

静粛超音速研究機の研究開発の概要

村上 哲（宇宙航空研究開発機構）

Silent Supersonic Technology Demonstration Program
Akira Murakami (JAXA)

Key Words : Shock wave, Sonic Boom, Supersonic Flow, Flight Demonstration

Abstract

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) started the “Silent Supersonic Technology Demonstration Program” in 2006. In this program, JAXA is now pursuing R&D on supersonic technologies to improve not only economical efficiency but also environmental compatibility, and also planning the new flight demonstration project to validate the design tool and to demonstrate the low sonic boom technology. This paper describes the overview of this program and the current status of the R&D including the flight demonstrator design.

1. はじめに

超音速航空輸送は長距離航空輸送の飛躍的な時間短縮による利便性、快適性の向上、さらに高い経済拡大効果が見込まれ、社会に飛躍的な変革をもたらし得る航空輸送手段として期待されている。特に、我が国はその地理的特性から超音速航空輸送による時間短縮効果の最大恩恵国のひとつである。しかし、超音速航空輸送の実現にはソニックブームや騒音の低減等、解決しなければならない技術課題が多く、欧米においても長期的な視点にたつて飛行実験を含む基礎研究・要素技術研究を推進している段階にある。

このような背景を踏まえて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）は次世代超音速旅客機の実現の最重要課題のひとつであるソニックブームの低減等、超音速機の静粛性を飛行実証課題とする「静粛超音速研究機構想」をとりまとめ、これを中核とする研究開発計画を2006年度より進めている。本稿はその概要について紹介する。

2. 研究開発計画の概要

2.1 目的

将来航空輸送のブレークスルーとしての超音速旅客機の実現を目指して「静かな超音速旅客機」の実現に必要な鍵技術を獲得し、航空機開発の先導役として、航空機製造産業の発展と将来航空輸送のブレークスルーに貢献することを目的としている。

2.2 目標

次世代超音速旅客機の実現に必要な重要技術課題を克服する技術を獲得することの一環として、2010年代中頃の本研究開発終了時に、小型超音速旅客機

の実現を可能とする表1に示す技術目標を達成することを目標としている。

表1 技術目標

技術課題	技術目標
ソニックブーム低減	ソニックブーム強度の半減 (比較対象:コンコルド技術)
離着陸騒音低減	ICAO Chap.4適合
低抵抗化	揚抗比8.0以上
軽量化	構造重量 15% 減 (比較対象:コンコルド技術)



乗客数 :36-50人(全席ビジネスクラス)
巡航速度 :マッハ1.6
航続距離 :3,500nm以上
ソニックブーム :従来設計に比べて強度半減
空港騒音 :ICAO基準(Chap.4)に適合

図1 技術参照機体概念：小型超音速旅客機

これらの技術目標を端的に言えば、30～50人乗りの小型超音速旅客機（離陸重量70トン程度）規模において現在は禁止されている陸上超音速飛行が可能なレベルまでソニックブーム強度を下げるとともに、

乗客1人当たりの燃料消費をコンコルドに比べて約50%改善することに相当する。また、離着陸時の騒音については現行の亜音速旅客機と同程度以下にすることが目標となっている。なお、ここでいう小型超音速旅客機は技術目標の達成レベルを実機レベルで示す観点からの技術参照機体である。そのイメージを図1に示す。

2.3 研究開発の内容

表1に示した技術目標を達成するため、本研究開発は静粛超音速研究機の開発・飛行実験と技術研究を併行して行うこととしている。

(1) 静粛超音速研究機飛行実験システムの開発と飛行実験

多目的最適設計技術等のコンピュータ設計技術を全機形状設計に適用して、低ソニックブームコンセプトの超音速ジェット機を設計・開発し、その飛行実験によりこれら機体コンセプトの実証（ソニックブーム強度半減する設計技術の実証）を行うとともに、システム統合技術の実証（離着陸～超音速飛行を自律飛行する無人機技術の実証）を行う。また複合材構造の同研究機への適用を図り、これらに関する

飛行実験データ取得を試みる。図2に現段階のベースラインとしている研究機概念を示す。ベースライン仕様については後述する。



図2 静粛超音速研究機概念

(2) 技術研究

技術研究では長期的な視点に立ち、超音速旅客機実現に不可欠な重要技術であって、我が国が得意とする技術に重点化した超音速機の要素技術研究を実施するとともに、先進的な機体概念に関する研究実施する。本研究開発で取り組むこととしている技術を図3に示す。

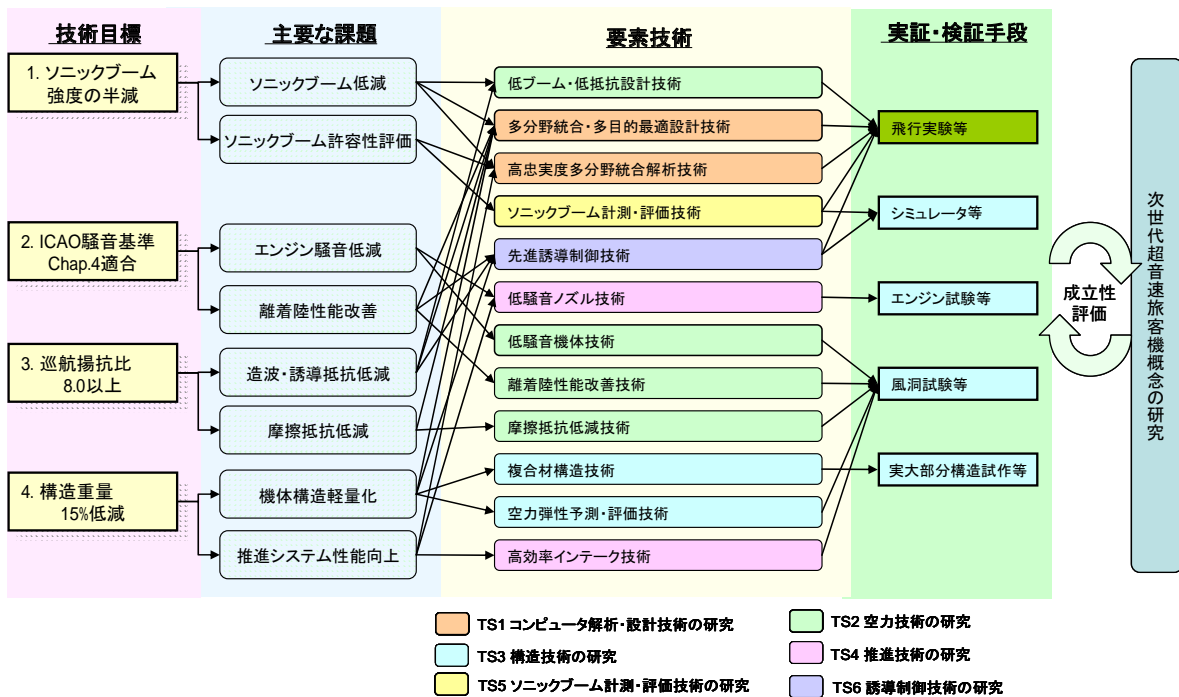


図3 技術目標と取り組む技術

2.4 スケジュール

現段階における暫定的な研究開発スケジュールを図4に示す。2010年代中頃までの静粛超音速研究機による飛行実証を目指して2008年度より要素技術開発研究を中心とした本格的な研究開発に着手する予定としている。ただし、研究機の開発・飛行実験に

については2009年度までを第1フェーズとして、それまでの要素技術開発研究及び研究機の設計検討の成果等を踏まえて、JAXA外部の事前評価や関係諸機関との調整等を経て2010年度から研究機の開発・飛行実験の第2フェーズに移行する段階的な研究開発計画としている。

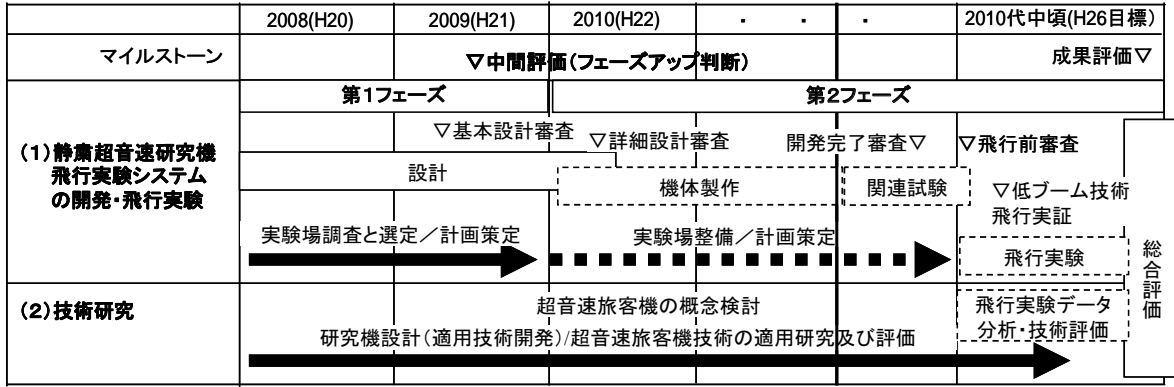


図4 研究開発スケジュール

3. 静粛超音速研究機の概要

3.1 ベースライン仕様

研究機は、低ソニックブーム設計効果の地上計測による検証及び費用対効果等の観点から、マッハ1.4以上で1分以上の巡航が可能な機体重量3トン以上の無人単発ジェット機としている。現在、基本設計の着手した段階であるが、そのベースライン形状及び主要諸元をそれぞれ図5及び表2に示す。

表2 主要諸元

全長	13.3m
全幅	7.2m
翼面積	21m ²
全備質量	4,000kg
ゼロ燃料質量	2975kg
飛行速度	M1.4@h≧11km以上
必要滑走路長	2,000m以下

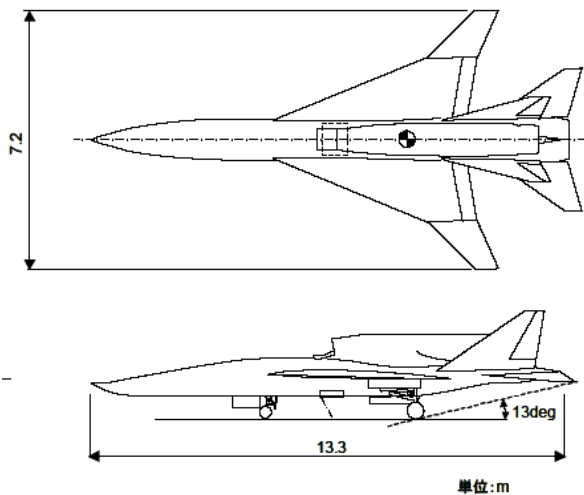


図5 ベースライン形状

3.2 多目的最適設計手法による形状設計

研究機の形状設計においては、機器・降着装置等の装備性や離着陸距離等による制限を踏まえた上で、

ソニックブーム低減、抵抗低減、トリム特性、重量等を目的関数としてJAXAで開発したLow Fidelity多目的最適設計ツール及び空力・構造連成の2分野統合多目的最適設計手法等を用いて行っている。図6にベースライン形状における地上ソニックブーム波形の予測結果を示す。

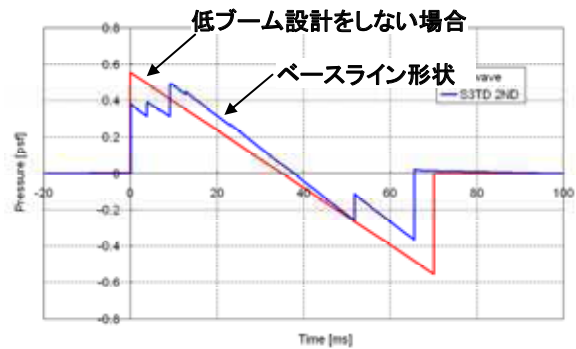


図6 地上ソニックブーム予測波形 (M1.6 H=14km水平飛行時)

4. 技術研究

図3に示すように、コンピュータ解析・設計技術、空力技術、構造技術、推進技術、ソニックブーム計測・評価技術及び誘導制御技術の各要素技術の研究を行っている。コンピュータ解析・設計技術では、機体・推進統合解析技術(図7)など高忠実度解析技術、空力・構造統合多目的最適設計技術などの最適設計技術の高度化研究のほか、形状定義から最適形状探索までをシームレスに行うMulti-Fidelityの設計システムの構築を目指したプロセス自動化の研究を進めている。空力技術では先進的な設計コンセプト創出を目指した低ソニックブーム・低抵抗設計技術(図8)を始め、騒音予測技術の高度化を含む低騒音機体技術、高揚力装置最適化を中心とした離着陸性能改善技術及び自然層流化を中心とした摩擦抵抗低減技術の研究に取り組んでいる。構造技術では、低コスト高精度複合材構造製造技術(図9)と空力弾性予測・評価技術、推進技術では低騒音ノ

ズル技術（図10）と低騒音化も含む高効率インテーク技術の研究を行っている。ソニックブーム計測・評価技術では屋内ブームも含めて、ソニックブーム再生技術や伝播解析手法を含むソニックブームモデリング、及びブームシミュレータ（図11）による許容性評価などを実施する。誘導制御技術ではダイナミックインバージョン・ニューラルネット等の先進的飛行制御技術に関する研究を進めている。

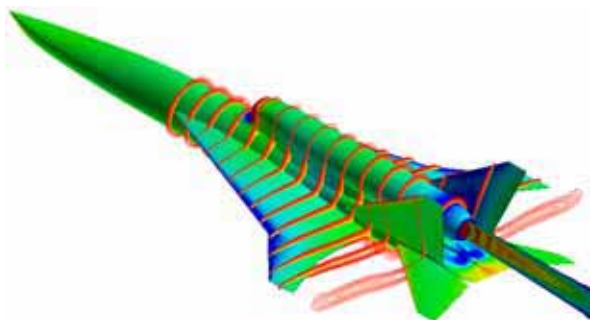


図7 エンジン作動による吸排気影響を含む機体・推進系統合CFD解析



図8 双スティング支持による後端低ブーム設計検証風試



図9 複合材構造研究機試作主翼の強度試験



図10 低騒音ノズルのエンジン試験



図11 JAXAソニックブームシミュレータ

5. まとめ

JAXAにおいて現在進めている静粛超音速研究機構想を中核とする研究開発計画の概要について紹介した。静粛超音速研究機については2010年度からの本格的な開発着手に向けて基本設計検討に着手した段階である。この設計検討においては富士重工業株式会社と協力して進めることとしている。一方、技術研究において取り組む課題は広範囲かつ先進的であることから、産業界や大学等関係機関との共同研究を進めているが、今後、さらに共同研究を拡大していく予定である。なお、本稿は2008年6月の第40回流体力学講演会2008にて発表した内容と同一であることを付記する。

参考文献

- 1)宇宙航空研究開発機構、「JAXA長期ビジョン - JAXA 2025 -」, 2005年
- 2)文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会、「静粛超音速機技術の研究開発の推進について」, 2007年
- 3)村上哲,「静粛超音速研究機構想について」, ながれ25(2006), pp.329-336, 2006年
- 4)村上哲,「JAXAにおける超音速旅客機技術の研究計画 - 静粛超音速機技術の研究開発 -」, 日本航空宇宙学会誌Vol.56, No.684, pp.4-7, 2008年



静粛超音速研究機の研究開発の概要



宇宙航空研究開発機構
航空プログラムグループ
村上 哲

Page 1



内容



- 背景
- 研究開発計画
 - 研究開発目標, スケジュール等
- 研究開発状況
 - 静粛超音速研究機
 - 技術研究
- おわりに

Page 2



背景(1/2)



○超音速航空輸送の潜在的ニーズは高い

- ・運賃が現行の1.3倍までならば5割以上の人が超音速機を利用
- ・小型SST(36席)で800~1200機、大型SST(250席)で900機~1300機の需要予測(2025年)
- ・大型SST就航で約80兆円、世界GDP比で約1.3%の経済拡大効果の試算(2025年)

※三菱総合研究所調査研究による

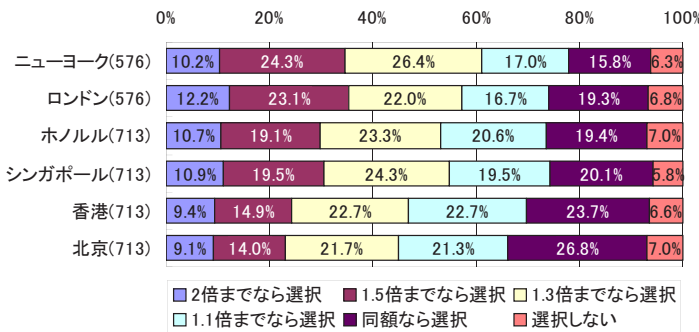
○超音速旅客機実現には、解決しなければ課題が多い

- ・経済性の向上: 低抵抗化、軽量化、エンジン低燃費化
- ・環境適合性の向上: ソニックブーム低減(陸上超音速飛行)、騒音低減、排ガス低減

○超音速旅客機技術は航空技術としてのフロンティアである

- ・先進的な航空技術の研究開発による技術波及効果(国際競争力強化)

利用者ニーズのインターネット調査の結果
(プレサーベイ:17,883人(回答数)/本調査:1,042人(回答数))



経済拡大効果試算の結果
(2025年 有望潜在需要の運賃比1.3倍のケース)

シナリオ	経済拡大効果(百万ドル) 下段()は世界GDP比
シナリオ1 小型SSTのみ就航	約127,323 (0.21%)
シナリオ2 大型SSTのみ就航	約781,606 (1.27%)
シナリオ3 小型SST就航後に 大型SST就航	約918,762 (1.50%)

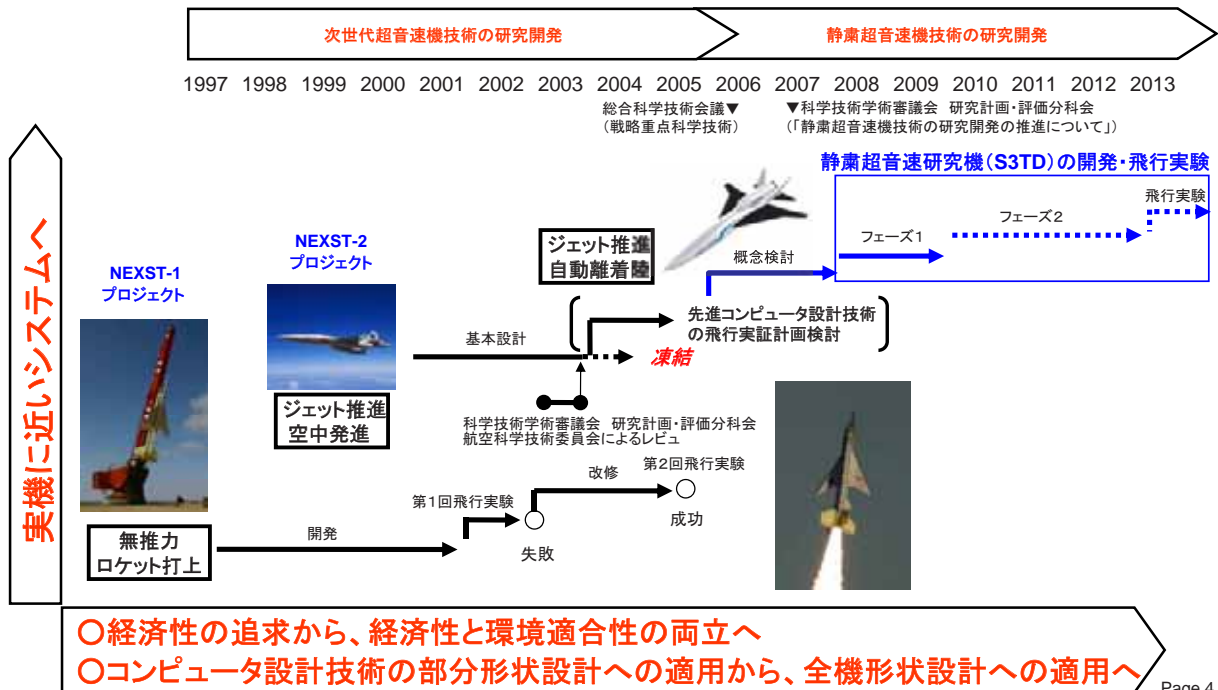
Page 3



背景(2/2)



JAXAにおける超音速機技術の研究開発



Page 4



研究開発計画(1/5)



研究開発目標

多目的最適設計技術等のコンピュータ設計・解析技術を活用して設計された低ソニックブーム機体形状の無人超音速ジェット機を開発し、その飛行実験により適用した低ソニックブーム設計技術の実証を行うとともに、並行して技術研究を行い、

「次世代超音速旅客機の実現に必要な重要技術課題を克服する技術を獲得することの一環として、本研究開発終了時に、小型超音速旅客機*1の実現を可能とする技術目標を達成する」

ことを研究開発目標とする。

*1 小型超音速旅客機：技術目標の達成レベルを実機レベルで示す観点からの技術参照機体として定義

技術参照機体概念「小型超音速旅客機」



乗客数 : 36-50人(全席ビジネスクラス)
 巡航速度 : マッハ1.6
 離陸重量 : 3,500nm以上
 ソニックブーム : 従来設計に比べて強度半減
 空港騒音 : ICAO*2基準(Chap.4)に適合

*2 ICAO: International Civil Aviation Organization (国際民間航空機関)

技術目標

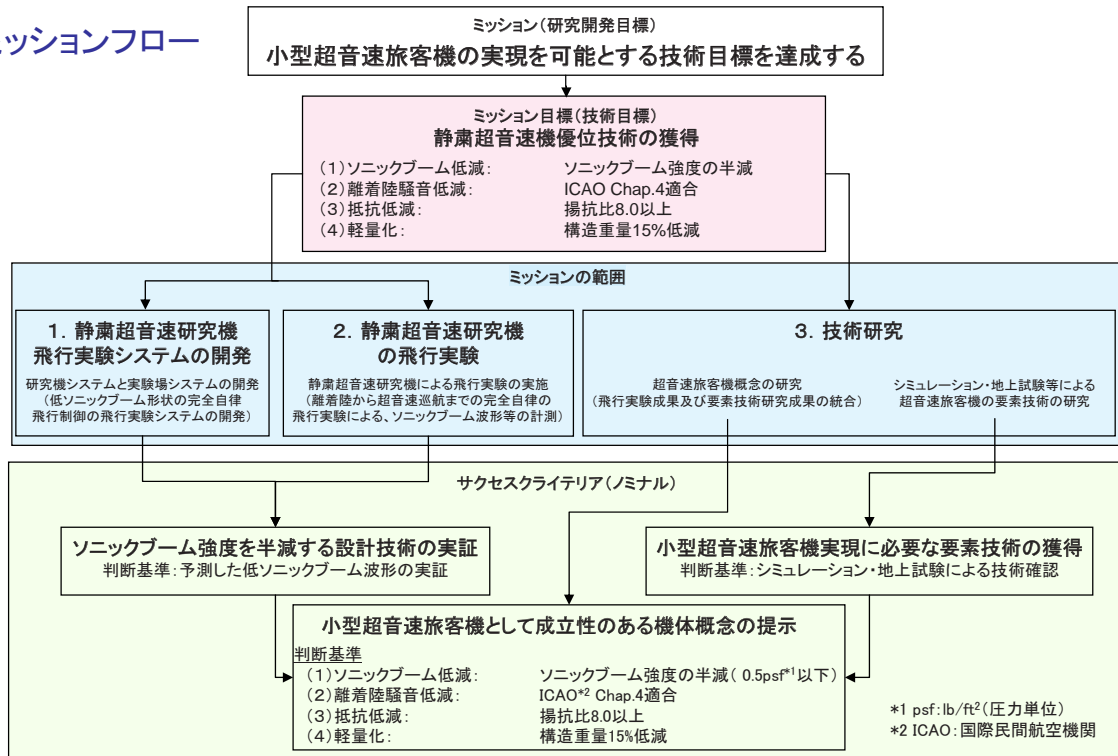
課題	技術目標
ソニックブーム低減 【最優先課題：飛行実証】	ソニックブーム強度の半減 (比較対象：コンコルド技術)
離着陸騒音低減	ICAO*2基準 Chap.4に適合
低抵抗化	揚抗比 8.0以上
軽量化	構造重量 15%減 (比較対象：コンコルド技術)



研究開発計画(2/5)



ミッションフロー



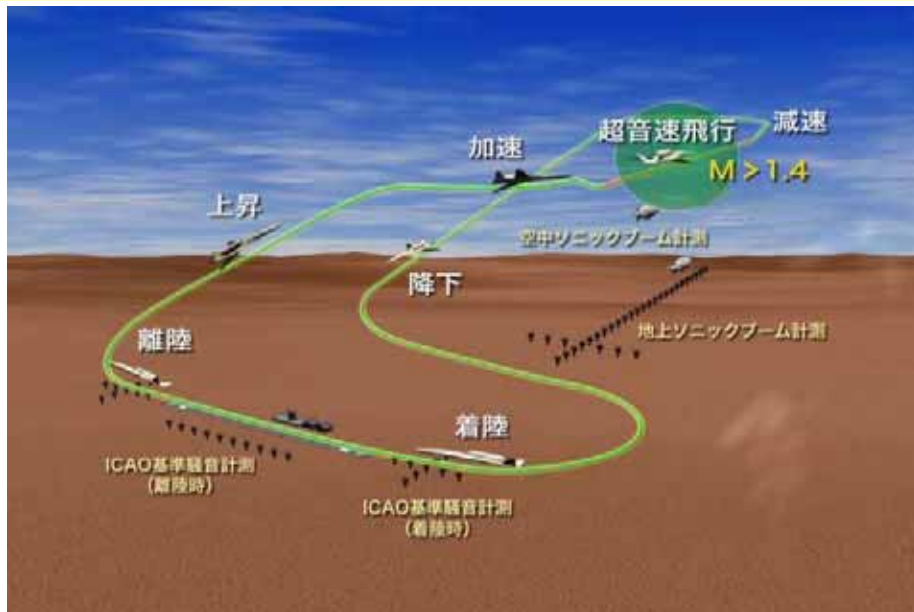


研究開発計画(3/5)



静粛超音速研究機飛行実験システムの開発・飛行実験

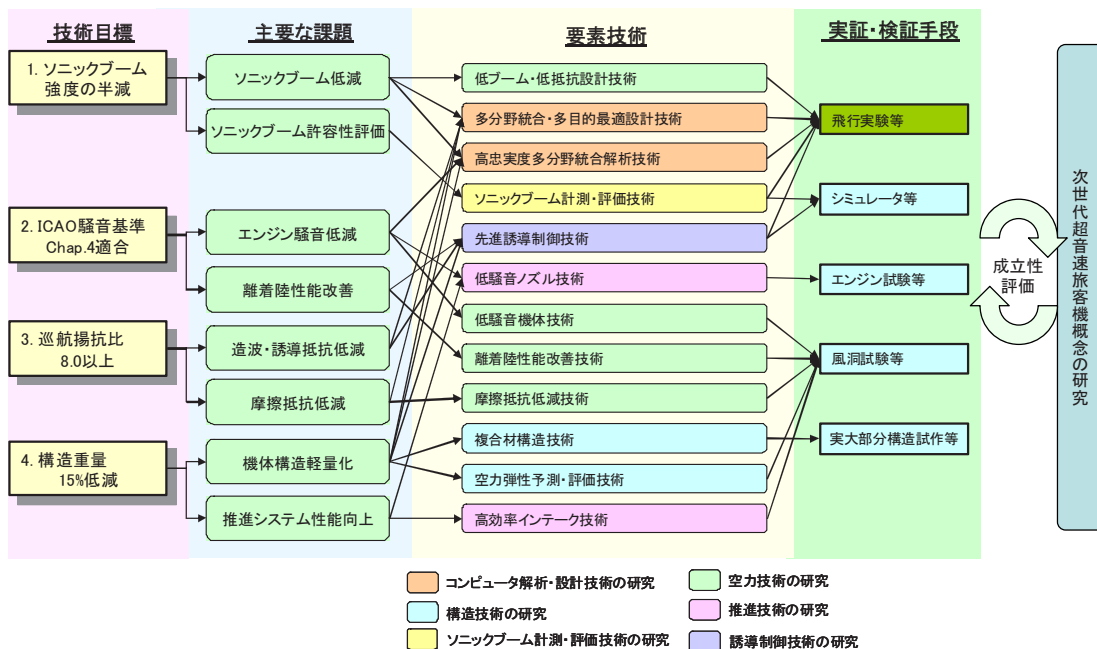
機体コンセプト(ソニックブーム強度半減する設計技術)とシステム統合技術実証(離着陸～超音速飛行を自律飛行する無人機技術)の実証



研究開発計画(4/5)



技術研究

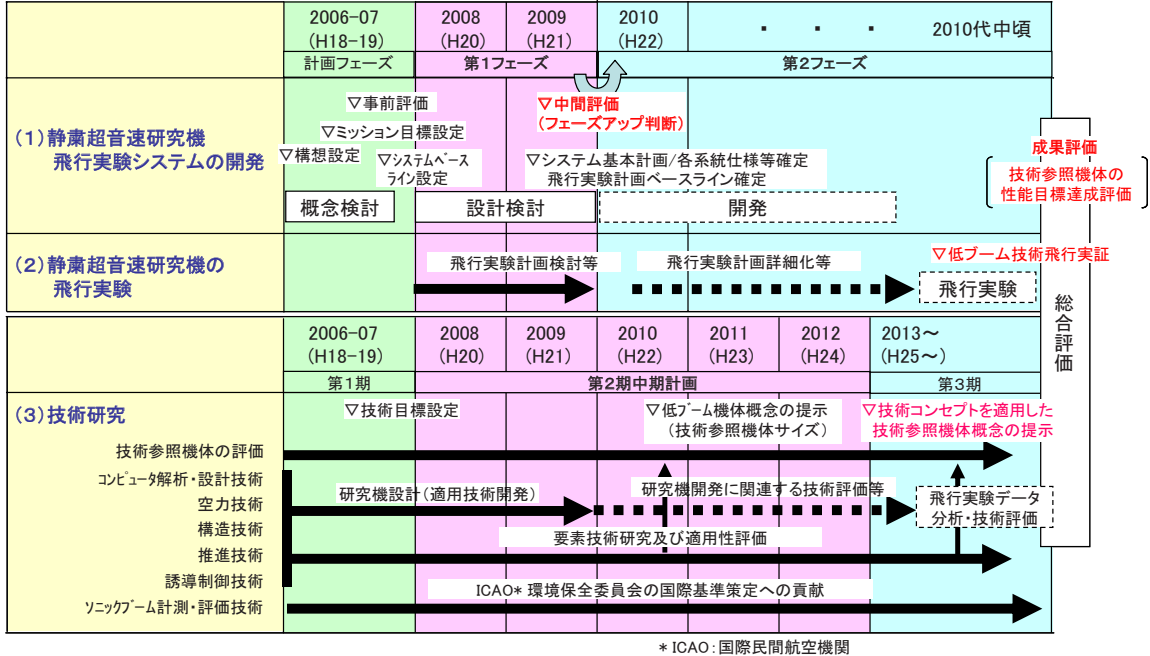




研究開発計画(5/5)



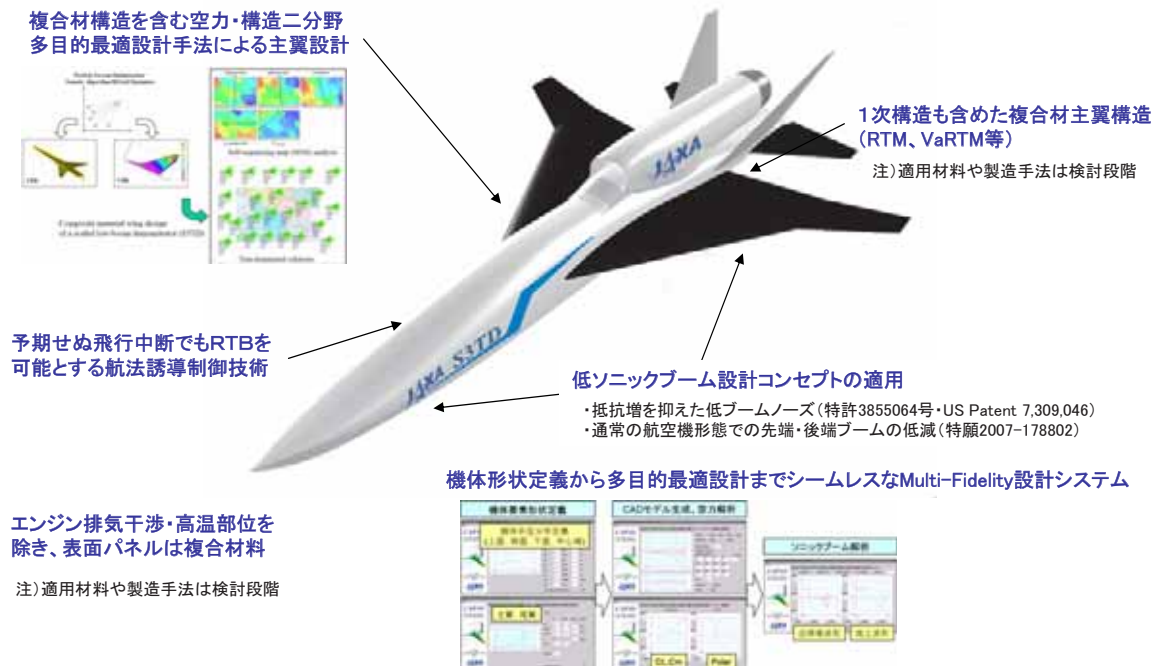
スケジュール



研究開発状況(1/6)



静粛超音速研究機への適用技術





研究開発状況(2/6)



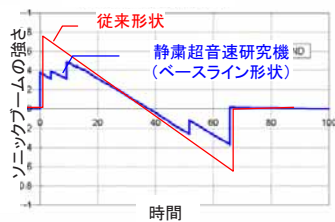
静粛超音速研究機(ベースライン)の概要

主要諸元

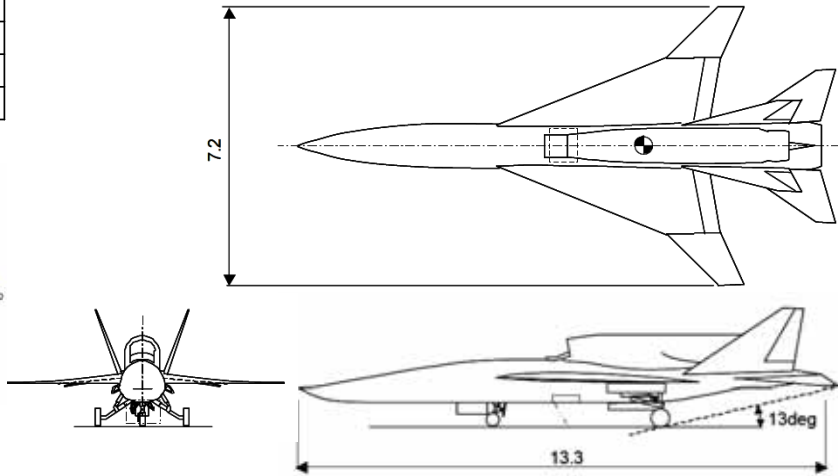
全長	13.3m
全幅	7.2m
翼面積	21m ²
全備質量	4,000kg
ゼロ燃料質量	2975kg
飛行速度	M1.4@h≥11km以上
必要滑走路長	2,000m以下

完全自律飛行制御の無人超音速ジェット機

- ・低ソニックブーム機体形状
- ・マッハ1.4以上で1分以上の超音速巡航
- ・完全自律飛行制御による離着陸から超音速巡航飛行



ソニックブーム予測波形
(M1.6, 高度14km, 水平飛行時)



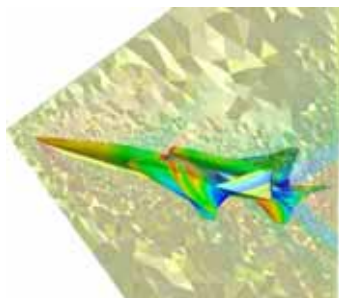
三面図(ベースライン形状)



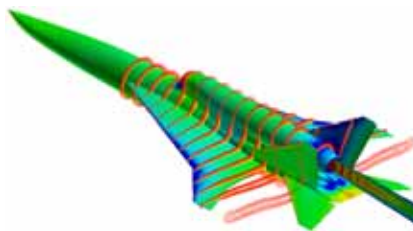
研究開発状況(3/6)



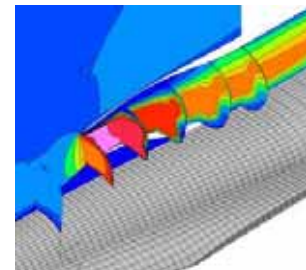
静粛超音速研究機設計のための各種解析・風洞試験



CFD空力特性解析



機体・推進統合CFD解析
(吸排気効果予測解析)



インテーク特性CFD解析



低速空力特性風洞試験



尾排干渉風洞試験



インテーク特性風洞試験



研究開発状況(4/6)



技術研究(1/3)

超音速旅客機概念の研究

- 主要要求性能
- 乗客 36-50人
 - 巡航マッハ数 1.6
 - 航続距離 3,500nm以上
 - 滑走路長 8,000ft以下
 - 巡航揚抗比 8.0以上(M1.6)
 - 離着陸騒音 ICAO Chap.4適合
 - ソニックブーム 0.5psf以下
 - 構造重量 複合材適用率50% (15%構造重量減)



主要諸元

全長	47.8 m
全幅	23.6 m
全高	7.3 m
主翼面積	175 m ²
アスペクト比	3.0
全備重量	70 トン
エンジン	15 トン双発

リージョナルジェット(GRJ700)、コンコルドとほぼ同等の客室幅と高さは確保可能

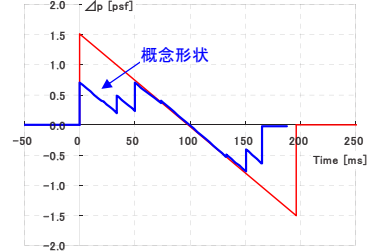


1クラス36席配置：プレミアムビジネス 36席(50in)

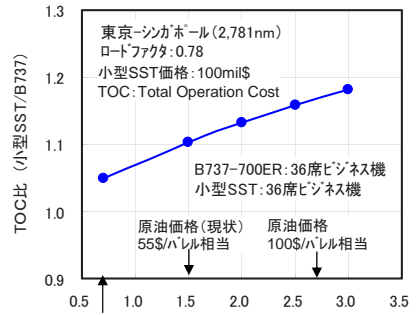


1クラス50席配置：ビジネス 50席(37in)

座席配置検討 1



地上ソニックブーム予測波形



燃料価格の運航コストへの影響



研究開発状況(5/6)



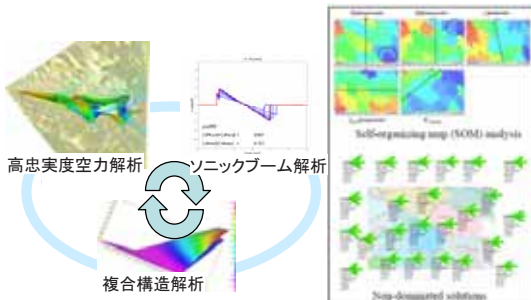
技術研究(2/3)

コンピュータ解析・設計技術の研究

多分野統合・多目的最適設計技術の研究



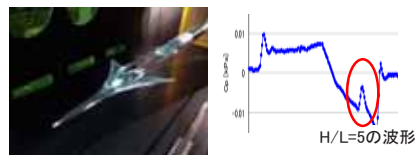
機体形状定義から解析までシームレスなツールの開発



複合材構造主翼の空力・構造統合多目的探査技術(MDE技術)の適用研究

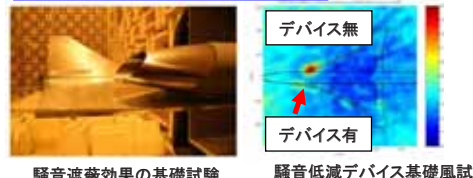
空力技術の研究

低ブーム・低抵抗設計技術の研究



後端低ブーム設計コンセプト検証風試

低騒音機体技術の研究



離着陸性能改善技術の研究



高揚力装置風試

摩擦抵抗低減技術の研究



境界層遷移データ基礎風試



研究開発状況(6/6)



技術研究(3/3)

構造技術の研究

複合材構造技術の研究



低コスト・高精度製造法による研究機主翼試作

空力弾性予測・評価技術の研究



ジェット排気影響を伴う空力弾性評価試験

ソニックブーム計測・評価技術の研究

ソニックブーム計測技術の研究



屋外計測システムの開発

ソニックブーム評価技術の研究



ソニックブーム音響・構造振動試験装置の開発 (左:全体図、右:窓サッシ試験体)

推進技術の研究

低騒音ノズル技術の研究

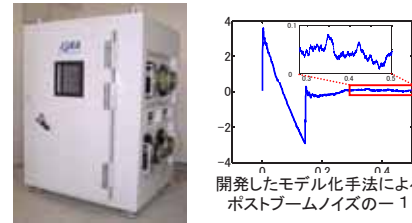


低騒音可変ノズル騒音評価試験

高効率インテーク技術の研究



先進形状インテーク基礎風試



開発したモデル化手法によるポストブームノイズの-1

ソニックブームシミュレータと波形再生技術の開発 : 15



おわりに



○目指す姿

来るべき超音速輸送時代に向けて、日本としてもコアコンピタンスとなる革新技術を育て、国際競争におけるプレゼンスを確保・向上させる

○活動方針

技術成果とコンセンサス

関係機関とのコンセンサス作り

海外: 国際共同研究の推進/国際フォーラムの開催
国内: 超音速輸送機連絡協議会*1での合意に基づく連携
S3外部有識者委員会*2における検討
エアラインとの意見交換の実施

*1 H20年1月発足
*2 H19年9月発足

環境基準策定への貢献

ソニックブーム国際環境基準策定検討への参画*3
ソニックブーム許容性評価の調査研究の推進

*3 国際民間航空機関環境保全委員会からの要請

技術成果の共有/効果的な研究開発の推進

メーカーと一体となった研究開発/技術開発体制の構築
メーカー・大学等の共同研究・人材交流の促進
外部・内部評価の適切な実施

人材育成・人材教育への貢献

メーカー・大学との人材交流/共同研究の促進
サマーカーン/大学での特別講義等

基盤技術研究の充実

コンピュータ設計・解析技術、低コスト複合材
構造技術等基盤技術研究の推進

広報活動の充実

展示会等への積極的な参加
一般向け講演会等の開催
プレス説明会、出前授業等の実施

技術の高度化

静粛超音速機技術の研究開発

技術の広がり

航空技術基盤の高度化(国際競争力強化)
他産業・他分野への技術波及

社会との繋がり

人材育成への貢献
技術・研究開発の理解増進