

ロバスト低ブーム超音速機設計技術実証(Re-BooT)

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門
ロバスト低ブーム超音速機設計技術実証 (Re-BooT) プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ
牧野 好和

1. はじめに

- 1. 1 民間超音速機開発動向
- 1. 2 ソニックブーム基準策定動向
- 1. 3 海外の研究開発動向
- 1. 4 我が国の研究開発動向

2. Re-BooTプロジェクト概要

- 2. 1 プロジェクト計画
- 2. 2 ロバスト低ブーム設計技術の飛行実証
- 2. 3 実機適用評価（Low-boom STCA設計）

3. まとめ

1. 1 民間超音速機開発動向

米国ベンチャーによる実機開発計画

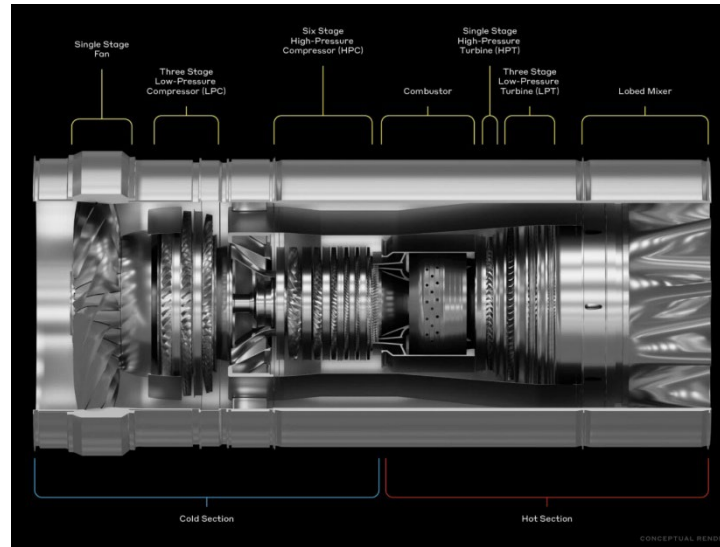
Boom社

- マッハ1.7で飛行する65~88席クラスの機体（Overture）の開発を進めている。
- 低ソニックboom設計は適用せず海上のみを超音速で飛行する想定機体。
- JAL, United, American Airlines等のエアラインが出資。2029年のEISを想定。
- エンジンについてはRRとの提携は解消したが、独自にエンジン（Symphony）を開発するとしている。
- サブスケール実証機XB-1が2024年に飛行試験を開始。2024年9月までに4回の飛行を実施。



Boom Overture

座席数	65-88席
巡航速度	Mach 1.7
陸上飛行速度	亜音速飛行
エンジン	Symphony 4基



超音速機用エンジンSymphony



実証機XB-1

1. 2 ソニックブーム基準策定動向

ICAOにおける超音速機騒音基準策定状況

①BOOM社等複数の超音速機の開発が進められている

- 2020年代終盤以降にEIS予定
- 新規開発超音速機の騒音基準はない
- Exosonicが新規参入。Aerionが撤退。

②ICAO CAEP WG1で基準策定の議論が加速している

1. 離着陸騒音
2. ソニックブーム
3. マッハカットオフ

- まだ存在していない民間超音速機の騒音レベルの予測・評価が必要

③JAXA, NASA等の研究機関による技術検討支援

- JAXAはJCABのアドバイザーとしてWG1及び関連会合に参加し、技術検討結果を提供している
- NASAは低ブーム飛行実証機（X-59）による社会許容性試験結果をCAEPに提供予定

ICAO CAEP WG1

Landing and Take-Off Subgroup (LTOSG)

- 離着陸騒音基準策定（SARP作成）の取り纏め

Supersonic Task Group (SSTG)

- ソニックブーム基準策定（SARP作成）の取り纏め

Metrics Subgroup (完了)

- メトリック（評価尺度）の検討
- 2015年に6つの候補メトリックを特定した。NASAの社会許容性試験結果等を踏まえて最終選定される予定。

Procedures Subgroup (PrSG)

- 認証手順の検討。現在は2つの手法が候補。

Supersonic Instrumentation Ad-Hoc Group (SSIAHG)

- 計測機器基準の検討

1. 2 ソニックブーム基準策定動向

ソニックブーム基準検討におけるJAXAの取り組み

- 各サブグループ等に参加し、技術検討結果・データベース等を提供し、技術検討をけん引。
- JAXAの貢献はWG1、SG、CAEPでWPおよびIPに記載。

候補メトリック

- Metrics Subgroup で6つの候補を選定*1
 - PL Perceived Level; Stevens Mark VII
 - ASEL A-weighted Sound Exposure Level
 - BSEL B-weighted Sound Exposure Level
 - DSEL D-weighted Sound Exposure Level
 - ESEL E-weighted Sound Exposure Level
 - ISBAP Indoor Sonic Boom Annoyance Predictor
- JAXAからはソニックブームシミュレータを用いた被験者試験結果を提供。
NASAの被験者試験結果と併せて候補メトリック選定に活用された。



JAXAソニックブームシミュレータ



NASA Interior Effects Room (IER)*2

*1 CAEP10_WG1_SSTG6_WP07, CAEP11_WG1_SSTG3_WP09

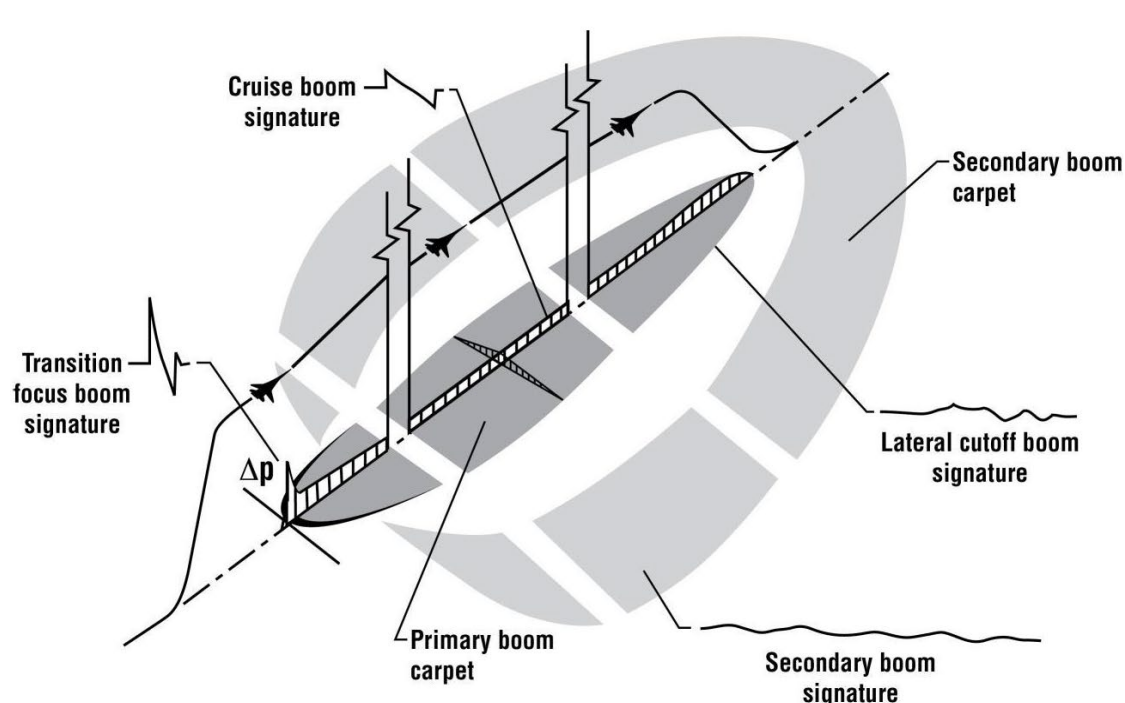
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017817/downloads/Loubeau_AIAAHamptonRoads_20210624.pdf

*2 <https://stab.larc.nasa.gov/facilities/interior-effects-room/>

1. 2 ソニックブーム基準策定動向

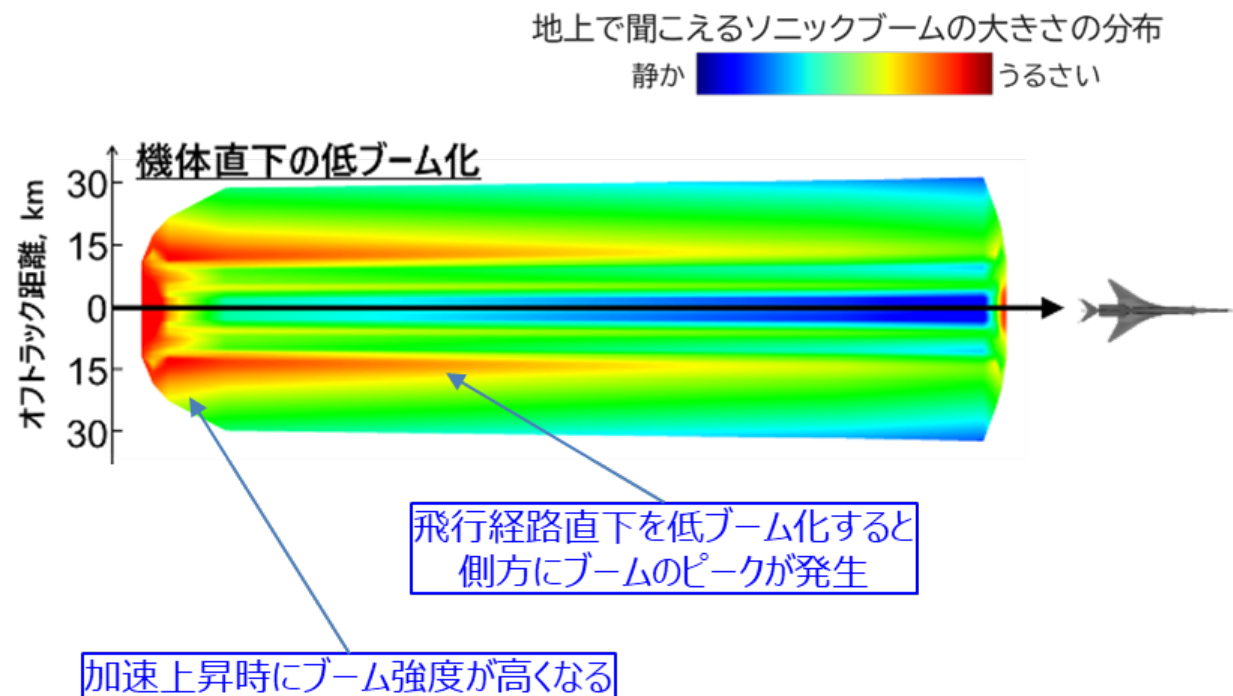
ソニックブーム基準検討におけるICAO CAEP WG1 PrSGの活動

- ソニックブーム認証手順検討において、ソニックブームの計測場所が議論されている。
- ソニックブーム騒音認証にはブームの最大値が観測される場所の設定が重要との認識から、巡航時に最大ブーム強度が観測される場所の特定や、加速上昇時のブーム強度、フォーカスブームの取扱いが課題となっている。
- 上記観点から、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である。



ソニックブームが観測される領域

Sonic Boom, Six Decades of Research, NASA/SP-2014-622, 2014



低ブーム機の地上ソニックブーム強度分布解析例

1. 3 海外の研究開発動向

NASA低ブーム実証機プロジェクト (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X-59の開発を進めている。

- 2024年1月にロールアウト。2025年に開発飛行試験。
- 2026年に音響検証飛行試験を実施予定。
- コミュニティ試験は2027年から開始予定。
- コミュニティ試験結果は2028年にICAOとFAAに提示予定。
- コミュニティ試験の情報を持って、ICAOとFAAは、陸地上空超音速飛行禁止ルールの改訂可否を判断可能。
 - ソニックブーム基準の提案は2031年を予定（CAEP/15）。



X-59ロールアウト



1. 3 海外の研究開発動向

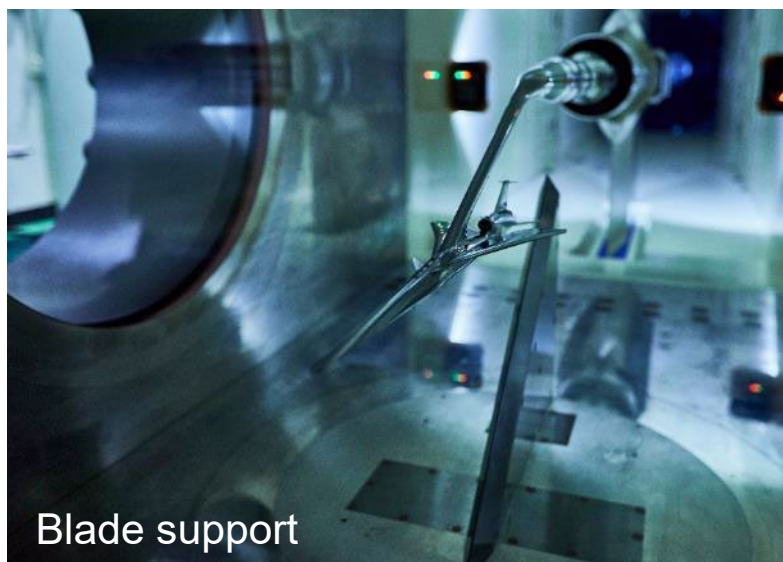
NASA/Boeing/JAXA X-59低ブーム設計検証共同研究

- 風洞試験やCFD解析によりNASA X-59の低ブーム設計を近傍場検証する共同研究（FY2021-2025）。
- NASAのX-59低ブーム検証風洞試験模型を用いてNASA風洞とJAXA風洞で近傍場圧力波形計測試験を実施。
- 得られた風洞試験データを検証データとしてCFD解析結果の比較検証ワークショップを開催（2022年12月）。
- 2025年4月にはJAXAにて追加検証風洞試験を実施する計画。
- X-59の飛行試験の進捗に応じて飛行試験データを活用した協力を展開する予定。

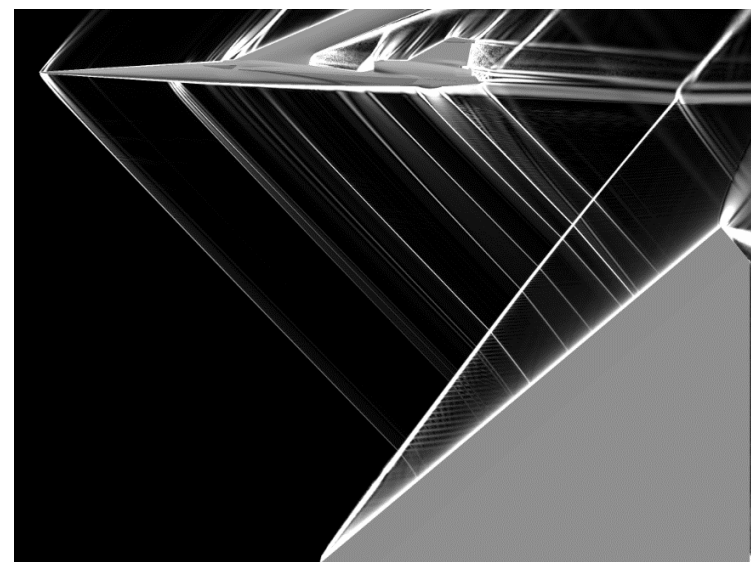


NASAグレン風試（2021年10月）

<https://www.nasa.gov/mission/quesst/>



JAXA風試（2022年3月）

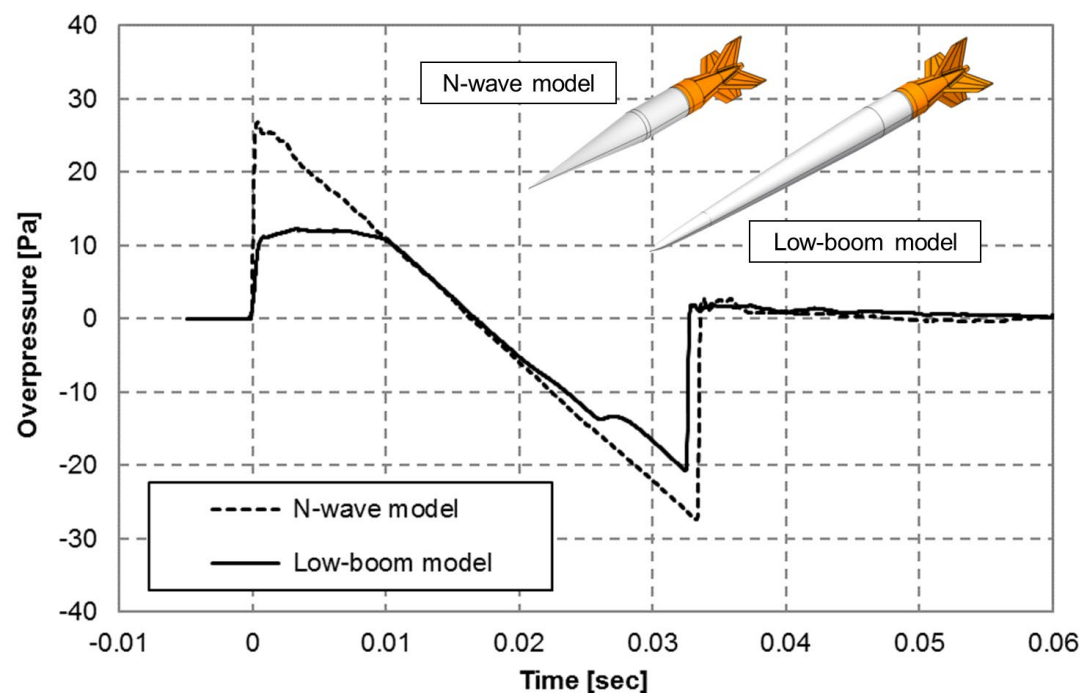


CFD解析

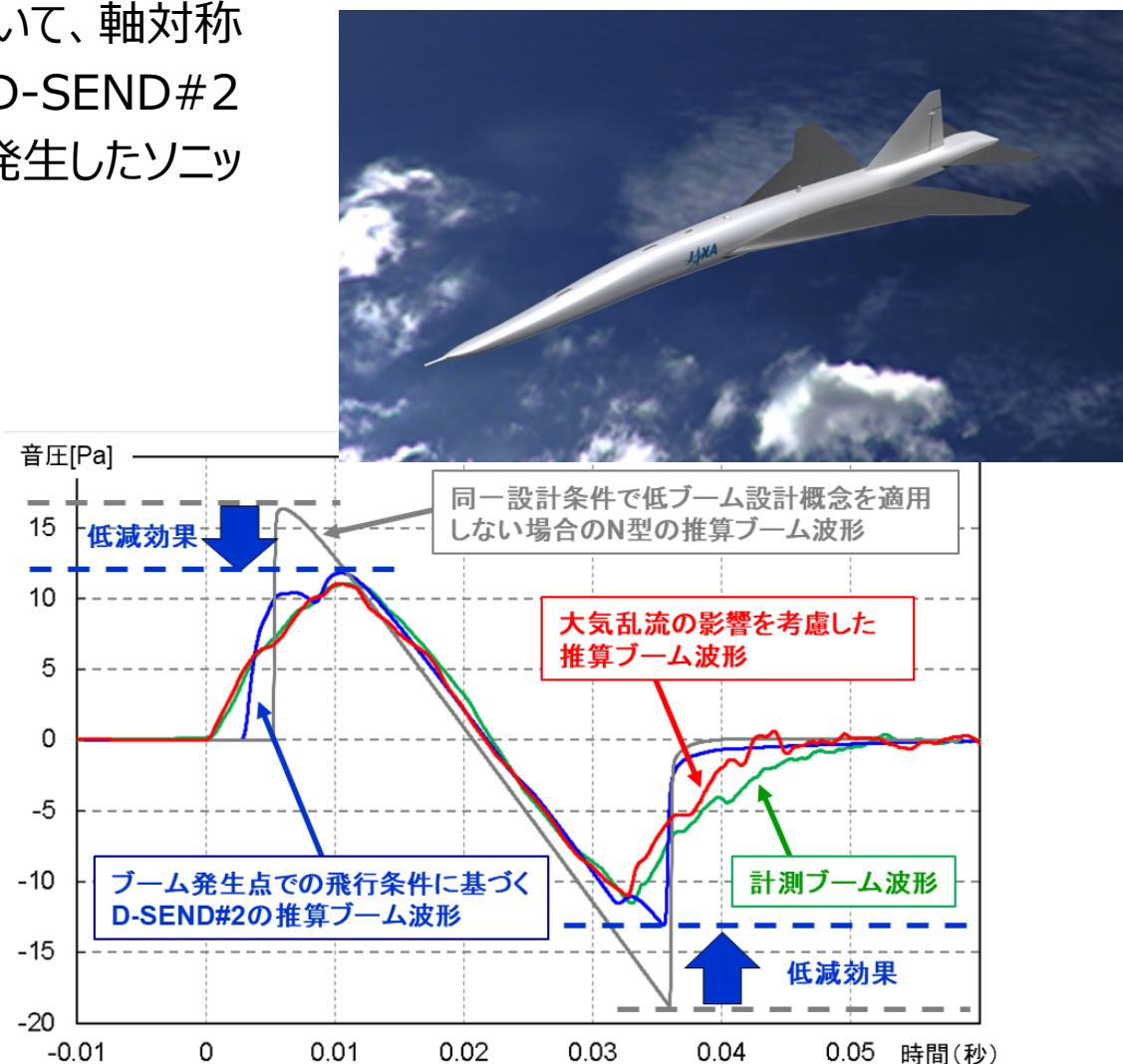
1. 4 我が国の研究開発動向

JAXA D-SENDプロジェクト

JAXAはFY2010～2015に実施したD-SENDプロジェクトにおいて、軸対称落下供試体D-SEND#1及び低ブーム設計コンセプト実証機D-SEND#2を、成層圏気球により高高度から落下させ、超音速飛行時に発生したソニックブームを計測して低ブームコンセプトの有効性を確認した。



D-SEND#1落下試験結果（2011年）



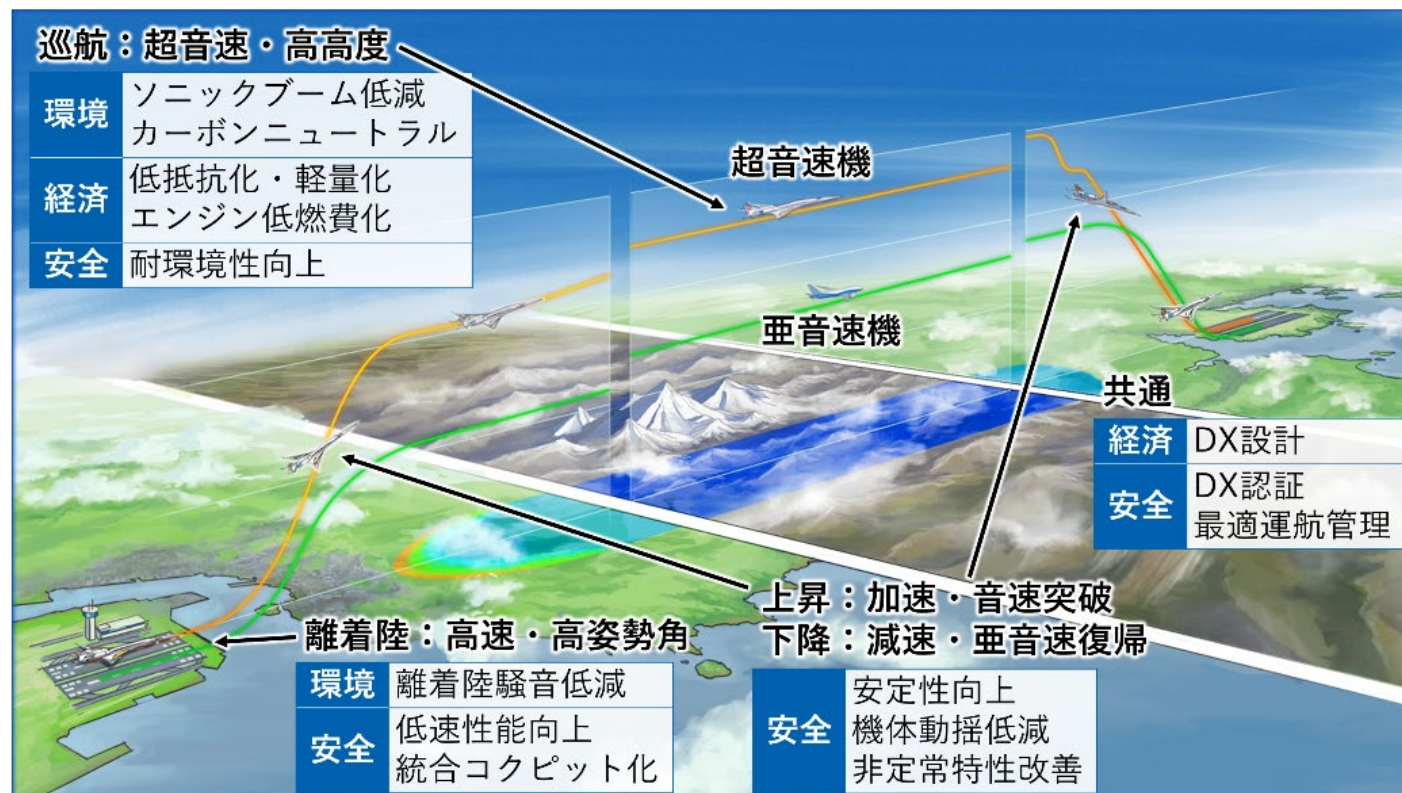
D-SEND#2飛行試験結果（2015年）

1. 4 我が国の研究開発動向

JSR (Japan Supersonic Research) 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、メーカー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。

我が国の産業界が将来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。



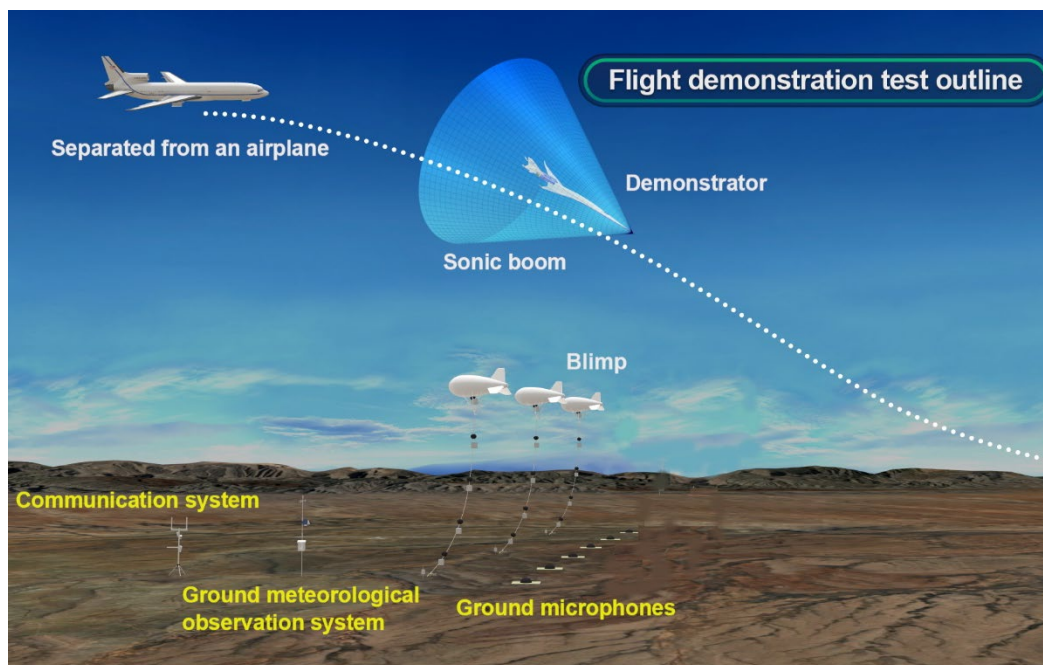
将来想定される低ブーム超音速機の運航イメージと技術課題

2. Re-BooTプロジェクト概要：プロジェクトスコープ

JAXAは2024年10月に研究開発プロジェクトとしてRe-BooTプロジェクトを立ち上げた。
Re-BooTプロジェクトはロバスト低ブーム設計の飛行実証と実機適用評価の2つのスコープからなる。

Re-BooTプロジェクト

WP1：飛行実証



WP2：実機適用評価

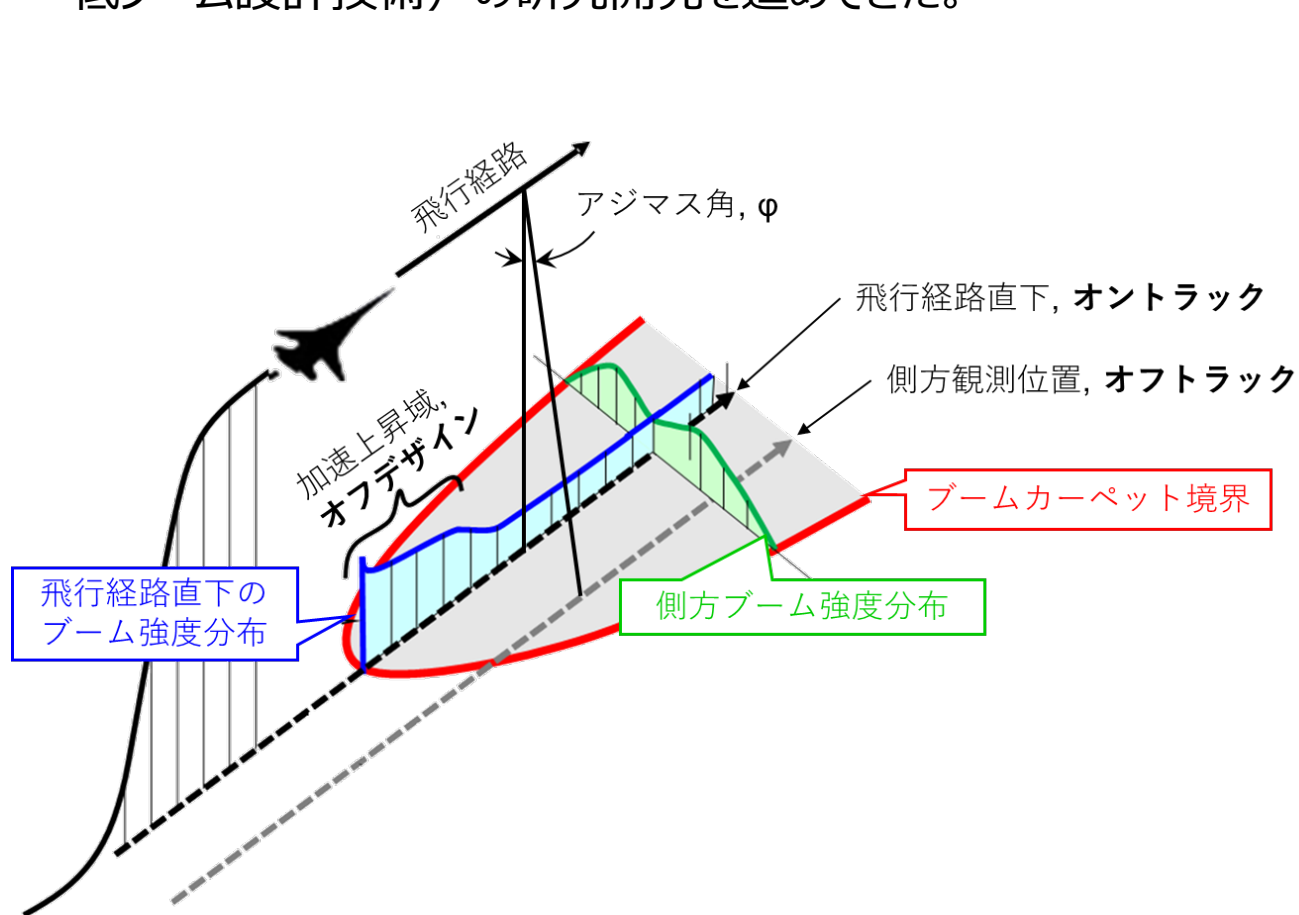


<https://secure.boeingimages.com/archive/Boeing-N-2-Experimental-Validation-Concept-2JRSXLJLRD06.html>

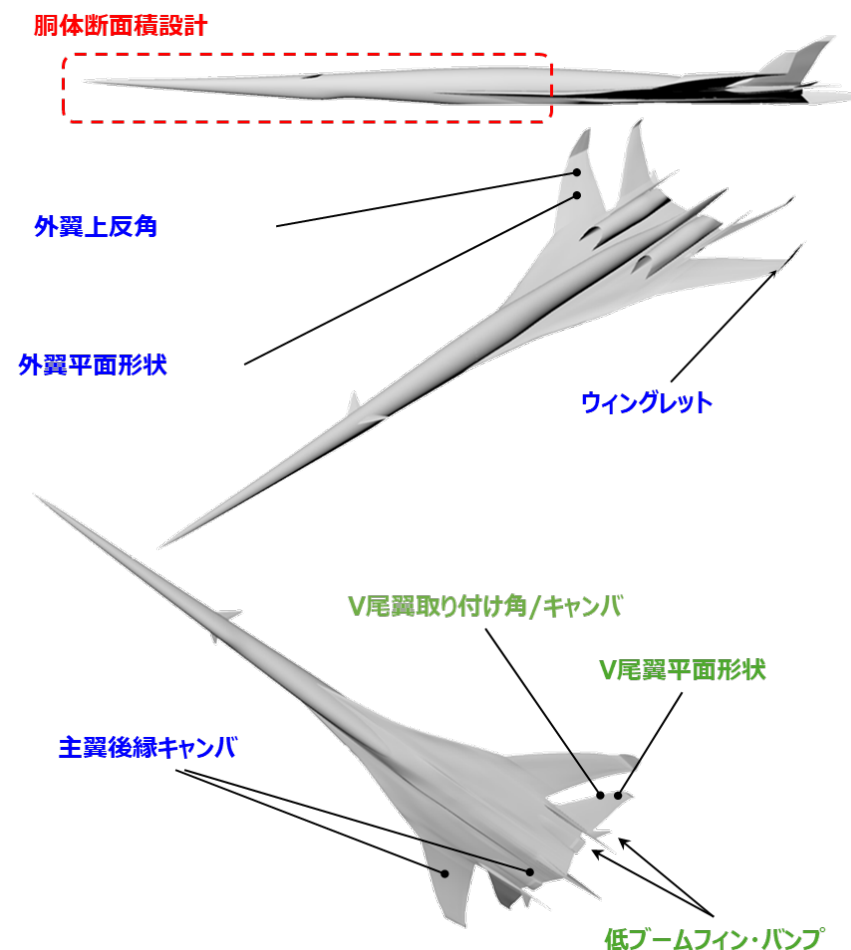
2. 1 プロジェクト計画：実証すべき技術

ロバスト低boom設計技術

JAXAは飛行経路直下のみならず、飛行経路側方に伝播するソニックboomも低減する設計技術（オフトラックロバスト低boom設計技術）、及び巡航時のみならず、加速上昇時のソニックboomも低減する設計技術（オフデザインロバスト低boom設計技術）の研究開発を進めてきた。



ソニックboomカーペットイメージ

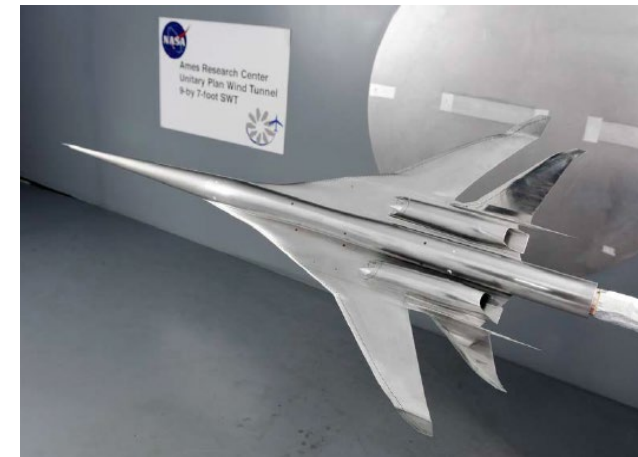
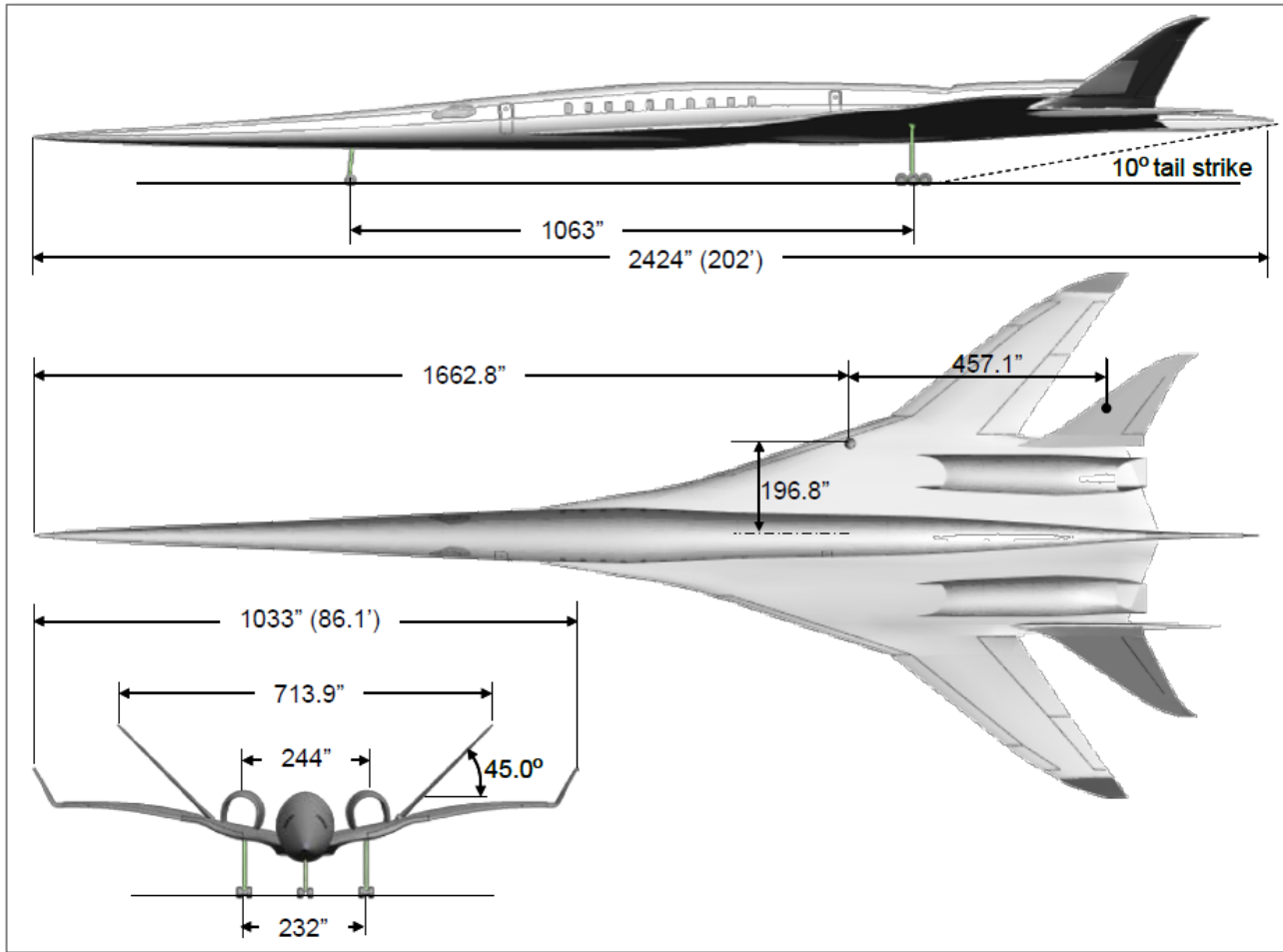


ロバスト低boom設計コンセプト

2. 1 プロジェクト計画：技術適用

ロバスト低ブーム設計技術（NASA/Boeing N+2コンセプト機への適用）

JAXAのロバスト低ブーム設計技術をNASA/BoeingのN+2コンセプト機へ適用した。

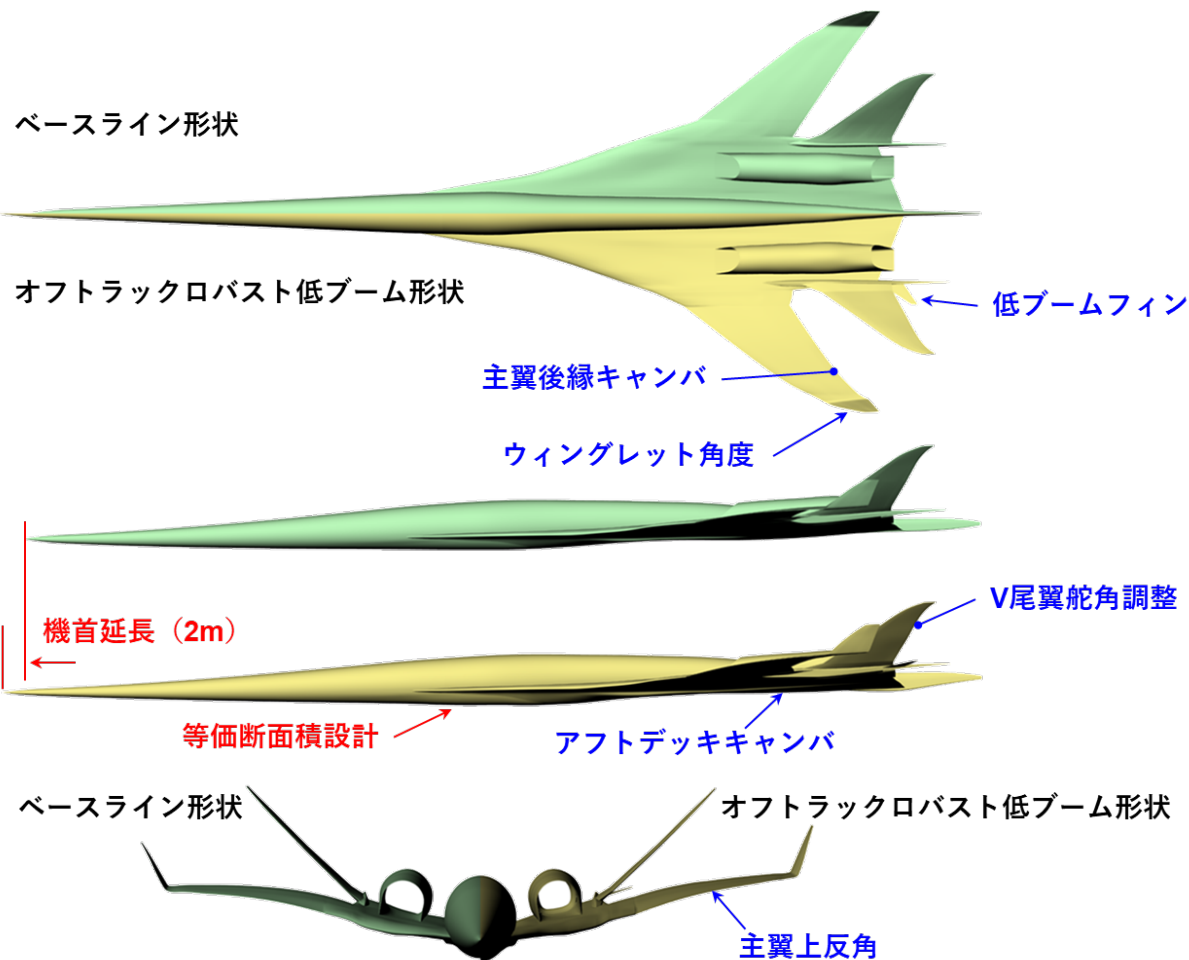


NASA/CR-2013-217797, System-Level Experimental Validations for Supersonic Commercial Transport Aircraft Entering Service in the 2018-2020 Time Period, Phase I Final Report

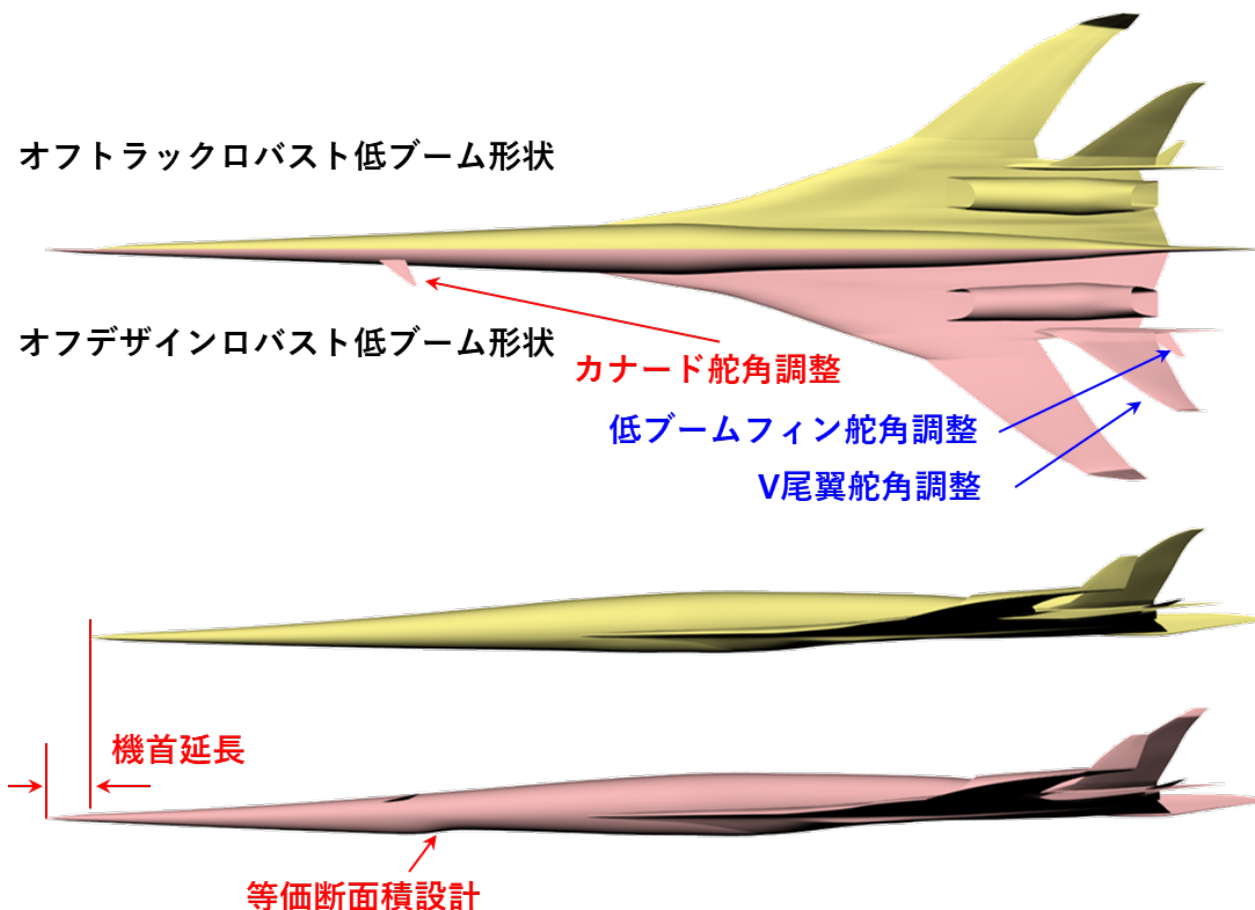
2. 1 プロジェクト計画：技術適用

オフトラックロバスト低Boom設計：アフデッキや主翼後縁のキャンバ設計によりスパン方向の揚力分布を最適化するとともにウィングレットによる膨張波遮蔽効果を活用したオフトラックロバスト低Boom設計を適用した。

オフデザインロバスト低Boom設計：V尾翼や低Boomフィンの舵角を後端波形が低Boomとなるように調整し、全機の縦トリムはカナードで調整する。（カナードが発生する衝撃波は胴体等価断面積設計により抑制する。）



オフトラックロバスト低Boom設計

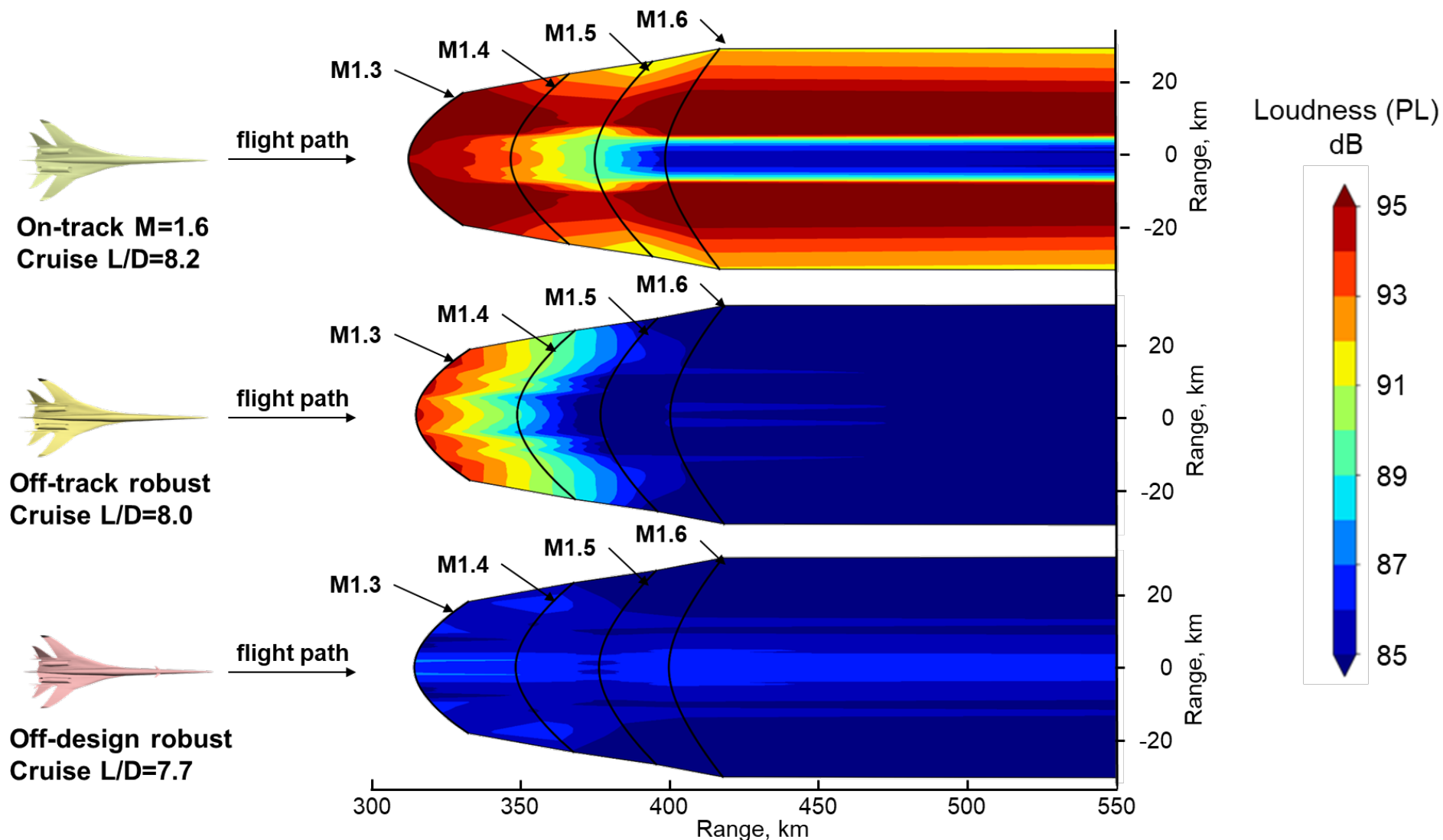


オフデザインロバスト低Boom設計

2. 1 プロジェクト計画：技術適用

ロバスト低ブーム設計技術（NASA/Boeing N+2コンセプト機への適用）

オフトラックロバスト低ブーム設計により巡航時の全域低ブーム化を実現し、オフデザインロバスト低ブーム設計により加速上昇フェーズを含む全域低ブーム化を実現した。



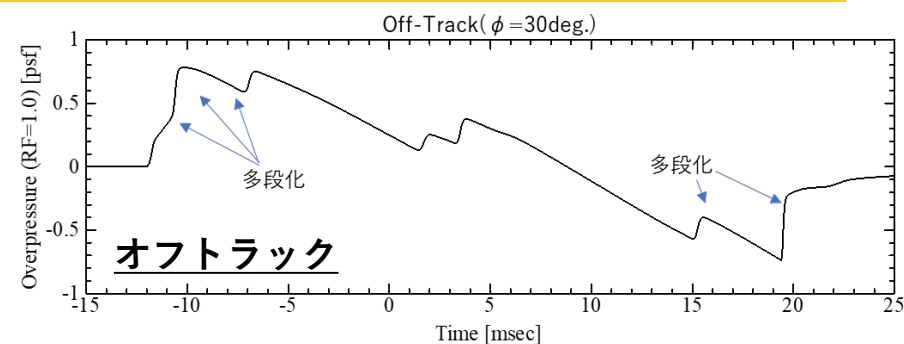
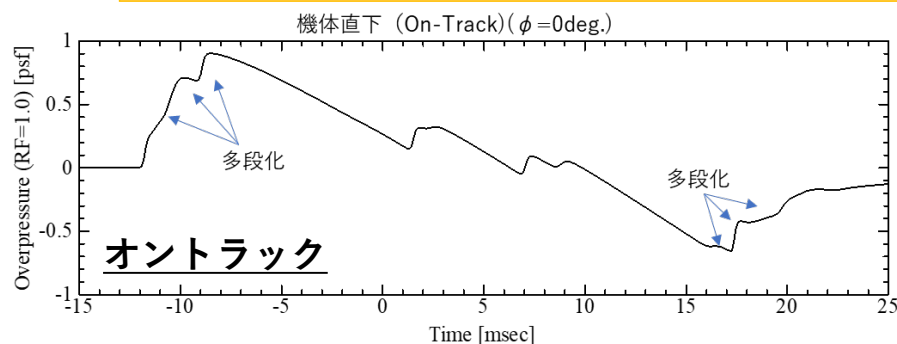
2. 2 ロバスト低ブーム設計技術の飛行実証

ロバスト低ブーム設計技術飛行実証機設計

オフデザインロバスト低ブーム設計形状をベースに、想定実機を16%スケール化した無人飛行実証機設計を行い、Re-BooT実証機を設計した。



オントラック／オフトラック位置で、先端・後端ともに多段化した低ブーム波形であることを確認。



ソニックブーム波形 (M=1.25)

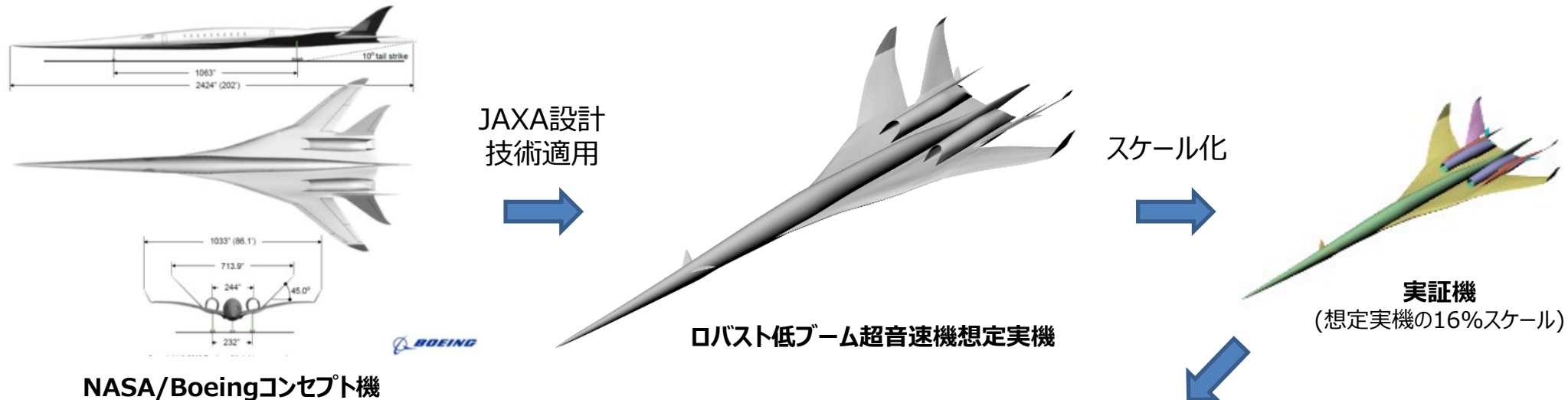
飛行試験はスウェーデンEsrang試験場で実施することを想定し、実証機は母機に懸吊され上空に持ち上げられ、分離後落下加速することにより超音速飛行を行う。発生するソニックブームを地上に設置したマイクロフォンで計測し、ロバスト低ブーム設計効果を確認する計画である。



2. 3 実機適用評価 (Low-boom STCA設計)

Low-boom STCA設計の概要

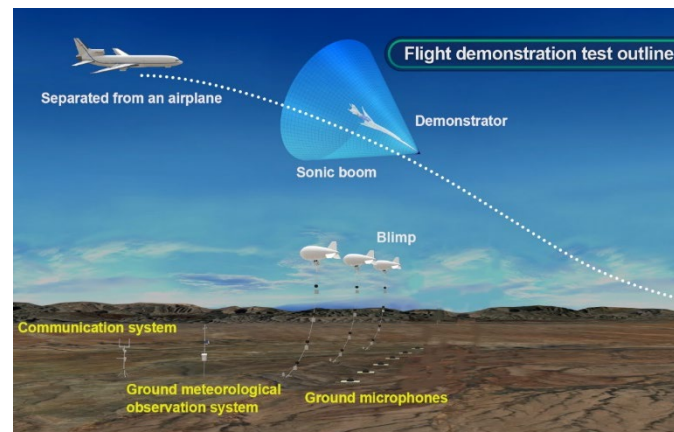
BoeingがNASAのN+2検討で設計したコンセプト機にJAXAのロバスト低ブーム設計技術を適用した想定実機をLow-boom STCA (Supersonic Technology Concept Aeroplanes) としてICAOに提示する。



NASA/Boeingコンセプト機

ロバスト低ブーム超音速機想定実機

実証機
(想定実機の16%スケール)



ロバスト低ブーム設計技術の飛行実証

飛行実証
成果反映



実機適用評価した結果を
Low-boom STCAとしてICAOに提示

2. 3 実機適用評価 (Low-boom STCA設計)

Boeing/JAXA民間超音速機に係る共同研究

- 将来民間超音速機の鍵技術研究開発を双方の技術を適用して高度化する共同研究。
- 超音速機の巡航性能評価や離着陸性能評価、ソニックブーム特性評価のための風洞試験技術やCFD解析技術に係る協力を進めている。
- Re-Bootプロジェクトでは、ソニックブーム国際基準策定に貢献するためICAOに提示するLow-boom STCA設計を共同で進めるとともに、風洞試験やCFD解析により設計検証を進める計画としている。



NASA/Boeing N+2ブーム評価モデルを用いた
JAXA超音速風洞試験



NASA/Boeing N+2性能評価モデルを用いた
JAXA遷音速風洞試験

2. 3 実機適用評価 (Low-boom STCA設計)

ICAO基準策定への貢献

2023年12月に開催されたBoeing/JAXAハイレベル会合において、FY2024からFY2027にかけて、ICAO基準策定に貢献するためにICAOに提示する技術参照機体（Low-boom STCA）の設計を共同で実施することを軸とする共同研究の実施に合意した。

ICAO CAEP WG1の会合において、Boeing/JAXA連名のペーパーを提出し、共同でLow-boom STCAを提供する計画について情報をインプットしている。



CAEP13_WG1_5_IP/13

ICAO CAEP13 WG1_5 meeting@Boston
May 8-12, 2023

Introduction of Boeing/JAXA Collaborative Research
on Commercial Supersonics

Yoshikazu Makino
Supersonic RFP, JAXA

Ashley Jones
Boeing Commercial Airplane

Todd Magee
Boeing Research & Technology

Copyright © 2023 JAXA / Boeing.

1

Low-boom Design of N+2 Airliner Concept

A robust, feasible low-boom design with adequate performance for the JAXA flight demonstrator is studied, starting with the N+2 low-boom airliner concept considering supersonic cruise and intermediate supersonic points.
The N+2 based low-boom airliner concept might be beneficial for considering procedure of sonic-boom standard. (It might work as a “low-boom STCA”.)

Cruise(M=1.6), on/off-track robust

Intermediate(M=1.3~1.6), on/off-track robust

Model airplane

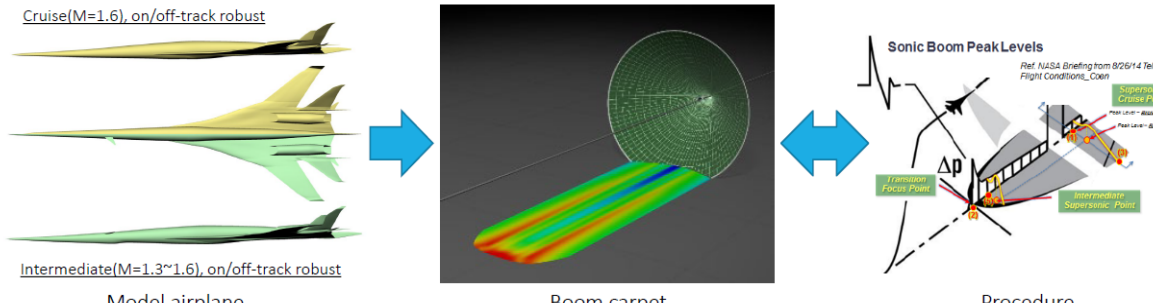


Diagram illustrating the Low-boom Design of N+2 Airliner Concept. It shows a model airplane (N+2 configuration) transitioning into a boom carpet (boom carpet) and then into a procedure diagram (Sonic Boom Peak Levels).

Boom carpet

Procedure

Copyright © 2023 JAXA / Boeing.

5

JAXAでプロジェクト化したロバスト低ブーム超音速機設計技術実証（略称“Re-BooT”）の概要を紹介しました。

□ Re-BooTプロジェクトは、将来低ブーム超音速機実現の鍵となるソニックブーム低減技術に関し、JAXAが2015年に飛行実証したD-SEND#2の技術に対して、更に広い領域での低ブーム化を可能とするロバスト低ブーム設計技術の飛行実証、およびその技術を適用した想定実機の設計評価を行うプロジェクトです。

□ なお、Re-BooTプロジェクトにおけるロバスト低ブーム設計技術の飛行実証は、内閣府主導で創設された「経済安全保障重要技術育成プログラム」（通称：K Program）において、科学技術振興機構（JST）が公募した研究開発構想「超音速・極超音速輸送機システムの高度化に係る要素技術開発」に採択された研究開発の一部として実施するものです。

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。