

J A X A 航空マガジン

FLIGHT PATH

新たな空へ 夢をかたちに
Shaping Dreams for Future Skies

JAXA

2016
AUTUMN

No.14
航空技術部門
www.aero.jaxa.jp



特集

空港周辺での騒音被害を低減させる静かな機体をつくる FQUROH いよいよ飛行実証試験へ

2 特集

空港周辺での騒音被害を低減させる静かな機体をつくる
FQUROH いよいよ飛行実証試験へ

7 リレーインタビュー

「ヒューマンファクターの研究成果を航空機の安全性向上に役立てたい」

8 航空技術部門へのメッセージ

世界の空港の騒音規制はますます厳しくなる 機体から発生する騒音の低減技術に期待

10 基礎・基盤技術 複合材料 国際標準化への取り組み

6 特集 関連技術

騒音低減の研究に不可欠な音響計測技術

11 ソラの技 「トンネルインザスカイ編」

12 FLIGHT PATH TOPICS

Feature
特集

空港周辺での騒音被害を低減させる静かな機体をつくる

FQUROH

Flight demonstration of QUIET technology to Reduce nOise from High-lift configurations(FQUROH)

いよいよ飛行実証試験へ

空港周辺における航空機の低騒音化は、ジェット旅客機の登場以来、長い間世界中で大きな課題になってきました。ジェットエンジンの改良などが進められた他、今後は特に、着陸時にフラップや脚などが出す「機体騒音」の低減が強く求められるようになってきます。

機体騒音低減技術の飛行実証(FQUROH)プロジェクトは、JAXAがこれまで開発してきた機体騒音低減技術を飛行実証するものです。JAXAの実験用航空機「飛翔」での飛行実証がいよいよ始まるFQUROHの目的と進捗状況を、2016年9月の試験実施前に山本一臣プロジェクトマネージャに聞きました。

山本 一臣

FQUROHプロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

機体騒音の低減は今後の航空輸送にとって大きな課題

—まず、FQUROHの目指すところをお話してください。

JAXAでは空港周辺地域での航空機の低騒音化を実現するため、着陸時に主翼にある高揚力装置(フラップとスラット)や脚から発生する騒音、すなわち「機体騒音」を低減する研究を進めてきました。FQUROHはこのJAXA

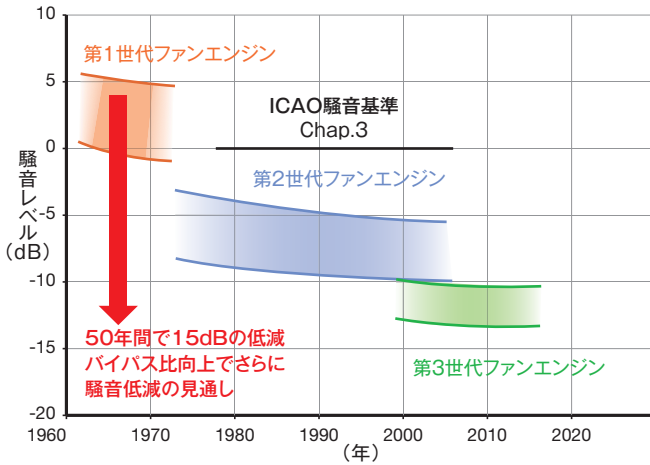
の機体騒音低減技術を実機に搭載して飛行実証し、将来の航空機に適用できるところまで技術の成熟度を上げることを目指しています。これによって、国内の機体メーカーや装備品メーカーの国際競争力強化に貢献できるものと考えています。今は「飛翔」を用いた能登空港での試験を始める直前です。

—機体騒音の低減が求められる背景とは、どのようなものなのでしょうか。

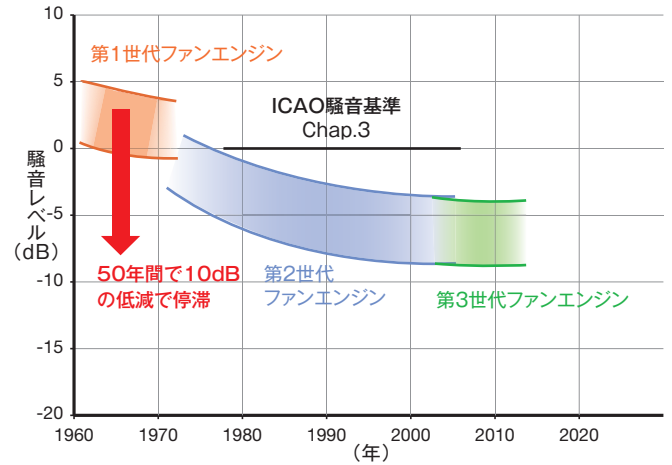
航空機の旅客輸送量は今後も増加を続け、

今後20年間で現在の2.6倍になると予測されています。この傾向は特に人口の集中した都市部の空港で高くなるとみられます。また日本においては、特に成田や羽田などの首都圏空港での人やモノの活発な交流がますます見込まれるため、航空機の離発着回数を増やす目標を掲げています。そうした中で、ボトルネックの一つになるのが航空機の騒音です。空港周辺地域での離発着時の騒音のために、なかなか離発着数を増やせないという問題が

ICAO Chap.3を基準とした航空機の騒音レベルの推移



離陸上昇時の騒音低減の推移



着陸進入時の騒音低減の推移

空港での離陸上昇時の騒音レベル(左)はエンジンの低騒音化により50年間で約15dB低くなっている。今後もバイパス比の向上により、騒音レベルはさらに低くなるとみられる。一方、着陸進入時には特に最新の旅客機ではエンジン騒音が低く、機体騒音が問題となる。着陸進入時の騒音レベル(右)は、50年間で約10dBの低減で停滞している。航空機の騒音対策のために定められるICAO(国際民間航空機関)の騒音基準は段階的に厳しくなっており、2017年からは新しい基準であるChap.14が適用される。騒音基準がさらに厳しくなると、機体騒音の低減が不可欠となる。

あるわけです。そのようなことから、航空機の騒音レベルを下げるのが求められてきました。現在でも、騒音のために夜間運用が制限される空港や、より厳しい騒音基準を独自に設定している空港もあります。また、各エアラインが支払う着陸料も騒音レベルで決められています。

航空機の騒音レベルは、ジェット旅客機が普及し始めた1960年代に比べると、非常に低くなっています。ジェットエンジンが改良されたことが大きな要因です。しかしながら、航空機の騒音をさらに下げていくためには、着陸進入

時の機体騒音を低減させる必要がでてきます。

この50年間をみると、離陸上昇時においては、エンジンの低騒音化の効果が大きく15dB程度低くなっています。今後登場するエンジンはさらに騒音レベルが低下します。一方、着陸進入時の騒音の方は、1990年代までに10dB程度低くなりましたが、その後、ほぼ同じレベルで留まっています。その原因の一つとなっているのが機体騒音です。着陸進入時にはエンジンの出力を絞っていますので、エンジン騒音のレベルは相対的に高くなく、脚などから発生する機体騒音が問題となるのです。

——機体騒音とは、そもそもどのようにして発生するのでしょうか。

機体騒音は、機体の周りで乱れた空気の流れ(多数の渦の集まり)が原因で発生する、いわゆる「風切音」です。主翼前面に取り付けられているスラットは、着陸時に前方にせりだします。このときできるスラットと主翼の間の空間に渦がたくさん発生します。主翼の後側にあるフラップでは端の部分で渦が発生します。また、複雑な形状の脚でも渦が発生します。これらの渦が発生するメカニズムは異なり、それぞれ別の低減策を考える必要があります。

Column
コラム

空港における航空機騒音対策

地域の事情に合わせたきめ細かい取り組み。海外には独自の基準を持つ空港も。

ICAOでは空港における航空機の騒音対策として、「バランスド・アプローチ」を採用することを推奨している。バランスド・アプローチとは、①航空機から出る騒音の軽減、②空港周辺の土地利用の計画および管理、③騒音を軽減する運航方式、④運航規制、という4つの対策を、各空港の事情に応じてバランス良く組み合わせて実施するというものである。

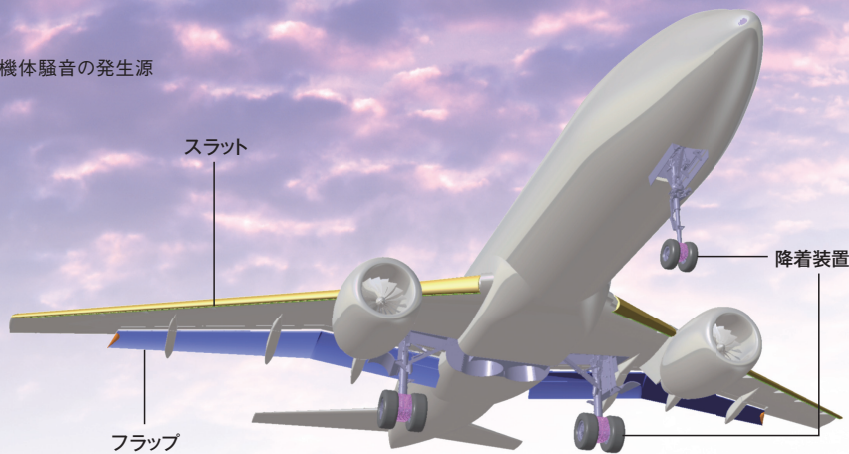
日本における航空機騒音対策も、この考え方に準拠している。騒音対策のための環境基準は、1967年に制定された航空機騒音防止法において決められている。この基準を超えている地域に対しては、第3種区域(空港に隣接する地域)については緩衝緑地帯などの整備、第2種区域(その周辺の地域)については移転補償および駐車場・倉庫・物販施設などへの再開発、第1種区域(さらにその周辺の地域)の民家に対しては防音工事やエアコン設置などの対策をとることとしている。空港およびその周辺地域の事情は空港毎に異なるため、各空港はそれらに応じたきめ細かい取り組みを行っている。また、空港への着陸料には航空機の騒音レベルに応じた額が加算されることが、国によって定められている。

海外においては、地域の事情に応じて独自に騒音基準を決めている空港がある。航空機の騒音レベルに応じた着陸料を設定している空港も多い。

ロンドンのヒースロー空港は、騒音対策を強力に実施している空港として知られている。同空港は、地域やエアラインと交渉しながら、着陸料を毎年更新しており、騒音レベルが下がると着陸料が安くなる仕組みをとっている。これは、エアラインにとって低騒音の機体を採用するインセンティブになる。また、各エアラインがどれだけ静穏な飛行を行っているかの番付を3カ月に1回、発表している。着陸進入時の騒音軽減のための運航方式として、水平飛行を伴う従来の「段階的進入」に代えて「連続降下進入」を推奨している。また、2017年から使われるICAOの新基準Chap.14を反映させた着陸料を世界で最初に同空港に適用させるための準備を進めている。



ヒースロー空港の騒音軽減に向けたブループリント(2016年8月)の表紙



静かな機体を実現する JAXAの技術

—— JAXAが本格的に機体騒音低減の研究に取り組んだのはいつ頃からですか。

50年ぶりの国産旅客機開発の機運が高まり始めた2004年くらいからです。機体騒音の研究はアメリカ、ヨーロッパで1970年代に先駆的な研究が行われましたが、本格化してきたのは1990年代の後半になってからです。エンジンが静かになり、機体騒音が実際に問題になってきたのです。2000年頃には機体の騒音源を計測する技術も確立し始め、機体騒音がどこから出ているのか詳しく知ることができるようになってきました。2004年頃には実際の旅客機の脚を改造して低騒音化技術の飛行実証試験も行われました。

それに比べると、JAXAの研究は後発という形になりましたが、当時から研究が盛んになりだした機体騒音の数値シミュレーションに積極的に取り組みました。JAXAでは基盤技術として長く培われていた数値流体力学を基礎にした解析技術ですが、騒音が発生している箇所の空気の流れを詳細に知ることができ、物理現象を理解しやすくなりました。併せて機体騒音を調べる風洞実験の技術や飛行する航空機の騒音源を計測する技術の開発を続け、効果的に騒音を低減する方法や、数値シミュレーションを活用した低騒音化の設計を風洞試験で検証するところまで来ました。

——そこで、FQUROHがスタートすることになるわけですね。

はい、そうです。それまでの基礎研究を実機に応用して、実際に騒音が下がることを実証することが実機開発に繋げるために重要だということで、2015年1月にFQUROHがスタートしました。

FQUROHではまず、「飛翔」を使った飛行実証を2回行うことにしています。このプロジェクトとしては、旅客機の低騒音化を実証しなければいけないので、その後、日本で今開発されているMRJを利用していただいて、

低騒音化の実証を行う予定です。

——今回は「飛翔」による1回目の飛行実証ということですね。

そうです。今回(2016年9月)の実証では、フラップと脚の改造、飛行許可の取得などを含む実証飛行試験のプロセスを確立することにも大きな目的となっています。

——どのような機体騒音低減技術が「飛翔」に使われていますか。

まず、フラップですが、これまでの研究でフラップ下面の端に少し膨らみを持たせることが低騒音化に有効であることが分かりました。そこで数値シミュレーションでいろいろ試して形状を決定し、さらに風洞実験を行って、騒音レベルが下がっていることを確認したものを取り付けてあります。脚に関しては、着陸時に大きな荷重がかかるので、ネジ穴を開けるような改造は行わず、多数の穴があいた覆いを被せるようにしています。残念ながら「飛翔」にはスラットは無いので、これに関しては旅客機による試験を待つことになります。

能登空港での騒音計測には「トンネルインザスカイ」が活躍

——飛行実証は能登空港で行われます。どのようにして機体騒音を計測するのですか。

能登空港の滑走路脇に35m角の平らな木製の台を設置し、その上にマイクロホンと195本、放射状に並べます。この上空に「飛翔」を低空で飛行させて、各マイクロホンで騒音を計測します。各マイクロホンにたどりついた音の時間差を利用し、周波数ごとに音源の位置と音の大きさを求めます。機体騒音低減の改造をする前と後の「飛翔」

のデータを比べることにより、どの箇所から出た騒音がどの程度下がったかを知ることができます。ただし、風や気温などの気象条件、機体の飛行経路や姿勢にばらつきが出ますので、同じ飛行条件で何回も計測をします。

——何回もデータをとるわけですから、同じ飛行条件で「飛翔」を飛ばす必要がありますね。同じ飛行条件で「飛翔」を飛ばすための工夫が何かあるのですか。

計測時の「飛翔」のエンジン音を下げられるために、パイロットに無理をお願いして、測定点を通過する前後約1秒間、つまり約2秒間だけエンジンの推力を落として飛んでもらうことにしています。このタイミングをぴったり合わせるのとはとても大変です。また、機体騒音の大きさは飛行速度の6乗で変わってきます。ですから飛行速度もできるだけ同じにしなくてはなりません。そこで私たちが使うのは、JAXAが開発したトンネルインザスカイという技術です。これは、指定された飛行経路を小型ディスプレイ上に表示するナビゲーション・システムで、パイロットはこれに従って飛行します。これはJAXAならではの方法です。

世界に先駆けた飛行実証

——今回と同じような飛行実証は、すでに海外で行われているのでしょうか。

前述したように2004年頃にアメリカとヨーロッパで先駆的な飛行実証試験が行われましたが、今回のようにフラップの低騒音化技術の飛行実証をしたという例はまだありません。アメリカ航空宇宙局(NASA)ももう少し大きなビジネスジェット機を使って行うという話もあります。しかし、高揚力装置低騒音化の飛行試験としては、期せずしてJAXAが世界に先駆けて行うことになりました。

——後発のJAXAが世界に先駆けることになった要因は何でしょうか。

海外の研究機関では、大型コンピュータを使った数値シミュレーション、あるいは風洞試験や飛行試験での騒音測定技術など、技



低騒音化の改造を行った「飛翔」のフラップと脚。赤い部分が改造された箇所。

FQUROH



ていくのが私たちの目標ですから、スラットも含めた実際の旅客機での試験は非常に大事です。

FQUROHは、機体騒音低減のニーズを有する日本の航空機・装備品メーカー、すなわち三菱航空機株式会社、川崎重工株式会社航空宇宙カンパニー、住友精密工業株式会社との共同研究体制で実施しています。2020年までにFQUROHの目標を達成し、そのアウトカムとして、技術をこれらのメーカーにバトンタッチしたいと考えています。FQUROHの技術は次の世代の旅客機が出てくる時に、静かな機体を作るために必要な技術です。また、数値シミュレーションや計測技術などの根本的なもの作りの基盤となる技術力を持つことにも繋がり、また、機体騒音の低減技術のみならず、日本のメーカーが総合的な技術力を獲得し、国際競争力を強化する上で、大きな貢献を果たせると考えています。

——FQUROHが空を飛ぶ姿を見たいですね。

自分たちがこれまで考えていたことが実機でも通用するというのを、まずは「飛翔」で、次にMRJで証明したいと思います。そして将来の世界の旅客機にFQUROHの技術が採用され、低騒音化された旅客機が飛んでいくのを見たいというのが私の強い願いです。

<http://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/fquroh/>



術実証に必要な基盤技術のいずれかにおいて非常に優れた高い技術を保有しています。一方、JAXAは各技術において海外の研究機関に後れは取っていますが、低騒音化技術の開発のために、数値シミュレーションも風洞試験も騒音計測技術も高い能力をバランス良く持てるように研究を進めてきたところに特徴があるのではないのでしょうか。

——数値シミュレーションや風洞試験で設計した結果を実機で調べてみる意味はどのあたりにありますか。

例えばフラップについて言いますと、風洞試験では実際の18%サイズの模型を使っています。ところが、実際のサイズになると騒音の原因となる渦のでき方が異なってきます。数値シミュレーションで詳しく調べて、それほど外れた結果がでてくることはないことを確認してはいますが、やはり実際のスケールで飛ばしてみなければ本当の事は分かりません。また、風洞実験では簡単に実現できるアイ

デアが、実機では駆動機構の制約や安全性の要求から実現困難となる場合も多くあります。このような課題をクリアして初めて実用化への見通しが立ちます。

FQUROHが飛ぶ姿を見たい

——今回の結果は、2回目の飛行実証にどのように活かされますか。

今回の飛行で、設計と実際のデータのずれがどのぐらいかという情報が得られます。これまで進めてきた方針が間違いないかどうかを確認できるわけです。2回目の飛行実証のための改良した低騒音化の形状はほとんど決めてありますが、必要ならさらに改良を加えて2回目の試験に臨むことになります。

——その後、MRJでの試験になるわけですね。

これまで進めてきた低騒音化の技術を実機開発に利用してもらえるところまで持つ

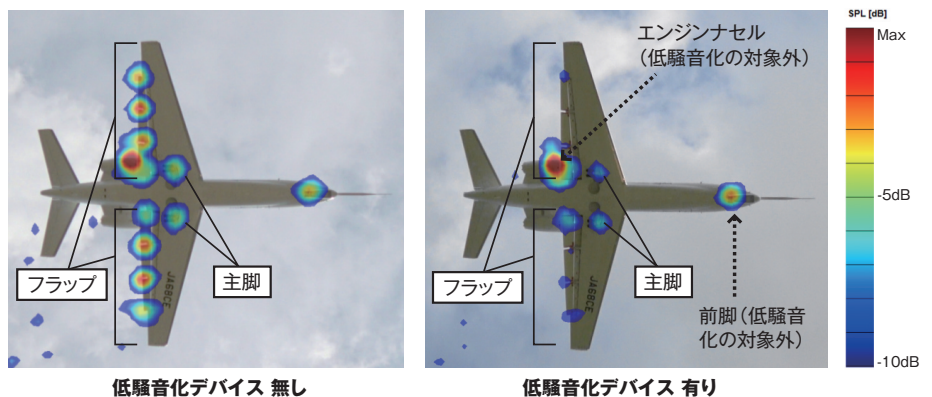
1回目の飛行実証試験を終了 ～ フラップの低騒音化デバイスでの飛行実証は世界初 ～

2016年9月12日～30日に、能登空港で実験用航空機「飛翔」のフラップと主脚に低騒音化デバイスを取り付けた最初の飛行実証試験を行いました。試験の目的は初期段階の低騒音化技術の検証とともに、機体改造や飛行許可などを含む飛行実証試験のプロセスを確立することでした。

期間中に合計177回の騒音計測を行い、まだ速報段階ですが、図の通りフラップと主脚の騒音低減効果を確認することができました。特にフラップは設計で想定した低騒音化が確認され、フラップなどの高揚力装置の低騒音化としては世界に先駆けた実証となりました。

試験にはJAXAのプロジェクトチームと飛行技術研究ユニットを中心に、共同研究メーカー、騒音計測や機体運航・整備支援の方々も含め25名以上が参加し、空港管理事務所、日本航空学園、大阪航空局中部空港事務所、東京航空地方気象台、輪島市のご協力の下に行われました。

騒音源(1kHz)の比較(速報)



低騒音化デバイス無し

低騒音化デバイス有り



騒音低減の研究に不可欠な 音響計測技術

FQUROHプロジェクトをはじめ、騒音を低減させる研究において、“音”を計測する技術は必要不可欠です。JAXAが長年培ってきた音響計測技術について解説します。

音響計測に使用するマイクロホン(上)と
マイクロホン・フェーズドアレイ



高石 武久

FQUROHプロジェクト
ファンクションマネージャ

困難な航空機の騒音計測

ジェット旅客機が就航した頃から、騒音の問題は広く認識されるようになり、騒音問題を解決する技術の必要性は高くなっています。これまでに数多くの研究者や設計者がエンジンや機体の騒音を減らす努力をしてきました。現在、JAXAが進めているFQUROHプロジェクトもその一つです。そうした騒音低減技術の研究に不可欠な技術が、航空機の騒音を計測する技術です。

音響計測には世界標準と呼べるものは無く、計測する対象や目的に合わせて最適な計測方法を採用します。FQUROHにおける音響計測でも、海外で行われている同様の騒音計測実験で使用された計測方法を参考に、JAXAがこれまで培ってきた知見を盛り込んでいます。「FQUROHの音響計測は、まだ研究の延長上で計測を行っている部分もあるのです」と、FQUROHプロジェクトの音響計測を担当する高石武久ファンクションマネージャは語ります。

FQUROHでの計測技術

JAXAでは、長年音響計測技術に関わる研究を行ってきました。当初は模型飛行機を使った実験から、実際の小型ビジネスジェット機を使った計測も行い、計測方法や解析技術を進化させてきました。例えば、マイクロホンを展開する土台の広さやマイクロホンの選択・配置・使用方法も、これまでの実験や検討によって得た知見から作り出したJAXAの技術です。

2010年と2011年には、マイクロホンの数や配置などを変更しながら航空機の騒音を計測する実験を、北海道の大樹町で行いました。こうした試行錯誤を繰り返し、2013年に能登空港で実験用航空機「飛翔」を使った実験を経て、FQUROHの音響計測としてベストな設定を導き出しました。2015年には、能登空港において機体騒音低減デバイスを装着していない「飛翔」の音響データを計測し

ました。この時のデータを基礎として、機体騒音デバイスの効果を確認します。

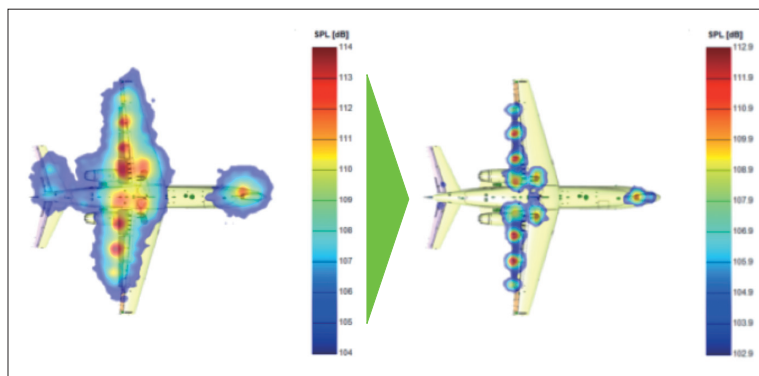
現在使用している音響計測システムは、空港の滑走路脇に仮設した一辺35mの正方形台座に195本のマイクロホンを放射状に配置したマイクロホン・フェーズドアレイと、各マイクロホンを200m先の計測棟の間を光ファイバーで結んだ大規模なシステムとなっています。いったん上空を通過した「飛翔」が、再びマイクロホン・フェーズドアレイの上に来る5~6分の短い時間に、広い帯域の信号を高速で処理し、計測した音響データから次の飛行条件を決めるための簡易的な解析結果を出力しています。定期便が運航されている空港の敷地内に、直径30mのマイクロホン・フェーズドアレイを設置することに伴うさまざまな制約条件を一つ一つ解決しながら構築したこの音響計測システムは、JAXA独自で確立した技術と言えます。

最適化された構成

マイクロホンの本数を多くすれば、それだけ多くのデータを収集できますが、その分、日々のマイクロホンの設置作業や解析処理に時間が掛かってしまいます。現在のマイクロホン195本という構成は、FQUROHにおいてバランスの良い最適な構成なのです。マイクロホンの配置方法についても、解析精度を維持しながら、短時間で正確に配置できるように工夫しています。「将来的にエアラインなどの協力を仰いで、羽田や成田などの空港に設置できれば、より多くのサンプルデータが取得でき、

空港騒音の対策に役立てることができるかもしれません」(高石ファンクションマネージャ)。その際には、設置する場所の条件や機体の大きさに合わせて、マイクロホンなどの構成も最適化することになるでしょう。

マイクロホン・フェーズドアレイによる音響計測を向上させるためには、マイクロホンの設置方法などのハードウェア的な技術とともに、取得したデータの解析方法が重要な鍵となります。計測直後の暫定的な解析には、周波数に応じて解析に用いるマイクロホンを変えるFixed-Array方式を用いることですばやく解析を行うことができます。しかし、Fixed-Array方式には、使用するマイクロホンの選択によって分解能やS/N比が大きく変わってしまうという欠点があります。そこで飛行試験後の詳細解析においては、周波数ごとに重みを付けるActive-Sub-Array方式を用います。Active-Sub-Array方式では、解析に全てのマイクロホンで計測したデータを使うため解析に時間が掛かりますが、周波数に対して同じ分解能やS/N比で連続したデータを得られるという長所があります。Active-Sub-Array方式に加え、JAXAのこれまでの音響計測・解析技術から得た自然風の影響によるノイズの除去などの補正を加えることで、従来の技術に比べてより精密に騒音源を特定できるようになりました。このことによって、FQUROHプロジェクトで必要な騒音低減効果の評価が可能になりました。

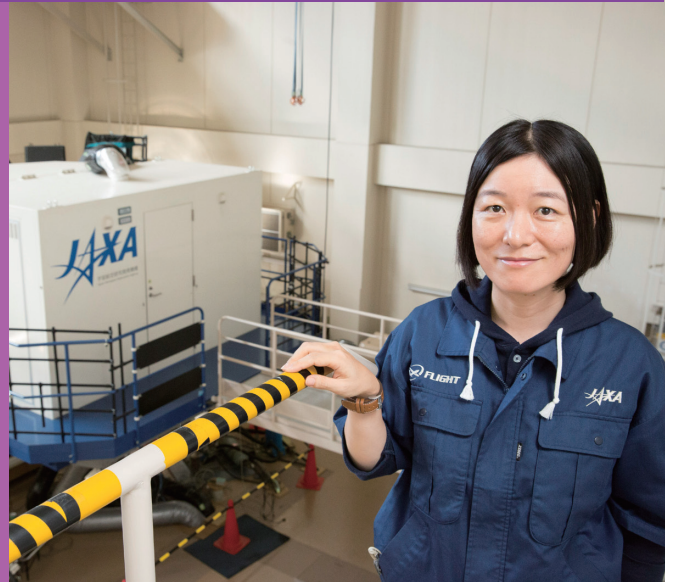


従来の技術による解析結果(左)、JAXAで改良した手法を用いた解析結果(右)

「ヒューマンファクターの研究成果を航空機の安全性向上に役立てたい」

飛行技術研究ユニット 人間工学セクション 研究開発員
津田 宏果

電気通信大学大学院情報システム学研究科修了。2004年宇宙航空研究開発機構入社。航空機におけるヒューマンエラー防止技術。パイロット状況認識支援技術の研究。飛行シミュレータ及び実験用航空機を用いた試験・実験に従事。



今回は、FQUROHプロジェクトに携わりつつ航空ヒューマンファクターの研究に打ち込む津田研究開発員に、この道に入ったきっかけや研究のやりがいについて聞きました。

——現在の業務内容について教えてください。

FQUROHプロジェクトでは、実験用航空機「飛翔」によるフライトに関する業務でプロジェクトを支援しています。特に、パイロットが地上に設置したマイクロホンの真上を正確に飛べるように誘導するトンネルインザスカイを担当しており、飛行する機体にも搭乗してパイロットへの指示や機上と地上との通信も行います。実際のフライトの前には、シミュレーターを使ったパイロットの慣熟訓練も行いました。

——本来の研究テーマはどのような分野でしょうか。

航空ヒューマンファクターです。大きく二つあって、一つはCRMの研究、もう一つはパイロットインターフェースの研究です。

CRMとはCrew Resource Managementのことで、航空機が危険な状況に陥りそうな時、2名のパイロットがそれぞれ持っている知識や能力を出し合って安全な状況に戻すことです。パイロット同士が仲良くなること

ではなく、初めて組んだ相手に対してでも、間違った判断には躊躇せず「危ない」と言えることです。そのCRMを実践するスキルは、どのように訓練すれば身に付くのか、身に付いたかどうかはどう計測すれば良いか、関係機関のご協力をいただきつつ研究を進めています。

パイロットインターフェースは、パイロットの状況認識や操縦を支援するディスプレイ表示のことで、FQUROHで用いているトンネルインザスカイもその一例です。私の研究では、赤外線カメラなどで撮影した映像をパイロットに提供することで、夜間など視界が悪い場合でも昼間と同等の状況認識ができるようにすることを目指しています。

CRMもパイロットインターフェースも、入り口は違いますが、どちらも航空機の運航安全に繋がるものと考えています。

——ヒューマンファクターを研究しようと思ったきっかけは何ですか。

きっかけは、単純に面白そうと思ったことです。学生時代はロボットの制御を研究しており、宇宙空間でのロボット活用に興味を持っていました。就職活動の際に当時の航空宇宙技術研究所(NAL)を見学した折に、航空ヒューマンファクターの研究に出会いました。その際に対応してくれた研究員が今の上司です。

——これまで携わった中で、特に印象深かった出来事は何でしょうか。

飛行機やヘリコプター

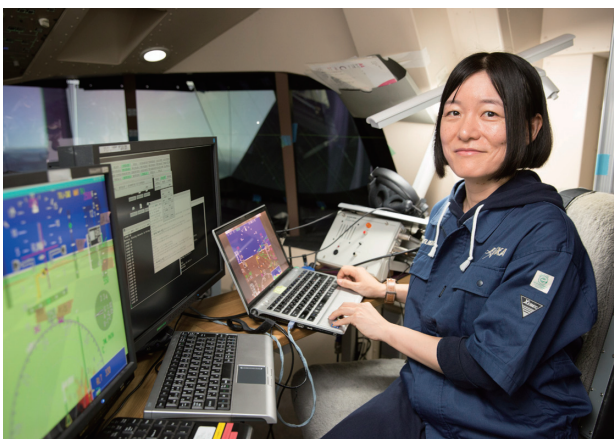
に、これほど多く乗ることになるとは想像していませんでした。フライトは全てが印象に残っていて、それぞれに思い出があります。FQUROHプロジェクトでは、トンネルインザスカイを工夫したことでマイクロホンの上を精度よく飛ぶことができた時は嬉しかったです。MRJのコックピットなどに関する共同研究に参加したことも、印象に残っています。“安全”を証明することの難しさを学んだ経験でした。

DREAMSプロジェクトの一環で、2006年にアラスカでの飛行試験[※]も印象に残っており、意識が変わるきっかけでもありました。アラスカでは、厳しい自然環境の中、自動車代わりに小型機が用いられていて、ひっきりなしに飛びかっています。そんな状況では、乗客も窓外監視をしたりフライトをパイロットに強引に要求しないといったことが実践されています。日本では、乗客はお客様として大事にされがちですが、本来は乗客にも安全のための責任があるということを教えられました。FQUROHでも自分の試験でも限られたスケジュールの中、データを得るためには少し無理をしても飛ばたいと思うこともあります。アラスカで学んだ教訓を思い出すようにしています。

——仕事のやりがいはどのようなところに感じますか。

飛行機やヘリコプターの運航現場に直結した課題に取り組めることはやりがいが大きいです。その分、責任も大きいと感じています。将来的に自分のヒューマンファクターにおける研究成果が航空機の安全性向上に役立つことができれば嬉しいです。

[※] アラスカでの実験の様子は、WEBサイト“実験用航空機レポート2006年7月～8月の記事”(http://www.aero.jaxa.jp/exair-report/)に掲載しています。



世界の空港の騒音規制はますます厳しくなる 機体から発生する騒音の低減技術に期待

全日本空輸株式会社
オペレーションサポートセンター
フライトオペレーション推進部
副部長兼業務推進チームリーダー
近藤 隆氏
性能技術チームリーダー
本田 清貴氏



本田氏(左)と近藤氏(右)

空港周辺での飛行機の騒音をいかにして小さくするかは、世界中に飛行機を飛ばしているエアラインにとって大きな課題になっています。世界の空港の騒音規制はどうなっているか。エアラインとしてどのような対策をとっているか。機体騒音低減をはじめ航空業界の問題解決のために研究開発を進めるJAXAにどのような点を期待するか。全日本空輸株式会社オペレーションサポートセンターの近藤隆氏と本田清貴氏にお話を伺いました。

空港への進入時に いろいろな工夫が必要

—— 空港周辺での飛行機の騒音に関し、どのような対策をとられていますか。

本田 飛行機の騒音は、離陸時はエンジンからの音がメインですが、着陸時になりますと、機体から出てくる騒音とエンジンの騒音がほぼ同じレベルになります。ですから、いかにして機体から出る騒音を低くして飛ぶかが、私たちエアラインにとって課題になっています。

近藤 機体を購入する際に、なるべく静かな飛行機を選ぶことが有効ですが、着陸の仕方を工夫することで騒音を低くすることができます。機体騒音は車輪や主翼にあるフラップを降ろした時に大きくなりますから、車輪や

フラップを降ろすタイミングを遅らせて、騒音が発生する時間を短くするという取り組みをしています。

本田 ところがこれには難しいところがあって、安全性の点からは、なるべく早く着陸態勢をとりたい。そこで私たちとしては遅くても高度1,000フィートまでには車輪とフラップを降ろし安定した着陸態勢をとることで、バランスを取っています。

近藤 それから、高いところから連続して降りる進入法をとれば、階段状に降下していく従来の方法に比べて、地上への騒音の影響を小さくできます。ですから、そういったアプローチができる空港であれば、積極的にこの方法を採用しています。ただし、この進入方式が全ての空港に設定されているわけではありませんし、機種によっては、この方法を取りづらいものもあります。

本田 羽田空港のように海に面している空港では、市街地を避けて、海からカーブを描きながらアプローチする方式を設定するケースが最近できています。しかし、このアプローチを行うにはシミュレータを使用した特別なパイロットの訓練が必要で、シミュレータの数、訓練時間も限られているため、すぐに全てのパイロットがこの訓練を受けることはできません。そのため、訓練が終了したパイロットが順次このアプローチを行っています。

—— いろいろ対応されているんですね。

本田 そうですね。先ほどお話しした車輪、フラップを降ろすタイミングですが、以前の

飛行機ではフラップを降ろすと空気抵抗が増え、比較的容易に進入速度まで減速することができました。ところが最近ではフラップを降ろしても空気抵抗が少ない機種が増えていきます。そうすると、進入の経路は決まっていますから、車輪、フラップの両方を早く降ろさないと減速が間に合わず着陸できません。

—— 騒音の影響を小さくするために車輪やフラップを降ろすタイミングを遅らせたいと思ってもできないということですね。

本田 ですから、抵抗の少ない最近の飛行機では、機体騒音自体をどうやって下げるかが特に課題になります。

今後はさらに厳しくなる 空港での騒音規制

—— 海外には、離着陸時の騒音規制が非常に厳しい空港があるようですね。

本田 夜間離着陸ができない空港があるのはもちろんですが、騒音レベルが大きな飛行機の場合は日中でも離着陸ができない空港もあります。

ヨーロッパの空港で中心なのが、年間の騒音の総量に制限を設ける考え方です。離着陸ごとに騒音レベルの低い飛行機は0.5回、騒音の大きな飛行機は1回というように数えますので、騒音の少ない飛行機はその空港をたくさん使えますが、騒音の大きい飛行機は離着陸数を少なくしなければなりません。

—— 騒音のレベルに応じて着陸料を設定している空港も多いと聞きますが。

近藤 騒音の小さな飛行機ほど着陸料が安くなります。飛行機の騒音はその機種によって騒音レベルが定められていますから、着陸料もそれによって決まります。ところが、空港によっては騒音を実際に計測しているところがあります。飛行機の重量が重くなると騒音レベルは大きくなるため、場合によっては定められた騒音レベルを超えてしまい追加のお金を払わなくてはならないことがあります。あらかじめ定められた騒音レベルを超えることが分かっている場合には、ペイロードを制限して騒音レベルを超えないような離陸重量まで抑えることもあります。また、空港によっては、騒音の大きい飛行機は夜間運航禁止などの制限もあり、騒音の小さい飛行機に替えて飛ばすといったオペレーションも必要になってきます。

本田 ダイヤの組み方の自由度に影響しますので、特にヨーロッパの空港の規制に関しては引き続き注目していかなければいけません。規制はさらに厳しくなると予想されるので、そういった規制に技術で対応し、より静かな飛行機を作っていたらいいかなと、私たちとしては困ることになってしまいます。

FQUROHの技術の早期実用化を望みたい

——機体騒音の低減を目指すJAXAのプロジェクトFQUROH(機体騒音低減技術の飛行実証)については、どのようにお考えでしょうか。

近藤 素晴らしい研究とっております。この技術が、私たちが将来購入する飛行機にどう活かされるのか興味があります。機体騒音は機種によって異なってきますので、何が最適か、難しいところもあると思います。そこを解決して、できるだけ早く実現していただきたいと思います。

——エアラインの立場としては、いかにして実用化されるのかということがポイントですね。

本田 車輪であれフラップであれ、本来の目的があるわけですから、FQUROHの技術がそうした機能を損なわず、騒音をどうやって低減させていくか。そういう問題をトータルでバランスを取りながら、騒音が低減されていくのは、本当に歓迎すべきことです。こういった研究を進めていただけるのは、エアラインとしてもありがたいと考えています。

JAXAでしかできないトータルな取り組みに期待

——JAXA航空技術部門では機体騒音の研究以外にも多くの研究に取り組んでいます。そ

の中で、特にご興味のある研究はありますか。

近藤 空港での低層乱気流情報の提供技術と滑走路の雪氷の状況をモニターする技術ですね。

本田 空港での風の擾乱について言いますと、ある程度高い高度でしたら、ウインドシア(風の急変)や乱気流から逃げることもできます。しかし、高度が50フィート以下になってしまうと無理です。ですから地上付近の風の変化をモニターでき、それをパイロットに知らせることができたらと思っています。

——LOTAS(低層風擾乱アドバイザリーシステム)^(※1)とALWIN(空港低層風情報)^(※2)の技術ですね。

本田 空港の低層風のような問題は機体のハードウェア、地上の施設、パイロットへの情報提供方法などが全部関係してきます。JAXAであればそういったトータルな取り組みができるので期待をしています。

近藤 LOTASがベースになって、さらに空港のドップラーレーダーと組み合わせてALWINを開発している。JAXAではまさに、飛行機側の問題を地上側の施設と結び付けて解決しようとしているので期待しているわけです。

——滑走路の雪氷も問題ですね。

近藤 雪が降っている中で難しいのは、通報されている滑走路の状態がどれぐらい今の状況を反映しているか、誰にも分からないというところにあります。ですからエアラインとしてはある程度の余裕を持って運用しなくてはいいけない。また、余裕を取り過ぎると着陸できなくなります。今の滑走路状態を正確に知ることができれば、運航はもっと効率的になります。

——JAXAではWEATHER-EYEという研究で、滑走路の雪氷状態を把握するセンサーを開発して、実用化を目指しているところですか。^(※3)

近藤 海外の空港は滑走路が比較的長いということもあり、この問題には熱心でない面が

ありますが、日本の場合、雪の降った2,000mの滑走路にB737~B787クラスの大きな飛行機が降りなくてはならないといった事情があります。一日も早く実現してほしいですね。

——他には何かありますか。

近藤 先ほども出てきましたが、騒音を低減させる必要から滑走路に曲線進入しなくてはいいけないことがあります。その時に、電波誘導で精密進入できるシステムが実現されればと思っています。JAXAが開発している飛行軌道制御技術^(※4)です。

夢のある技術に取り組んでほしい

——JAXAに対して、要望したいことはありますか。

本田 JAXAでしかできないトータルな取り組みを期待していることは、先ほど申し上げました。もう一つ、日本発の技術はなかなか世界標準になれない現実があります。JAXAには良いものを作っていただき、世界をリードしてほしいと思います。滑走路の雪氷センサーもその一つですが、海外に買ってもらえる技術に育ててほしいですね。大事なのは、研究で終わらず実用化することです。

近藤 夢がある技術に取り組んでほしいですね。ただし夢だけではいいけないので、それをぜひ実現していただきたい。例えば超音速旅客機も実現すれば、飛行時間は大幅に短縮され、世界は今よりもっと狭くなるでしょう。環境に負荷がかからない飛行機になれば、利用はどんどん広がると思います。期待しています。

※1 気象観測センサーを使用し、風の擾乱の状況や10分後の予測データを伝えるシステム。詳細はFLIGHT PATH No.13参照

※2 LOTASの技術を用いて空港のドップラーライダーレーダーにより観測した気象情報を提供するシステム。詳細はFLIGHT PATH No.13参照

※3 雪氷モニタリングセンサー。空港内の積雪をリアルタイムで把握するセンサー。詳細はFLIGHT PATH No.11参照

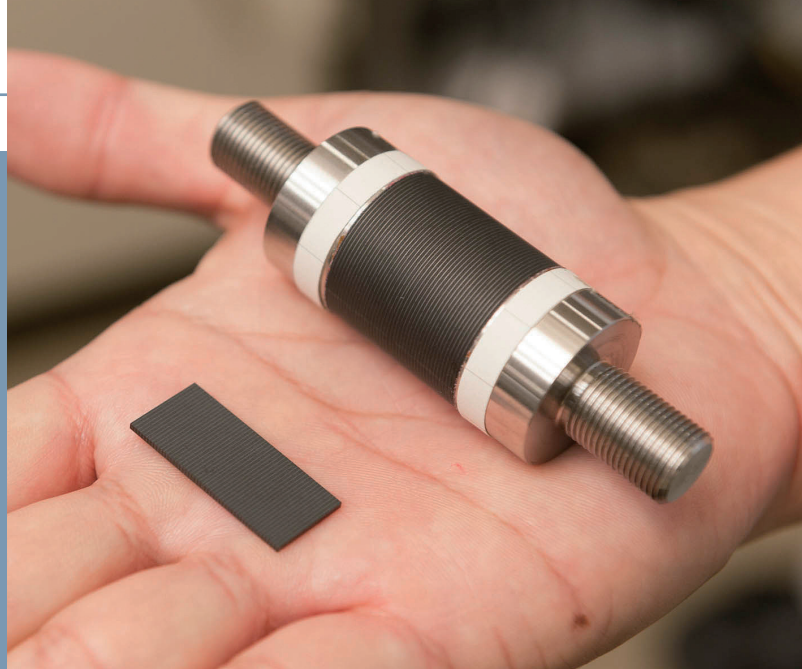
※4 衛星からの情報を用いて、オートパイロットでも空港への曲線進入を可能にすることを目標にした技術。詳細はFLIGHT PATH No.8参照



複合材料

国際標準化への取り組み

航空機への複合材料利用促進のためには国際標準化への取り組みが不可欠であり、かねてからJAXAは、新しい技術の研究だけでなく標準化の作業にも注力してきました。複合材料の新しい試験方法の国際標準化に取り組んでいる構造・複合材技術研究ユニットの活動を紹介します。



現在の評価試験で用いられる試験片(奥)とJAXAが提案している新試験方法で用いられる試験片(手前)。

■標準化の必要性とは

JAXAは研究で得た知見を基にさまざまな規格化・標準化の取り組みも行っています。特に新しい素材である複合材料に関しては、試験方法の手順を日本工業規格(JIS)や国際標準化機構(ISO)に登録した実績もあります(FLIGHT PATH No.10参照)。現在は、いくつかの新しい試験方法をISOに登録すべく、活動を行っています。

規格化・標準化とは、製品の形状や特性、品質、保存・運搬方法、あるいはそれらを確認するための各種試験方法といったさまざまな項目について、基準となるルールを決めることです。日本では、JISが代表的な標準規格です。国際的には、国際電気標準会議(IEC)^{※1}が管轄する電気通信分野以外の標準化をISOが行っています。

標準化を行うことで、消費者は製品の品質と安全性が保証される他、部品などの互換性も生まれるというメリットがあります。産業側には、生産工程における工具や治具の統一化、部品の共通化などが容易になり、大量生産やコスト削減が可能になるというメリットがあります。一方、さまざまな理由で国際標準の規格に沿えないと、優れた技術であっても採用されず、海外でのビジネス展開が難しくなるなどの問題が起きることもあります。

■JAXAが標準化に取り組む理由

なぜ研究機関であるJAXAが、標準化に取り組むのでしょうか。航空産業の場合、航空機を製造し飛行させるためには認証作業が必要になります。認証作業は国際的に標準化されており、認可を受けるためには標準化された試験をパスする必要があります。新たに革新的な技術を開発したり、新素材を作り出したりする場合にも認証が必要で、技術を実用化するためには標準化された規格に準拠した試験をクリアしなければなりません。実用化を視野に入れた、いわゆる“出口指向”の研究開発においては、標準化は避けて通れないのです。さらに、新しい技術や材料に対しては、認可を行うための試験方法も確立していないことがあります。JAXAでは、新しい技術の研究と同時にそれを評価するための試験方法も研究しています。新たな技術を創り出すだけでなく、その技術を実用化するための道筋をつけることもJAXAの仕事なのです。

また、欧米などの諸外国では、国家戦略として標準化に取り組んでいます。自国の持つ技術が標準となり、世界各国で使われるようになれば、ビジネスとして計り知れない恩恵があるからです。日本の技術に国際競争力を持たせ、世界に広く普及させるためには、日本も国際標準化の作業に加わる必要があります。特に複合材料は、日本企業のシェアも高く技術的なア

ドバンテージも持っています。複合材料技術の標準化作業に参画することは、航空機への複合材料利用を推進してきたJAXAが果たすべき任務の一つであり、将来、日本の航空産業に対する支援でもあったと考えます。

■長い期間をかけて議論され承認される国際規格

ISOでは、専門家がワーキンググループで企画・立案した標準化のための規格原案(ワーキングドラフト)を、各国の標準化機関が集まる分科委員会で議論し、さらにその上の組織である専門委員会で審議されます。提案された規格が専門委員会で承認されると、ISOの参加団体に開示され審議ののち承認されて国際標準として発行されます。こうした経緯を経て、ようやく世界各国で使用されます。一つの規格が提案されてから発行されるまでは、3~5年かかります。

JAXAはISOに対して、JAXAが開発した複合材料の新しい評価試験方法のうち、公共性が高いと思われる規格から順に提案を行っており、2016年10月現在で4件が成立しています。現在提案している規格の一つに、炭素繊維強化複合材料と金属材料が接する箇所が生ずる特異的な腐食現象「ガルバニック腐食」の試験評価方法があります。また、複合材料の強化繊維があまり機能しない積層方向の破壊荷重を測定する方法やCMC^{※2}の高温放射率測定法とクリープ試験法についても提案を行っています。

※1 International Electrotechnical Commission. 電気工学と電子工学に関連した技術の国際標準化団体。ISOと共同して国際標準化した規格もある。

※2 セラミックを基本とした複合材料。軽量で耐熱性に優れる。

- 1 新業務報告(NP)の提案
- 2 作業原案(WD)の作成
- 3 委員会原案(CD)の作成
- 4 国際規格原案(DIS)の照会、策定
- 5 最終国際規格案(FDIS)の策定
- 6 国際規格の発行

規格として登録されるまでの流れ

ソラの技

『トンネルインザスカイ編』

今回は飛行試験を支援する技術について紹介します。

50年以上も前から研究されてきた技術

「トンネルインザスカイ(TIS)」とは、航空機の現在位置とこれから飛行すべき経路をコックピットのディスプレイ上に三次元的に表示する技術です。飛行経路を中心とした空間を矩形的の連なりで表した様子^{くはい}が、空にトンネルが描かれたように見えることからこの名前が付けられました。ディスプレイ上に描かれたトンネルから外れないように飛行すれば、あらかじめ設定された飛行経路を進むことができます。このように飛行経路をパイロットに教え、精密な飛行を行う技術を「フライトパスコントロール(飛行経路制御)」と呼んでいます。TISは、フライトパスコントロールという概念を、パイロットが使う計器の一つとして具体化した技術なのです。

計器に飛行経路をトンネルで表示させるというアイデアは、航空機を安全に、かつ精密に飛行させようとする人間ならば誰でも思いつくはずで、現に類似の技術は、50年以上前から世界各国で研究されてきました。1960年代の末には、現在のドイツ航空宇宙センター(DLR)となる研究組織において最初にトンネル表示に関するシミュレーションが行われ、その特性や有効性が確認されました。1980年代には、トンネルの中に機体の現在位置を示すフライトパスシンボル(あるいはフライトパスマーカー)と呼ばれるシンボルに予測要素を加えることで、操縦性を格段に向上させる技術がアメリカ航空宇宙局(NASA)の研究者によって開発されました。

基本的な技術は2005年頃にほぼ完成

JAXAがこれまで40年間にわたって研究したTISには、トンネルとフライトパスシンボルの他にもう一つ、ゴーストエアクラフトシンボル(Ghost Aircraft Symbol)と呼ぶシンボルがあります。ゴーストエアクラフトシンボルは、予定する飛行経路上を航空機から一定の距離を保って移動するシンボルです。1988年頃に行われたSTOL実験機「飛鳥」^{※1}の飛行試験に際しては、ゴーストエアクラフトシンボルとフライトパスシンボルを組み合わせ、ヘッドアップディスプレイ(HUD)^{※2}に表示しました。同じ頃、JAXA(当時はNAL)はNASAとSTOL機に関する共同研究を行っており、「飛鳥」のゴーストエアクラフトシンボルが直感的に分かりやすいことをNASAのパイロットに評価されています。一方、NASAからは飛行経路の予測という概念がもたらされました。

そして、1998年に行われた飛行試験で、初めてトンネル表示を使った飛行経路の表示が行われました。といっても、トンネル表示自体がまだ研究開発段階でした。その後研究が進み、2005年頃までにはTISの研究は、ほぼ完成した状態になりました。

飛行試験で求められる精密飛行を支援

TISは、旋回しながら滑走路に進入する曲線経路を飛行する際、パイロットに対して優れた誘導情報を提供できます。しかし、現在の旅客機などの民間航空機では、複雑な経路を精密に飛行する場合にはフライトマネジ



モニタに表示したトンネルインザスカイの画面



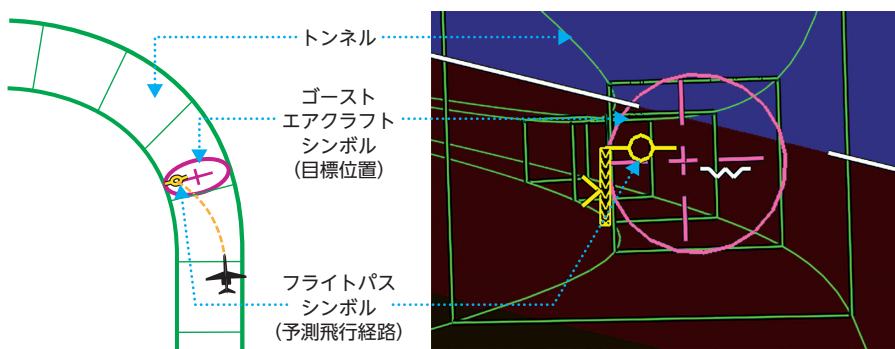
コックピット前面ディスプレイに表示した状態

メントシステム(FMS)とオートパイロットが用いられることが一般的で、TISは必ずしも必要とされていません。一方、飛行試験では、FMSで設定できないような経路を極めて高い精度で飛行することが求められることもあります。このような場合に、TISはツールとして有効です。電車であればレールの上を走るので位置や速度を再現するのは容易ですが、航空機の場合、何も無い空間で風などの影響を受けながら同じ経路、同じ速度で飛行することは熟練したパイロットでも困難です。しかし、航空機であってもTISの支援があればそれが可能になるのです。これまでも、ヘリコプターの機外騒音試験やDREAMSプロジェクト^{※3}などで用いられてきました。

FQUROHプロジェクトの飛行試験でもTISの支援は欠かせません。特に高い速度精度の要求を満たすため、FQUROHプロジェクトの飛行では、推力コマンドをTISと組み合わせる表示の試みを行っています。このように、試験内容に合わせてカスタマイズできる点がTISの強みと言えるでしょう。カスタマイズは飛行前に地上で行うだけでなく、飛行している最中にパイロットの要求に応じてその場で変更を加えることもあります。

TISは、JAXAの飛行試験を支える大切な技術の一つなのです。

- ※1 C-1輸送機をベースにFJR710エンジンを搭載した短距離離着陸(STOL)実験機。1985年から1989年まで、97回の飛行実験を行った。
- ※2 パイロットの視点移動を減らし情報を容易に把握できるように、パイロットの前方に取り付けられたハーフミラーに飛行情報や画像を表示する装置。
- ※3 次世代の航空交通管理システムで求められるキー技術の研究開発を行ったプロジェクト。詳細はFLIGHT PATH No.8参照



TISの概念図(左)と表示画面の例(右)

Topic 1 調布エアロスペーススクール開催！

2016年7月27日～29日に「調布エアロスペーススクール」を開催しました。この企画は高校生を対象にした「JAXAサマースクール」のプログラムの一つです。JAXAサマースクールは、JAXAの宇宙教育推進室が主催し、全国4カ所のJAXA事業所を会場に、航空・宇宙や地球環境に対する意識を高め、「好奇心・冒険心・匠の心」を礎に、より良い未来を築いていく人材の育成を目的とした合宿型プログラムです。調布航空宇宙センターでは航空に関するプログラムを実施し、全国から20名の高校生が参加しました。

スクールでは、JAXAの研究者による、「飛行機が飛び仕組み」の説明を皮切りに、空気力学、材料・構造、数値解析、飛行力学、推進などの最先端技術の研究内容、運航安全に関するSafeAvioプロジェクト（FLIGHT PATH No.13を参照）の概要などの航空機の研究開発に必要な技術に関する講義や討議、技術体験などを行いました。

参加者からは、「スクールの経験を自分自身の将来に結び付けたい」、「より良い研究開発を行うために、広い視野を持ったり、積極的に人と話し合ったりすることが重要であると感じた」などの感

想が寄せられました。

今後もJAXAでは、多くの方に航空や宇宙への関心を高めていただき、人材の育成に繋がるような取り組みを行ってまいります。



航空機開発に不可欠な風洞に関するさまざまな技術を体験。

Topic 2 第1回WEATHER-Eyeオープンフォーラムが開催されました。

2016年9月27日、東京大学武田ホールにおいて、気象影響防御技術（WEATHER-Eye）コンソーシアムが主催する「第1回WEATHER-Eyeオープンフォーラム～航空輸送を特殊気象（雪氷・雷・火山灰等）から守るために～」が開催され、さまざまな業種から184名もの方々が参加されました。WEATHER-Eyeコンソーシアムは、航空分野だけでなく気象や土木などの多くの分野・業種にわたる18機関のメンバーにより構成されており、JAXAはこれに積極的に参画するとともに、コンソーシアム全体の円滑な運営を図る役割を担っています。

基調講演が行われた第一部では、文部科学省からの挨拶に続けて、国土交通省・エアラインからのWEATHER-Eyeへの期待、コンソーシアムで取りまとめたWEATHER-Eyeビジョンが語られました。続く第二部では、JAXAでの研究開発概要に始まり、6件の個別の気象現象に対する課題と研究開発状況の説明が行われ、積雪によるオーバーラン事故防止のための技術や乱気流による事故を防ぐための技術（SafeAvio、ALWIN）、機体への着氷予防技術などの

内容と現在の状況が紹介されました。

気象影響防御技術に関しては、JAXA航空技術部門ウェブサイトにてご覧下さい。

<http://www.aero.jaxa.jp/research/star/safety/>



会場の様子

Topic 3 「JAXA航空技術イノベーションチャレンジ」採択結果

日本の航空産業発展に向けたイノベーションを推進するJAXAは、今年度新たに航空分野のみならず異分野からも新たな技術やアイデアを広く求める「JAXA航空技術イノベーションチャレンジ」の公募を実施しました。このたび、異分野・異業種を含む企業・大学などから提案された60件の研究テーマの中から、複合材料関連技術や高効率エンジンの開発、自動操縦システム、機体検査技術の研究など25件を採択しました。10年後を見据えた航空産業の競

争力強化、航空輸送のイノベーションの実現に向けて、採択した研究テーマを推進していきます。

採択された研究テーマについては、JAXA航空技術部門ウェブサイトにてご覧下さい。

http://www.aero.jaxa.jp/collabo/public-invitation/fy28-challenge_rep.html

表紙画像：実証試験飛行中の実験用航空機「飛翔」を地上から撮影。フラップと脚の赤い部品が、JAXAが開発した低騒音化デバイス。

