

【事前評価補足資料】

超音速機統合設計技術の研究開発について

平成27年12月24日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

◆ 欧米の最新動向

- NASAは超音速旅客機に関する技術研究開発を進めるとともに、ソニックブーム基準策定を目指した有人低ブーム実証機(LBFD)の開発を計画している。
- 欧州ではダッソーとエアバスが国際ソニックブーム基準策定への貢献を掲げたEUプロジェクトRUMBLEを計画している。
- 2014年9月、米国Aerion社は機体の開発・製造・マーケティング・サポートを支援するOEMのパートナーとしてエアバス社と合意した。また、2015年11月、米国Aerion社の超音速ビジネスジェット機AS2(2023年就航予定)が、Flexjet社から20機の確定発注を受けたと報道された。

◆ JAXAの研究開発

- JAXAでは1997年より次世代超音速機技術研究開発(NEXST)、2006年より静粛超音速機技術の研究開発(S3)を進めてきた(参考1~4)。
- 2015年にはD-SEND飛行実証成果をICAOの基準策定検討に展開する一方、静粛超音速機技術の研究開発に反映し、2006年当時に超音速機の実現に必要であるとされた4つの技術目標の達成に技術的な目途を付けた(参考5)。また、All JAPAN体制構築の基礎ができた(参考6)。

◆ JAXAの技術戦略とそれに基づく研究計画を見直す時期

- D-SENDの成功により国際競争力を確固たるものにする素地が出来た
- NASAのLBFD等の計画(参考7)の進行状況、ブーム基準が明確になりつつあること(参考8)
- ICAOの離着陸騒音に関する基準がChap.4からChap.14に更新されること(参考9)

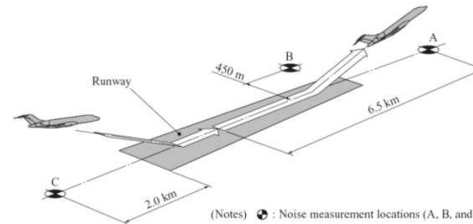
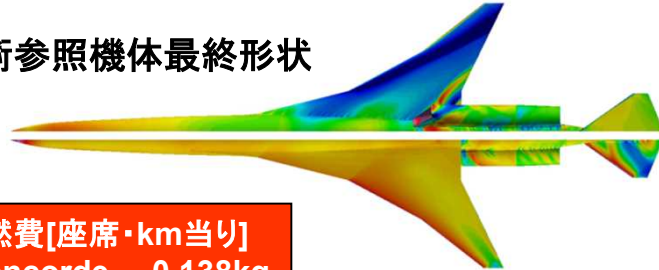
NEXST/S3で獲得した技術レベル

■ 小型超音速旅客機



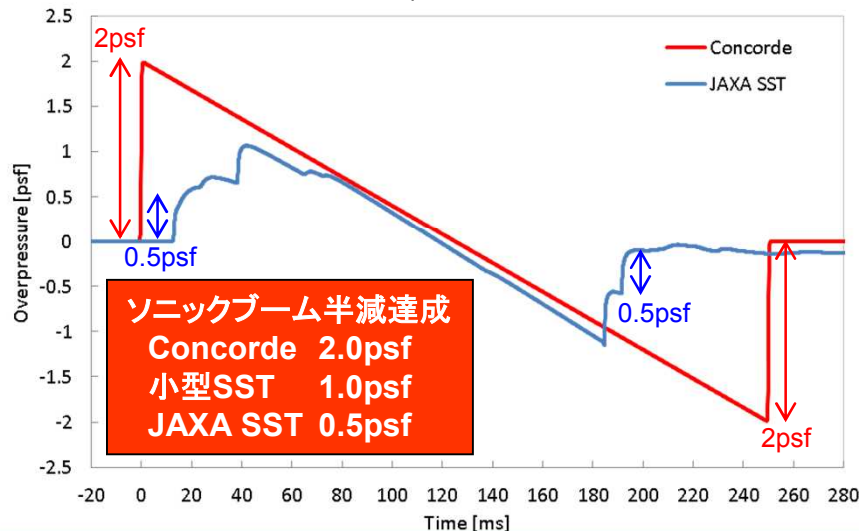
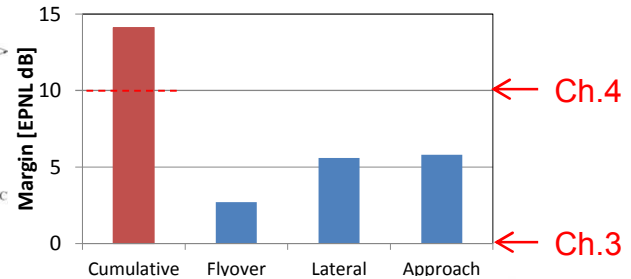
乗客数：36-50人
 巡航速度：マッハ1.6
 航続距離：3,500nm以上
 離陸重量：60~70トン
 運賃レベル：ビジネス正規料金の約1.1倍

技術参照機体最終形状

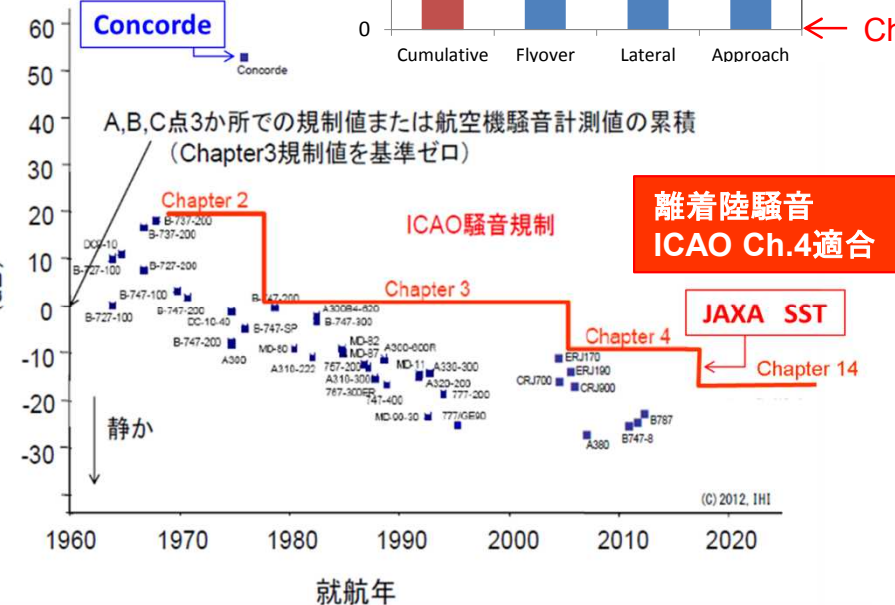


燃費[座席・km当り]
 Concorde 0.138kg
 JAXA SST 0.102kg

揚抗比8.0以上達成
 (Concorde揚抗比7.0)



既存航空機の騒音と騒音規制値の変遷 (dB)



超音速機実現に向けた技術目標のアップデート

- ◆ 環境適合性と経済性は相反関係にある。
- ◆ 環境適合性能を向上させることは経済性能も同時に向上させることが必須である。

経済性

低抵抗化 ⇒ 目標維持

航続距離を伸ばすために必須
抵抗を1%下げると3%乗客を増やせる

技術目標:揚抗比 8.0以上

NEXST成果をベースとする(JAXAコア技術)

軽量化 ⇒ 目標維持

航続距離を伸ばすために必須
機体規模が小さくても効果のある構造設計技術を確立する

技術目標:構造重量15%減

S3成果をベースとする

環境適合性

ソニックブーム低減 ⇒ アップデート

陸上超音速飛行を可能にするために必須
ICAO議論の進捗を見据えて目標を定量化する

技術目標:半減→ICAO基準(○○PLdB)適合

D-SEND成果をベースとする(JAXAコア技術)

離着陸騒音低減 ⇒ アップデート

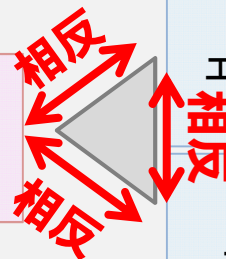
亜音速機と同じ騒音基準への適合が必須
ICAO基準はChap.4から14に(2017EIS)強化される

技術目標:ICAO基準 Chap.4→Chap.14適合

S3成果をベースとする

巡航性能

エンジンに乱れを入れない(翼下面配置)
バイパス比を小さく設定(ナセルを細くする)



ソニックブーム

エンジンの影響を機体で遮蔽する(側胴/翼上配置)
バイパス比を小さく設定(ナセルを細くする)

離着陸騒音

エンジン騒音を機体で遮蔽する(側胴/翼上配置)
バイパス比を大きく設定(ナセルが太くなる)

◆ 研究開発の方針

- ① JAXAはD-SEND成果(計測技術等)を元に、LBFD計画に積極的に関与することでソニックブーム基準策定に技術的に貢献し、そこで得られた情報を国際競争力強化に役立てる。
- ② 3年後にプリプロ化を目指して着実に技術に磨きをかけ、4年後を目途にプロジェクトによる技術実証構想に移行し、全体で10~15年を目途とする技術実証を目指す。→2025年頃~2040年頃に本格化すると想定される実機開発シナリオに間に合わせる。(p.9ロードマップ参照)

◆ 研究開発の目的

- ① NEXSTにより実証された抵抗低減技術とD-SENDにより実証された低ブーム設計コンセプトを核に、超音速機が旅客機として成立するためのキーとなる低ブーム/低抵抗/低騒音/軽量機体設計技術を技術実証を通じて確立する。
- ② 研究開発を通じて、超音速旅客機の国際共同開発における参画割合を最大化するよう、我が国の産官学を一体化した研究開発体制を構築して競争力を確保する。

◆ 活動の柱

- ① :ブーム基準策定への貢献
ICAOの検討、NASAの試験等に積極的に関与し、早期に基準が策定されるよう貢献する。
- ② :国際競争力強化
2025年頃までに我が国産業界がAerionに対する競争力を確保するよう低ブーム技術で差別化できるだけの設計技術を獲得し、2030年頃の小型超音速旅客機の国際共同開発事業が立ち上がるまでに技術実証を完了する。

□ ブーム基準策定への貢献に向けた取り組み

WP1: 協調的な対外活動の推進

- ICAO CAEPのブーム基準策定に対して協力するとともに、各国の動向／戦略等の情報収集を図る。
- NASA Lbfd計画に対する協力は、これまでできていない設計技術分野の連携にも踏み込んだ活動を行う。

□ 小型SST国際共同開発における競争力強化に向けた取り組み

WP2: 産学官を一体化した研究開発体制の構築

- 産学を一体化したイノベーションハブをモデルにした研究開発体制の構築を図る。
- 静粛事業で成果を挙げた公募型共同／委託研究制度を引き続き活用して技術開発を効率的に実施する。

WP3: 要素技術研究(参考6)と4つの技術目標を満足する機体の提示

- 最速のケースとしてICAO CAEP/11(2019)までにソニックブーム基準の定量化が進み、NASA Lbfdによるコミュニティ試験が実施され、CAEP/12(2022)でソニックブーム基準が策定され、その結果として低ブーム小型超音速旅客機の国際共同開発事業が立ち上がることを想定して研究開発を進める。
- 機体性能に訴求する鍵技術はD-SEND#2で実証した低ブーム設計技術であり、相反する要求である低抵抗化や離着陸騒音低減化と両立し得る技術とすべく磨きをかける。

WP4: 技術実証計画の立案

- 現状でも確保している欧州に対する優位性を絶対的なものとし、米国に対しても優位性を獲得できる実証計画を立案する。
- ビジネス的な視点に基づく競争力確保の観点から、プロトタイプレベルから地上実証レベルまで複数のプランを視野に入れる。

WP5: 技術実証プロジェクト(将来構想)

- 4年後を目途にプロジェクトとして立ち上げることを想定する。

➤ 基本方針

- 基準策定に貢献することで基準値の動向および海外の技術力に関する情報収集を図り、我が国の研究開発に反映する。
- D-SENDの後継事業としてその活動を定義する。

➤ ICAOへの対応方針

- ICAO CAEPに対して、引き続き超音速RFPとしてソニックブーム基準策定に対して助言するとともに、超音速機タスクグループに参加し、ブーム基準策定に貢献する。
- 一方で各国の超音速機研究開発状況やブーム基準に対する戦略等につき情報収集を図り、適宜研究開発計画に反映する。(特にAerion社が主張するMach cut-offに対する基準策定動向については注視する。)

➤ NASA LBFD計画への対応方針

- NASAが進めるLBFD計画に対しては、ICAOにソニックブーム基準を早期に策定させる観点から可能な限り協力する。そのため静粛事業で築いたNASAとの協力関係を活用し、飛行試験におけるソニックブーム計測や、コミュニティ調査試験結果の評価で貢献する。
- 一方、NASAは低ブーム設計技術の開発に関しては米国内のみの枠組みで実施する方針のため、AIAAのソニックブーム推算ワークショップにおけるNASA N+2形状の検証活動により情報収集を図るなど可能な限りLBFD設計への関与を図る。

国際競争力確保の考え方（シナリオ）

➤ 最速のケースとして想定すべき条件

- ICAO CAEP/11(2019)までにソニックブーム基準の定量化が進み、NASA LBFDによるコミュニティ試験実施が想定される。この場合、CAEP/12(2022)で基準が策定される可能性が高い。
- その結果として低ブームビジネスジェット開発(2030頃EIS)や低ブーム小型超音速旅客機の国際共同開発事業(2030頃立上げ、2040頃EIS)が立ち上がると考えられる。(p.9ロードマップ参照)

➤ 我が国の対応方針

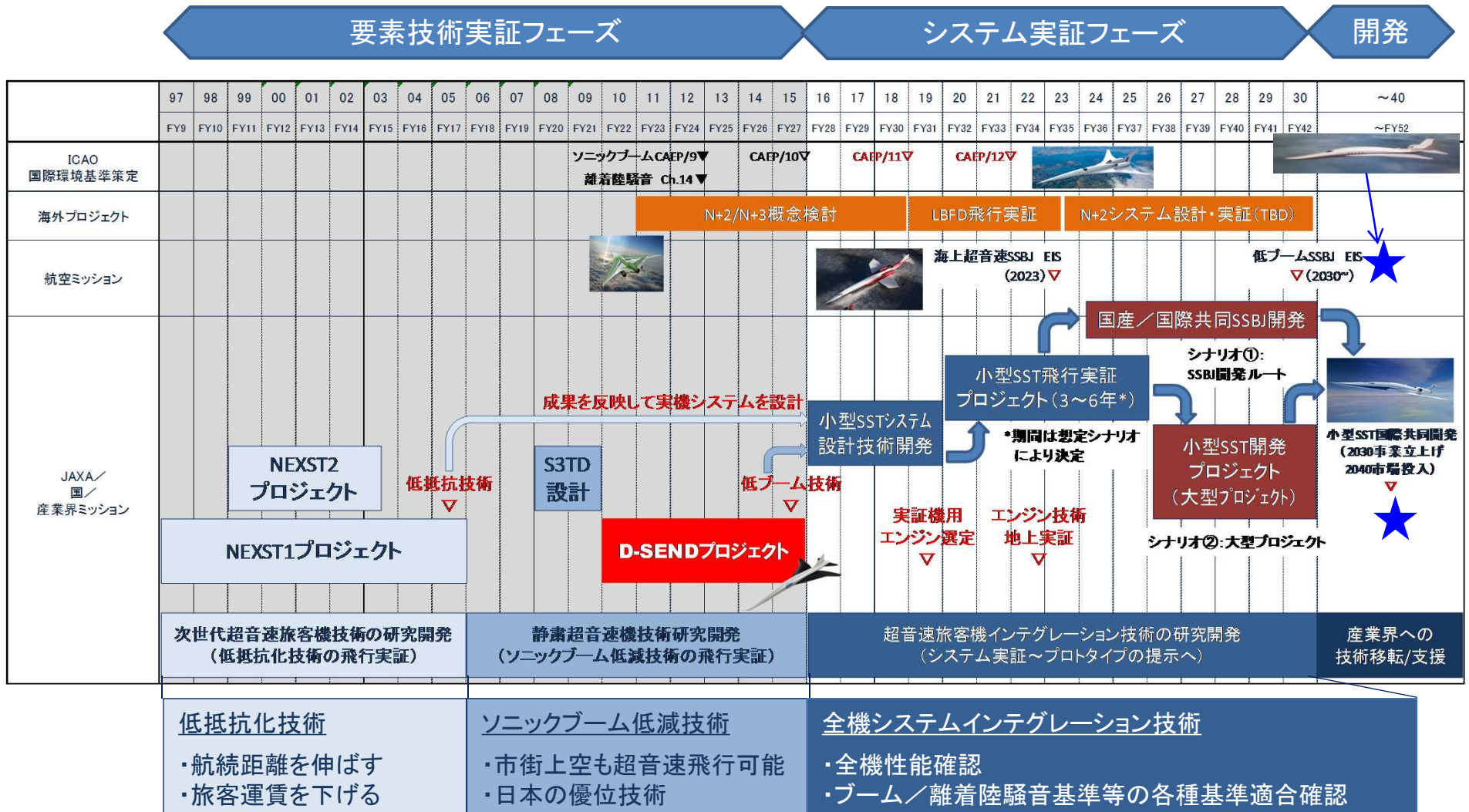
- 国際共同開発事業が立ち上がるまでに機体性能に訴求する鍵技術を世界に先駆けて実機システムレベルで実証し、計画段階からの参画によりシェアを最大化することを目指す。
- 機体性能に訴求する鍵技術はD-SEND#2で実証した低ブーム設計技術であり、相反する要求である低抵抗化や離着陸騒音低減化と両立し得る技術とすべく磨きをかける。
- その技術を実機システムとして成立するレベルで技術実証(飛行実証)することにより、欧州に対する優位性を確保し、米国に対しても優位性を獲得することを方針とする。
- そのためにはCAEP/11サイクル(2016-19)中に技術に磨きをかけるとともに技術実証構想を固め、CAEP/12サイクル(2019-2022)と並行して実証機開発・飛行試験を進める。

➤ 方針設定の根拠

- これまでの超音速機開発では結局ソニックブームの問題を乗り越えられなかった経緯があり、2003年のSSBD以降の欧米の動向／ICAOの基準検討は、概ねソニックブーム低減技術開発／ソニックブーム基準策定が将来超音速旅客機実現の鍵であることを示している。
- D-SEND#2の成果を得た現在、JAXAは低ブーム設計技術という鍵技術においては欧州に対しては優位性を持っており、米国とも対等な状況にあると言って良い。

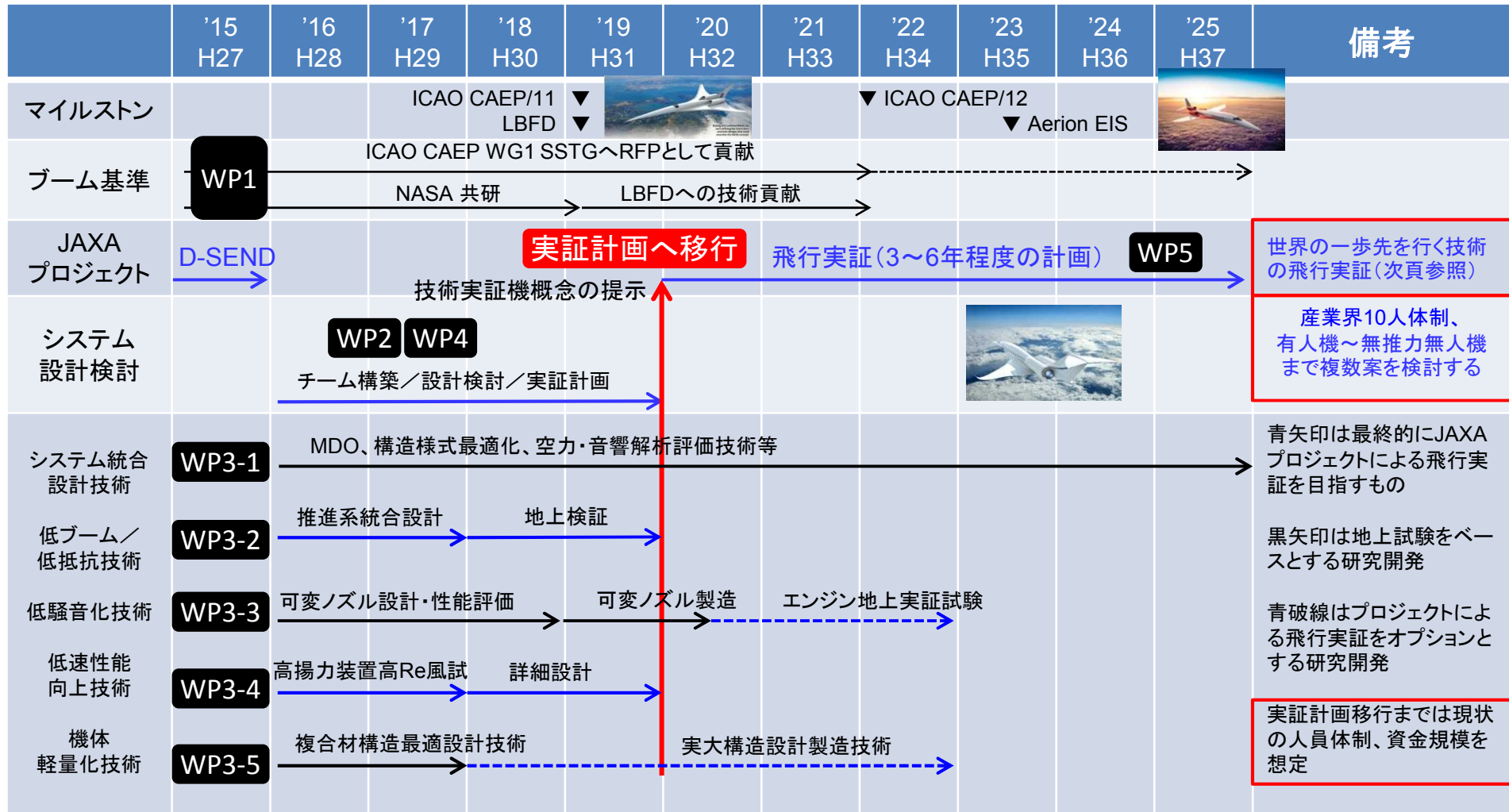
超音速機技術研究開発ロードマップ

- ◆ 『要素技術実証フェーズ』から『システム実証フェーズ』へ移行する
- ◆ 低ブームSSBJと小型SST国際共同開発までに競争力を確保するためのロードマップ



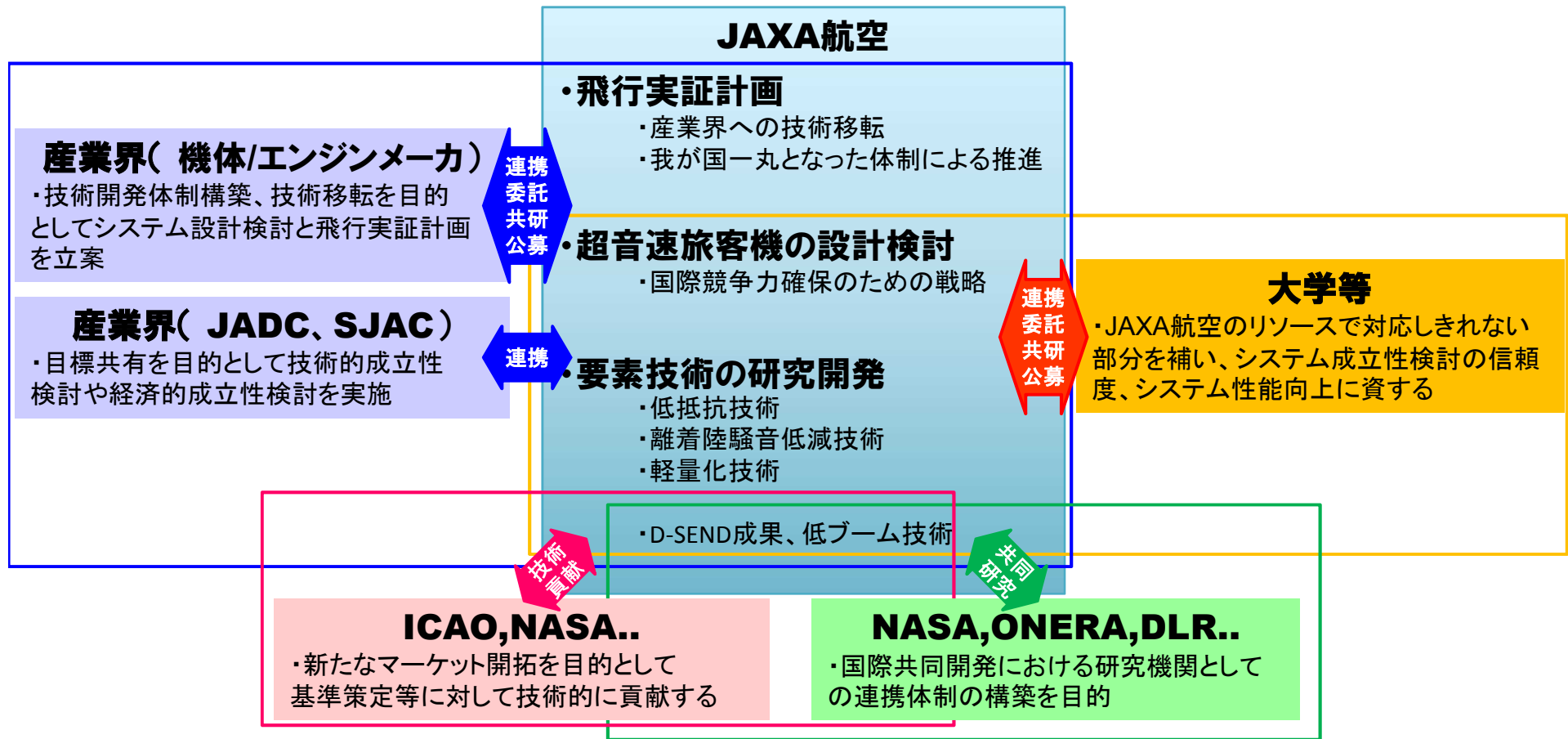
超音速機技術研究開発計画の詳細案

- ◆ ブーム基準策定へ積極的に貢献する。⇒ WP1
- ◆ All JAPAN体制を構築して我が国の競争力を強化する。⇒ WP2, WP4
- ◆ 4年間は技術に磨きをかけて、技術実証計画に移行する。⇒ WP3, WP4, WP5



研究開発の全体像

- 推進体制はこれまでの活動で構築した対外関係、スキームをベース(参考6)として機体/エンジンメーカー、JADC/SJAC、大学等を交えたハブ体制を構築する(青枠+黄枠)。
- ハブ体制の中から将来の超音速旅客機国際共同開発への参画を目指しつつ、日本単独で技術開発(国際競争力確保)を行うことを想定した超音速機設計チームを作り、技術開発を牽引する(青枠)。
- OD-SENDの成果をウリにして、ICAO等へ貢献するとともに海外研究機関と連携する(ピンク+緑)。



（補遺）

次世代超音速機技術の研究開発（NEXST）と

静粛超音速機技術の研究開発（S3）の成果

および

基準策定に関する国際動向

(補遺1) JAXAの超音速機プロジェクト

次世代超音速機技術の研究開発 (NEXST)

静粛超音速機技術の研究開発 (S3)

Year 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014



低抵抗設計技術の実証

低ブーム設計技術の実証

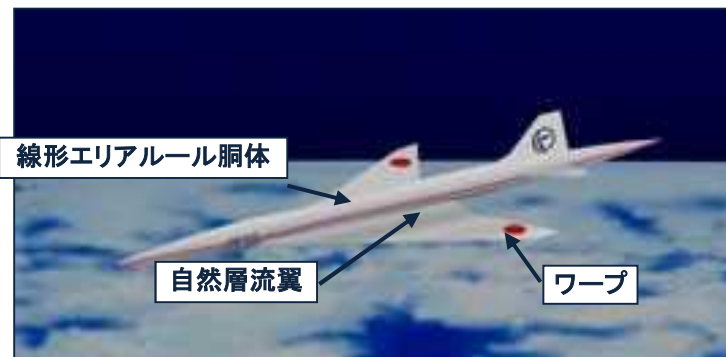
ロケット実験機概要

コンピュータによる機体の 空力設計技術の実証・確立

(低抵抗を実現するCFD逆問題空力設計法)

技術目的

- (1) CFD逆問題空力設計法の開発・実証
-低抵抗設計(自然層流翼設計)の実証
- (2) 超音速抵抗低減技術の実証
-エアリアルール設計による抵抗低減効果実証
-ワープ設計による抵抗低減効果実証
- (3) システム統合技術の蓄積
- (4) 無人飛行実験技術の高度化

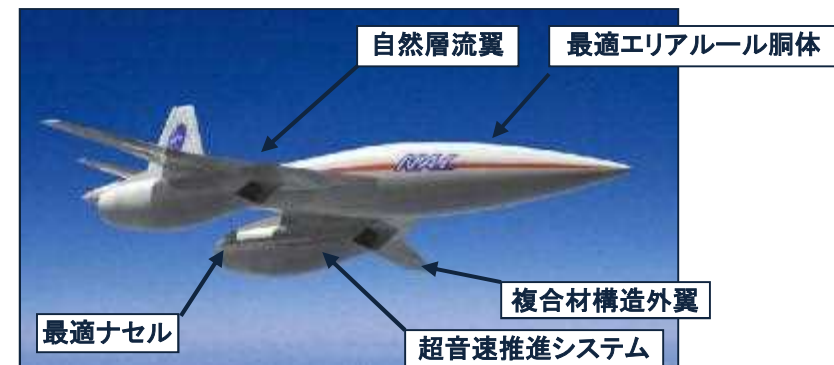


ジェット実験機概要

エンジン搭載形態での 全機CFD空力設計技術の実証・確立

技術目的

- (1) CFD逆問題・最適化空力設計法の開発・実証
-低抵抗(ナセル・翼胴)機体最適化設計
- (2) 超音速推進システムの開発・実証
-可変制御インテークの開発・実証
-推進システム統合制御の開発・実証
- (3) 複合材構造適用技術の開発・実証
-複合材構造(含:1次構造)の外翼部適用と実証
- (4) システム統合技術の蓄積
- (5) 無人飛行実験技術の高度化

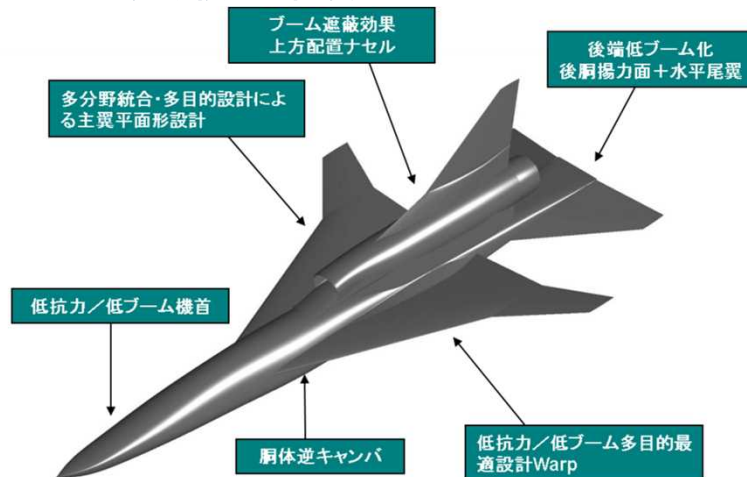


静粛超音速研究機S3TD

先端／後端低ブーム設計技術、
他分野統合最適設計技術の実証

技術目的

- (1) 先端低ブーム化特許技術の実証
- 非軸対称機首による先端低ブーム／低抵抗の両立
- (2) 後端低ブーム化特許技術の実証
- 後胴揚力面による後端低ブーム
- 水平尾翼による後端低ブーム／トリム特性の両立
- (3) 空力／構造他分野統合最適設計技術の実証
- (4) 無人飛行実験技術の高度化

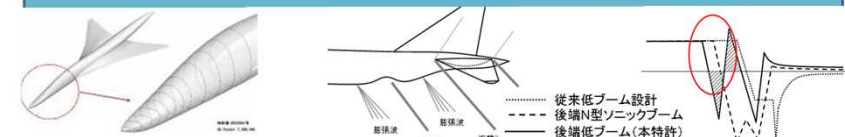
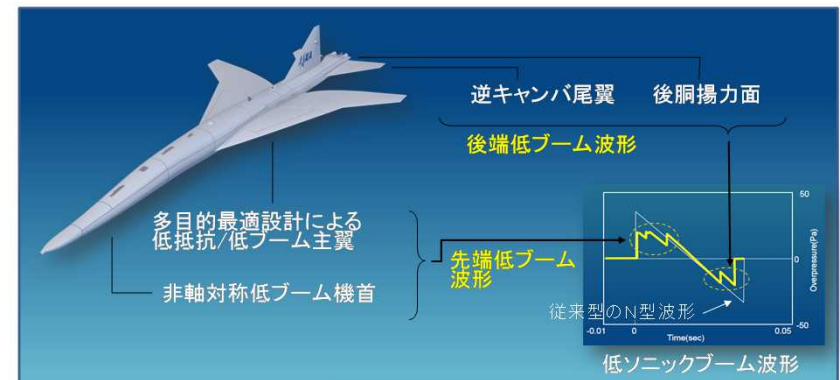


D-SEND

先端／後端低ブーム設計
コンセプトの実証

技術目的

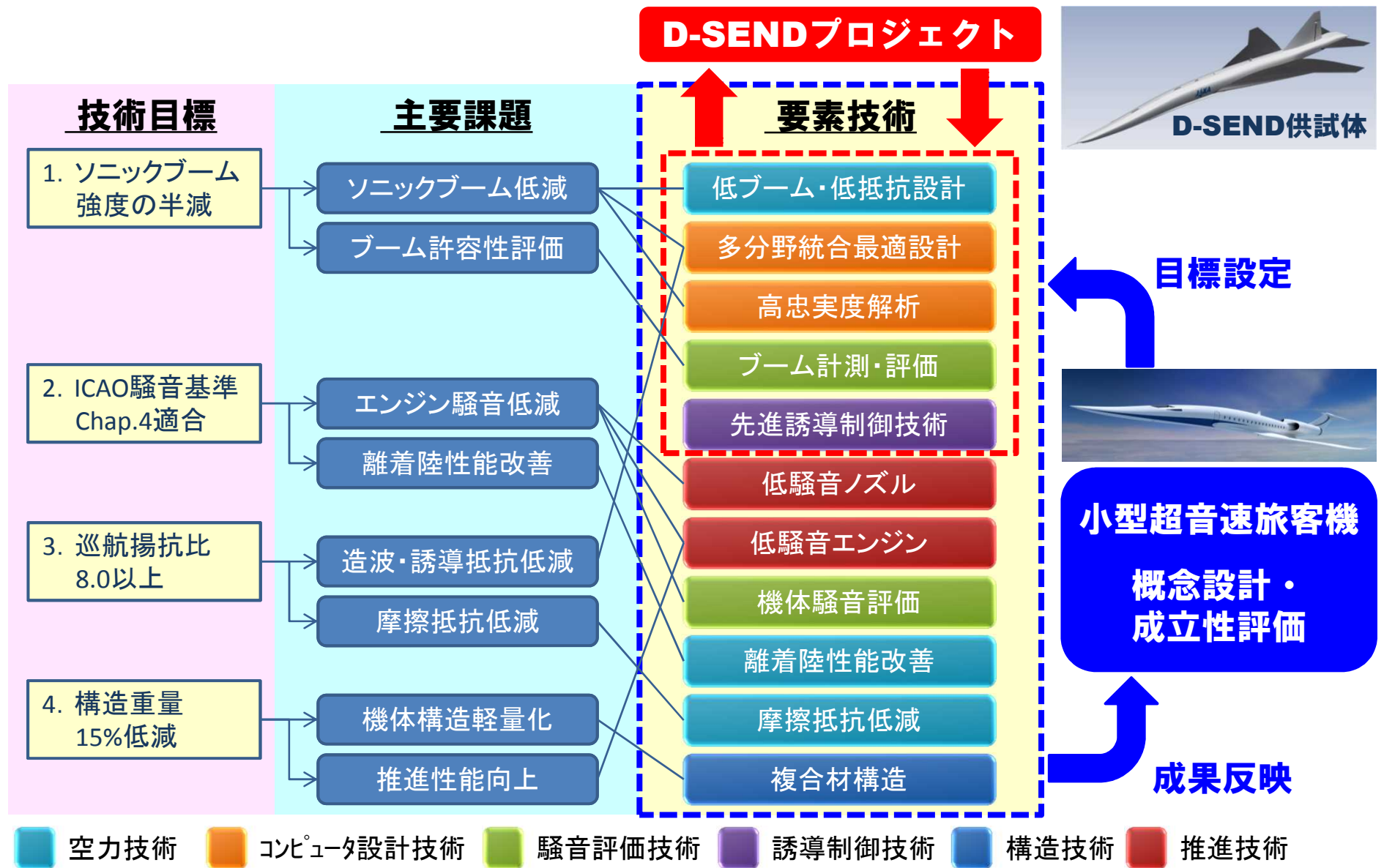
- (1) 先端低ブーム化特許コンセプトの実証
- 非軸対称機首による先端低ブーム／低抵抗の両立
- (2) 後端低ブーム化特許コンセプトの実証
- 後胴揚力面による後端低ブーム
- 水平尾翼による後端低ブーム／トリム特性の両立



【先端ブーム低減設計コンセプト】
特許3855064号 / US Patent 7309046

【後端ブーム低減設計コンセプト】
特許5057374号

(補遺4) S3の全体構成



経済性



環境適合性

低抵抗化

航続距離を伸ばすために必須
抵抗を 1%下げると 3%乗客を増やせる
技術目標:揚抗比 8.0以上
NEXSTプロジェクトで実証済み

ソニックブーム低減

陸上超音速飛行を可能にするために必須
世界的に技術開発競争が進んでいる
技術目標:ソニックブーム強度の半減
D-SENDプロジェクトで実証予定

軽量化

金属から複合材へ転換することが必須
新しい構造設計技術開発と耐熱性が課題
技術目標:構造重量15%減
システム実証が必要な課題

離着陸騒音低減

亜音速機と同じ騒音基準への適合が必須
技術目標:ICAO基準 Chap.4に適合
システム実証が必要な課題

エンジン低燃費化

超高温化・軽量化等、エンジンの共通課題

排ガス清浄化

低NOx燃焼器技術等、エンジンの共通課題

■小型超音速旅客機

乗客数：36－50人

巡航速度：マッハ1.6

航続距離：3,500nm以上

離陸重量：60～70トン

運賃レベル：ビジネス正規料金の約1.1倍



■仕様設定の背景

- アジア日帰り圏構想を可能とする航続距離設定
- 市場性拡大の観点から、陸上超音速飛行を前提
(ソニックブーム国際基準検討が進められている状況)
- 機体価格抑制の観点から、巡航時の空力加熱環境で既存の複合材料使用を想定
- オールビジネスクラス(30数席)亜音速旅客機に対抗した運賃レベル設定

(補遺7) 外部との連携状況 (体制構築の基礎)



(補遺8) NASAの低ブーム実証機 (LBFD) 計画

- ◆ NASAの航空研究の計画において、ソニックブーム基準策定を目標に掲げた超音速機研究プログラムの方針が示された。
- ◆ NASAは有人低ブーム実証機開発を検討しており、ボーイングとロッキードマーチンが概念設計を実施中。最速で2019年の初飛行を目指しており、ソニックブーム基準策定におけるブーム許容値を定めるためのコミュニティ調査飛行試験を実施する計画。

NASA Aeronautics Thrust Areas



Safe, Efficient Growth in Global Operations
 • Enable full NextGen and develop technologies to substantially reduce aircraft safety risks



Innovation in Commercial Supersonic Aircraft
 • Achieve a low-boom standard



Ultra-Efficient Commercial Vehicles
 • Pioneer technologies for big leaps in efficiency and environmental performance



Transition to Low-Carbon Propulsion
 • Characterize drop-in alternative fuels and pioneer low-carbon propulsion technology



Real-Time System-Wide Safety Assurance
 • Develop an integrated prototype of a real-time safety monitoring and assurance system



Assured Autonomy for Aviation Transformation
 • Develop high impact aviation autonomy applications

Supersonic Low-Boom Flight Demonstration (LBFD)



Technical progress has created an opportunity overcome the sonic boom barrier

Requirements

- Demonstrate that noise from sonic booms can be reduced to a level acceptable to the population residing under future supersonic flight paths.
- Create a community response database that supports an International effort to develop a noise based rule for supersonic overflight

Approach

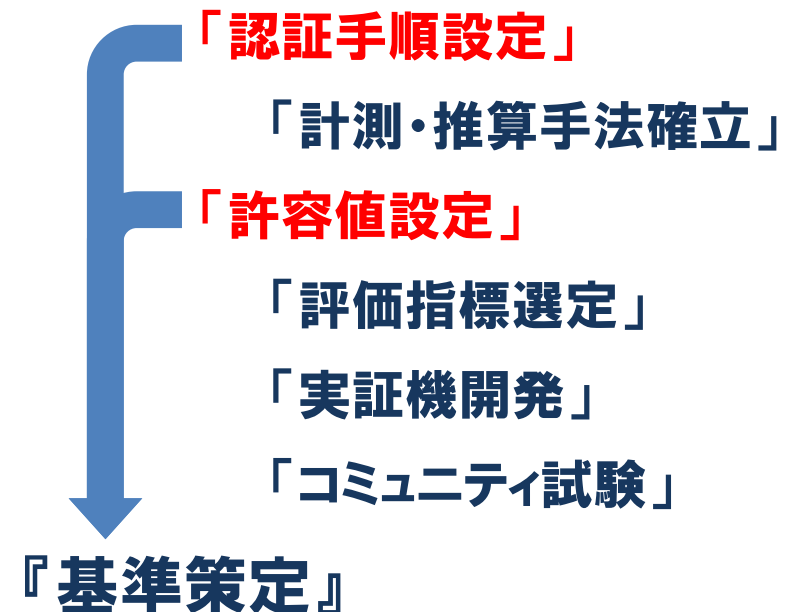
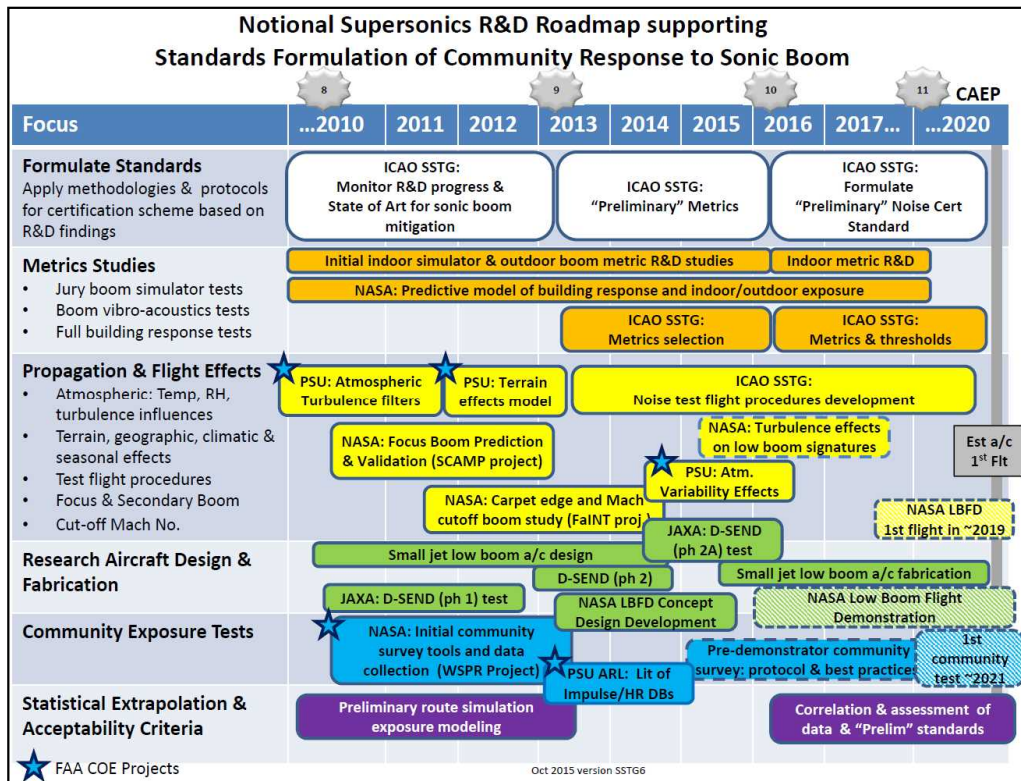
- Partner with regulatory agencies and communities to create a roadmap for community response study and rule development
- Revitalize the excitement of manned X-Planes using a focused and cost-effective approach to design and operate a low boom research aircraft
- Partner with industry and OGA to formulate, obtain approval, and execute a Low Boom Flight Demonstration Project



NASA is in a position to lead this effort, but Industry, Regulator and Community support and partnership is needed for success

(補遺9) ICAOのブーム基準策定状況

- ◆ 基準策定は機体形状による低ブーム化が可能であるという前提のもとで、計測・推算手法を確立し、「認証手順」を定めて「許容値」を設定するプロセスで進められている。
- ◆ D-SEND#2の成果により低ブーム化の可能性が示され、評価指標の選定にも見通しがつくことから、CAEP11までに認証手順の詳細化や許容値の定量化が進むものと想定される。



(補遺10) ICAOの離着陸騒音基準の強化

- ◆ 2017年EISの機材からはChap.14が適用される(左図の青線)
- ◆ Chap.14はChap.4(現行基準)に比べて一律7dB基準が強化される。また、Chap.4と同様にエンジンの搭載数で基準が異なる(左図の薄い線と濃い線)。
- ◆ 技術開発のトレンド(右図赤矢印のトレンド)から予測すると、7dBの騒音低減はエンジン技術だけに期待すると20~25年のエンジン技術開発期間に相当する。

