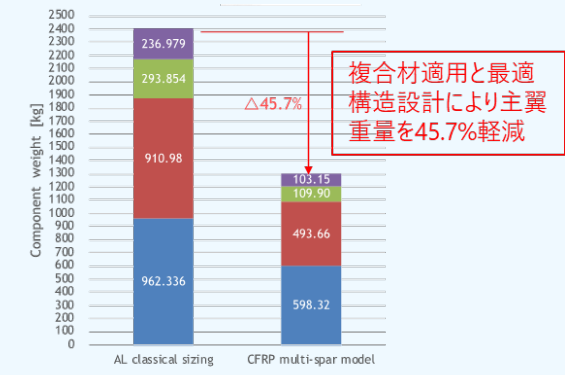
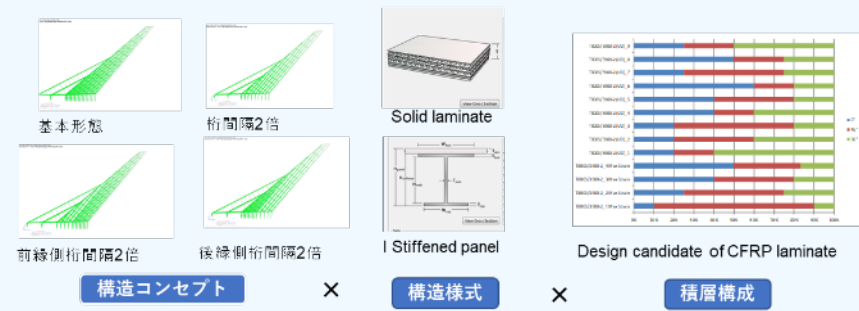


巡航性能向上技術

実機相当の高レイノルズ数で自然層流翼を実現する主翼表面圧力分布設計手法を考案し、巡航揚抗比8.0以上を確認した。複合材の配向角や板厚の最適設計による構造重量21%減に相当する主翼構造重量軽減を確認した。

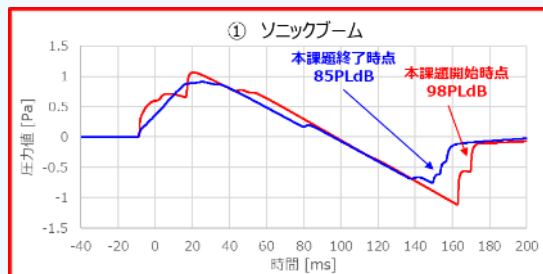
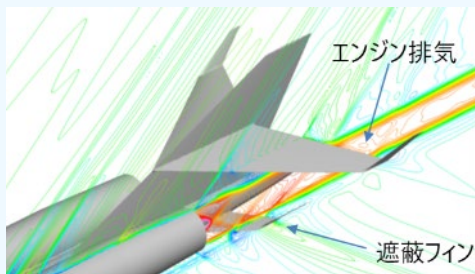


● 複数の構造様式, 材料, 積層構成の考慮による解空間の拡大



ソニックブーム低減技術

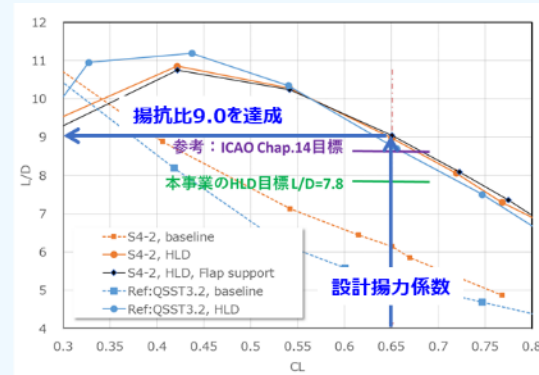
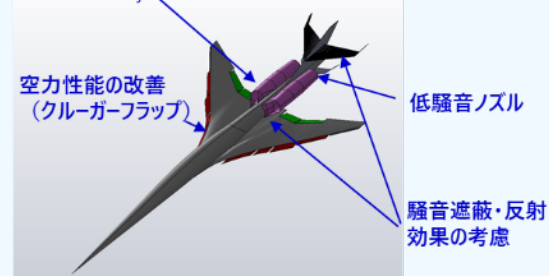
エンジン排気から発生する膨張波が後端低ブーム性を悪化させるため、膨張波の地面への伝播を抑制しつつ、低抵抗性も考慮した遮蔽フィンコンセプトを考案し特許出願した。



空港騒音低減技術

クルーガーフラップシステムを適用した最適設計及び空力性能評価を行い、空港騒音低減に資する低速空力性能向上を風洞試験で確認した。

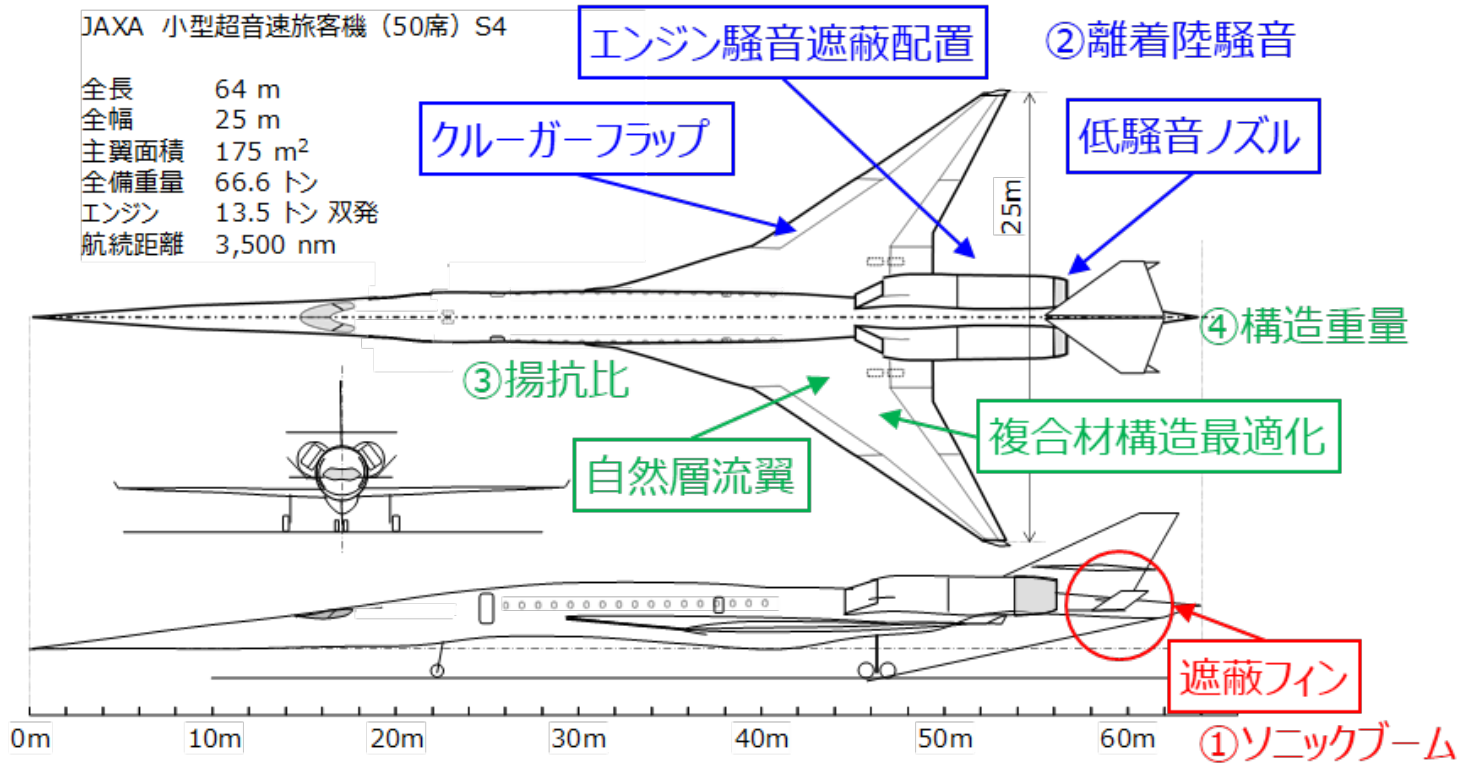
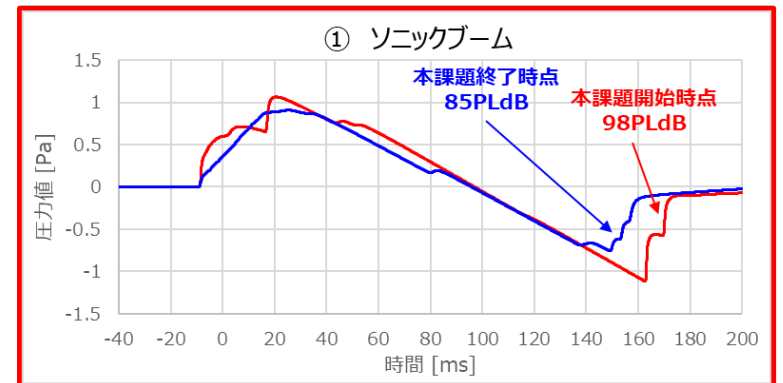
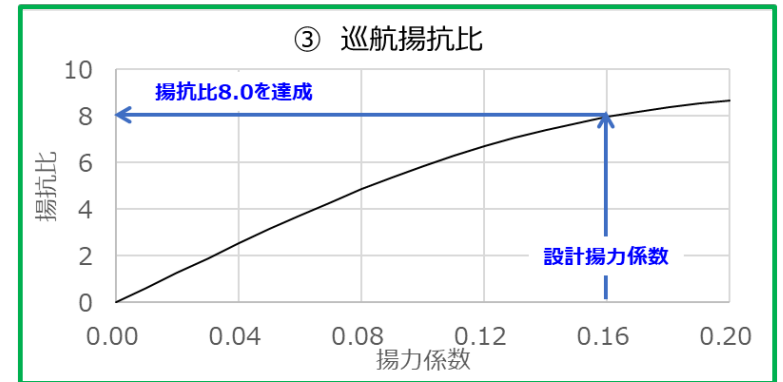
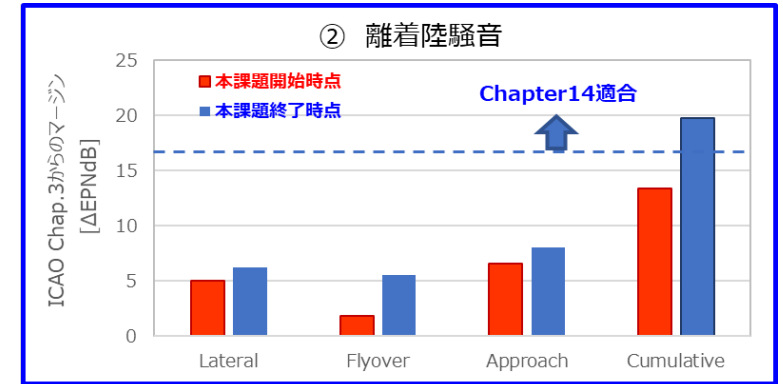
エンジン諸元の変更による
低騒音化 ($V_j = 360 \text{ m/s} \rightarrow 340 \text{ m/s}$)



4. JAXAの超音速機研究開発 これまでの取り組み

要素技術適用と統合設計技術により技術目標を全て満たす機体コンセプトの成立性を示した

- 【①ソニックブーム】 エンジン排気の影響を低減する遮蔽フィン技術の適用により低ソニックブーム目標（85PLdB）達成を確認した。
- 【②離着陸騒音】 最適クルーガーフラップ、低騒音ノズル設計、エンジン騒音遮蔽効果等により離着陸騒音基準（ICAO Chapter 14）適合を確認した。
- 【③揚抗比、④構造重量】 自然層流翼設計技術の適用等により低ブーム要求と両立する巡航揚抗比目標（L/D=8）達成を確認した。



全機ロバスト低ブーム設計技術

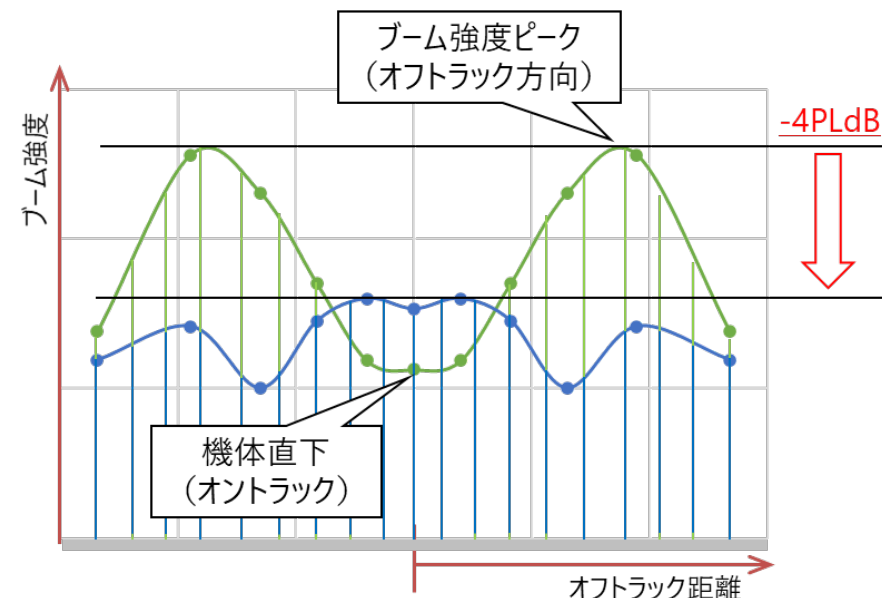
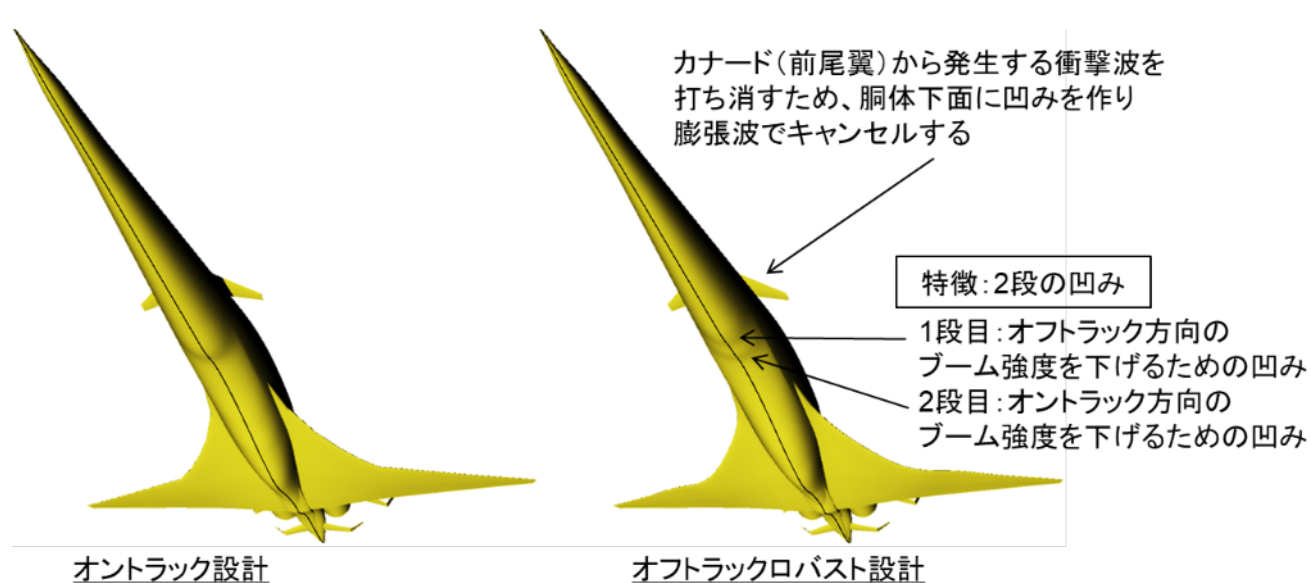
□ ブームカーペット全域を低ブーム化する設計技術を獲得

機体から発生する擾乱は飛行マッハ数に応じた円錐面に沿ってのみ伝播するという原理に基づき、オフトラック上のブーム強度に影響する機体の部位を突き止め、その部位に対して低ブーム設計理論を参考に形状修正を施す工夫でオフトラック方向を低ブーム化する独自設計手法を開発した。

さらに、加速域の飛行マッハ数にも対応させ、ブームカーペット全域を低ブーム化する手法に拡張した。

□ 汎用性の高い独自設計プロセスを構築

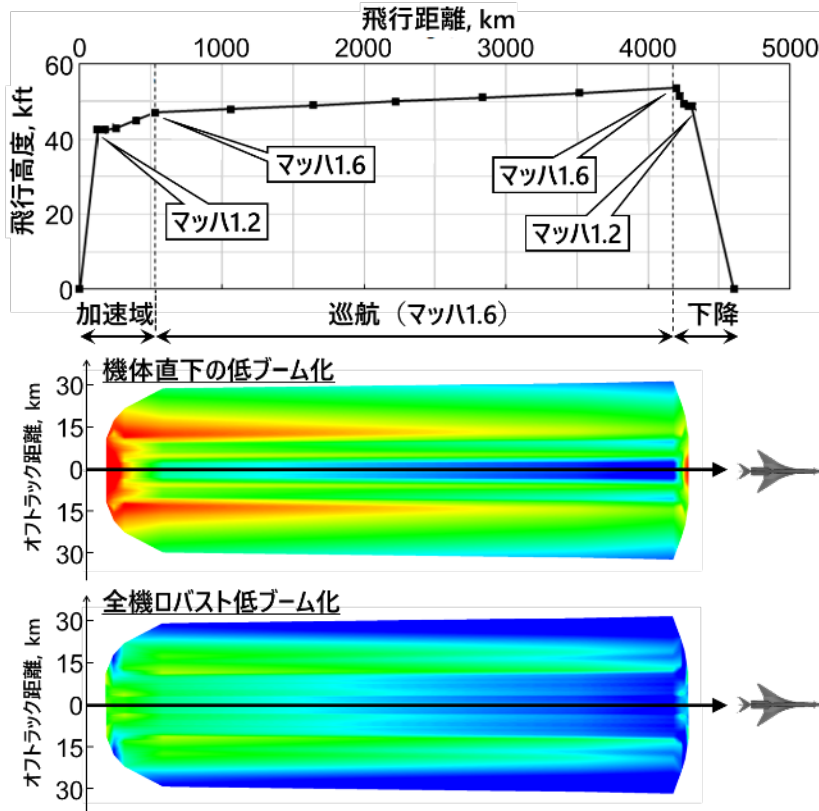
理論に基づく機体形状修正により最適設計の繰り返しを不要にし、自由度の高い低ブーム設計を可能にした。



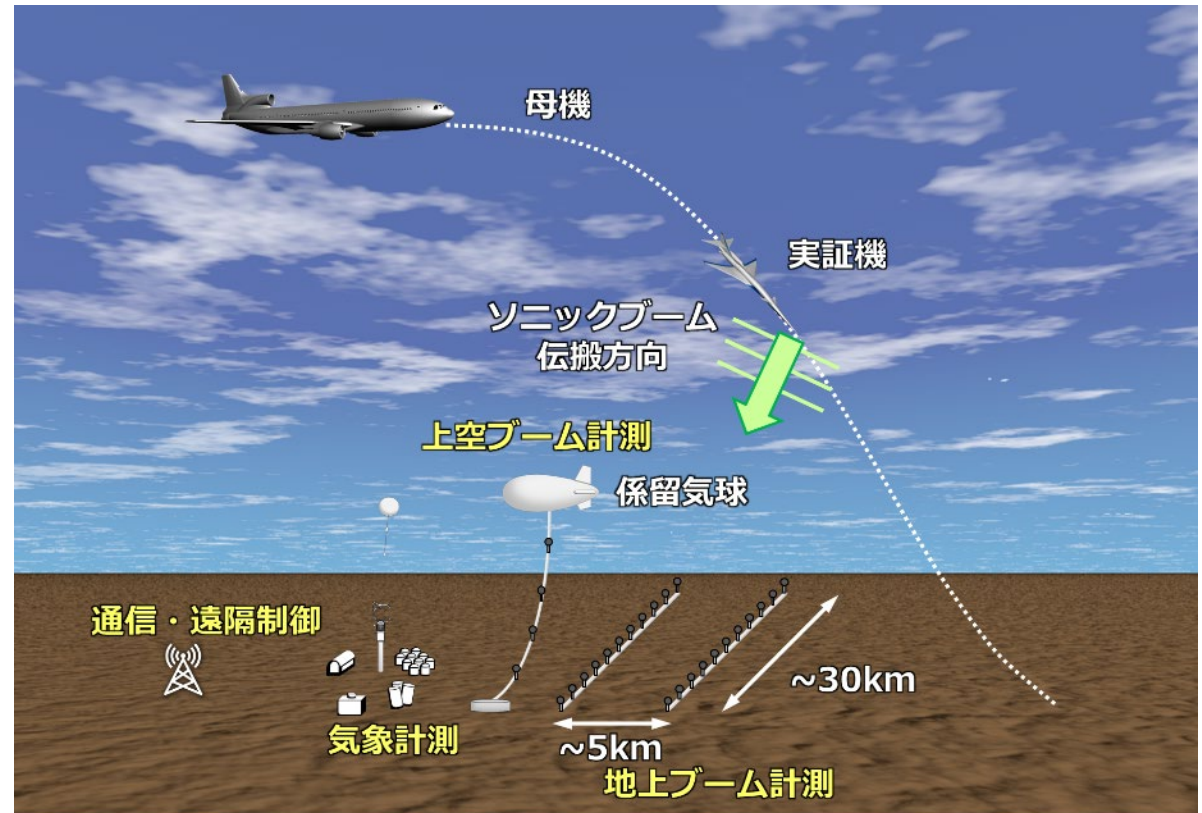
オフトラックロバスト低ブーム設計例

【技術実証構想の検討】

静粛超音速機統合設計技術の研究開発で得られた要素技術やシステム設計技術の成果の中で、低ブーム民間超音速機開発の前提となるソニックブーム基準策定に必須であり、かつ独自優位技術でもある全機ロバスト低ブーム設計技術を実証すべき技術として選定し、実証構想の検討を進めている。



全機ロバスト低ブーム設計効果



検討中の飛行実証イメージ図

4. JAXAの超音速機研究開発 今後の方向性

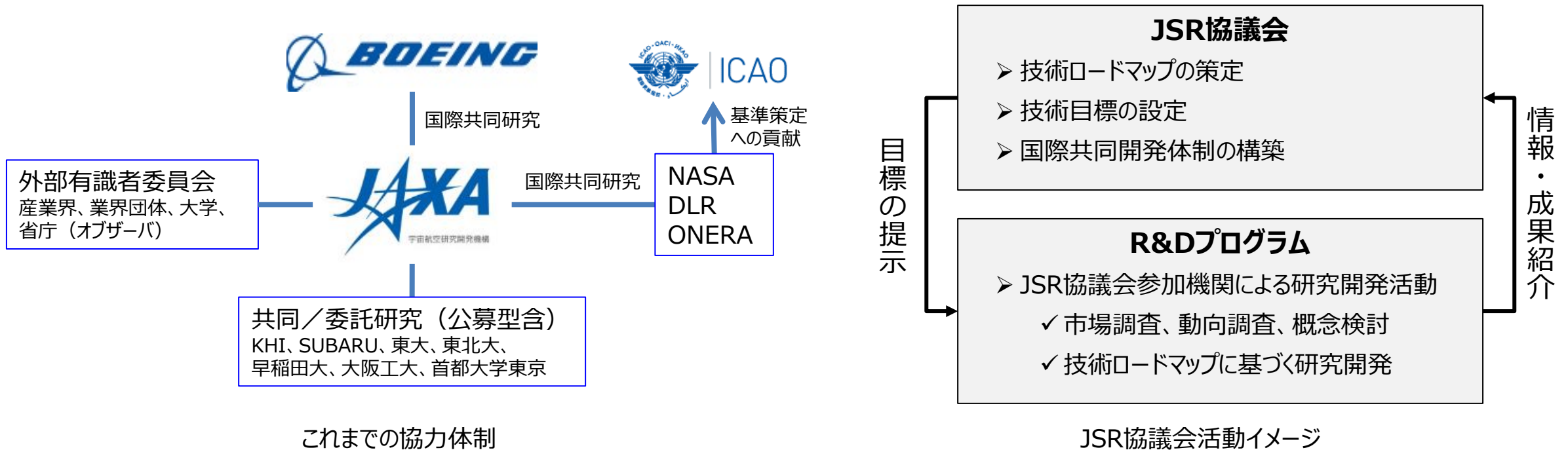
【静粛超音速機統合設計技術の研究開発における連携体制】

ボーイング社や国内メーカーとの共同研究を推進し研究開発を効率的に進めるとともに、NASA等海外公的研究機関との共同研究を推進し国際基準策定への貢献を効率的に進めた。本連携体制は引き続き継続する。

【ジャパン・スーパーソニック・リサーチ協議会（JSR協議会）】

2021年3月31日に、JAXAは国内航空機産業界（日本航空宇宙工業会、日本航空機開発協会、メーカ4社）とともに、我が国の超音速機技術の研究開発を連携して進めていくための官民一体の協議会を立ち上げた。

我が国の産業界が2030年頃に想定される超音速機の国際共同開発に参画することを目指し、技術ロードマップを策定し、国際共同開発に向けた協力体制を実現するための活動を協議する。



2016～2020年度にかけてJAXAが実施した静粛超音速機統合設計技術の研究開発成果と、今後の方向性について紹介しました。

- COVID-19の影響はあるものの、民間超音速機開発に向けた機運は続いており、海外ベンチャー企業による海上を超音速飛行する実機の開発が進められています。低ソニックブーム設計技術の進歩をベースとした、将来的な陸地上空超音速飛行に向けた国際基準策定の議論も進められています。
- この様な状況の中、JAXAが進めてきた静粛超音速機統合設計技術の研究開発において、低ブーム／低抵抗設計技術や離着陸騒音低減技術の高度化により、低ブーム超音速旅客機の技術成立性が示されました。
- 低ブーム民間超音速機実現のキー技術として、全機ロバスト低ブーム設計技術を実証すべき技術として選定し、飛行実証構想を検討しています。
- X-59に関連してNASAやボーイング社との国際共同研究を開始するとともに、国内ではJSR協議会を立ち上げ国内ステークホルダーとの協議を始めました。

JAXAは、引き続き国内外の関係機関と連携し、超音速旅客機の実現に向けた課題解決に取り組んでまいります。



ご清聴ありがとうございました。