

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

2015
SPRING

No.8

航空本部

www.aero.jaxa.jp

特集

**DREAMS
プロジェクト**

次世代航空交通の世界標準技術を目指して

DREAMSプロジェクトの技術とは

航空機を安全に高密度で運航させる技術を目指して

空港の交通量増大に対応するDREAMSプロジェクトの技術



次世代の航空交通管理システムのキー技術を研究開発し、国際基準として提案や技術移転を目指す「DREAMSプロジェクト」。2012年のスタートから3年を経た“プロジェクトの今”に迫ります。

CONTENTS

P. 3-5
特集 DREAMSプロジェクト
 次世代航空交通の世界標準技術を目指して
DREAMSプロジェクトの技術とは

P. 6-9
 航空機を安全に高密度で運航させる技術を目指して
空港の交通量増大に対応するDREAMSプロジェクトの技術

P. 10-11
将来の航空交通システムの変革を目指すCARATS
航空交通量増大に対応する施策とは
 国土交通省 航空局
 交通管制部 交通管制企画課 新システム技術推進官
 植木隆央氏 インタビュー

P. 12-13
 誰もが“使える”高速CFDソフトを目指して
HexaGrid/FaSTARの挑戦

P. 14
 研究者リレーインタビュー
 第4回「高校生の時に見た実験が複合材料研究の道を選んだきっかけに」
 機体システム研究グループ 超音速機セクション 研究員 平野義鎮

P. 15
 航空技術図鑑[4]「振動で航空機が破損する!? フラッター現象って何だろう？」

P. 16
 [Flight Path Topics]
 ・MuPAL-αで精密曲線進入の実証実験を実施
 ・Lamb波による非破壊検査手法の実証実験をMaVESで実施
 ・二つの研究開発プロジェクト「aFJR」「FQUROH」始動
 ・高高度滞空型航空機を想定した高空過給エンジンの運転試験を実施

P. 3-5



P. 6-9



P. 10-11



P. 12-13



P. 14



P. 15



P. 16



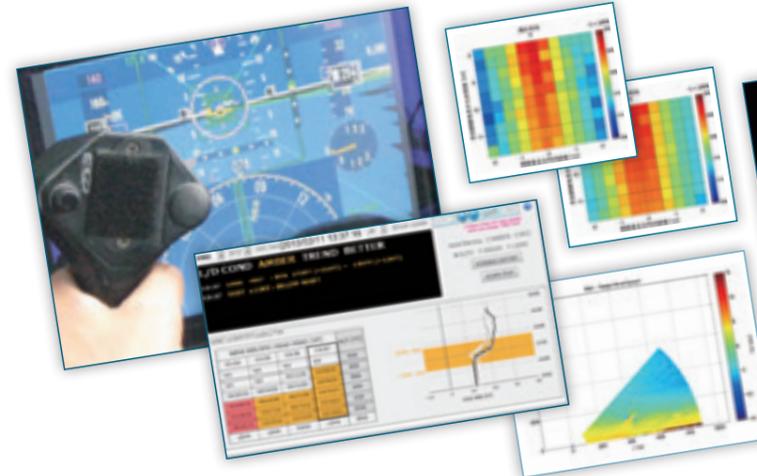
表紙写真

表紙は、DREAMSプロジェクトの「高精度衛星航法技術」で飛行実験をする実験用航空機「飛翔」機内の様子を背景に、「飛行軌道制御技術」の実証実験をするコックピット内のモニター、「気象情報技術」によって低層風擾乱の情報を得るコックピット、「低騒音運航技術」のデータ取得のために気球を用いた伝搬特性を計測する実験、D-NET対応端末を搭載した神戸市消防ヘリコプター(提供:神戸市航空機動隊)です。

Feature
特集

DREAMSプロジェクト

次世代航空交通の世界標準技術を目指して DREAMSプロジェクトの技術とは



DREAMSプロジェクトチーム
 プロジェクトマネージャー
越岡康弘



次世代の航空交通管理システムで求められるキー技術を研究開発し、国際規格団体への提案やメーカーへの技術移転を推進するDREAMSプロジェクトは、2012年5月のプロジェクトチーム発足以来約3年が経ち、さまざまな成果が出てきています。DREAMSプロジェクトが目指した技術とは何か。そして今後はどのように発展するのかについて、DREAMSプロジェクトチームの越岡康弘プロジェクトマネージャーに話を聞きました。

将来の航空交通に 対応するために

——「DREAMSプロジェクト」を開始した
 きっかけを教えてください。

世界の旅客輸送量は今後もアジア・太平洋地

域を中心に増加が見込まれ、20年後には2倍以上に増えると予測されています。現在でも都市部の空港は非常に混雑していますが、空港や滑走路が増えるわけではないので、高頻度な運航を可能にする技術が必要になってきます。運航数が増えれば、それだけ航空機事故の増加にも繋がる可能性があります。

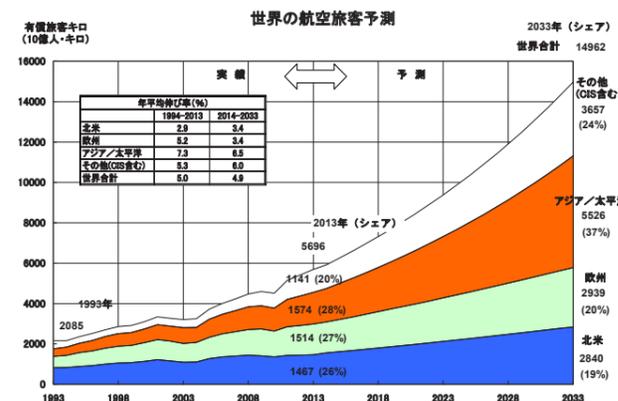
こうした状況の中、次世代の航空交通管理

技術(ATM: Air Traffic Management)の変革を2025年までに実現するための将来ビジョン、「グローバルATM運用概念」を提唱しました。また、アメリカでは「NextGen」、ヨーロッパでは「SESAR」といったプログラムが立ち上げられ、研究開発が進められています。日本でも国土交通省によって2010年9月に「CARATS」(10ページ参照)が策定されました。

JAXAでは、CARATSが要求する技術の中で、JAXAが貢献できる技術の研究開発を促進するため、DREAMS(Distributed and Revolutionarily Efficient Air-traffic Management System)プロジェクトを2012年にスタートさせたのです。

——DREAMSプロジェクトに含まれる技術はどのようなものですか。

DREAMSプロジェクトで確立する技術のう



アジア/太平洋地域(オレンジ部分)の増加が非常に大きくなると予測されている

出典:一般財団法人 日本航空機開発協会「平成25年度版民間航空機関連データ集 第三章 需要予測」

Feature 特集 DREAMSプロジェクト

実験用航空機「飛翔」で新石垣空港において高精度衛星航法技術の実証実験を実施



成田空港周辺で実施した風計測ライダーによる後方乱気流の計測試験

「気象情報技術」「低騒音運航技術」「飛行軌道制御技術」「高精度衛星航法技術」は、主に空港周辺の交通量増大に対応する技術で、高頻度な離発着を妨げている後方乱気流や低層風擾乱の予測、騒音被害を最小限にする飛行経路の生成、導き出された最適な経路での飛行を実現する制御技術や、それを支援するための高精度な衛星航法技術など多岐にわたります。もう一つの「防災・小型機運航技術」は、災害時に多数集まる救援航空機と対策本部間の情報共有を図り、的確な指示を出すことで無駄な待ち時間や事故の危険性を減らす技術です。

安全で高効率な離発着を実現する4つの技術

—— 高効率な運航の実現になぜ「気象情報」が必要なのでしょう。

気象は航空機の運航に大きく影響します。DREAMSプロジェクトの「気象情報技術」では、「後

方乱気流」と「低層風擾乱」に注目し、運航を効率化できる技術を研究しました。後方乱気流とは、飛行機の翼から後方に流れる空気の流れのことです。大型の航空機が作り出した後方乱気流が消えないように航空機が後方に進入してくると、渦の力によって機体に過度な空気力(空気により生じる力)が加わり機体姿勢が乱れるなど、後方乱気流は航空機にとって非常に危険な現象です。後方乱気流は時間が経てば消えますが、消滅までの時間はその時の気象条件によって変わってきます。ですから、後方乱気流がどの辺りにどのくらいの時間発生するのかを予測して、それを避けることができれば安全に離発着できますし、余計な待機時間を減らせれば高効率な航空機の運航が可能になります。

もう一つの低層風擾乱は、空港に着陸する際に問題となる進入経路上の風(低層風)の乱れ(擾乱)を予測して、着陸進入の判断を支援する技術です。着陸進入中に低層風擾乱が起こると安全な着陸が困難になる場合があります。また低層風擾乱は、着陸のやり直し(着陸復行)や目的地変更(ダイバート)、欠航の主な原因にもなっています。そのためJAXAではパイロットや空港にいる運航管理者に、空港周辺の風の予測情報を提供し、着陸進入の判断を支援するアドバイザリーシステムを開発しました。

実験用航空機MuPAL-αで飛行実験した飛行軌道制御技術



—— 飛行機の交通量増加によって騒音も大きくなるのでしょうか。

技術の進歩によって航空機が発する騒音は年々小さくなっていますが、個々の騒音が小さくなくても航空機の交通量が増加し、騒音に晒される時間や回数が増加すれば、特に空港周辺住民の方々は今までよりも騒音が大きくなったと感じるかもしれません。騒音の大きさだけでなく、騒音を感じる回数や時間帯などを考慮した騒音被害範囲を表す騒音暴露域という概念がありますが、DREAMSプロジェクトの「低騒音運航技術」では、交通量が1.5倍になっても一定量以上の騒音暴露域が変わらないことを目標に、騒音が風など気象の影響によってどのように広がるかを予測し、騒音暴露域を広げないための飛行経路を導き出す技術を研究開発しました。

—— 導き出した騒音の影響が少ない経路を飛行できるようにするためには、どのような技術が必要になるのでしょうか。

航空機が自分の位置をより正確に把握する技術と、精密な曲線進入を可能にする技術が必要となります。そのためDREAMSプロジェクトでは「高精度衛星航法技術」と「飛行軌道制御技術」の研究開発を行いました。

既にGPSを使った衛星航法が普及していますが、電離圏異常などの影響でGPSの利用率が(位置情報の得られる時間の割合)が落ちる場合があります。何らかの補償機能が必要となります。既に航空機に搭載されている慣性航法装置(INS)によりGPSの位置情報を補償することで、GPSの利用率が99%以上に向上することができました。

これまで空港への着陸は、滑走路に向かって



成田空港周辺で実施した騒音計測試験



D-NETで開発した「完全修理改造型」の搭載機器(提供:神戸市航空機動隊)

真っすぐに進入する「直線進入」が一般的で、多くの空港にはそのための誘導装置が設置されています。空港により多くの航空機を受入れられるようにするためには、曲線進入も含めたさまざまな着陸進入ができるような技術が必要になります。「飛行軌道制御技術」ではパイロットの負担を増やすことなく、自動操縦で精密な曲線進入を実現できる技術を研究開発しました。

災害時の小型航空機の運航を安全で効率的に

—— 災害時の航空機の運用にはどのような課題があるのでしょうか。

CARATSには、小型航空機の安全対策も含まれています。JAXAでは、小型航空機の安全性を高めるため、特に小型航空機が多く利用される災害時において、安全に運航させるための技術を研究開発しました。

阪神・淡路大震災以降、災害現場でヘリコプターのような小型航空機が利用される場面が増えてきました。しかしこれまでは情報共有や任務の割り当てを、無線などの情報に基づきホワイトボードなどで行っていたため、特に大規模災害時のような多数の航空機が集結するよう場合には、迅速で効率的な対応が困難になる場合があったと聞いています。DREAMSプロジェクトの「防災・小型機運航技術」では、「災害救援航空機情報共有ネットワーク(D-NET)」を開発し、航空機や災害対策本部など地上の拠点



D-NETで開発した「完全持ち込み型」の搭載端末

との間で情報共有を可能にし、各航空機に最適な任務を付与できるようにすることで、安全で効率的な運航管理ができるようにしています。このために、まずさまざまな機関のシステム

間で情報交換ができるように「D-NETデータ仕様」という共通規格を策定し、これにより情報共有を実現する端末を開発しました。総務省消防庁では、2014年4月からこのシステムを使っています。航空機に搭載できるさまざまなタイプのD-NET対応端末もメーカーへの技術移転により販売され始め、それを搭載している消防防災ヘリコプターやドクターヘリも徐々に増えています。普段連携していない機関とも、災害時に使ってもらえるような「完全持ち込み型」のD-NET端末も開発しています。

世界標準技術を目指して

—— 国際規格団体への提案はどのように行われていくのでしょうか。

まずは、CARATSを策定した国土交通省と連携しながら、ICAOの各ワーキンググループにおいてDREAMSプロジェクトの成果を報告していきます。ICAOのワーキンググループで検討される技術は多岐にわたるため、DREAMSプロジェクトの技術が最優先で検討されるかどうかは、その時の社会情勢や導入効果の評価結果によります。

ICAOは各国代表により航空施策が議論される場ですので、DREAMSプロジェクトで確立した技術を航空機器関連メーカーに技術移転を進めるとともに、航空会社に試験的に技術を使っていただき、評価していただいた上で、最終的に国土交通省からICAOに対し国際的な航

空施策として提案していただくといった方策も必要でしょう。

2020年に東京オリンピックが開催されれば、海外から旅客機でやってくる旅行者も増えるでしょう。国土交通省では、東京オリンピックの際に羽田空港や成田空港の空港容量をどの程度増やせるか、というケーススタディを始めており、JAXAでもDREAMSプロジェクトで開発した技術を利用してその一部を支援しています。

—— DREAMSプロジェクト終了後の計画はありますか。

DREAMSプロジェクトが目標としてきた技術は完成させましたが、この技術の社会利用を促進するためには、引き続きICAOなど国際機関との協議への参加や、民間企業への技術移転を加速させなければなりません。「防災・小型機運航技術」のD-NETに関しては、人工衛星や無人航空機からの情報も統合して、より効率的な災害救援活動を可能にするため、「災害救援航空機統合運用システム(D-NET2)」の研究開発を開始しています。(D-NET2の詳細に関しては、Flight Path No.7を参照)

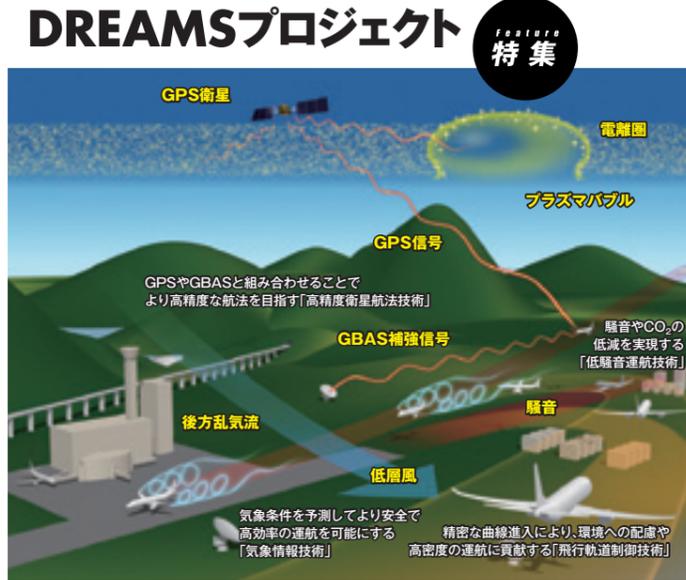
航空機の技術は世の中のニーズに合わせて変化してきました。例えば、1970年代には航空機が大型化して一人当たりの輸送コストが大幅に下がり、誰でも海外へ気軽に旅行できるようになりました。今後は利用者のニーズに合わせて、大型機から小～中型機へのシフトが進み、便数を増やすことにより柔軟に利用者の利便性に対応する運航を指向する時代に変化していくと考えています。新幹線なら5分後、10分後に次々と列車がやってきますが、航空機もそんなスケジュールで運航させるにはどうしたらいいか、あるいは空港を24時間運用するにはどうしたらいいか。そのためにはどんな技術が必要になるのか、といった議論が出てくるかもしれません。DREAMSプロジェクトで得た技術は、そうした将来のニーズを予測し、さらに発展させていかなければならないと考えています。

Next Contents ▶▶▶
次ページ以降では、DREAMSプロジェクトで研究開発した「気象情報技術」「低騒音運航技術」「飛行軌道制御技術」「高精度衛星航法技術」について、詳しく紹介します。

Feature 特集 DREAMSプロジェクト

DREAMSプロジェクトで確立する技術の中で、「気象情報技術」「低騒音運航技術」「飛行軌道制御技術」「高精度衛星航法技術」は、主に空港周辺の交通量増大に対応する技術です。どんな技術でそれを実現しようとしているのでしょうか。またこれらの技術が、どのように私たちの社会に還元されようとしているのでしょうか。

航空機を安全に高密度で運航させる技術を目指して 空港の交通量増大に対応するDREAMSプロジェクトの技術



気象を予測して、安全で高効率な離着陸を実現する「気象情報技術」

高密度な運航を阻む「後方乱気流」

後方乱気流は、飛行している航空機の翼から生まれる渦によって機体後方の気流が乱される現象で、いわば“人工”の乱気流です。後方乱気流は、時間が経過すれば自然に消滅しますが、消えないうちに別の航空機が後方乱気流に巻き込まれると思われ事故の原因となってしまう。海外では、実際に後方乱気流をきっかけにした事故が過去に発生しています。

後方乱気流は、航空機の機種によって規模や強さが異なりますし、その日その時の気象条件によって乱気流が消滅するまでの時間が異なることも分かっています。しかし実際の航空管制における離着陸間隔は、前を進む機体(先行機)と後ろに続く機体(後続機)の大きさによって一律の規定が定められており、その間隔は安全に運航できるように、

余裕を持って設定されています。このため、すでに後方乱気流が消えているにもかかわらず航空機が離着陸できない、いわば無駄な時間が生じている場合があるとも言えます。あるいは、もっと間隔を空けた方が安全だったケースもあったかもしれません。

3分間隔で1時間に20機が離着陸できている空港で、もし一律3分ではなく、後方乱気流の影響時間を判断して、例えば、単純に平均1分半まで短縮できれば、1時間で40機も運航できる計算になります。羽田空港では、2010年に滑走路が1本増えたことで離着陸の回数が1時間あたり10機前後増やすことができたそうなので、最適な離着陸の間隔を決定することができれば、滑走路1本分相当の離着陸回数を増やせる可能性があるとも言えます。

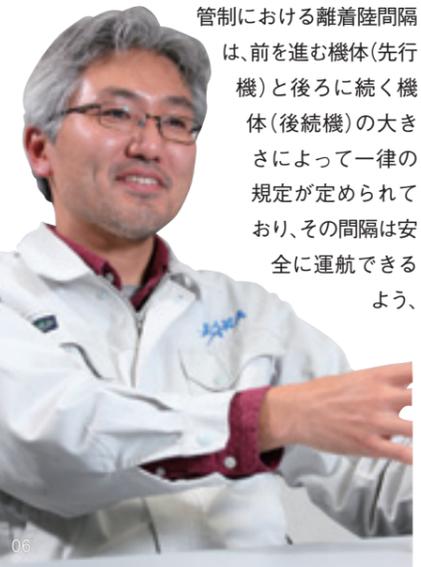
年間を通じて後方乱気流のデータを計測、予測に活かす

後方乱気流の発生は、気象条件や航空機の機種、飛行する経路によって変わってきます。後方乱気流の影響を正確に予測するため、DREAMSプロジェクトでは、成田空港の離着陸経路から400メートル離れた位置に観測装置を設置し、

日本航空(株)からはいつどの航空機が飛行したか分かるデータを、気象庁からは気象データを提供いただいて、春夏秋冬の季節ごとにそれぞれ1カ月以上、離着陸する航空機の後方乱気流の観測を行うことで、どの機種がどのような後方乱気流を発生させるかデータを蓄積しました。

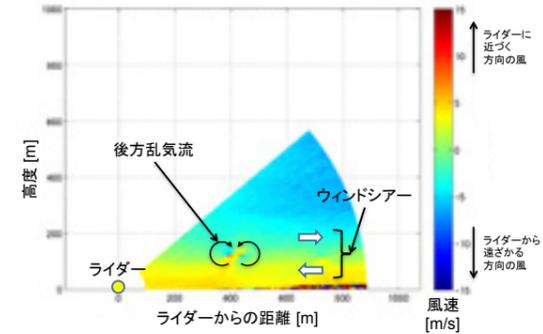
その実績を元に、気象条件や機種、飛行経路の組み合わせごとに、後方乱気流に遭遇する確率を低くする安全な間隔を算出できる「後方乱気流リスク予測機能」を開発しました。しかし、上空を飛行中の航空機が「今、後方乱気流がなくなったから、すぐ滑走路に降りて」と指示を受けたとしても、急に間隔を詰めることは困難です。そのような航空機管制を行うためには、最低でも30～60分先を予測して指示を出さなければ意味がないため、モデル化しておいた過去の気象実績から、1時間先の後方乱気流を予測できるようにしています。

後方乱気流の予測や滑走路を航空機が占有する時間などを考慮して、離着陸の順番や間隔時間を最適化することで、離着陸の間隔を平均10%短縮することができました。この結果や計測データは、ICAO内の後方乱気流に関するワーキンググループに提案し、柔軟な離着陸間隔を実現する国際規格の策定に貢献していきます。



DREAMSプロジェクトチーム 気象情報技術セクション セクションリーダー 又吉直樹

ライダー観測面(滑走路に直交する垂直方向の断面)内の風速分布。B777の後方乱気流を観測した例。



風の状態をパイロットに伝えて 離着陸の判断を支援する

航空機が空港に着陸進入する際、経路上の乱気流(低層風擾乱)のために着陸をやり直す(着陸復行)ことがあります。また、低層風擾乱が原因で離陸できず欠航する場合もあります。成田空港で年間100件ほど起きる着陸復行のうち、9割程度がこの低層風擾乱の影響と言われています。後方乱気流が人工的な乱気流であったのに対し、低層風擾乱は地形が生み出す“自然”の現象と言えます。

パイロットが着陸進入をする際、経路上の風の状態を予測できれば、風が収まるまで上空で待機することができますし、着陸態勢に入ったとしても心構えをした上で操縦することができます。DREAMSプロジェクトで開発した「低層風擾乱アドバイザリーシステム(LOTAS)」は、従来よりも小型で安価な気象レーダーと気象ライダーを空港近くに設置し、どんな天候で



LOTASの画面例。高度・時刻別で、重要度に応じて表示色を変更するなど、視認性にも配慮している。

も空港周辺の風を観測するとともに、10分先の大気状態を予測できます。これらの情報を元に、空港の運航管理者に対しては着陸を指示するタイミングのアドバイス、パイロットに対しては進入経路上の風の予測情報を提供することができます。運航管理者はウェブ上の画面で風の状態を視覚的に確認することができ、パイロットは従来から航空機に搭載されているACARSというテキストベースの情報発信機能を使って、コックピット内のプリンターやモニターに出力することが可能です。

頻繁に航空機が運航していない空港では、パイロットは風の情報を知りたい時に無線で地上の運航管理者へ依頼し、地上でLOTASの画面を確認してから、無線やACARSで指示や情報を送ることが可能です。しかし便数の多い都市部の空港では、運航管理者が頻繁に到来する各航空機にそのような対応をすることは現実的ではありません。そこでパイロットがコックピットからコマンドを打つだけで、自動的に風の情報を取り出せるように改良したシステム「空港低層風情報(ALWIN)」を気象庁と共同開発しました。

気象庁では、成田空港などに設置している空港気象ドップラーライダーやドップラーレーダーから得た気象データとALWINの技術を組

み合わせて、パイロットへ気象情報を提供するシステムを2016年度から運用すべく準備が進んでいます。日本航空(株)の機体は既にACARSで情報を取り出せるように改良されており、全日本空輸(株)の機体も対応する予定です。それ以外の航空会社も、ウェブを使って情報を得ることは可能ですので、このシステムの利便さを実感してもらうことができれば、海外のエアラインでもALWINやLOTASを採用してもらえるかもしれません。

風によるトラブルを減らして、運航率を上げるために

「LOTASやALWINのような、ユーザーにとって分かりやすく、実際に触ってもらえるシステムを開発したことが、評価を得て、実用化につながったと思います。後方乱気流でも、最適な離着陸順序や間隔をアドバイスするシステムを今後検討していきたいですね」とDREAMSプロジェクトチーム気象情報技術セクションの又吉直樹セクションリーダーは今後の目標を語ります。

「日本にある空港の3分の1くらいは、風に困っているという話をよく聞きます。そうした空港には、ぜひLOTASやALWINを使っていただけたらと思っています」(又吉セクションリーダー)。

刻々と変化する気象状態を考慮し、騒音が広がらない経路を算出する「低騒音運航技術」

交通量が増えると騒音の範囲はどうなるのか

空港周辺を運航する航空機が増加すると、住民が航空機の音を聞く回数も増え、結果的に騒音とを感じる地域が拡大すると考えられています。一定レベル以上の騒音を感じる場所では、窓のサッシを2重にするなどの防音対策や、住宅以外の目的(公園など)に使用するとといった対策も必要になります。今後、航空交通量が増大すると予測される中、航空機側に騒音を小さくすることが

求められるのはもちろんのこと、騒音が広がらないように運航することも重要になります。

音は、例えば風上では聞こえないが風下ではよく聞こえるというように、気象によって伝わり方が刻々と変化します。DREAMSプロジェクトの「低騒音運航技術」は、航空機の交通量が1.5倍になっても、気象条件によって飛行経路を工夫することで、騒音の範囲を現在と同程度とすることを目的としています。

低騒音運航技術によって、騒音が今以上に広がらない飛行経路を割り出せれば、あ

とはGBAS(地上型衛星補強システム)*1やDREAMSプロジェクトの「飛行軌道制御技術」などにより、精密にその経路を飛行することで、実際に騒音を増やさない運航が実現できます。

気象条件から音の伝わり方を予測する

低騒音運航技術は、気象データと飛行経路のデータから騒音の広がりを予測する騒音予測プログラムと、それを元に騒音の暴露域(騒音

Feature 特集 DREAMSプロジェクト

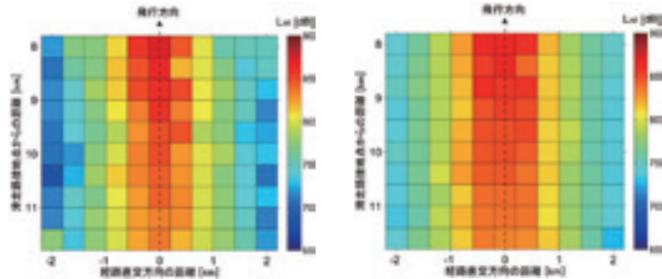
DREAMSプロジェクトチーム
低騒音運航技術セクション セクションリーダー
石井寛一



にさらされる範囲)を減少させる最適な経路データを生成する経路最適化プログラムからなります。もちろん、実際の航空機が飛行可能で現実的な経路でなくては意味がありません。

低騒音運航技術の研究にあたっては、音の伝搬を予測できるモデルを構築するため、係留気球に吊したスピーカーから基準音を発生

させて、気象が音の伝搬に与える影響を測定したり、実際に飛行している航空機の騒音を機種ごとに測定したりしました。これまではあまり考慮されていなかった気象プロファイル(風向・風速や温度の鉛直方向の分布)を参照して、精度の高い結果を得られる予測モデルを構築しました。



航空機騒音の計測結果。赤が濃い場所ほど、騒音のレベルが高い。右の予測値と左の実測値がほぼ合致していることが確認できた。

研究では、成田空港の交通量が現状のままの状態と1.5倍に増加した場合の状態それぞれシミュレーションを行い、低騒音運航技術が導き出した最適飛

行経路での騒音を比較し、当初の目標である1.5倍の交通量でも騒音の暴露域がほぼ変わらないという効果を確認しています。

騒音を広げない最適な進入経路での飛行を実現するため、今後、ICAOの環境を保全する技術を検討するワーキンググループなどで研究の成果を提案していく計画です。同じワーキンググループでは、CO₂の排出量などについても議論・検討されています。DREAMSプロジェクトチーム低騒音運航セクションの石井寛一セクションリーダーは「騒音低減とCO₂削減を両立する最適運航の技術も今後必要になってくるでしょう」と今後の展望を語ります。

計器飛行による曲線進入を可能にする「飛行軌道制御技術」

高密度で安全な運航のために求められる、精密曲線進入

DREAMSプロジェクトの「低騒音運航技術」では、騒音を感じる地域を減らすために最適な飛行経路を導き出します。その飛行経路は必ずしも直線とは限らず、住宅密集地を避けて大きく回り込むような曲線の経路かもしれません。また、「気象情報技術」で予測した後方乱気流を避けるためにも、曲線進入は有効な手段でしょう。

現在、多くの空港にはILS(計器進入装置)^{*2}が整備されており、地上から発信される指向性の高い電波を受信することで、計器からの情報

だけで滑走路への進入(計器進入)が可能になります。視界不良となる悪天候でも着陸進入が可能になりますが、ILSによる進入は最低でも

約3マイル(4.8キロ)の直線が必要になり、また飛行経路下の建造物等の高さにも制限があるため、ILSで計器進入できる滑走路・進入経路は限られているのが現状です。

そこで、GPSを使ったGLS(衛星航法システム進入方式)とFMS(航法用機上コンピューター)を使った精密飛行方式を組み合わせ、曲線進入できる方法(仮にGLS-FMS方式と呼びます)が、おそらく数年以内に実用化されるとみられています。DREAMSプロジェクトの「飛行軌道制御技術」では、このGLS-FMS方式で従来の直線進入と同等以上の安全性、精度を確保するための方法について検証を行いました。

GLS-FMS方式では、パイロットや運航会社には特別な資格や訓練が必要です。パイロットの負担を軽くするため、GBASの拡張機能であるTAP^{*3}を利用して、自動操縦で曲線進入を可能にするJAXA独自の自動操縦システムを研究開発しています。「計器飛行の



コックピット内に表示されるトンネルインザスカイの画面例。GBASで設定される進入経路が画面に表示される。

ライセンスを持ったパイロットであれば誰でも曲線進入ができることを目指しました」と、DREAMSプロジェクトチーム飛行軌道制御技術セクションの船引浩平セクションリーダーは語ります。

実験用航空機「MuPAL-α」で自動操縦システムを評価

研究開発した自動操縦システムを検証するため、実験用航空機「MuPAL-α」のフライ・バイ・ワイヤ実験機能を使って、関西国際空港、仙台空港などで飛行試験を行いました。この研究はこれらの空港に設置されたGBASの実験用地上局を運用し、同じくGLS技術の研究開発を進める電子航法研究所(ENRI)との共同研究に基づくものです。当初は自動操縦アルゴリズムの不具合によって、風の影響により飛行が乱れることがありましたが、改良を加え、運航上想定される気象条件の範囲内で、精密な曲線進入ができることが確認できています。

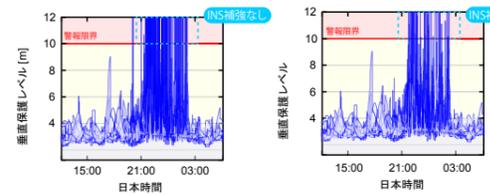
この分野の国際的な議論は、

当面は実用化に近いGLS-FMS方式を中心になされることになることが想定されますが、JAXAが研究開発した自動操縦システムは、その次をターゲットに提案をしていきたいと

考えています。「GLSとTAPを組み合わせた方式は、提案されたばかりの国際規格で不備も多く、それらを飛行実験の過程で確認することができました。そういった規格の見直し

などについても国際的な場で議論することで、日本の存在感を示していきたいと思えます」と船引浩平セクションリーダーは抱負を語ってくれました。

高精度で信頼性の高い衛星航法を可能にする「高精度衛星航法技術」



複合航法技術によるシミュレーション結果。従来(左)は警報限界(赤い線)を超える衛星航法を利用できない時間帯が1.92%あるのに対し、複合航法技術(右)では0.81%に半減している。

GPS/GBAS/INSを組み合わせ、衛星航法の利用率を上げる

決められたルートを精密に飛行するためには、操縦している航空機の位置が正確に分らなければなりません。自動車のカーナビのように、多くの航空機には既に衛星航法装置が搭載され、GPSなど測位衛星の電波を受信することで、位置を把握することが可能になっています。また、より高精度な測位信号に対応した測位衛星システムも構築されつつあります。

しかし衛星航法は、複数の人工衛星からの電波を受信する必要があるため、何らかの理由で衛星からの電波が届かない時には測位ができませんし、マルチパス誤差^{*4}や妨害電波、電波の通り道にあたる電離圏の異常などによって測位精度が低下する場合があります。衛星航法が利用できる時間を短くしている要因になっています。

一部の空港には、GPSの測位情報を補強して、より正確に位置を把握できるGBASが設置されています。GBASは、既知の地上局の正確な位置情報とGPSから得た位置情報を比較することで、GPSの情報にどのくらいの誤差があるか分かるため、航空機側はその誤差情報を元に

GPSの位置情報を補正することが可能になります。しかしGBASの信号も人工衛星からのデータを元にしていて、妨害電波や電離圏の異常などの影響を受けますし、航空機の位置がGBASの設置場所から離れば離れるほど、誤差情報の共通性は低下します。

一方、多くの航空機にはINS(慣性航法装置)が搭載されています。INSは外部からの情報に頼らず、搭載された加速度計やジャイロセンサーなどで自分の位置を知ることができる装置です。したがって、天候や電波妨害などの影響を受けないという長所がありますが、長い距離を移動すると誤差が大きくなってしまふという欠点があります。

そこでDREAMSプロジェクトでは、GPSとGBASの衛星航法を、INSで補強することで、高精度な衛星航法を利用できない時間帯を従来より半減し、利用率(利用できる時間帯の割合)を99%以上に改善する複合航法技術を開発しました。衛星航法装置は航空機の運動や電波環境の影響によりGPS信号の受信が困難になる場合がありますが、INSで得られる航空機の運動情報を利用することで、受信可能な範囲

DREAMSプロジェクトチーム
サブマネージャー
高精度衛星航法技術セクション
セクションリーダー
辻井利昭



を広げ、電波が途切れることを減らすことが可能になります。それでも電波が受信できなくなった場合には、衛星航法に代わってINSの慣性航法で位置情報を補うことも可能です。

石垣島で「飛翔」を飛行させ、利用率を評価

開発した複合航法技術で99%以上の利用率を確保できているか評価するため、シミュレーションのほかに実験用航空機「飛翔」を使った飛行実験も行いました。GPS信号に影響を及ぼす電離圏異常の一つに、「プラズマバブル」と呼ばれる現象があります。泡のように形を変えることに由来するこの現象は、緯度の低い(赤道に近い)地域の上空に発生し、日本では春と秋、沖縄地域(まれに九州南部)で観測することができます。沖縄県の新石垣空港には、電子航法研究所(ENRI)が研究しているGBASの設備があるため、ENRIと共同で石垣島周辺空域で実証実験を実施しました。DREAMSプロジェクトチームの辻井利昭サブマネージャーは、「プラズマバブルは夜間に発生するため、地元の周辺住民の方々にもご協力をいただきました。また我々の生活も昼夜逆転して大変でした」と実験を振り返ります。

「高精度衛星航法技術」は、DREAMSプロジェクトの他の技術と連携して、精密な着陸進入を実現することをターゲットに研究開発を進めてきましたが、着陸以外にも応用が可能です。「たとえば空港内で航空機を自動で移動させる場合など、さまざまな場面で高精度な航法技術が必要になってきます」と辻井サブマネージャーは将来の展望を語ります。

*1 「地上型衛星補強システム(Ground Based Augmentation System)」。測位衛星からの情報を使った着陸装置。複数の地上局が受信した測位信号をコンピューターで処理し、補正情報や地上局の位置情報、滑走路の情報、飛行経路、測位衛星の情報などのデータをVHFで航空機に送信することで、極めて精度の高い誘導を可能とするシステム。

*2 Instrument Landing System. 着陸するために滑走路へ進入しようとしている航空機に対して、指向性の高い電波でコースを指示する無線着陸支援装置。

*3 Terminal Area Path. GBASの拡張機能として研究開発中のデータ形式の一つで、精密な着陸進入経路を航空機へ指示することを可能にする。

*4 直接届くGPS信号と同時に、物体に反射・回折したGPS信号を受信してしまうことで発生する誤差。



JAXA航空本部へのメッセージ

将来の航空交通システムの 変革を目指すCARATS

航空交通量増大に対応する施策とは

国土交通省 航空局
交通管制部 交通管制企画課 新システム技術推進官
植木隆央氏インタビュー

将来予想される航空交通量の増加に対応するため、国土交通省は「**将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)**」を策定しています。JAXAもCARATSに貢献すべく、DREAMSプロジェクトを推進し、国土交通省航空局と連携してきました。国土交通省航空局交通管制部交通管制企画課の植木隆央新システム技術推進官にCARATSの取り組みについて話を伺いました。

— 国土交通省が提言したCARATSとはどんなものですか。

近年、アジア太平洋地域の経済発展には目を見張るものがあります。それに伴い、人や物の移動が活発になり、航空交通量も増加しています。2027年までには2005年に比べて航空交通量がおよそ1.5倍になるという予測もあります。さらに、これまでの航空機は大型機による大量輸送が主でしたが、中・小型機を高頻度で運航する方向へシフトしており、航空交通の増大に拍車がかかる傾向にあります。航空交通サービスが経済活動を支える基盤として不可欠な交通手段になっている日本でも、航空交通の増加に対応していかなければなりません。

しかし、日本の航空交通は現在でも非常に混雑している状態で、一朝一夕に増加に対応することは不可能なため、これまで以上に効率的な運航を行うための新しい技術、技術革新が必要になってきます。また、効率化だけでなく地球環境問題や旅客ニーズにも応えていく必要もあります。

こうした課題を解決するため、産官学が連携して長期的、計画的に推進していくための取り組みがCARATSです。

— CARATSの取り組みについて教えてください。

交通量の増大に対応するといっても、国土交通省航空局が単独でできることは限られています。そこで、JAXAや電子航法研究所(ENRI)などの研究機関、大学、エアラインやメーカーなどの産業界、防衛省や気象庁などの関連省庁とともに、CARATSを実現させるまでのロードマップを策定し、今後の取り組みについての意思統一を図っています。またCARATSに関わるさまざまなワーキンググループがあり、航空機運用方法の改善や新しい技術導入の方向性などについて検討しています。

こうした状況の中、2014年には陸域CPDLC^{※1}の導入が意思決定されました。また、2015年度内には空港CDM^{※2}や空対空監視、GBASなどに関連する施策が意思決定されるところです。こうした施策の導入が進んでいくにつれて、段階的に効果が現れてくるものと考えています。

— アメリカ、ヨーロッパとはどのように連携されていますか。

日本のCARATS同様、アメリカにはNextGen^{ネクストジェン}、ヨーロッパにはSESAR^{セザール}という長期計画がありま

す。どちらも、将来の航空交通量の増大や安全性の向上を見据えた技術革新を核とした計画です。航空機は、国内線ばかりではなく国際線もあり、諸外国との連携や情報の共有も重要になります。特にアメリカとはFIR(飛行情報区)^{※3}が隣接していますから、アメリカとの協調は非常に重要です。航空局では、年に2回FAA(アメリカ連邦航空局)との定期会合を開催し、技術的な情報交換や協力の在り方などについて意見交換を実施しています。

ヨーロッパに対しては、ヨーロッパ各国の管制機関が航空局を訪問される機会が多く、その際に意見交換などを行っています。

— JAXAのDREAMSプロジェクトは、CARATSの中でどのような役割を果たしているのでしょうか。

JAXAは、我が国唯一の航空機に係わる研究機関で、特に風や乱気流による航空機の挙動といった研究はJAXAでなければできません。JAXAにしかできないことで、CARATSを推進する上で技術的に大きく貢献していただきたいと考えています。

例えば、2013年度にCARATSで実施した、離着陸時に発生する後方乱気流を考慮した管

将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)とは

将来の航空交通量の増大や運航者、利用者の多様化するニーズに対応し、我が国の経済の成長戦略に寄与していくため、国土交通省が中心になって2010年9月に策定した長期ビジョン。学識経験者、運航者、研究機関、航空関連メーカー、関係省庁等による推進協議会によって、CARATS実現のための施策がまとめられたロードマップが作成された。

CARATSの2025年を想定した目標

項目	数値目標
安全性の向上	安全性を5倍に向上
航空交通量増大への対応	混雑空域における管制の処理容量を2倍に向上
利便性の向上	サービスレベル(定時性、就航率及び速達性)を10%向上
運航の効率性の向上	1フライト当たりの燃料消費量を10%削減
航空保安業務の効率性の向上	航空保安業務の効率性を50%以上向上
環境への配慮	1フライト当たりのCO ₂ 排出量を10%削減
航空分野における我が国の国際プレゼンスの向上	(国際会議の開催、国際協力の案件等で評価)

CARATSプログレスレポート2011-2013より

制間隔の短縮方式の検討では、DREAMSプロジェクトの検討結果をフィードバックしていただくことで、より効率的な運用を導入できる可能性が生まれています。後方乱気流が機体へ及ぼす影響のような研究は、航空機関連技術のエキスパートであるJAXAでしかできない研究であり、今後の航空機運用を検討する上で、非常に有効だと考えています。

— 航空業界に対してCARATSはどのような影響がありますか。

CARATSに関連する施策が航空業界に及ぼす効果は、大きく分けて三つあると思います。

まず、増大する航空需要に対応できることで、空港容量(離着陸および待機可能な機数の

※1 Controller Pilot Data Link Communication. 航空管制を行うための地上と航空機を結ぶデータリンクを指す。音声通信と比べて短い時間の処理が可能なので、通信処理の効率化が図れる。

※2 Collaborative Decision Making. 協調的な意思決定。航空運航に関連する関係者が、正確かつ最新の情報や状況認識を共有した上で、それぞれがより適切な業務上の判断を下す仕組み。

※3 Flight Information Region. ICAOが定めた、国ごとに航空交通業務を分担する空域。

※4 災害発生時などに救援航空機と地上の災害対策本部の間で情報を共有して、安全で効率的な運航管理をするシステム。詳しくは5ページを参照。

— JAXAに期待することは何ですか。

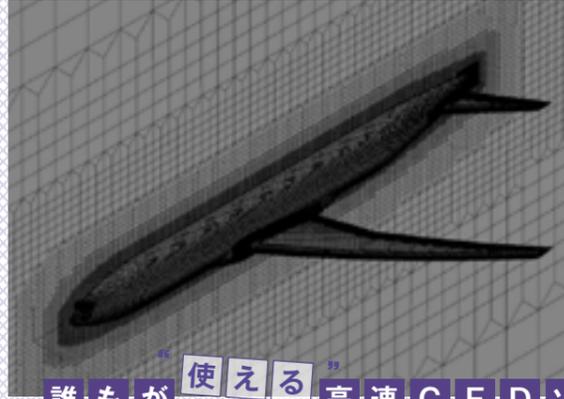
CARATSは航空機運航に関する取り組みですが、その中で航空機を効率的かつ安全に運航させるためには、風や乱気流が機体に与える影響について検討しなければならない場面が多くあります。こうした分野で、JAXAの強みを活かした支援を今後ともお願いしたいと考えています。

災害時に航空機の情報を共有できる「D-NEI^{※4}」のような研究は、人命救助や災害救援といった防災能力の向上に大きく寄与しており、その成果にも期待しています。

航空機機能の高度化と航空運航機能の高度化は、いわば車の両輪のように両方発展させていく必要があるものです。運航ではDREAMSプロジェクトと連携していますが、航空機の機能を向上させるための、高効率エンジンの開発や複合材研究、風洞実験技術やCFDを用いた機体の設計技術などの研究についても期待していきたいです。



HexaGridで生成した計算格子



航空機の周りの流れ場シミュレーション結果を、三次元プリンターによって出力した立体可視化模型



誰もが使える 高速CFDソフトを目指して

HexaGrid/FaSTARの挑戦

航空機の設計では、機体周りの空気の流れを調べて空力特性を知ることが重要です。航空機開発の黎明期から風洞を使った計測が行われてきましたが、コンピュータの高性能化に伴ってCFD(数値流体力学)が一般的に使われるようになってきました。

航空機と気流の関係を知る上で便利なCFDを誰でもが「使える」ツールにするため、JAXAでは自動格子生成ツール「HexaGrid」と高速流体解析ツール「FaSTAR」を開発しました。また、これらのCFDツールを広く活用していただくため、さまざまな取り組みも始まっています。

CFDのハードルを下げる HexaGridとFaSTAR

空気のような流体がどのように運動するのかを正しく導き出すためには、「ナビエ-ストークス方程式」など複雑な方程式を組み合わせる計算しなければなりません。これらの方程式を解く(いわゆる偏微分方程式の一般解を得る)ことは現在でもほぼ不可能です。

1960年代に登場したCFDは、コンピュータを使って複雑な方程式を近似的に解くことで、物体周辺の流れを解明する手法です。CFDにはいくつかの手法がありますが、一般的に機体や翼などの物体表面と周囲の空間を格子状に分割し、その中の空気の変化を簡略化した方程式を使って求めることで、物体全体における空気の運動や圧力変化などを近似的に算出します。格子を細分化するほど精密な結果が得られるようになりますが、計算量が大きくなり時間もかかります。1990年代に入り、多くの研究機関やメーカーでスーパーコンピュータの利用が進んだことで、実用的な速度でCFDが行えるようになってきました。

JAXAでは航空宇宙技術研究所(NAL)の時代から、航空機や宇宙機の空気の流れ・力を解析するためCFDを活用してきました。しかし、CFDを実行するプログラムを研究者自らが研究テーマごとに作成し使用していたため、他の人に利

用してもらうことは簡単にはできませんでした。「長年蓄積してきたCFD技術を活用し、使用のためのハードルを下げて、より多くの人ができるような実用的CFDソフトの開発に取り組み始めました」(青山剛史セクションリーダー)。

CFDのハードルを下げるために、二つの課題がありました。一つ目の問題は、計算格子の生成に時間がかかることです。CFDはその前段階として、解析する形状の三次元CADデータから、格子を作成しなければなりません。前述したように格子を細分化すれば、それだけ精密な解が得られます。主翼のように平面的で凹凸の少ない部分では、格子も比較的容易に作成できますが、複雑な形状や複数の部品で構成された箇所、機体の表面近くや翼と胴体の接合部分など、詳細に解析したい箇所はより細かく格子を切る必要があります。そのため、熟練のエンジニアでも格子を生成するのに1カ月ほどかかってしまうといえます。もう一つの問題は、CFDソルバー*の計算に非常に長い時間がかかることです。

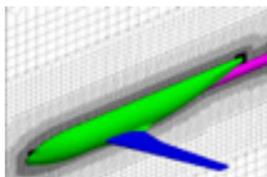
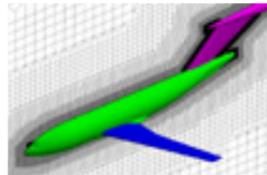
この二つの課題をクリアしたのが、JAXAが開発した自動格子生成ツール「HexaGrid」と高速流体解析ツール「FaSTAR」です。

HexaGridとFaSTARが高速で使いやすい理由とは

「HexaGrid」は、物体のCADデータといくつかの条件を与えるだけで、自動的にCFD解析が

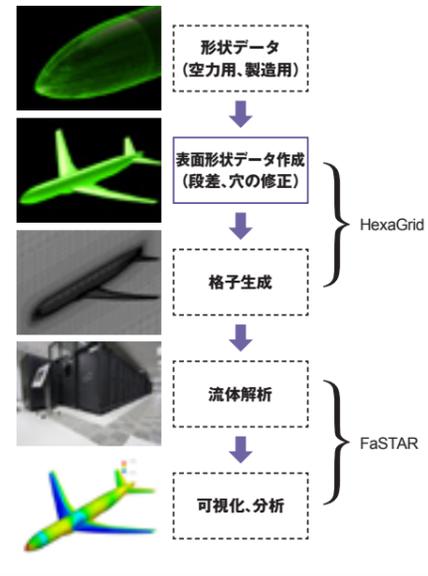
可能な格子が生成できます。長年の研究によって培われたノウハウを生かして、シンプルな直交格子と六面体を組み合わせることで「これまで1カ月かけていた作業を、30分以下で生成可能にしました」(石田崇研究員)。物体表面近くのようにより精度が必要な部分では、より細かい格子を生成できるようになっています。

格子を生成するためのCADデータは、その物体の形を正確に表したものではありません。隙間や重複、欠損など不完全な場合があります。HexaGridは、CADデータに多少の欠陥があっても格子を生成することが可能です。また、CADデータの一部を差し替えることで主翼の形を変えたり、あるいは風洞実験を模した計算で支持装置の配置や形状を変えたりなど、任意の部品の付け替えや取り外しが簡単にでき



風洞実験を模して支持装置も計算に組み込んだモデル。プレートを通じて支持した場合(上)と直接支持装置に取り付けた場合(下)の例

CFD解析の手順



徹底的にチューニングを行うことによって、さらなる高速化を実現しています。こうした工夫により、これまで市販のコードでは約1日かかっていた計算が、1時間以内でできるようになりました。これは世界最高のレベルです。

また、ソフトがいくら高性能であっても使い勝手が悪ければ、多くの人に使うことはできません。ユーザーインターフェースを工夫し、少ない入力作業で格子生成や数値計算ができるようにしています。インターンシップでJAXAに来た学生が、滞在する2週間



(写真左から)数値解析技術研究グループ 非常空力セクション セクションリーダー 青山剛史 非常空力セクション 研究員 橋本敦 非常空力セクション 研究員 石田崇 応用解析セクション セクションリーダー 村上桂一

のうちに自分が設計した航空機形状の格子を生成し、CFD解析して性能がどのくらいあるか答えを出すところまでできるほどです。

「FaSTAR」は、世界最高速を目指して開発した流体解析ソフトです。FaSTARを開発した橋本敦研究員は、「海外のCFDソフトを徹底的に調査して、使われている手法をうまく組み合わせ、最高のCFDソフトを目指しました」と語ります。FaSTARには、高速に計算するためのマルチグリッド法というアルゴリズムが採用されています。また、使用するコンピューターに合わせて

機能もあります。

FaSTARは汎用性にも配慮し、HexaGrid以外の他の格子生成ソフトで作成した格子データの形式を読み込むことが可能ですし、FaSTARの出力結果を複数の可視化ソフトでビジュアル表示させることもできます。また、独自の機能が必要になった場合にも、拡張が容易に行えるよ

う設計されています。

HexaGridとFaSTARはJAXA内で幅広く活用されており、さまざまなプロジェクトの課題解決に貢献しています。また、両ツールの開発を加速する役割を果たした「デジタル/アナログ/ハイブリッド風洞(DAHWIN)」にも使用されています。

現在のFaSTARは、空気がきれいに流れている状態であれば高品質なデータが得られますが、失速時など空気が剥離しているような非常状態の計算はまだ困難です。さまざまな状態での解析を、実用的な速度で実現できるように、改良を続けていく計画です。HexaGridについても、より正確に形状を再現したい部分のみ、あえてマニュアルで生成できるようなカスタマイズ機能を検討しています。

さまざまな場面で活用され始めたJAXAのCFD技術

FaSTARが開発される中、最初に名古屋大学から「授業で使用できないか」という要望がありました。それまでは大学でのCFDの授業としても座学が主で、実習できる機会はあまりなかったそうです。

「日本航空宇宙学会と共同で航空教育支援フォーラムを立ち上げ、さまざまな場で教育現場での活用例を紹介したところ、多くの学校から興味を示していただき、現在(2015年3月)では15の大学と2つの高等専門学校でこのソフトを使用いただいています」(村上桂一セクションリーダー)。スーパーコンピュータを利用できない教育現場向けに、パソコンで動作するソフトも開発しました。FaSTARを授業に取り入れることで、学生が最先端の研究成果に基づく技術に触れられる「実践的」な機会を提供できることは、将来、日本の航空産業を担う人

材の育成にも貢献することでしょう。

JAXAのCFDソフトの展開は、教育支援や航空宇宙分野にとどまりません。教育機関以外にも使えるよう、商用ソフトへのライセンス供与が始まっています。

航空宇宙分野以外では、政府の「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)」において自動車の革新的燃焼技術を研究開発するプログラムに参加し、エンジン内の燃焼のメカニズムの解明にこの技術を活かしていきます。また風力発電の高効率化のため、風車周りの空気の流れ解析にも適用されています。

これまで主に航空宇宙分野で利用されてきたJAXAのCFD技術は、航空機やロケットのような比較的流線型のものを高精度で解析できるよう改良されてきました。しかし空気の流れ・力を解明できるツールは、航空宇宙分野にと

どならずさまざまな分野で必要となる基盤技術です。JAXAは、世界最高性能で使いやすいHexaGrid/FaSTARで、航空宇宙をはじめとするさまざまな産業分野、そして人材育成に貢献していきます。



パソコンで動作する教育現場向けのCFD解析ソフト「CL Pack」

* CFDソルバー(Solver): 流体力学の方程式(ナビエ-ストークス方程式)を解くためのソフト。各格子の密度、速度、エネルギーなどの変数からなる巨大な連立方程式を反復法で解いている。



「高校生の時に見た実験が 複合材料研究の道を選んだきっかけに」

機体システム研究グループ 超音速機セクション 研究員
よしやす
平野義鎮

1979年生まれ。2002年3月東京工業大学機械宇宙学科卒業。2005年3月東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。JAXA宇宙航空プロジェクト研究員を経て、2008年宇宙航空研究開発機構入社。現職に至る。複合材技術研究センター、D-SENDプロジェクトチーム、航空技術実証研究開発室（FEATHERチーム）併任。

JAXA入社後、最初に携わった研究で設計を担当した、複合材製の実験用翼モデルの前に。

—— 複合材料の研究をされているということですが、具体的にはどのような研究なのでしょうか。

軽くて丈夫な材料・構造であることが非常に重要な航空宇宙分野で、複合材料は非常に優れた特性を持った材料です。その複合材料の特性をうまく引き出せるように設計する「最適設計」が私の主な研究分野です。CFRP(炭素繊維強化プラスチック)のような複合材料は炭素繊維と樹脂からなるシート状の材料を何層も重ねたものですが、航空機に適した性能を持たせるためには、繊維の方向や部材の形状など最適な設計をする必要があります。またCFRPは電気や熱をあまり通さないため、従来の金属材料とは異なる新しい問題が出てきていて、例えば飛行中に雷がCFRPの機体に落ちると大きな損傷が発生してしまうことがあります。雷のような大きな電流や熱が加わっても大きな損傷を起こさない、安全な構造を実現するための研究もしています。

—— D-SENDプロジェクトにも参加されていますね。

D-SENDプロジェクトに使用する機体は、複合材料ではなく金属のアルミで作られています。私は機体の構造設計を担当しました。将来に向けJAXAで研究している次世代小型超音速旅客機では、複合材料を使うことが検討されていて、そちらの構造設計の検討も担当しています。次世代小型超音速旅客機の機体は、抵抗が少ない薄い翼やソニックブームを抑えるための複雑

な曲面形状が求められます。それは材料や構造には大変厳しい条件なのですが、その中でも航空機として丈夫で軽くなくてはなりません。

複合材料は、航空機や宇宙機の構造材料としてはもちろん、さまざまな分野で注目されていて、JAXA内でも航空本部に限らず、さまざまな本部から複合材料をこんな目的に使えないかといった質問や、意見を求められたりします。JAXAは横のコミュニケーションが盛んで、他の研究をされている方々と意見交換していると新しい発想が生まれることもあり、非常に刺激になります。

—— 航空宇宙分野を目指したきっかけは何かですか。

そもそも航空宇宙がとても好きな子どもでしたが、この分野に進んだ大きなきっかけの一つは、高校時代に「サマー・サイエンスキャンプ」で、JAXA(当時は航空宇宙技術研究所)のプログラムに参加したことです。宇宙往還機を想定した耐熱材の高温試験を見学させてもらった時、真っ赤に光る耐熱材を見ていて、研究者の方から「世界最高記録を更新している、まさにその瞬間だよ」と聞いたことが、強く印象に残りました。

もう一つのきっかけは、「鳥人間コンテスト」に参加したことです。私が設計担当としてチームに参加した当初は複合材料のパイプを手作業で作っていたのですが、なかなか品質の良いものができず、結果を残せませんでした。大学の研究室や企業に複合材料のことを聞きに

いったり調べたりして、軽量な複合材料を使うようになったことで、優勝できるチームになりました。その経験から、もっと複合材料を突き詰めて研究したいと考えました。

—— 今後取り組んでいきたい研究テーマはありますか。

これまでの複合材料は、金属材料の単なる置き換えという使い方が大半でした。最新の航空機や宇宙機では複合材料が多く使われていますが、構造は金属材料の時と根本的に変わっていません。しかし、複合材料の特性に合った、複合材料ならではの形状・構造があるはずと考えています。この3月からドイツのエアバス社に1年間留学する予定なのですが、ドイツは複合材料の製造技術が進んでいて学ぶこともたくさんあり、新しいことへチャレンジできそうです。

—— 航空宇宙分野を目指す後輩たちに一言お願いします。

興味を持ったことに向かって、まっすぐ進むことが一番大切だと思います。JAXAで活躍している研究者の方は、皆さん光るものを持っています。それは本人が本当に好きなことをやっているからです。自分が本当に面白いな、興味深いと思うことを一所懸命に続けていれば、チャンスはおのずと近づいてくるものだと思っています。

今回は複合材料の研究に取り組んでいる平野義鎮研究員に、これからの航空機・宇宙機に欠かせない複合材料の分野に進んだきっかけについて聞きました。



「振動で航空機が破損する!? フラッター現象って何だろう？」

ある高度を特定の速度で飛行中に、航空機の機体や翼で起きるちょっとした振動が、どんどん大きくなっていく現象を「フラッター(Flutter)」と言います。発生したフラッターをそのままにしておくと、機体を構成する素材強度の限界を超えてしまい、最悪の場合、破断して墜落する可能性があります。試作段階の航空機がフラッター現象によって空中分解してしまった例もあるほど、航空機にとっては危険な現象です。フラッター現象はどのように発生し、どのようにすれば防げるのでしょうか。

フラッター現象を引き起こす3つの力

フラッター現象と似たような物理現象に、「共振」と呼ばれる現象があります。これは、それぞれの物体が持つ特有の振動数(=固有振動数)で加振すると、振幅が急激に増大する現象です。一方フラッター現象は、翼などの構造物が振動することで生じる「慣性力」(振動し続けようとする力)、構造物が変形することで発生する「弾性力」(元に戻ろうとする力)、構造物の変形により変化する周囲の気流が作る「空気力」(構造物にかかる空気力の)の組み合わせによって引き起こされる現象です。共振もフラッターも、振動の幅(振幅)が大きくなる点では似た現象ですが、まったく異なる現象なのです。

航空機の速度が遅い時には、発生した振動は空気力に抑えられて、時間とともに徐々に小さくなり(減衰)ます。しかし、速度が速くなると逆に空気力が振動を助長するように作用し、振動がどんどん大きくなってフラッターが発生します。フラッター現象が発生する速度を、フラッ



ター限界速度と言います。

航空機ではありませんが、1940年にアメリカで起きたタコマナローズ橋の崩落も、フラッター現象が原因と考えられています。

フラッター現象をとらえた動画より。風洞の気流の乱れにより振動した後に破断した翼の様子

フラッター現象の発生を防ぐには

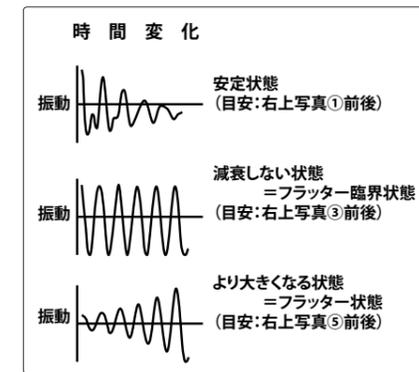
実際に飛行する航空機には、フラッター現象が起きないように設計することが求められます。翼の内部構造を頑丈にしたり、機体外板を厚くしたりすれば、機体の剛性は向上しフラッター限界速度も高くなりますが、同じ材料で剛性を上げると重くなり、航空機にとっては燃費が悪くなるなどの問題も生まれます。そのため、航空機の設計時には、フラッター現象の発生条件を予測することが重要になるのです。

JAXAでは、フラッター風洞などの試験設備

での模型を使った実験やコンピューターによるCFD(流体数値シミュレーション)を用いて、どのような条件でフラッター現象が発生するかの解析を行っています。

航空機が型式証明[®]を取得する際にも、決められた姿勢の範囲で、速度が15%速くなくてもフラッター現象が発生しないことをシミュレーションなどで証明する必要があります。このようにして、航空機の安全が担保されるので、安心して乗ることができるのです。

※新しい航空機の設計が、安全性・環境適合性の基準を満たしていることを証明するもので、日本においては、国土交通大臣が発行する。



気流の乱れによる翼変形量の時系列表示例

Flight Path Topics

MuPAL-αで精密曲線進入の実証実験を実施



仙台空港のMuPAL-α

2014年12月15～19日に、実験用航空機「MuPAL-α」による、GBAS^{※1}を用いた精密曲線進入の実証実験を、仙台空港で行いました。

ますます増大する空港の離発着量に対応するためには離着陸の間隔を短くする必要がありますが、空港

周辺の乱気流などや空港周辺の住民への騒音低減のためには、曲線経路など柔軟な進入方法を可能にする技術が求められます。

今回の実験では、電子航法研究所(ENRI)と協力し、ENRIが仙台空港に設置しているGBASを利用して着陸進入経路を伝えるTAP^{※2}データを地上からMuPAL-αへ送信し、MuPAL-αはその経路に沿って、フライ・バイ・ワイヤ機能を用いた模擬自動操縦で直線進入、および曲線進入を行いました。今回の実験の結果は、DREAMSプロジェクトで飛行軌道制御技術として開発した自動操縦プログラムやコックピット内の表示装置の検証に活かされます。なお、本実験の実施にあたっては、ENRIをはじめ東京航空局、同仙台空港事務所、航空大学校他の皆さまの多大なご支援をいただいたことを付記します。

※1 GBAS=Ground-Based Augmentation Systemの略。詳細は9ページ参照

※2 TAP=Terminal Area Pathの略。詳細は9ページ参照

Lamb波による非破壊検査手法の実証実験をMaVESで実施

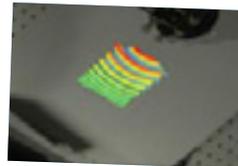
航空機の損傷検査を広範囲で効率的に可能とするために、Lamb波による非破壊検査手法の研究を、芝浦工業大学および北海道大学と共同で実施しています。

非破壊検査の方法として従来でも超音波を利用した方法はありませんでしたが、一度に検査できる範囲が狭く、また機器を検査対象の物体に接触させる必要もあるため、精度、効率性に課題があります。

2014年9月～12月に行った実験では、物体に直接接触せず、レーザーを使って物体に振動を加え、Lamb波という超音波弾性波を発生させ、弾性波が物体を伝播する様子をJAXAのMaVES^{※c}(小型多軸振動非接触自動計測システム)で計測する実験を行いました。

Lamb波は、平板や棒状構造の物体を、減衰が少なく長距離を伝播する特性があります。しかしこのLamb波の伝播を面的に計測・可視化することは、従来の設備では時間的・能力的制約から困難でしたが、MaVESを活用することによって、短時間で伝播の様子を可視化できることが確認できました。

今後は、さまざまな種類の損傷に対してこの方法を適用して損傷検知の実証を行っていく計画で、将来は航空機の損傷検査へ適用し、整備(検査)効率の向上へ貢献することを目指しています。



Lamb波の計測例



振動計測するMaVES-c

※物体の振動をレーザーで自動計測するシステム(Flight Path No.3参照)

二つの研究開発プロジェクト「aFJR」「FQUROH」始動

2015年1月から、aFJRとFQUROHの2つの研究開発プロジェクトがスタートしました。

aFJR(高効率軽量ファン・タービン技術実証)プロジェクトは、ジェットエンジンの「ファン」「低圧タービン」について、軽量で高効率化する技術を開発、実証するプロジェクトです。低燃費、低騒音に対応するため、エンジンは高バイパス比化が進みさらに大型になると予想される中、国内のエンジンメーカーが実績豊富な「ファン」「低圧タービン」の環境適合性を向上する技術を開発します。(Flight Path No.2参照)

FQUROH(機体騒音低減技術の飛行実証)プロジェクトは、航空機の機体から発生する騒音を低減する技術を開発・飛行実証するプロジェクトです。騒音の問題は、空港周辺の住民への被害はもちろんのこと、航空機に要求される騒音規制は国際的に厳しくなっており、騒音の大きさが離発着料が決まる空港もあるなど、航空会社の運航コスト上でも重要な課題になっています。航空機が空港に着陸進入する際は、エンジンよりも機体から発生する音の影響が大きいことが分かっており、FQUROHでは特に大きな音を発生している高揚力装置(フラップ、スラット)、降着装置(脚)の低騒音化技術を開発します。(Flight Path No.1参照)

aFJR、FQUROHプロジェクトでは、技術実証を行うことで、最終的にそれぞれの技術を日本の航空関連企業が利用可能なレベルまで高めることを目指しています。次世代航空機、航空エンジンを開発する際の優位技術となり得るaFJRとFQUROHによって、JAXAは日本の航空機産業の国際競争力強化に貢献します。

高高度滞空型航空機を想定した高空過給エンジンの運転試験を実施

2015年3月、JAXA調布航空宇宙センターにおいて高空過給エンジンの運転試験を実施しました。

航空機用のエンジンとしては、小型で高出力なガスタービンエンジンを用いることが一般的ですが、JAXAでは長時間滞空が可能で無人航空機のエンジンとして、レシプロエンジン(ディーゼルエンジン)を検討しています。レシプロエンジンはガスタービンエンジンよりも重いものの、燃費が良いという特徴があり、長時間の飛行でも搭載燃料が少なく済むという利点があります。

今回の実験では、空気の薄い高高度での飛行を想定し、エンジンへ送り込む空気の密度を上げる2段の過給器(ターボチャージャー)を追加した軽飛行機用のレシプロエンジンを試作し、高高度を再現した気圧の低い環境での運転試験を行いました。

今後、今回の試験やシミュレーションで得られたデータにより、検討中の高高度滞空型無人航空機用として十分な出力が得られているかどうか検証を行います。



レシプロエンジンを使った高空過給エンジンの試験装置

