

「超音速・極超音速輸送機システムの高度化に係る要素技術開発」に
関する研究開発構想（プロジェクト型）

令和４年１２月

内閣府

文部科学省

目次

1 構想の背景、目的、内容	2
1.1 構想の目的	2
1.1.1 政策的な重要性	2
1.1.2 我が国の状況	3
1.1.3 世界の取組状況	4
1.1.4 構想のねらい	4
1.2 構想の目標	5
1.2.1 アウトプット目標	5
1.2.2 アウトカム目標	7
1.3 研究開発の内容	7
1.3.1 研究開発の必要性	7
1.3.2 研究開発の具体的内容例	7
1.3.3 研究開発の達成目標	10
2 研究開発の実施方法、実施期間、評価	11
2.1 研究開発の実施・体制	11
2.2 研究開発の実施期間	12
2.3 評価に関する事項	12
2.4 社会実装に向けた取組	12

1 構想の背景、目的、内容

1.1 構想の目的

1.1.1 政策的な重要性

航空機はその最大の特徴である高速性を生かし、旅客や貨物の輸送、観測等の様々な部門における利活用を通じ、既に経済社会の発展及び国民生活の向上のために必要不可欠なインフラとなっている。また、海外における自然災害や紛争の発生、感染症の流行等の有事の対応においては、在外邦人の保護、迅速な退避や政府職員の派遣、援助物資の輸送等が求められるが、既存の航空機では一刻を争う場合に対応が困難な場合もある。コロナ禍等により急激な落ち込みがあったものの、世界の経済発展、これに伴うグローバル化の進展、LCC（Low cost carrier）市場の成長を背景に、航空需要のますますの増加が見込まれている一方で、世界の旅客機産業は欧米企業の寡占状態となっており、産業発展のみならず我が国の自律性の維持・強化の観点からも、機体構造、エンジン、構成部品等において我が国航空機産業の国際共同開発への参画を高めていく必要がある。

そうした中、次世代の航空輸送として、安全性、信頼性、環境適合性、経済性等の要求への対応が追及された上で、「より静か」で「より速く、より遠くへ」移動可能な超音速旅客機への期待がある。超音速旅客機はソニックブームが発生することから一般に陸域上空での飛行が禁止されているものの、近年、米国においては、海域上空のみ超音速飛行を行うことを念頭に、航空会社が超音速旅客機の購入を決めるなど、航空輸送に対する「より速く、より遠くへ」という高付加価値な社会的ニーズが高まっている。陸域上空の超音速飛行には潜在的なニーズが想定されることから、現在、陸域上空における超音速飛行に対して求められるソニックブームの低減化等に係る国際的な騒音基準を策定する議論が国際民間航空機関（ICAO）にて始まっている。我が国はソニックブーム低減を実現する機体設計技術等のキーテクノロジーに関し技術的優位性を有していることから、我が国の不可欠性の確保に繋げることを念頭に、超音速旅客機に関する国際的な基準策定への貢献、国際共同開発における我が国の開発分担の確保、そして、将来的な超音速旅客機の国産での製造を見据え、世界に先んじて「より静か」な超音速飛行要素技術を確立することが求められている。

また、将来的に航空宇宙業界にハイインパクトを与える可能性が高く、世

界的にも関心の高い極超音速（飛行マッハ数 5.0 以上）飛行を実現するエンジン技術は、航空輸送の「速さを追求」する最先端の技術であるがゆえに世界でも発展途上の技術である。我が国では、エンジンに関する要素技術の研究開発が実施されており、理想的な実験環境のみならず、ロケットを用いた飛行実験にも成功し飛躍的な進歩がみられているものの、その開発は限定的なものである。また、近年、宇宙空間を経由する 2 地点間高速輸送が提案されており、宇宙輸送の分野においても、大気圏内航行時用として、そのエンジン技術開発に期待がある。そうした中、多様な用途の基盤となる技術として、上述の超音速飛行の要素技術とともに、音速を超える速度領域において、幅広い作動域を有するエンジンを実現するための要素技術の確立が求められている。

本構想は、プロジェクト型として、こうした背景の下、航空分野での先端的な優位技術の確保に資する支援対象とする技術として研究開発ビジョン（第一次）において定められた「超音速要素技術（低騒音機体設計技術）」及び「極超音速要素技術（幅広い作動域を有するエンジン設計技術）」において、我が国技術の優位性の獲得を目指すものである。

1.1.2 我が国の状況

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）において、超音速飛行機の設計技術に関する研究開発が行われてきており、過去の飛行実証（低ソニックブーム設計概念実証プロジェクト：D-SEND）において、機体の空力形状を工夫することでソニックブームが低減できることが証明されている。現在、陸域超音速飛行の実現に不可欠な技術について更なる研究開発が行われており、旅客機の基本要求である空気抵抗の小ささに加え、ソニックブームが到達する全域でどのような機体形状でも低騒音化が可能な機体コンセプト（全機ロバスト低ブーム設計技術）を世界に先駆けて開発し、その概念設計の技術的成立性が確認されている。

2030 年頃に想定される超音速旅客機の国際共同開発に参画することを念頭に、JAXA や航空産業界の企業にて構成される JSR（Japan Supersonic Research）協議会が立ち上げられており、技術ロードマップの策定や国際共同開発に向けた協力体制を実現するための活動が行われている。

極超音速飛行の要素技術については、JAXA において、スクラムジェット

エンジンに関するジェット燃料の適用、冷却等の要素技術について研究開発が行われている。文科省に設置されている革新的将来宇宙輸送システム実現に向けたロードマップ検討会において、有翼型再使用宇宙輸送システムの革新的推進系技術（スクラムジェットエンジン等）については、実用化までに期間を要する要素技術とされている。

1.1.3 世界の取組状況

米国において超音速旅客機の開発が行われており、海域上空の超音速飛行を念頭に、航空会社が超音速旅客機の購入を決めるなど動きがあるが、陸域上空での超音速飛行を行うためのソニックブーム低減等を実現した機体技術は確立していない。他方、我が国の D-SEND による低ソニックブーム設計技術の概念実証等を踏まえ、ICAO の航空環境保全委員会（CAEP）では、騒音に関する基準の策定について議論が進められている。ICAO の動きを受け、アメリカ航空宇宙局（NASA）においては、陸域上空の超音速飛行を行った際に許容される騒音レベルの確認をするための有人実証機の開発を進めている。

極超音速機に必要なエンジン技術等は、米国においてスクラムジェットエンジンの飛行実証試験が行われているものの、亜音速で使用されるジェットエンジンとスクラムジェットエンジンの複合化技術の開発において、速度間で途絶のない技術はまだ確立されていない。

1.1.4 構想のねらい

本構想では、現在、我が国が技術的優位性を有するソニックブーム低減の設計技術をさらに高め、その有効性を世界に先んじて飛行実証することにより、我が国が超音速旅客機に関する ICAO における国際基準策定に貢献し、機体の国際共同開発における開発分担の確保、将来的には自律的な超音速輸送機製造の能力を獲得し、多様な用途への展開を目指す。さらに、航空輸送のみならず宇宙輸送の時代を見据えて、飛行マッハ数 5 を超える領域で作動するエンジン技術を拡張し、音速を超える領域にて効率的な飛行を可能とする要素技術を獲得することを目指す。

具体的には、我が国において開発された低ソニックブーム設計技術を適用した無推力実証機を製作し、母機となる航空機から実証機を離脱・落下さ

せ、超音速飛行時に発生するソニックブーム騒音を地上の騒音計測システムで計測し実証する。これにより、ICAOにおける騒音基準策定への貢献に加え、欧米の航空機産業大手や公的研究機関が中心となり行われる次世代超音速旅客機の国際共同開発において、我が国が不可欠性を有した主要パートナーとして主要な開発領域を確保する。あわせて極超音速機エンジンに必要なスクラムジェットエンジンの作動域の低速側への拡張等を図り、地上設備で推力性能・設計手法を評価する。今後、民間主導での有翼再使用型宇宙輸送システムのサブスケールの飛行実証に向けて、エンジン技術等のコア技術の研究開発を進める。

1.2 構想の目標

1.2.1 アウトプット目標

本構想では、我が国において開発された低ソニックブーム設計技術を飛行実証により証明するとともに、離陸から極超音速までの加速飛行を可能とするエアブリーザーエンジンの作動達成の見通しを得るため、目標は以下のとおりとする。これにより、その後の展開あるいは社会実装に繋げていく。

< 超音速要素技術（低騒音機体設計技術） >

- 陸域上空超音速飛行を可能とする低ソニックブーム設計技術について、以下を実現できること。
 - 陸域上空を超音速飛行した際に、ソニックブームが観測される地上エリア全域での低ブーム化を達成し得る設計技術として、巡航時の機体直下（オントラック）だけではなく、巡航時の機体側方（オフトラック）への伝播も含めたオントラック／オフトラック同時低ブーム化、及び巡航時だけではなく、加速上昇時も含めた条件（オフデザイン条件）での低ブーム化も含めたロバストな低ブーム設計技術の実証。
 - 市場性の観点から低ブーム超音速機が民間機として成立し得る巡航性能とロバストな低ブーム性能を両立する抵抗低減設計技術の実証。また、低ブーム性と低抵抗性の両立とともに、極超音速域への拡大も視野に機体とエンジン形状を包含して設計する機体推進系統合設計技術の実証。
- ICAO で検討されている超音速飛行に関する国際基準に関連し、以下を

実現できること。

- ロバスト低ブーム設計技術を適用した実証機の飛行試験において、ICAO が検討中のソニックブーム騒音基準を検証するために必要なソニックブームデータを取得できるソニックブーム計測技術の獲得。
- ソニックブーム騒音基準検討で重要視されている大気乱流の影響も加味した検証を可能にする気象データの計測と大気乱流特性量推定技術の開発・検証。
- 大気乱流の影響も考慮し得る解析ツールを用いたソニックブーム推算結果と、飛行試験における計測データの比較を通じた、飛行試験による計測結果と数値解析による推算結果を併用したソニックブーム騒音基準の妥当性の ICAO での検証。

< 極超音速要素技術（幅広い作動域を有するエンジン設計技術） >

- 離陸から極超音速まで連続的に作動可能なエアブリーザーエンジンの設計技術に関連し、ジェット燃料を対象として、以下を実現できること。
 - 極超音速域で作動するスクラムジェットエンジンの作動範囲を飛行マッハ数 3 程度の超音速域まで低速側に拡張する。このために必要な、低マッハ数域で始動し空気流量を確保できる空気取入口の空力設計手法の確立。また超音速飛行中にエンジン内で点火・保炎を達成する手法や、エンジン不始動等の破局事象を避けつつ推力発生を得る制御手法の確立。
 - 離陸用のターボジェットエンジンの作動範囲を、同一流路に配置するラムジェットエンジンとの組み合わせにより、既存の飛行マッハ数 1.5 程度から、飛行マッハ数 3 程度まで拡張する。（以下、ここで組み合わせられたエンジンを「ターボ・ラムジェットエンジン」という。）このために必要な、軽量なターボジェットからラムジェットへの切り替え機構の設計手法の確立。また作動上限引き上げにより必要となるエンジン補器等の熱防御のための超臨界燃料冷却による熱管理技術の確立。
 - 離陸用のターボ・ラムジェットエンジンとスクラムジェットエンジン両者を切り替える機構を構築する。このために必要な、ターボ・ラムジェットエンジンとスクラムジェットエンジンの空気導入機構の切替の仕組み及び制御技術の確立。またターボ・ラムジェットからスク

ラムジェットに切り替える際に、エンジン推力の急激な変化等が生じないようにするための切替機構と燃料流量を制御するための統合制御技術の確立。

1.2.2 アウトカム目標

上記のアウトプット目標により、本構想における研究開発により、超音速飛行時に発生するソニックブームの低減技術を確立し、ICAOにおける陸域超音速飛行に求められる騒音基準策定に貢献し、超音速飛行機のコア技術の獲得、ひいては自律的な製造能力の獲得を目指す。また、低速から極超音速域までを途絶せずにカバーする複合化エンジンは、超音速飛行技術と合わせて、宇宙輸送システムのうち大気圏内航行時用として、サブスケールの飛行実証等、次世代の航空輸送、宇宙輸送の基盤技術として多様な用途への展開を図る。また、確立する要素技術は、国内で基礎研究が進められている宇宙飛行に適した我が国独自のエンジンであるパルスデトネーションエンジン等にも資するものであり、エンジン技術の基盤として多方面への波及効果も期待される。

1.3 研究開発の内容

1.3.1 研究開発の必要性

海外における自然災害や紛争の発生、感染症の流行等の有事の対応においては、在外邦人の保護、迅速な退避や政府職員の派遣、援助物資の輸送等が求められるが、既存の航空機では速やかな対応が困難な場合もある。そのため、高速輸送ができる技術を確立し、あわせて将来の宇宙輸送システムとなりうる極超音速機に必要な途絶しない複合型スクラムジェットエンジン技術の開発・実証を進める必要がある。

1.3.2 研究開発の具体的内容例

< 超音速要素技術（低騒音機体設計技術） >

（飛行実証機システムの開発）

- ロバスト低ブーム設計技術を適用した想定実機（想定実機においてはエンジン排気がソニックブームに与える影響も考慮した低ブーム設計で

ある必要がある) をスケール化した無人無推力飛行実証機を開発する。実証機の機体規模としては、実証機が発生するソニックブーム圧力波形計測によって、低ブーム設計効果を確認できる機体サイズである必要があり、またカットオフマッハ数(ソニックブームが地上に届きはじめるマッハ数) 以上となるマッハ数 1.2 程度以上の速度で、飛行経路からソニックブーム計測点までの飛行経路に対する垂直距離と機体長の比が実機相当となる距離で、オントラック/オフトラック同時に低ブーム化されていることを確認し得る飛行が可能な実証機システムを開発する。飛行実証機には、低ブーム設計と両立しうる抵抗低減設計技術、及び低ブーム要求から機体上面に配置することが多いエンジン配置形態において低ブーム性と低抵抗性を両立するためのエンジン配置やエンジンナセルの設計などの機体推進系統合設計技術を適用する。

- 開発する無人無推力実証機がカットオフマッハ数以上となるマッハ数 1.2 程度以上の速度でロバスト低ブーム設計技術実証飛行試験ができるよう、母機分離方式の自由落下加速試験システムを開発する。
- 実証機の飛行試験においてロバスト低ブーム設計技術実証を可能とするため、分離時の位置のばらつきや風等気象条件のばらつきの影響を考慮して実証機をソニックブーム計測点まで正確に誘導しうる無人機誘導システム、及び計測点で設計条件の飛行を実現するのに必要な高機動制御を可能とする無人機自律制御システムを開発する。
- 実証すべき設計技術の再現性を確認するとともに、その効果を飛行試験結果の比較で確認する別形態での飛行試験実施のため、複数回の飛行試験を可能とする実証機回収システムを開発する。

(計測システムの開発)

- 地表付近で発生しソニックブーム波形を変形させる大気乱流の影響を受けないよう、地表から 250m 以上の高度でソニックブーム計測できる空中ソニックブーム計測システムを開発する。また、空中ソニックブーム計測結果との比較により ICAO のソニックブーム騒音基準を検証するための、地上ソニックブーム計測システムを開発する。
- 計測されるソニックブーム波形に与える大気乱流の影響を評価するための、大気乱流特性量推定に必要な気象計測システムを開発する。

(ロバスト低ソニックブーム設計技術の実証)

- 開発した飛行実証機システムと計測システムを用いて、ロバスト低ブーム設計技術、抵抗低減設計技術、及び機体推進系統合設計技術を飛行実証する。
- 飛行実証結果の解析により実証すべき技術の効果を示すとともに、飛行試験結果で検証された解析ツールを用いて飛行試験条件以外での設計効果を確認する。エンジン排気の影響については、解析ツールの開発とあわせてエンジン排気の影響を評価し得る風洞試験技術を開発し、その技術によりエンジン排気の影響を含めたロバスト低ブーム設計技術を検証する。
- ICAO で検討中のソニックブーム騒音基準の妥当性検証のため、大気乱流の影響を考慮したソニックブーム伝播解析を実施し、飛行試験における計測データとの比較を行う。

<極超音速要素技術（幅広い作動域を有するエンジン設計技術）>

(スクラムジェットエンジンの低速側への作動域拡張)

- 空気取入口の始動性と広い速度領域での圧縮性能を両立するため、数値流体力学を用いてマッハ数 3 程度から 7 程度までの範囲で必要性能を得るための流路形状の概略を検討し、この流路形状の変化を満たせるエンジンの可動部の構造を提案し、その必要性能を風洞試験で確認し、冷却を含む構造検討を行って、成立性を検討する作業を反復する。成立性を得た構造をサブスケールエンジン模型に適用し、エンジン燃焼風洞等で作動を確認し、空力的設計手法及び可動部の実現性を検証する。
- マッハ数 3 程度以下の低飛行速度域での点火・保炎性能を達成するために、既存設計を基本とした燃焼器の要素実験により、各種の点火方法・保炎器形状と配置・一部可動部の導入などの手法を評価し、必要な組み合わせを選定する。安定した推力発生のために、燃焼器形状に合わせた燃料噴射の分散配置、燃焼器形状の一部可動化などの手法を評価し、点火・保炎方法と合わせた燃焼器設計を得る。可動部を設ける場合は、有望な設計に対して構造成立性検討も行う。得られた燃焼器設計をサブスケールエンジン模型に適用、エンジン燃焼風洞試験でマッハ数 3 程度以下の飛行条件を模擬したエンジン燃焼運転試験を行い、設計手法を検証

する。

(ターボジェットエンジンの高速側への作動域拡張)

- ターボジェットとラムジェットの切替機構については、機能性等を確保した上で可能な限り軽量化・最小化する技術を開発する。また、両エンジンに適切な燃料流量を供給するため、切替機構と燃料流量を同時に制御するエンジン制御技術確立する。ターボ・ラムジェットエンジンについて、スクラムジェットエンジンの配置計画も考慮の上、流路設計・流体解析・構造解析を経て試作を行い、直結式風洞などを用いて、マッハ数0～3程度の飛行条件を模擬したエンジン燃焼運転試験でエンジン制御技術を実証する。
- ラムジェットエンジン燃焼器において、超臨界状態の燃料による、燃焼器壁の温度上昇を防ぎ、周囲の搭載機器の異常作動や破損を防止する技術確立する。直結式風洞などを用いて、マッハ数3程度の飛行条件を模擬したエンジン燃焼運転試験で超臨界燃料冷却による熱管理技術を実証する。

(ターボ・ラムジェットエンジンとスクラムジェットエンジンの切り替え)

- 極超音速機に搭載するターボ・ラムジェットエンジンとスクラムジェットエンジンの空気導入機構において、切替の仕組み及び制御技術について、機能性等を確保した上で可能な限り軽量化・最小化することでアクチュエータの重量を低減する設計技術を提案し、サブスケール模型の製作・試験で設計を検証する。
- ターボ・ラムジェットエンジンとスクラムジェットエンジンにおいて、で、空気取入口の不始動や失火にならないように、流路切替機構とエンジン燃料流量を制御するための制御技術確立する。流路切替機構を備えた2種のエンジンを想定した一体型のエンジン模型を用いて、マッハ3程度の飛行条件を模擬したエンジン燃焼運転試験をエンジン燃焼風洞試験で行い、流路切替時の統合制御技術を実証する。

1.3.3 研究開発の達成目標

陸域超音速飛行が可能な技術確立し、ICAOで議論されているソニックブームが観測される地上エリア全域での低ブーム化を達成し得る設計技術

を実証する。実証に際しては、アウトプット目標に示された ICAO で議論されている手順に即してソニックブームを計測するため、飛行実証を行い低騒音機体の技術的実現性を示すものとする。

極超音速輸送機に必要なスクラムジェットエンジンについては、離陸用エンジンと複合化技術の研究開発を行い、複合化時の空気取入口を設計し途絶しない技術を確立し、アウトプット目標に示された地上実証を行う。

より具体的には、提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整にて定めると共に、研究開発開始後においては、協議会における意見交換の結果も踏まえ、必要な場合、見直しを行う。

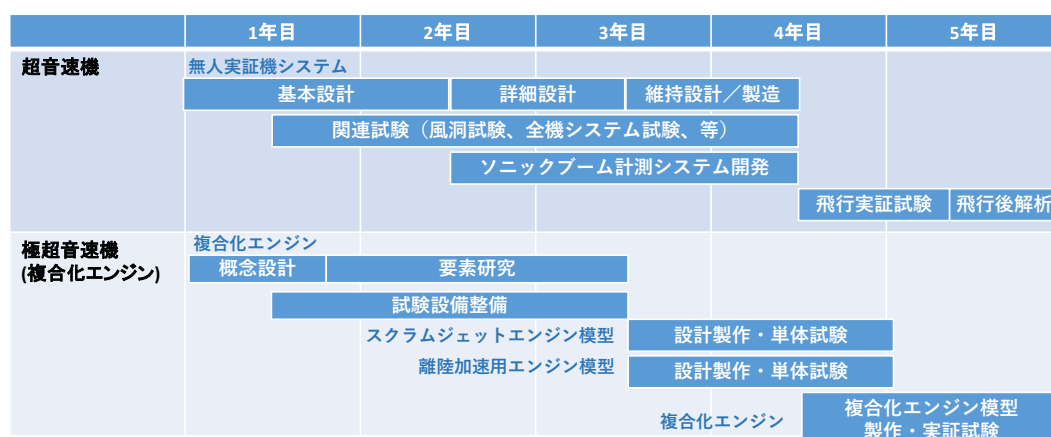


図1 研究開発の進め方のイメージ

2 研究開発の実施方法、実施期間、評価

2.1 研究開発の実施・体制

プログラム・ディレクター（PD）の指揮・監督の下、研究代表機関又は研究代表者が研究開発構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。JST 等の助言に基づき、研究に参加する機関・研究者のそれぞれが、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進すると共に、研究開発に必要な事項を行う。

研究開発成果を民生利用のみならず公的利用につなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表機関、研究代表者は PD 及び研究分担者との

協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めることとする。

2.2 研究開発の実施期間

研究開発開始から5年以内とする。構想全体で最大120億円程度の予算を措置する。

2.3 評価に関する事項

自己評価は毎年実施する。外部評価の実施時期は原則、研究開発の開始から3年目を中間評価とし、研究開発終了年に事後評価を実施する。具体的な時期については、担当するPDが採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JSTが決定するものとする。

2.4 社会実装に向けた取組

本構想の目標は、陸域超音速飛行が可能な技術を確立し、ICAOにおける騒音基準策定に貢献することと、作動域が異なるエンジンの作動範囲をそれぞれ拡張し、飛行速度の上昇に対して途絶することなく連続的に作動する極超音速エンジン技術を確立することである。このためには、研究機関又は研究代表者と、潜在的な社会実装の担い手として想定される機関等との間で、超音速旅客機の我が国の製造分担の検討や、宇宙輸送システムのサブスケールの飛行実証に向けた要素技術の研究開発の進め方を議論・共有する等の伴走支援が有効である。

したがって、今後設置される協議会を活用し、参加者間で機微な情報も含め、社会実装に向けて研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を安心して円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することが重要であり、関係者において十分にこの仕組みの運用を検討する必要がある。なお、協議会の詳細は別に定める。また、PDは研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする。