

# 静粛超音速機技術研究開発 技術目標について

---

科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会 航空科学技術委員会  
第3回 静粛超音速機技術の研究開発 推進作業部会

平成19年2月19日  
宇宙航空研究開発機構

# 内容

---

## 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

- 1.1 コンコルドでは、何が不足していたか
- 1.2 次世代超音速旅客機の課題
- 1.3 次世代超音速旅客機の実現への見通し
- 1.4 次世代超音速旅客機の研究開発動向と経緯
- 1.5 次世代超音速旅客機の要求仕様と性能目標
- 1.6 次世代超音速旅客機の要求目標設定根拠
- 1.7 欧米の次世代超音速旅客機検討との比較

## 2. 超音速旅客機開発の現状技術到達度と重要技術

- 2.1 現状の技術到達度
- 2.2 重要技術と日本の技術評価
- 2.3 技術分野別重要技術

## 3. 本プロジェクトの重点課題と技術目標

- 3.1 研究開発目標と重点化の考え方
- 3.2 本プロジェクトの重要課題と技術
- 3.2 本プロジェクトの技術目標
- 3.4 研究開発のスケジュール

## 参考資料

米国の超音速旅客機の機体仕様と性能目標(米国および欧州)  
現状の技術到達度(小型超音速実験機および大型超音速旅客機)

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.1 コンコルドでは、何が不足していたのか

### コンコルドの性能

飛行速度	マッハ2
航続距離	約6,400km(3,400nm)
乗客	100人



### 環境適合性の不足

#### 大きなソニックブーム

近くに雷が落ちた時の音(陸上超音速飛行禁止)

#### 大きな離着陸騒音

削岩機よりも大きな音(乗り入れ空港限定)

### 経済性(機体性能)の不足

#### 大きな燃料消費

燃料消費(乗客1人当たり)はスポーツカー並

**洋上横断 かつ 2路線に限定された定期運航**

**亜音速旅客機に比べて3.5倍以上と言われる高い運航コスト**

(ファーストクラスの2割増しの高運賃:旅客獲得率約3%)

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1. 2 次世代超音速旅客機の課題

### 経済性と環境適合性の改善

#### 環境適合性の課題

##### ソニックブーム低減

ソニックブーム強度を下げて陸上・洋上でも飛行可能とする  
(コンコルドでは陸上超音速飛行不可、洋上もコンコルドより小さくすることが必要)

##### 空港騒音低減

エンジン騒音を下げて亜音速旅客機と同じ基準を満足させる  
(コンコルドは特別に許可されて離着陸)

##### 排ガス清浄化

特に超音速巡航時の窒素酸化物の排出を減らす  
(窒素酸化物によるオゾン層破壊への懸念が第1世代米国超音速旅客機開発中止の要因のひとつ)

#### 経済性の課題

##### 軽量化

機体構造、エンジン及び装備品重量を軽量化することで燃料消費を減らす  
(コンコルドは全金属製で離着陸時視界確保の可変機首装備で重い機体)

##### 低抵抗化

主に超音速巡航時の空気抵抗を抑えて燃料消費を減らす  
(コンコルドでは空気抵抗が1%増えれば乗客が約3人が乗れなくなる)

##### エンジン低燃費化

エンジンの高効率化により燃料消費を減らす  
(コンコルドでは離陸時に全燃料の約2割を消費、また乗客一人当たりの燃費は約5km/L)

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.3 次世代超音速旅客機の実現への見通し

25年以内に、環境的に受け入れられ経済的に成り立つ民間超音速機が可能  
超音速ビジネスジェット／小型超音速旅客機ではソニックブームが主要障壁

米国 国家研究会議(NRC: National Research Council)の報告書(2001)

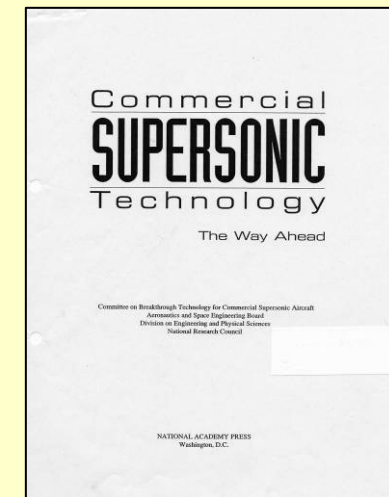
○適切な研究及び技術開発で25年以内に、環境的に受け入れられ経済的に成り立つ民間超音速機が可能。  
マッハ2より低い巡航速度であれば、25年よりずっと早く実現可能。

○必要とされる5つのブレークスルー

- ①低ソニックブーム機体
- ②層流化技術等の空力性能の改善
- ③操縦性に関する飛行制御・構造モード制御
- ④高い忠実度の多目的最適化ツール
- ⑤低い燃料消費率、高い推重比、低騒音の可変サイクルエンジン

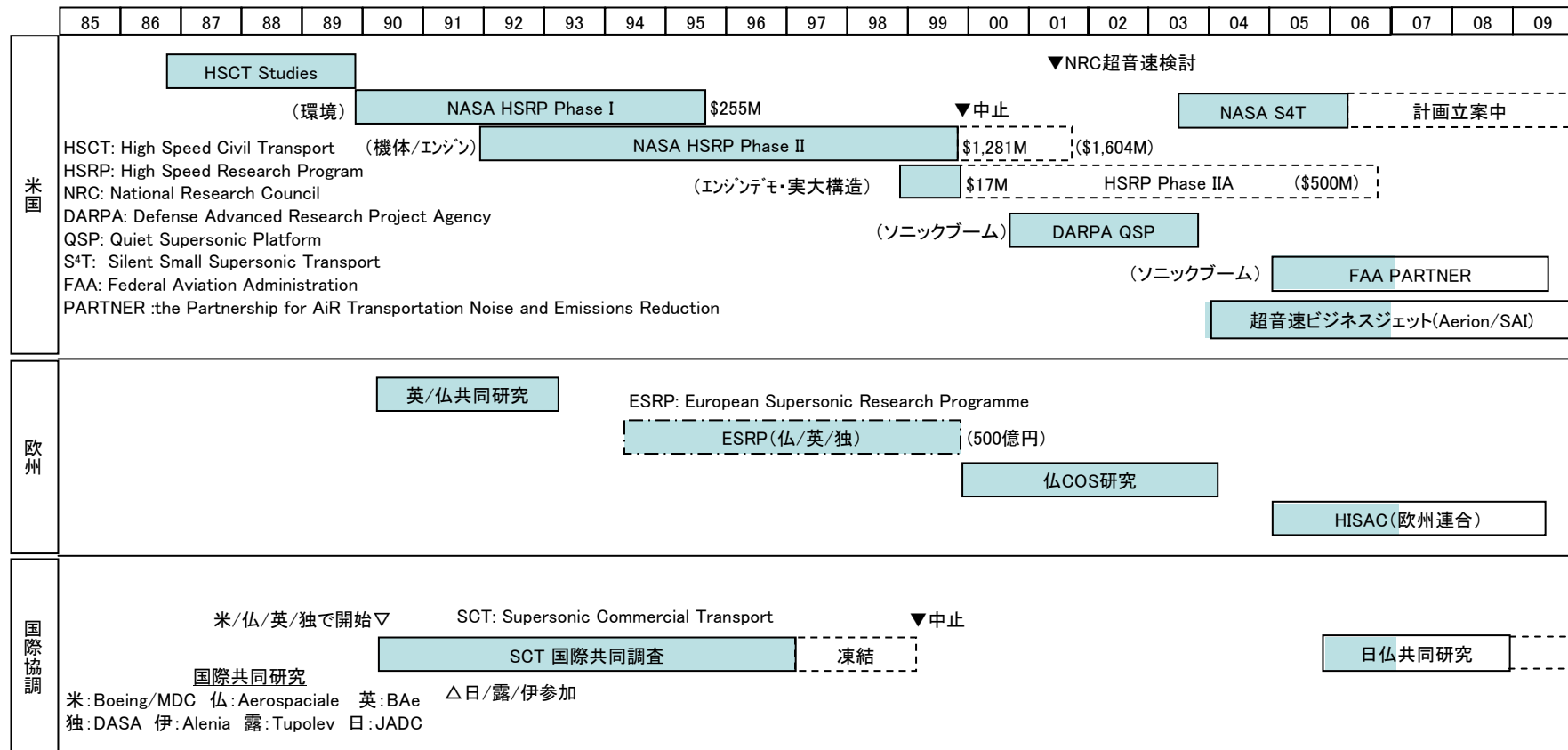
○超音速ビジネスジェット機クラス(全備重量約64トン)であれば、ソニックブームが主要な障壁で、経済性については既存技術レベルで成立可能(ビジネス及びファーストクラス対象で亜音速旅客機運賃に対して30%増)。

○NASAは民間開発への移行が合理的でふさわしい技術成熟度(TRL6)まで技術を先導していくべき。



# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.4 次世代超音速旅客機の研究開発動向と経緯(1)



# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.4 次世代超音速旅客機の研究開発動向と経緯(2)

環境適合技術(ソニックブーム、騒音等)を中心とした技術研究が進行中

### ▶ 米国における超音速機技術研究

国防総省高等研究計画局(DARPA)

低ソニックブーム技術を中心とした研究開発を実施し、  
2003年にソニックブーム低減に関する飛行実験を実施



DARPA SSBD (NASA HPより)

航空宇宙局(NASA)

SSTへの技術ステップとしての小型静粛超音速輸送  
を対象として概念研究(S<sup>4</sup>T研究)に2003年から着手。  
現在、Fundamental Aeronauticsの中で長期研究計画  
(10年)を策定中。



NASA S4T (NASA HPより)

### ▶ 欧州における超音速機技術研究

EU統合研究プログラムとして2005-2008年の4ヶ年でソニックブーム低減、  
NO<sub>x</sub>・CO<sub>2</sub>削減等を目指した小型超音速機研究計画(HISAC)を実施中

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.4 次世代超音速旅客機の研究開発動向と経緯(3)

### ➤ 超音速ビジネスジェット開発の動き

250～300機(今後10年)という需要予測を背景に、米国を中心として超音速ビジネスジェット(SSBJ)の具体的開発の動き

(開発計画)

Aerion社: 2012年完成を目指してマッハ1.6のSSBJ(8-12席)を開発中。  
(但し、ソニックブーム問題は解決せず陸上はマッハ1.15以下で飛行)

SAI社 : 2013年完成を目指した小型超音速輸送機QSST(マッハ1.6-1.8/12席)の開発計画を発表。(低ソニックブーム技術により陸上超音速飛行を可能とする計画)



### ➤ 民間超音速機の環境基準策定の動き


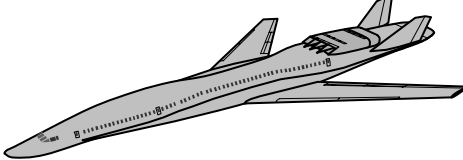
FAA(米国連邦航空局)及びICAO(国際民間航空輸送機関)が民間超音速機の騒音やソニックブーム基準策定に向けた調査を実施中(2003年～)  
(JAXAもICAOにおける検討に参画中)





# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.5 次世代超音速旅客機の要求仕様と性能目標

機体規模		小型SST	大型SST	
機体イメージ				
機体仕様	巡航マッハ数	1.6-2.0	1.6-2.0	
	航続距離(km)	6,485-8,340	10,190+	
	乗客	30-50pax	300pax	
	全備重量 (ton)	70	400	
性能目標	経済性	揚抗比	8.0-8.7 @マッハ2.0	9.5-10.5 @マッハ2.0
		空虚重量比	0.44	0.37-0.41
		燃料消費率(kg/kgf・hr)	1.15 @巡航(M2)	1.1 @巡航(M2)
		エンジン推重比	3.0 @地上静止	4.0-6.0 @地上静止
		機体性能指標*	10.0 -12.4	16.9 -18.5
	環境適合性	ソニックブーム強度	DP < 0.5psf	TBD (陸上は飛行回廊設定)
		離着陸騒音レベル	Chap.4 - α dB	Chap.4 - α dB
		窒素酸化物排出量	現状技術	EI < 5

\*機体性能指標: 巡航マッハ数 × 揚抗比 × Ln(1/空虚重量比) / 燃料消費率    DP:ソニックブームによる圧力上昇量    EI: 排出指標(g/kg)

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

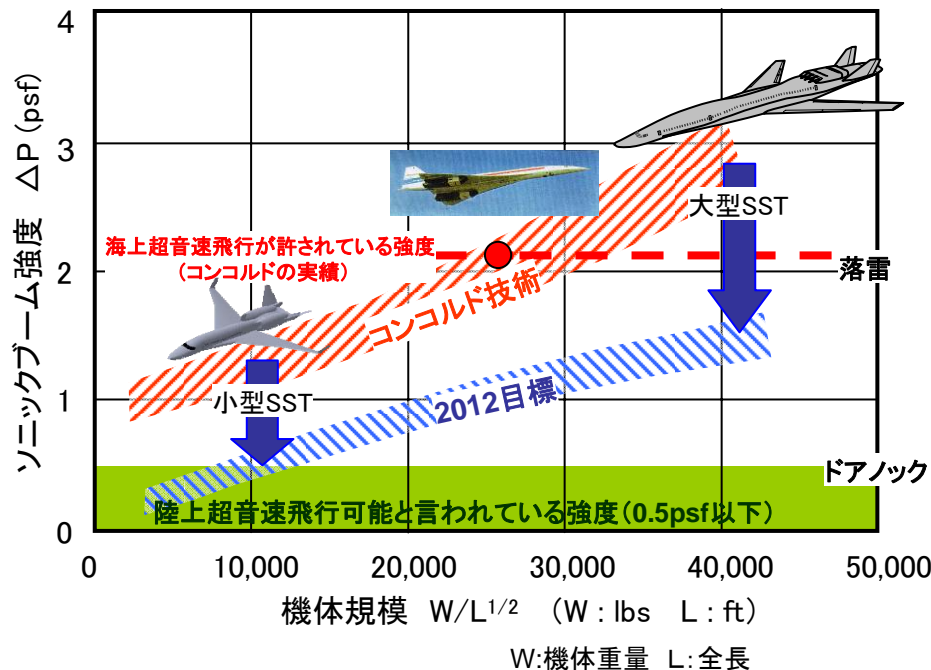
## 1.6 次世代超音速旅客機の要求目標設定根拠(1)

### 環境適合性

#### ソニックブーム

現状では陸上超音速飛行禁止。現在、ICAOで基準策定の調査・検討中(2013年までの策定が目標)。  
 (陸上超音速飛行が許容されるソニックブーム強度は1990年代は1psf以下と言われていたが、昨今の厳しい環境規制から少なくとも0.5psf以下が国際的な共通認識)

ICAO: 国際民間航空機関  
 psf: 圧力単位 (lb/m<sup>2</sup>)



#### 離着陸騒音

騒音基準: ICAO Chap.4 (2006以降)  
 (超音速旅客機においても亜音速旅客機と同じ基準を満足することが必要)

#### 窒素酸化物排出(巡航時)

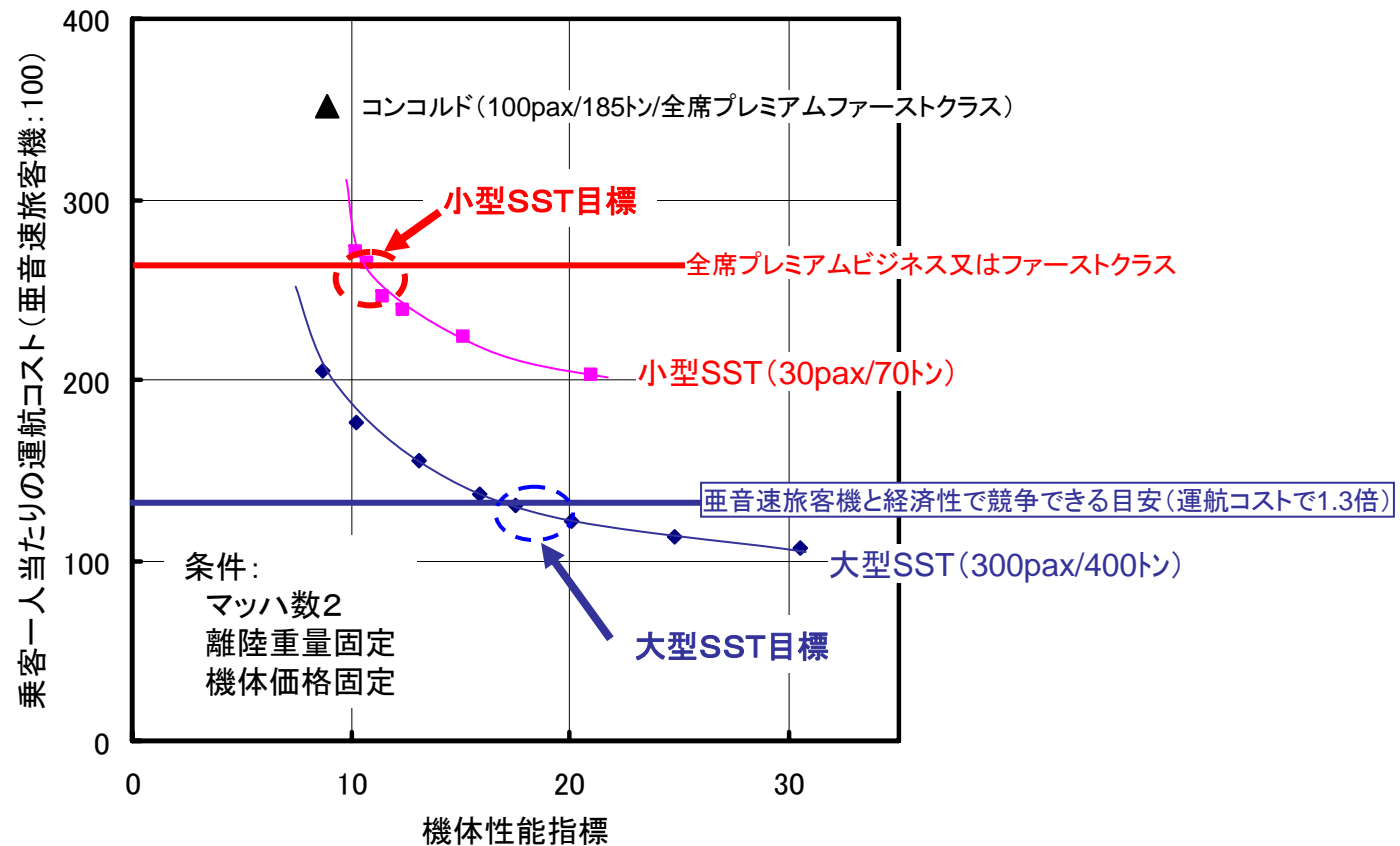
高空での窒素酸化物排出がオゾン層を破壊するという懸念から、超音速旅客機では巡航時の窒素酸化物排出低減が求められている。

(米国国家研究会議NRCの報告書によれば、マッハ2以下の超音速旅客機では排出指標が15(g/kg)以下であれば問題ないとされているが、将来的には5(g/kg)以下が国際的な共通認識)

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.6 次世代超音速旅客機の性能目標設定根拠(2)

### 経済性

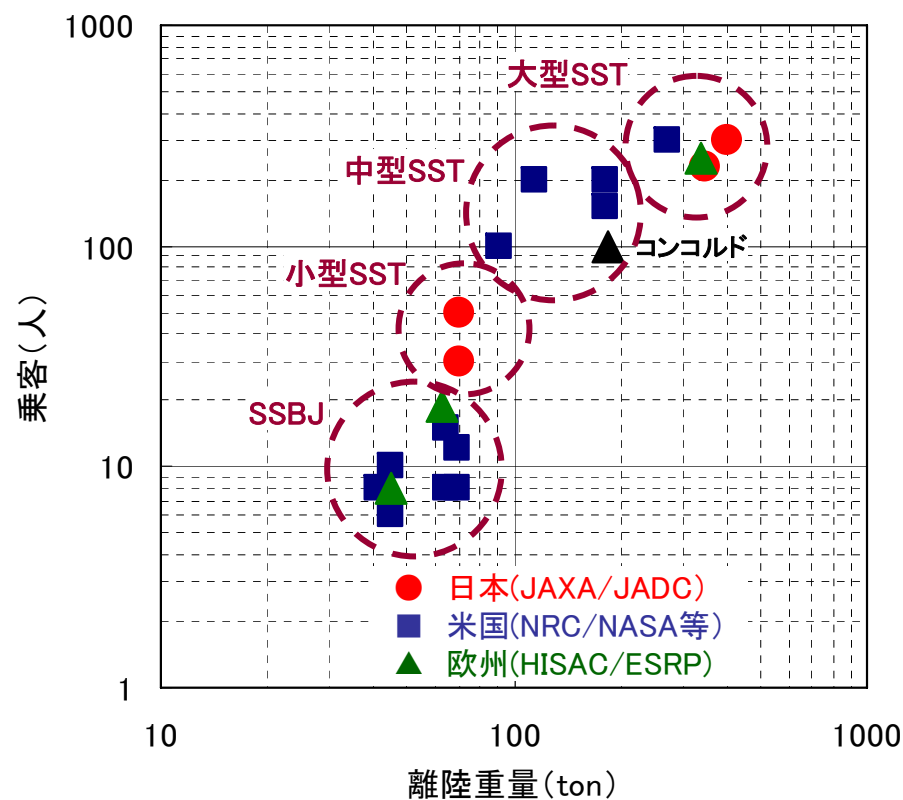
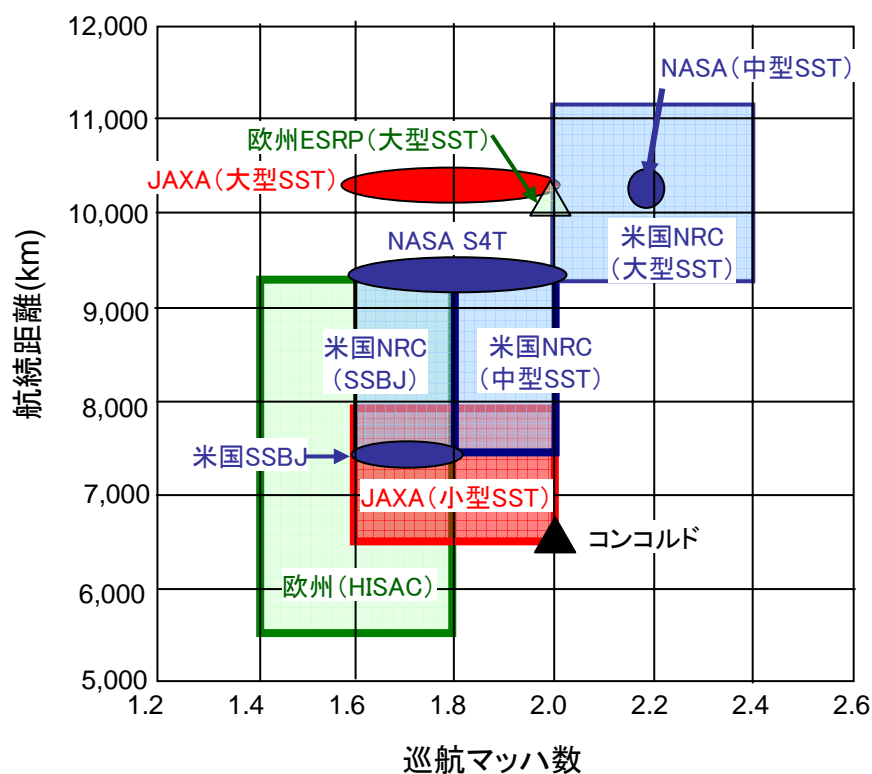


\*機体性能指標:このパラメタが大きければ大きいほど、同じ燃料で遠くに行ける(或いは同じ距離ならば必要燃料が少なくて済む)指標  
(=巡航マッハ数×揚抗比×ln(1/空虚重量比)/燃料消費率)

# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.7 欧米の次世代超音速旅客機検討との比較(1)

### 機体仕様の比較



NRC: National Research Council (米国)  
 SST: 超音速旅客機  
 SSBJ: 超音速ビジネスジェット  
 S4T: Small Silent Supersonic Transport

HISAC: High Speed Aircraft (欧州)  
 ESRP: European Supersonic Research Program (欧州)

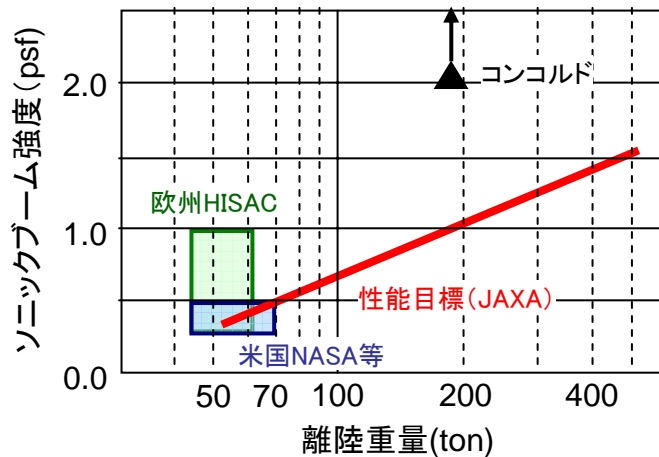
# 1. 超音速旅客機の技術課題と要求性能

## 1.7 欧米の次世代超音速旅客機検討との比較(2)

### 性能目標の比較

#### 環境適合性目標

##### ソニックブーム



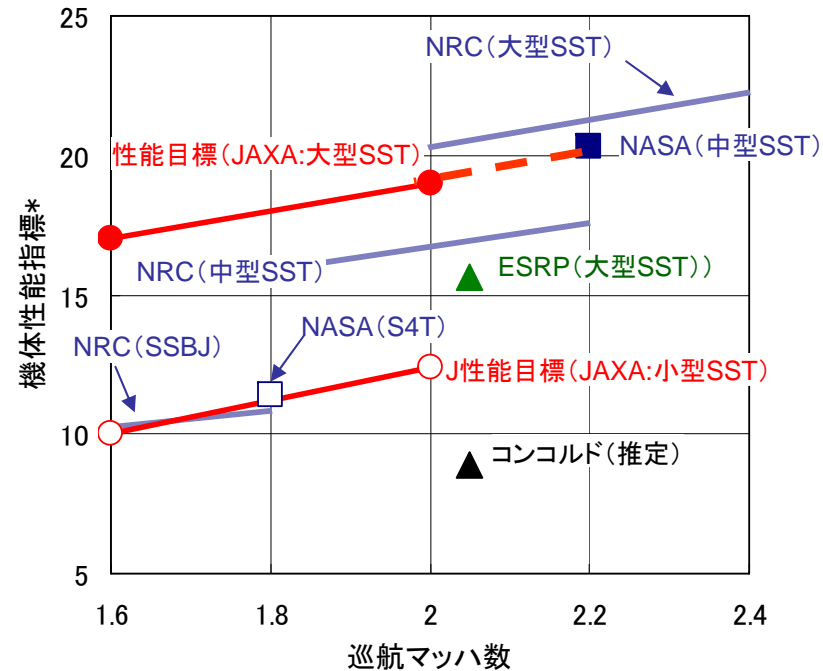
米国NASAのS4Tでは明確なソニックブーム強度の数値目標は不明だが超音速ビジネスジェット規模で0.3~0.5psfと推定

##### 離着陸騒音

ICAOで策定されたChap.4以下に低減することでは、米国及び欧州も同じ。大型SSTでは将来のさらなる規制強化に備えて、Chap.4に余裕(米国4dB/欧州8dB)を見込む目標設定

#### 経済性(機体性能)性能目標

\*機体性能指標:このパラメタが大きければ大きいほど、同じ燃料で遠くに行ける(或いは同じ距離ならば必要燃料が少なくて済む)指標  
 (=巡航マッハ数 × 揚抗比 × ln(1/空虚重量比) / 燃料消費率)



NRC: National Research Council (米国) S4T: Small Silent Supersonic Transport  
 SST: 超音速旅客機 HISAC: High Speed Aircraft (欧州)  
 SSBJ: 超音速ビジネスジェット ESRP: European Supersonic Research Program (欧州)

## 2. 超音速旅客機開発の現状技術到達度と重要技術

### 2.1 現状の技術到達度

#### 環境適合性

##### ソニックブーム

米国、欧州、日本ともに研究段階で小型超音速旅客機規模においても技術は未達。

- ・米国ではDARPAがQSP計画で先端ソニックブーム強度を約3割低減することを飛行実証
- ・JAXAでは、具体的な機体検討で前・後端ソニックブームともに半分以下に低減できる見通しをシミュレーションを得た段階。

DARPA: 米国防衛先進研究プロジェクト庁  
QSP: Quiet Supersonic Platform

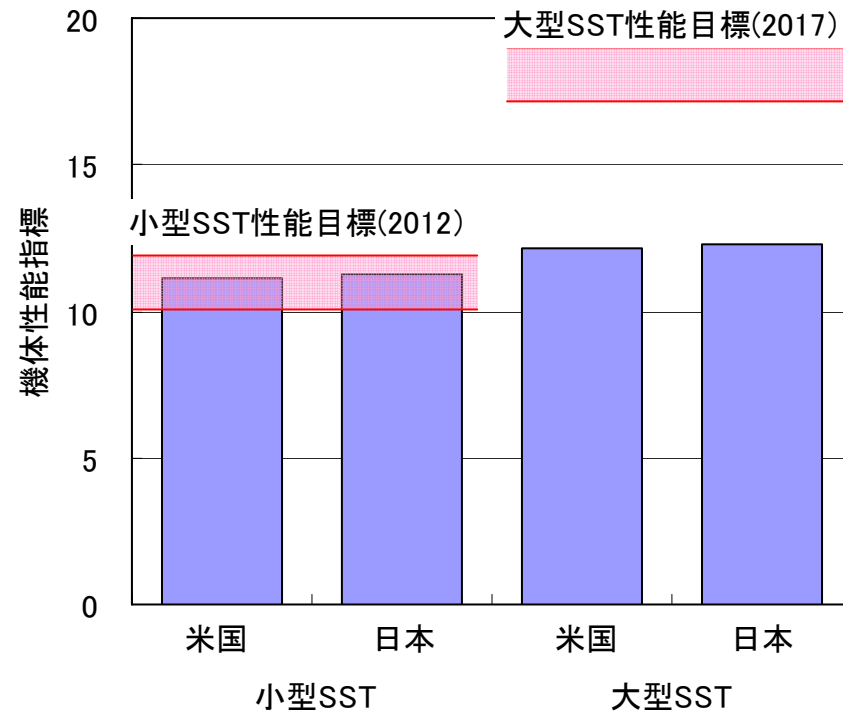
##### 空港騒音

比較的新しい亜音速旅客機であれば満足している新基準ICAO Chap.4を満足する超音速機用エンジンの技術実証は米国でもなされていない。

- ・日本ではESPRプロジェクトにおいてChap.3 -3dBは達成。なお、Chap.4はChap.3 -10dB累積値に相当。
- ・米国Aerion社が開発を進めている超音速ビジネスジェットでは機体規模に比して大きなエンジン(既存)を用いることで離陸時排気速度を抑えてChap.4を満足させる計画。

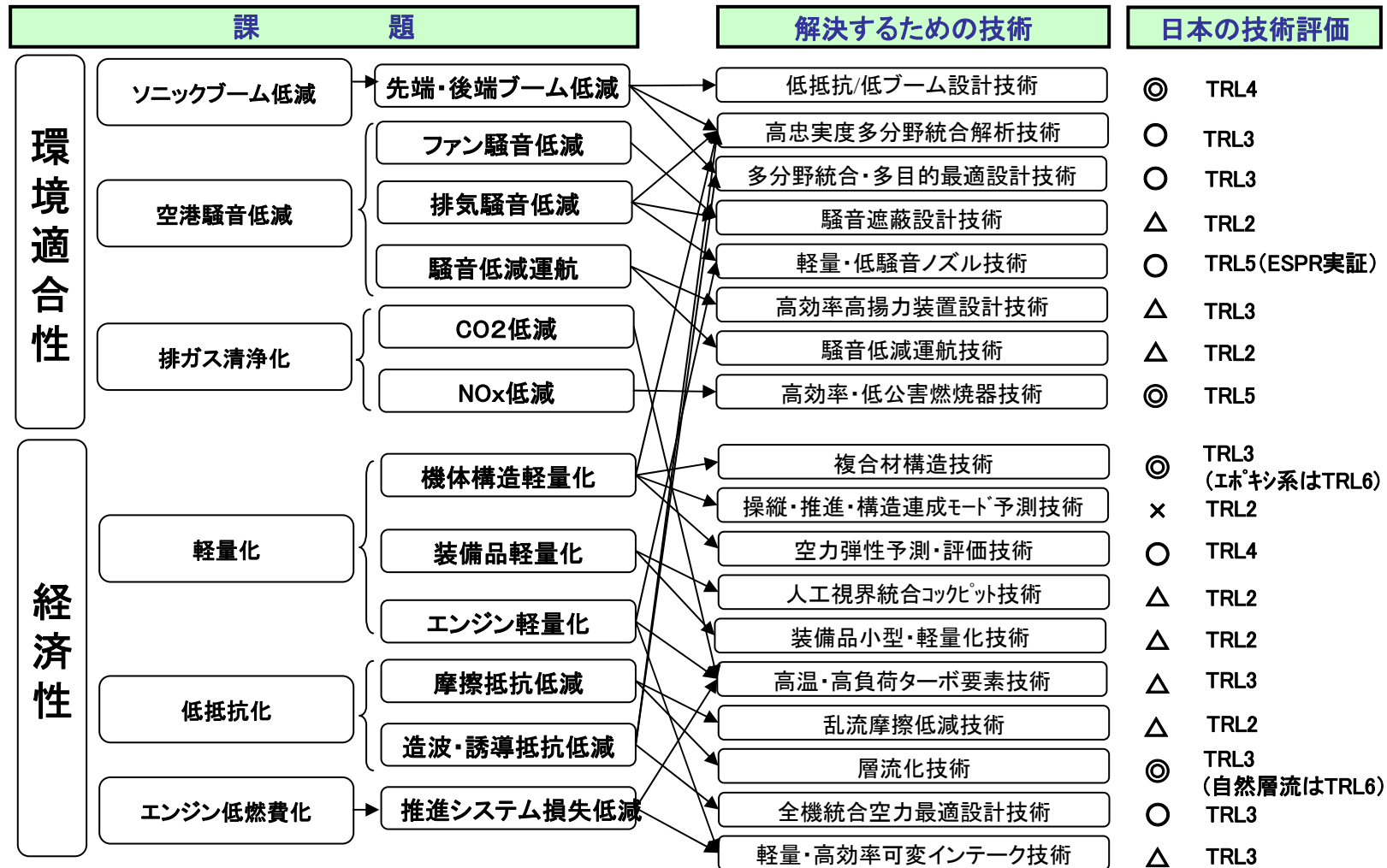
#### 経済性(機体性能)

小型SSTについては、現状技術においてほぼ成立するレベル



## 2. 超音速旅客機開発の現状技術到達度と重要技術

### 2.2 重要技術と日本の技術評価



◎: 同等レベルの独自技術、或いは同等レベル以上の技術基盤を有する ○: 概ね同等レベルの技術基盤を有する △: 技術基盤は有する

なお、技術評価は産学及びJAXAの専門家で構成された「飛行実証研究会」での評価結果をベースとしている。

## 2. 超音速旅客機開発の現状技術到達度と重要技術

### 2.3 技術分野別重要技術

緑字: 主として環境適合性向上に寄与する技術

赤字: 主として経済性向上に寄与する技術

黒字: 基盤技術として必要かつ経済性・環境適合性向上に寄与する技術

#### コンピュータ設計・解析技術

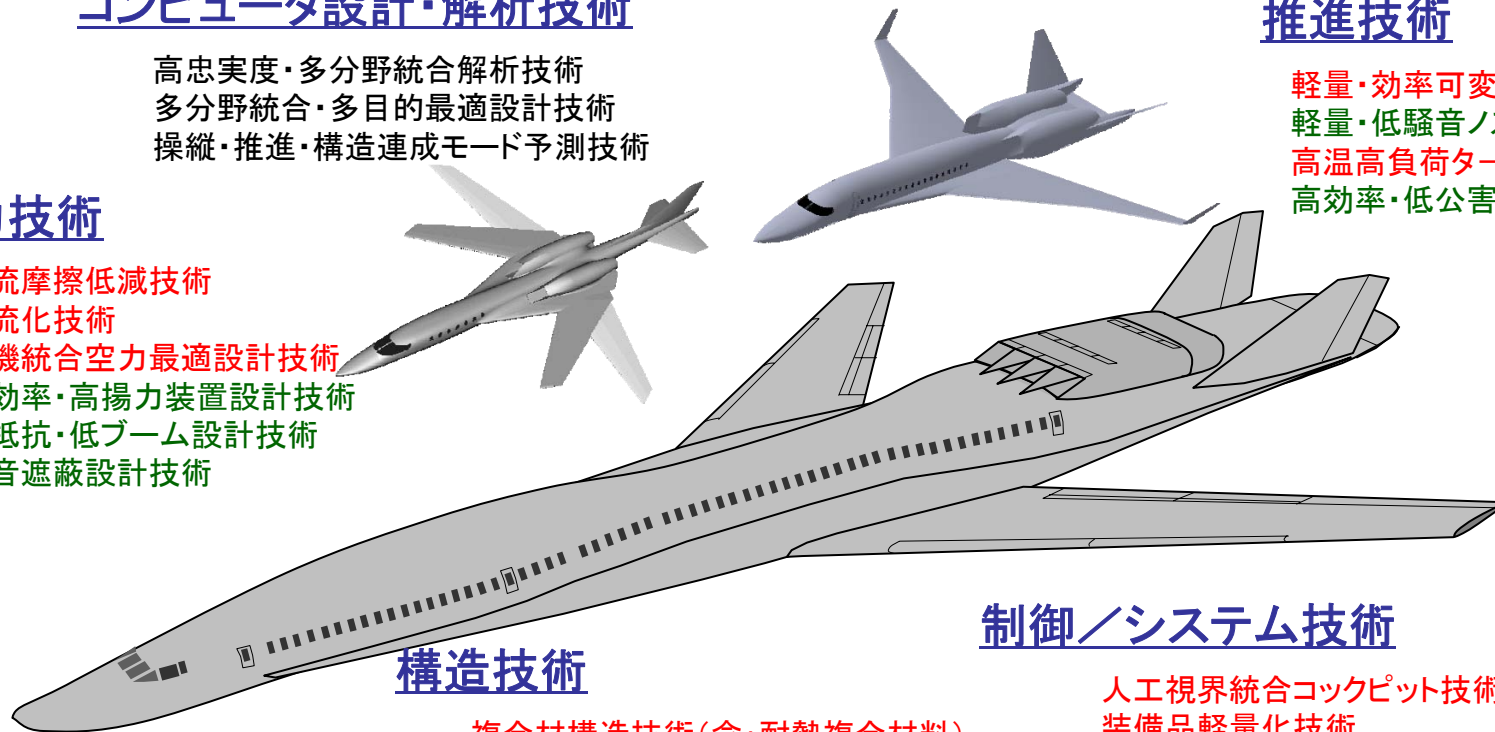
高忠実度・多分野統合解析技術  
多分野統合・多目的最適設計技術  
操縦・推進・構造連成モード予測技術

#### 推進技術

軽量・効率可変インテーク技術  
軽量・低騒音ノズル技術  
高温高負荷ターボ要素技術  
高効率・低公害燃焼器技術

#### 空力技術

乱流摩擦低減技術  
層流化技術  
全機統合空力最適設計技術  
高効率・高揚力装置設計技術  
低抵抗・低ブーム設計技術  
騒音遮蔽設計技術



#### 構造技術

複合材構造技術(含:耐熱複合材料)  
空力弾性予測・評価技術  
材料・構造試験技術

#### 制御／システム技術

人工視界統合コックピット技術  
装備品軽量化技術  
騒音低減運航技術



## 3. 本プロジェクトの重点課題と技術目標

---

### 3.1 研究開発目標と重点化の考え方

#### 研究開発目標

大型超音速旅客機の実現に必要な重要技術課題の克服を視野に入れつつ、本プロジェクト終了時に小型超音速旅客機の実現を可能とする技術目標を達成し、小型超音速旅客機の実用化判断を可能にする。

#### 重点化の考え方

本プロジェクトの研究開発目標を念頭において、以下の観点から技術課題の重点化

##### (1) 次世代超音速旅客機の実現における重要技術(鍵技術)

- ・国際共同開発におけるバーゲニングパワーとなる技術(計画段階で必要とされる機体概念や先進技術)
- ・超音速機の実現にネックとなっている課題を解決する技術

##### (2) 飛行実証課題については、優位性を確保し得る技術で飛行実証が不可欠な技術

- ・次世代超音速機開発における世界的に優位性を確保し得る技術
- ・日本が得意とするコンピュータ先進設計技術の活用と飛行実証が不可欠な技術

##### (3) 技術研究課題については、JAXA及び日本の技術基盤が活用できる課題

- ・これまでの日本で蓄積してきた技術の活用と展開

# 3. 本プロジェクトの重点課題と技術目標

## 3.2 本プロジェクトの重点課題と技術

技術優位性確保による国際共同開発への主体的参画の観点から、  
**「ソニックブーム低減」を最重点課題として設定**



## 3. 本プロジェクトの重点課題と技術目標

### 3.3 本プロジェクトの技術目標

今後5年程度を見通し、小型超音速旅客機の実現を可能とするレベルを技術目標に設定

#### 優先順位①： 飛行実証課題（目標技術成熟度: TRL6）

課題の区分	技術課題名	技術目標	課題解決のための適用技術
環境適合性／ 経済性	ソニックブーム低減 (低ソニックブーム・低抵抗機体形状)	ソニックブーム強度半減	低抵抗・低ブーム設計技術 多分野統合・多目的最適設計技術、等

#### 優先順位②： 技術研究課題（目標技術成熟度: TRL4~5）

課題の区分	技術課題名	技術目標	課題解決のための適用技術
環境適合性	離着陸騒音低減	ICAO基準 Chap. 4に適合	騒音遮蔽設計技術、高効率高揚力装置設計技術、ノズル技術、等
経済性	低抵抗化	揚抗比 7.2 → 8.0~8.7	層流化技術、全機統合空力最適技術、等
経済性	軽量化	構造・装備重量 12%減(TBD)	複合材構造技術、空力弾性予測・評価技術、インテーク・ノズル技術、等

### 3. 本プロジェクトの重点課題と技術目標

#### 3.4 研究開発のスケジュール

◆第3次科学技術基本計画 分野別推進戦略の実現目標を達成するためのスケジュール

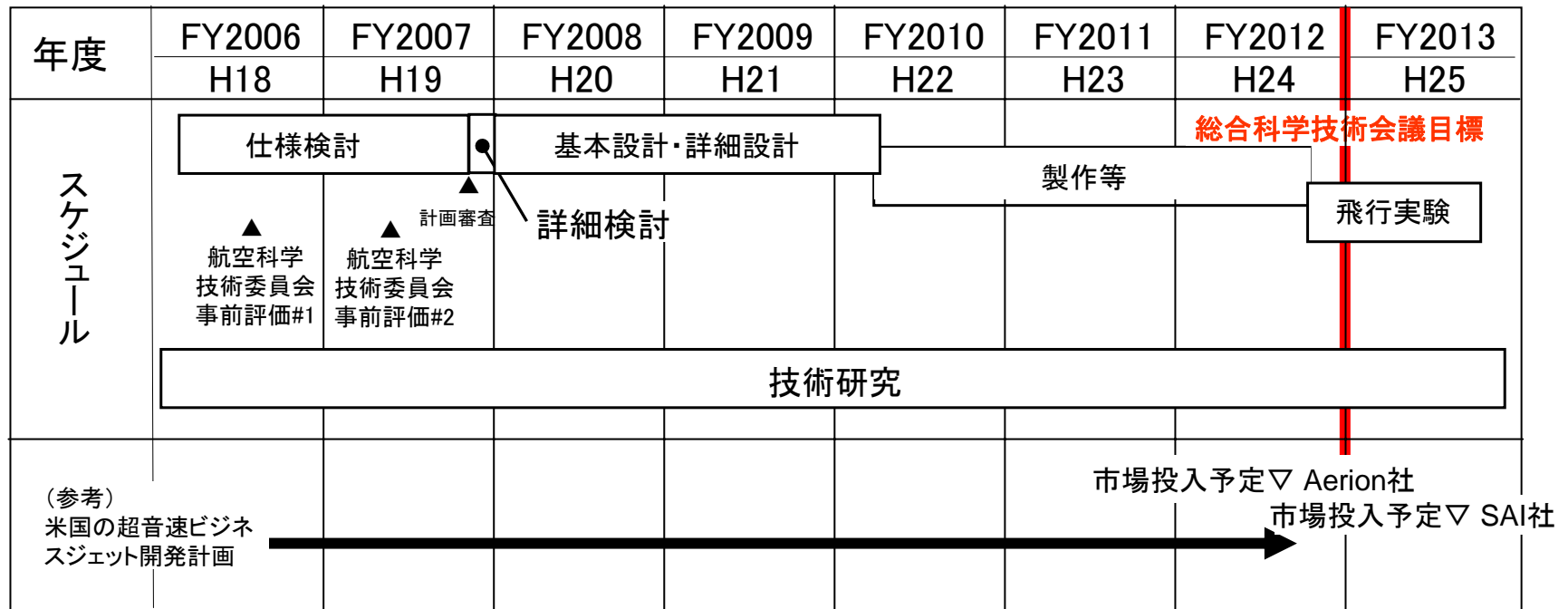
研究開発目標:

◇2010年度までに超音速機のソニックブームを半減する機体設計技術等を開発する

◇2012年度までに超音速機のソニックブームを半減する機体設計技術等を実証し、超音速機開発における世界的な優位技術を獲得する【文部科学省】

◆詳細検討／基本設計は航空科学技術委員会における評価を受けて着手する予定

JAXAの現在の検討に基づくスケジュール案



注: 必要な予算措置が講じられるとともに、プロジェクト開発が順調に進捗することを前提

---

# 參考資料

# 参考資料

## 米国の超音速旅客機の機体仕様と性能目標

国・地域		米国							
		国家研究会議(NRC)報告書			NASA小型静粛超音速輸送機概念研究(S4T)	Aerion社 SBJ	SAI社 QSST		
設定時期		2001			2004		2005	2005	
機体規模		超音速 ビジネスジェット	中型SST	大型SST	超音速 ビジネスジェット	中型SST	超音速 ビジネスジェット	超音速 ビジネスジェット	
達成時期		既存技術で可能 (ソニックブーム以外)	2025より早期に可能(就航) (マッハ2以下)	2025には可能(就航) (マッハ2以下)	2009-2014(技術)	2019(技術)	2012 (市場投入予定)	2013 (市場投入予定)	
機体仕様	巡航マッハ数	1.6-1.8	1.8-2.2	2.0-2.4	1.6-2.0	2.2	1.6	1.6-1.8	
	航続距離(km)	7,410-9,265	7,410-9,265	9,265-11,120	9,265	10,190+	7,410	7,410+	
	乗客	8-15pax	100-200pax	300pax	6-10pax	150-200pax	8pax	8-12pax.	
	全備重量(ton)	約64	約91-114	約272	約45	約182	約41	約69	
性能目標	経済性	揚抗比	7.5-8 @巡航	9-10 @巡航	10-11 @巡航	—	—	-	-
		空虚重量比	0.44	0.40	0.37	—	—	-	-
		燃料消費率	1.0-1.1 @巡航	1.0-1.1 @巡航	1.0-1.2 @巡航	—	—	-	-
		エンジン推重比	5.0 @地上静止	5.0 @地上静止	6.0 @地上静止	—	—	-	-
	機体性能指標*	10.3 -10.9	15.9 -17.6	20.3 -22.3	11.4	20.3	-	-	
環境適合性	ソニックブーム強度	DP<1psf(波形改善)	DP<1psf(波形改善)	DP<1psf(波形改善)	陸上超音速飛行 可能レベル	設定された回廊で陸上 超音速飛行可能レベル	低ソニックブーム 未適用	DP=0.3psf	
	離着陸騒音レベル	Chap.3 以下	Chap.3 以下	Chap.3 以下	—	—	Chap.4満足	Chap.4満足	
	窒素酸化物排出量	EI < 15	EI < 15	EI < 5	—	—	現状技術	現状技術	

\*機体性能指標: 巡航マッハ数 × 揚抗比 × Ln(1/空虚重量比) / 燃料消費率 DP: ソニックブームによる圧力上昇量 EI: 排出指標(g/kg)

# 参考資料

## 欧州の超音速旅客機の機体仕様と性能目標

国・地域		欧州			
		(参考)	高速機統合研究 (HISAC)	欧州超音速機研究計画 (ESRP)	
設定時期		1962	2005	1995頃	
機体規模		コンコルド	超音速ビジネスジェット	大型SST	
達成時期		1976(就航)	- (2009まで機体概念研究)	-	
機体仕様	巡航マッハ数	2.05	1.4-1.8	2.05	
	航続距離(km)	6,380	5,560-9,265	10,190	
	乗客	100pax.	8-19pax.	250pax	
	全備重量(ton)	約185	約45-63	約340	
性能目標	経済性	揚抗比	7.3 @巡航(推定)	-	9.4 @巡航(推定)
		空虚重量比	0.49	-	0.41(推定)
		燃料消費率	1.2 @巡航(推定)	-	1.1 @巡航(推定)
		エンジン推重比	5.4 @地上静止	-	-
		機体性能指標*	8.9	-	15.6
	環境適合性	ソニックブーム強度	DP=2-3psf	DP < 15-50Pa (DP < 0.3-1.0psf)	DP < 1psf
		離着陸騒音レベル	-	Chap.4 ~ Chap.4 - 8dB	chap.3
		窒素酸化物排出量	EI ~20(推定)	EI < 5-10	EI < 5

\*機体性能指標: 巡航マッハ数 × 揚抗比 × Ln(1/空虚重量比) / 燃料消費率 DP:ソニックブームによる圧力上昇量 EI: 排出指標(g/kg)

# 参考資料

## 現状の技術到達度 小型超音速旅客機

		目標値	現状値		
			米国	日本	
性能目標	経済性	揚抗比	8.0-8.7 @マッハ2.0	7.8 <sup>*1</sup>	7.9
		空虚重量比	0.44	0.44 <sup>*2</sup>	0.44
		燃料消費率(kg/kgf・hr)	1.15 @巡航(M2)	1.15@巡航(M2.0) <sup>*4</sup>	1.15@巡航(M2.0) <sup>*4</sup>
		エンジン推重比	3.0 @地上静止	4.0 <sup>*2</sup>	3.0(ESPR技術) <sup>*5</sup>
		機体性能指標*	10.0(M1.6) -12.4(M2.0)	10.7(M2.0)	10.8(M2.0)
環境適合性	ソニックブーム強度	DP < 0.5psf	DP ~ 0.8-0.9psf*3	(DP ~ 0.5psf) <sup>*6</sup>	
	離着陸騒音レベル	Chap.4 -α dB	Chap. 3 <sup>*2</sup>	Chap.3 -3dB (ESPR技術) <sup>*5</sup>	
	窒素酸化物排出量	現状技術	EI = 7 - 15 <sup>*2</sup>	EI = 5 (ESPR技術)	

\* 機体性能指標: 巡航マッハ数 × 揚抗比 × ln(1 / 空虚重量比) / 燃料消費率

\*1 NASA資料に基づく推定値

\*2 NRC報告書に基づく推定値

\*3 DARPAのQSP計画で実施した飛行実験結果に基づく試算(低減量約20%)

\*4 マッハ2エンジン現状技術(概念検討レベルではM1.6エンジンで0.92~1.02が可能)

\*5 M2.5エンジンの低騒音ノズルの場合(概念研究レベルではM1.6エンジンで推重比4~5が可能)

\*6 JAXA多目的最適設計ツールによる設計及び解析結果



# 参考資料

## 現状の技術到達度 大型超音速旅客機

		目標値	現状値		
			米国	日本	
性能目標	経済性	揚抗比	9.5-10.5 @マッハ2.0	8.5 <sup>*1</sup>	8.6
		空虚重量比	0.37-0.41	0.44 <sup>*1</sup>	0.44
		燃料消費率(kg/kgf・hr)	1.1 @巡航(M2)	1.15@巡航(M2.0) <sup>*4</sup>	1.15@巡航(M2.0) <sup>*4</sup>
		エンジン推重比	4.0-6.0 @地上静止	4.0 <sup>*2</sup>	3.0(ESPR技術) <sup>*5</sup>
		機体性能指標*	16.9(M1.6) -18.5(M2.0)	11.6(M2.0)	11.8(M2.0)
環境適合性	ソニックブーム強度	TBD	DP ~ 2.4psf <sup>*2</sup>	(DP ~ 1.5psf) <sup>*6</sup>	
	離着陸騒音レベル	Chap.4 -α dB	Chap. 3 <sup>*2</sup>	Chap.3 -3dB (ESPR技術) <sup>*5</sup>	
	窒素酸化物排出量	EI < 5	EI = 7 - 15 <sup>*2</sup>	EI = 5 (ESPR技術)	

\* 機体性能指標: 巡航マッハ数 × 揚抗比 × ln(1 / 空虚重量比) / 燃料消費率

\*1 NASA資料に基づく推定値

\*2 NRC報告書に基づく推定値

\*3 DARPAのQSP計画で実施した飛行実験結果に基づく試算(低減量約20%)

\*4 マッハ2エンジン現状技術(概念検討レベルではM1.6エンジンで0.92~1.02が可能)

\*5 M2.5エンジンの低騒音ノズルの場合(概念研究レベルではM1.6エンジンで推重比4~5が可能)

\*6 JAXA多目的最適設計ツールによる設計及び解析結果