

航空プログラムシンポジウム
社会に役立つJAXAの航空技術研究開発

前 刷 集

平成21年9月10日(木) 10:00~17:00

みらい CAN ホール

東京都江東区青海2丁目41番地
日本科学未来館7階

地球環境
に優しい

■特別講演■

航空機や衛星による温室効果ガスの観測が解明する大気化学 1
人間文化研究機構 総合地球環境学研究所
教授 井上 元 氏

旅客機の機体騒音の予測と低減技術 5
国産旅客機チーム
山本 一臣

ジェットエンジン排気の低 NO_x 化技術 7
環境適応エンジンチーム
山本 武

公共のニーズ
に 応 える

■特別講演■

大規模災害時にヘリコプターを有効に活用するために 11
富士重工業(株)航空宇宙カンパニー
顧問 山根 峯治 氏

大規模災害を想定したヘリコプターの情報共有と運航管理技術 19
運航・安全技術チーム
奥野 善則

「安全・安心」に役立つ無人機を目指して 23
無人機・未来型航空機チーム
佐々 修一

航空交通
のニーズ
に 応 える

次世代運航システム(DREAMS)について 25
運航・安全技術チーム
中島 徳顕

将来を豊
かにする

静かな超音速旅客機の実現を目指して 29
～静粛超音速機技術の研究開発～
超音速機チーム
吉田 憲司

M E M O

航空機や衛星による温室効果ガスの観測が解明する大気化学

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所 教授

井上 元

1. 森林や海洋の二酸化炭素吸収は今後も続くのか？

二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスが増加している原因は、化石燃料消費や森林伐採などの人為活動が主たる原因であるが、自然の放出・吸収も同程度の大きさで変動する。これまで温暖化予測では、温室効果ガスの増加速度を人為排出と森林減少から推定していた。近年、温暖化に伴い森林が北に広がることや、森林や海洋の二酸化炭素吸収能力が変化することから、人為活動のみを考慮したモデルに、炭素循環（主として二酸化炭素が森林や海洋により吸収・放出されるプロセス）モデルをカップルさせたモデル計算がおこなわれるようになってきた（図1）。いずれのモデルも温暖化により自然の二酸化炭素吸収能力が低下し放出量が増えると予想しているが、モデル間のバラつきは大きい。大きな効果を予測しているモデルでは、その効果を見逃したモデルに比べ、人為の排出と同程度の放出が見込まれている。この研究は未だ初歩的段階にあり、様々な観測や研究により、どのモデルが妥当であるかを評価することが焦眉の課題となっている。

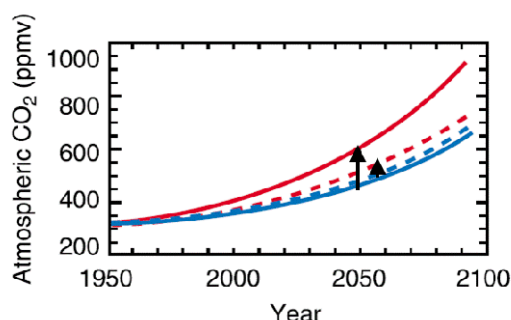


図1 大気中二酸化炭素濃度予測モデル。青が炭素循環を考慮しなかったケースで、赤が炭素循環を含む計算結果。実線と点線は異なるモデル。(Hardley Center, 2002)

2. 森林や海洋による二酸化炭素吸収はどのようにして測定されているか？

それでは現在の森林や海洋による二酸化炭素吸収はどのように測定されているか。海洋による吸収は、大気中濃度が海洋に溶けている濃

度より高いことから、全体として大気から海洋に溶け込んでいるためである。その収支分布は水温の低い高緯度で吸収され、水温の高い低緯度で放出されるのが基本である。また、塩分濃度や植物プランクトンによる影響などもあり、空間的に複雑ではある。しかし、沿岸域を除いて数百 km にわたってほぼ均一であり、限られた測定からその分布を推定しても大きな誤りはない（図2）。

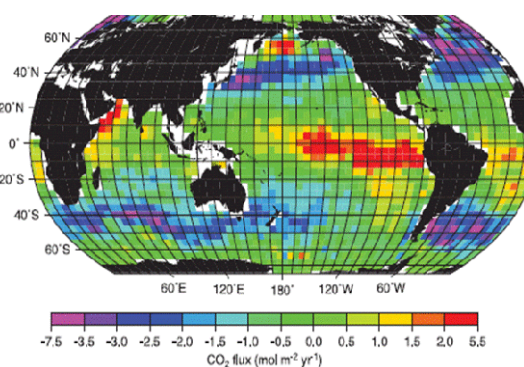


図2 海洋による二酸化炭素吸収の分布 (T. Takahashi, 2003)

しかしながら、陸域は極めて小さなスケールで不均一であり、土地被覆の形態により吸収・放出量は大きく異なる。森林ではタワーの上で鉛直風速と濃度の変化から収支を測定できているが、その測定値は 1km 規模の値である。そこで大気観測からもっと広域の平均的な収支を推定する試みがなされている。地表面で二酸化炭素が吸収されるとその影響は混合層と呼ばれる 1000m 程度の高さまで広がる。風がある方向に吹いていると、風上に比べて風下では濃度が低下する。逆に都市などで二酸化炭素が放出されると、その影響は煙のように（プルーム）風下に広がる。このような地表面で吸収・放出があり、それに引き続く拡散と移流による 3 次元的な広がりを計算すると、二酸化炭素の分布が計算でき、観測と比較できる。逆に、二酸化炭素の分布を測定し、輸送を逆にたどると発生や吸収の分布を推定することができる。

問題は二酸化炭素の濃度をどのようにして

測定するかという観測と、大気の輸送モデルがどのくらい正確かということにある。大気の輸送モデルは天気予報に用いられるモデルであり、全球的なものであり、実際の観測に基づいて修正・補正をしており信頼性はかなり高い。しかし、大気の鉛直混合については、誤差が大きいとされている。

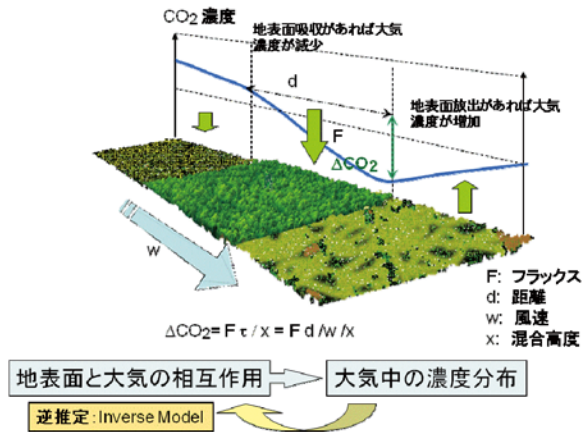


図3 二酸化炭素の地表面での収支と大気濃度変化の概念図。一定の方向に風があり、鉛直混合の高さが一定ならば、大気中の二酸化炭素濃度の変化は地表面での吸収や放出に比例したものとなる。その測定から逆に地表面での収支を推定することが可能である。(Inverse Model)

全球的な地上での二酸化炭素収支を推定するには、大気濃度の測定も全球的に、しかも、不均一性に対応する高い密度で測定を行う必要がある。しかしながら、二酸化炭素の測定の現状は、連続測定がおこなわれているのは世界で100カ所足らずであり、航空機による断続的な高度分布観測は10カ所しかない。観測点を増やす努力は積み重ねられているが、現状はその程度であり、しかも、先進国に偏り、熱帯域など重要な場所での測定点が少ない。

3. Contrail 一わが国が切り開いた新たな航空機観測—

そこでわが国では二つのプロジェクトが開始された。一つは民間の国際便の航空機を利用



図4 二酸化炭素測定器を取り付けた日本航空の航空機が飛行するルート。

した観測、もう一つはGOSAT(いぶき)による衛星観測である。

日本航空と環境研・気象研・JAXA(旧NAL)の共同プロジェクトである Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIrLiner (CONTRAIL)では、図4に示すようにアフリカと南米を除く世界の二酸化炭素を測定している。旅客機にこのような測定器を搭載するには、航空機会社の協力のもとに、通常の運行に支障がないことはもちろん、万一の事故の場合に危害が及ばないように大変な努力がはられた。運用においても空港滞在の短時間に維持管理をおこなう必要があり、容易なことではない。

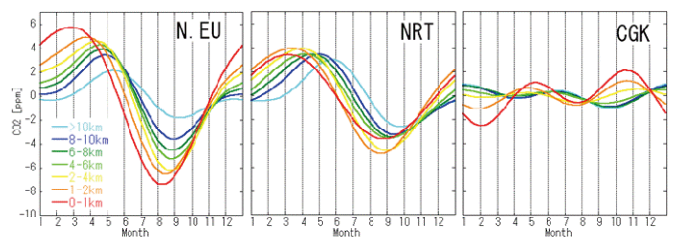


図5 Conrailで測定された高度別の二酸化炭素濃度の年変動(北ヨーロッパ、成田、ジャカルタ)(Machida et al)

その結果の一例を図5に示す。北ヨーロッパや成田で測定された赤線で示した地上付近の濃度変動は、地上で測定したものとほぼ同じであるが、上空に行くほど(図では寒色系)年振幅が小さく、しかもピークの位置が遅れていることが特徴的である。ジャカルタのデータは今までなかったもので、なぜ二つのピークとなるのかなど興味深い。

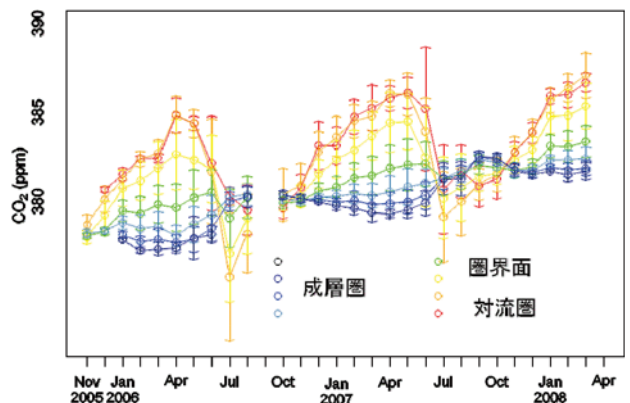


図6 成層圏・圏界面・対流圏に分けた高度での二酸化炭素濃度の季節変化(Sawa et al., JGR, 2008)

図6に日本-ヨーロッパのルート上における、

成層圏、圏界面（成層圏と対流圏の中間高度）、対流圏別の二酸化炭素濃度の季節変化を示す。対流圏では森林による夏の光合成（二酸化炭素吸収）により8月に最低濃度となり、木々の芽吹き始める5月に最高濃度となっており、地上での測定と同じである。しかしながら、成層圏ではそれとまったく逆に、5月に最低濃度となっている。この原因は二酸化炭素濃度の低い成層圏上空の空気が下方に降りてくるためと考えられる。このような観測はこれまでにないので、二酸化炭素の地表面吸収だけではなく、成層圏での大気の輸送に関する新たな知見をもたらすものである。

4. GOSAT —世界で初めての温室効果ガス観測衛星—

GOSAT（いぶき）は、JAXA、環境研、環境省の共同プロジェクトで、衛星から二酸化炭素とメタンの気柱量（単位面積について、地上から宇宙までの濃度を積算したものを測定するもの）である（図6）。

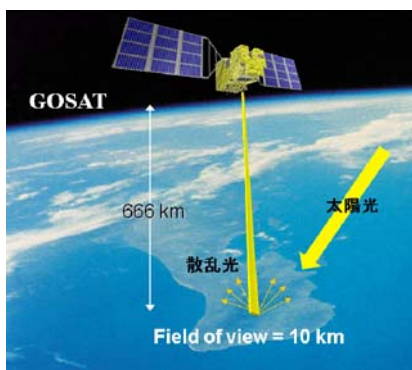


図6 GOSATによる観測の原理

2009年の1月に打ち上げられ、その後、衛星の各種機能検査を終了し、6月から定常的な観測が始まった。観測は5年間継続される予定である。

なぜ、これまで二酸化炭素やメタンを測定する衛星がなかったのか？一言でいうと必要な精度を出すことが難しかったためである。これまでも大気化学衛星としては「みどり」による成層圏オゾンなどの観測衛星があった。しかし、その濃度変化はオゾンホールではほとんどなくなるほど変化するし、極域と低緯度の違いも10%程度の精度で測定できればよかった。しかし、二酸化炭素の濃度は、図4でもわかるように年変動は大きくても8ppm（2%）程度であり、南北半球の平均濃度の違いは2ppm程度である。したがって地上観測や航空機観測では0.3ppmの精度で測定することが必要とされている。GOSATでは3ppmの精度を確実に実現し、1ppm

の精度を目指すこととしている。

すでに述べたように、地表面に二酸化炭素の吸収や放出源があるので、その結果、大きく濃度変動するのは地表面近くである。したがって、衛星観測は地表面濃度に感度のある方式でなくてはならない。図6に示すように、太陽光が地表面で散乱されるのを衛星から測定する方式であるが、太陽光は地球に届くまでと地球から衛星までの往復で、二酸化炭素やメタンに特有の波長の部分のみが吸収される。その吸収の大きさから濃度を算出するのである。

1%の精度を実現するには信号/雑音比が300以上であること、吸収の大きさから濃度を算出する際に妨害になる要素を補正することが必要である。JAXAやNECの研究者・技術者はセンサの性能実現のため、また、環境研では濃度算出の精度を上げるため大きな努力を払い、ほぼ目標は達成した。図7は2009年4月の9日間に取得できたデータから算出した二酸化炭素とメタンの分布である。データがない部分は雲に覆われていたためである。いずれも北半球で濃度が高く、南半球で低濃度である。二酸化炭素が米国の東海岸で高いが、メタンはそれほどでもないこと、中国では双方とも高濃度であることなど、興味深い結果が出ている。

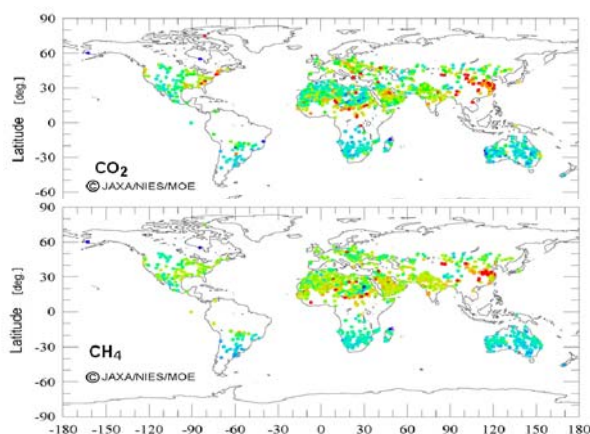


図7 GOSAT（いぶき）で測定した二酸化炭素（上）とメタン（下）の濃度分布。（Yoshida, Yokota et al）

5. 今後の展開

温暖化予測の精度を高めるためには炭素循環の現状を把握する必要があり、航空機や衛星による観測データはその第一歩である。この観測を長期に実施することにより、たとえばエルニーニョで気温や降水の分布が変化した際に、どのような応答があるかを全球にわたって知

ることができる。その結果は炭素収支モデルを検証し、信頼性を高めるのに役立つであろう。

航空機による観測は、極めて高精度に高度分布を含めた詳細なデータを提供するし、衛星による観測はグローバルなデータセットを提供するという特徴をそれぞれ持っている。今後は他の航空機会社により日本航空ではカバーできないアフリカや南米のデータが取得できることを切に望んでいる。また、衛星観測ではより高精度な観測を目指し、Lidar 観測を含む新たな技術開発がなされることを期待している。

ここでは触れるスペースがなかったが、衛星観測では図 6 にあるように大都市からの排出や、森林火災による放出など、点発生源の評価も可能であり、その分野での応用が期待される。

また、反応性化学物質についても触れることができなかったが、大気汚染物質としてだけではなく、対流圏オゾンやエアロゾルが気候に及ぼす影響が大きいことから、この分野でも航空機や衛星による観測を実現することが重要である。

最後に、衛星や定期航空機では実現できない観測として、必要な場所で、必要な物質を高精度で測定するためには、大気観測専用の航空機を持つことが不可欠であることを強調したい。たとえば森林火災による二酸化炭素放出量を衛星で測定しても、同時に発生するエアロゾルが多く、その補正が正しいかどうかは、観測用の航空機で詳細に測定することで初めて確認される。大都市についても同様である。わが国が先駆けて実現した Contrail や GOSAT のデータを生かすためにも、そうした補完的な航空機観測を実現したいものである。

旅客機の機体騒音の予測と低減技術

国産旅客機チーム
山本 一臣

1. 機体騒音とその課題

近年の環境問題への関心の高まりや、今後予想されている航空輸送の増大にともなう空港離発着回数の増大から、航空機のさらなる燃費の改善(CO₂削減)や窒素酸化物 NO_x の大幅な低減要求とともに、空港周辺における航空機騒音の低減要求が急速に高まってきている。2006年から適用された ICAO による騒音に関する新規規制値(Annex 16、Chapter 4)ばかりではなく、より厳しい空港独自の基準により高い騒音レベルが着陸料に反映される。さらに、航空機の数10年という寿命期間においてより厳しくなると予想される騒音規制値に対応するために、新規開発の旅客機では、騒音規制値に対するマージンの大きさが機体の市場競争力の観点で重要なファクターになる。このように航空機騒音の低減が重要になる中で、技術面においては、エンジンの高バイパス比化(第2世代ターボファンエンジン)による騒音低減に限界が見え始め、新たな技術的ブレイクスルーが求められ始めるとともに、着陸進入時には機体から発生する騒音がエンジンの騒音レベルを上回るようになり、航空機全体から発生する騒音を低減する必要が出てきている。

着陸時に低速、低角度で進入する旅客機では、図1に示すような高揚力装置や降着装置(脚)を音源とする機体空力騒音が顕著になるケースが出てきている。三菱航空機が開発をしているMRJのように新型の低騒音エンジンを搭載する機体では、そのメリットを生かすためにもこのような機体騒音レベルの推定

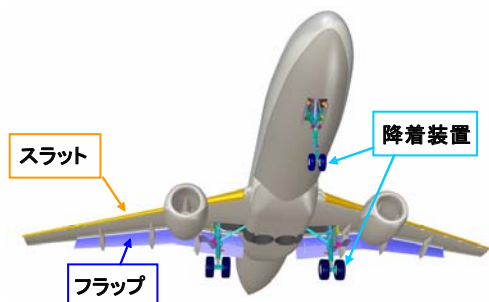


図1 機体騒音の音源となる高揚力装置と脚

精度向上と騒音低減手法の確立が重要な課題となる。機体騒音は離着陸時に降ろす脚や、揚力を増やすために展開される高揚力装置まわりで発生する剥離せん断層や渦の乱流現象が音源となり、広帯域騒音になりやすい。従って物理現象の理解が難しく、早い時期から研究に取り組んでいる欧米でも低騒音化技術の開発は試行錯誤的なアプローチが多い。実機において、重量、熱、コストの制約のもとに現実的な構造で騒音を大幅に減らす画期的な方法が見出せていないのが現状である。

本稿では、このような背景のもとで JAXA が進めている機体騒音の予測と低減技術の研究開発の概要を紹介する。

2. 高揚力装置騒音の予測と低減技術の研究

JAXA ではまず高揚力装置騒音の研究から着手した。高揚力装置騒音の発生メカニズムを理解するために、乱流の非定常現象を捉えることができる計算流体力学(CFD)技術である Large Eddy Simulation(以下 LES)を用いた騒音源と遠方場騒音の解析技術を開発するとともに、マイクロフォンアレイを用いた風洞試験における音源探査技術を確立し、これらの技術を用いて高揚力装置騒音の発生メカニズムと低騒音化の指針を調べてきた。

例えば図2のように、スラットに注目した LES 解析を行い、実験による非定常圧力計測結果と良い一致を得ることができた。その結果からスラットコブ(スラットの凹みの部分)における剥離せん断層からどのように騒音が発生しているかを理解することが可能になった。詳細に高揚力装置騒音のメカニズムと低減方法を検討していくために、本質を見失わない程度に簡易な3翼素形態の翼モデルを設計製作し(図3)、流れ場計測と騒音計測を詳細に行えるようにした。この模型に関して空気力や音源付近の乱流に関するデータを取得するとともに、マイクロフォンアレイによる音源計測と無指向性マイクによる遠方場騒音データの計測を行った。これらの試験結果から、迎角や風速などの気流条件が騒音へ与える影

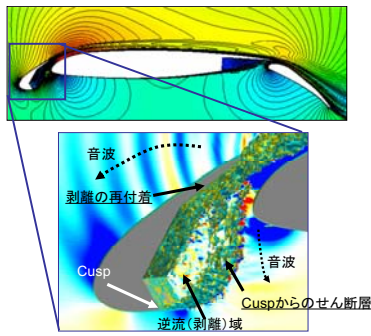


図 2 スラット騒音の数値解析

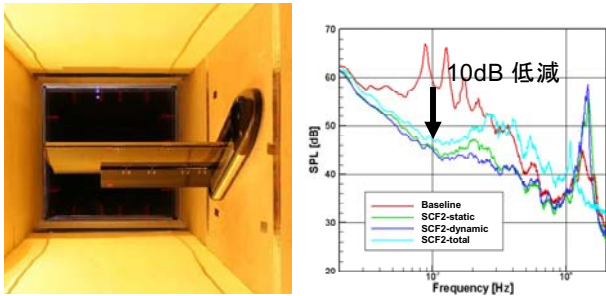


図 3 風洞試験による高揚力装置騒音の計測と騒音低減技術の実証

響や空力と騒音の関連性、そして騒音レベル予測技術開発のための詳細なデータを取得することができ、高揚力装置騒音の性質を詳しく理解することが可能になった。

ついでこれらの結果を基にスラットとフラップに騒音発生を抑制するデバイスや形状の修正を行い、低騒音化の効果を騒音と空力性能の両面から評価している。高揚力装置の低騒音化の難しさは、高い揚力を出すために生じる乱流が騒音の原因そのものであることによる。従って、その低騒音化は空力と騒音発生を物理をよく把握した上で行う必要がある。上記の LES による音源に関する考察と風洞試験結果をもとに、フラップおよびスラットに取り付けるデバイスや形状修正についての様々なアイデアを検討した。図 3 は、騒音低減技術の一例としてスラットにはコブフィルターと呼ばれるデバイスを取り付け、フラップには翼端形状の修正を施した場合の遠方場騒音スペクトルを基準形態と比較している。この結果からオーバーオールで最大 10dB の低減が可能になったことが明らかになった。

3. 脚騒音の予測と低減技術の開発へ向けて

高揚力装置に続き、同様のアプローチを用いて脚騒音の研究に着手し、風洞試験におい



図 4 風洞試験による降着装置騒音の計測

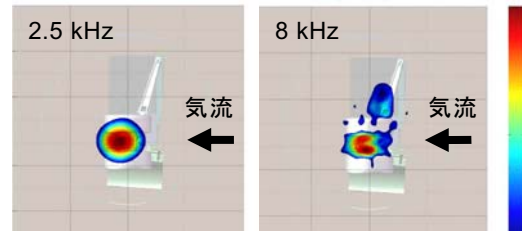


図 5 降着装置騒音の騒音源

て主脚の部品が発生する騒音の詳細を調べている。100 人乗りクラスのリージョナルジェット機を想定し、このクラスで一般的な二輪式の主脚の概念設計を基に 40%スケール模型(図 4)を製作した。タイヤ、支柱(シリンダーとピストン)、脚扉、サイドブレースといった主構造物とともに、ブレーキ、トルクリンク、脚扉駆動ロッド、アクチュエータ類、油圧配管、電気系統の配線などの詳細な形状まで模擬している。それぞれの部品が騒音レベルに与える影響を風洞試験によって調べることにより、主要な騒音源の性質が明らかになってきている(図 5)。さらに、現在は CFD によって複雑な脚形状の周りの流れ場の詳細や、乱流現象と騒音との関連性についてより詳細に分析すること、そして様々な低騒音化手法の効果を調べようとしている。

4. おわりに

今後の旅客機開発において重要な課題となる機体騒音の予測と低減技術のために、JAXA において進めている数値解析と風洞試験を用いた研究について紹介した。将来の大幅な環境適合性を実現するために、従来とは大きく異なる新たな形態の旅客機も提案されはじめている。そこでは、ここで紹介したような数値解析技術や騒音低減技術を基礎として、より定量的な騒音予測が可能になる解析技術の開発や、より斬新な騒音低減技術の開発が重要になっていくと考えている。

ジェットエンジン排気の低 NOx 化技術

環境適応エンジンチーム
山本 武

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構（JAXA）では航空機エンジンの環境適応技術の研究開発を目的として、平成 15 年 10 月から 24 年度までの予定で「クリーンエンジン技術の研究開発（TechCLEAN）」を進めており、この一環として、窒素酸化物（NOx）の排出量を削減するための先進的な燃焼技術の研究開発を実施している。

NOx は空港周辺の大気汚染の原因となる他、航空機が巡航する対流圏上層では、温室効果を持つオゾンの濃度を変化させ、気候に影響を及ぼすとされている^[1]。また、燃料費削減や温室効果ガスである二酸化炭素の削減のためにエンジンの高圧力比化が進んでおり（図 1）、これが NOx の排出量を増加する傾向にあること、航空輸送量が今後も増加することが予想されることから、更なる NOx 排出低減が非常に重要となっている。このため、国際民間航空機関 ICAO(International Civil Aviation Organization)の航空環境保全委員会 CAEP(Committee on Aviation Environmental Protection)は、NOx の基準を数年毎に強化しており（図 2）、航空機エンジンメーカーは競って技術開発に取り組んでいる。ゼネラル・エレクトリック社は TAPS 燃焼器を導入した新型エンジン GEnx で CAEP6 基準値の 42%の NOx を実証している^[3]。また、ロールス・ロイス・ドイツは環状燃焼器試験で CAEP2 の 30%レベルの NOx 低減技術を実証したとしている^[4]。

TechCLEAN の低 NOx 燃焼技術の研究開発の目標は、航空機エンジン燃焼器に要求される他の性能を犠牲にすることなく、NOx の排出を ICAO CAEP4 基準の 20%以下に低減する燃焼技術を開発することである。技術開発に必要な大型燃焼試験設備の整備、噴霧計測技術と CFD 適用技術の研究開発も並行して進めている。また、新エネルギー・産業技術総合

開発機構（NEDO）の「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発^[5]（通称：小型エコエンジン）」において実施されているシンプル低 NOx 燃焼器の開発に共同研究として参加するとともに、小型エコエンジンの仕様に合わせた JAXA 独自の燃焼器の研究開発を行い、燃焼器開発支援のための技術の獲得、ノウハウの蓄積、計測技術の開発を実施している。

本講演では、ICAO の基準と低 NOx 化のための燃焼技術について概説するとともに、JAXA における低 NOx 燃焼技術の研究開発について紹介する。

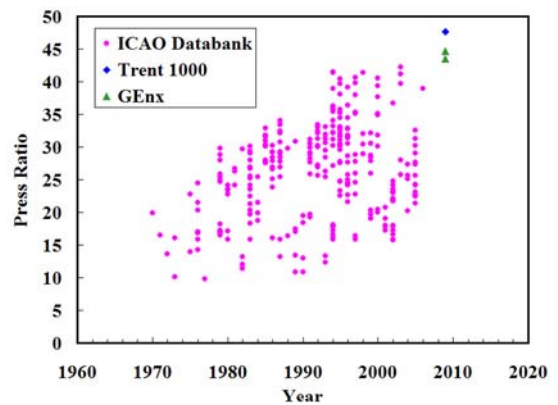


図 1 エンジン全体圧力比の推移

（実機データは文献[2]より引用）

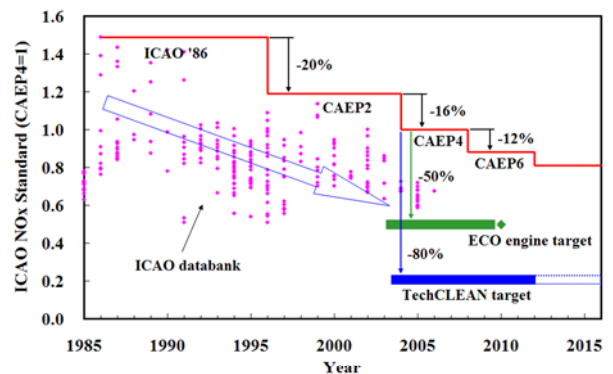


図 2 NOx 基準値エンジン全体圧力比の推移

（実機データは文献[2]より引用）

2. ICAO の排出基準

ICAO は、空港周辺の大気環境保全を目的として、民間航空機が離着陸時において排出する有害なガス状物質 (NO_x、炭化水素、一酸化炭素) と煙について国際基準を制定し、実行勧告を行っており、これが実質的に規制となっている。航空機の離着陸 (LTO: Landing and Take-off) サイクルを、図 3 に示した 4 モードに分け、それぞれのモードを表 1 に示す地上運転時の 4 推力条件で代表するものとしている。ガス状物質については、各推力条件で計測された濃度から求めた総排出量 D_p を、最大離陸推力 F_{oo} で除した値 D_p/F_{oo} (g/kN) に対して基準値が定められている。基準値は圧力比と最大離陸推力 (CAEP4 より導入) を含む式で定められている。巡航時の排出が LTO サイクルの排出と正の相関を持つことから、現在、巡航時の基準は設けられていないが、今後採用される燃焼器の方式によってはこの関係に変化が生じるため、新たな基準が必要となる可能性がある。

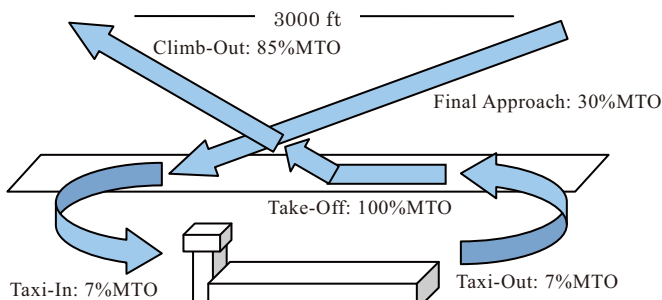


図 3 ICAO LTO サイクル

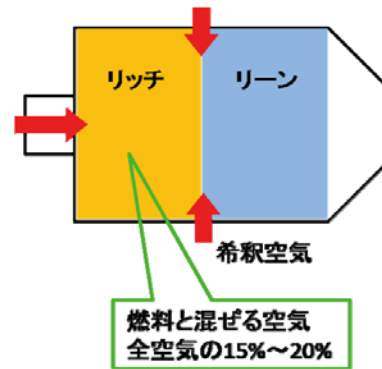
表 1 LTO サイクルの飛行モード

| モード | 時間 (分) | 推力 (%) |
|-----------|--------|--------|
| Idle | 26.0 | 7 |
| Approach | 4.0 | 30 |
| Climb out | 2.2 | 85 |
| Take-off | 0.7 | 100 |

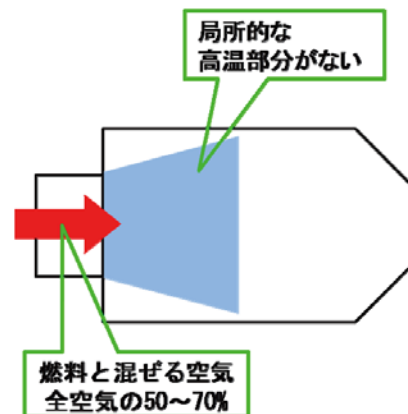
3. 低 NO_x 化技術

航空機エンジン用燃焼器の低 NO_x 燃焼方式として有望であるとされているものに、RQL (Rich-burn/Quick-mixing (または quench) /Lean-burn) 燃焼方式と希薄予混合燃焼方式がある。現在実用化されている航空機エンジンの低 NO_x 燃焼器は全て RQL 燃焼方式またはこれに類する燃焼方式を用いている。図 4 (a) に示すように RQL 燃焼方式では、燃焼器内をリッチ (燃料過濃) の領域とリーン (燃料希薄) の領域に分け、先ずリッチで燃焼させ、

急速に追加空気と混合してリーンで燃焼させることによって、NO_x が多く発生する量論比近くを避け、NO_x 発生を抑制する。一方、希薄予混合燃焼は、予め燃料の微粒化と空気との混合を行い、全ての燃料をリーンで燃焼させることにより、局所的な高温部分の発生をなくし、NO_x 排出を低く抑える (図 4 (b))。図 5 は燃料の割合と燃焼ガス温度の関係を示したもので、RQL 燃焼方式は赤い矢印、希薄予混合燃焼方式は青い矢印の経路を通る。



(a) RQL 燃焼方式



(b) 希薄予混合燃焼方式

図 4 低 NO_x 燃焼方式

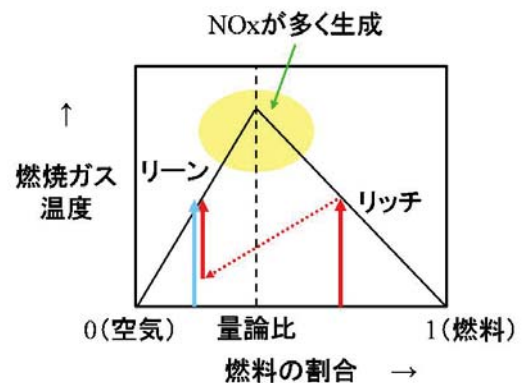


図 5 低 NO_x 化の仕組み

4. JAXAにおける低NOx 燃焼技術の研究開発

JAXA では小型エコエンジン燃焼器の開発支援のために、リッチリーン燃焼方式（希釈空気の混合を積極的に行っていないため、真のRQL方式とは異なる）の燃焼器の開発を行ってきた。図6は開発した環状燃焼器であり、小型エコエンジンの目標を満足する ICAO CAEP4 の38%のNOxを達成した（図7）^[6]。



図6 リッチリーン燃焼方式の環状燃焼器

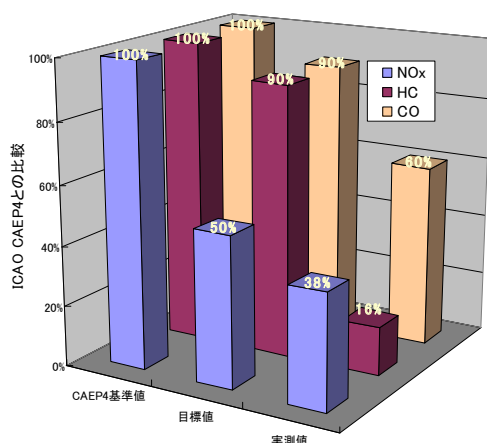


図7 環状燃焼器の実測値と目標値との比較

JAXA では更なるNOxの低減を目指し、希薄予混合燃焼方式を用いた燃焼器の研究を行っている^[7]。この燃焼方式は高い燃焼効率と低いNOxが両立可能な燃料割合の範囲が狭いため、希薄予混合燃焼のメイン部と燃焼安定化のための拡散燃焼のパイロット部を併用し、燃料ステージングを行うことが必要である。図8は開発した燃料ノズルの断面を示しており、パイロット部が中心にその周りにメイン部が配置されている。エンジンの低出力時はパイロット部のみに燃料を供給し、メインは空気のみが流れるため、パイロット火炎の消滅が起こりやすく、燃焼効率確保が課題である。

また、高出力時にはNOx発生抑制のための燃料の微粒化、空気との混合が主な課題となっている。図9は本燃料ノズルの燃焼試験に用いたシングルセクタ燃焼器であり、ライナー4面に多数の斜め冷却空気孔、そのうちの2曲面に希釈空気孔が設けられている。燃料ノズルの設計データ取得のため、JAXAのCFD解析コードUPACSを用いた燃焼器内の流れ場の解析（図10）や高圧場における燃料噴霧の可視化等も実施している。これらについては文献[8]をご覧いただきたい。

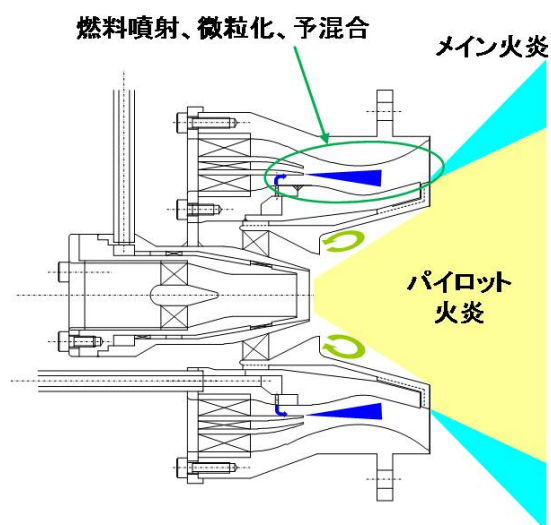


図8 ステージング燃料ノズル

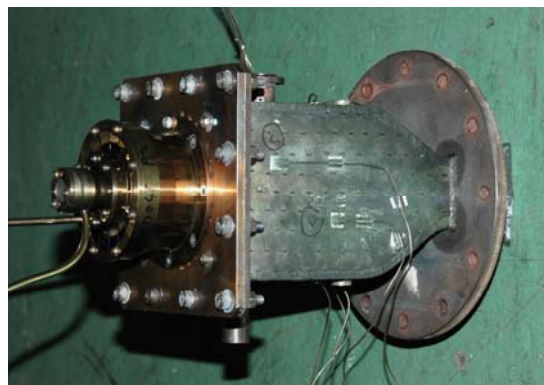


図9 シングルセクタ燃焼器

表2に本燃料ノズルの計測結果のICAO CAEP4基準に対する割合を示す。燃焼器の全ての面から冷却空気を導入しているため、一酸化炭素(CO)は基準値に近くなっているが、NOxは基準値の約28%であり、高い低NOx性能が確認された。図11はJAXAリッチリーン燃焼器とステージング燃焼器のNOx排出値の比較を示したもので、85%MTO、100%MTO条件で

は NOx が大きく削減されているものの、逆に 7%MTO、30%MTO 条件では NOx が増加しており、更なる NOx 低減のためには低出力条件における NOx の低減が必要であることが分かる。

航空機の飛行時間のほとんどが巡航であることから、燃料消費量削減のために巡航時の燃焼効率が高いことが要求されるとともに、対流圏上層への NOx 排出を極力低減する必要があり、巡航時の燃焼性能についても今後検討を行う必要がある。

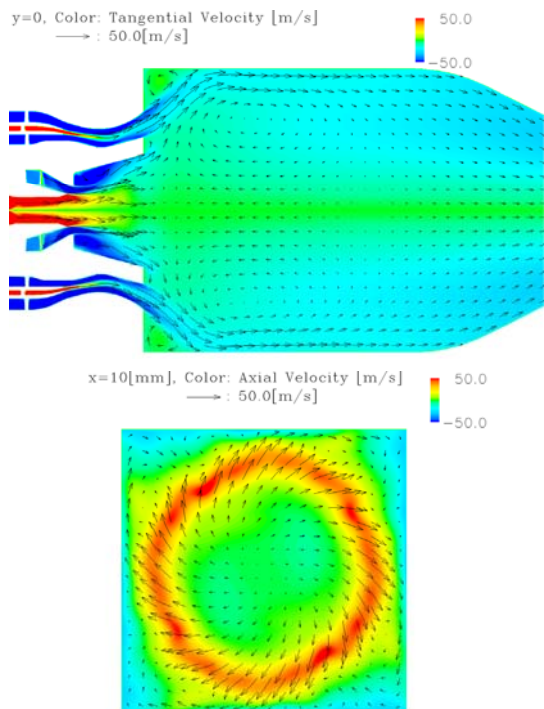


図 10 燃焼器内 CFD 解析

表 2 計測値の ICAO CAEP4 基準に対する割合

| | NOx | HC | CO |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Dp/Foo, % of ICAO CAEP4 standard | 27.7 | 35.7 | 95.9 |

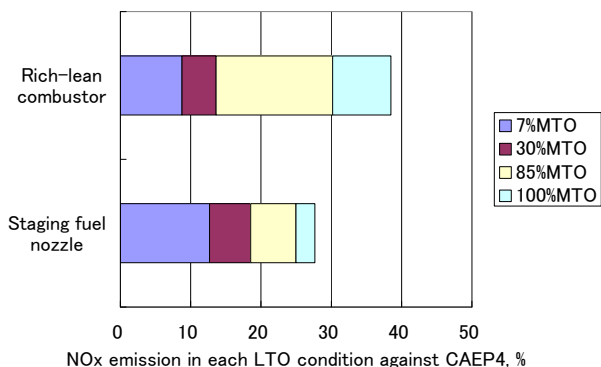


図 11 リッチリーン燃焼器とステージング燃焼器の NOx 排出値の比較

5. まとめ

空港周辺のみならず、地球全体の環境保全のために、航空機からの NOx 排出を抑制することは重要であり、ICAO は NOx の排出基準を頻繁に強化している。これに対応するため、航空機エンジンメーカーは競って NOx 排出低減技術の研究開発を行っている。JAXA においてはリッチリーン燃焼方式を用いた燃焼器を開発し、CAEP4 基準の 38%の低 NOx 性能を達成した。また、更なる NOx 低減を目指し、メインに希薄予混合燃焼方式を用いたステージング燃料ノズルを開発しており、これまでにシングルセクタ燃焼器で基準値の 28%の NOx を確認している。しかし、エンジンの低出力条件における NOx 排出には低減の余地が残されている。巡航状態における燃焼効率と低 NOx の両立のための技術開発も今後の課題である。

参考文献

- [1] Aviation and the Global Atmosphere, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999.
- [2] ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, <http://www.caa.co.uk>.
- [3] ゼネラル・エレクトリック社ウェブページ, http://www.geae.com/aboutgeae/presscenter/genx/genx_20070618b.html.
- [4] W. Lazik, et al: Development of Lean-Burn Low-NOx Combustion Technology at Rolls-Royce Deutschland, Proceedings of ASME Turbo Expo 2008, GT2008-51115.
- [5] 船渡川治ほか2名: 環境適応型小型航空機用エンジンの研究開発、日本ガスタービン学会誌 Vol.34 No.3, 2006.5, pp. 172-177.
- [6] Mitsumasa MAKIDA, et al: Verification of Low NOx Performance of Simple Primary Rich Combustion Approach by a Newly Established Full Annular Combustor Test Facility, ASME Paper No. GT2008-51419.
- [7] Takeshi YAMAMOTO, et al: Research and Development of Staging Fuel Nozzle for Aeroengine, Proceedings of ASME Turbo Expo 2009, GT2009-59852.
- [8] 山本武ほか9名: クリーンエンジン技術プロジェクトにおける低 NOx 燃焼技術の研究開発、日本航空宇宙学会誌 Vol.57, No.660, 2009.1, pp. 6-13.

大規模災害時にヘリコプターを有効に活用するために

富士重工業(株)航空宇宙カンパニー 顧問
元 陸上自衛隊航空学校長
山根 峯治

1. はじめに

阪神淡路大震災は、典型的な都市型の地震災害であり、交通網やライフライン途絶下、官民のヘリコプターによる初めての大規模な救助活動が行われた。地上移動が困難な初動においてヘリコプターによって多くの人命を救助するとともに、孤立した都市住民の生活維持に重要であるとの認識を持たせた。しかしながら、その初動におけるヘリコプター救助活動は有効に機能しない場面も多く、関係機関等の連携の在り方や情報の共有等について、多くの教訓が残った。

その後逐次教訓を活かして法的な整備や関係機関の初動の対応能力が強化されている。新潟県中越地震では、中山間地特有のがけ崩れ等による道路交通網の途絶による孤立者の救助活動が焦点となり、ここでも国土の約70%が中山間地である我が国でのヘリコプターによる救助活動が不可欠であることを証明した。

昨年発生した岩手・宮城内陸地震においては、官邸対策室に緊急参集チームを直ちに召集し、政府関係機関をはじめ地元自治体のヘリコプターによる初動対応も迅速かつ連携して行われ、国民から評価された。中山間地を低高度で行動するヘリコプターや、孤立住民の通信の確保が課題とされたものの、今後とも大規模災害時において、ヘリコプターによる初動からの各種活動は一段と期待されることとなろう。

危惧される東南海・南海地震のような巨大地震が連鎖的に生じた場合において、ヘリコプター救助活動は、わが国の総力を挙げてヘリコプター救助活動をする必要がある。多数のヘリコプターが集中して、広域にわたる救助活動を有効に機能させるには如何にあるべきかを運用者の立場から、最近の大規模災害を例にとって考察する。

2. 近い将来危惧される大規模地震

2.1 近い将来予測される巨大地震・津波災害

予想される大規模地震は確実に近い将来発生するものと予測^[1]され、巨大地震・津波災害においては都市部や沿岸では道路・鉄道網等が寸断され、ヘリコプター以外に初動対処困難になるとの指摘をされている。

2.2 平成20年防災白書に示す被害想定概要

図1は、平成20年版防災白書^[2]の「大規模地震の被害想定(人的被害を中心に)」(中央防災会議資料)である。近い将来発生が危惧される大規模災害の被害は甚大なものと予想されている。その規模は、平成7年に発生した阪神淡路大震災の数倍以上の被害規模が予想され、極めて広い地域に被害が発生するものと見積もられている。

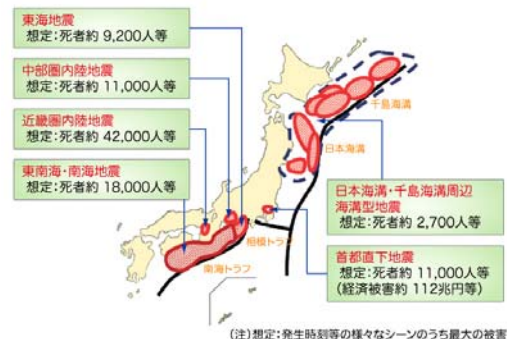


図1 大規模災害の被害想定

3. 最近の主な災害の被害状況・救援活動

都市型災害・中山間地の災害の特徴を災害現場の写真を基に観察すると、明瞭に理解できる。いずれも道路交通網等の遮断の中でのヘリコプターによる初動対処が重要であることを示している。

3.1 阪神淡路大震災など都市型災害の道路交通網の被害状況

高速道路の倒壊や建築物の倒壊による道路・鉄道交通網の途絶やライフラインの遮断は発災後約2週間続いたため初動の救命救助・食料水等の救援活動はヘリコプターに依存するところが大きかった。

3.2 新潟県中越地震の中山間地孤立者に対する救助活動の状況

中山間地においては地滑りやがけ崩れによって、集落間の道路が寸断、孤立化した。谷地や河川を超えての地上からの救助活動は極めて困難であり、ここでもヘリコプターによる救助活動・孤立住民の避難支援などが行われた。

3.3 岩手・宮城内陸地震の被害状況

図2～図4は、陸上自衛隊ヘリコプターが撮影した被災状況の写真（陸上自衛隊提供）である。この地震も、山体崩壊や橋梁の崩落・地滑りなどによる河川の堰き止め等による被害が多かったため、初動における情報収集や孤立者の救出などはヘリコプターに依存するところが大きかった。



図2 橋梁の破壊・落下の状況



図3 規模の大きい山体崩壊の状況

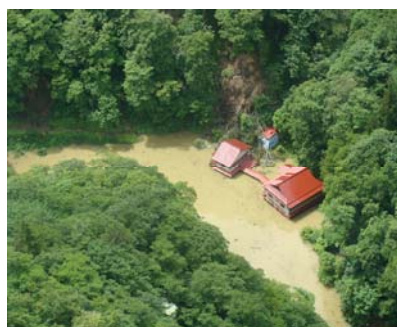


図4 栗駒地区の状況

4. 大規模災害等の救助活動で不可欠なヘリコプター

以上最近の大規模災害におけるヘリコプターによる各種災害救助活動を概観したが、都市型または中山間地型いずれの場合においても極めて重要であることが理解できる。特に初動の情報収集から救命救助・救援活動期は、道路・鉄道等の交通路や電気・水道・ガスなどのライフラインが復旧するまでの間の市民の命をつなぐ唯一の方法といってもよく、もはや大規模災害等の救助活動ではヘリコプターは不可欠であるとの認識は定着しつつある。その価値は以下のごとく要約できよう。

- (1) 災害初動での救命救助活動の中核的手段
- (2) 道路交通網・ライフラインの遮断に伴い、災害復旧までの間の主要な救助救援手段（最低限の生活維持に不可欠）
- (3) 特殊災害での迅速な対応にもヘリコプターは不可欠

原子力災害などの特殊災害における準備は中越沖地震での柏崎原子力発電所の被害などで注目されているが、未だヘリコプターによる災害救助について具体的な検討は進んでいないと言ってよい。ヘリコプターだけではなく、無人機などの積極的な活用により、人間が接近できない場所での情報収集や救助活動について検討する必要があるが、本日は説明しない。

5. 予想される大規模災害ではヘリコプター等航空機に対する期待は高い

現在想定されている大規模災害のうち既にヘリコプターによる初動対処計画が準備されているものもあるが、今後さらに具体的に整備していくべきものも多い。一例として、首都直下型地震と東南海・南海地震についての中央防災会議等で議論され、公表されているものを紹介する。その特色は、多くの官民機関のヘリコプターを集中させて関係機関が連携して行うマス運用による救助活動が通常となることであろう。

5.1 多数のヘリコプター集中を計画する首都直下型地震の初動対処

首都直下型地震の場合、防衛省・海上保安庁・警察庁・消防庁の主な防災関係機関で最大合計425機ものヘリコプターの集中を期待している。恐らく民間ヘリコプター等を加えれば、約500機ものヘリコプターが関東地

域に集中して運用されるであろう。

5.2 東南海・南海地震被害は甚大な広域災害であり、3か所をベースに救助活動

東南海・南海地震は広域にわたる甚大な被害を想定し、緊急災害現地対策本部は、愛知県・大阪府・香川県の3か所に設置⁴することとしている。さらに各種救助活動等についての各省庁の役割の概要を示しているが、細部具体的な活動内容が、中央防災会議幹事会申し合わせ事項（H19.3.20）として示されている。この計画で重要なことは、余りにも広域で、3か所に緊急災害現地本部を設置して対応することであり、中核となるヘリコプター基地も分置することになるだろう。それぞれの地域は独立的に救助活動等を指揮・統制することが必要であり、かつ政府レベルでは3か所の行動を総合して統制・調整することが重要になると思われる。阪神淡路大震災当時以上の規模のヘリコプター運用基地が3か所必要であることになるからである。長期間の連続オペレーションを可能にするための特段の準備が必要であると考えられる。

5.3 東南海・南海地震での広域医療搬送の試算

東南海・南海地震応急対策活動要領⁵によれば、広域医療搬送計画があるが、内容を見ると、搬送目標患者数は、584人、医療チーム必要数は217チーム、DMAT派遣可能数が109チームとされる。さらに艦船及び航空機の集中計画を見ると表1のようになる。

表1 艦船航空機の規模(総数)

| | 艦船 | 回転翼機 | 固定翼機 |
|-------|-----|------|------|
| 防衛省 | 53 | 264 | 65 |
| 海上保安庁 | 215 | 30 | 9 |
| 警察庁 | — | 70 | — |
| 消防庁 | 19 | 69 | — |
| 合計 | 287 | 433 | 74 |

この計画で航空機については、情報収集及び広域医療搬送や救助等の人命にかかわる活動を優先することとしているが、その運用に係わる具体的な調整方法等は未だ検討中である。この一例を見て言えることは、各機関の現状を正確に確認した上で、最も得意とする

分野を保持する機関が、優先して対応できるように調整がなされるべきであり、この為に広域にわたる任務・運航を総合調整するための施設（救助活動の拠点に置く情報センターなど）と各機関が相互運用可能な専用かつ一元的な指揮・統制通信ネットワークが必要とされることが理解できよう。

ヘリコプター救助活動を行う国及び自治体等の防災関係機関はもちろん、民間ヘリコプター事業者についても、大規模災害時には関係機関がチャーターして運航できるような協定（すでに一部の自治体と事業者の間で協定を結んでいるところもある）を作成しておくことも我が国の総力を挙げて対応するためには極めて重要である。ヘリコプター災害救助活動を有効に行うために重要なことは、具体的な防災計画の作成の段階からそれぞれの機関のヘリコプター運用者が自ら参画して実効性のある計画としておくことが重要である。災害時には、初動に際して即動できる、徹底して具体化された計画が必要であることを銘記すべきであろう。

6. 我が国の主要な防災機関のヘリコプターの現状

図5は我が国のヘリコプター総機数⁶の推移である。

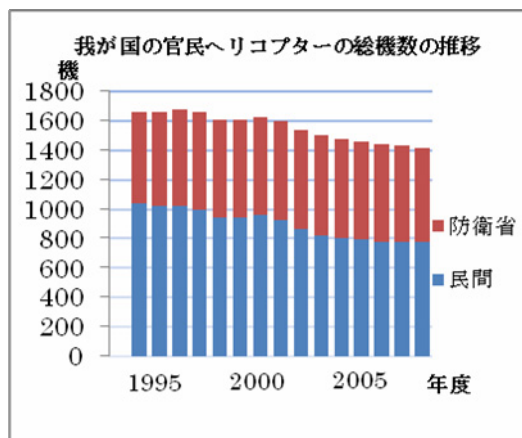


図5 我が国の官民ヘリコプター総機数推移

自衛隊、海上保安庁、警察、消防防災、国土交通省、ドクターヘリなどが主な関係機関であり、阪神淡路大震災を契機に逐次整備拡充されてきたが、平成15年以降、財政的な問題もあり、減少傾向が続いている機関もある。特に防衛省陸上自衛隊の中小型ヘリコプターの減少が目立つ。また、平成7年度頃以降に

増強された消防防災ヘリコプター等各機関の装備器材の更新時期を迎えていることから、国・自治体ともに継続的な整備について特段の配慮をしなければ、すでに述べた大規模地震等の災害対処に当たって、ヘリコプターをもってする有効な初動対応に期待することは困難であろうと危惧している。

7. ヘリコプターの有効活用を可能とする要件

大規模災害時には、あらゆる機関のヘリコプターを災害発生地域に集中させ、関係機関相互に緊密に連携して安全かつ効果的に運用することが求められる。その集中規模は、既に経験した阪神淡路大震災の数倍の規模であると認識しなければならない。数に限界もある我が国の官民のヘリコプターを有効に活用するためにはどうすればよいのであろうか。以下でヘリコプターを有効に運用するための要件を考察する。

7.1 ヘリコプターを効率的に運用できる官民挙げての連携体制の確立

図6は、大規模災害の際、初動の情報収集活動をする関係機関のヘリコプターであり、機関や機種が多く、未だネットワーク化されておらず、横の連携確保が課題である。



図6 初動の情報収集活動で運用するヘリコプター

関係防災機関・医療機関等を結ぶ一元的な専用の指揮・情報通信ネットワークの整備無くして関係機関の連携ある行動は困難であり、その整備が急務である。

ヘリコプター救助活動に必要な主な情報は、①いつどこでどのような救助が必要か、その優先度はなど部隊を適切に運用するために必要な災害全体の情報、②救助のための資材や医薬品・食料などの救助物資は何処にあるのか、それぞれの救助地域では何が不足し、緊

急に必要なのか、それを運搬する手段は、病院は何処で、受け入れ準備はできているのか・・・などの救助に係わる具体的な現場情報。③ヘリコプター等の運航に係わる情報（気象・地形の情報、部隊の指揮統制等運用に係わるあらゆる情報）、④救助部隊の管理運営に係わる人事・装備資器材の補給整備等の情報（休養と交代要員の確保、燃料・補給品・整備等兵站到に係わる情報など）である。共有すべき情報を関係機関が調整し相互交換し、長期連続した運用に効果を得ることが重要となる。

また、同一機種の部品や整備等について、機関を超えた相互支援ができるように責任権限の移譲を含めた法的検討も必要となる。また、航空機製造メーカーや修理・整備担当事業者等についても十分に連携しなければヘリコプターを長期間にわたって連続運用できない。まさに官民を挙げた連携体制の整備が求められている。このため、自衛隊など既に同時多数機の運用に精通している機関や医療関係機関と消防等が行っている情報・指示等の報告通報・命令様式などを活用してすべての機関に普及できる「標準化した様式」の整備が必要である。

7.2 大規模災害時に直ちに使用可能なヘリコプター活動基盤の確保・整備

予想される大規模災害の優先度に従い、現地に集中するヘリコプター部隊等を運用できるベースとなる中核基地の整備が国及び自治体の災害対策基本計画等に明示され、計画的かつ早期に整備されなければならない。例えば、東南海・南海地震に際して緊急現地対策本部の設置が決められている愛知県・大阪府・香川県の指定地域周辺には救助の拠点となる空港・飛行場等を災害対処用の広域防災基地として整備して救助活動の指揮・統制ができる施設を含んで平素から運用できるようにしておくべき（関東地域に立川飛行場が総合防災基地として整備されており、近畿圏では八尾空港が整備されている）である。図7は、阪神淡路大震災の際拠点とした八尾空港に集中するヘリコプターであり、図8は、岩手・宮城内陸地震で花巻空港に集中し活動した防災関係機関のヘリコプターの写真（ヘリコプタージャパン提供）である。

阪神淡路大震災の場合は、八尾空港のB滑

走路を閉鎖し、急きょ駐機場所として使用したが、それでも官民約 150 機程度の駐機と外来機の運用が限界であった。この空港に隣接する陸上自衛隊八尾駐屯地があり、ヘリコプターによる情報収集、指揮・統制の中心となっただけか、格納や整備の拠点となり、長期連続運用を可能にした。大規模災害時に備える基盤の確保が重要であることが理解されよう。比較のために写真を提示するので、基盤の必要性を確認して頂きたい。



図 7 八尾空港に集中したヘリコプター



図 8 花巻空港に集中したヘリコプター

7.3 継続した実際的な訓練の実施

それぞれの機関で救助活動等に必要となる各チーム要員の養成・確保と関係機関相互の支援・連携のための訓練が欠かせない。特に、夜間や悪視程下での情報収集用センサーの整備や瞬時の状況判断をし、適切に評価しながら重要な情報等を伝送する能力の向上、救命救急活動のための医療チームとの連携、重資器材の搬送のための連携等チーム力を上げるために、継続して訓練を積み重ねることが極めて重要である。また、同時多数機を、臨機の任務に効果的に運用できる指揮・統制の訓練が重要である。図 9 は、同時多数機を緊密な連携の下しつかりした統制により運用する空中消火活動の例であり、最近行われた宮城県角田市での山林火災における空中消火活動

事例と訓練の写真である。

このチーム訓練を徹底して実施しておかなければ、いざという場合に自信を持って危険に立ち向かうことはできない。



図 9 空中消火活動事例と訓練

ましてや各機関が連携して効果を上げるには継続した合同訓練が欠かせない。この為、特に指揮・通信情報ネットワークの整備、同時多数機を運用可能なヘリポート等の整備と安全確保のために行動様式の標準化等が必要となるのである。

7.4 長期連続した救助活動を可能にする補給整備等活動支援基盤の整備

阪神淡路大震災で自衛隊は連続 100 日間で約 10,000 機の航空機（主力はヘリコプター）を運用したが、その陰には全国の補給整備部隊が昼夜を通じて航空機を整備し、部品等の確保・交換などの業務を行ったからであった。近年の財政難で補給品などの確保が困難になっていると言われるが、多数機の長期運用を可能にする装備品の充実と人員の確保及び補給整備能力の向上が急務である。

7.5 安全確保のための体制整備

阪神淡路大震災では、救助活動の航空機同士の空中衝突の恐れが頻繁にあったが、幸いにもそれぞれの機関の航空操縦士など、個々の運用者の努力と、当時陸上自衛隊が現地で行った野外航空管制装置による実質的な局地航空管制（半径 2NM）と、救助機の流れを規制する NOTAM 等によって 2 次災害を起こすことなく危険が回避された。

これを教訓に、平成 8 年 1 月 26 日付けで「災害時における救援航空機等の安全対策マニュアル」が出され、その後修正を加えて同年 7 月 19 日から施行され、その後の災害現場での航空機の安全確保に効果をあげている。

また、岩手・宮城内陸地震の際には、宮城県「ヘリコプター運用調整会議」(運用調整班)名で発出された『被災地上空の航空安全を確保するための前沢インフォメーション運用のお知らせ』(20.6.18)は、宮城県を中心に日頃から訓練が行われていたこともあって、すぐに活用され、図10のような陸自野外管制レーダを使用した情報サービスが行われて大きな効果を得たとされている。

新潟県中越地震や中越沖地震の頃から陸上自衛隊が現地に派遣した野外航空管制レーダによるレーダ・アドバイス(飛行情報の提供)を自衛隊機以外にも拡大して運用するようになって、悪視程下での救助活動を行う場合などの安全確保に大きな役割を果たすようになってきた。



図10 陸自野外管制レーダ

内閣府(防災担当)は、首都直下型地震の際に集中する多くの航空機等の安全を確保するために、『首都直下地震時における救援航空機等の安全対策マニュアル』(20.3.18)を作成している。今後これを基に、地域ごとに具体化し、実際の訓練を行い、同時多数機(4つの防災機関の回転翼機だけでも最大約425機集中)の安全確保を確実なものとするように具体的な内容を検証し改善していかなければならない。災害救助中の2次災害はあってはならない。

東南海・南海地震の場合なども早急に同様の整備がされ、訓練などを徹底しておく必要がある。

7.6 災害の発生時期・時刻に応ずる適切な装備・訓練・安全処置

最近の大規模災害の発生時刻と初動の対応について見ると、今後整備すべき課題が多いことが理解できる。報道では、初動対応をした時間だけが議論されることが多いが、現実にはそう単純なものではない。特に冬場の降雪

時期の災害、深夜から早朝にかけての災害等について十分な対策を研究し・具体化しておかなければ、時間の競争だけが焦点となり、二次災害を危惧せざるを得なくなるからである。降雪時期のアイシングに対する対応や早朝・夜間における運航のための要員や資・器材の確保等はヘリコプターを安全かつ有効に活用するための基本であることを理解しておく必要がある。

ヘリコプター災害救助活動を行うに当たっては、元々災害の発生時刻によって対応に必要な準備が異なり、出勤までの所要時間は異なることを理解し、無理なく迅速に行動できるように体制を整備していくことの重要性を強調すべきであろう。

災害の発生時間と初動対応の時間の関係を過去の事例を研究しながら教訓を学びたい。

7.6.1 阪神淡路大震災の場合

平成7年1月17日(火)5時46分に発生した。1月15日(日)と16日(月)は成人の日で、3連休明け、冬場の早朝であった。多くの方は熟睡している時間帯である。しかも都市型の災害特有の停電多発によって交通網は瞬時にマヒした状態となり、要員の参集に時間を要し、最初のヘリコプターが出勤するのに約1.5時間かかった。懸命に努力したこの対応でさえ、遅いと批判を受け、じご初動の対応が課題とされたのであった。

7.6.2 新潟県中越地震の場合

平成16年10月23日(土)17時56分に発生した。阪神淡路大震災以降関係法令等の整備も行われ、初動対応に対する教訓も活かされて、自衛隊・消防防災等関係機関が迅速に行動を開始(約40分後)した。図11は、陸上自衛隊大型ヘリコプターによって初めて小型ドーザ等重機の搬送が行われた写真(陸上自衛隊提供)である。



図11 大型ヘリコプターによる重機搬送

夜間の情報収集が重要になったが、夜間暗視装置などの装備がない、リアルタイムの伝送手段がない等の理由で、ヘリコプターで収集した重要な被災情報の伝達が遅れたとの指摘もあった。また、裏日本の天候は不安定であり、一部の機関は夜間運行に大きな制約を受け、夜間運行と夜間の情報収集の在り方や計器飛行方式によるヘリコプターの運航が課題となった。

7.6.3 新潟県中越沖地震の場合

平成19年7月16日(月)10時13分に発生した。当日は海の日で休日であったが、午前中の時間帯であり、各機関とも待機要員などにより迅速に対応した。自衛隊は群馬県の12旅団のOH-6が約22分後に、立川から約30分後に中型ヘリコプターが飛び立って長岡市や上越地域を偵察している。

地元の新潟県防災ヘリコプターは約40分後に離陸、仙台消防ヘリコプターは、10時40分に出動要請を受けて、発災後約1時間10分後に出動している。しかしながら、この時も裏日本は天候不安定であり、東京消防ヘリコプターのように13時10分木場を計器飛行方式で離陸し、15時10分に新潟空港へ推進した例もある。天候不良で待機せざるを得なかった機関も多い。夜間悪視程時における天候克服能力の向上が課題となった。

7.6.4 岩手・宮城内陸地震の場合

平成20年6月14日(土)8時43分に発生した。土曜日ではあったが、各機関とも待機要員の交代・ヘリコプターの試運転等の時間帯であり、天候も良好であったため、対応は極めて速かった。各機関ともに約10数分後には被災現地に向かって行動を開始している。図12は、消防防災のチームが自衛隊機を着陸誘導する写真(陸上自衛隊提供)であり、良好な関係機関の連携プレイを象徴している。



図12 消防防災の誘導で着陸する自衛隊ヘリコプター

6月14日～17日頃までの間、行方不明者の捜索が昼夜を分かたず行われた。特に夜間、谷間の川沿いのヘリコプター捜索活動は、困難を極めたが、陸上自衛隊の対戦車ヘリ隊のAH-1SとOH-1に装備する夜間暗視装置(FLIR)を使用して熱源反応を確認しながらの情報収集が行われた。航空操縦士は、暗視ゴーグルを使用しての飛行であった。

夜間の運用を行うためには、精度の高い器材を装備し、かつ日頃の絶え間ない厳しい訓練をしておかなければできない。一朝一夕に成果を求めることのできない夜間の情報収集活動の好例である。各機関が一挙に集中した際に、一部無線が混乱したとの現場の声もあった。多くの機関が一度に集中する場合の指揮・統制を効率的に行うことの重要性を改めて認識できた事例である。

この災害で、宮城県が中心となって行った被災地周辺空域の情報提供とレーダサービスによって、ヘリコプターの安全運航が確保されたことは高く評価されている。

7.6.5 岩手沿岸北部地震の場合

平成20年7月24日(金)0時26分に発生した。真夜中に発生した地震災害であり、海霧で天候が悪かったこともあって、日頃から計器飛行などの訓練をしている自衛隊・海上保安庁などが夜間暗視装置(FLIR)等を使用して沿岸地域の情報収集にあっている。その他の機関は、夜明けを待っての行動をしているが、海霧で活動は困難を極め、天候不良で待機せざるを得なかった機関も多い。

真夜中に発生する災害で、夜間・悪視程を克服して災害情報を収集し、救命救急活動を有効に行える装備器材の充実と計器飛行能力の保有等、各機関の環境整備が必要であることを改めて痛感させられた事例であった。

7.6.6 これらの事例から得られる教訓

夜間悪視程時にヘリコプター等の局地運航を安全かつ効果的に行うためには、局地でのレーダなどによるサービスの提供や、飛行ルート指定など一元的な運航統制及びヘリコプターを運航するために必要な気象情報等の提供が必要である。特に山地の谷間を低高度で活動する場合のヘリコプターに対する援助については今後早急に検討を進める必要がある。また、情報収集に必要な夜間暗視装置(FLIR)や合成開口レーダ等センサーとその

情報をリアルタイムで伝送するネットワークの構築が必要である。

8. 終わりに

危惧される大規模地震はいつ起きても不思議ではないと言われている。大規模災害時には、すでに何回も述べてきたようにヘリコプターによる救助活動への期待は高く、ヘリコプターなくして初動の迅速な各種救助活動等はある得ないことを改めて認識し、可能な限りの叡智を絞って有効に活用できるように準備をしておくことが、今を生きる我々に課された責務である。最後に重複を厭わず3点について申し述べておきたい。

8.1 広域同時多発災害への対応能力向上

阪神淡路大震災の際自衛隊は100日間にわたって延べ約10000機の航空機が運用されている(平均すると100機/日という所要があった)が、東南海・南海地震の場合は、すでに述べたとおり被害規模も巨大であり、広域であることから、3か所において緊急災害現地対策本部を設置して対応することが既に計画されている。これに対応してヘリコプター救助活動を有効に行うためには、多数の装備と要員を同時に必要とすることを再認識し、長期連続運用を可能にする拠点の整備及び装備と人材の確保が喫緊の課題である。

8.2 危機管理専用の通信情報ネットワークと各機関の救助活動を一元的に指揮・統制し得るシステムの構築

災害情報を共有し、可能な限り大規模災害で連携運用することを前提に各種用語や資器材等の標準化等を推進し、各機関が共有できる専用の指揮・統制・通信システムを構築し、各機関の救助活動を一元的に指揮・統制できるようにしておくことが極めて重要である。

8.3 安全確保に係わるシステムを早期に構築し、関係機関が連携し、チーム力を発揮できる訓練を重ねておく

広域防災基地等を災害の発生予測の優先度に従って早急に整備し、これを災害時多数機の運用でも有効活用できるように、災害時の臨時航空管制圏やヘリコプター用のIFRルート等を柔軟に設定できるように法整備し、平素から関係機関が相互支援体制強化のための研究改善を継続して、実地的な訓練を重ねておくことが重要である。

また、当面の人材不足を補うために、専門的技能を活かして関係機関の現役の業務を援助できる人の登録制度(官民の各種専門家OBなどのボランティア登録)を確立し、災害時などに迅速に活用できるように体制整備をすべきである。

参考文献

- [1] 日本ヘリコプター技術協会 第28回定例研究会 「ヘリコプターによる防災」シンポジウム基調講演 「阪神淡路大震災から10年を振り返って」(京都大学防災研究所 巨大災害研究センター長 河田恵昭教授) 資料「予想される大規模災害(巨大地震・津波災害)」の発生確率(2005.2.25)
- [2] 平成20年版防災白書(平成20年5月内閣府発行) 図表1
- [3] 「首都直下地震応急対策活動要領」に基づく具体的な活動内容に係る計画(平成20年12月11日 中央防災会議幹事会) P6 表1-6
- [4] 東南海・南海地震応急対策活動要領(H18.4 中央防災会議決定)
- [5] 「東南海・南海地震応急対策活動要領」具体的な活動に係る計画(H.19.3.20 中央防災会議幹事会申し合わせ)
- [6] 防衛白書・防衛ハンドブック・ヘリコプタージャパンデータ集各年度版から集計し作成

大規模災害を想定したヘリコプタの情報共有と運航管理技術

運航・安全技術チーム

奥野 善則

1. はじめに

地震などの大規模災害が発生すると、日本全国から被災地周辺にヘリコプタが集結し、情報収集、物資輸送、傷病者搬送などの任務で飛行する。2004年10月に発生した新潟県中越地震では、延べ70機のヘリコプタが集結した。我が国で災害時に活用可能なヘリコプタの機数を表1に示す。首都直下地震や東海地震などの大規模災害が発生した場合には、数百機のヘリコプタが集結することが想定されている。^[1]

本研究では、集結した多数のヘリコプタと地上の災害対策本部等の間で情報共有を行い、時々刻々変化する災害の発生状況や機体の運航状況に応じて、各機体への任務割当や飛行の指示などの運航管理を最適に行うことにより、救援活動の効率性と安全性を向上する技術の開発を行う(図1)。

2. 情報共有システムの研究開発

2.1 情報共有の現状と課題

全てのヘリコプタには、パイロットが地上の管制官や運航管理者と交信するための無線電話が装備されている。平常時は各機関ごとに別々の

周波数が割り当てられているが、災害時には専用の共通周波数を用いて情報共有が行われる。ただし、この装置は音声通話専用であり、データの送受信を行うことはできない。

一方、データの送受信を行うシステム(データリンク)としては、イリジウム衛星を使った「動態管理システム」などが普及しつつある。イリジウムは、衛星通信の中でも機体に搭載するアンテナが小型(直径10cm程度の円板状)なため、ヘリコプタ等の小型機に特に適している。日本全国どこでも通信可能で、山などの障害物の影響を受けにく

表1 災害時に活用可能なヘリコプタの機数

| 機関 | 機数 |
|--------|-----|
| 自衛隊 | 660 |
| 消防防災 | 72 |
| 警察 | 95 |
| 海上保安庁 | 46 |
| ドクターヘリ | 18 |
| 合計 | 879 |

2009年7月時点(民間機を除く)



図1 大規模災害を想定したヘリコプタの情報共有と運航管理システムの概念図

いことが長所であるが、通信速度が遅い(2400bps)ため、画像や映像をリアルタイムで送ることはできない。近年、低コストで高速通信(数Mbps、イリジウムの数百倍の速度)が可能なメディアとして無線 LAN が航空機でも利用されつつある。無線 LAN は通信距離が短い(数 km 程度)ため、遠距離はイリジウム、近距離は無線 LAN を使い分けることによって、低コストで利便性の高い通信システムの構築が可能になる。

2.2 JAXA が提唱する D-NET

「災害救援航空機情報共有ネットワーク」(略称 D-NET)は、JAXA と京都大学防災研究所が共同で開発した情報共有のための規格である。2.1 章で述べたように、我が国で複数のデータ通信システムが実用化されつつあるが、それぞれ独自の規格で開発されているため、データの互換性がないことが課題となっている。D-NET の目的は、新しい通信システムを開発することではなく、既存の(あるいは今後開発される)さまざまな通信システムの間でデータの互換性を実現することである。

また、D-NET 上で利用可能なデータベースの開発も進めている。各機体が搭載する装備品や性能、地上の防災拠点に設置されている運航支援設備等の情報をデータベース化することにより、運航管理に役立てることが可能になる(図 1)。

平成 18 年度には、D-NET の通信規格の基本部分を策定し、3 種類の異なる通信システムを搭載する消防庁ヘリコプタ、民間(川崎重工)ヘリコプタ、JAXA ヘリコプタの間で情報共有の実証実験を実施した。

平成 19 年度からは、文部科学省が実施する「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」に参加し、防災科学技術研究所等が開発した災害情報のオンラインデータベースである「減災情報共有プラットフォーム」との相互情報共有を進めている(図 2)。これにより、災害情報を使った航空機の運航管理、および航空機の運航情報を使った後方支援の効率化等が実現される。平成 22 年度には、首都圏八都府市との共同による技術実証実験が計画されている。

3. 運航管理システムの研究開発

3.1 運航管理の現状と課題

現状では、運航管理者は、電話や FAX 等の通信手段で災害情報を収集し、各機体への任務割当を決定した後、無線電話等によって各機体に指示を与える。災害の規模が大きくなると、扱う情報量や通話の回数が膨大になるため、効率的な運航管理が困難になる。

図 3 は、災害の規模と投入される航空機数が増大した時に、どの程度の任務が達成可能かをシミュレーションした結果である。黒線は電話等の通信手段を用いた現行の運航管理、緑線は D-NET によって航空機の運航に関するデータをオンライン化した場合、青線は災害情報も D-NET からオンラインで参照可能とした場合、それぞれの達成可能な任務数を表しており、赤線は災害対応に必要な任務数を表している。橙色の○印は、過去に発生した阪神淡路、新潟県中越、中越沖の各地震の際の実績値と、首都直下地震の予測値を表している。首都直下地震のような大規模災害時には、現行のシステムで必要な任務数を達成するのは困難であり、情報共有システムを用いた効率的な運航管理システムの導入が必要であることが示されている。

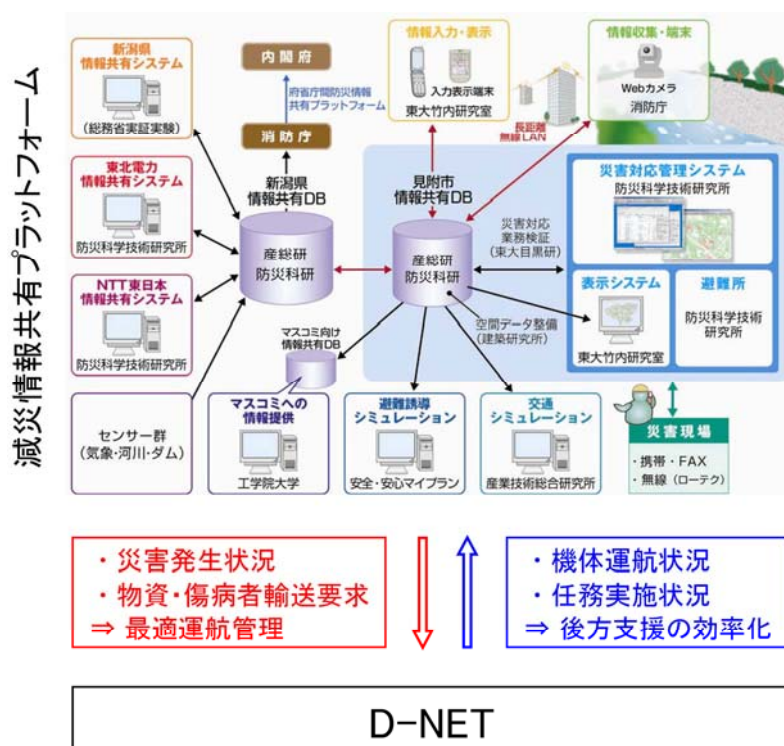


図 2 D-NET と災害情報データベースの相互情報共有

3.2 災害時の航空機運航シミュレーション

図3に示した結果は、簡単なシミュレーションに基づく予測であるが、現在、個々の航空機の運航をより正確に模擬することが可能なシミュレーションプログラムの開発を進めている。

このシミュレーションプログラムでは、以下の要素が模擬されている。

- ・各機体の6自由度運動
- ・各機体の性能・装備品
- ・空港・防災拠点等の管制・離着陸容量
- ・通信
- ・地形
- ・機体の給油・整備
- ・パイロット目視および衝突防止装置(TCAS)の指示による衝突回避操作

図4は、このプログラムを用いて、新潟県中越地震の際のヘリコプタの運航をシミュレーションした結果である。2004年10月24日の5時から19時までの14時間のヘリコプタの飛行軌跡が示されている。30機のヘリコプタが延べ200回飛行を行っており、離着陸場の場所は40ヵ所に及んでいる。一般的な旅客機の運航と比較して、

- ・狭い空域の中で多数の機体が飛行する
- ・狭い地域の中に多くの離着陸場があり、飛行経路が錯綜している

などの点で大きく異なるのが特徴である。

3.3 最適運航管理

各機体に任務を割り当てる場合、機体の装備品によって対応できる任務に限られる。また、ヘリコプタは2~3時間毎に給油する必要があるが、特定の場所・時間に集中すると、離着陸や給油の順番待ちのために無駄時間が発生する。本研究では、最適な任務割当や飛行の経路・タイム

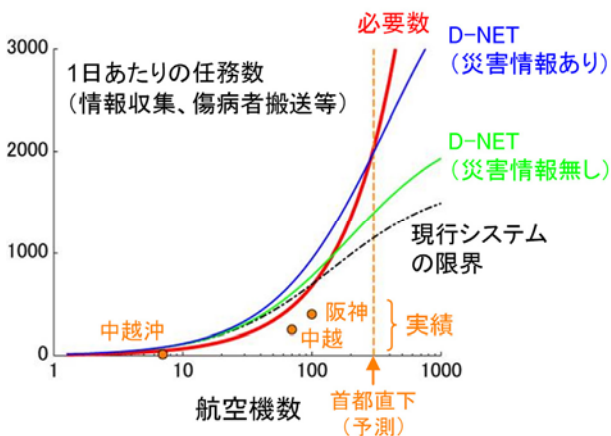


図3 災害時の航空機数と達成可能な任務数

グなどの指示を計算によって求め、運航管理者の判断を支援するシステムの開発を進めている。

最適解の計算手法としては、「遺伝的アルゴリズム」を用いている。ランダムに設定した多数のパターンの中から成績が優秀なものを選別し、パターン同士の組み替えや突然変異の要素を組み込みながら世代を重ね、近似的な最適回を探索していく手法である。

表2は、この手法を新潟県中越地震の際の運航管理に適用した場合のシミュレーション結果を示したものである。当時の運航記録に基づくシミュレーションでは、離着陸と給油の待ち時間が合計13.3[時間×機]発生するのに対して、最適な運航管理では3.6[時間×機]となり、約73%無駄時間が減少する効果が確認できた。

4. 実用化に向けた運用評価

本研究で開発を進めている情報共有と運航管理システムの実用性を向上するため、防災関連機関による運用評価を実施する計画を進めている。

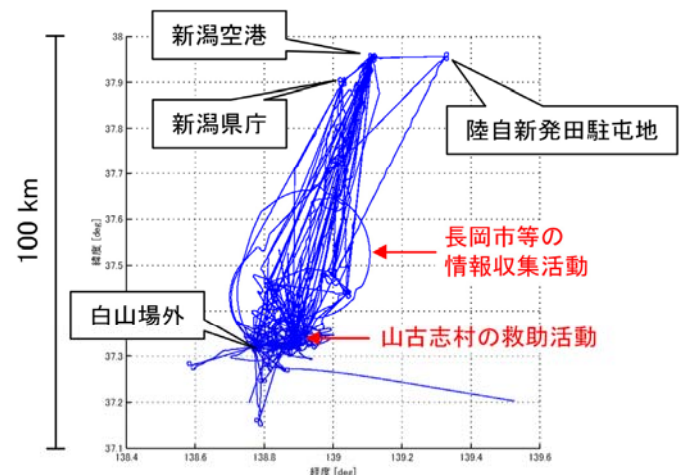


図4 災害時のヘリコプタの飛行軌跡の例

表2 最適運航管理のシミュレーション結果

| 運航管理 | 無駄時間 [時間・機] | |
|-------------------|-------------|-----|
| | 離着陸時 | 給油時 |
| 現状 (人間の判断) | 13.3 | |
| | 6.8 | 6.5 |
| 最適 (遺伝的アルゴリズム) | 3.6 (73%減) | |
| | 3.3 | 0.3 |

平成 21 年度から、地上の災害対策本部等での利用を想定した運航管理システムを総務省消防庁に導入する予定である。図 5 に開発中のシステムのディスプレイの例を示す。導入当初は機体の運航情報や災害情報はオンライン化されない(手入力する必要がある)が、最適運航アルゴリズムの検証やヒューマン・インターフェイス(表示の内容や操作性)の評価等を実施する。平成 22 年度には、機上システムを開発し、消防防災ヘリコプタに搭載する予定である。これによって、機体の運航情報をリアルタイムで地上の運航管理システムに送信することが可能になる。平成 23 年度までに全体システムの開発と評価を完了して実用化を目指す。

5. D-NET の機能・規格の拡張

D-NET は消防防災ヘリコプタを主な対象として研究開発を進めてきたが、他の航空機にも対象を拡大する研究を進めている。ここでは、ドクターヘリと無人機の 2 例について紹介する。

5.1 ドクターヘリに適した情報システムの研究

ドクターヘリは、医師や看護師が搭乗して災害現場付近まで飛行し、初期治療を迅速に行うことを目的とするものである。現場での初期治療終了後、医療機関まで患者を搬送する。この際に、患者の様態に関するデータを病院に送信する事が出来れば、病院側が受け入れ準備を迅速かつ適切に行うことが可能になる。医療情報システムである GEMSIS(岐阜救急医療情報共有支援システム)と D-NET との相互情報共有による実証実験の計画を進めている。

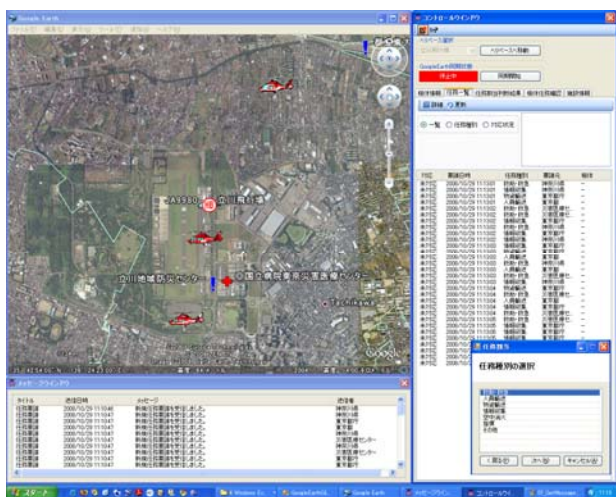


図 5 運航管理システムのディスプレイの例

5.2 無人機との連携

近年の無人機技術の進歩により、災害時の情報収集等の任務を無人機が分担することが可能になりつつある。情報収集を無人機が分担することができれば、有人機は物資や傷病者の輸送等の任務に専念できるため、救援活動全体を効率化することが可能になる。例えば、要救助者の捜索を無人機が行い、発見後、その情報を有人ヘリに送信して救助を行う、等の連携が考えられる。このような場合、有人機と無人機が近接した場所を飛行する可能性が生じるため、衝突を防止するシステムの開発が必要となる。D-NET を使って有人機と無人機の間でデータ通信を行うことにより、安全かつ効率的な連携を行うためのシステムの開発をヤマハ発動機(株)と共同で進めている(図 6)。

6. おわりに

JAXA が中心となって開発・提唱している災害時の航空機の情報共有と運航管理システムについて紹介した。軍用機では少数機の最適運航管理機能を持つシステムが実用化されているが、本研究が対象とする数十～数百機の最適運航管理は世界初の試みとなる。明日起こるかもしれない大規模災害に備えて、早期実用化が期待される。

参考文献

- [1] 中央防災会議幹事会資料,「首都直下地震応急対策活動要領に基づく具体的な活動内容に係る計画」, 2008.12.11.

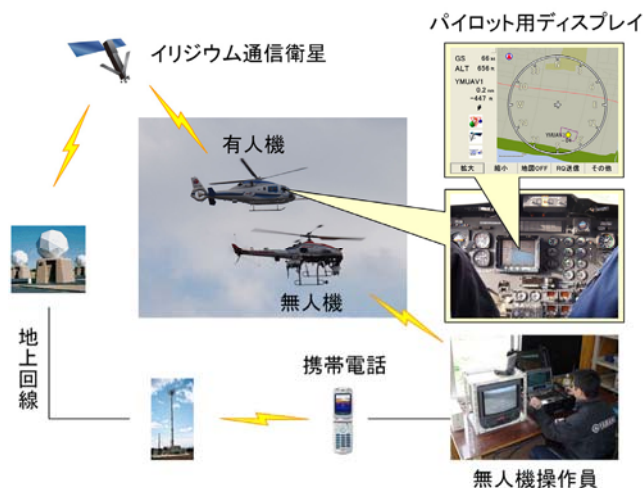


図 6 有人機と無人機間の情報共有システムの概念図

「安全・安心」に役立つ無人機を目指して

無人機・未来型航空機チーム
佐々 修一

1. はじめに

過去 20 年程度で砂漠・田畑・海上などの無人地帯での無人機（無人航空機）の実用化が急速に進んで来た。

今後は有人地帯の飛行を含む利用拡大が進む可能性がある。

無人機・未来型航空機チームでは、無人機の民生利用への試みとして、「安全・安心」に役立つ「災害監視無人機」について検討してきたので、これまでの検討結果や今後の計画について紹介する。

2. 無人機技術

無人機はライト兄弟の飛行（1903 年 12 月）以前からあり、有人の航空機が戦争で使われるとともに、無人機も砲術訓練のための標的機や偵察機として少しずつ使われて来た。

そして電子機器や無線技術の進歩により無人機の性能が大幅に向上し、中東戦争やイラク戦争で使われると、一挙に無人機がクローズアップされることとなった^[1]。

「無人」の利点は、軍用無人偵察機の開発が進んでいることから分かるように、人間に代わって危険なミッションを遂行できることである。

また人が乗る必要がないため、有人機と比べ小型・低価格にできるなど、民生利用に有利な特性を有している。

上空からの監視など「高さ」の利点を利用できる反面、有人地帯での利用では不具合時の地上安全の確保という課題を有している。

3. 災害監視に関するニーズ

阪神・淡路地震以降、中越、中越沖、宮城内陸など大規模地震が起こっており、東海・東南海地震の発生も危惧されている。このような状況で地震発生直後の救援活動について国や地方自治体は検討・準備を進めているところである。

その場合災害発生直後の情報収集が重要とされ、無人機の活用も考えられている^[2]。

すなわち大規模地震が起きた時には

- ① 国への通報や救助隊の展開のための被災状況の早期の概括的把握
- ② 住民の避難などのための詳細な被災情報の把握

の異なる性質の情報や情報収集活動が必要といわれている。

また救助活動を進めるに当たっては、リアルタイムの動画情報が有用といわれている。

以上のニーズに対しては、発災直後から飛行を行い搭載されたカメラで上空からの監視ができる無人機があれば役に立ちそうである。

なお実際は以下の要求を満たす必要がある。

(1) 性能要求

風などの悪天候下でも飛行でき、また墜落などしない制御性能を持つ必要がある。

監視範囲をカバーしたり、特定の場所を長時間にわたって観測できる航続時間が必要。

(2) 安全性・信頼性要求

被災地には人がいる可能性が高いため、人の上を飛べるだけの安全性・信頼性が必要。

(3) 運用性要求

専門的スキルを必要としない使い易いシステムであることが必要。

狭い場所での離着陸が必要。

維持・管理が容易であることが必要。

(4) ミッション要求

高品位の監視画像が得られることが必要。（道路の被災状況監視では地上分解能 30cm が必要といわれている。）

夜間、霧・雨・雪の中での監視もありえる。

(5) その他

コスト低減や慣熟のためにも、災害監視以外にも使えることが必要。（平時利用）

4. 災害監視無人機の提案

無人機の種類・規模などの比較検討を行い、

小型の電動固体翼無人機と 10m 前後の飛行船型無人機の組み合わせにより、前述の要求を満足できる可能性があることが分かり、システムや運用手順の検討を進めた。

前者は早期の概括的状況把握を担当し、後者は長時間の詳細状況把握を担当する(図1)。

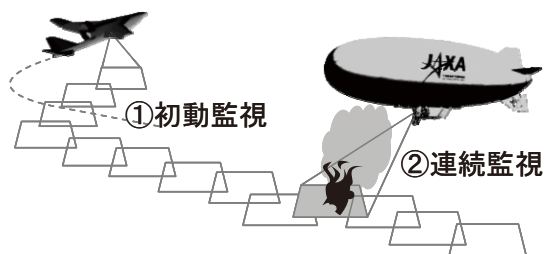


図1 提案する災害監視無人機システム

5. 技術課題と飛行試験結果

下図のような予備試験機を製作し、平成19年以来、各種飛行試験を実施してきた。



(a) 固定翼無人機#1



(b) 固定翼無人機#2



(c) 14m 飛行船



(d) 8m 飛行船

図2 予備試験機

5.1 性能

10m/sec 程度の風条件下での運用実績を積むとともに、長時間飛行で航続時間を評価した。

5.2 安全性・信頼性

固定翼無人機の衝撃緩和材料・構造に関する FEM 解析を行うとともに、衝突時の衝撃の許容値の提案を行った。

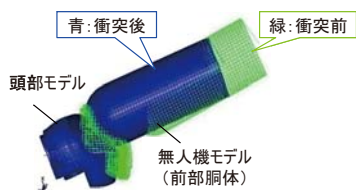


図3 頭部衝突時の FEM 解析

5.3 運用性

固定翼無人機のカタパルト発進方式の確認

を行った。

固定翼無人機の簡易操縦方式を開発し、その有用性を確認した。

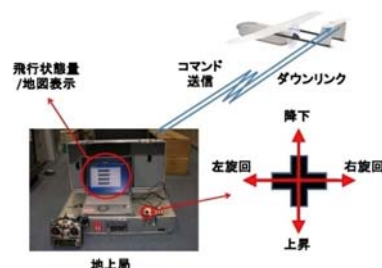


図4 ゲームパッドを用いた簡易操縦装置

飛行船型無人機について、模擬滑走路を用いた自動離陸・着陸の機能確認を行った。

小型飛行船の自動組み立て方式を提案し、その有用性を実験的に確認した。



図5 飛行船の自動組み立て実験

5.4 ミッション

搭載されたデジタルカメラによる撮影画像を用いて、理論分解能と実際の分解能の比較評価を行った。

霧・雨・雪のなかでの可視から遠赤外カメラまでの監視画像取得・評価を行った。

25km 遠方からのリアルタイム映像伝送を確認した。

5.5 その他

大学等との共同研究で、飛行船搭載カメラによる樹木・農作物の上空からの植生観測を行い、環境監視や農業計測に無人機が有用であることを確認した。

6. おわりに

今後は安全性・信頼性に関わる検討を重点的に進め、システムを取り纏めた後、自治体等との協働による運用試験でシステム評価を行い、「安全・安心」に役立つ無人機の最終提案を行う予定である。合わせて無人機の活用の拡大に貢献したいと考えている。

参考文献

[1] L. R. Newcome, "Unmanned Aviation" AIAA (2004)

[2] 総務省, "初動時における被災地情報収集のあり方に関する検討会提言書"(2005.7)

「次世代運航システム（DREAMS）について」

運航・安全技術チーム
中島 徳顕

1. DREAMS とは

Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System（分散型高効率航空交通管理システム）の略で、従来の地上施設で集中管理するシステムを補完するものとして、各機体に搭載した機器に機能を分散することにより、効率性を高めてより多くの航空機が安全に運航できる技術の開発を目的とする JAXA の研究開発計画の名称である^[1]。

2. 背景

20年後、日本の空の交通量は1.5倍程度になると予測されているが（図1）^[2]、現行のシステムでは空港や空域の処理容量を超える交通量により、遅延の発生や運航への制約、パイロットや管制官への負荷の増大が予想され、航空交通の利便性が大きく低下する可能性がある。これを解決するために、新しい技術による運航システムの革新が求められている。

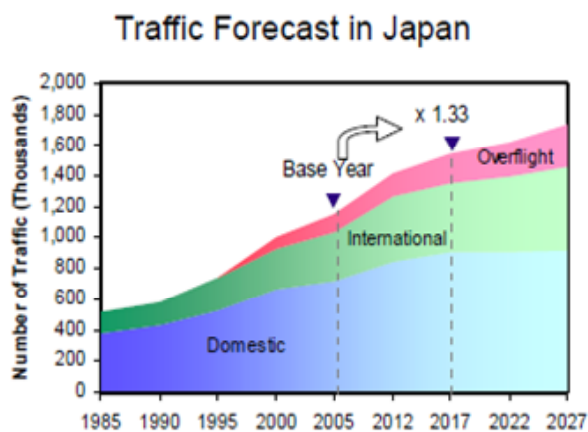


図1 国土交通省予測
(出典: JCAB, 2007 RNAV Roadmap Version 2)

欧米でも20年後の交通量が現在の1.5~3倍と予測されており、技術開発の必要性が認識されている。

ICAO（International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関）は2005年に世界的な相互運用性を満たす新たな航空交通管理の方向性として、ICAO グローバル ATM 運用概念を提示した^[3]。この概念は技術自体が目的ではなく、技術を効果的に活用するための運用に軸足を置いた概念で、以下の7つの要素から構成されている。

- ・需要/容量バランス
- ・操縦者運用分担
- ・空域管理
- ・交通の同期化
- ・コンフリクト管理
- ・空港管理
- ・サービス配送（情報共有）

これに基づき、米国では2025年までに航空交通システムの革新を目指す“NextGen”（Next Generation Air Transportation System）プログラムが^[4]、欧州においては空域・管制システムの再編を目指す“SESAR”（Single European Sky Air Traffic Management Research）プログラムが開始されており^[5]、両プログラムともに地域に即した長期ビジョンが策定されている。また、ICAOのサポートのもとでNextGenとSESARの協調も進められている。

日本においては、航空局主導のもと「将来の航空交通システムに関する研究会」が設立され、学識経験者、航空会社、研究機関等の産学官連携で将来の航空交通システムの長期ビジョンの検討が進められている。

JAXAはこの研究会のメンバーとして、長期ビジョン策定をサポートすると同時に、この長期ビジョンの方向性に沿った技術課題を、日本の技術優位性や運航環境の特性等を考慮して選定し、これらの技術実証によって国際規格策定に貢献することを目指している。

3. DREAMS の概要

3.1 DREAMS のロードマップ

2025 年までに次世代システムへの移行を達成することは国際的な共通目標となっていることから、そこをゴールとして作成した各機関の役割を含むロードマップを図 2 に示す。マップの縦方向には各ステークホルダーの関わり方も示されている。

2025 年までに次世代運航システム移行を実現するためには、その 2~3 年前までに次世代運航システムの実現に必要なインフラやアビオニクス試験運用を開始していることが必要であり、さらに国際規格の策定には ICAO などの国際規格団体においてワーキンググループ等を設置して規格化のための議論を行う必要があることから、技術提案は遅くとも 2013 年までには行われていることが望ましい。従って、現時点では個別に成立性を検証している要素技術を 2013 年度末までに模擬的な運用環境下で総合的に飛行実証できるまでに技術開発を進める必要があることから、2009 年度より DREAMS をプリプロジェクトと位置付け研究開発を開始した。

3.2 DREAMS における技術課題の選定

運航システム開発において、多くの経験と実績を有する欧米の技術力は高く、また NextGen、SESAR がインフラ整備も含めて投入

する予算規模の大きさ等も考慮し、DREAMS ではすべての技術項目を網羅するのではなく、次世代運航システムに必要不可欠な技術をターゲットとした。

そして、技術を開発するための技術課題は、我が国に特徴的な問題である

- ・欧米に比べ大型機の比率が高い
 - ・都市近郊の大規模空港への交通集中
 - ・山が多い国土で気象条件も厳しい
 - ・低高度域での管制サービスが遅れている
- を考慮しつつ、欧米諸国で開発された技術の後追いではなく、我が国が保有する独自性・優位性のある技術をもとに、高密度・安全運航に効果がある実用性の高い技術に選択・集中させることとした。

図 3 はその方針の下に選定した 5 つの技術課題と ICAO グローバル ATM 運用概念との関係を示している。

3.3 DREAMS の技術課題の概要

DREAMS では、高密度・安全運航を実現するための技術を提供するものとして、以下の 5 つの技術課題を選定した

- (1) 高精度衛星航法
- (2) 分散型管制
- (3) 気象情報技術
- (4) 低騒音運航
- (5) 低高度サービス

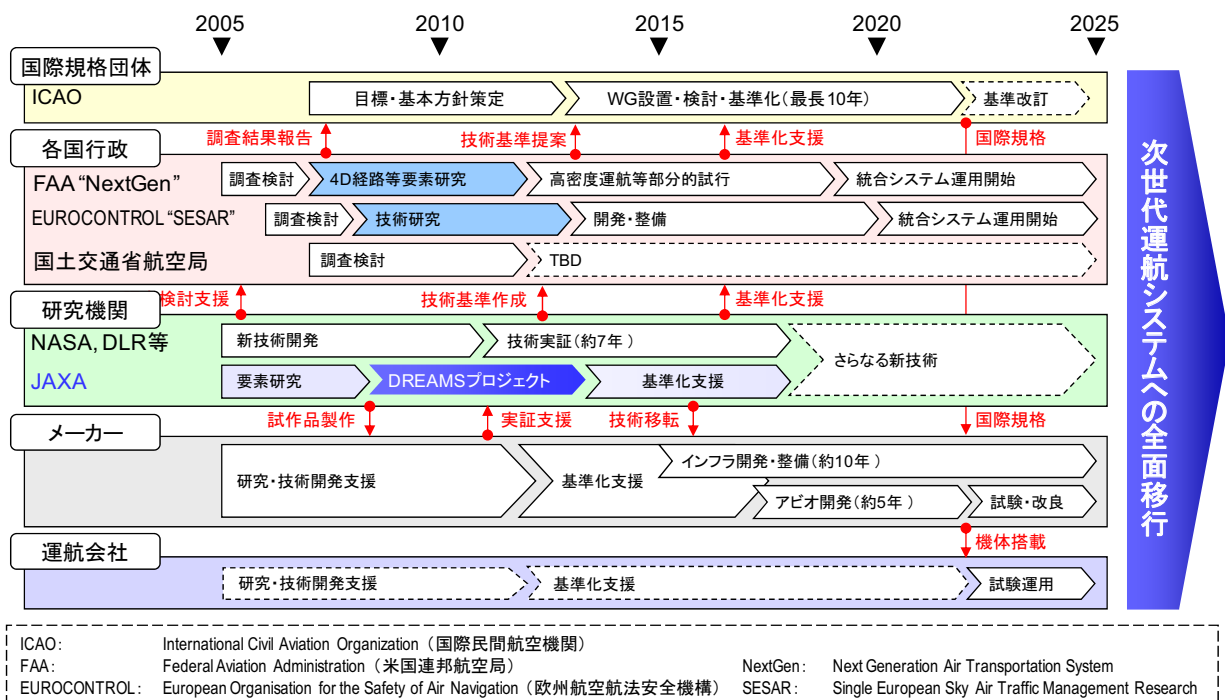


図2 ロードマップと各機関の役割

DREAMS で選定したこの5つの技術課題の概要と目標を図4に示す。

3.4 研究開発計画

JAXA では DREAMS を 2009 年度から 2013 年度までの5年間のプロジェクトと位置付け研究開発を進める予定である(図5)。この間、2009年度の技術仕様、技術リスクの検討を経てプロジェクト化を行い、2010年度にはアル

ゴリズム開発および機上・地上機器開発、2011年度には実証環境構築および各システムの精度・信頼性・実用性の向上、2012~2013年度には飛行実証および基準提案を行う。

飛行実証においては、まず開発した実証用機上システムを中速機(DREAMS 技術実証機等)に搭載し、要求仕様を満足していることを確認する。次に、より現実に近い環境での実証を行うために、高速機(ジェット FTB)、

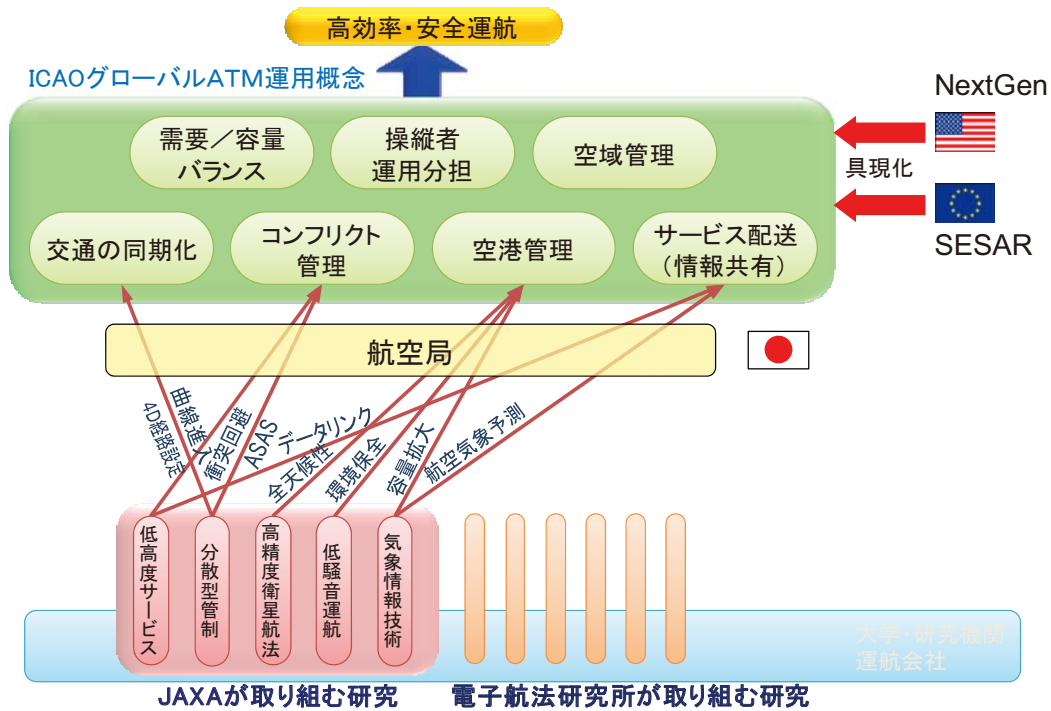


図3 DREAMSの研究開発全体の枠組み

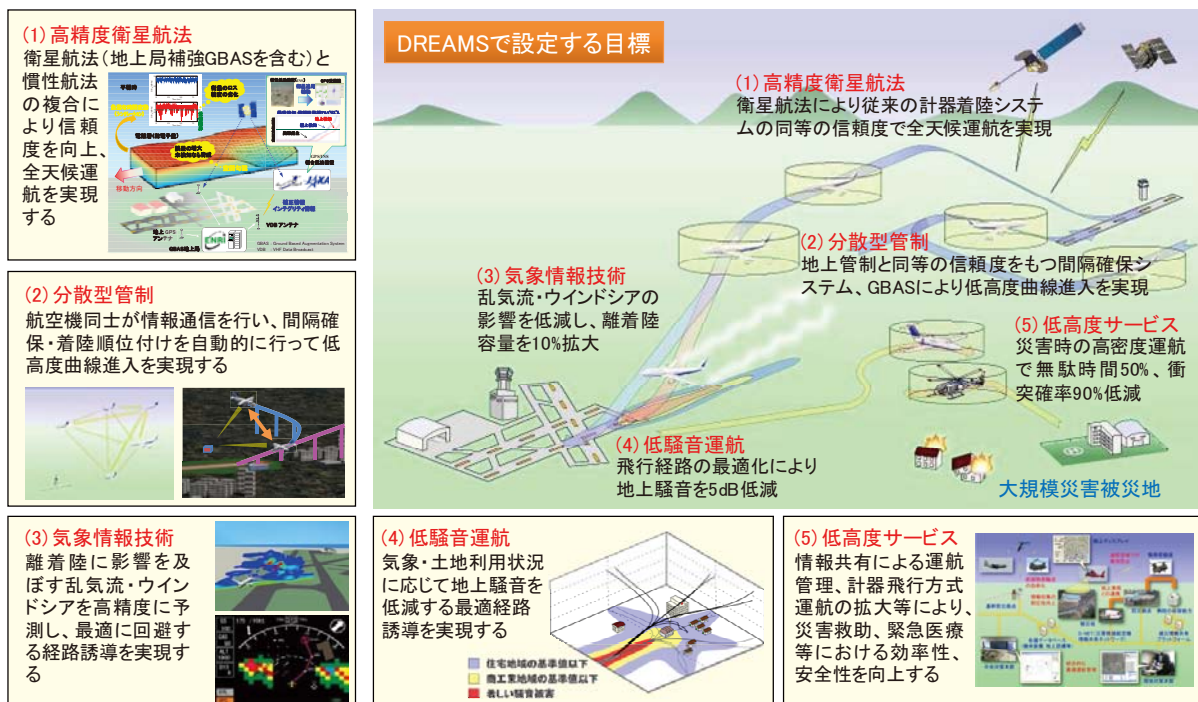


図4 DREAMSで選定した技術課題と目標

中速機、低速機（JAXA および他機関のヘリコプタ）が飛行する環境下で次世代運航システムの飛行実証を行う（図6）。

4. おわりに

DREAMS の研究開発は技術開発のみならず、これらの技術を有効に活用するための運用やそれをサポートする基準提案までを含んでいることから、今後も電子航法研究所、大学等の研究機関、国土交通省航空局、消防庁等の行政機関、メーカー、運航会社との連携をさらに強化しながら取り組んでいく必要がある。

参考文献

- [1] 張替, JAXA の次世代運航システム (DREAMS) 研究計画について, 日本航空宇宙学会誌 Vol.57, No. 664, pp.140-145, 平成21年5月.
- [2] JCAB, 2007 RNAV Roadmap Version 2.
- [3] ICAO, Global Air Traffic Management Operational Concept, ICAO Doc 9854, 2005
- [4] FAA, Concept of Operations for the Next Generation Air Transportation System, Ver. 2.0, June 2007.
- [5] SESAR Consortium, Air Transport Framework - The Performance Target D2, December 2006.

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | ~2025 |
|---------|------------------------------------------------------|-------|-------------|-----------------------------------------|------|--------------|
| | アルゴリズム開発および実証環境の構築を行い、試験環境下での技術実証により精度・信頼性・実用性の向上を行う | | | 模擬運用環境下で総合的な技術実証を行うとともに、実証結果をもとに基準提案を行う | | 実用品開発 実運用 |
| 高精度衛星航法 | 精度・信頼性監視機能の構築 | | | 電離層異常模擬下での運航評価 | | 基準化／実用化 |
| 分散型管制 | GBASによる曲線進入の実証環境構築 | | | GBASによる曲線進入の実証 | | |
| 気象情報技術 | 乱気流予測 | 回避誘導 | 乱気流を回避して着陸 | | | |
| 低騒音運航 | 騒音予測 | 低騒音経路 | 地上騒音の最小化 | | | |
| 低高度サービス | 最適運航管理 | 衝突回避 | 災害救援機の高効率運航 | | | |
| 実証環境整備 | データリンク環境等の整備 | | | 飛行実証 | | |

図5 DREAMSの研究開発スケジュール

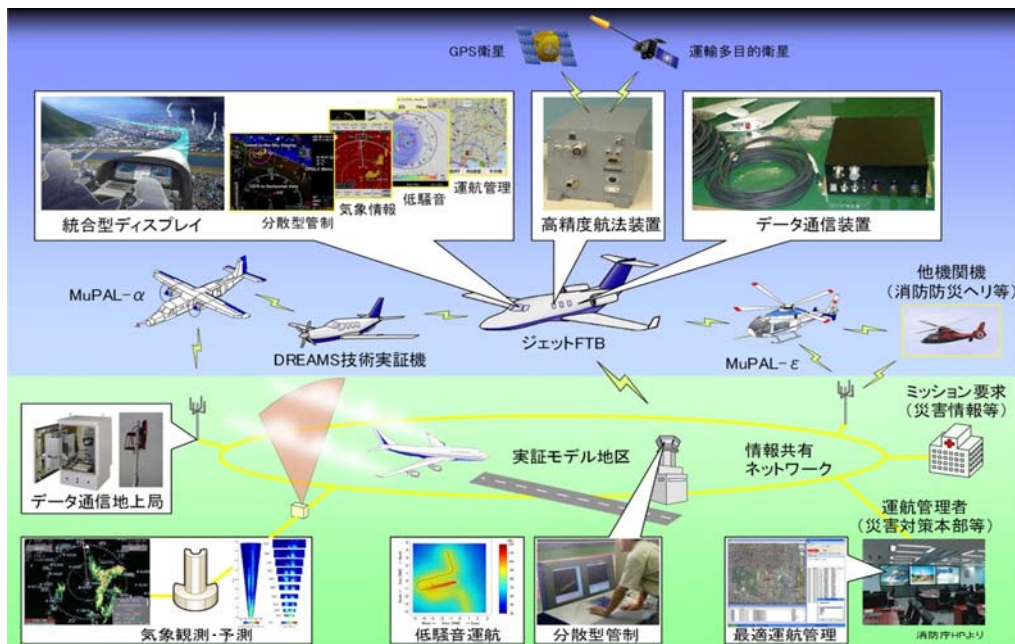


図6 DREAMSの実証システム

静かな超音速旅客機の実現を目指して ～静粛超音速機技術の研究開発～

超音速機チーム
吉田 憲司

1. はじめに ～超音速輸送が変える世界^[1]～

航空機の高速度化は人類の夢であり、航空機開発の歴史そのものであったと言えます。それは何よりも時間短縮効果にあります。例えば、音速の2倍（マッハ2）の超音速飛行は多くの地域間の移動を6時間圏内とします（図1）。例えば、日帰り感覚でシンガポール出張が可能となります。また6時間飛行はエコノミー症候群発症の境目と言われ、マッハ2飛行は日本-北米、ヨーロッパ間の旅客数拡大や、高齢・持病で長距離旅行を躊躇していた人々の旅行需要の創出につながると予想され、我が国は超音速飛行による時間短縮効果の最大の恩恵国となり得ます。あるシンクタンクの試算では、この効果で世界のGDPを約1.3%増大させる経済効果を生み出し（2025年予測値で約78兆円）、そのインパクトは非常に大きいと言えます。本発表では、このような超音速旅客機開発の課題とそれに対するJAXAの取り組みの一つとして静粛超音速機技術の研究開発計画を紹介します。

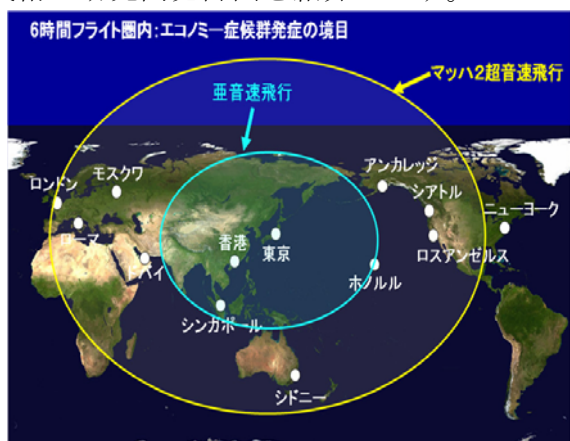


図1 6時間フライト圏内

2. 超音速旅客機開発の課題と現状

2.1 コンコルドの課題とその後の動向

超音速旅客機（SST）の開発は1960年代に始まりましたが、巨額の開発費や環境問題（排出ガスのオゾン層への影響、離着陸時騒音と

ソニックブーム問題による運航路線の制限など）により、最終的に商用運航を実現できたのは英仏共同開発のコンコルドだけでした。そのコンコルドも量産機は結局16機のみとなり、英国航空とエールフランスの2社だけが大西洋路線で運航するに留まりました。

コンコルドは100人乗り、マッハ2で大西洋を約3時間半で横断しましたが、このフライトで約90トンの燃料を消費します。これは乗客一人当たりにつき5.5km/燃料10の燃費（スポーツカー並）を意味し、ボーイング747と比べると運航コストは3.5倍でした。また離陸時の騒音は747の100倍以上（地下鉄騒音レベルの747に対してコンコルドは削岩機レベル）もうるさいものでした。またソニックブームは近くに雷が落ちた時の心理的反応と同一の騒音被害と見なされ、結局全ての陸上超音速飛行は禁止されることになりました。この高い運航コストと環境影響並びに各種制約、さらに2000年の墜落事故の影響も重なり、2003年10月に世界唯一の商用超音速運航は幕を閉じることになりました。但し、ロンドン・パリ・ワシントン・ニューヨーク路線を利用する全乗客数の約3%（年間約20万人に相当）がコンコルドを利用していたことも事実で、その27年間の歴史は超音速飛行による移動時間短縮への確かな需要のあることを示す例ともなりました^[1]。

コンコルド開発以降の動向としては、その経済性と環境適合性を改善するための要素技術研究が米仏英を中心に組織的・系統的に続けられました。そして、1980年代後半に一時的に次世代SSTの国際共同開発機運が高まりましたが、その技術的ハードルの高さや市場分析の結果として時期尚早と見なされ、再び要素研究段階に後退することになりました。その後は、開発技術の適用対象として比較的近い目標となり得る超音速ビジネスジェット機（SSBJ）クラスの機体規模（10人前後）に

注目が集まり、現在幾つかのSSBJ開発計画が提案されるに至っています。

一方、コンコルドの後継機としての次世代SSTについては、最近NASAが2020年頃までに小型SST(35-70人乗)の実現を目指した研究計画を発表しておりますが、産業界からの具体的な開発計画はまだ提案されていません。しかし、次世代SSTはその開発規模から国際共同開発となることは共通の認識となっております。このような状況において、日本はこれまでの民間旅客機の国際共同開発で果たすことができなかった構想段階からの参画と応分の貢献を目指した戦略が求められることとなります。それには次世代SST開発の中核となる技術を独自に獲得し、国際競争力のある技術の優位性を確保・向上させる活動が不可欠と考えられます。

2.2 次世代SSTの実現に向けた技術目標

次世代SSTでは、コンコルドの教訓を活かして経済性と環境適合性の問題を解決しなければなりません。経済性とは時間短縮効果と運賃のバランスです。インターネットのアンケートでは、亜音速旅客機に比べて3割高い運賃でも半分以上の人が、また5割増しであっても3割以上の人がSSTを利用するとの結果が出ています。これには空気抵抗低減、機体・エンジン軽量化が最重要課題となります。

次に環境適合性としては、地球温暖化対策やさらなる騒音規制の強化に代表される地球及び社会環境への影響軽減、また航空輸送における安全ニーズへの一層の対応が至上命題となっております。少なくとも離着陸騒音は亜音速旅客機並みにしなければなりません。またSSTの時間短縮効果を最大限に活かすためには陸上超音速飛行が不可欠です。そのためにはソニックブームは許容可能なレベルまで低減されなければなりません。その強度については、現在JAXAも参加して国際機関の調査グループで議論をしている段階ですが、地上での圧力上昇量を少なくとも0.5psf(大気圧の約四千分の一で、ドアノック音のレベル)より小さくしなければならぬと言われております。またオゾン層破壊への影響については、少なくとも排出ガス中の窒素酸化物(NOx)をコンコルドに比べて1/5以下にすることが必要と言われております^[1]。

2.3 日本の取り組み状況

我が国では、1988年から日本航空機開発協会(JADC)を中心として国内主要航空機・エンジンメーカーによる超音速輸送機開発調査活動が始まり、次世代SSTの国際共同開発への参画を可能とすべく我が国の技術ポテンシャルの向上を目指した取り組みが進みました。その成果の一部として、我が国の得意分野を生かして主体的に取り組むべき課題が整理され、抵抗低減技術、ソニックブーム低減技術、軽量構造技術、等の開発が挙げられました。

旧航空宇宙技術研究所(NAL)ではそのような背景を踏まえ、1997年に次世代超音速機技術の研究開発計画(NEXST計画)がスタートしました。この計画ではまず革新的な超音速抵抗低減技術の開発に主眼を置き、無人の小型超音速実験機を設計・製造してその飛行実験による技術実証を目標としました。本計画は、2002年に第1回飛行実験の失敗があり、それに伴って計画変更が余儀なくされましたが、2005年の飛行実験成功により計測データとCFD解析との比較・検証を経て、世界初の自然層流翼設計を含む独自開発の抵抗低減技術の効果を実証するに至りました^[2]。(図2)またその成果はデータベースとしてまとめられ、広く国内に公開されております^[3]。

さらにJAXAではその計画変更に伴って、2003年10月に産官学の有識者からなる「飛行実証研究会」を設置し、約1年半に及ぶ議論を経てNEXST計画後の研究計画が検討されました。その結果、環境適合性に焦点を当て、ソニックブームと騒音低減に主眼を置いた“静かなSST”コンセプトが取り上げられ、その実現に向けた研究開発計画として“静粛超音速機技術の研究開発計画”が策定されました^{[2][4]}(図2)。

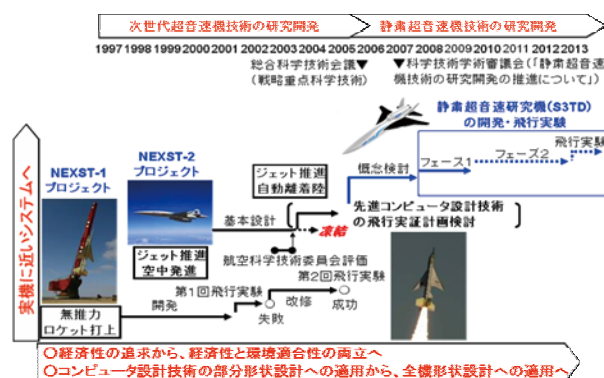


図2 JAXAの超音速機技術の研究開発計画

3. 静粛超音速機技術の研究開発の概要

3.1 研究開発目標

本研究開発では、2010年代の半ばまでに次世代 SST の実現に必要な重要技術課題を克服する技術を獲得することの一環として、本研究開発終了時に、小型 SST の実現を可能とする技術目標を達成することを掲げております。ここで小型 SST とは技術参照機体概念の意味で、各要素技術開発の適用対象として想定したものです^[5] (図3)。また具体的な技術課題としては、①ソニックブーム低減、②離着陸騒音低減、③低抵抗化、④軽量化、の4つを取り上げました。その達成目標としては、①コンコルド技術に対してソニックブーム強度の半減、②ICAO 基準 Chap. 4 に適合、③揚抗比 8 以上、④コンコルド技術に対して構造重量 15%減、を設定しました^[5]。

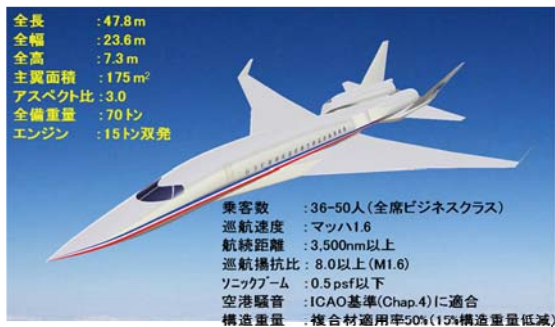


図3 技術参照機体概念としての小型超音速旅客機案

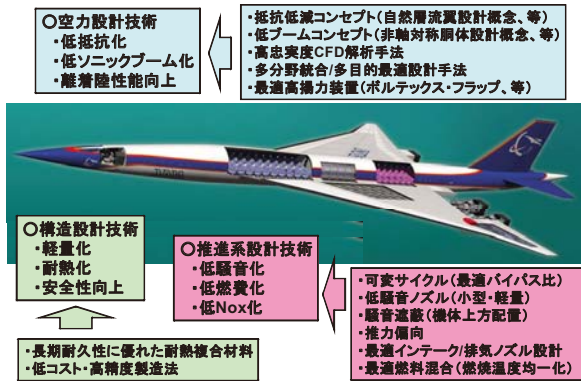
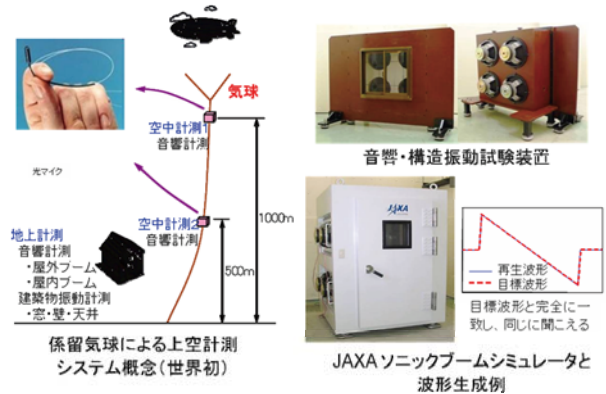


図4 次世代 SST の主要な設計技術の課題

3.2 研究計画

本研究計画では、まず上記の技術課題に対する技術研究を実施しております。その主要な研究課題と内容は図4に示す通りで、現在もその推進に鋭意努力しております^[1]。特にソニックブーム関連では、低ブーム設計技術に加え、ソニックブーム評価に関する研究にも着手しており、ソニックブーム・シミュレ

ータを用いた被験者試験による人間の心理的反応評価、窓、等の建造物への影響評価に関してデータの蓄積を行なっております(図5)。この研究の一部は NASA との共同研究で進めており、2013年を目処にソニックブーム基準策定を目指して検討している国際機関(ICAO)の活動に対しても直接的に技術的な貢献を果たすことも目的としております。



一方、低ブーム設計技術に関しては、JAXA 独自に研究を進め、CFD (数値流体力学手法) に代表されるコンピュータ解析技術を駆使した多分野統合・多目的最適設計技術の開発を通して従来の低ブーム設計技術の課題を克服し、空力、構造、飛行性、離着陸性能、等のシステム設計上の各種制約を満足する最適形状を設計するに至っております。その形状については既に特許化も済み、技術優位性の確保を図っております。

JAXA の低ブーム設計技術は、従来の設計法では課題であった抵抗増加とトリム能力(巡航時の機体バランス保持能力)不足を確実に改善し、かつ航空機として離陸、加速、超音速巡航、減速、着陸の全飛行フェーズを可能としながら、その低ブーム性が検証されなければなりません。そこで、小型の実験機(研究機)を設計・製造し、飛行実験を通してその技術実証を行なうことを計画しています。

3.3 静粛超音速研究機の飛行実験計画

現在検討を進めている静粛超音速研究機は、全長約 14m、全翼幅約 7m で最大離陸重量約 4 トンの無人ジェット機です。機体設計には遺伝的アルゴリズムを用いた多目的最適設計を適用して日本独自の低ブーム/低抵抗設計コンセプトを実現しています。また、この研究

機は完全な自律飛行制御と推力制御を行って、自動で離陸から超音速飛行を経て着陸までを行う世界初の無人機となっています。図6～7にこの研究機の設計コンセプトと現時点の設計検討の結果を示します^[6]。

静粛超音速研究機 (S3TD: Silent SuperSonic Technology Demonstrator)

コンピュータ設計技術を全機形状設計に適用した、低ソニックブームコンセプトの無人超音速ジェット機を設計・開発、コンセプトと設計技術を飛行実証

複合材構造を含む空力・構造二分野
多目的最適設計手法による主翼設計

予期せぬ飛行中断でも
安全に滑走路に帰還
することを可能とする
航法誘導制御技術



複合材主翼構造/
複合材胴体
(RTM、VaRTM等)

低ソニックブーム設計コンセプトの適用

・抵抗増を抑えた低ブームノーズ
(特許3855064号・US Patent 7,309,046)
・通常の航空機形態での先端・後端ブームの
低減(特願2007-178802)

エンジン排気干渉・高温部位を
除き、表面パネルは複合材料

機体形状定義から多目的最適設計まで
シームレスなMulti-Fidelity設計システム

図6 静粛超音速研究機に適用している設計技術

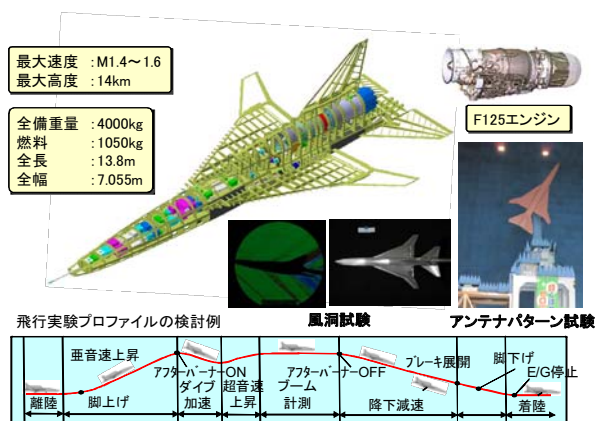


図7 静粛超音速研究機の設計検討作業の進捗結果



図8 静粛超音速研究機の飛行実験計画

また図8に飛行実験のイメージを示します。低ブーム性の実証には超音速飛行する機体から発生する衝撃波が地上に伝播した際に生じる圧力変動を高精度で計測することが不可欠です。但し、今回計測対象となるブーム強度(圧力変動)は低ブームであることから非常に弱く、地上500m付近までの大気乱流の影響

を受けると、その伝播過程でのブーム圧力波形の変形が設計通りであることを定量的に確認できない可能性が考えられております。そこで、本計画では大気乱流の影響を受けない空中計測も計画しています。現在、低ブーム設計された研究機の設計検討作業が最終段階を迎え、研究機として主目的の飛行実験が技術的に可能な見通しを得つつあります。従って、本計画における今後の主要課題は、高精度のブーム計測技術の獲得と考えられます。JAXAではその一環として、今年度中に外国で実機を用いた超音速飛行により、係留気球を利用したブーム計測システム(図5左)の確認試験を計画しています。

4. おわりに

最近、NASAが低ブーム実験機による飛行実験構想を発表しました。その実現可能性については現時点不確かですが、次世代SSTは国際共同開発が前提としますと、その中核技術の早期の獲得は国際競争上、戦略的に重要と言わざるを得ません。JAXAの低ブーム設計技術はNASAとは全く異なるコンセプトと手法であり、既に特許化も進めている現状において、NASAの今回の発表は静粛計画における飛行実験の早期実施を促すものと考えられます。しかし、研究機の開発には相応の予算化が必要となるため、本計画の今後の進め方については、我が国の技術優位性の確保と予算とのバランスの調整がますます重要になるものと考えられます。

参考文献

- [1]村上哲、静かな超音速旅客機の実現を目指して-静粛超音速機技術の研究開発、JAXA マンスリートーク、2009年3月2日
- [2]大貫武、他、小型超音速実験機(ロケット実験機)飛行実験データ解析完了報告、JAXA-SP-08-008、2009
- [3]郭、他、小型超音速ロケット実験機(NEXST-1)の空力データベースの概要、日本航空宇宙学会誌、第57巻、第661号、pp.33-37、2009
- [4]Murakami A., Silent Supersonic Technology Demonstration Program, ICAS2006, Hamburg, 2006
- [5]JAXA 航空プログラム、静粛超音速機技術の研究開発、第27回航空科学技術委員会、平成20年7月28日
- [6]JAXA 航空プログラム、「静粛超音速機技術の研究開発」の進捗状況と今後の進め方について、第31回航空科学技術委員会、平成21年8月6日

空へ挑み、宇宙を拓く



独立行政法人
宇宙航空研究開発機構
航空プログラムグループ
東京都調布市深大寺東町7丁目
44番地1 〒182-8522
TEL 0422-40-3960
FAX 0422-40-3281
JAXA HP <http://www.jaxa.jp/>

禁無断複写転載



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

