

航空科学技術に係る日米欧の研究開発動向

航空機は、道路・鉄道と言ったインフラストラクチャを必要とする陸上輸送機器とは異なり、空を自由に飛行しながら国境をも越え、より速く、より高く、より遠くへとと言う人類共通の夢を実現して来た。人・物の移動量と経済活動（GDP）との間には正の相関関係があるとも言われており、航空輸送もグローバル経済の発展に寄与して来たと考えられる。

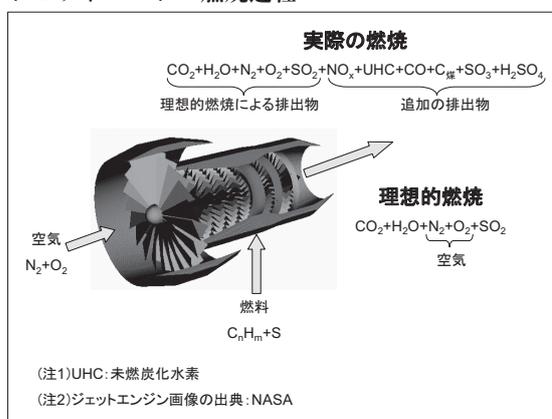
一方、人為起源の温室効果ガスによる地球温暖化問題を検討している「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」は1999年、主要な温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）、対流圏オゾンの生成およびメタンの減少を引き起こす窒素酸化物（NO_x）、飛行機雲および巻雲の形成に繋がる水蒸気、煤およびエアロゾルなど、航空機からの排出物による気候変動への影響に関する特別報告書を発表した。2007年発表の第4次報告書においても、現状科学的理解が不十分な巻雲を除き、航空輸送による気候変動への影響が評価されている。

エコ、グリーンと言った環境適合性は、今や航空活動にとっても喫緊の課題となりつつあり、米国および欧州連合では産学官連携の下、2020年頃およびその先を見据え、CO₂などの排出物および騒音の大幅な低減を目指した環境適合型航空機の研究開発が行われている。また、航空交通量が、2025年頃には2000年頃と比べ約2倍に増加するとの予測もあり、空港での離着陸待ち、ノロノロ運転と言った空の交通渋滞を解消するため、GPSなどの測位衛星も活用した航空交通管理（ATM）システムの研究開発が進められている。

我が国においても産学官連携の下、欧米と同様の取り組みが進められている。我が国の環境技術は世界に冠たるものであるものの、民間航空分野については、YS-11以降約40年振りに小型ジェット旅客機の全機開発に着手した状況である。大学・研究機関による基礎研究、(独)宇宙航空研究開発機構（JAXA）などの研究開発機関による技術開発・実証ならびに航空産業界による製品開発および製作・運用実績に基づくフィードバックと言う研究開発の全サイクルを回しながら航空科学技術力をさらに向上し、地球温暖化対策に対する我が国の貢献を強化したい。

現状12時間以上要する太平洋間の移動時間を半分程度に短縮できる超音速旅客機が実現すれば、経済活動などに変革がもたらされるとされており、JAXAでは、将来予想される国際共同開発への対等な参加の実現を視野に入れ、ソニックブームおよび離着陸時騒音の低減と言う環境適合性と軽量化および低抵抗化による燃料効率向上と言う経済性との両立を目指した「静粛超音速機技術の研究開発」が行われている。将来的には、空気吸込み式極超音速機を第1段とする宇宙輸送系など新たな宇宙活動の展開に繋がると期待される。

ジェットエンジン燃焼過程



出典：本文参考文献⁵⁾

航空科学技術に係る日米欧の研究開発動向

清水 貴史
推進分野ユニット

1 はじめに

双発ターボプロップエンジン方式の小型旅客機「YS-11」は、1950年代末から1960年代初頭、戦後初の我が国国産民間旅客機として開発されたものの、大幅な赤字および販売不振のため、1971年12月に生産中止が決定された^{1) 2)}。最終的には1974年までに182機が生産され、2006年9月30日、国内民間定期航空路線から引退した。YS-11以降1990年代末まで、国家プロジェクトとして民間航空機の全機開発は行われなかった。

我が国は、家電および電子機器のほか、輸送機器のうち、自動車、鉄道および船舶に関しては国際競争力を有するものの、民間航空機に関しては、欧米航空機メーカーと国際共同開発を行い、機体およびエンジンのサブシステム、コンポー

ネントなどを納入している状況であった¹⁾。21世紀初頭に入って、本田技研工業株式会社および三菱重工業株式会社が各々、小型ビジネスジェット「ホンダジェット」および小型ジェット旅客機「三菱リージョナルジェット(MRJ)」による民間航空機市場への参入を表明した。

客席数が100席以上で航続距離が5,000kmを超える大型・中型旅客機市場は現在、米ボーイング社および欧エアバス社が独占しており、座席数が100席前後で航続距離が数千km程度のリージョナルジェット市場は、加ボンバルディア社および伯エンブラエル社が二大巨頭であり、我が国の三菱重工のMRJに加え、露スホイ社の「SSJ」および中国商用飛機有限責任公司(CACC)の「ARJ21」が新規参入を

計画している³⁾。MRJの市場参入は決して容易であるとは言えない。日本は、全機インテグレーション技術が無いため、MRJは「皆のリージョナルジェット」として我が国関係者が一丸となり、協力して開発に当る必要があるとの意見もある⁴⁾。MRJおよびホンダジェットによって我が国航空産業がさらに国際競争力を有するようになることを期待したい。

本稿では航空科学技術に関し、最近話題になっている地球温暖化問題関連の動向を紹介した後、主に温室効果ガス排出量・騒音の低減を目指す環境適合型航空機と言った環境関連の研究開発プロジェクトについて、日米欧の動向を調査・分析し、今後の我が国の研究開発の進め方について考察する。

2 地球温暖化問題関連の動向

ジェットエンジンからは、図表1に示す通り、圧縮空気と燃料との高温高压燃焼により様々な種類のガスなどが排出される⁵⁾。航空機の排出物による地球温暖化への影響については、世界気象機関

(WMO) および国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」が国際民間航空機関(ICAO)からの要請に応え、1999年に特別報告書を発表した⁶⁾。気

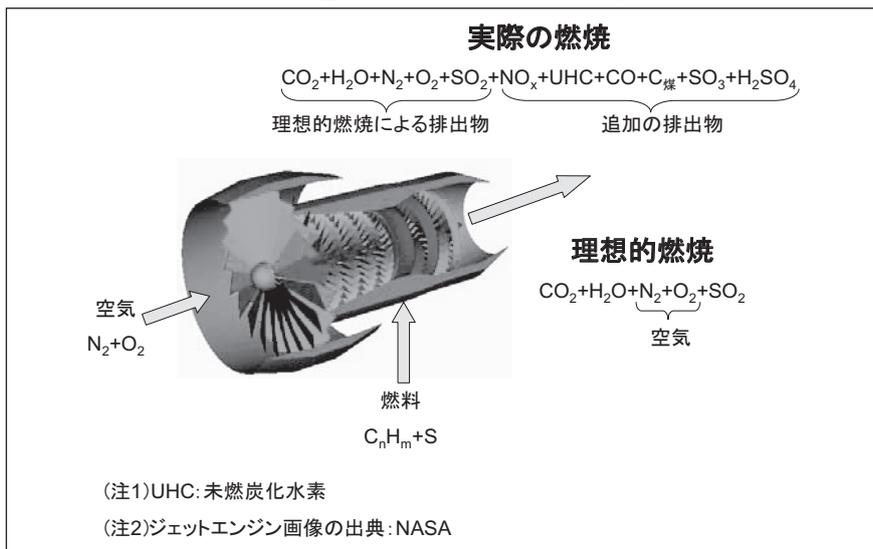
候への影響因子としては、図表2に示す通り、主要な温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)に加え、対流圏オゾンの生成およびメタンの減少を引き起こす窒素酸化物(NO_x)、飛行機雲および巻雲の形

成の原因となる水蒸気(H₂O)、ならびに煤およびエアロゾルが挙げられている⁷⁾。なお、1kgの燃料からの排出量は、CO₂ ~ 3,160g、H₂O ~ 1,290g、NO_x ~ 15g 未満、その他 ~ 1g 未満である⁸⁾。

航空機からの排出物による温暖化効果のうち、航空機に特有なものである飛行機雲および巻雲の1992年における放射強制力(Radiative Forcing)は各々、0.02W/m²および、不確実性が大きいため正確に推定できないとして、0 ~ 0.04W/m²の範囲であるとしていた。放射強制力とは、大気と地表との間のエネルギー平衡状態が、温室効果ガスの濃度変化など様々な要因により変化した際、その変化量を対流圏と成層圏との境界面である圏界面における単位面積当たりの放射量(W/m²)の変化で表す指標であり、地表を加熱する効果がある場合には正の値、また地表を冷却する効果がある場合には負の値で示される⁹⁾。

IPCCが2007年に発表した第4次報告書でも、航空活動に起因する地球温暖化への影響が評価されている¹⁰⁾。2000年におけるCO₂

図表1 ジェットエンジンの理想のおよび実際の燃焼過程



出典：参考文献⁵⁾

排出量見積もりについては、1990年の年当り約330Mt CO₂から年当り約480Mt CO₂と約1.5倍に増加しており、人為起源のCO₂総排出量に占める割合は約2%であるとしつつ、現状を放置した場合、航空交通量は年率約5%で増加すると予測されるため、年率1~2%程度の燃料効率の改善では、航空機によるCO₂排出量は年率3~4%で増加することになってしまうと指摘している。

飛行機雲について、2005年にお

ける放射強制力は約0.01W/m²であるとした。この値は、1999年発表の特別報告書にある値(但し、1992年に於ける値)の約2分の1であり、衛星による雲の観測能力の向上および雲の放射特性に関する研究の進展が起因している。一方、巻雲については現状、科学的理解が十分ではないとして、放射強制力の評価は行われていない。なお、巻雲による地球温暖化への影響については様々な評価結果が発表されている¹¹⁾。

図表2 航空機排出物による地球温暖化への影響

気候への影響因子	影響の特徴	科学的理解度
CO ₂ の生成	・数十~数百年、最大数千年程度大気中に滞留 ・排出場所に依存せず同様の影響 ・温暖化効果の影響は地球規模	○ (航空関連CO ₂ の規模、気候への影響は十分理解が得られたとの一般的認識)
対流圏オゾンの生成	・巡航時に排出されるNO _x により対流圏にオゾンが生成、温暖化の原因。 影響度は、緯度・経度・高度および大気の状態に依存 ・大気中滞留期間は数週間 ・温暖化効果は、地球規模ではなく、地域的	△ (影響の程度については不明確。IPCCによれば、対流圏オゾンの濃度変化は北半球で顕著、一方、メタンの濃度変化は地球規模。そのため、両者の地域への影響は相殺しない)
メタンの減少	・巡航時に排出されるNO _x により周辺大気中のメタン (NO _x ではなく他の生成源によるもの)が減少、寒冷化の原因 ・影響の持続期間は約8~12年 ・寒冷化の影響は地球規模	
飛行機雲および巻雲の形成	・飛行機雲は大気の状態が寒冷、高湿度な場合にのみ形成。飛行機雲の持続期間は、周辺大気の状態および氷の過飽和の程度に依存し、数秒~数時間程度。飛行機雲による巻雲形成の可能性 ・温暖化効果は緯度・経度・高度および大気の状態に大きく依存。巻雲と航空輸送との間の相関を示すデータもあるものの、航空機による飛行機雲の形成および塵の排出に起因する巻雲の規模に関する定量的理解は不十分	飛行機雲については△、巻雲については× (一般的に巻雲を含め、気候変動において雲の果たす役割は理解が不十分)
煤およびエアロゾル	・影響は地上よりも高々度に於いてより顕著 ・煤は宇宙空間に向かう赤外線放射を捕捉、小規模の温暖化効果 ・硫酸塩のエアロゾルは太陽光を反射、冷却効果 ・共に短い滞留期間。影響は地域的	△

出典：参考文献⁷⁾

京都議定書では、国際航空便は、国内航空便とは異なり、附属書 A に掲げる部門および発生源に含まれていないため、国際航空便により排出される温室効果ガスは、附属書 I に掲げる締約国による抑制または削減の対象となっておらず、京都議定書第 17 条が規定する排出量取引制度の対象には自動的に含まれない¹²⁾。但し、京都議定書第 2.2 項では「附属書 I に掲げる締約国は、国際民間航空機関(中略)を通じて活動することにより、航空機用(中略)の燃料からの温室効果ガス(中略)の排出の抑制又は削減を追求する」旨規定されており、国際民間航空機関(ICAO)は、政府または民間による排出量取引制度を検討している。なお、ICAO の航空環境委員会(CAEP)は、航空機の離着陸(LTO)時については、騒音レベルに加え、人体に有害な一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)および窒素酸化物(NO_x)の排出量に関する基準を制定しており、この基準は時間の経過とともに強化される傾向にある。

欧州連合(EU)は 2005 年 1 月 1

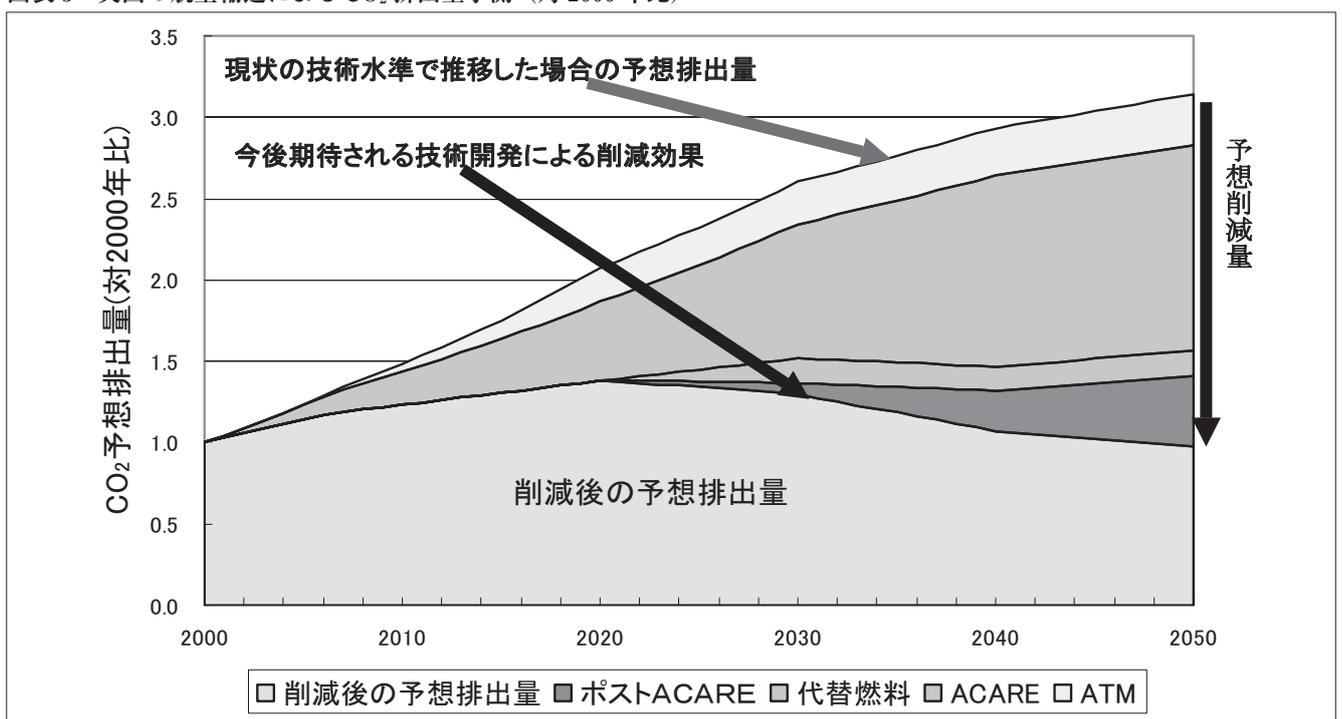
日から京都議定書に含まれる温室効果ガスのうち、CO₂を対象とする EU 域内排出量取引制度(EU-ETS)を発足しており、EU-ETS は、学習期間である第 1 期を 2007 年末に終了し、現在、京都議定書の約束期間と同じく 2008 年 1 月から 2012 年末を対象とする第 2 期に入っている。

欧州委員会は、京都議定書以降を睨み、EU-ETS 第 3 期である 2013 年 1 月から 2020 年末における地球温暖化問題への欧州としての取組みを強化し、2020 年までに (1) 1990 年比で温室効果ガス排出量 20%削減 (国際取決めが成立した場合は 30%削減) および (2) 再生可能エネルギーの総エネルギー消費に占める割合 20%を達成するため、加盟国別の排出量割当ではなく EU 全体として上限を設けること、CO₂以外の温室効果ガスの排出枠を EU-ETS の対象とすることなどを柱とした提案を行い、EU 首脳会議および欧州議会は 2008 年 12 月、修正を施した後、この提案を承認した¹³⁾。

提案が承認されたことにより、

2012 年から EU 域内便および国際便を問わず、EU 域内において発着する航空便が EU-ETS の対象となる見込みである^{14)、15)}。EU 加盟国政府機関を除く民間の航空運航業者が原則、規制の対象となり、一つの航空運航業者に対して一つの EU 加盟国政府の担当機関が監督を行う。但し、EU と同様な取組みが行われている国の航空運航業者は、対象とならない場合がある。CO₂のみが排出規制の対象となり、2004 年～2006 年の間に EU 域内の空港において発着した航空機からの総排出量の年平均に基づき、航空運航業者には 2010 年の運航実績(乗客・貨物などの重量と運航距離との積)に応じて排出量実績が算出される。2012 年には排出量実績の 97% および 2013 年～2020 年には排出量実績の 95% が上限枠(cap)として設定され、各航空運航業者には、上限枠の 85% が無料で割り当てられるとともに、これを超える排出枠は EU-ETS で取引されることになる。手続きの簡素化のため、小型航空機の運航業者などは、EU-ETS の対象から除外される。

図表 3 英国の航空輸送による CO₂ 排出量予測 (対 2000 年比)



出展：参考文献¹⁶⁾

英国航空環境団体であるサステナブルアビエーション(Sustainable Aviation=持続可能な航空)によると図表3に示す通り、英国の航空輸送によるCO₂排出量は、現状の技術水準で推移した場合、2050年には2000年に比べて約3倍に増加する見込みである¹⁶⁾。航空交通管理(ATM)システムの改善、後述す

る欧州航空研究諮問委員会(ACARE)の戦略研究計画(SRA)に基づく航空輸送システム(ATS)の先端的技術開発、低炭素の代替燃料、ACARE後のさらなるATS技術開発などが実現する場合、2020年頃にCO₂排出量がピークを迎えた後、2050年頃、2000年と同程度のCO₂排出量まで抑制できる

としている。

EU域内で発着する民間航空機に対し原則、2012年からEU域内排出量取引制度が適用される見込みであることもあり、CO₂などの温室効果ガスの排出量を現状に比べ大幅に削減する環境適合型航空機に対する需要は今後高まるものと考えられる。

3 内外の研究開発動向

3-1

日本

総合科学技術会議が2006年3月28日、第3期科学技術基本計画に基づき取りまとめた「分野別推進戦略」¹⁷⁾では、社会基盤分野の交通・輸送システムにおいて、新たな社会に適應する交通・輸送システム新技術として「新需要対応航空機国産技術」および「交通・輸送予防安全新技術」が集中投資を行う戦略重点技術として位置付けられている。

新需要対応航空機国産技術は、「新たな需要に対応した航空機・エンジン実現を可能とする全機インテグレーション技術のうち試作機開発およびこれに寄与する技術開発、静粛超音速研究機の研究開発、比較優位を維持・向上する複合材創成・加工技術」を技術の範囲とし、選定理由については、「これまでの我が国の国際共同開発の実績をベースに日本特有の国産技術の確保が不可欠」であるため、「小型航空機の全機インテグレーション技術ならびにそれを支える要素技術の向上(中略)将来の高速化ニーズに対応する(中略)技術を戦略重点化する」としている。交通・輸送予防安全新技術は、「航空機の安全高密度運航を可能とする4次元(位置+時間)の交通管理等を含むIT技

術の活用による航空交通管理技術、小型機運航支援技術、全天候・高密度運航技術」を技術の範囲とし、選定理由については、「今後の航空交通の需要増加(中略)に配慮して、予防安全を徹底するための新たな技術の活用を重点化して推進する必要がある」としている。

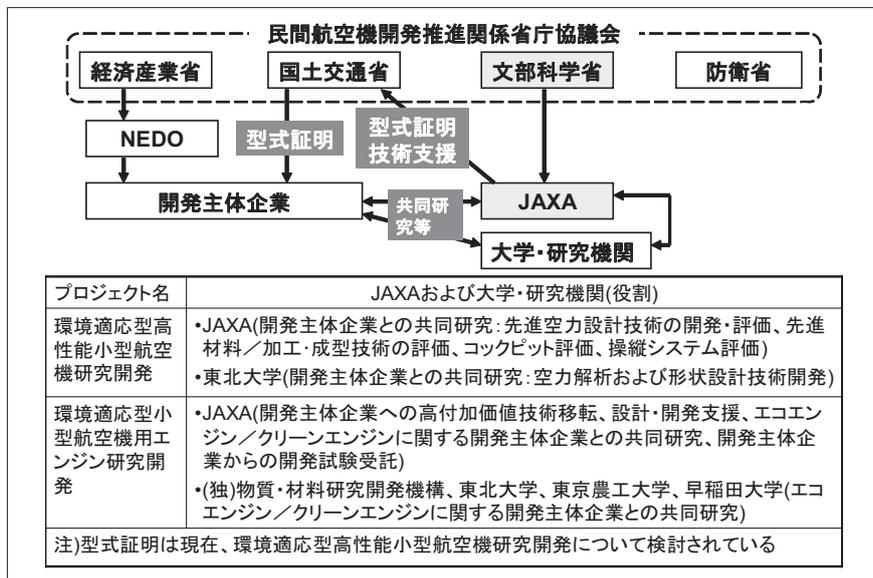
(1) 全機インテグレーション技術

新需要対応航空機国産技術に含まれる航空機・エンジンの全機インテグレーションについては、経済産業省を主務省とする(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトとして「環境適合型高性能小型航空機研究開

発」¹⁸⁾および「環境適合型小型航空機用エンジン研究開発(通称、エコエンジン)」¹⁹⁾が2003年度から実施されており、これらプロジェクトの推進体制の概要を図表4に示す^{20、21)}。

文部科学省を主務省の一つとする(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、第1期中期計画(2003年10月1日～2008年3月31日)において、環境適合型高性能小型航空機研究開発および環境適合型小型航空機用エンジン研究開発に「共同研究で参加するとともに、積極的に技術協力、大型設備供用等を進める」²²⁾こと、さらに第2期中期計画(2008年4月1日～2013年3月31日)においても、「『第3

図表4 NEDOプロジェクト推進体制の概要



出典：参考文献¹⁸⁻²¹⁾

期科学技術基本計画』における戦略重点科学技術を中心とした先端的・基盤的な航空科学技術の研究開発を進める。具体的には、航空機／航空エンジンの高度化に資する研究開発として、国産旅客機高性能化／クリーンエンジンに係る高付加価値・差別化技術の研究開発(中略)を重点的に推進する」²³⁾ことを目標として掲げ、2010年頃に完成するエコエンジンよりもさらに環境適合性の向上を目指し、2012年頃完成予定の「クリーンエンジン」、さらなる騒音低減および燃費・安全性・快適性の向上を目指す「国産旅客機高性能化」など、より先端的な研究開発を推進するとともに、これらNEDOプロジェクトを技術的に支援してきた。また、我が国有数の大規模な風洞試験設備、計算流体力学(CFD)設備などの供用も行っており、さらに実際の運用環境での機器の評価が可能となる飛行試験設備(ジェットFTB)の整備も計画している²⁴⁾。

環境適応型高性能小型航空機研究開発で開発されている小型ジェット機技術については、三菱重工業株式会社(MHI)が2008年3月28日、YS-11以来約40年ぶりの国産民間旅客機となる「三菱リージョナルジェット(MRJ)」としての事業化を決定するとともに、MRJの事業化を担う「三菱航空機株式会社」を同年4月1日、設立した²⁵⁾。なお、MRJが民間航空機として運航するためには、我が国の場合、国土交通省から型式証明を取得する必要があり、その際、JAXAは国土交通省を技術支援することになっている。

(2) 静粛超音速研究機

世界唯一の超音速旅客機であった英仏共同開発のコンコルドは、数分間程度の超音速飛行が要求される軍用機と異なり、数時間程度の超音速飛行を実現する必要があったため、機体重量、空力設計、

燃料効率などが開発課題であったのに加え、亜音速機を超える騒音のため離着陸できる空港が限定され、ソニックブームのため陸地上空での超音速飛行が許可されなかった^{26, 27)}。

JAXAでは、図表5に示す通り、関係機関との連携の下、将来予想される超音速輸送機(SST)の国際共同開発への対等な参加の実現も視野に入れ、離着陸時騒音低減に加え、SST実現の鍵となるソニックブーム低減と言う環境適合性と軽量化・低抵抗化による燃料効率向上と言う経済性との両立を目指した「静粛超音速機技術の研究開発」が行われている。

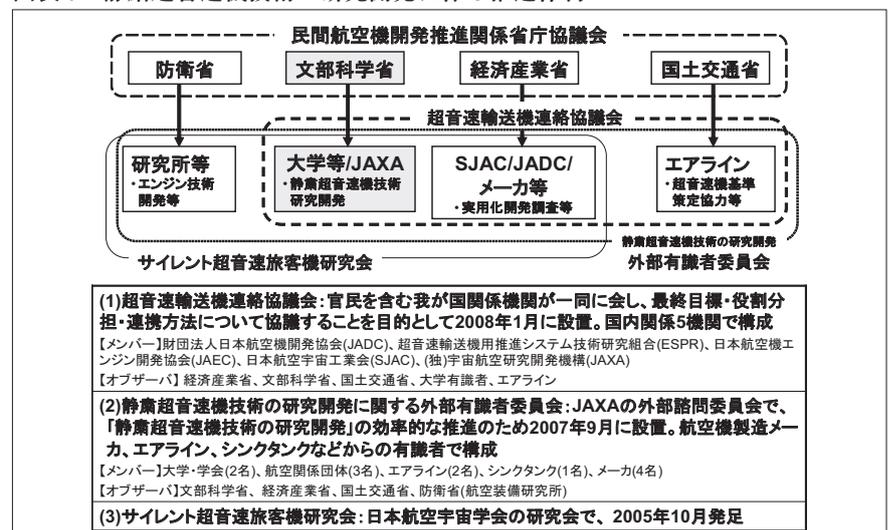
1997年から超音速機技術の研究開発を行っており、設計結果の風洞試験・計算流体力学(CFD)による評価および評価結果と目標との相違に基づく設計変更を繰り返す行方従来の手法(「順問題設計」と言う)とは異なり、自然層流が実現する圧力分布を目標として設定して主翼形状を逆に求める「計算流体力学(CFD)逆問題設計法」など、空力抵抗低減のための設計技術の獲得を目的とした第1段階では、2005年10月、無推力・ロケット打上げの小型超音速実験機の飛行実証実験に成功し、逆問題設計法の妥当性などを確認した²⁸⁾。

2006年からは、推力飛行・完全自律航行の無人研究機による飛行実験を行い、空力抵抗の低減と同時にソニックブームの半減と言う騒音問題の解消に取り組む第2段階に入った。図表6に示す通り、研究機本体および飛行実験計画に関する研究開発活動を行っており、2009年度の間中評価によるフェーズアップ判断を仰いだ後、2010年度から開発に着手、2010年代中頃の飛行実証の実現を目指している²⁶⁾。

静粛超音速研究機の設計検討では、CFD逆問題設計法をさらに進め、空気力学、構造力学、空力音響と言った多分野に跨る制約条件を統一的に処理して機体設計を実現する「多分野統合多目的最適設計手法」も開発されており、超音速機のみならず亜音速機の設計にも貢献することが期待されている²⁷⁾。

マッハ5程度で巡航し、約2時間で太平洋を横断することができる極超音速機概念も検討されている。極超音速エンジンでは、ロケットエンジンとは異なり、大気中から取り込んだ空気と燃料との燃焼により推力を発生し、推進材搭載量を低減できるため、宇宙輸送系の第1段とする概念検討も行われている²⁸⁾。

図表5 静粛超音速機技術の研究開発に係る推進体制



出典：参考文献²⁶⁾

図表6 静粛超音速機技術の研究開発の概略スケジュール

年度	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2010年代中頃
主要マイルストーン		▼事前評価		▼中間評価	ソニックブーム半減小型SST概念		環境適合型小型SST概念	小型SSTの性能目標達成評価
I技術目標								
(1)ソニックブーム強度の半減:0.5psf以下					▼解析による評価			▼飛行実験・解析による達成評価
(2)離着陸時騒音:ICAO Chap.4Iに適合							▼要素試験・解析による評価	▼地上試験・解析による達成評価
(3)巡航揚抗比:8.0以上							▼解析による評価	▼地上試験・解析による達成評価
(4)構造重量:全金属機体に比べ15%減							▼部分構造試作による評価	▼解析による達成評価
III静粛超音速研究機の飛行実験システム開発および飛行実験								
(1)静粛超音速研究機飛行実験システムの開発				▼基本設計完了	▼詳細設計完了		▼開発完了	
		概念検討	設計検討		開発			
(2)静粛超音速研究機の飛行実験					飛行実験計画検討等	飛行実験計画詳細化等		▼飛行実験着手 飛行実験

出典：参考文献²⁶⁾

3-2

欧州

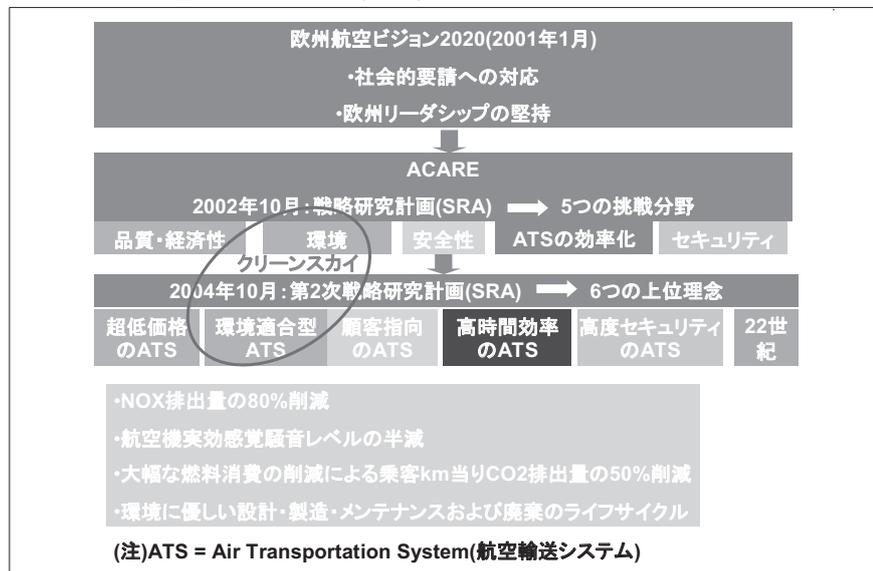
(1) 欧州航空ビジョン2020と欧州航空研究諮問委員会(ACARE)

2020年に向けた欧州航空輸送のビジョンをまとめた報告書「European Aeronautics: A Vision for 2020」(以下、「欧州航空ビジョン2020」と言う)が2001年1月に発表され²⁹⁾、(1)品質・経済性、安全性、環境および航空交通管理(ATM)の発展・強化に関する「社会的要請へ

の対応」とともに、(2)欧州航空産業界の世界第一位と言う国際競争力の維持・強化に関する「グローバルリーダーシップの堅持」ならびに(3)市場変化に対応した柔軟な航空政策、公的研究開発体制の強化、官民研究交流の促進、航空人材育成のための教育政策、欧州域内の人材流動化、電子ネットワーク・電子商取引・電子ビジネスの促進および国際民間航空機関(ICAO)その他欧州航空輸送活動に影響する国際機関との関係強化に関する「欧州各国政府および欧州議会の政策・規則」において、産学官連携の下、達成すべき目標が提言された。

航空分野における利害関係者間の調整のため、欧州技術プラットフォーム(ETF)として欧州航空研究諮問委員会(ACARE)を立ち上げることも提言された^{29)、30)}。ACAREは、欧州航空ビジョン2020に規定する社会的要請への対応に基づき、2020年までに実現すべき民間航空輸送研究開発に関する優先付けなどの検討を行い、戦略研究計画(SRA)を取りまとめている。図表7に示す通り、2002年10月に発表された報告書では、民間航空機ハイジャックによる米国同時多発テロが2001年9月11日に発生したこともあり、SRAとしてセキュリティも加え5つの挑戦分野(品質・経済性、環境、安全性、ATSの効率化およびセキュリティ)が識別され、2004年10月に発表された報告書では、2020年以降も視野に入れ、SRAとして6つの上位理念(超低価格、環境適合性、顧客指向、高時間効率、高度セキュリティ、22世紀)が識別された³¹⁾。

図表7 欧州航空戦略研究計画(SRA)



出典：参考文献³¹⁾

(2) 第7次EU研究開発枠組み計画

EUの第7次研究開発枠組み計画(FP7)では、ACAREの提言を踏まえ、図表8に示す通り、航空分野において取り組むべき課題と

して、(1)航空輸送の環境適合化、(2)時間的効率性の向上、(3)顧客満足度および安全性の確保、(4)経済性の向上、(5)航空機および乗客の保護ならびに(6)未来型航空輸送の研究が取り上げられている^{32, 33)}。

研究開発活動は技術成熟度の達成目標レベルに分類して行われており、(1)レベル1では、基礎研究からコンポーネントおよびサブシステム・レベルまでの上流過程の研究開発活動で、解析および/または適切な環境での実験によるもの、(2)レベル2では、より高度な技術成熟に向け、多分野に跨るシステムレベルの技術および運用手法の統合および妥当性確認を中心とした下流過程の研究開発活動で、大規模飛行・地上試験設備、模擬装置などの適切な環境で行うもの、さらに(3)レベル3では、最高レベルの技術成熟に向け、統合されたシステムにより行う研究開発活動で、適切な運用環境などで行うものが対象となる。

レベル3に該当する研究開発プロジェクトとしては、航空輸送の環境適合化に対応する「クリーンスカイ共同技術開発計画(JTI)」および「単一欧州航空交通管理研究計画(SESAR)共同事業(JU)」が立ち上げられており、FP7の通常の研究開発活動とは異なる枠組みで行われる。

(3) クリーンスカイ JTI

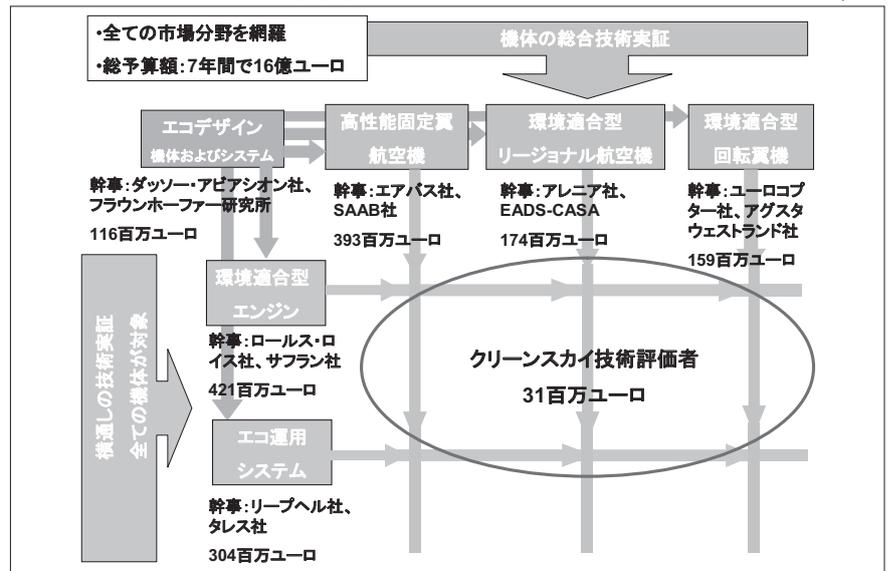
クリーンスカイは、欧州航空ビジョン 2020 および ACARE の提言に基づき、CO₂、NO_x、騒音と言った航空活動による環境負荷を大幅に低減するため、産学官連携の下、実際の製品開発に繋げるための先行的な技術開発・実証を行う。図表9に示す通り、機体関連では、(1)燃料効率に画期的な向上をもたらすオープンロータを搭載するとともに、飛行機の速度に応じて理想的な自然層流を実現する高性能固定翼航空機、(2)CO₂などの温室効

図表 8 FP7における航空関連研究開発

1. 航空輸送の環境適合化
・対象範囲：環境適合型航空機、エコ製造・メンテナンス、環境適合型航空輸送活動
・2020年には2001年比で乗客 km 当り CO ₂ を 50%、NO _x を 80%、実効感覚騒音レベルを 50%削減して、航空輸送による環境負荷を低減
・代替燃料技術を含む環境適合型エンジン技術の向上、固定翼機および回転翼機の機体性能向上、構造の軽量化・高機能化、空力特性の向上などを研究
・空港における航空機の運用、航空交通管理、エコ製造・メンテナンス・リサイクルも課題
2. 時間的効率性の向上
・対象範囲：航空機の利便性の向上、航空輸送活動の時間的効率性の向上
・安全性を確保しつつ、全気象条件下でフライトスケジュールを遵守(フライトの99%がスケジュールの15分以内に発着)し、かつ、乗客の空港待合せ時間を大幅に短縮(短距離飛行で15分、長距離飛行で30分)することにより、3倍とも予想される航空交通量の増加に対応
・航空機の自律的運航とともに、航空機、地上設備および測位衛星を統合することにより、SESARの枠組みで画期的な航空交通管理(ATM)システムを開発・実現するために研究
・乗客・貨物の処理能力の向上、空港の効率的利用、他の交通手段との接続も課題
3. 顧客満足度および安全性の確保
・対象範囲：客室快適性の向上(機上サービスおよび快適性の選択拡大)、乗客に優しい航空輸送活動、航空機の安全性、ATMなどの運用の安全性
・乗客の選択肢およびスケジュールの融通性を大幅に向上するとともに、事故率を1/5に低減。ヒューマンエラーの大幅な低減と回復能力の向上、事故死亡率の低減
4. 経済性の向上
・対象範囲：航空機開発費、航空機運用費、ATM運用費
・初期設計から製品開発・製造までの全ての過程を改善するとともに、サプライチェーンを強化し、2020年には2001年比で航空機開発費を50%削減、市場投入時間を50%短縮、航空機運用費を50%削減、ATM運用費を20%削減。より安価な航空運賃を実現
5. 航空機および乗客の保護
・対象範囲：航空機セキュリティ、運用セキュリティ
・如何なるテロからも乗客または一般市民を防護し、傷害・損失・損害などの発生を抑止
・航空機または航空輸送システムに対する機上または外部からの敵対的攻撃の抑止
6. 未来型航空輸送の研究
・対象範囲：ブレイクスルーおよび新技術、航空輸送活動の画期的変革
・2050年以降に向け、関係者、特に大学および研究機関による斬新なアイデアおよび未来志向技術の創出。航空輸送における画期的変革のための技術基盤の創成

出典：参考文献^{32, 33)}

図表 9 クリーンスカイの統合技術実証プロジェクト



出典：参考文献³⁴⁾

果ガス、空港周辺大気汚染物質および騒音の大幅な削減を実現する環境適合型リージョナル航空機ならびに(3)環境適合型リージョナル

航空機と同様に環境対応を目指す環境適合型回転翼機、分野横断型では、(4)高性能固定翼航空機、環境適合型リージョナル航空機およ

び環境適合型回転翼機の実現に不可欠な環境適合型エンジンならびに(5)補助動力装置、油圧系などの電化および飛行経路の最適化を含め燃料消費量を低減し、空港周辺および飛行時における環境対応を目指すエコ運用システム、さらに機体およびシステムでは、(6)設計・製造・廃棄の全ライフサイクルにおいて環境負荷の低減を目指すエコデザインについて、要素技術開発およびプロトタイプによる総合技術実証(ITD)が行われる³⁴⁾。

クリーンスカイでは、2008年～2014年の7年間の活動期間における予算総額は約16億ユーロと見込まれており、欧州委員会および参加企業がこの予算を折半して負担する。各々のITDでは、欧州の代表的企業が幹事を務め、欧州の航空関連中小企業は提案要請または入札公募を介して参加する。クリーンスカイでは、図表10に示す通り、実際の製品開発が可能となるTRL6またはそれを超えるレベルまでの技術成熟度の向上を目標としている³⁵⁾。

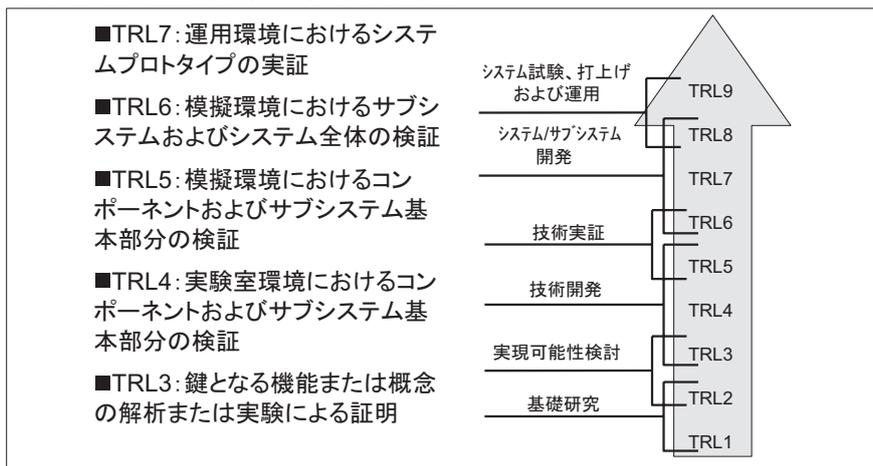
3-3

米 国

(1) 米連邦政府の政策

1993年11月23日に設立された米国家科学技術評議会(NSTC)は、米連邦政府研究開発政策の調整を行う米国大統領府の機関であり、米大統領が議長ならびに副大統領、大統領府科学技術政策局(OSTP)局長、科学技術所掌の省・局の長およびその他の大統領府担当官が委員を務める³⁶⁾。米大統領が2006年12月に承認した「米国家航空研究開発政策」は、2020年までの米連邦政府の航空科学技術研究開発に係る初の政策であり、NSTCの技術委員会(COT)航空科学技術小委員会(AS&T)は、この政策の規定

図表10 技術成熟度(TRL)と研究開発フェーズ



出典：参考文献³⁵⁾

図表11 航空研究開発および関連施設に関する米国家計画の目標

<p>I. 移動性</p> <p>(目標1) 航空機の飛行間隔の短縮および機体性能に基づく運用</p> <p>(目標2) リソースおよび事故発生時の航空交通量の管理による米国家航空システムの能力の強化</p> <p>(目標3) 気象が航空交通管理に係る意思決定に及ぼす悪影響の低減</p> <p>(目標4) 空港および大都市部における発着数の大幅な増加</p> <p>(目標5) 航空交通管理システムの性能向上による航空輸送能力の向上</p>
<p>II. 米国家安全保障および国土安全保障</p> <p>(目標1) 高効率の高々度飛行および移動性に優れた航空機実現のための巡航時揚抗比(L/D)の向上および画期的な機体概念の実証</p> <p>(目標2) 回転翼機の輸送能力、航続距離および任務遂行能力の向上</p> <p>(目標3) ガスタービンの燃料消費量の低減</p> <p>(目標4) 航空機の推力および熱制御能力の向上</p> <p>(目標5) 持続的かつ制御された極超音速飛行の実証</p>
<p>III. 安全性</p> <p>(目標1) 機体設計、構造およびサブシステムの向上による事故発生件数低減技術の実証</p> <p>(目標2) 地上および空域における航空機運用の改善による事故発生件数低減技術の実証</p> <p>(目標3) 大規模事故の際の乗客および乗員の生存率向上の実証</p>
<p>IV. エネルギーおよび環境</p> <p>(目標1) 燃料供給安全保障および価格安定性の向上のため、米国家産資源から得られる多様な新航空燃料の実現</p> <p>(目標2) 航空システムの燃料効率を大幅に改善する技術および運用方法の先端的開発</p> <p>(目標3) 航空システムの環境に対する甚大な影響を低減する技術および運用手法の先端的開発</p>

出典：参考文献³⁷⁾

に従い、2007年12月に「航空研究開発および関連施設に関する米国家計画」を策定した³⁷⁾。

米国家計画は、図表11に示す通り、米国家航空研究開発政策の基本的枠組みに従い、(1)移動性、(2)国家安全保障および国土安全保障、(3)安全性ならびに(4)エネルギーおよび環境の航空科学技術研究開発分野について、目標および短期・中期・長期の目的を定めるとともに、研究・開発・試験および評価(RDT&E)施設に関する計画を取りまとめた。

図表11の「I. 移動性」では、第

4-1項の(1)で後述する通り、次世代航空輸送システム(NextGen)の導入により、航空交通管理システムの機能・性能を大幅に改善して、将来大幅に増加すると予測される航空交通量に対応するとの目標が示されている。「IV. エネルギーおよび環境」では、米国家産資源による代替燃料開発の推進とともに、燃料効率の大幅な改善などによる環境負荷低減が目標として示されている。

米国家航空研究開発政策では、連邦政府機関の役割分担も定めており、米国防総省(DOD)、米連邦航

空局 (FAA)、全米科学財団 (NSF)、米国土安全保障省 (DHS) および米商務省 (DOC) がその所掌業務の範囲内で研究開発を行うのに対し、米国航空宇宙局 (NASA) は、世界トップクラスの米国航空科学技術能力の堅持のため、有人および無人宇宙活動にとって重要なものも含め、航空科学技術基盤の維持・強化を目的とした広範な先端的・基盤的研究開発活動を推進する旨規定されている³⁶⁾。

(2) NASA の航空科学技術研究開発活動

NASA の長期計画では、科学、有人探査および航空のバランスを図りつつ事業を推進し、さらに航空に関しては、基礎分野における知識を発展させるとともに、航空機の安全性の向上および航空交通増大への対応のために技術開発を行うとしている³⁸⁾。航空分野において達成すべき目標としては、(1) 2016 年までに、航空交通管理 (ATM) のため 2025 年頃運用開始予定の次世代航空輸送システム (NextGen) において、新規および既存を問わず、航空機の安全性を向上するためのツール・手法および技術の開発、(2) 2016 年までに、安全性を維持しつつ、NextGen の交通量および移動性に対する要求を満足する先端的技術の開発、(3) 2016 年までに、亜音速から超音速、

極超音速までの全速度領域において、様々な形態の機体性能の定量的評価が可能となる多分野統合多目的最適設計手法 (MDAO) の開発ならびに (4) 米国航空宇宙計画にとって戦略的に重要である NASA 風洞試験設備その他の地上試験設備の継続的供用の確保が挙げられている。

NASA 航空研究本部 (ARMD) は航空基礎研究、航空安全性、航空交通および航空試験施設と言う 4 本柱で航空科学技術に関する長期計画の目標達成を目指している³⁹⁾。

(1) 航空交通では、NextGen に必要な研究、(2) 航空安全性では、航空機が既存または新規かを問わず、既存の ATM および NextGen における予防的な安全性の研究、(3) 航空試験施設では、新たな試験装置および手法の開発を含め、米国にとって必要な試験施設・設備の維持・向上、さらに (4) 航空基礎研究では、地球その他の太陽系惑星の大気において、全速度領域に適用可能な知見を創出する先端的研究が対象となる。

航空基礎研究では、亜音速固定翼、亜音速回転翼、超音速および極超音速に関する研究開発が行われている⁴⁰⁾。亜音速固定翼および超音速では、将来型航空機の市場参入時期などで、2015 年頃の第 1 世代 (N+1)、2020 年頃の第 2 世代 (N+2) および 2030 ~ 2035 年頃の

第 3 世代 (N+3) に分類して、研究開発目標を設定しているのに加え、極超音速では空気吸込み式極超音速エンジンを第 1 段に搭載する 2 段式宇宙輸送機 (TSTO)、将来の有人探査のため重量約 30t の大型構造物の火星への突入・降下・着陸 (EDL) に関する概念検討が行われているのが特徴として挙げられる。これら研究活動では、設計トレードオフの効率化などのため多分野統合多目的最適設計 (MDAO) のためのツールの開発も行われている。

ARMD では、燃料効率に優れ、MRJ にも搭載予定のエンジン「ギアードターボファン」の地上試験におけるプラット&ホイットニー社との協力、主翼の一部を機体と統合した主翼混合型機体 (BWB) の実験機「X-48B」の飛行実験におけるボーイング社との協力などを行っているほか、基礎研究などの分野における米国航空産業力の維持・強化のため 2006 米会計年度から NASA 研究公募 (NRA: NASA Research Announcement) を行っている。2008 米会計年度の NRA では、2030 ~ 2035 年頃に市場参入予定の亜音速固定翼機および超音速機の概念検討のため米国企業など 6 者が選定された。主要検討課題には環境適合性が含まれており、総契約額は約 12.4 百万ドル、契約期間は約 18 カ月となっている⁴¹⁾。

4 研究開発動向の比較分析

4-1

環境適合化に向けた動き

航空輸送による環境負荷の軽減策としては、図表 12 に示す通り⁴²⁾、技術面では、短中期的には主翼先端の乱流による空気抵抗を

低減するウイングレットなどによる改装⁴³⁾、石油由来のケロシンに替わる植物由来その他の代替燃料の開発⁴⁴⁾などに加え、長期的には新規の環境適合型航空機の導入が不可欠になり、運用面では、短中期的には滑空飛行と推力飛行とを繰り返す従来の着陸方法に替え、滑空飛行で連続的に降下する着陸

方法 (CDA) などに加え、中長期的には次世代の航空交通管理 (ATM) システムの導入が重要である。

第 2 章で述べた通り、IPCC において航空輸送活動による環境負荷の増大が懸念されていること、2012 年から欧州連合 (EU) 域内で発着する航空便が原則、EU 域内排出量取引制度 (EU-ETS) の対象と

図表 12 航空輸送による環境負荷の軽減策

	負荷軽減策	環境への影響			経済的費用または効果	時期	対象
		騒音	大気汚染	地球温暖化			
技 術	騒音源遮蔽	○	N/A	×	× (費用)	短期	既存航空機
	改装 (ウイングレットなど)	N/A	N/A	○○	× (改装費) ○○ (低燃費化)	短期	既存航空機
	代替燃料	N/A	○	○○	×× (費用)	中期	既存航空機?
	新規設計	○○	○○	○○	××× (調達費) ○○ (燃料費削減)	長期	新規航空機
運 用	CDA	○	○	N/A	○ (燃料費削減)	短期	空港
	離陸時推力低下	○	○/×	N/A	○ (効果)	短期	空港
	着陸進入角増加	○	○	N/A	× (費用)	中期	空港
	ATM 機能・性能向上	○	○	○	×× (設置費) ○ (燃料費削減)	中期	航空輸送全般

出展：参考文献⁴²⁾

なる見込みであることなどから、エコ、グリーンと言った環境適合性は、今や航空輸送活動にとっても喫緊の課題となりつつあり、第3章でも述べた通り、日米欧において航空輸送活動の環境適合化に向けた研究開発が産学官連携の下、推進されている。以下では、これら日米欧の航空研究開発活動のうち、特に注目すべき点を述べる。

(1) 次世代航空交通管理(ATM)システム

2025年頃には2000年頃に比べ、航空交通量が約2倍に増加するとの予測があり⁴⁵⁾、地上レーダを使用した地上管制官との音声通信による従来の航空管制では、このような増加に対応が困難となり、空港での離着陸待ち、ノロノロ運転と言った空の交通渋滞の解消のためには、カーナビと同様にGPSなど測位衛星を活用し、インターネットのように航空機、地上局などを接続して、気象予報、近傍を飛行する航空機の位置・速度などの情報交換を実現する航空交通管理(ATM)システムの導入が不可欠とされており、米国では2025年頃の運用開始を目指し、次世代航空輸送システム(NextGen)の整備が行われている⁴⁶⁾。

欧州連合(EU)でも、加盟国毎の細切れの航空管制空域ではなく

EU全空域を対象とする単一欧州空域政策(SES)の下、2020年頃の運用開始を目指し、単一欧州航空交通管理研究計画(SESAR)が推進されている⁴⁷⁾。我が国でも国土交通省において運輸多目的衛星を活用する同様の取組みが行われるとともに、我が国独特の事情も踏まえ、小型航空機の自律的運航を可能とする分散型高効率安全運航システム(DREAMS)の研究開発が行われている⁴⁸⁾。

これら次世代ATMシステムにより、CO₂排出量は、乗客km当たり約10%程度削減できるとされている⁴⁷⁾。空港周辺の騒音および窒素酸化物・未燃炭化水素などによる大気汚染のさらなる抑制に加え、CO₂排出量のさらなる削減のためには、従来の航空機とは異なり、大幅に排出物・騒音を低減する環境適合型航空機の導入が不可欠になると考えられる。

(2) 環境適合型航空機に必要な技術

単位燃料消費量(-dW)当りの航続距離(dR)は、以下の式で与えられる⁴⁹⁾。但し、V_{a/c}は航空機の色度、(L/D)は航空機の揚抗比、TSFCは定格推力当り燃料消費率、Wは航空機の重量で、空虚重量(W₀)、ペイロード重量(W_{PL})および搭載燃料(W_{Fuel})の和である。

$$-dR/dW = V_{a/c} \times (L/D) / TSFC / W$$

単位燃料消費量当り航続距離の向上により燃料効率を改善して、二酸化炭素など温室効果ガスの排出量を削減するためには、上記の式が示す通り、a)機体の軽量化、b)エンジン効率の向上、c)揚抗比(L/D)の向上およびd)燃料の単位質量当りの高エネルギー化が鍵となる⁴⁹⁾。

a)機体の軽量化

B787の例が示す通り⁵⁰⁾、機体の軽量化には軽量かつ高強度の炭素繊維複合材(CFRP)が有力であるものの、通常、複合材はプレプリグと言う半硬化のシート状複合材を積み重ねるため、製造工程が多くなり、またオートクレーブと言う製造時に高温・高圧をかける高価な製造容器が必要なため製造コストが高かった^{51, 52)}。

(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、真空樹脂含浸製造法(VaRTM)の航空機構造材製造への適用を研究している。VaRTMでは、プレプリグおよびオートクレーブを必要とせず、繊維のみを所定の形状に積み重ねた後、真空引きにより樹脂を流し込むため、大幅なコスト削減が可能となる。6mの主翼構造の試作など長年にわたる研究から試験技術、安全性審

査基準に関する知見などが得られ、MRJでは、従来の製造方法の炭素繊維複合材が主翼に使用されるとともに、VaRTMで製造された炭素繊維複合材が尾翼に採用されることになっている。なお、第3-1項の(2)で述べた静粛超音速研究機にもVaRTMで製造された炭素繊維複合材の使用が検討されている。

b) エンジン効率の向上

ジェットエンジンが発生する推力(F)は、以下の式で与えられる。但し、 Δm はジェットエンジンが単位時間当りに排出する流体の質量、 V_{jet} はジェット流の速度、 $V_{a/c}$ は航空機速度である。また、燃料消費量は V_{jet} の2乗に比例する(燃料消費量 $\propto V_{jet}^2$)。

$$F = \Delta m \times (V_{jet} - V_{a/c})$$

ジェットエンジンが排出するCO₂の量は、燃料の消費量に比例する。燃料消費量は V_{jet} の2乗に比例し、一方、推力Fは Δm または $(V_{jet} - V_{a/c})$ に比例するため、燃料消費量が増える V_{jet} よりも Δm を増加することにより、推力Fを増加する方が燃料面で得策であり、CO₂排出量の削減に繋がる。このため、燃焼室内部に流入する空気量に対し燃焼室外部を流れる空気量を多くするターボファンエンジンが製作されてきた⁵³⁾。燃焼室外部を流れる空気量と燃焼室内部に流入する空気量との比率であるバイパス比は大型化が図られてきたものの、エンジン断面積の増加による空力抵抗の増加、ナセルの大型化による重量増加により、その利点が失われる状況になりつつあり、新たな方式が模索されている。米プラット&ホイットニー社が開発しているギアードターボファン(GTF)では、低速タービンとファンとの間に減速ギアを噛ませ、それぞれが最適速度で回転するようになっており、さらに

はバイパス比の大幅な増加のため、ナセルを取り払ってタービンの動翼を剥き出しにしたようなオープンロータの研究開発が行われている。オープンロータでは、動翼が剥き出しとなるため、このエンジンの設置場所、剥き出しの動翼が破損した際、機体に及ぼす危害と言った安全性の問題、組立および整備の際の作業性、剥き出しの動翼が発生する騒音など様々な課題を解決する必要がある、クリーンスカイでは、これら課題の解決のための取り組みがなされている。

c) 揚抗比(L/D)の向上

揚抗比(L/D)の向上のためには、乱流の発生を抑制して、機体周りに自然層流を実現する必要がある、クリーンスカイの高性能固定翼航空機ITDでは、飛行速度に応じて主翼周りに自然層流を実現するための研究開発が推進されている。現状の機体および主翼の形状(円柱状機体+翼)では、大幅な揚抗比の向上は望めないため、画期的な機体形状の導入が必要との考えもあり、飛躍的な機体周り自然層流を実現する「空飛ぶ翼(FW)」、「主翼混合型機体(BWB)」などが検討されている。NASAは2007米会計年度から、図表13に示す通り、米空軍およびボーイング社と協力して縮尺モデルのX-48B実験機の飛行実験を行っている⁵⁴⁾。乗客収容容積の増加が見込めるほか、エンジンを機体上部に配置することが可能であり、騒音低減効果も見込めるとされている⁵⁵⁾。

d) 代替燃料

燃料の単位質量当り高エネルギー化に関しては現状、ケロシンに勝るものは存在せず、可能性としては水素が考えられるものの、これに適合するためには航空機のみならず

地上設備の再構築が必要となるため、費用面で問題となる⁵⁵⁾。第3-3項の(1)の米国の例が示す通り、燃料の安定的確保のためには、代替燃料の導入が不可欠と考えられ、既存の航空機および地上設備との互換性がある「ドロップイン燃料」の開発が行われている⁵⁶⁾。ガス液化(GTL)に加え、バイオマス液化(BTL)がCO₂排出量の面から有望であるものの⁵⁷⁾、食物用植物を原料とするのは批判もあるため、食物用以外の植物、栽培面積の大幅な削減が見込める藻類を原料とするバイオ燃料とケロシンとを混合した燃料が開発されている^{44, 58)}。

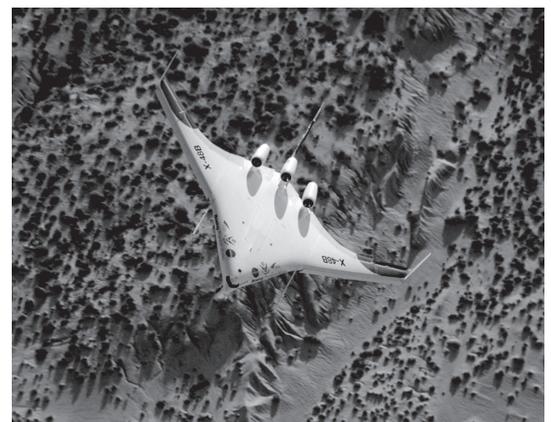
4-2

日米欧研究開発目標の比較

(1) 亜音速旅客機

日米欧の亜音速機研究開発プロジェクトにおける環境負荷軽減目標の比較を図表14に示す。なお、我が国の事例はエンジン単体の目標であるため注意が必要である。NO_xは、発生源がエンジンに限られるため、欧米の事例と単純に比較可能であるものの、騒音は、例えば、着陸装置が離着陸時の主要な騒音源であるため単純な比較はできない。また、欧州航空諮問委員会(ACARE)は、CO₂排出量削

図表13 X-48Bの飛行実験



出典：NASA

図表 14 日米欧の亜音速旅客機環境負荷軽減目標の比較

国・地域名	日本		欧州	米国		
	エコエンジン	クリーンエンジン	ACARE	N+1	N+2	N+3
名称						
実現時期 (年)	2010	2012	2020	2015	2020	2030-35
騒音マージン ^{注1)}	-20dB	-23dB	-30dB	-32dB	-42dB	^{注4)}
LTO NO _x 排出量 ^{注2)}	-50%	-80%	-80%	-65%	-78%	-78% 超
CO ₂ 排出量	-10%	-15%	-50% ^{注3)}	-33%	-40%	-70% 超

注1) ICAO Chapter4 基準値からのマージン, 注2) ICAO CAEP4 基準値からのマージン, 注3) SESAR による削減見込み量を含む, 注4) 55LDN (昼夜平均騒音レベル)

出典：参考文献 21、30、32、40)

減目標の配分値を機体で約 20～25%、エンジンで約 15～20%および ATM で約 5～10%としている⁵⁹⁾。

高温高圧燃焼による燃料効率の向上は、CO₂ 排出量の削減をもたらすものの、NO_x 排出量の増加に繋がるため、ある意味トレードオフの関係にある⁵⁵⁾。(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、NO_x 排出量の大幅な削減のため、燃料と完全燃焼に必要な量よりさらに多くの空気とを予め混ぜて燃焼させる「希薄予混合燃焼方式」を採用した「クリーンエンジン」の研究開発が進められており⁶⁰⁾、図表 14 に示す通り、NO_x 排出量削減では欧米に劣らぬ性能が達成できる見込みである。さらに研究開発を進め、国際競争力のある我が国の環境適合型エンジンが市場投入されることを期待したい。

(2) 超音速旅客機

日米の超音速機研究開発目標の比較を図表 15 に示す。超音速旅客機の実現のためには、第 3-1 項の(2)で述べた通り、巡航時の超音速飛行で発生するソニックブームの大幅な低減が重要な鍵となる。JAXA は、コンコルドと比べ大幅なソニックブームの低減を目指して、2010 年代中頃の飛行実験を計画しており、このような技術は、NASA の注目するところとなり、両機関は、ソニックブーム低減に関する共同研究を行っている⁶¹⁾。超音速機技術において、我が国が独自の技術を開発し、将来的には国際共同開発に対等な参加ができるようになることを期待したい。なお、ICAO は現在、超音速旅客機の環境基準を検討している⁶²⁾。

4-3

基礎研究・技術開発と製品開発

欧州連合(EU)の第 7 次研究開発枠組み計画(FP7)では、概ね基礎研究・実現可能性検討(TRL1～3)、技術開発(TRL3～5)および技術実証(TRL5～6)と技術成熟度の達成目標レベルに分けて、研究開発活動を実施しており、特にクリーンスカイ JTI では産学官連携の下、実際の製品開発が可能となる TRL6 またはそれ以上の技術成熟度を目指して、通常の FP7 の研究開発活動とは異なる JTI の枠組みで技術開発・実証活動が実施されている。欧州航空産業界はクリーンスカイの技術開発・実証成果を受け継いで、実際の製品開発を行うことになる。

図表 15 日米の超音速旅客機研究開発目標の比較

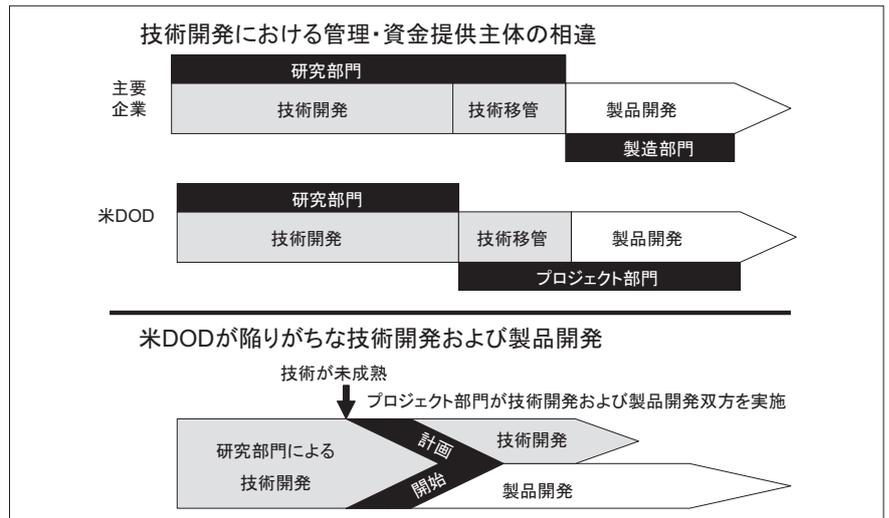
国名	英仏	日本	米国		
名称	コンコルド	静粛超音速研究機	N+1	N+2	N+3
実現時期 (年)	1976	2010 年代中頃	2015	2020	2030-35
巡航速度	M2.05	>M1.4	M1.6～1.8	M1.6～1.8	M1.6～1.8 ^{注5)}
航続距離 (哩) ^{注1)}	3,550	N/A	4,000	4,000	6,000
乗客数 (人)	100	N/A (無人)	6～20	35～70	100～200
ソニックブーム	2～3psf ^{注6)}	<0.5psf	^{注7)}	^{注7)}	^{注8)}
騒音マージン ^{注2)}	N/A	-α dB	0dB	0～-10dB	-10～-20dB
NO _x E _I ^{注3)}	約 20	N/A	(亜音速機並み)	<10	<5
燃料効率 ^{注4)}	約 2	N/A	1.0	3.0	3.5～4.5

注1) 哩=1.85km, 注2) ICAO Chapter4 基準値からのマージン, 注3) NO_x 排出指数：巡航時における単位燃料消費量当りの窒素酸化物排出量で、単位は gNO_x/kg 燃料, 注4) 乗客×マイル/lb 燃料, 注5) 低ブーム飛行時の値、飛行制限無しの場合は M2.0, 注6) 圧力の単位で、lb/ft²。1psf=47.88Pa, 注7) 65～70PLdB [“Perceived Loudness”と言う物理的な圧力ではなく、人間の聴覚で感じる騒音レベルで規定。ソニックブームの立ち上り時間、音響スペクトルに依存], 注8) 低ブーム飛行時、65～70PLdB。飛行制限無しの場合、75～80PLdB

出典：参考文献 40、63、64)

米連邦議会行政監査局(GAO)は、米民間企業における技術成熟度(TRL)などに基づいた研究開発手法と米国防総省(DOD)、米国航空宇宙局(NASA)などにおける研究開発手法との比較を行い、DODなどにおいてしばしば発生する開発費高騰、開発期間の遅延、仕様変更と言った問題を解決するための提言を行ってきており、最近では、図表 16 に示す通り、技術開発段階と製品開発段階との橋渡しである「技術移管」(Technology Transition)において、プロジェクト部門が明確な引渡し条件を設定することなく、製品開発段階への移行に適さないものまで含め、研究部門において技術開発が完了したとされる成果の移管を受けてしまっているため、開発費高騰、開発期間の遅延、仕様変更と言った問題が発生している事例もあると指摘している⁶⁵⁾。民間の主要企業と同様、明確な引渡し条件の下、製品開発に適用可能な技術成熟度となるまで、プロジェクト部門ではな

図表 16 GAO による技術開発・製品開発手法の比較

出典：参考文献⁶⁵⁾

く研究部門が技術開発を継続すべきとしている。

我が国航空産業の現状では、当然、産学官連携の下、環境適合型小型航空機研究開発の全段階において関係機関が一致協力する必要がある。しかしながら、将来的には、利害関係者間で合意されたロードマップに基づき、明確なインタフェース条件を定め、大学・研究

機関による基礎研究、(独)宇宙航空研究開発機構などの研究開発機関による技術開発・実証ならびに航空産業界による製品開発および製作・運用実績に基づくフィードバックという研究開発の全サイクルを回しながら我が国航空科学技術を発展・強化することが望まれる。

5 おわりに

我が国の環境技術は世界に冠たるものであるものの、民間航空分野については、YS-11以降約40年振りに小型ジェット旅客機の全機開発に着手した状況である。航空科学技術力をさらに向上し、航空輸送でも地球温暖化対策に対する我が国の貢献を強化したい。欧米では、超音速旅客機を含め、2020年頃およびそれ以降を視野に入れた中長期的な取組みが行われている。我が国においても、欧米と同様、中長期的視点での取組み

が重要であると考えられる。

航空科学技術の進歩は、地球大気中の活動に留まるものではない。NASAでは、超音速・極超音速研究開発の将来構想として、(1)シャトルのようなロケット推進系ではなく、空気吸込み式極超音速機を第1段とし、ロケット推進系の往還機を第2段とする2段式宇宙輸送系(TSTO)、(2)30トン程度の大規模構造物の希薄な火星大気圏突入・降下・着陸技術などの概念検討が行われている。航空科学技

術の発展は、地球の大気中からさらに地球周回軌道、火星などの惑星へと我々のフロンティア活動の拡大に繋がる。

謝辞

(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の鈴木和雄航空プログラムディレクターには、貴重なご意見・情報を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 「飛翔 航空機産業公式ガイドブック」、財団法人 経済産業調査会 編、財団法人 経済産業調査会 発行、2008年7月10日 ISBN978-4-8065-2810-4 (127748)
- 2) 「希望をカタチにするためにJAXAが取り組んでいること：国産小型旅客機技術の研究」、石川隆司、航空プログラムニュース 2007年冬号 (No.03) : <http://www.apg.jaxa.jp/publication/magazine/2007/mag-2007.html>
- 3) 「近距離ジェット 世界で競争し烈」、日経産業新聞、2008年11月6日
- 4) 航空イノベーション研究会第1回シンポジウム「国産航空機開発への期待と課題～人材育成の視点から」(2008年10月30日、於東京大学安田講堂)における会場からの発言
- 5) “SBAC Aviation and Environment Briefing Papers 5: Emissions from Combustion and Their Effects,” the Society of British Aerospace Companies, May 1, 2008 : <http://www.sbac.co.uk/pages/92567080.asp>
- 6) “Summary for Policymakers: Aviation and the Global Atmosphere,” Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999 : <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf>
- 7) “Non-CO₂ climate change effects of aviation emissions,” Sustainable Aviation, November 2008 : <http://www.sustainableaviation.co.uk/images/stories/key%20documents/nonco2paper08.pdf>
- 8) “Rolls-Royce and the environment – Engine Technology,” Naresh Kumar, presented at the Omega Dissemination Conference, March 5, 2009 : <http://www.omega.mmu.ac.uk/omega-dissemination-conference-royal-society-london-4-5-march.htm>
- 9) EIC ネット環境用語集「放射強制力」 : <http://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=2419>
- 10) “Technical Summary: Mitigation of Climate Change,” IPCC Working Group III, 2007 : <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-ts.pdf>
- 11) “Climate Impact of Aviation,” Robert Sausen and Ulrich Schumann, in the ICAO Environmental Report 2007, International Civil Aviation Organization, 2007 : http://www.icao.int/icao/en/env/pubs/Env_Report_07.pdf
- 12) “Overview of ICAO Guidance on Emission Trading,” Andreas Hardeman and Kalle Keldusild, in the ICAO Environmental Report 2007, International Civil Aviation Organization, 2007 : http://www.icao.int/icao/en/env/pubs/Env_Report_07.pdf
- 13) “Climate change: Commission welcomes final adoption of Europe’s climate and energy package,” European Press Release (IP/08/1998), December 17, 2008 : <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1998&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>
- 14) “Extending the EU Emissions Trading Scheme to Aviation,” David Batchelor, December 11, 2008, presented at the OMEGA Air Transport Emissions Trading Scheme Workshop : <http://www.omega.mmu.ac.uk/EU-ETS-presentations/2008-12-10%20Omega%20ETS%20Seminar%20David%20Batchelor.pdf>
- 15) “ETS and Aviation – Making it Work for Regulators and Operators,” Philip Andrews, presented at the OMEGA Air Transport Emissions Trading Scheme Workshop : <http://www.omega.mmu.ac.uk/EU-ETS-presentations/2008-12-11%20%20Omegas%20MRV%20and%20ETS%20PA%20Philip%20Andrews%20DECC.pdf>
- 16) “Sustainable Aviation CO₂ Roadmap,” Sustainable Aviation, December 2008 : <http://www.sustainableaviation.co.uk/images/stories/key%20documents/sa%20road%20map%20final%20dec%202008.pdf>
- 17) 「第3期科学技術基本計画：分野別推進戦略」、総合科学技術会議、2006年3月28日 : <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihon3/bunyabetu9.pdf>
- 18) NEDO HP「先進操縦システム等研究開発(2007年度までは環境適応型高性能小型航空機プロジェクト)」 : <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p03029.html>
- 19) NEDO HP「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」 : <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p03030.html>
- 20) 航空科学技術委員会(第28回)配布資料「国産旅客機高性能化技術の研究開発の進捗状況について」、(独)宇宙航空研究開発機構、2008年8月19日 : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryu/013/08090310/001.pdf
- 21) 航空科学技術委員会(第28回)配布資料「クリーンエンジン技術の研究開発の進捗状況について」、(独)宇宙航空研究開発機構、2008年8月19日 : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryu/013/08090310/002.pdf
- 22) 「独立行政法人宇宙航空研究開発機構の中期目標を達成するための計画(平成15年10月1日～平成20年3月31日)」

(独)宇宙航空研究開発機構、初版認可 2003年10月2日、最終変更認可 2007年3月30日：

http://www.jaxa.jp/about/plan/pdf/plan_23.pdf

- 23) 「独立行政法人宇宙航空研究開発機構の中期目標を達成するための計画（平成20年4月1日～平成25年3月31日）」、(独)宇宙航空研究開発機構、2008年4月1日：http://www.jaxa.jp/about/plan/pdf/plan_26.pdf
- 24) (独)宇宙航空研究開発機構の鈴木和雄航空プログラムディレクタとのインタビュー、2009年1月13日
- 25) 三菱重工ニュース「MRJ (Mitsubishi Regional Jet)の事業化を決定、事業会社『三菱航空機株式会社』を立ち上げ」、2008年3月28日発行第4691号：<http://www.mhi.co.jp/news/story/200803284691.html>
- 26) 航空科学技術委員会（第28回）配布資料「静粛超音速機技術の研究開発」、(独)宇宙航空研究開発機構、2008年8月19日：http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/013/08090310/004.pdf
- 27) JAXA HP「環境に優しい航空機技術の開発～クリーンエンジンと超音速機」：
http://www.jaxa.jp/article/special/aviation/index_j.html
- 28) JAXA 航空プログラムグループ HP：<http://www.apg.jaxa.jp/>
- 29) “European Aeronautics: A Vision for 2020,” the European Commission, January 2001：
<http://www.acare4europe.org/docs/Vision%202020.pdf>
- 30) ACARE HP：<http://www.acare4europe.org/>
- 31) “The Joint Technology Initiative for Aeronautics & Air Transport,” Bruno Stoufflet, presented at the Clean Sky Take-Off Forum, February 5, 2008：http://www.cleansky.eu/index.php?arbo_id=111&set_language=en
- 32) “Work Programme 2008, Cooperation Theme 7, Transport (including Aeronautics),” European Commission C(2008)4598, August 28, 2008：ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/docs/wp/cooperation/transport/g_wp_200802_en.pdf
- 33) “Aeronautics 2nd Call – Level 1 and Coordination Actions,” Dietrich Knoerzer, February 6, 2008, presented at the FP7 Information Days for Transport：http://ec.europa.eu/research/transport/pdf/knoerzer_dietrich.pdf
- 34) “The Joint Technology Initiative for Aeronautics & Air Transport,” Bruno Stoufflet, presented at the Clean Sky Take-Off Forum, February 5, 2008：http://www.cleansky.eu/index.php?arbo_id=111&set_language=en
- 35) “Smart Fixed Wing Aircraft – ITD,” Jens König, presented at the Clean Sky Take-Off Forum, February 5, 2008：
http://www.cleansky.eu/index.php?arbo_id=111&set_language=en
- 36) “National Aeronautics Research and Development Policy,” National Science and Technology Council, Executive Office of the President of the United States of America, December 2006：
<http://ostp.gov/pdf/nationalaeronauticsrdpolicy06.pdf>
- 37) “National Plan for Aeronautics Research and Development and Related Infrastructure,” Aeronautics Science and Technology Subcommittee, Committee on Technology, National Science and Technology Council, December 2007：
http://www.aeronautics.nasa.gov/releases/aero_rd_plan_final_21_dec_2007.pdf
- 38) NASA HP：<http://www.nasa.gov>
- 39) NASA ARMD の HP：<http://www.aeronautics.nasa.gov/>
- 40) “Research Opportunities in Aeronautics – 2008 (ROA-2008),” National Aeronautics and Space Administration (NASA) Headquarters Aeronautics Research Mission Directorate, NASA Research Announcement (NRA) : NNH08ZEA001N, March 7, 2008：https://nspires.nasaprs.com/external/viewrepositorydocument/cmdocumentid=161741/ROA-2008_Amend%207_9Sept08.pdf
- 41) NASA ARMD の HP「ARMD NRA: Advanced Concept Studies Awardees」：
http://www.aeronautics.nasa.gov/nra_awardees_10_06_08.htm
- 42) “ATM’s Role in Implementing Environmental Performance,” Tom G. Reynolds, presented at the Omega Aviation Sustainability Short Course, June 17 – 19, 2008：
<http://www.omega.mmu.ac.uk/Short-Course-Presentations/06%20ATM%20Environmental%20Performance.pdf>
- 43) 「全日空、省エネ緊急対策」、日経産業新聞、2008年11月26日朝刊
- 44) 「気になる！航空業界 バイオ燃料が熱い」、読売新聞、2009年1月16日朝刊
- 45) “The Economic Impact of Civil Aviation on the U.S. Economy,” the Federal Aviation Administration, October 2008：
<http://www.faa.gov/about/initiatives/nextgen/defined/why/08%20economic%20impact%20report.pdf>
- 46) FAA の HP「NextGen Defined」：<http://www.faa.gov/about/initiatives/nextgen/defined/>
- 47) SESAR JU の HP：http://www.sesarju.eu/public/subsite_homepage/homepage.html
- 48) 「次世代運航システム DREAMS：空の交通安全を守る技術が変わり始めた」、航空プログラムニュース、2008年春号

- (No.08)、pp.2-5 : <http://www.apg.jaxa.jp/publication/magazine/2008/mag-2008.html>
- 49) “Fundamental Aeronautics Program Subsonic Fixed Wing Project Reference Document,” the National Aeronautics and Space Administration Aeronautics Research Mission Directorate :
http://www.aeronautics.nasa.gov/nra_pdf/sfw_proposal_c1.pdf
- 50) “Boeing 787 from Ground Up,” AERO, Fourth Quarter, 2006 :
http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/AERO_Q406_article4.pdf
- 51) 「夢をかたち～ JAXA 航空科学技術の成果」、(独)宇宙航空研究開発機構航空プログラムグループ、2008年8月31日
- 52) 「低コスト複合材を用いた航空機構造の研究」、JAXA 国産航空機プログラムチーム、航空プログラムニュース、2006年夏号 (No.01), pp.8-9 : <http://www.apg.jaxa.jp/publication/magazine/2006/mag-2006.html>
- 53) “SBAC Aviation and Environment Briefing Papers 3: Open Rotor Engines,” the Society of British Aerospace Companies, April 4, 2008 : <http://www.sbac.co.uk/pages/92567080.asp>
- 54) “X-48B Blended Wing Body Flight Tests Enter Second Phase (RELEASE: 08-21)”, NASA Aeronautics Research Mission Directorate, May 21, 2008 : http://www.aeronautics.nasa.gov/releases/05_21_08_release.htm
- 55) “Developments in Engine and Airframe Design,” Ian Poll, presented at the OMEGA Aviation Sustainability Short Course : <http://www.omega.mmu.ac.uk/Short-Course-Presentations/04%20Engine%20and%20Airframe%20Design.pdf>
- 56) “SBAC Aviation and Environment Briefing Papers 4: Alternative Aviation Fuels,” the Society of British Aerospace Companies, April 17, 2008 : <http://www.sbac.co.uk/pages/92567080.asp>
- 57) “Potential Effects of Alternative Fuels on Local and Global Aviation Emissions,” in the ICAO Environmental Report 2007, International Civil Aviation Organization, 2007 : http://www.icao.int/icao/en/env/pubs/Env_Report_07.pdf
- 58) “Alternative Fuels,” Chris Wilson, presented at the OMEGA Aviation Sustainability Short Course :
<http://www.omega.mmu.ac.uk/Short-Course-Presentations/07%20Alternative%20Fuels.pdf>
- 59) “2008 Addendum to the Strategic Research Agenda,” Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, November 18, 2008 : http://www.acare4europe.org/docs/ACARE_2008_Addendum.pdf
- 60) 「クリーンエンジン技術の研究開発：環境への負担が少ない航空機エンジン技術を開発する」、林茂、航空プログラムニュース、2008年秋号 (No.10), pp.2-5 : <http://www.apg.jaxa.jp/publication/magazine/2008/mag-2008.html>
- 61) JAXA プレスリリース「NASA と JAXA におけるソニックブームモデリングに係る共同研究の実施について (日本語訳)」、米国航空宇宙局および (独)宇宙航空研究開発機構、2008年5月9日 :
http://www.jaxa.jp/press/2008/05/20080509_sonic_j.html
- 62) “Review of Supersonic Technology and Standards,” Kenneth Orth, in the ICAO Environmental Report 2007, International Civil Aviation Organization, 2007 : http://www.icao.int/icao/en/env/pubs/Env_Report_07.pdf
- 63) <http://www.concordesst.com/>
- 64) 「超音速機技術の研究開発の推進について」、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会、2007年7月 :
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/07071110.htm
- 65) “BEST PRACTICES: Stronger Practices Needed to Improve DOD Technology Transition Processes (GAO-06-883),” United States Government Accountability Office, September 14, 2006 : <http://www.gao.gov/new.items/d06883.pdf>

執筆者プロフィール



清水 貴史

推進分野ユニット
科学技術動向研究センター 特別研究員
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

宇宙開発関連業務に従事。科学技術動向研究センターでは宇宙開発を中心としたフロンティア分野を担当。