

航空科学技術に関する 研究開発課題の事後評価結果

平成28年11月

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委員

	氏名	所属・職名
主査	李家 賢一	東京大学大学院工学系研究科教授
主査代理	高辻 成次	一般社団法人日本航空宇宙工業会常務理事
	鐘尾 みや子	一般社団法人日本女性航空協会理事長
	佐藤 哲也	早稲田大学理工学術院基幹理工学部教授
	鈴木 みゆき	前ジェットスター・ジャパン株式会社代表取締役社長
	武市 昇	首都大学東京システムデザイン学部准教授
	竹内 健蔵	東京女子大学現代教養学部教授
	松島 紀佐	富山大学大学院理工学研究部教授
	山本 佳世子	株式会社日刊工業新聞社論説委員兼編集委員
	結城 章夫	山形大学名誉教授

「静粛超音速機技術の研究開発」の概要

1. 課題実施期間

平成18年度～平成27年度

中間評価 平成20年度、21年度、24年度、26年度及び27年度
事後評価 平成28年度を予定

2. 研究開発の概要・目的

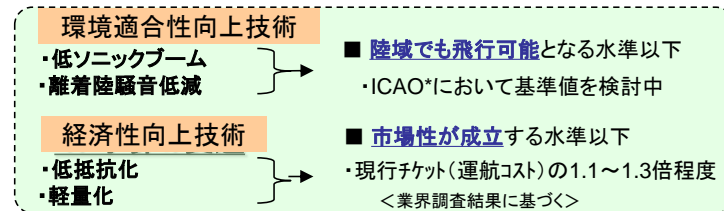
環境適合性を有し、陸域飛行を可能とする次世代超音速旅客機(SST)の国際共同開発への主体的参画を視野に入れ、その実現の鍵であるソニックブーム低減技術の飛行実証を中心とした「環境適合性」と「経済性」の両立を実現する技術を開発・実証することにより、世界における優位技術の獲得を目指す。また、航空機分野における最先端技術への取り組みを通じて、わが国の航空機産業の発展と基盤強化並びに将来を担うわが国航空技術者の人材育成に貢献する。

3. 研究開発の必要性等

欧米において次世代SSTの研究開発等が継続的に進められており、これを受けてICAOにおいて環境基準(ソニックブーム、騒音、排気ガス)が議論され、ソニックブーム等の基準策定に向けた活動が進行。

わが国の技術的優位性を確保するため、計測評価技術、騒音低減技術について一層の研究開発の推進が必要。本研究開発では、JAXAでは優位技術に関する要素技術研究を進めると共に、ソニックブーム低減技術に関してはコンセプト確認落下試験による飛行実証を計画。

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



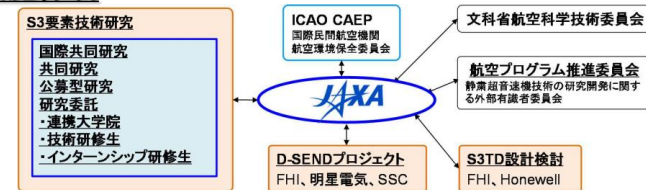
4. 研究開発資金

H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	総額
0.94億	2.71億	7.15億	4.78億	13.62億	9.47億	17.88億	11.98億	6.22億	4.4億	79.15億

5. 研究開発のロードマップ



6. 実施体制



7. 主な成果等

- **全ての技術目標を達成**
「ソニックブーム低減」「抵抗低減」「離着陸騒音低減」「重量低減」について技術目標を全て達成。「ソニックブーム低減」に関してはD-SENDにより、先端/後端の低ブーム設計効果について世界で初めて技術実証に成功。
- **ICAOでの基準策定検討に貢献**
世界に先駆けた上記成果の創出により、時宜を捉えた形でICAOでのソニックブーム基準策定の検討へ貢献。
- **産学官での連携体制の礎を構築**
外部の意見を反映できる体制として外部有識者委員会を推進。公募型研究の導入により参加機関間で技術目標を共有しつつ、学会におけるワークショップ等の実施等により横通しの連携強化に資する活動を実施。
- **人材育成への貢献**
学生への試験参加の機会提供、公募型研究など提案者の自主性に基づく研究環境整備、述べ人数136名の研修生・連携大学院生の受入等を実現。
- **研究開発で得られた重要な教訓**
2回の飛行経験等を含め本研究開発を糧とした継承すべき教訓を蓄積。

事後評価票

(平成28年3月現在)

1. 課題名 静粛超音速機技術の研究開発

2. 評価結果

(1) 課題の達成状況

<必要性>

●研究開発の意義・目的

本研究開発は、環境適合性と経済性を両立する次世代 SST※1 の実用化を想定し、飛行実証としては主に環境適合性（静粛性）を重視し、世界的に優位なソニックブーム低減技術等のキー技術を構築、発展させることを目的として推進された。また、環境適合性を確保しつつ高速で飛行するというのは航空機技術の一つの根幹をなすものであり、SST 研究開発を推進していくことについては、我が国の航空科学の発展や航空機産業の基盤強化のため、国が一定のリソースを割いて研究を実施することが必要不可欠なものである。

この研究成果を活用して、ICAO※2 のソニックブーム基準策定に関する検討において我が国のこの分野での技術的な優位性を確保するため提言を行うという意義に加えて、航空機分野における最先端技術への取組みを通じて、我が国の航空科学技術の発展と航空機産業の基盤強化並びに将来の我が国の航空業界を担う人材育成に貢献する意義も認められた。

以上より、当初の評価どおり本研究開発の意義・目的は妥当で、本研究開発の必要性はあったと判断される。

※1 超音速機 (SST: Supersonic transport)

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

<有効性>

●研究開発の目標

事前評価時（平成18年）には、環境適合性（ソニックブーム強度の半減、離着陸騒音の目標として ICAO 基準 Chap. 4（2006年から新たに適用された航空機の騒音基準）に適合）及び経済性（揚抗比 8.0 以上、構造重量 15%減）に関する4つの技術目標を設定し、研究機による飛行実証により技術を確立することを本研究開発の目標とした。

その後、平成21年に、要素技術研究は維持しつつ、飛行実証に関しては、ICAO のソニ

ックブーム基準策定の議論に必要な成果を早期に得ることを優先し、ソニックブーム低減技術を機体モデルにより飛行実証し確立することに焦点を当てた目標へと変更した。

●研究開発の方針

宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という。）においては、飛行実証の実施において、成果の早期創出及び還元を研究開発上の重要な方針として設定したとしている。その上で、本研究開発の技術目標を達成するに当たり、要素技術の研究開発と研究機による飛行実証を組み合わせることを研究開発方針として設定したとしている。その後の計画見直しの際には、計画変更前の研究機に係るシステム検討及び設計検討で得た成果及び体制を最大限活用しつつ、基礎となる解析・設計技術の開発から D-SEND※3 による飛行実証の成功までを一体として、日本として SST における優位技術を獲得するシナリオにしたとしている。

研究開発に当たっては、過去の技術的な蓄積を活用すること、また開発リスクの高い技術並びに JAXA 得意技術については JAXA が直接設計を実施する方針にしたとしている。また、諸外国との連携については、国際共同研究に積極的に取り組むとともに、国内に留まらず国際的な学会等でオーガナイザーを務めること等により、海外での連携及びプレゼンスの向上に取り組む方針にしたとしている。

人材育成については、学生に対する試験への参加機会の提供、公募型研究の推進及び研究生/大学院生の受入れ等により貢献する方針にしたとしている。

●研究開発の効果

JAXA においては、研究機による飛行実証（計画見直し後は D-SEND）を通して、ソニックブーム低減技術等が反映された機体構想がまとまり、また小型 SST を対象とした技術目標の達成度が明確化されたことで、総合的な機体設計につなげることができたとしている。また、当初設定した技術目標について、抵抗低減については揚抗比 8 以上を達成し、重量軽減については構造重量 15% 減を達成するなど、全て達成できたとしている。

ICAO のソニックブーム基準策定については、D-SEND#1 の成果について、CAEP※4 10 サイクル（H25～28）の第 2 回 SSTG※5 の Working Paper に、「この成果は従来手法（地上計測、モーターグライダーによる空中計測）に加わる新たな手法である」との記載として反映された。D-SEND#2 の成果に関しては、ソニックブーム基準策定の議論が低ブーム機体を実現する前提で行われている中で、期待に十分に答えるものとして評価されたとしている。また、この成果は、ブーム基準策定検討を次ステップ（CAEP11 サイクル）へ移行させる貴重な知見であると共に、解析手法の検証例としての有用性が認識され、CAEP10 総会（平成 28 年 2 月開催）において、SSTG よりその成果の報告が行われたことで ICAO での基準策定に貢献したとしている。さらに、2016 年 9 月（開催予定）の The 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) において、JAXA が特別講演に選出される等の実績を得たとしている。これらの貢献を通じて我が国のプレゼンス（欧米からの注目度）が向上したとしている。

また、高度技術者の人材育成への貢献の一環として公募で選ばれた学生（2 名）に対し

て実機ソニックブーム計測試験への参加機会を提供するとともに、インターンシップ研修生 24 名、技術研修生 87 名、連携大学院生 25 名の受入れを実施したとしている。加えて、平成 22 年度から、公募型研究制度を整備し、総計 9 件（大学 7 件、メーカー 2 件）の研究を採択したとしている。また、産業界との共同研究を通じて産業界との連携が強化されたとしている。これらにより、優位技術を核とした糾合により将来の研究開発体制の基礎が構築されたとしている。

●結論

累次の計画の見直しは、当初設定した技術目標を維持しつつ、中でも早期に飛行実証を行う有効性が最も高いと考えられたソニックブーム低減技術の獲得に集中して飛行実証を行うように実施された。これは、その後の世界の研究開発動向に合致しており、また ICAO 等の動向に対応することにより、結果的に意義の高い成果が得られており、この目標変更は適切であったと判断される。

この計画の下、本研究開発では、技術目標の達成及び ICAO 基準策定への貢献といった成果に加え、参加企業においても、実際の機体開発に技術者が関わったことによる経験値の向上及びソニックブームの新たな計測に携わったことによる技術的知見の獲得等を通じて航空機産業の基盤強化及び人材育成への貢献等の成果が得られた点は評価できる。以上より、有効性の観点から妥当であったと判断される。

※3 低ソニックブーム設計概念実証プロジェクト (D-SEND: Drop test for Simplified Evaluation of Nonsymmetrically Distributed sonic-boom)

※4 航空環境保全委員会 (CAEP: Committee on Aviation Environmental Protection)

※5 超音速タスクグループ (SSTG: Super Sonic Task Group)

<効率性>

●研究開発の計画（全体スケジュール，全体予算，実施体制）

本研究開発は、平成 18 年度に開始し、要素研究及び研究機に係るシステム検討及び設計検討を平成 21 年度まで実施した。平成 21 年度に、ICAO のソニックブーム基準策定の議論に必要な成果を早期に得ることを優先し、ソニックブーム低減技術を機体モデルにより飛行実証し確立することに焦点を当てた目標へと変更した。この際、研究機の設計検討体制と主要な飛行実証項目を D-SNED プロジェクトへ継承し、研究機設計検討の成果を要素研究に引き継ぐことで、総合成果の創出に活用する措置が行われたとしている。

平成 23 年 5 月に、JAXA は、計画通りに第一段階の試験 (D-SEND#1) を実施し、ブーム計測システムの正常動作確認など所定の目標を無事クリアした。

平成 25 年 8 月に実施した第二段階の試験 (D-SEND#2) では、飛行異常により試験における所期の目的は達成されなかった。その後、第 43 回航空科学技術委員会（平成 26 年 6 月開催）において、原因究明を踏まえた再発防止のための対策について確認を行い、再試験

に向けた計画変更の妥当性を認めた。

平成 26 年 8 月の第 2 回試験は、気象条件により実施ができなかったものの、平成 27 年夏期に試験を実施する場合、ICAO/CAEP への対応において本試験の意義と価値は失われていないこと、また試験機会拡大に繋がる各種対策を考案し、その有効性が確認できたことをもって、第 45 回航空科学技術委員会（平成 27 年 2 開催）において再度の計画変更の妥当性を認めた。

JAXA においては、変更された計画に基づき、平成 27 年 7 月に飛行試験が実施され、満足できる結果が得られたとしている。これらの結果については、CAEP 総会（平成 28 年 2 月）に向けた議論に間に合わせるべく、平成 27 年 10 月に ICAO/SSTG 会合に提供したとしている。

また、研究開発が 2 年間延長されたことで、結果として、大気乱流の影響予測に関する知見が世界で初めて実証されることにつながったとしている。さらに、平成 26 年の気象影響による対策の結果、低ソニックブーム波形の屋内計測も世界で初めて成功し、ICAO での基準策定に貢献したとしている。

全体資金について、予算環境を考慮した上で飛行実証を実施する資金計画とされており、計画そのものは妥当であったものの、飛行試験については、2 度の試験延期が発生しており、気象の影響など一部やむを得ない理由も認められるが、原因の一つである JAXA のプロジェクト管理における技術リスク抽出不足や技術レビュー不足といった点については反省すべき点である。当初計画より 2 年延期され、その分経費がかかってしまったことは残念であり、今回の結果を踏まえて、プロジェクト管理体制の改善などの組織的な取り組みを期待する。

実施体制については、要素技術の研究開発に関して、産学と共同研究並びに公募型研究を結び、我が国全体で SST に関する研究成果の共有と技術力の醸成を図ると共に、環境基準に関しては国土交通省を通して ICAO との連携を図りつつ、国際的なソニックブーム基準策定検討に貢献したとしている。また D-SEND の実施に関しては、全期間を通じて試験場及び気球運用を担当するスウェーデン宇宙公社と、また機体及び計測機開発は国内メーカーとの契約を通して効果的に進める体制を構築して対応したとしている。

以上より、研究開発の全体スケジュール及び資金計画については、平成 21 年度の計画変更で、限られた予算の効率的かつ効果的な活用、ICAO の動向等も踏まえた成果の早期創出のため、D-SEND に注力したことは評価できる。一方、先ほども述べた通り、JAXA のプロジェクト管理体制等の問題から、2 度の試験延期が発生し、当初計画を上回る経費を要することとなった点については反省すべきである。

実施体制については、JAXA を中心としつつも、外部同士の連携を強化する体制や仕組みが整備され、研究開発の効率的な実施と共に人材育成等の観点からも評価できる。

●結論

本研究開発については、世界的に優位なソニックブーム低減技術を中心として我が国の静粛超音速技術発展に大きく寄与するものであり、所期の目的を達成し、国際的に評価できる成果が得られたと判断される。一方で、2度の試験延期が生じ、当初計画以上の経費を要した点など反省すべき点もある。今後、JAXAにおいては、飛行異常及び気象の影響を受けやすい気球を利用した飛行実証という手段に関する検証も含め2回の試験延期で得られた教訓を生かすとともに、本研究開発を通じて得られた知見（設計技術や測定技術、制御技術等）を成果物としてまとめ、他方面への応用も含めて今後の研究開発に役立てるべきである。また、特に若手研究者が技術開発の経験を蓄積する機会の継続的な確保などの長期的な取り組みを進めるべきである。

但し、将来 SST が実用化された際には理想的な大気条件下で飛行することは少なく、大気乱流が存在するような様々な条件下で飛行することになる。本研究開発が2年間延長されたことで、結果として、この大気乱流の影響予測に関する知見が世界で初めて実証されることにつながっており、当初想定していた以上の成果が得られている点は評価される。

(2) 成果

本研究開発の主な成果は以下の通り。

- ①本研究開発により、以下の技術目標を達成し、SST が技術的に成立する目途を立てた。
 - 1) 「ソニックブーム低減」については、高精度ソニックブーム推算技術の確立を行うとともに、低ソニックブーム設計コンセプトを創出することで技術目標として設定したブーム強度の半減（小型 SST 規模で 0.5psf 以下）を達成。
 - 2) 「抵抗低減」の技術課題については、低ブーム/低抵抗多目的最適設計技術の確立を行うとともに、機体/推進系統合設計・評価技術の開発を行い、技術目標として設定した揚抗比 8 以上（コンコルドは揚抗比 7）を達成。
 - 3) 「離着陸騒音低減」の技術課題については、エンジン成立性検討/騒音評価手法の開発を行うとともに、高揚力装置最適設計技術を確立し、技術目標として設定した ICAO 基準 Ch. 4 適合を達成。
 - 4) 「重量低減」の技術課題については、低コスト複雑形状複合材成形技術の確立を行うとともに、空力弾性解析技術を確立することにより、技術目標として設定した構造重量 15%減を達成。

また、上記のうち、1) の「低ソニックブーム設計コンセプトの創出」に関しては飛行実証（D-SEND）を行った。本飛行実証において、空中ブーム計測技術の確立を行うとともに、波形計測可能性の確認を行った。先端/後端の低ブーム設計効果については、低ブーム設計コンセプトを適用した形状が発生するブーム波形を計測できたことにより世界で初めて技術実証に成功し、当初の目的を全て達成。それらに加え、世界初の知見となる検証された大気乱流効果を推算するツール等を当初想定していなかった成果として獲得。

②D-SEND では 2 年の遅れが生じたものの、得られた成果により ICAO 基準策定に貢献。

③本研究開発では、国際的な関係も含む産学官での連携体制を構築。常に外部の意見を反映できる体制として研究開発期間全体に渡り JAXA 内に外部有識者委員会を設置し開催。また、公募型研究の導入により参加機関間で技術目標を共有しつつ研究開発を実施。また、学会におけるワークショップ、オーガナイズドセッションの実施等により横通しの連携を強化する活動を実施。

④ ①～③の活動を通じて、人材育成については、学生（2 名）に対する試験参加の機会を提供するとともに、公募型研究（9 件）など提案者の自主性に基づく研究環境を整備。述べ人数で 136 名の研修生・連携大学院生の受け入れを実施。

<参考データ>

論文数	354 件
特許	17 件（出願 9 件、取得 8 件）
技術移転	2 件
ツール・インフラ	14 件

（3）今後の展望

国際的な激しい技術開発競争の中で獲得した世界的に優位な技術（ソニックブーム低減技術）をベースに、更なる向上と統合設計技術の獲得、また旅客事業上の将来ニーズを踏まえた産学官の連携体制の更なる発展のもとに速やかに研究開発を進め、将来に渡って世界の一步先を行くフロントランナーとしての地位を確立し、我が国の国際協力の強化に貢献する。これらの研究開発にあたっては、財政事情が厳しいことから、無駄を排除し、より効率的な研究開発を実施するよう留意すべきである。

具体的には、最重要課題のソニックブーム低減については、ICAO のソニックブーム基準策定検討が次ステップに移行し継続しているため、我が国としては D-SEND 成果並びにソニックブーム評価及び計測技術に関する要素技術研究成果をもとに引き続き貢献を果たすことが必要である。また最近の SST に関する国際動向として、

- ① ICAO 貢献を目的として NASA が 2016 年から有人低ブーム実証機（LBFD）計画を開始
- ② Dassault と Airbus が EU プロジェクト計画を開始
- ③ 国際航空研究フォーラム（IFAR）がブーム基準に関する技術検討をテーマに取り上げ（2014 年 9 月）、NASA が調整役として活動
- ④ Aerion と Airbus が超音速ビジネスジェット機の開発計画を提案（2023 年就航予定）するなど、SST の開発機運が醸成されつつある。

このような背景を勘案し、我が国としては、本研究開発で掲げた「次世代 SST の国際競争力強化のため、その鍵技術を世界に先駆けて開発し、世界における優位性を確保する」という目的を継承し、これまでに培った研究開発成果を核に、SST 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／軽量機体設計技術について研究開発を進めていくべきと考える。その際、我が国の産官学を一体化した体制を構築して実効性を確保するとともに、若手研究者等に対しては継続して人材育成への貢献を行っていくべきと考える。

なお、上記研究開発は、今回の研究開発で得られた以下の教訓等を踏まえ実施していくべきと考える。

- ・ 第1回飛行試験における飛行異常で明らかとなった技術リスク抽出不足及び技術レビュー不足に対して、新規技術の技術リスクをフェーズ毎に追加も含めて見直す必要性や技術レビューの節目に外部レビュアーを入れること
- ・ JAXA 内に外部有識者による審査会を設置し、不測の事態に備え、プロジェクトメンバーの枠を超え JAXA 航空部門以外の人員も含めた試験体制の構築や試験機会の最大化等を図ること
- ・ 将来の航空機設計開発に内在する困難な点への対応につながる一例として、航空機設計開発における制御系開発手法の指針等を整理すること
- ・ JAXA とメーカーが開発を分担する場合、設計結果の検証や設計変更管理について、メーカーと十分な調整を図ること
- ・ 小規模の試験で経験を積んでから次のステップに進むことがミッションの達成に効果的であること
- ・ 気象条件も含め、多くの関係者で必要な情報を共有することが重要であること
- ・ 不具合時の原因究明や予期しない事象への対応等で必要となる数値シミュレーション技術及び風洞試験技術といった航空科学技術共通基盤の重要性を再認識し、それらの充実を図ること
- ・ 経済性の目標指標の説明に際しては、今後も引き続きその根拠を明確かつ詳細に示すこと