

# 静粛超音速機技術研究開発 研究開発の手法について

---

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. 技術目標達成のアプローチ
  - 1.1 技術課題解決のためのアプローチ
  - 1.2 飛行実証の必要性及び規模
  - 1.3 研究機の概要
  - 1.4 技術課題実証を確実にするための対応
  
2. 期待される成果および効果
  - 2.1 プロジェクトの成果
  - 2.2 飛行実証により得られる意義
  - 2.3 超音速機実現への効果及び技術波及効

# 1. 技術目標達成のアプローチ

## 1.1 技術課題解決のためのアプローチ(飛行実証)

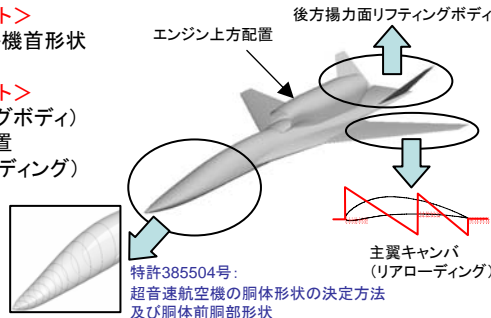
### 研究機への低ブーム・低抵抗コンセプトの適用

#### <先端ブーム低減コンセプト>

- ・低ブーム/低抗力特許機首形状
- ・前胴ドループ

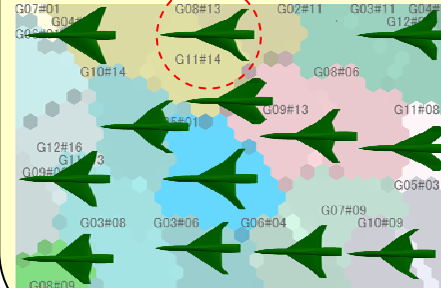
#### <後端ブーム低減コンセプト>

- ・後胴揚力面(リフティングボディ)
- ・エンジンナセル上方配置
- ・主翼キャンバ(リアローディング)

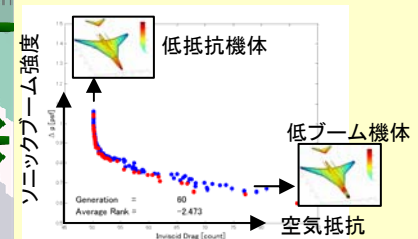


### 多分野・多目的統合最適化設計技術の開発

- (a) 多分野統合最適設計による平面形状探索
- (b) パネル法による多目的最適化
- (c) CFD(Euler)により、推進系を含めた全機統合空力最適設計



(a) 多分野統合最適設計



(b) パネル法による多目的最適化

### 騒音遮蔽機体コンセプト

### 最終成果

#### 小型SST性能評価(予測)

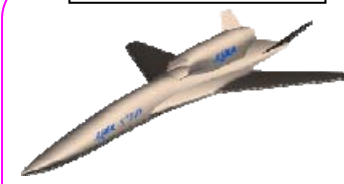
多分野・多目的最適化設計技術の効率化・高度化



#### ICAO基準策定作業に反映

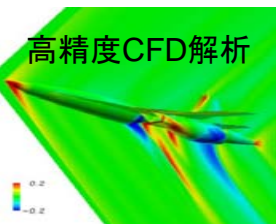
- (a) 低ブーム設計技術の実証結果
- (b) ブーム伝播解析技術(大気擾乱等)
- (c) ブーム計測技術
- (d) ブーム受容技術(ブームシミュレータによる評価)

### 研究機の開発



多分野多目的統合最適設計技術の適用

### 検証解析・試験



飛行実証  
(含システム統合技術)

# 1. 技術目標達成のアプローチ

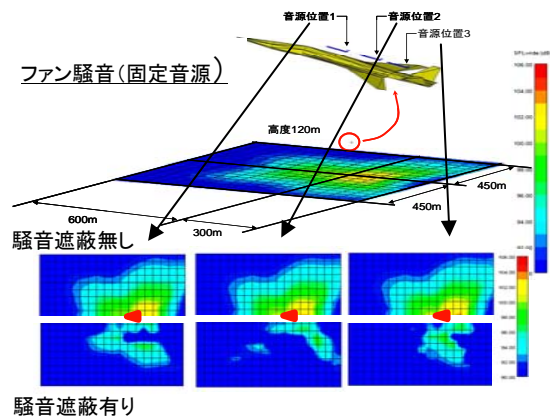
## 1.1 技術課題解決のためのアプローチ(技術研究)

### 離着陸騒音低減

#### 騒音遮蔽設計技術

- ・騒音遮蔽機体コンセプト
- ・騒音予測技術

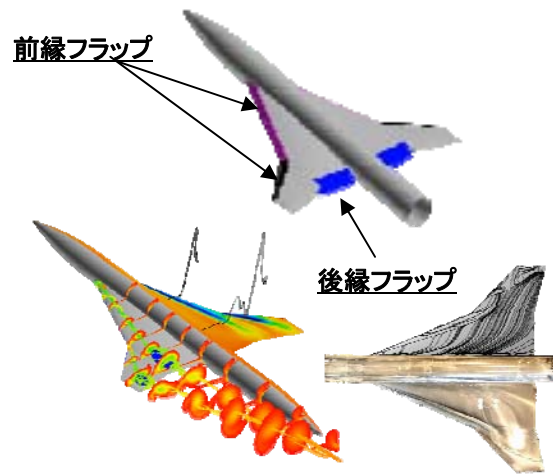
- 騒音遮蔽機体コンセプトの適用設計を実施
- シミュレーション、小型模型機・研究機による飛行実験等により、騒音遮蔽設計効果の検証
- 騒音予測(騒音特性・伝播特性)ツールの開発・高度化
- SST実機での騒音遮蔽性能評価



#### 高効率高揚力装置設計技術

- ・高揚力装置技術
- ・低速高迎角CFD技術

- 前・後縁フラップの形状設計を実施
- シミュレーション及び風洞試験により検証
- 低速高迎角状態のSST周りの流れを高精度に解析するツールの開発・高度化
- これを用いてSST実機での低速性能評価



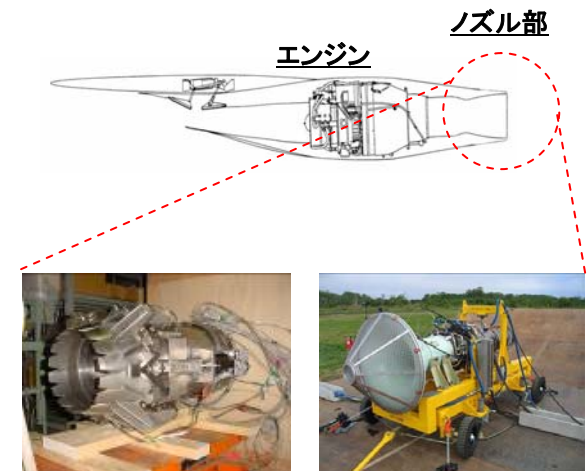
低速高迎角CFD

低速風洞試験

#### ノズル技術

- ・低騒音可変ノズル技術

- 軽量な低騒音可変ノズル設計を実施
- シミュレーション及び地上エンジン試験等により性能評価及び可変機構・制御技術の実証
- シミュレーション及び試験データ補正等により実機性能を評価



低騒音可変ノズル開発

騒音データ取得試験

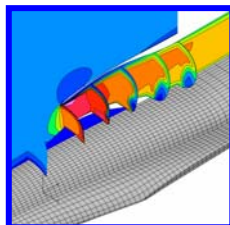
# 1. 技術目標達成のアプローチ

## 1.1 技術課題解決のためのアプローチ(技術研究)

### 低抵抗化

層流化技術  
全機統合空力最適技術

- NEXST-1で開発した自然層流翼設計解析ツールの高度化、汎用化
- 自然層流機首・胴体設計コンセプト研究及びその解析ツールの開発
- シミュレーション及び風洞試験によるSST実機評価
- リブレット等の摩擦制御技術の超音速風洞試験での確認
- 推進系設計を統合した全機空力統合最適設計技術のSST実機への適用



インテーク統合CFD解析

### 軽量化

耐熱複合材料特性評価  
複合材料構造製造技術  
空力弾性予測技術

- 耐熱複合材料(ポリイミド系樹脂)の耐熱性、機械特性のデータベース取得
- SST実機適用構造様式の製造技術開発を大部分試作・試験等により技術実証
- フラッタ特性把握予測ツールの開発、高度化、風洞試験による確認



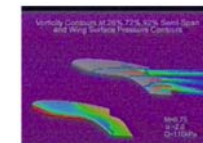
ポリイミド系樹脂試験片



複合材の部分試作



フラッタ風洞試験



フラッタ解析

# 1.2 飛行実証の必要性及び規模

## 【飛行実験計画】

### 低ソニックブーム設計効果とそのロバスト性の確認を行う飛行実証の実施

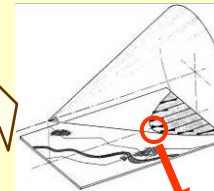
飛行実験概要：離陸～超音速飛行～着陸までの自律飛行

主計測内容：ソニックブーム計測、離着陸騒音計測

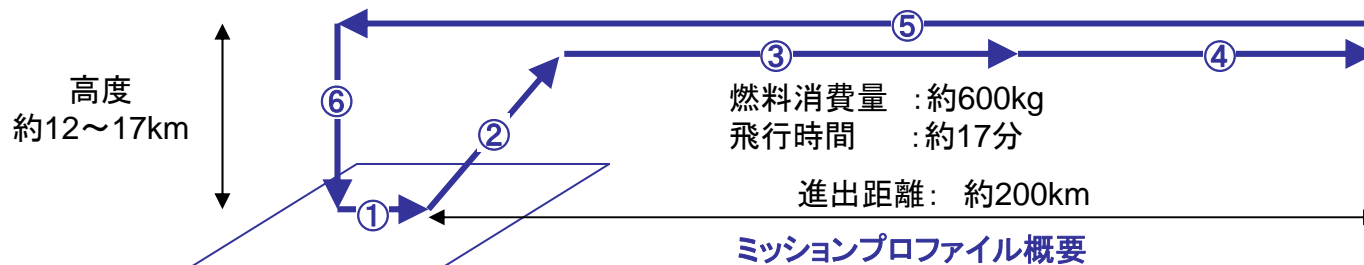
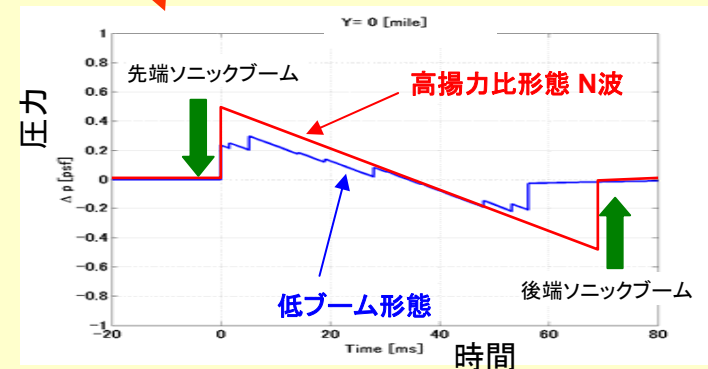
飛行実験回数：大気状態、マナーバ等による影響確認および他形態のソニックブーム波形の直接比較に最低限必要な回数(20~30回)を確保



### 低ソニックブーム設計技術の実証方法案



- ・研究機の形態を変えて圧力の差分(下図の矢印分)を見る
- ・大気状態等の変化に対して強靱なソニックブームの低減効果を示す



- ①離陸
- ②上昇
- ③加速
- ④試験
- ⑤巡航
- ⑥降下・着陸

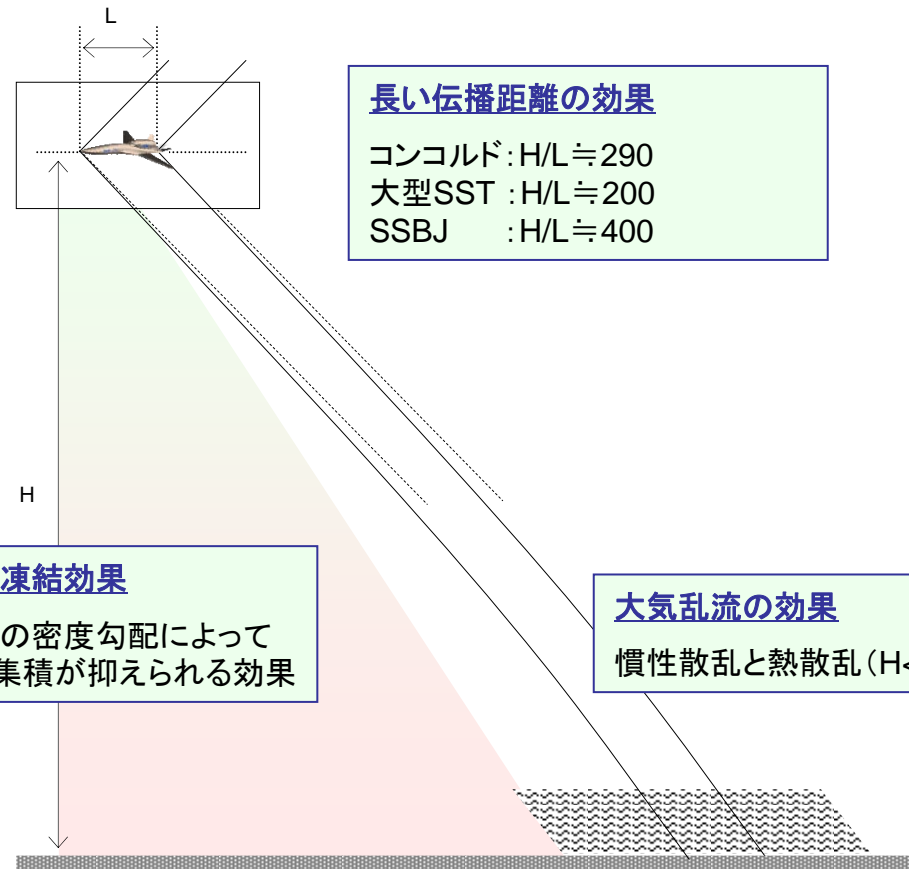
## 1.2 飛行実証の必要性及び規模

### 【飛行実証の必要性】

1. 長い伝播距離の効果
2. 高度方向大気分布効果(実在大気凍結効果)
3. 大気乱流の効果(統計的ロバスト性の実証)

#### 風洞試験では、困難

- ・環境の模擬が困難
- ・ブーム計測(圧力)が困難
- ・風洞模型サイズ加工精度が非現実的



- ・数十  $\mu\text{m}$  間隔の圧力計測要
- ・既存の風洞 (2m) を用いて試験を実施するには、10mm程度の極小模型(加工精度  $1\mu\text{m}$ ) が必要

大気乱流効果・実在大気凍結効果のシミュレーションモデルを確立するためにも飛行実験データが必須。  
特に弱いブーム(低ブーム)の飛行実験データはない。

# 1.2 飛行実証の必要性及び規模

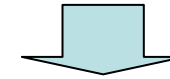
## 【既存超音速機利用の可能性】

### 既存機のブーム計測での検証ができるか？

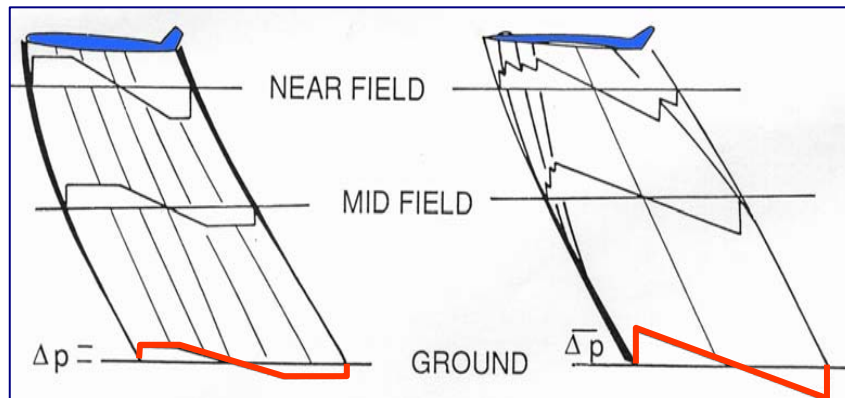
- ・ブーム波形はN波に限定される。
- ・N波は、既に衝撃波が集積した後の波であるため、その観測データからは、低ブーム波形を扱う理論の検証は出来ない。

### 既存機で低ブーム化機体を実現できるか？

- 既存機の先端を改修して実施した例(NASA)では、後端低ブーム化を行っていない。(出来ない)
- 後端低ブーム化には、機体形状を統合的に再設計する必要がある。

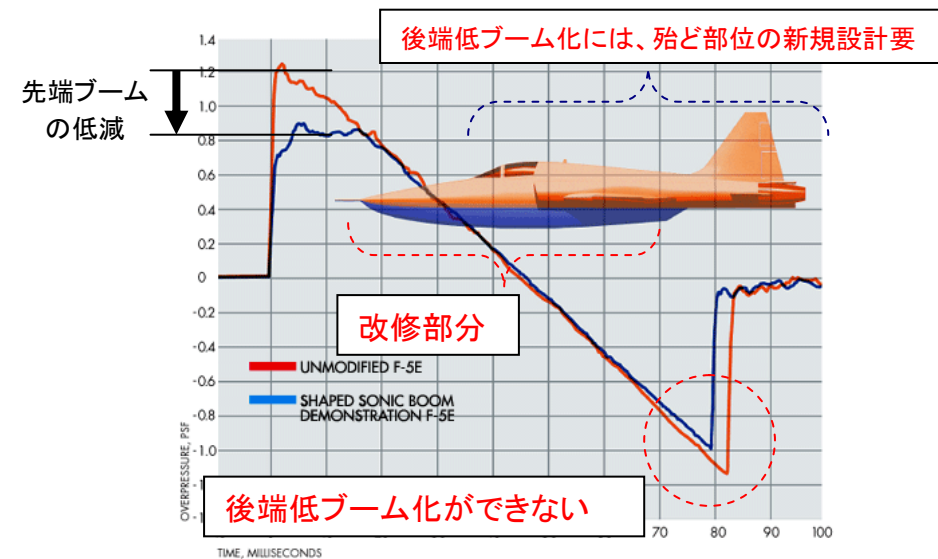


新規設計の方が容易



低ブーム波形

N波(既存機)



(出典: NASA)

既存機(F-5E)の改修例(世界唯一の例)

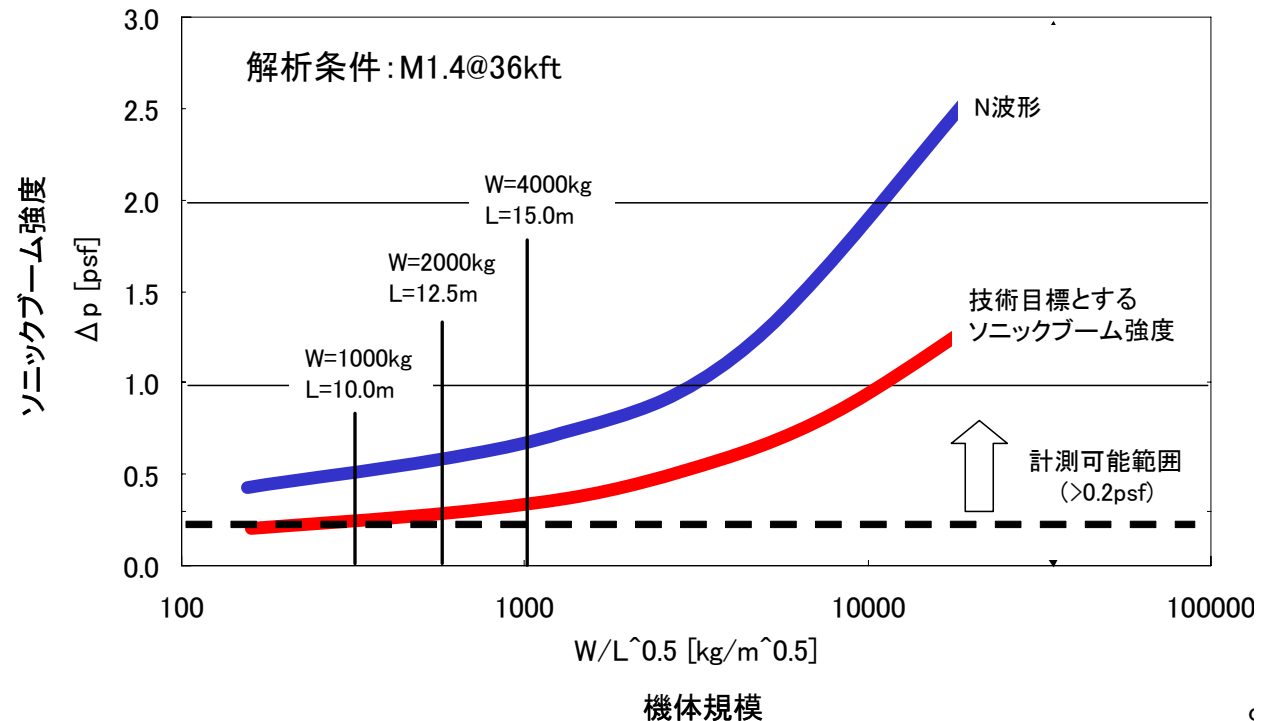
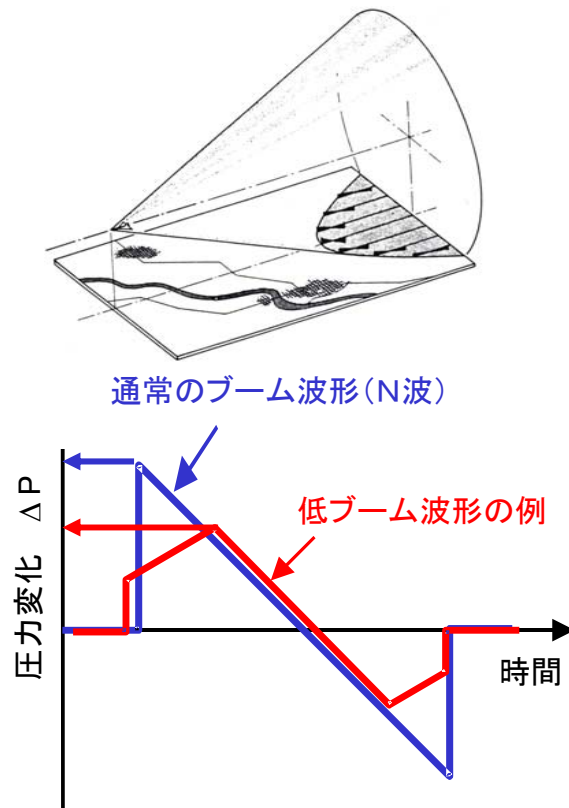


## 1.2 飛行実証の必要性及び規模

### 【要求される機体規模】

#### 地上計測の計測分解能から機体規模の設定

- 地上における計測可能な圧力変動量は0.2psf (約8 pa) 以上必要
- 低ブーム波形において上記圧力変動を生じるためには2トン以上の機体規模



## 1.3 研究機の概要

### 【設計開発方針】

#### (1) 低ソニックブーム設計技術の実証に必要最小限の機体規模・システム

- 無人機
  - ▶ プロジェクトの対象とする課題の実証は有人／無人どちらでも可能
  - ▶ 開発コストの削減に有効
- 自力推進
  - ▶ 離着陸騒音低減技術、コンピュータ設計技術の全機適用に不可欠
- 自律飛行
  - ▶ 自動離着陸～超音速飛行を可能とするシステム統合技術は技術課題の一つ

#### (2) コンピュータ設計技術を積極的に活用した機体設計

#### (3) 開発リスクの高い技術或いはJAXA得意技術ではJAXAが設計を直接実施

- 空力設計技術
  - ▶ 低ソニックブーム・低抵抗機体コンセプト、騒音遮蔽機体コンセプトを実現する機体形状設計
- 推進設計技術
  - ▶ 高効率化・軽量化を目指したインテーク設計
- 構造設計技術
  - ▶ 複合材主翼構造の適用
- 飛行制御技術
  - ▶ 誘導飛行制御技術の適用

#### (4) JAXAの無人機開発成果(小型超音速実験機、高速飛行実証機等)を反映

#### (5) JAXAの無人機安全基準を満足するシステム

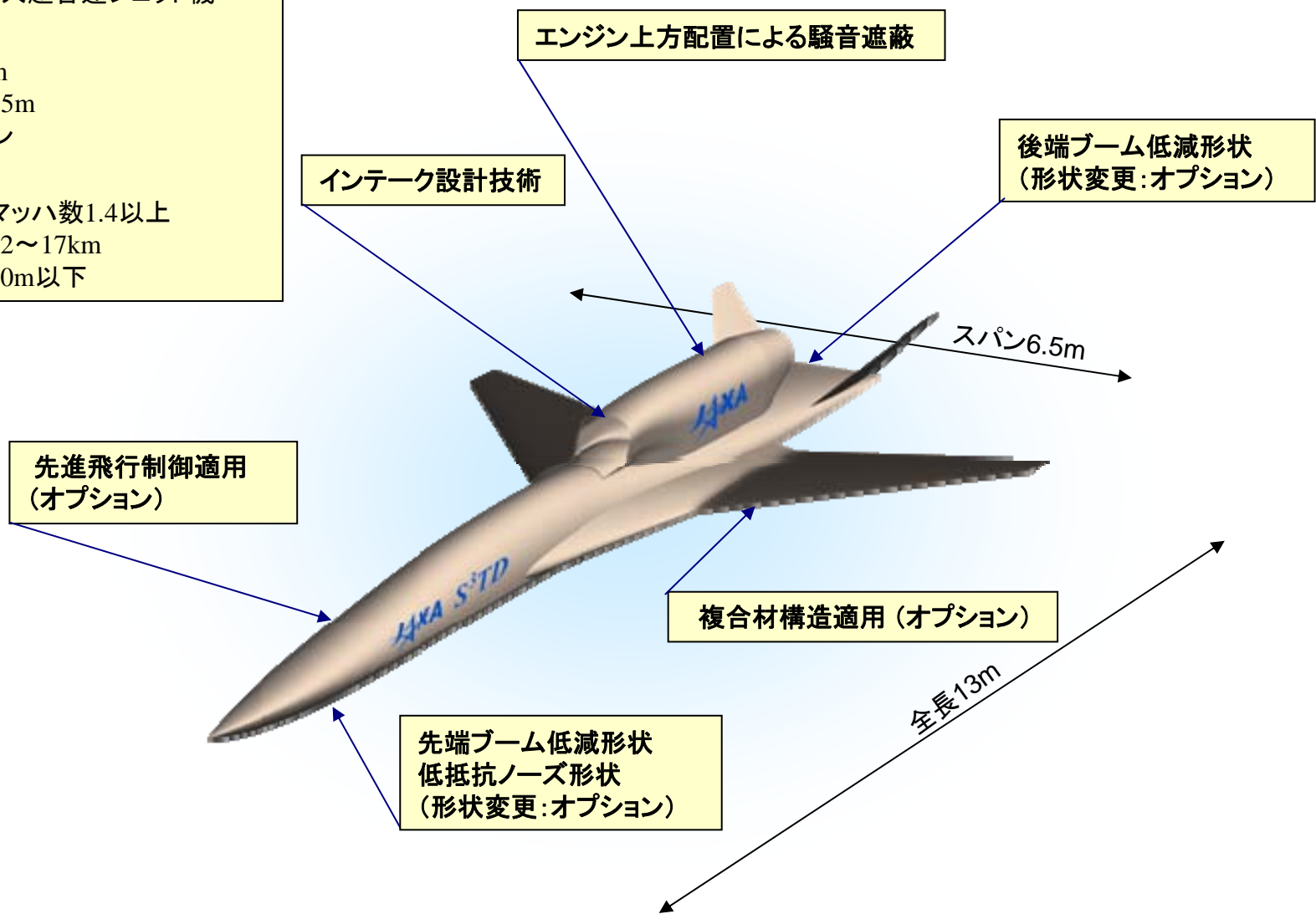
# 1.3 研究機の概要

## 【研究機のイメージ】

**機体形態**  
完全自律無人超音速ジェット機

**機体規模**  
全長: 約13m  
スパン: 約6.5m  
重量: 約3トン

**目標性能**  
試験速度: マッハ数1.4以上  
試験高度: 12~17km  
離着陸: 1200m以下



## 1.4 技術課題実証を確実にするための対応

技術研究における技術課題に対しては、研究の着実な推進を行うことにより大きなリスク無しに達成することが可能であると考えられるが、飛行実験における『ソニックブーム強度半減』に対しては、以下の様なハザードと対応が想定される。

分類	ハザード	対策
研究機の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計段階で想定しなかった開発課題が生じる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基本設計前からメーカ委託業務の中にリスク分析を織り込む。</li> <li>・基本設計段階から事前の十分な解析、シミュレーション、地上試験等を行い、リスクの早めの洗い出し、低減に努める。</li> <li>・既存技術の適用限界を見極めつつ、開発効率化のために有効に利用する。</li> </ul>
飛行実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソニックブーム波形を取得することが出来ない。</li> <li>・計測データがN波になる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛高度に幅を持った研究機の機体設計、ブーム形状設計を行っておく。 (飛高度を下げると、ブーム強度を増すことが出来る)</li> <li>・ブーム計測システムの開発の際、計測精度の向上、試験確認等に努める。</li> <li>・飛行船や無人滑空機等高度数kmを航行し、ブーム計測が可能な計測手段を準備しておく。</li> </ul>
	ハードウェアの不具合	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上試験或いは飛行試験(飛行実験を始める前の飛行機としての性能評価用飛行)の試験項目を十分検討し、漏れの無い開発を推進する。</li> </ul>
	実験場の飛行安全要求変更によるシステム変更	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験場の候補に対し、プロジェクト進捗状況及び飛行安全システム構成等を出来るだけ早めに連絡し、事前調整を十分行う。</li> <li>・飛行実験計画内容のディグレード</li> </ul>
	実証時期の遅延による国際的評価の低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計手法が固まった段階で特許を取得し、権利を担保する。</li> <li>・特許を確保しつつ、適宜論文発表を行い世界にアピールし続ける。</li> <li>・国際的動向を常にウォッチし、柔軟な対応をとる。</li> </ul>

## 2. 期待される成果および効果

### 2.1 プロジェクトの成果

技術項目	成果の内容
低ソニックブーム・低抵抗設計技術	飛行実験結果等に基づき実機適用評価された、後端ソニックブームも含めてソニックブーム強度を半減し、かつ抵抗増を抑えた、離着陸から超音速巡航までを可能とする機体形状(実機形状として提示)
システム統合技術	離着陸から超音速巡航を可能とする超音速機システム技術及び無人機技術が適用された研究機および飛行実験結果
低抵抗化技術	地上試験結果等に基づき実機適用評価された、揚抗比8.0以上を可能とする、摩擦抵抗低減技術、及び造波抵抗・誘導抵抗低減技術 (翼胴・推進系統合設計、主翼ワープ等)
軽量化技術	地上試験結果等に基づき実機適用評価結果された、構造・装備重量の12%低減(TBD)を可能とする、複合材構造技術、高性能軽量なインテーク・ノズル技術
騒音低減技術	・地上試験結果等に基づき実機適用評価された、Chapter4を満足する軽量・低騒音ノズル技術(可変機構)、高効率・高揚力装置設計技術(フラップ技術) ・地上試験結果等に基づき実機適用評価された、離着陸時のエンジン騒音を機体により遮蔽して騒音低減する機体形状(実機形状として提示)
多目的最適化設計ツール	飛行実験や地上試験により検証された、低ソニックブーム・低抵抗機体形状設計を行う多目的空力最適化設計ツール(含:ソニックブーム伝播解析ツール)
多分野統合解析ツール	飛行実験や地上試験により検証された、空力・構造、空力・音響の2分野連成解析ツール(含:プロセス自動化の統合解析環境)

## 2. 期待される成果および効果

---

### 2.2 飛行実証により得られる意義

#### 2つの世界初技術をデモンストレーション

- 低ブーム、低抵抗を両立させる超音速旅客機設計技術
- 亜音速から超音速まで無人完全自律飛行の実現

#### システム統合技術の蓄積、向上

- 超音速機開発に関わる基盤技術の高度化
- NEXST-1の開発に続く日本の航空機開発技術及び経験値の向上
- 産学官が一体となった日本の航空業界の結束力向上

#### わが国のコンピュータ設計技術の向上

- コンピュータ設計技術のツール整備
- コンピュータ設計技術の世界へのアピール

## 2. 期待される成果および効果

### 2.3 超音速機実現への効果及び技術波及効果

#### ◆超音速旅客機実現への効果

- **小型超音速機の陸上超音速飛行を可能とし、大型超音速機の海上超音速飛行を保障する**
  - 低ソニックブーム・低抵抗機体コンセプトとそれを実現する技術により超音速輸送機実現の最大の課題を解決する
- **超音速旅客機の経済性を確保する**
  - コンコルドの課題の一つ、事業性の悪さを燃費性能改善することで解決する
- **日本における航空技術基盤の高度化と、国際競争力の確保に資する**
  - 静粛超音速機技術とそれを実現するシステム統合技術は高い技術レベルを必要とする
  - 静粛超音速機技術を世界に先駆けて飛行実証することにより、国際競争力を確保し、国際共同開発へ主体的な参画を可能にする
  - 無人航空機のシステム設計技術の獲得
- **イノベーション創出への足がかり**
  - 全世界的な高速移動を可能とする次世代航空輸送システムの基盤技術となる

#### ◆技術波及効果

- **設計の信頼性の向上と、設計期間の大幅な短縮を可能にする**
  - 先進的なコンピュータによる設計ツールを設計初期段階へ適用可能にすることにより、設計精度・信頼性の向上や今までにないコンセプトの創出等、経験則による従来の設計の問題点を解決する
  - 設計初期段階での詳細な検討・評価を可能にすることで、設計サイクル数、開発リスク等を削減し、コストと開発期間を減らすことを可能にする
- **他の「ものづくり」産業に貢献する**
  - 技術先導性の高い航空機分野における実用化は他産業にも波及し、日本の産業基盤と競争力強化につながる