

JAXA 航空マガジン



# FLIGHT PATH

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

2019  
WINTER

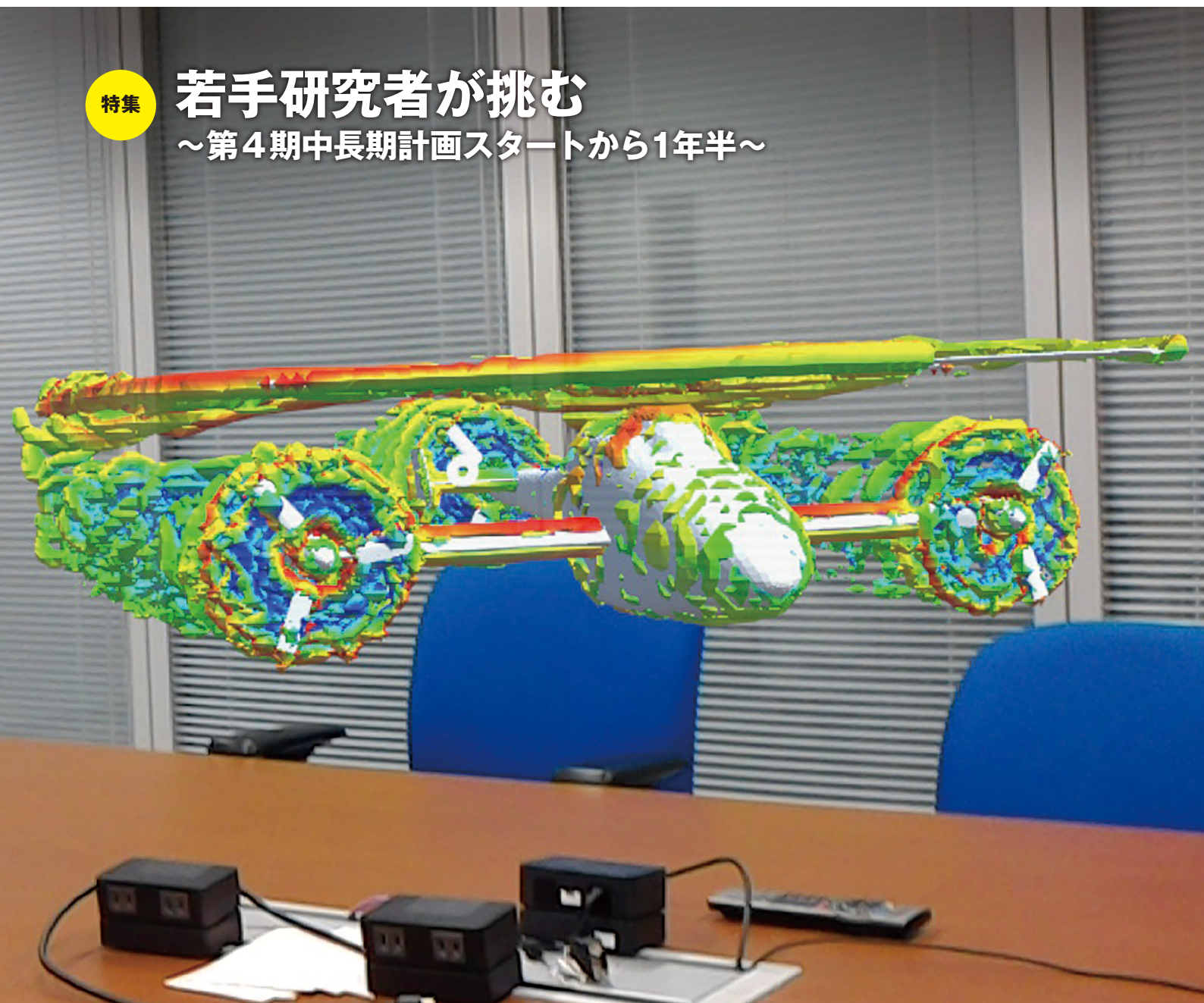
No.24

航空技術部門  
[www.aero.jaxa.jp](http://www.aero.jaxa.jp)

特集

## 若手研究者が挑む

～第4期中長期計画スタートから1年半～



2 特集

### 若手研究者が挑む

～第4期中長期計画スタートから1年半～

B 航空技術部門へのメッセージ

統合解析は、まさに世界が目指している目標  
それに一歩先行しているのがJAXAの強み

10 ソラの技

「高速回転翼機編」

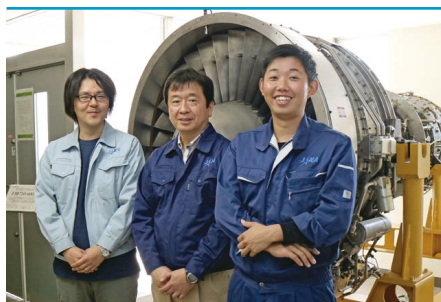
11 リレーインタビュー

スマートフライトで空の交通の最適化を目指す

# 若手研究者が挑む

～第4期中長期計画スタートから1年半～

FLIGHT PATH No.22でJAXA航空の第4期中長期計画に込めた考えを語った戦略ワーキンググループメンバー。この考えを現実の「技術のかたち」に仕上げ、国内外航空産業につないでいくためには、若手研究者の挑戦が鍵を握っています。主な4事業分野の最前線で活躍する若手研究者、彼らをまとめ現場をけん引する中堅研究者に登場してもらい、計画スタートから1年半を経た現状、研究開発という仕事への向き合い方などを語ってもらいました。発言を改めて聞いたマネージャーの一言コメントも紹介します。



テーマ

## コアエンジン技術実証 (En-Core)プロジェクト

### プロジェクト化でスケジュール がタイトになった印象

**山本** アンコア En-Coreは2018年8月からのプリプロジェクトを経て、2019年4月にプロジェクト化しました。それから8カ月が経ちましたが、今の気持ちを教えてください。

**鈴木** プロジェクトという実感はあまりなくて、今までの研究を続けている感じです。もちろん成果を出すというプレッシャーはありますが、それは他の研究でも同じことです。

**加藤** 私も同じです。プロジェクト化する前からずっと燃焼器の研究を続けているので、特に気持ちに変化はありません。プレッ

シャーというより、プロジェクト化で終了時期が明確になって、試験計画などのスケジュールがタイトになったという印象です。

**山本** En-Coreプロジェクトはこれまでに実施してきたグリーンエンジン技術の研究などで開発した燃焼器やタービンの技術をさらに発展させるものなのでそういう印象となっているのでしょうか。ですが、プロジェクト化したことで変化もあったと思います。

**鈴木** 予算が大きくなりました。エンジンの研究では、供試体(試験のための試作品)にとっても費用がかかります。高温高圧に耐える要素を扱うEn-Coreプロジェクトではなおさらです。予算が増えたことで、供試体製作の申請も通りやすくなりました。一方で、En-Coreプロジェクトは、各々の要素技術を研究するだけでなく、それを組み合わせたシステムズエンジニアリング的な面も強く求められることがあり、安全管理や品質管理といった部分にも

これまで以上に注意しなければなりません。

**加藤** 新しい設備が導入されたことや、既存設備も高温高圧に対応する改修ができ、よりエンジンの実環境に近い環境下で試験できるようになったこともプロジェクト化の恩恵かと。新規導入された設備、改修された設備を外部的の方々に使ってもらえるようにすることも、JAXAの使命だと思います。

### メーカーが振り向く 高い開発レベルを目指して

**山本** FJR\*以降、残念なことに日本のエンジン技術において大規模な研究プロジェクトは行われなくなってきました。En-Coreプロジェクトは、国際市場で競争力のある航空機エンジン技術の確立が目的の一つですね。

**加藤** 技術的には非常に高い目標だと思いますが、これまで蓄積した技術を活用していけば、届かない目標ではないと思います。

**鈴木** 技術成熟度レベル(TRL)でいえば、JAXAの一般的なエンジン研究はレベル3～4程度ですが、En-Coreプロジェクトはレベル4～5、つまりエンジン実証の一手手前を目指しています。そのくらいのレベルでなければ、メーカーに振り向いてもらえません。高温高圧の要素に取り組むのは相当ハードですが、堅実にプロジェクトを進めていければと思います。

**山本** En-Coreプロジェクトは、JAXA航空

国際市場で競争力のある航空機エンジン技術の確立がEn-Coreプロジェクトの目的



**山本 武**

コアエンジン技術実証(En-Core)プロジェクトチームサブマネージャ

※：実験用ターボファンエンジンFJR710



高温高圧要素に取り組むのは相当ハードだが、堅実にプロジェクトを進めたい

### 鈴木 正也

コアエンジン技術実証 (En-Core) プロジェクトチーム 主任研究開発員

技術部門の中でもメーカーと接する機会がもっとも多い部署だと思います。民間との違いを感じたりしたことはありますか。

**鈴木** 私の印象としては、メーカーは実利、すぐに社会に出る研究をしたい。JAXAも同じ部分はあるのですが、どちらかといえば、その先を見据えた研究をしたい。やりとりの中で、そうしたギャップを感じることはあります。

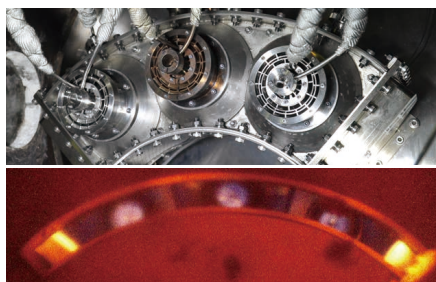
## 個人研究もプロジェクトを視野に入れて取り組む

**山本** 二人ともEn-Coreプロジェクト全般に関わっていますが、並行して自分のやりたいこと、あるいは自分の研究はできていますか。

**加藤** 何とか時間を絞り出して、自分の研究にも取り組んでいます。テーマは、エンジン実

環境下(高温高圧下)でのレーザー計測技術の確立です。高温高圧環境下では、火炎と周囲ガス間に急な温度勾配があるために光の屈折率が変わってしまい、ぼやけた燃焼器内の画像しか撮れない難しさがあります。それを正確に撮って知り得た独自の情報をプロジェクトの技術開発に役立てたいですね。

**鈴木** 私はEn-Coreプロジェクトを含め、部署を三つ兼任していて、自分の研究をする時間が、全くないです。外注ばかりで自分の手を動かさないというのは嫌ですし、やりたいこ



燃焼器(写真上)内部における燃焼現象の様子(写真下)

とは山ほどありますが、手が回らないのが悩みです。

**山本** 時間がない中で工夫しようと苦労している姿は見ています。プロジェクトは2~3年目ぐらいまでが要素技術の研究開発、その後は実証が中心のフェーズに移行します。できれば自分の研究も活かしてもらい、一緒にプロジェクトを進めていきたいですね。

自分の研究をプロジェクトへ活かしたい



### 加藤 昂大

コアエンジン技術実証 (En-Core) プロジェクトチーム 研究開発員

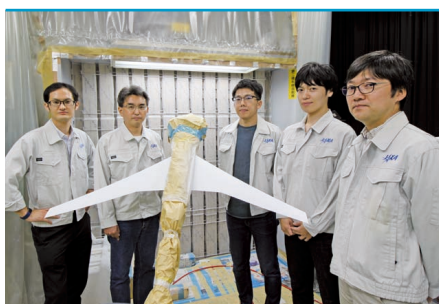
En-Coreプロジェクトについて詳しくは→



「それぞれの研究の方向性とプロジェクトの目指すところに大きな違いがないとの話に少し安心しました。この機会をパートナー企業との協力関係強化や、将来の研究の種の発掘に活かすという視点で取り組んでくれることを期待します」

### 山根 敬

コアエンジン技術実証(En-Core)プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ



テーマ

## 統合シミュレーション技術(ISSAC)

現在の技術では難しい巡航以外の飛行状態をシミュレーションする

**中北** アイザック ISSACは、模型などを用いた従来の

航空機設計を、地上試験、飛行試験によって精度検証したシミュレーション技術によるバーチャルベースに変えていく試みです。実現するとバーチャルベースの航空機設計に一步近づきます。ISSACにはバフエット、フラッター、水跳ねなどの重点領域があり、計算と実験の専門家混成グループで研究を進めています。

**津島** 私は空力弾性という分野で、フラッターの解析に取り組んでいます。フラッターとは翼が飛行中に自励振動する現象で、昔はこれで墜落する航空機もありました。これを風洞試験で再現するのはとても難しく、高価な模型を使い、壊さないようフラッター寸前の臨界状態で風洞試験を続ける必要があります。解析と同時に3Dプリンターを駆使した安価な模型製作技術を開発していて、いかに安くたくさん壊すか(笑)というミッションに

取り組んでいます。

**石田** 私はバフエット現象を研究しています。ある特定の条件下で機体表面の空気が乱れて機体に振動を発生させる現象で、その現象理解と抑制の方法を探っています。通常の飛行状態では起きにくい現象ですが、これを解決できないと完全なシミュレーションはできません。

**窪田** 雨天での離着陸の際、滑走路にたまった雨水が跳ねて機体やエンジンに影響

メンバーの思いの強さで、ISSAC当初の計画を超える成果に期待

### 中北 和之

空力技術研究ユニット 研究領域主幹




しかねません。私はその影響を予測するための数値解析に取り組んでいます。航空機を市場に出す上で水跳ねの影響評価は必須ですが、メーカーでもほとんど研究例がありません。萌芽的な研究なのでISSACのテーマに選ばれた時は、正直「え、いいの?」と感じましたが、別の研究で用いた解析手法をこの研究で活かせるので、感謝しつつ取り組んでいます。

**古賀** 私は窪田とともに水跳ねの研究に取り組み始めましたが、解析ツールを開発する上で重要な高精度の検証データを取るプレッシャーを感じています。どのような実験データが必要かというところから数値解析と実験とでしっかり連携しなければなりません。窪田とは同期入社ということもあり、うまく進められていると思います(笑)。

メーカーの開発現場で「なくてはならない」ツールを作りたい

**石田 崇**  
数値解析技術研究ユニット  
研究開発員



## 違う畑の人材とアイデアを出し合う醍醐味

**中北** ISSACでは数値解析と実験など、自分の研究する畑とは違う専門家との連携が重要です。取り組みの中で、どのような部分にやりがいとか楽しさを感じますか。

**石田** ISSACに参加して実験に関わるようになり、数値計算の検証に必要な実験デー

メーカーでもほとんど例がない新しい流体解析の技術を機体開発に活かす

**窪田 健一**  
数値解析技術研究ユニット  
研究開発員



タ取得がいかに大変か身をもって経験しました。今は取れるデータと取れないデータが分かかってきて、実験的な視点も養われてきたと思います。

**窪田** 水跳ねの研究もゼロからの取り組みで、どのようなデータが取れるかを実験チームと議論を重ねながら、装置を作るところから一緒に進めています。

**古賀** いろいろな人とのコミュニケーションの中で新たな気付きがあります。現在、水跳ね研究は試行錯誤の状態ですが、アイデアを出し合いながら進め、実験がうまくいくとハッピーです。

**津島** 私の専門は日本でほとんど取り組まれていなかった分野ですが、その分、自分が支えなければなりません。流体だけでなく機体のことも学べ、実際の航空機作りにつながっていく点にやりがいを感じています。

**石田** JSS(JAXAスーパーコンピュータシステム)など豊かな計算機設備を駆使でき、保有するレファレンスデータにも直ちにアクセスできるのは、数値計算に関わる者として幸せです。パフェットの解析は世界的にも難しいテーマで、JAXAの数値解析のいわば一丁目一番地と捉えています。JAXAが培ってきたノウハウを活かして現象の理解に取り

組めるのは大きな醍醐味です。

## 航空産業の発展をサポートする手法やツールを成果に

**中北** まだ計画はありませんが、多分野統合、異分野連携から全く新しい技術が生まれることも考えられます。

**津島** 以前いたアメリカは航空機が身近で、学生にも大手メーカーとのコラボレーションなど実機につながる研究の道がありました。日本国内だと少ないです。ISSACに関わって、実機や航空産業の開発力アップに寄与するという、航空研究者としての夢がかなうと感じています。今後は空力弾性の解析技術に3Dプリンターの技術をコンバインして、より複雑な解析が可能になる新しい手法を見たいです。

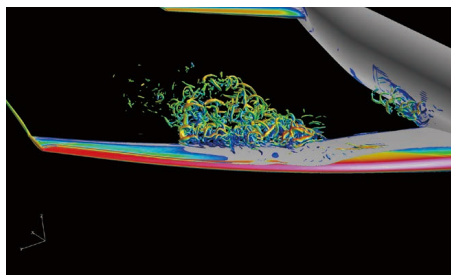
日本であまり取り組まれていない空力弾性で新しい手法を見たい

**津島 夏輝**  
構造・複合材技術研究ユニット  
研究開発員

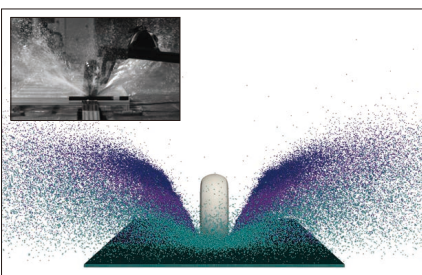


**石田** 現在は高速に流体を解析するプログラムである「FaSTAR」でJSSを使っても、計算時間が数週間かかる場合があります。私は新しい手法での高速化を考えています。ISSACの範囲にとどまらず、「なくてはならない存在」と言われるような、使いやすく優れたツールを作りたい。例えば航空機メーカーに「JAXAの素晴らしい技術があったからこれできた」と言ってもらえる、そういう出口を目指して頑張ります。

**古賀** ISSACで多分野統合の研究としての可能性を感じています。いろいろな分野に関わることで、視野を広げ多角的な視点を持ち、自分の研究に活かす。ゆくゆくは大学時代に研究していた極超音速機や地球と宇宙を結ぶ機体へも挑戦したいですね。



主翼で発生するパフェット現象のメカニズムを可視化



飛行機のタイヤによる水跳ねの走行試験(図左上)と数値シミュレーションの比較

**窪田** 水跳ねを含め、航空機メーカーがコストをかけにくいけれども市場に出す上で重要

ISSACで  
多分野統合の研究としての  
可能性を感じる

## 古賀 星吾

空力技術研究  
ユニット  
研究開発員



な分野って結構あると思います。JAXAは研究に投資できる機関ですから、そうした分野での成果で航空産業の発展をサポートしていきたいです。例えば再使用ロケットの液体燃料挙動解析や宇宙往還機の着水解析など、航空分野を超えた応用もできればさらにいいですね。

「ISSACのロゴ（右図）は、3色で表された多様な能力を持つ“人材”が手を取り合って協力する“多様性を活かした統合”を表現しています。この理念を現場でも実践してくれていることは、この上ない喜びです」

**青山 剛史** 数値解析技術研究ユニット ユニット長

統合シミュレーション技術に  
ついて詳しくは→



テーマ

## 超音速旅客機

### “速い”飛行機への思い

**中** 皆さん学生時代から超音速機に関連する研究をしていますが、なぜ超音速機を選んだのですか。今も超音速機の研究が続いている、その熱意はどこから来るのでしょうか。

**赤塚** 私は飛行機の研究を始めてから初めて飛行機に乗ったのですが、初搭乗でフランスまで10時間以上もかかり、とてもつらく感じました。乗り物としては、まだまだ開発の余地があると感じました。より多くの人に飛行機を使ってもらうために、もっと速く快適な機体であればと思います。

**上野** 速いものが好きだったから、超音速機や極超音速機を研究してきたという感じですね。子どもの頃、近くに飛行場があったこともこの道に進んだ理由の一つです。

**湯原** 私は超音速機や速い飛行機の特

徴的な流線型が好きで、自分で航空機の形が決めるようなポジションにいられたらと思っています。

**中** 超音速旅客機ができれば世界はどのように変わるか、自分の研究で社会をどう変えていきたいかといったビジョンはありますか。

**上野** 人とモノの移動が、だいぶ楽になるのではないのでしょうか。海外製品がすぐ入手できたり、海外旅行も楽になったりするでしょうね。コンコルドは、大西洋は横断できても燃費が課題で太平洋を横断できませんでしたから、飛行可能な距離も広げる必要があるでしょう。

### 静かな超音速機が飛ばせる可能性を示す

**中** 米国ではブーム社やエアリオン社などのベンチャー企業が登場し、2020年代中頃に民間超音速機の実用化を目指しています。また、国際民間航空機関(ICA)でも、超音速機のソニックブームと離着陸騒音に関する国際基準策定の議論が進められています。このような状況を踏まえ、JAXAはどのようにすべきと考えていますか。

**上野** コンコルドから時間が空いていますし、技術が確立してから実際に運用されるまでのスパンも考慮すると、超音速旅客機の実用化はもう少し先かなと思っています。コンコルドの焼き直しならすぐにでも飛ばせるでしょうが、私たちはコンコルドの先、低騒音化や低抵抗化の実現を目指さなければなりま

**中北** 関わるメンバーの思いの強さを推進力にして、統合シミュレーションがどんどん進化してISSAC当初の計画を超える成果を出せるよう期待しています。

せん。もう少し時間が必要でしょう。

**赤塚** 静かな超音速旅客機が成立する可能性を示すことが大事だと思います。私の研究は離着陸時のエンジン騒音の低減や、空港周辺の騒音を予測・評価することですが、超音速旅客機でも空港周辺での騒音を許容されるレベルに抑えられるという可能性を示すことが、市場を拓く上で重要と思います。

**上野** 私の研究は超音速旅客機のプロトタイプ設計ですが、これをきちんと完成させることにこだわりを持っています。できれば、事業の目標を超えるような、いろいろな低抵抗／ソニックブーム低減機体の形状を示せればと思います。

**湯原** 私は実証機(S4TD)の機体設計を行っている関係で、国内外のメーカーの方との交流が増え、視野が広がったと感じています。そういった交流から新しい技術がパッと出てくる気付きにつなげたいです。

**中** JAXAでは1990年代後半から超音速機の研究開発を始めました。次世代超音速機の課題である経済性と環境適合性向上のため、NEXST-1とD-SENDの二つのプロ

技術や知見をメーカーへどう受け渡すかがポイント



## 中 右介

航空システム  
研究ユニット  
主任研究開発員

プロジェクトを行いました。湯原さんはD-SENDに携わりました。

**湯原** 私はD-SENDの試験で、ソニックブームの計測を担当しました。一発勝負のデータを取るために、マイクの配置をとことん工夫するなど、苦労した記憶があります。D-SENDの成果はICAOの基準づくりにも反映されていて、海外でも高く評価されています。国際市場でイニシアチブをとるには、今後も実証実験などを継続していくことが大事だと思います。



メーカーだけでなく、大学などにも仲間を増やしたい

### 湯原 達規

航空システム  
研究ユニット  
研究開発員

## 広く使ってもらえる 超音速旅客機技術を

**中** メーカーとの関係では、『JAXAはここまでやったから、後はよろしく』と言って技術を渡されてもメーカーは困るでしょうし、そこは苦労しているのではないのでしょうか。

**湯原** ゼロから作り出すよりも、コンコルドのように飛行実績のある航空機や戦闘機などをプロファイルして、そうした機体に手を加えてソニックブームを低減させることができれば、メーカーにとっては一番かもしれません。

**中** 皆さんの研究がどのように活かされてい

飛行可能な場所、航続距離を  
広げる必要がある

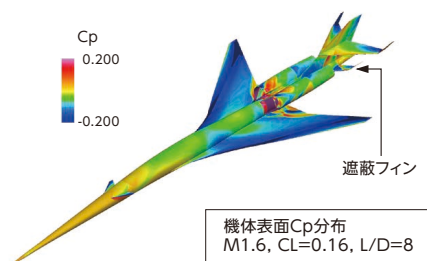
### 上野 篤史

航空システム  
研究ユニット  
研究開発員



くのか、どんな思いで研究されていますか。

**湯原** 仲間を増やしたいと思っていて、メーカーの方と一緒に実証機設計をして、私たちの持っている技術をメーカーに受け取ってもらいたいという思いがあります。可能であれば、大学まで普及できたらいいなと思います。



JAXAが検討する静かな超音速機イメージの一つ。インテークで発生する強い衝撃波(赤色で示したところ)が地面に伝播しないよう主翼で遮蔽するなど、低ブーム化を考慮した機体形状を目指している

**赤塚** いろいろな人に広く使ってもらえる技術になればと思います。超音速機は、超音速固有の技術だけでなく、通常の旅客機とも共通する技術や課題もあります。F-1の技術が市販車にも適用されることがあるように、超音速機の技術が超音速機以外の機体にも反映されるといいですね。そのためには、メーカーや大学の方を含め、いろいろな人に関わってもらわなければならないと思います。

**中** 私たちの技術が今後の旅客機や将来の超音速機につながるような研究開発や飛行実証等を行っていきたいですね。

超音速機の技術で将来の  
いろいろな機体の可能性を  
上げられれば

### 赤塚 純一

航空システム  
研究ユニット  
主任研究開発員



超音速旅客機の技術について詳しくは→



「現場の研究開発を担う若手研究者の皆さんの思いを聞き、これまで JAXA が実施してきた超音速機プロジェクトに関わってこられた先輩研究者の意志が引き継がれていることを強く感じるとともに、今進めている研究開発の方向性を共有できていることに意を強くしました」

**牧野 好和** 航空システム研究ユニット ユニット長



テーマ

## 電動航空機

## 異分野が集結する ECLAIRコンソーシアム

— JAXAは「航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム」を立ち上げ、さまざまな機関や企業と連携しながらオールジャパンでの研究開発を進めています。またエミッションフリー航空機の実現も目指しています。個々の航空機電動化研究に加えて、ECLAIRコンソーシアムとしての活動もされていますね。

**西山** ECLAIRの技術開発グループ立ち

上げの準備会合などでお手伝いをしています。ECLAIRコンソーシアムのオープンフォーラムでも、ロジスティクスを担当しています。研究だけでなく、研究を社会に還元していくことも重要で、モノを作って世に送り出すノウハウを持っているメーカーとつながるコンソーシアムの活動はとても大切だと思います。いろいろな分野の方の考え方は、とても刺激になります。

**飯嶋** 昨年の第1回オープンフォーラムには、学生として一般参加していました。開催

日本の電動航空機の動きは、種まきを終え、これから芽吹き時期

**小林 宙**

次世代航空  
イノベーションハブ  
主任研究開発員



する側になって、こんなに大変なものなのかと感じています。私はまだ航空のことを勉強している最中ですが、航空機を作るということは、多くの分野が関わっているのだと改めて思います。

**小林** 若い人たちには、自身の専門性を高めることに時間を割いてほしい一方、異業種・異分野と交流して、多角的な視野を持ってほしいと思います。異分野との交流で、驚いた経験はありますか。

**西山** 高高度を飛ぶ航空機は、放射線の影響を受けやすいのですが、電機メーカーがまず放射線対策に着目したことは面白いと思いました。

**飯嶋** 自動車や電車に用いられるモーターや電池は、車体に収めるために小型で大きな出力を出すことが重要でした。航空機ではそれらに加えて軽量化や信頼性がより重要視されており、異なる観点を感じます。

**西山** 出力といえば、以前自動車メーカーの方に「基本的に車は最大出力を出し続けることはない」と聞いて、それに対して飛行機は離陸の際、ずっと最大出力を出さなければいけない。同じモーターでも、強く意識する点が全然違いますね。

**飯嶋** 電機系の小型化は、自動車が先行しています。航空機に求められる大電力化の技術では電車や産業機器の方が進んでいます。航空機の電動化は、その両方が必要

なので、新しい技術の確立を目指す良いターゲットだと思っています。

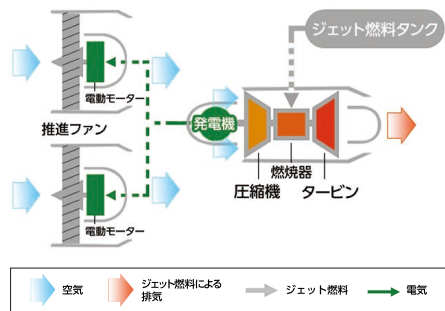
**電動航空機が社会を変える**

**小林** 海外は特に電動航空機に対する動きが活発になっていますが、JAXAではFEATHERなど着実に技術を蓄積してきました。種まきを終え、これから芽吹き始める時期にきています。

**西山** 2018年のECLAIRオープンフォーラムでは、コンソーシアムでまとめた将来ビジョンを報告しましたが、2019年のオープンフォーラムでは各分野で進んだ、より具体的な検討内容が語られました。

**飯嶋** 技術のレベルを上げるだけでなく、航空機特有の運用や信頼性の思想に基づいた議論がどんどん深まっていると感じます。航空機ではまだ適用されていない電機技術が多くあります。このような、まだチャレンジできていない部分に取り組むことも目標の一つで、それがやりがいになっています。

**西山** 航空機の需要が伸びていく一方で、CO<sub>2</sub>の排出は抑えなければいけない。そこにエミッションフリーの電動航空機が登場して、普通に運用されるようになったら、ゲームチェンジというか世界を変えることになるでしょう。電動航空機だからできるということは他にもたくさんありますし、どんどん発信してい



シリーズハイブリッド方式による推進の原理。ジェットエンジンによって生み出された電気を電動モーターに供給し、ファンを回転させる。JAXAを含め、現在検討されている電動航空機の多くは、この方式を採用している

けたらいいなと思っています。そうしたいくつかの技術が、社会に実装されて貢献できればいいですね。

**飯嶋** 移動体の電機技術は、これまで自動車と電車がけん引してきましたが、電動航空機は新たにその先端に位置づけられるものです。電機技術の限界にチャレンジする中で確立された新しい技術が、電車や自動車に適用されて全部がつながりながら技術レベルが上がっていく世界が実現できたらと思います。

モノを作って世に送り出すノウハウを持っているメーカーとつながるコンソーシアムの活動は大切

**西山 万里**

次世代航空  
イノベーションハブ  
研究開発員



**西山** いろいろな方とお会いする中で、今年は昨年以上に「空飛ぶクルマ」の話題を聞きます。機体だけではなく、運航の航空管制的な側面に対する関心、社会的に取り入れることまで見据えた検討に世の中が向かい始めているように感じています。

**小林** ECLAIRコンソーシアムはコンペティター同士の希少な集まりで、参加される方々の思いはさまざまですが、電動航空機実現のために同じ方向を向く土壌はできつつあるかなと思います。自分も含め、JAXAが率先して日本の電動航空機を盛り上げていきたいですね。

ECLAIRコンソーシアムについて詳しくは→



航空機の電動化は電機技術にとってチャレンジにあふれた新たなフィールド

**飯嶋 竜司**

次世代航空  
イノベーションハブ  
主事



「電動航空機技術はまだ研究体系も確立しておらず、実機のデータもほとんどありません。試行錯誤も必要な中、国内業界をけん引する役割も期待され、楽ではないですが、協力者はJAXAの外にも着実に増えてます。一緒に悩みながら進みましょう」

**西沢 啓** 次世代航空イノベーションハブ ハブマネージャ



# 統合解析は、まさに 世界が目指している目標 それに一歩先行しているのが JAXAの強み

東北大学流体科学研究所長  
航空機計算科学センター長  
東北大学教授

大林 茂 氏

統合シミュレーション技術 (ISSAC) は、JAXA第4期中長期計画において、航空技術部門の柱の一つとなっています。今回は、数値流体力学 (CFD) のほか、超音速機の研究などにも幅広く取り組む東北大学の大林茂教授に、CFDやISSACの今後の展望や課題などを伺いました。

## 非定常状態の解析は、今後シミュレーションに移行する

—— 数値流体力学 (CFD) における世界の動向はどのような状況ですか。

航空機の設計にCFDを使う研究はかなり進み、巡航状態を正しく評価する技術も成熟してきました。また、その技術を使った最適設計の考え方も進んできています。現在の課題は、これまでCFDでは困難と言われていた非定常状態の解析です。スーパーコンピュータ (スパコン) の性能が上がり、非定常状態を解析するLES (Large Eddy Simulation) といった技術も開発され、新たなブレークスルーが生まれるのではないかと期待されています。CFDでは空間をメッシュにして計算しますが、LESはメッシュサイズ以下について何らかのモデルを使って計算する手法です。これでかなりのところまで

解析できるようになってきました。

—— 航空機の設計や安全性の評価で、非定常状態のCFDはどのくらい重要なのですか。

従来はシミュレーションした結果を風洞実験や実際の飛行実験で確認するというのが研究の流れでした。しかし、非定常状態の風洞実験はかなり難しく、飛行実験を行うにしても、巡航状態の飛行限界を超えた条件を飛ぶことになるのでリスクが上がります。従って、飛行実験のリスクが高いケースや離着陸の際の解析は、今後は大部分をシミュレーションで行うことになってくると思います。

—— 他には何か動きはありますか。

一つは、最近、私たちが大きな研究テーマにしているデータ同化という技術です。これまではCFDの結果を風洞実験や飛行実験の結果と単純に比較していましたが、データ同化ではそうした実験値を数値計

算に取り込むことによって、数値計算の不確定性を減らしていきます。これを使うことで、例えば定常状態で計算に使われていた乱流モデルの信頼性を上げて、別のケースの計算に使えるようになるかもしれません。データ同化によって新しい設計技術を作れるのではないかと考えています。

—— データ同化は、すでに天気予報で使われていますね。

まさにその技術を工学に持ち込もうとしているのです。それからもう一つは、磁力支持天秤です。風洞実験で使う模型を磁気力で支持する装置です。私たちはもともとJAXAで開発された磁力支持天秤装置を大型化し、世界最大規模の測定部を持つ1m-磁力支持天秤装置 (MSBS: Magnetic Suspension and Balance System) を作りました。私たちはこの1m-MSBSを、CFDによる非定常状態の解析結果の評価に使おうと思っています。単



に模型を磁力で支持するだけでなく、磁力で模型自体を動かし、非定常状態を再現する実験をします。磁力支持天秤のこうした使い方にはアメリカ航空宇宙局(NASA)も注目しています。

## CFDの最終目標は、航空機を再現すること

—— こうした世界の流れの中で、JAXAのCFDの強みはどこにありますか。

JAXAの数値計算技術は、非常に高いレベルにあると思います。JAXAの強みは、古くから流体解析に特化したスパコンの開発と並行して研究をしてきたことです。特に1990年代にNWT(数値風洞)というスパコンが入ったのは、とても大きいと思います。そうした点からJAXAの数値解析のコアは流体解析なのですが、現在は統合解析という、まさに世界が目指している目標に向かって一歩先行しているように思います。

—— 統合シミュレーション技術(ISSAC)ですね。

これは今や当然やらなければいけないことで、JAXAは踏み出すべき時に踏み出したと思います。世界の航空宇宙産業は皆、ここを狙っています。

—— そのISSACについて、先生はどのような課題があるとお考えですか。

構造と推進、制御の研究者がこれからどれだけコミットしてくるかだと思います。

航空機の材料は今、複合材にどんどん置き換わっています。複合材は中に炭素繊維が通っていて、それをプラスチックの樹脂が固めています。この複合材の構造を、これからは分子レベルで繊維と樹脂の絡まりはどうなっているかという辺りまで解析しなければなりません。推進、制御に関しても、今のCFDは航空機が止まった形でシミュレーションしているので、実は航空機は飛んでいないのです。しかし、実際の航空機は重心があって、主翼や尾翼があって、運動して空を飛んでいるわけです。今後、非定常状態の計算をすれば、推進、制御の方たちと一緒に、例えば飛行実験とCFDを並行して進めながら、シミュレーションの信頼性を高めていくことが必要になります。CFDの最終目標は、航空機の飛行を再現するという事です。航空機の要素は、構造、推進、制御、そして空力です。JAXAは人材も豊富ですから、構造や推進、制御の方たちと連携しな



磁気で模型の姿勢を制御する1m直径の磁力支持天秤装置 (画像提供: 東北大学)

がら進んでいけばいいと思います。

むしろこれからの大きな課題は何かというと、せっかくこれだけのものを作っているのですから、産業界がこれを使いこなせるように、JAXAと産業界の連携を進めることではないでしょうか。

—— 国立研究機関としてのJAXAの役割ということですね。

先日、オーストラリアのメルボルンで航空関係の国際学会がありました。今回のテーマは「デジタル・トランスフォーメーション」でした。これは、デジタル技術の利用で企業の活動が根底から変わってしまうという意味です。航空産業の世界でも、今日では「インダストリー4.0(第4次産業革命)」とかデジタル・トランスフォーメーションがいろいろなところで注目を浴びています。しかし、この学会に日本企業からは誰も参加していませんでした。日本の航空産業が、世界の中でそれなりの地位を目指すのであれば、やはり航空分野の研究を行う部門が力を付けることが必須だと思います。

それから、この学会では「データは誰のものか」ということも話題になりました。個々の企業でデータを集めても、全体としてインテグレートされなければ役に立ちません。この問題で国際的な合意に至るにはまだ時間がかかるかもしれませんが、こういうところでもぜひJAXAにイニシアチブをとってもらいたいと思います。

## ソニックブームを大幅に低減する超音速複葉翼機「MISORA」

大林教授は、CFDに加えて、複葉翼(二枚翼)による超音速機「MISORA(Mitigated SONic-boom Research Airplane)」の研究も行っています。飛行機が超音速で飛行すると、機体によって押しのけられて圧縮された空気が衝撃波となって地上に伝わり、落雷のように激しい騒音(ソニックブーム)を発生させます。しかし機体を複葉翼にすれば、2枚の翼から生じる衝撃波がお互いに干渉

し合って打ち消されるというのです。複葉翼自体は、もともと1935年にドイツの航空技術者アドルフ・ブーゼマンが提案したコンセプトに基づくものですが、2004年にボーイング社の楠瀬一洋博士が東北大学流体科学研究所に滞在してブーゼマン複葉翼機の研究開発に意欲を燃やし、東北大学の研究者が集まって革新的な超音速機の提案に結びつきました。もし主翼の中に胴



超音速複葉翼機「MISORA」の機体イメージ (画像提供: 東北大学)

体が入ってしまう全翼機に採用できれば、ソニックブームを従来型の超音速機に比べて最大85%カットできるとの計算結果が出ており、その利点をかなり活かせます。「MISORA」は、衝撃波による騒音を大幅に減らし、かつ燃費も向上できる「サイレント超音速機」として期待されています。

# ソラの技

## 『高速回転翼機編』

固定翼の航空機にない垂直離着陸や空中での静止(ホバリング)などの機能を持つヘリコプター(回転翼機)は、ドクターヘリや災害救助などの分野で活躍しています。大きな課題の一つが速度です。JAXAは高速化に向けた独自の機体コンセプトを提案するとともに、次世代高速ヘリの実現に必要な要素技術を研究しています。

### 巡航速度500km/hを目指す 次世代高速ヘリ

世界各国で研究開発が進む次世代高速ヘリは、従来型ヘリの約2倍の時速500km前後の巡航速度を目指しています。実現すれば、日本においてはドクターヘリが15分で到着できる範囲がほぼ国内全域に広がります。従来型ヘリでは、高速飛行時にローター(回転翼)の前側で抵抗が著しく増大し、後退側で対気速度が低下して揚力が失われます<sup>\*</sup>。この構造上の問題を解決するため、ティルトローター式(飛行中にローターの傾きを変える)などの高速回転翼機方式が開発されましたが、機構が複雑で、整備など運用面の課題もあります。そこでJAXAは、次世代ヘリの機体コンセプトにコンパウンド方式を提案し、開発を進めています。

### JAXAは次世代ヘリに コンパウンド方式を提案

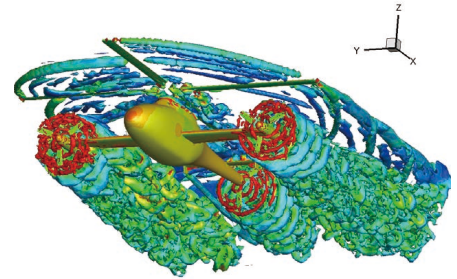
コンパウンド・ヘリは、メインローターに加え、前進飛行時は固定翼の揚力で自重を支えつつ、機体後部の推進プロペラで進みます。ローターと推進プロペラをエンジン駆動と

し、固定翼機のような主翼の両端に(ローターによる機体回転を打ち消すための)アンチトルク電動ファンを配置します。電動ファンはローターの駆動から独立した機構なので、構造がシンプルで軽量化が可能です。

シングルローターのコンパウンド・ヘリは、垂直から水平飛行への移行時、ローターの傾きに合わせた細かい速度調整を要するティルトローターなどの方式に比べ、安全性が高いと考えられています。四つの回転翼(メインローター、主翼両端の電動ファン、機体後方の推進プロペラ)を有する機体で高速化の実現を目指します。

### より効率の良い主翼配置と ローターブレードを開発

コンパウンド方式で課題となるのは、ローターと主翼の間を通る空気の流れの干渉(空力干渉)です。機体とローターを前傾させて推進する従来型ヘリと違い、コンパウンド・ヘリは固定翼機のようにほぼ水平姿勢で飛行します。ローターと主翼の空力干渉が大きくなると、推進効率の低下につながるため、ローターと主翼の干渉の少ない最適な配置が必要です。また、ブレードの対気速度が音速に



四つの回転翼を有するコンパウンド・ヘリ機体まわりの空気の流れをCFD解析により立体的に可視化

近づくと衝撃波ができ始め、急激にローターブレードへの空力抵抗が増えます。ローターの前側で対気速度が音速に近づかないよう、メインローターの回転数を20%程度遅くすることで、よりローターの後退側での逆流域が増えます。従来型ヘリでは難しい、高い前進率(前進速度とローターの先端速度との割合を前進率 $\mu$ という)に最適なハイミューローターが必要となります。JAXAでは、CFD(数値流体力学)解析ツールで膨大なパラメータ解析を行い、高いホバリング性能と高速飛行に必要な前進性能を併せ持つ、全く新しいブレード形状の最適ハイミューローターを開発中です。このメインローターの新形状開発は、高速飛行に欠かせない要素技術です。

複雑な機体まわりの流れをCFD解析することで最適値を見出すことも進めています。3Dによる可視化技術を使えば、気流干渉の状態を立体的に確認することもできます。

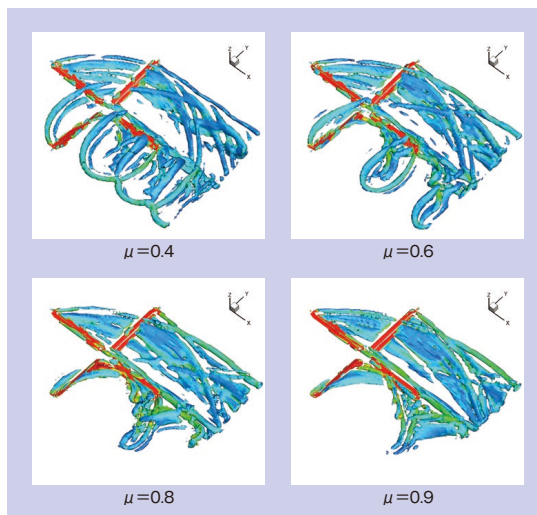
現在、これらの検討を踏まえたスケールモデルによる飛行試験のほか、2019年11月には、ホバリング時のメインローターと主翼の干渉を低減する大型フラップ機構などのアイデアを盛り込んだ模型で風洞試験も行いました。



JAXAが提案するコンパウンド・ヘリコプターのイメージ



従来は直線的で細長い形状だったが、曲線的で先端が幅広い形状に最適化したハイミューローター概念図(特許出願済み)



CFD解析で検討したローターの前進率と流れ場の関係。前進率( $\mu$ )の値により、前側と後退側で流れが変化し、ローターの飛行効率が大きく変わる

コンパウンド・ヘリの概要はこちら→



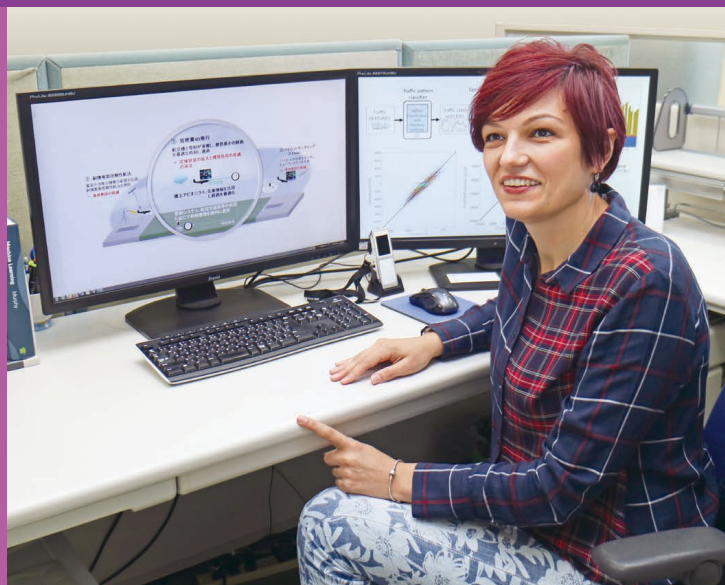
<sup>\*</sup>: ブレードが進行方向に向かって回転する側が前側で、進行方向から戻る側が後退側となる。

## スマートフライトで 空の交通の 最適化を目指す

次世代航空イノベーションハブ  
スマートフライト・装備品技術チーム  
研究開発員

### アンドレエバ森アドリアナ

1982年ブルガリア生まれ。2007年3月、東京大学工学部航空宇宙工学科卒業。  
2009年3月、東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。2012年9月、東京  
大学大学院工学系研究科博士課程修了。2013年、宇宙航空研究開発機構  
入社。大学での研究テーマは燃料消費削減のための最適到着順に関する研究。  
入社後も、最適な運航に関する研究を行っている。



JAXAは増加する空の交通量の課題解決を目指すスマートフライト技術の研究に取り組んでいます。次世代航空イノベーションハブのアンドレエバ森アドリアナ研究開発員は、このスマートフライトにおいて交通流管理の最適化に関する研究を担当しています。

——現在の研究「スマートフライト」について教えてください。

一言で言うと、これからさらに増えることが予想される空の交通量の課題解決に向け、環境負荷の少ない運航を実現するためのパイロットや管制官の判断を支援する運航技術の研究開発です。空の交通量は15年ごとにおよそ倍増していくことが予想され、空港・空域の容量不足、環境負荷の増大、航空機事故の増加といった問題が出てきています。私たちは、これらの問題に対して地上と機上両方の視点からアプローチすることが課題解決につながるのではないかと、という考え方でこの研究に取り組んでいます。私は、交通流管理の最適化に関する研究を担当しています。

この研究のコンセプトは「時間管理」です。簡単に言うと、現在は飛行経路を変更することで到着時間を管理していますが、今後は飛行経路は変えずに速度を調整することで時間管理しよう、とするものです。これを「4D運航」と呼んでいます。JAXAは「適応型時間管理」を提案しています。機体性能、天候や航空交通流の状況に応じて時間管理を動的に変更し、容量拡大と燃費低減を両立することが目的です。将来的に4D運航が普及すれば空域が拡大し、結果的には最大4%の低燃費化が可能となるとのシミュレーション結果が出ています。

——なぜ航空の道に進まれたのですか。

両親がエンジニアで、子どもの頃はよくエアショーに連れていってもらったり、家では機械を分解して遊んだりしました。それで数学と理科が得意だったので理数系の高校に進みました。その頃から航空宇宙に興味がありました。そうすると進むべきところが限られてきます。世界的に見ても航空系が強い国というのは、実はあまりないんです。高校卒業後、「行ってみたい万が一ダメだったら、また違うところに行けばいい」と割と気軽に日本に来ました。その頃は、まさかそのままずっと日本で仕事をするようになるとは想像もしていませんでしたね。

——研究をしていて行き詰まったことなどはありますか。

研究をやっていると日々挫折や壁にぶつかることの連続です。自分で何かやってもどうにもならない、自分一人ではもう前に進むことができない、ということがよくあります。そういう時の唯一の解決方法は、誰かと相談することだと思います。自分だけで物事を見ていると、どうしても視野が狭くなってきます。誰かと話すことによって、その場で解決策が出てきたり、話の中で解決のヒントになることが出てきたりします。

——これから取り組みたい研究や将来の夢は何ですか。

さまざまな機体の管制です。これからの時代は、空飛ぶクルマや無人航空機、さらに超音速航空機など、機体の種類が増えてきます。機体によって管制の方法は変えなければなりません。先ほどお話ししたスマートフライトの時間管理というコンセプトは、どんな機体にも応用できるのが魅力なので、それを実用化させたいと思っています。

——最後に、JAXAを目指す方々へメッセージをお願いします。

どんなに研究が好きでも24時間ずっと研究できませんし、長く仕事をすればいいとは限りません。疲れがたまると効率が悪くなり、ミスが生まれることもあります。大事なのはメリハリをつけて働くことです。JAXAはワークライフバランスをとりやすく、仕事の仕方の自由度も高いです。

また、航空技術部門で働くのに、必ずしも航空系の学部を出なければならないということはありません。研究には、さまざまな知識や視点を持つことが大事です。いろいろなバックグラウンドの人が集まって、初めて良いものができると思います。数学でも、物理でも、何でもいいので、他の人とは違う自分の強みを持って、少しでも航空への興味があればJAXAで活躍できると思います。





ジェットエンジンのファンに着氷が発生するとファン効率や推進力の低下、氷の剥離による損傷などが起こり、航空機の運航に影響が出ます。この写真の右側にあるのは、マイナス5℃～マイナス25℃の空気を流す着氷風洞で、中央に置かれているのが試験供試体（高さ約19cm）です。風洞からの液滴を含んだ冷たい空気を受けた供試体の右側に氷が付着しています。付着する氷の性質は、気流中を流れる液滴の大きさや流れる空気の温度条件によって、写真のような硬く透明な氷になったり、不透明で柔らかい氷になったり、その二つが混合した状態になったりします。こうした試験結果は、JAXAが進めるエンジン防除氷技術の研究に役立てられます。

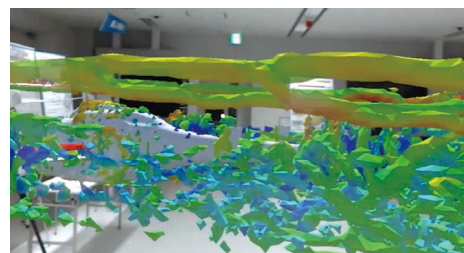
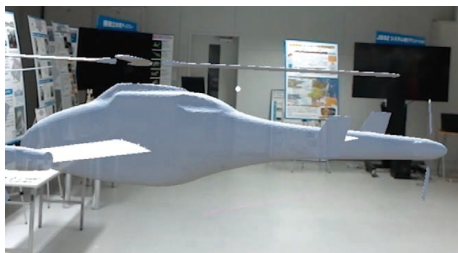
## エンジン防除氷技術の着氷風洞試験



気象影響防御技術(WEATHER-Eye) <http://www.aero.jaxa.jp/research/star/safety/weather-eye/index.html>

### Cover Photo:

次世代高速ヘリ(コンパウンド・ヘリコプター)の機体まわりの流れの解析結果をMR(Mixed Reality)技術を用いて立体的に表示したもの。ローターから発生する複雑な空気の渦の流れも、実際の三次元空間に本当に存在するかのように体感できるので、計算結果を詳しく検証することができる。MRの動画は→



JAXA航空マガジン  
FLIGHT PATH No.24  
2019年12月発行

【禁無断複写転載】JAXA航空マガジン「FLIGHT PATH」からの複写もしくは転載を希望される場合は、航空技術部門までご連絡ください。

発行:国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA) 航空技術部門  
発行責任者:JAXA航空技術部門事業推進部長 西澤 敏雄  
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1  
TEL 050-3362-8036 FAX 0422-40-3281  
ホームページ <http://www.aero.jaxa.jp/>



古紙/パルプ配合率80%再生紙を使用



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



VEGETABLE OIL INK