

航空プログラムニュース

No. **12**

2009
Spring

ISSN 1881-2570

【特集】

ヘリコプタの低騒音化技術の研究開発

ブレードが作り出す翼端渦
の軌跡をコントロールして
ヘリコプタ騒音を減らせ！

【研究現場から】

その1

無人機で迅速に被災地情報を
入手するには

その2

高精度航法システムの研究開発

ブレードが作り出す翼端渦の軌跡をコントロールしてヘリコプタ騒音を減らせ！

ヘリコプタはビルや病院の屋上に離着陸できたり、災害時には校庭や道路などにも離着陸が認められるなど私たちの生活に密着した分野で非常に有用な輸送手段ですが、その騒音は都市部では問題になりやすく、離着陸回数の制限などが行われているのが現状です。ヘリコプタ運用の機会を拡大し、さらに交通機関として活用されるためには、騒音を低減することが不可欠であると考え、JAXAではヘリコプタの低騒音化技術の研究に取り組んでいます。

多様な分野で活躍するヘリコプタ

回転翼航空機であるヘリコプタは、災害時の救難・救助をはじめ、救急医療、消防・防災、資材運搬、報道などさまざまな分野で活躍しています。ヘリコプタの特徴は、前後、左右、上下方向への飛行

のほか、空中での静止（ホバリング）と多様な飛び方ができること、また旅客機のように長い滑走路を必要とせず狭いスペースでの離着陸ができることです。このため人や荷物を運ぶだけでなく、いろいろな分野で働くことができます。

しかし欠点のひとつに騒音があります。そこで騒

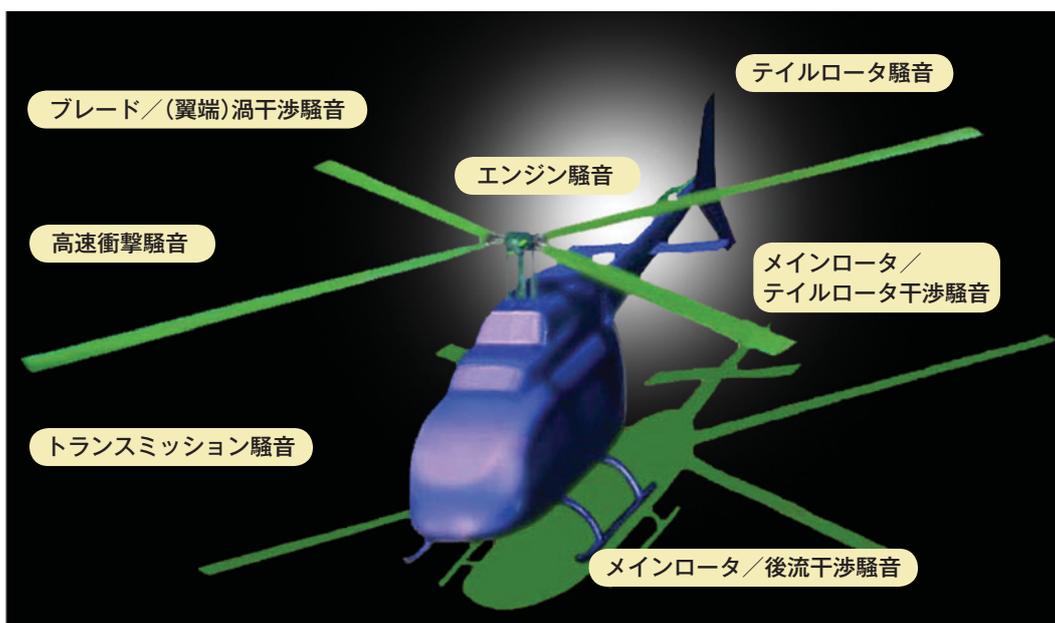


図1 ヘリコプタから発生する主な騒音源



図2 ブレードから出る空気の渦のようす

音を減らしてヘリコプタがもっと活躍できるようにと研究が行われています。

どこからどんな音が出ているか？

まずヘリコプタのどこからどんな音が出ているかを見てみましょう（図1）。ヘリコプタは、胴体上部にある2～6本の大きなブレードからなるロータを回転させることで浮く力（揚力）を得ているわけですが、このことは主要な騒音源でもあります。尾部で回転する小さなロータ、それからエンジン。これら全てが音を発しています。

ヘリコプタ騒音のなかでも特に問題となるのは、高速で飛行するときとゆっくりと降下してくる着陸態勢のときに発生する音です。JAXA運航・安全技術チームでは、着陸態勢のときに発生する騒音を減らすための研究に取り組んでいます。

正体はBVI騒音

ロータが回転するとき、ブレードは空気の渦を作り出します（図2）。なかでもブレードの先端から

は翼端渦と呼ばれる強い渦が生まれます。先行のブレードが作った翼端渦に後続のブレードがぶつかったり近くを通ったりすることで衝撃的な音が発生します。このようにブレードと翼端渦の干渉により発生する音はBVI（Blade-Vortex Interaction）騒音といい、「バタバタ」と聞こえる耳障りな音の正体なのです。BVI騒音は、緩やかに降下する着陸時に顕著となります。

翼端渦は、通常の飛行時には下方に向かいますが、着陸時には機体が自ら下方に下りるため、翼端渦がロータの近くを漂うことになり、ブレードと渦の強い干渉が起こります。最もうるさいのはこの翼端渦がブレードに垂直にぶつかる時よりも平行になったときです（図3）。

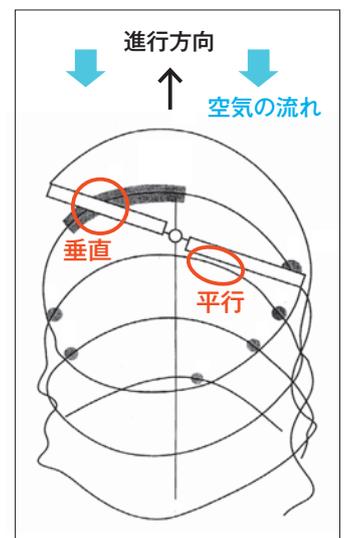


図3 翼端渦の軌跡

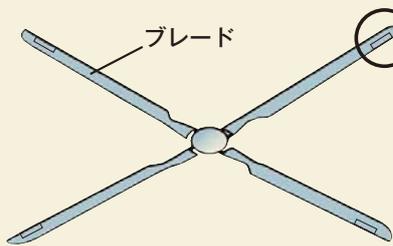


図4 アクティブ・フラップ
 フラップを駆動する機構などはローター内に埋め込まれている。翼端渦とブレードの干渉によって発生する音が小さくなるように自動的に角度・周波数・位相などをコントロールする。フラップの大きさは、ブレード全長の10%程度。

翼端渦を制御する

この課題を解決する技術として、ブレードにアクティブ・デバイス（動く装置）を装着して、駆動することで翼端渦の挙動をコントロールし騒音を下げるといふ手法があります。JAXAではアクティブ・フラップの開発を行っています（図4）。アクティブ・フラップとは、ブレードに装着したフラップを積極的に駆動させて（図5）、発生する翼端渦の軌跡を上下に変化させるもので、BVI騒音が小さくなるようにブレードと翼端渦の干渉の度合いを変えることができます。

JAXAは長年、ヘリコプタの騒音低減に関する研究に取り組んでおり、コンピュータを使った数値解析技術（CFD）と風洞試験により騒音の発生原理を解明してきました。これらを手掛かりに開発したアクティブ・フラップの騒音低減効果について、解析

と風洞試験で評価を行った結果、6 dB低減できることがわかっています。

実物大アクティブ・フラップ搭載型 低騒音ブレードで試験

アクティブ・フラップ実用化に向けた取り組みの一環として、2009年2月から米国航空宇宙局（NASA）との共同研究を開始しました。実物大ブレード（幅40cm・長さ5.8m）に私たちの技術を生かしたアクティブ・フラップを組み込み、NASAが所有する風洞でその性能を試験しデータを共有することが目的です。この風洞は、計測部の高さが12m、幅24mの巨大なもので実物大ヘリコプターが丸ごと入る大きさです。JAXA最大の風洞でも6.5m×5.5mですから、その大きさには驚きですね。

試験は5年後を目標にしており、現在はアクティ

ブ・フラップ付きブレードの設計に取り組んでいます。縮小模型ではなく実物大のもので試験できることは、飛行状態を模擬した環境とはいえ、極めて現実の飛行環境に近く、最高レベルの風洞試験と言えます。特に音の特性は、縮小模型で得たデータから実物大の特性を推算することは難しいため、5年後の試験には大きな期待が寄せられています。

これと同時に、今回製作するJAXAのアクティブ・フラップ搭載型低騒音ブレードの諸元を用いて、実際の風洞試験前にNASAが持つCFD技術とJAXAのCFD技術を用いて各機関がそれぞれ性能を解析・比較検討し、その上で試験に臨みます。このように性能解析結果を比較検討することによってそれぞれの機関が所有するCFD技術の精度と信頼性を高めることがねらいです。同様なCFD技術に関する共同研究は、仏航空宇宙研究所（ONERA）とも実施中で、お互いのCFD解析技術の向上に役立っています。

飛行実証も視野に

将来の計画として、NASAでの風洞試験終了後には、防衛省の研究協力のもと、防衛省所有の機体にて作成した実物大のアクティブ・フラップ搭載型低騒音ブレードを搭載して飛行試験を行い、空力性能や騒音低減性能を実証することを目指しています。

＊

このほかにもJAXAでは、ブレードの形状を工夫することで高速衝撃騒音（これは、ブレード上に発生した衝撃波が原因）を低減する技術、ヘリポート

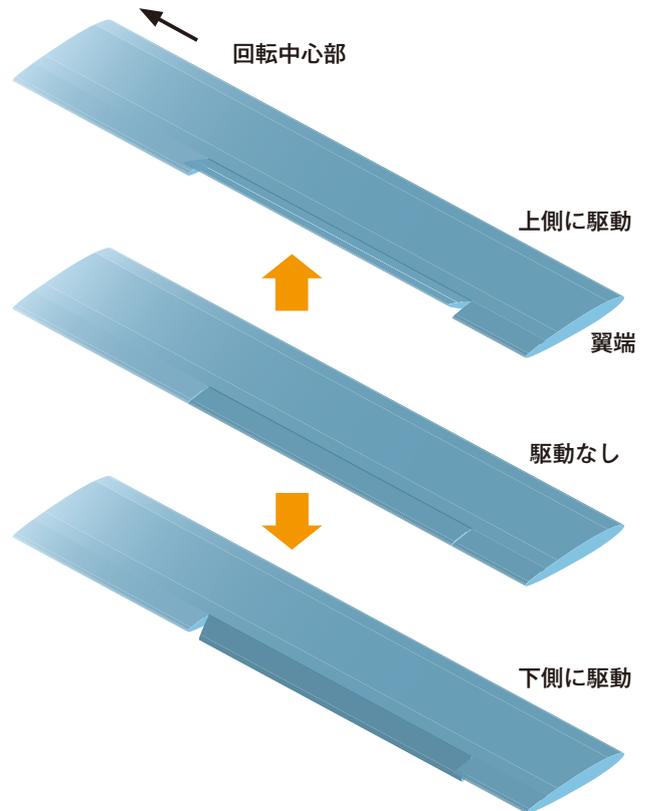


図5 フラップの駆動例

フラップを駆動し、ブレード後縁の一部に角度をつける。フラップの大きさはブレード全長の10%程度。回転部側から翼端に向かって約75%の位置に装着。

進入時の騒音が小さくなるように飛行経路を計算しながら飛ぶための最適低騒音経路探索技術や2地点間を安全に飛ぶためにGPSを用いた計器飛行（IFR）のための航法の研究も行っています。

参考文献：

長島知有編集『ようこそヘリコプターの世界へ』タクト・ワン、2006



無人機で迅速に被災地情報を 入手するには

—災害監視無人機システムの研究開発

研究現場から①

無人機・未来型航空機チーム

素早く被災地情報を入手するためのシステム

「空飛ぶカメラで素早く情報をキャッチ」（本誌No.9特集参照）するために、即時発進が可能で高速性を有し、保管や移動に有利な「電動小型無人機」を採用した即応型の災害監視システムを検討しています。万が一、機体が墜落や衝突した場合、小型軽量の機体のほうが相手に与える被害を小さくできます。救助・救難などで活躍する有人ヘリコプタなどの干渉を避けるためには、ヘリコプタなどが飛来する前にヘリコプタが飛行しない低い高度で無人機が飛行する必要があります。低い高度では、高解像度の画像情報を得られる、雲などによる悪影響を少なくするなど有利な点がある反面、撮影範囲が狭いという問題があります。短時間で広域エリアの情報を得るためには、複数の発進場所からの複数の無人機を同時に運用する必要があり、運用人数を少なくするには発進から回収までを自動で行う必要があります。



図1 山間部の道路に沿った飛行経路の設定

運用シナリオに沿った技術課題の設定

崖崩れや陥没などがあると救急車や消防車などが通行できなくなるため、主要道路は早急に知りたい監視場所として想定されます。主要道路に沿った災害監視無人機の飛行経路を災害発生前に予め設定しておき、災害発生後出動要求があれば、ビルの屋上や運動場などの狭い場所（発進回収基地）から無人機が自動的に発進し道路に沿って飛行し発進場所に帰還することで、素早い情報収集に対応ができます。

山や建物に衝突しないように飛行経路を予め設定しますが（図1）、地図に描かれていない鉄塔や防災ヘリコプタの緊急着陸など、思わぬ障害物があることが考えられます。その場合は、衝突しないように自動的に障害物を回避して飛行を継続する必要があります。また、飛行中に問題が発生し緊急に回収場所に帰還する場合や飛行中新たに撮影する場所を指定された場合は、飛行経路を自動的に設定しなくてはなりません。

小型機の低い高度での飛行は地形風の影響を受けやすいため、墜落しないように制御するだけでなく、撮影画質に悪影響を与えないように機体の姿勢を安定させる必要があります。

このように運用シナリオを想定した上で技術的な問題を洗い出し、それらの問題を解決するための検討を進めています。



無人機システム技術セクション
(左より) 牧 緑、石川和敏、金子宣彦、竹田繁一



図2 自動飛行技術評価試作機(左)、短距離発進回収技術評価試作機(右)



図3 低速高降下角進入評価試験

技術課題の成立性の検討

洗い出された技術的な問題のうち成立性に疑問がある技術については、最終的なシステムを設計する前に成立性を確認する必要があります。計算機によるシミュレーションや試験施設を使った技術確認も行いますが、実飛行環境でないとわからない問題に対しては小型固定翼無人機(図2)を実際に飛行させ技術評価も行います。昨年12月と今年2月に、鹿児島県枕崎空港で行った飛行実験において実証を試みた試験項目を簡単にご紹介します。

狭い場所での発進回収を行うために低速で安定して飛行できる機体を製作し、低速で急角度で降下しても安定して飛行できることを確認しました(図3)。

搭載量が小さい小型無人機に搭載可能なセンサやコンピュータは能力に制限があります。このような条件で実現可能な障害物回避技術を確認するために、模擬障害物として気象ゾンドの気球を使いレーザー距



図4 障害物回避技術評価飛行試験(機体搭載カメラからの映像)

離計で障害物を検知し回避し飛行を継続できることを確認できました(図4)。

災害現場で無人機が活躍できるように、今後も想定される運用における技術的な問題を解決していきたいと考えています。
(石川和敏)

衛星航法による安全で効率的な運航

航法技術とは航空機の位置や速度を知る技術です。ほかの航空機との衝突を避け、目的の空港へ安全に正確に飛行するためには、いまどこをどのように飛行しているか正確に知ることが重要です。これまでは、地上の無線施設の電波を利用して位置を計測する無線航法が多く用いられていました。現在は、カーナビでおなじみのGPS（全地球測位システム）の電波を利用する衛星航法が用いられ始めています。

目的地までの飛行経路を決める際に、無線航法では地上の無線施設の位置を考慮する必要がありましたが、衛星航法ではその制約がなく、より効率的な飛行経路を選べます。その結果、飛行時間の短縮、燃料の節約、環境負荷の低減、さらには空域の効率的な利用が可能になり、将来の航空交通需要の増加への対策としても期待されています。

衛星航法の補強システム

現在のGPSは、もともと航空機の航法のために開発されたものではないため、そのままでは精度や信頼性が十分ではありません。GPS衛星が故障して間違った信号を出すと、GPSを利用する機器は何百キロメートルもずれた位置を出力することもあります。自動車の場合はカーナビの指示と目の前の道とがずれば気づきますし、危険を感じれば止まることもできます。一方、夜間や雲の中を飛ぶ航空機は、衛星航法が示す経路と実際の飛行経路がずれても知ることができず、そのまま飛行すればほかの航空機や山などに衝突してしまうかもしれません。

そこで、衛星航法の精度や信頼性を補うため、SBAS（衛星型補強システム）やGBAS（地上型補

強システム）と呼ばれる補強システムが考えられています。SBASは、衛星航法の精度や信頼性を向上するための情報（補強情報）を、静止衛星を介して広範囲に提供するシステムで、日米欧で稼働しています。一方、GBASは、情報提供の範囲を空港周辺に限定することで、より高精度な補強情報を提供するシステムです。これらの補強システムをGPSと併用することで、衛星航法を利用した効率的な運航が可能になります。

GPS/INS複合航法による精度・信頼性の向上

JAXAでは、衛星航法の信頼性をさらに高める研究開発を行っています。

GPSの電波は微弱であるため、航空機の姿勢変化による電波遮蔽や、ほかの電波源による電波干渉によって、SBASやGBASが有効に機能していても



図1 GPS補強型慣性航法装置“GAIA”

高速飛行実証フェーズI実証機(図2)のために開発されたGPS/INS複合航法システム。本体(写真右)の質量は約10kg。



航法技術セクション
 (左より) 菅沼嘉光、辻井利昭、藤原健、富田博史



図2 高速飛行実証フェーズI 実証機

日本版スペースシャトルの開発を目指し、進入・着陸システムの実証と完全自律飛行技術の蓄積を目的として製作された無人実験機。キリバス共和国クリスマス島で全3回の飛行実験に成功。

GPSを利用できなくなる可能性があります。

これに対しJAXAでは、GPSとINS（慣性航法装置）を複合したGPS/INS複合航法システムを開発しています。INSとは、角速度を計測するジャイロと加速度計を利用して慣性航法を行う装置です。外部の電波などを必要としないため電波障害の影響がないという利点を持つ一方、徐々に航法誤差が蓄積するという問題があります。このINSとGPSを組み合わせると、GPSが利用できるあいだはGPSの測位情報でINSの誤差を推定、除去し、GPSが一時的に利用できなくなったときはINSによる慣性航法に切り替えることで、継続的に高い精度で航法を行えるようになります。これまでに開発したものは実験用無人航空機の自動飛行にも使われました（図1、図2）。

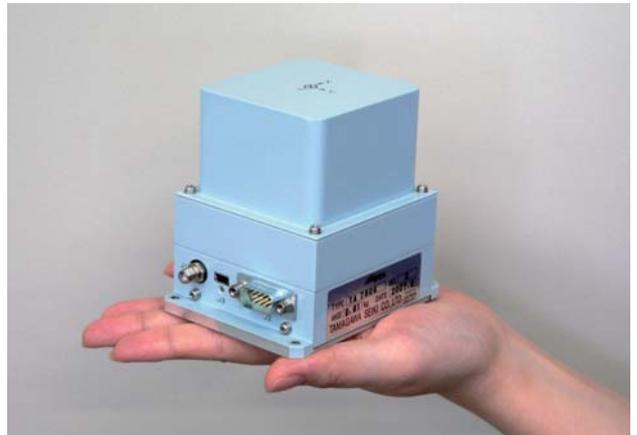


図3 超小型GPS/INS複合航法装置“Micro-GAIA”

半導体チップ上に作られた数ミリ角のMEMSジャイロやMEMS加速度計に、携帯電子機器用の小型GPS受信機を組み合わせた航法システム。質量は約600g。

渋滞のない安全な空を目指して

航空交通の需要は20年後には現在の1.5倍から最大3倍に増加することが予測されています。そのような高密度な空で、より安全で効率的な運航を実現するには、高精度航法技術は必要不可欠な技術の一つです。

さらに、将来の多様な航空交通需要に応えるには、高精度航法システムを大型航空機だけでなく小型航空機などへ普及させることも重要です。そこで、MEMS技術（マイクロマシン技術）を利用して小型、軽量、低コスト化した超小型航法装置の開発も行っています（図3）。このような高精度航法システムの研究開発を通じて、さまざまな航空機が安全に効率よく飛べる空を実現したいと考えています。

（藤原 健）



いつもの通勤スタイル。JAXA 調布航空宇宙センター飛行場分室の正門前で。

かに落ちていくわけです。分離後のロケットは、電波や映像で追跡していないので、計算だけが頼りでした。実験の当日もその翌日もヘリに乗り込み探しましたが発見できず半ばあきらめていました。ところが実験後10日ほどたつて後片付けをしているときに、今度は車で行ってみたら発見できたんですよ。これでやっと全ての仕事を完了させることができ、飛行実験の成功を心から喜ぶことができましたね。なぜ見つけれなかったのか？ なんとロケットが槍のように地面につき刺さってすっぽり埋まっていたんです。非常に速い速度で衝突したためあたりには大きなクレータができていました。

企業からJAXAへ

▲ 休日の過ごし方は？

本田 学生のときにしていたテニスを5、6年前からまた始めました。週1回スクールに通っているほか、職場のテニス部にも所属しています。それから、米国の海外ドラマをよく見ます。いちばん好きなのは『ダークエンジェル』。遺伝子組み換えで生まれた軍事的に特殊な能力を持つ人たちの近未来ドラマです。普段は時間が無いので、放送は録画しておいたものを後でまとめて見ます。

▲ 現在のお仕事につながるきっかけは何だったのでしょうか？

本田 小学生のときアポロの月着陸をテレビで見て、自分も月に行きたいと思いました。それと同時に、そこで初めて見た同時通訳の人にもとても驚きましたね。それから宇宙に興味を持ち、UFOに関する本や宇宙物理関連のブルーバックスなどをよく読んでいました。大学進学にあたり理学部と工学部のどちらにするかと考えたとき、現実に物を生み出す技術を研究する工学部のほうが具体的なイメージが持てたので、工学部の航空学科に決めました。当時は

コンコルドが就航して間もない頃で、超音速ということばに大きな夢を感じていましたね。

▲ 卒業後は企業に就職されたそうですね。

本田 メーカーでロケットやリエントリカプセル（注）の設計をしていました。その関係で2003年、当時NAL（2005年よりJAXA）が進めていたロケット実験機の飛行実験計画に携わるようになりしました。そこで初めて、超音速旅客機を一生懸命研究している人たちがいることを知り、学生時代の夢がよみがえり、超音速旅客機実現のために何か役に立ちたいと思うようになりました。当初は出向でしたが、現在はJAXAの職員として働いています。今考えれば、漠然と憧れていた宇宙にも仕事で関わることででき良かったです。そしてまた、夢の出発点の航空に戻ってきたというわけです（笑）。

航空と宇宙の融合

▲ 今後JAXAでやりたいことは？

本田 まずは計画中の飛行実験を実現させること。それから、JAXAの航空から宇宙

まで幅広い技術を最大限に生かし、研究の活動範囲を地球上の航空機に限定することなく、火星や金星などの他の惑星でも飛行できるような航空機の研究をしたいですね。

▲ 最後に、研究者を目指している方に向けてメッセージをどうぞ。

本田 自分が考えもしないこ

とは実現しませんし、考えただけで放っておいても何も起らないものです。やりたいことがあつたら常にそれを追い続けることが目標にたどり着ける近道だと思います。

（注）月や惑星などで採取した物質を地球に持ち帰るための容器。大気圏に再突入しても燃えつきないように作られる。



2005年の飛行実験はオーストラリアで行われた。
1. ロケット着地点のようす。マッハ1のスピードで地面に衝突。2. リフトオフ！ 当実験機は調布航空宇宙センターでご覧いただけます。3. 広大な実験場内には「カンガルーに注意」の標識が。



本田雅久
システム概念セクション
大学では航空工学を専攻

「メーカーに就職したのに、気づいたらJAXAの職員になってしまった」という本田さん。多様なバックグラウンドを持つ人々が集まって、研究は進められているのですね。航空機の研究は、机の上だけじゃなくて「飛ばしてなんぼ」なのだそう。私たちも超音速旅客機が飛ぶのを早く見たいものです。

飛行実験で証明

▲超音速機チームではどのような研究をしていますか？

本田 私たちのチームでは、超音速旅客機が再び空を飛べるようになるために必要な技術の研究をしています。なかでもメインに取り組んでいるのは、超音速旅客機特有の課題であるソニックブーム（衝撃波の音）を半減することです。それを実現するためのさ

さまざまな機体の形（コンセプト）を研究しています。

技術課題は他にもいくつあつて、エンジンからの騒音を低減することや機体を軽く作ること、またどうやったら燃料を少なく飛ばせるかなどの研究にも取り組んでいます。その他、超音速旅客機よりもっと速いマッハ5以上で飛行する極超音速旅客機の研究も行っています。

▲本田さんは具体的にどのようなことを担当しているのですか？

本田 昨年度、「ソニックブームを半減する技術」を飛行実証するための機体（静粛超音速研究機）の設計を開始しました。私の担当は、設計に携わる内外の関係者の窓口となつて、研究開発を円滑に進めるための調整役というところです。

▲超音速旅客機技術の研究において、JAXAは世界でどれぐらいのレベルなのでしょう？

本田 コンピュータを使ったソニックブーム低減技術はトップレベルにあると思います。これは、CFD（数値流体力学）というコンピュータを使った空気の流れをシミュレーションする技術がベースとなっているもので、CFD



Interview 夢を飛ばす人々 Vol.12

超音速機チーム
本田雅久

空と宇宙を結ぶ航空機を作りたい

音速の壁を越えた航空機が次にめざすのは宇宙空間！？

はNAL（航空宇宙技術研究所、JAXAの前身機関の一つ）の時代から私たちが得意としてきた技術です。

ただ「計算上はこれが静かな超音速旅客機の形状です」というのをいくら発表しても、それを飛ばして見せなければ、なるほどということにはならないですよ。計算とは、方程式を解くわけですけど、その式はある仮定をすることで作れるんです。というのも、現実の世界はとても複雑なので、それをシンプルにして「これは影響が無いものとする」などとするとみんなが考えることができるようになって式が作れたり計算ができたりするんですね。本当の現実、例えば風が吹いて空気がぐるぐる渦巻いているなんていう現象はそう簡単に式には書けないものです。現実を完全に方程式で表すことは今の段階ではできないのです。だから「実際に飛んでもそうなりました」と示すことが必要なわけです。そこで初めて「なるほどしたい技術だ」と人は認めてくれます。今私たちは、その技術を証明するための準備を進め

ているところです。

▲今までで一番うれしかったことは？

本田 2005年に小型超音速実験機（通称ロケット実験機）の飛行実験が成功したこと。このときは空気抵抗を小さくする設計技術を実証するために、エンジンのない実験機を開発し、ロケットで打ち上げました。私は、実験機を探し出して回収するまでが仕事だったので、実験機がうまく飛行して皆がわーっと喜んでるときに、ひとりだけヘリコプタのついで実験機を探していました。実験機の着地点は、地上からの映像や飛行中のデータから判っていたので、見つけるのはわりと簡単でした。さらに分離されたロケットもどこ



静粛超音速研究機 S³TD の完成予想図。現在設計中。

Topics

■ パリエアショーへ出展

2009年6月15日～21日にパリエアショーが開催されます。パリエアショーはパリ郊外のル・ブルジュ空港を会場として2年に1回開催される世界最大の航空ショーで、1909年に初めて開催されてから今年で100周年を迎えます。

JAXAは、前回(2007年)に続く今回の出展で技術力を世界へアピールします。航空プログラムグループは、静粛超音速研究機模型や極超音速旅客機模型を通して、超音速機技術の研究開発を紹介します。また、最新の航空技術研究の成果としてハイブリッド複合材胴体構造を展示します。

■ 調布航空宇宙センター一般公開 開催報告

JAXA調布航空宇宙センターでは2009年4月19日(日)、施設の一般公開を行いました。今年は過去最高という大変多くの皆さまにご来場いただきました。当日は風洞設備やエンジン試験設備、月面掘削試験装置、JAXAスーパーコンピュータなどの公開をはじめ、「おもしろ体験コーナー」「工作コーナー」「スタンプラリー」も実施しました。

JAXA各事業所では、毎年科学技術週間に合わせて施設公開を行っています。普段見ることのできない設備などもご覧いただくことができますので、ぜひ一度お立ち寄りください。



普段は試験用模型が入っている風洞も今日はこちらでご覧の通り



実験用航空機。手前からボンナザ、MuPAL-α、クイーンエア