

航空プログラムニュース

No. **09**

2008
Summer

ISSN 1881-2570

【特集】

災害監視無人機システム

空飛ぶカメラで すばやく情報をキャッチ

【研究現場から】

その1

ジェットエンジンの高性能化
を支える耐熱冷却技術

その2

超音速インテークの
設計技術に関する研究

空飛ぶカメラで すばやく情報をキャッチ

災害発生時に被災地上空から空撮により状況を把握することは、現在、人工衛星や防災ヘリコプタなどが行っています。人や車が行けない場所でも、空からなら行ける・できるという利点は、緊急時に最大限活用されています。

JAXA では、このような既存の防災インフラを補強することを目的に、使い勝手の良い無人航空機を使った災害監視システムの研究を行っています。

発災後の速やかな情報収集に

災害発生時には、何より素早い情報収集が大事です。「どこでどの規模の災害が発生したか」「人的・物的被害の状況は」——。発災後、できるだけ早く被災状況を把握することで、必要な救助・救難体制を早く立ち上げられます。

この被災状況の空からの把握に、JAXAが有する無人航空機の技術を役立てることができないかと考えました。これは被災地上空を無人航空機で飛行させ、上空からカメラで撮影し、地上の防災本部に伝送するシステムで、無人機・未来型航空機チームで

は、特徴が異なる2種類の無人機を使った災害監視無人機システムの研究を行っています。一つは、即時発進が可能で高速性を有し、保管・移動が容易な電動小型固定翼無人機（図1）と、もう一つは大型ですが空中停止が可能で静粛性を有し、夜間・長時間監視も可能で積載量が大きい飛行船型無人機（図2）を採用し、それぞれの地上運用設備を含めてシステム化したものです（図3）。

＊

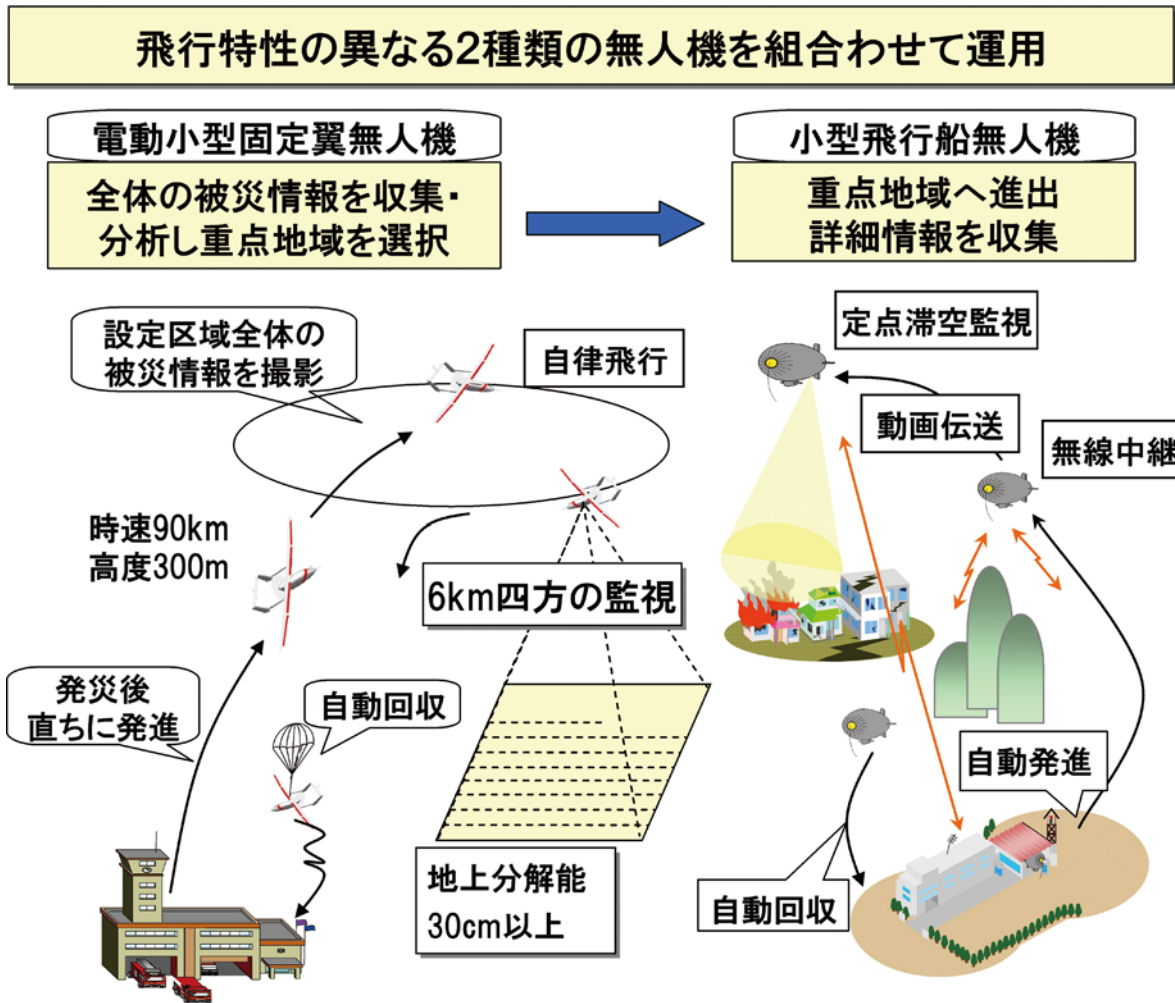
災害が発生すると、被災地上空には消防・警察・自衛隊や報道関係のヘリコプタが飛来します。特に人や車が行けないような場所でも離着陸でき、ホバリングが可能なヘリコプタは救援活動に不可欠ですが、上空から被災状況を撮影することは無人航空機もできます。ヘリコプタは発進・補給の基地が必要



図1 電動小型固定翼無人機



図2 飛行船型無人機



災害監視無人機の運用イメージ

で（多くは一般飛行場）、飛行できる時間などに制約があり、パイロットや機数そのものも多くはありません。さらに大規模な地震でなくとも、行政単位で空から被害状況を調べたいニーズはありますが、この場合ヘリコプタを飛ばすのは費用の面だけでも大変です。このように無人航空機を使用する方が有利といえる場面は非常に多くあります。

私たちは災害監視無人機システムへのニーズを自治体防災関連部署を中心に調査し、これを分析してどのような無人航空機としての性能を有すれば災害監視に使用できるか、という観点から検討し、その結果をもとにした具体的な災害監視無人機システム案を作成しました。さらにこの案を再度自治体の防災関連部署に提案して、目的とすべき災害監視無人

機システムをまとめました。

無人航空機へのニーズ

○低コストで導入でき、取り扱いが簡単

いざという時にあると便利と認識はされていても、導入するのに巨額な費用がかかるようでは、多くの場所で装備してもらうことは難しいでしょう。

	固定翼型無人機	飛行船型無人機
観測可能時間	1 時間	6 時間
飛行速度	時速90km	時速50km
初動時間	即時	30分以内
最低運用人数	1 名	2 名

図3 災害監視無人機の性能案

また災害発生という緊急事態には、心理状態も平常とは異なることが考えられますので、そのような状況下でも操作しやすい容易なシステムでなければなりません。自動車を運転するような感覚で操作ができ、持ち運びもなるべく少人数ででき飛び立たせるまでに時間がかからないことが不可欠です。

○被災地の画像をリアルタイムで伝送できる

このシステムの利用者としては地方自治体などを想定していますが、自治体全域の概況を把握するためには20～30km離れた地点から撮影した画像をリアルタイムで伝送できることが必要です（図4、5）。画像は動画なので、人が動いている様子や、建物の倒壊などの現場の変化を認識することができます。

ヘリコプタは発進させるまでに30分程度の時間を要し、それも飛行場からですので、現場到着まではさらに時間がかかってしまいます。固定翼無人機は手投げで即時に発進でき、しかも自治体内に複数用意しておけば、現場にいち早く飛来させることが可能です。予め設定した区域全体を決まった飛行経路で撮影した画像により、大体の被災状況とその重

点地域を特定します。次に飛行船無人機をその特定地域に飛来させ、必要に応じ滞空しながら長時間にわたって監視を行います。また飛行船無人機の操縦やカメラ操作を地上から遠隔操作することで、その監視を柔軟に行うことができます。

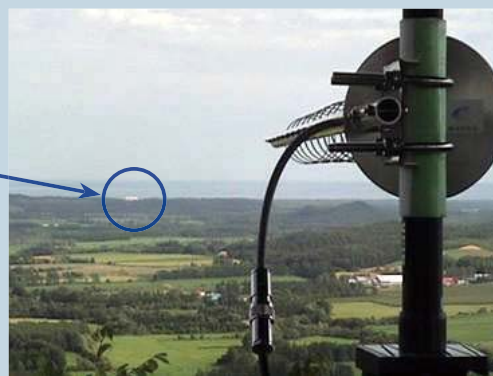
○夜間・悪天候時などにも運用監視できる

被災地上空では輸送機やヘリコプタなどの有人航空機が救援活動をしています。これらは夜間や悪天候時には飛行することができません。しかしその間にも刻々と被災現場の状況は変化していくことが考えられます。

一方、多少の危険な環境でも飛行できるのが無人航空機の大きな利点です。これにより空からの情報が途絶える時間をなるべく少なくすることができます。

実現にはあとどんな技術が必要か？

この災害監視無人航空機は、人が居住している地域の上空を飛びまわって任務を行うことになるため、安全であることが何よりも重要です。指定したエリ



アンテナ

図4 1.2GHz映像伝送装置による送信画像（飛行船無人機）
アンテナから15km離れた地点の上空で撮影した画像（左）を、リアルタイム受信することに成功。

ア内を他機や電線、鉄塔、山などへの衝突を避けながら飛行することになり、今後無人航空機自らが判断しながら飛行できる自律飛行の技術の確立が必要になります。現在無人航空機を使った飛行実験を実施して、このような技術の開発を行っています。

現在実用化されている無人航空機が飛行しているのは、田園地帯、森林・山岳地域、海上上空など、人がほとんどいないエリア（無人地帯）です。従って墜落・衝突などが起きた場合、自分の機体が破損することだけが想定されており、これにより人を傷つけたり相手に損害を与えることは想定されていません。安全性を備えることなくして、これらの無人航空機を一般的な居住地の上空（有人地帯）に飛行させることはできないのです。

万が一、墜落するような場合には、人に与える衝撃ができるだけ少なくなるような工夫も欠かせない技術です。例えば、固定翼無人機の墜落時にはパラシュートでふわふわと降下したり、他機に衝突しても相手を壊さないように自らが壊れる、といった方法を考えています。

安全基準策定への取り組み

我が国の航空法で定めている「航空機」とは有人航空機のみが対象であり、無人航空機についての法規はないのが現状です。従って、趣味で飛ばす模型飛行機をはじめとした無人航空機は、航空法で定める航空機の飛行エリアである高度150m以上の空域には侵入しないように、自主規制のもと、それ以下の高度を飛行しています。

現在、無人機を人が居住するところでも飛行できるようにするための安全基準を策定しようとする動きが世界的に始まったところであり、JAXAもこの情報収集活動に参加しています。無人機を飛ばす技術の開発とともに、安全に飛行させるための取り決めを整備することにも取り組んでいます。

図5 固定翼無人機に搭載したカメラで高度110mから撮影した画像



私たちは、災害監視無人機システムが、人工衛星や消防・防災ヘリコプタ、各種防災ネットワークなど現状の防災インフラを補い、かつそれ以上の役割を担うことにより、安全で安心な社会の実現に貢献します。



ジェットエンジンの高性能化 を支える耐熱冷却技術

研究現場から①

環境適応エンジンチーム

耐熱冷却技術とは

ジェットエンジン（図1）を高性能化する一つの方法は、圧縮機の性能を向上させて圧縮比を高めることです。自動車用ガソリンエンジンではすでに圧縮比は限界値に近づいていますが、ジェットエンジンでは理論的にはまだまだ圧縮比を上げることが可能です。しかしそれに対応して燃焼温度も高くする必要があり、最新のエンジンでは1500℃を超える温度の高圧燃焼ガスが発生しています。これに耐える高圧タービンを作るために必要な耐熱冷却技術を、環境適応エンジンチームで研究開発しています。

高温に耐える冷却技術

高温の燃焼ガスから力を取り出すタービンはたくさんの翼で構成されていますが、使用する耐熱合金は1000℃くらいまでしか耐えられません。そこで燃焼する前の600℃くらいの温度の空気でタービン翼の内側からたくさんの小さな孔を通して冷却し、

最後には高温ガスにさらされる表面に噴き出すことでフィルムを作り、温度上昇を防いでいます（図2）。耐熱性能を向上させるために冷却空気の使用量を増やしすぎると、燃やす前の空気を横取りするわけなので逆にエンジンの効率が低下します。そこで少ない冷却空気量でより良く冷やすことができる新しい冷却構造の研究を進めています。図3は翼の前縁部分を大きくした実験用模型で、内側に新しい冷却構造を備えています。高温ガス風洞に入れて赤外線カメラで表面温度分布を測定した結果、従来の構造よりも冷却空気を最大半分減らせる可能性があることが確認できました。エンジン全体で使用する冷却空気量を半減できれば、燃費を約2%改善できます。

数値解析による温度分布予測

タービン翼の温度分布は、翼周りの高温ガスの流れ、翼内部の冷却空気の流れ、そして翼部材の熱伝導による熱収支が均衡して決まります。性能の良い

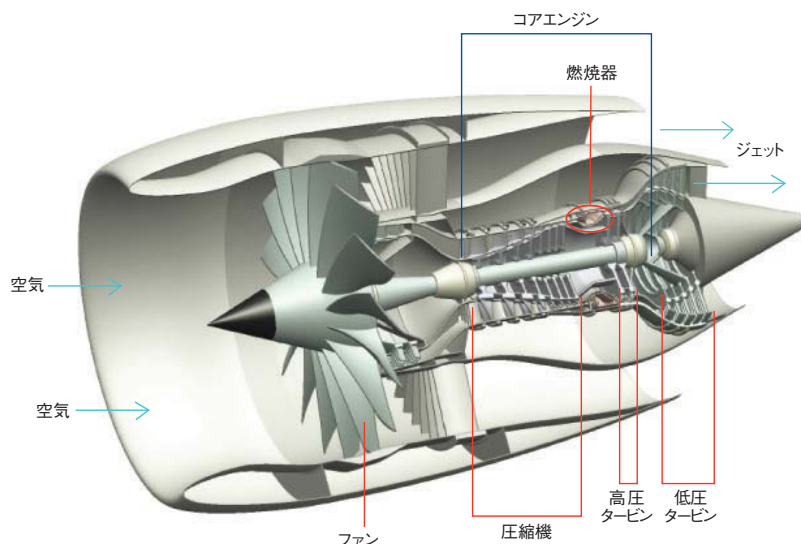


図1 ジェットエンジンの構造

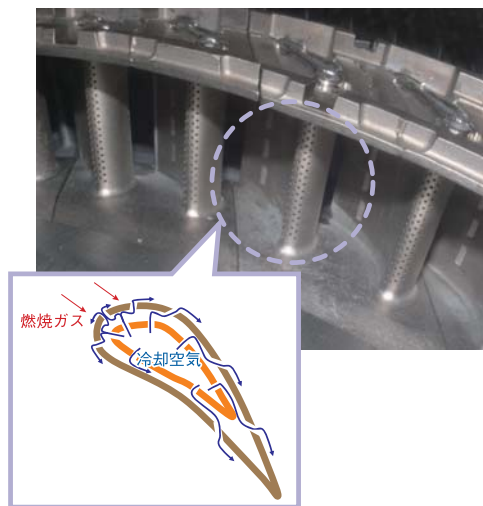


図2 タービン翼と冷却構造概念図

高温化セクション
(後列左から) 藤沢良昭、三村富嗣雄、福山佳孝
(前列左から) 熊谷隆王、山根 敬、松下政裕

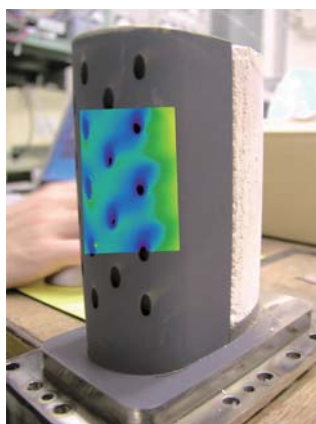


図3 冷却構造実験模型と
表面温度（合成）

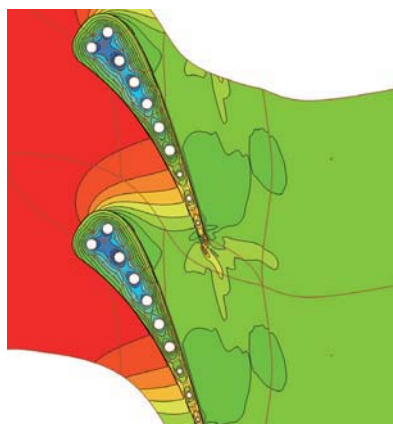
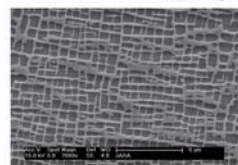


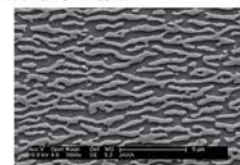
図4 流体・熱伝導連成数値解析の例
(温度分布)



加熱・冷却サイクル試験の様子



100サイクル後の結晶構造



1000サイクル後の結晶構造

図5 バーナーリグ試験と耐熱材料組織変化

冷却を目指す翼内部の構造は複雑になり、実験で正確な温度分布を計測することは困難です。そこで高温ガスや冷却空気の流れを計算するCFDと翼材部分の熱伝導計算を同時に行う、流体・熱伝導連成数値解析の研究を進めています。図4は内側に冷却通路のあるタービン翼の断面の温度分布を計算した例で、実験では計測できない詳細な温度分布が得られることが特徴で、新しい冷却構造の開発の強力なツールとなります。現在は、複雑な冷却構造にも対応できることと、より短い計算時間で結果が得られるように開発を進めています。

耐熱材料の耐久性を評価する

タービン翼に使用されているのは、ニッケルを主成分とする単結晶合金で、日本では物質・材料研究機構などが新しい材料を開発しています。新材料の開発によりエンジンの高温化や冷却空気の削減が可能になりますが、実機に使用するには実際のエンジ

ンの環境での材料特性データや、耐久性を実証するための試験が必要です。そこで私たちはバーナーリグ試験装置（図5）を開発して評価試験を実施しています。内部を水で冷却した中空円筒型の試験片をバーナー火炎で加熱すると、実際のエンジンで使用する場合と同等の熱応力が発生します。さらにバーナーをON／OFFすることでエンジンの運転と停止のサイクルによる熱疲労を模擬します。耐熱金属材料の結晶構造は運転サイクルにより変化してやがては大幅に強度が低下し寿命を迎えますが、この装置による試験と結晶構造の観察により、実機に使う前に寿命評価を行うことができます。

高効率化でCO₂削減

耐熱冷却技術の向上は低燃費のジェットエンジンを実現しCO₂（二酸化炭素）削減に貢献します。JAXAでは地球環境の保全と航空輸送の両立に役に立つ技術開発をこれからも進めます。（山根 敬）

超音速インテークの 設計技術に関する研究

研究現場から②

超音速機チーム



図1 静粛超音速研究機の概要

亜音速旅客機とは大きく違う エンジンの空気取り入れ口

超音速機チームではソニックブームと呼ばれる超音速機に特有の騒音を弱めるための設計技術を実証する静粛超音速研究機 S³TD^(注)の設計を進めており(図1)、その一部として、研究機用の超音速インテークを設計しています。インテークとはエンジンの空気取り入れ口のことで、超音速機用のインテークは、通常私たちが利用している旅客機(亜音速機)

(注) Silent Supersonic Technology Demonstrator



図2 インテークにより供給される流れの様子

のものとはかなり異なった形をしています。形が大きく違う理由の一つは超音速流れに特有の現象である衝撃波が発生するためです。衝撃波により空気を圧縮する際には空気に急ブレーキがかかるため、圧縮するときの効率が悪くなります。この効率の低下をなるべく小さくするため、エンジンに向かう流れをわざと段階的に違う方向に曲げ、流れを徐々に減速圧縮させています(図2)。実際にこの工夫をしないとマッハ1.3位まではほとんど影響ありませんが、マッハ1.6では約8%、マッハ2.0では約20%と効率の違いはマッハ数が大きくなるにつれて顕著になります。このように一旦他に向けた流れをエンジンの方向に戻すときに流れが乱れることがないように、流路の設計や乱れを抑える装置の設計が重要になります。

空気の供給バランスが大切

もう一つ重要なのが、インテークに入る空気の流量とエンジンが必要とする流量とのバランスが悪くなることです。エンジンにとって必要とされる空気が供給されなければ最大性能は発揮できないのですが、何時いかなるときでもエンジンが必要とする空気を供給しようとする、インテークが過剰に空気

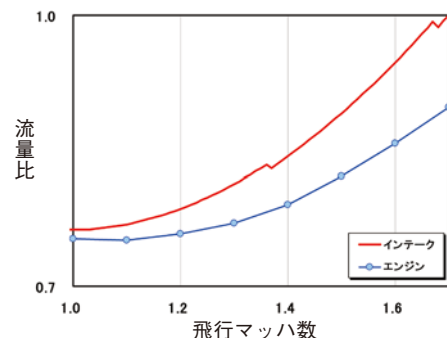


図3 エンジンとインテークの流量バランス

推進システム技術セクション
(左より) 水野拓哉、渡辺 安、小島孝之



を供給する条件が生じてしまいます。図3の例では、マッハ1.0付近ではエンジンが必要とする空気流量よりもインテークの供給量が少しだけ多い理想的な条件になっていますが、マッハ1.6付近ではインテークの供給量が非常に多くなってしまっています。余分な空気は溢れてしまって空気抵抗になるだけでなく、バズと呼ばれる乱れが生じて、ひどい場合には、エンジンの運転に致命的な影響を与えることがあります。

超音速機ならではの工夫が必要

このように、超音速インテークでは、①空気流量のバランス、②エンジンの運転を保証する空気の供給、③空気を圧縮する際の効率、④空気抵抗の全てについて満足できる設計を行うことが最低限要求されています。また、静粛超音速研究機ではエンジンが機体の胴体上方に配置されるため、インテークは従来の航空機に比べて機体の陰に入り易くなります。このことはインテークに乱れた空気が入り易くなることを意味しているので、それに対応した乱れを排除するための機能設計も求められています。現在は数値計算(図4)による性能計算を行い、風洞試験(図5)により設計どおりの性能が得られているか確認



図5 風洞試験の様子

を行いつつ、設計を進めています。

一方、実機を設計するための技術を獲得するための活動に加えて、将来技術として新たな価値を創造することを目指して、例えばエンジンのファン騒音を低減するための流路設計法に関する研究やより高い飛行マッハ数、より大きな機体に対応するための技術研究等を始めとした基礎研究も推進しています。

(渡辺 安)

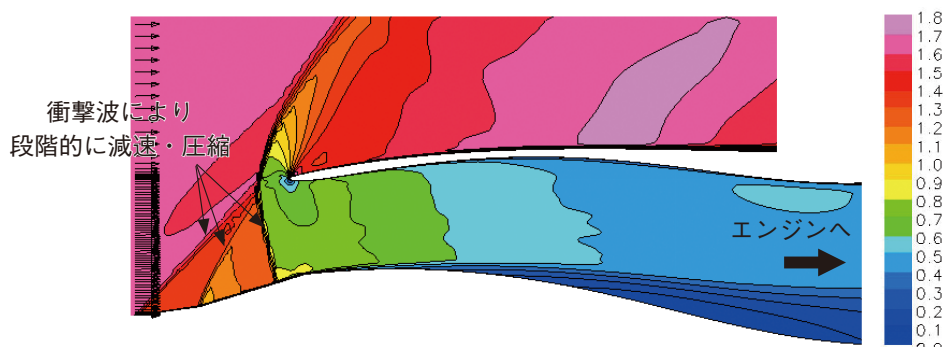


図4 設計マッハ数1.6における数値計算結果例(マッハ数分布、形状は図2に対応)



有 蘭 仁
構造材料技術セクション
大学院では航空宇宙工学を専攻

体の一部に使用することが検討されています。VARTM CFRPは船舶や自動車部品などでは既に使用されていますが、飛行機の主要な部分にはまだ使われていません。そのため旅客機の材料として使っても大丈夫ですよということを実験や解析を通して確かめています。新しい材料だけに、実験方法自体もない場合がありますが、JAXAでは様々な実験をやってきましたので、MRJ開発プロジェクトではこれらの経験を活用し、三菱重工業と協力しながら互いに知恵を絞って仕事を進めています。ある部分を新しい材料にするために、小さな試験片から実

物大のものまで、合計すると数千回という実験を行います。実際に力をかけて、壊してみても、強度を確かめるのです。それらの強度に一貫性がないと飛ばすことができないわけです。そのほかに、さらに低コストで高性能な新しい複合材料の開発も行っています。

あきらめずにチャレンジ

子どもの頃から研究者になろうと思っていたのですか？

青木 普通子どもは研究者とか考えないですよね（笑）。ありがちな話ですけど、昆虫を捕まえたり機械を分解したりっていうのが好きな子どもでした。

有蘭 私は車や飛行機が好きで、設計者になって作れたらいいなと漠然と思っていた。それで大学で勉強するから航空かなと。

青木 大学では機械工学科に入りました。研究室を決めるときに、材料の研究室が航空宇宙用材料をアピールしていて、いちばん魅力的に思えたのです。こうして材料を専攻することになりました。

どんな大学生でしたか？

青木 大学院に入ってから海外旅行にはまりまして、一人でいろいろ行きましたね。バックパックひとつで50日間放浪の旅とか。家族は心配していたみたいです。

有蘭 ずっと研究室にいました。大学の上空を飛行機が頻繁に飛んでいたのも、よく窓から眺めていました。

仕事忙しいようですが、気分転換はどのように？

有蘭 眠ることかな（笑）。平気で半日以上は眠ることができます。

青木 週に2〜3回、ジョギングをしています。自分も軽量化しなくちゃ（笑）、それと体力。1回5キロを休まずに、20〜25分で走ります。走っている間は、考え事をするの

にいい環境でもあるんですよ。今後の目標や夢を教えてください。

有蘭 MRJが成功できるようにお手伝いすることです。将来的には超音速機やもっと先の飛行機の研究もやって行きたいです。

青木 私も国産旅客機が飛ぶところを早く見たいです。超音速機やスペースプレーンなんかの研究にも携わりた

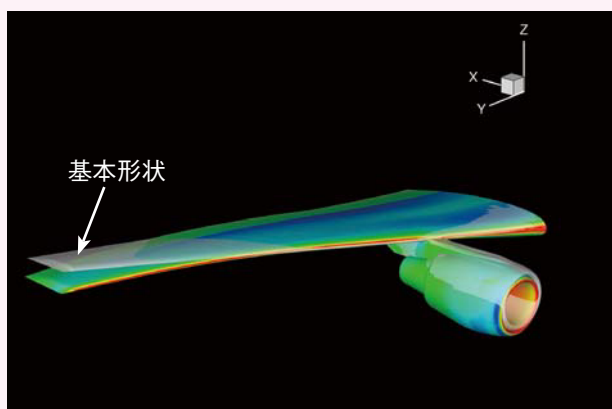
す。それから、仕事の延長線上で何かに貢献できないかと考えています。自分が研究に携わっている飛行機が皆の役に立てばいいなと思っています。けれど、社会貢献というのは、飛行機を快適にすること以外にも多分あると思うんですよ。例えば、開発途上国の援助とかそういうところで自分たちの研究が役にたたないかなと考えたりしています。

研究者を目指している方に向けてメッセージをお願いします。

青木 今自分のやっていることを信じて突き進んでください。最初に自分が思い描いたことを実現することはできなくても、後で振り返ってみたら、自分のやってきていることがつながったというふうなことがあるかもしれません。私なんかまさにそうだと実感しています。今目指していることがたとえ無理だと思えるような

ことでも、将来そのどこかに結びつくことができる可能性というのはありますからね。今取り組んでいることが本当に自分の好きなことや興味のあることだったら頑張ってください。あきらめないでやってください。

有蘭 私もそう思います。何にでもチャレンジしてみてください。ひとつに集中するのも大事ですけど、自分の専門以外のいろんなことにチャレンジするのも大事なことでと思います。



風洞試験模型に対応したシミュレーション結果の図。驚くことに、飛行中の機体は空気の力で変形します。



青木雄一郎
構造材料技術セクション
大学院では機械工学を専攻

三菱リージョナルジェット（MRJ）の事業化決定は、JAXAにとってもうれしいニュースでした。航空プログラムグループは、MRJ開発を技術で支援しているからです。今回は、研究員の仕事について、MRJのことを中心に聞きました。「技術で支援」ってどういうことか、やさしく教えて！

軽くて丈夫な飛行機を作るには

国産旅客機チームではどんな研究をしているのですか？
有 園 ひとつは三菱重工業との共同研究という形でMRJの高性能化につながる研究を行っています。もうひとつは

MRJの次の世代である、2030年後の飛行機を作るのに役に立つような研究で、こんな飛行機があったらいいなというのを考えています。現在の技術から推算して飛行機の形や性能を設定し、これを実現するためにはどのような技術が必要かといった検討をしています。

有 園さんは具体的にどんなことをしているの？

有 園 三菱重工業との共同研究では、機体を設計する上で必要となるコンピュータプログラムを作りました。飛行機は、ある速度以上になると翼が振動を始めてやがては壊れてしまうフラッタという現象があるのですが、そうならない飛行機を作らなければなりません。その振動が起る速度を計算で求めるプログラムを作って、MRJ開発の現場で利用していただいています。

それはどのように使うのですか？

有 園 飛行機の外形や骨組みがある程度決まると、このプログラムを使って、飛行中の翼にかかる空気力などをシミュレーションすることができます。シミュレーションし

私たちも初飛行を心待ちにしています

この機会に知って欲しい
飛行機を作るのに必要なあんなことやこんなこと。
それを支えるJAXAの技術。



Interview
夢を飛ばす人々
Vol.9

国産旅客機チーム
青木雄一郎●有 園 仁



低コスト複合材実大主翼試験の様子

た結果、最高速度に達する前にフラッタが起るようでは駄目です。すると設計でどうするかというと、例えば骨組みの厚みを増やして頑丈にします。その結果、重量が重くなりますね。でも飛行機はできるだけ軽く作りたい。ということは、規定の速度よりぎりぎり高い速度でフラッタが起るよう設計をすれば、いちばん軽い機体ができるということになります。

このように設計したものの性能をシミュレーションし、その結果を反映して設計し直すというのを何度も繰り返して、最終的に翼の形状や骨組みが決定するのです。

青木さんのお仕事を教えてください。

青木 私は複合材料の研究を

しています。炭素繊維強化プラスチック（CFRP）という複合材料は軽くて強い材料なので、最近では従来の金属に代わって飛行機にどんどん使われています。要するに飛行機のダイエットですね、重量の軽減ができます。機体が軽くなると使う燃料も少なくてすむので環境にもいい。ただし、CFRPはいろいろなメリットがある反面、製造コストが金属構造よりも高いというデメリットもあります。そこで高品質のCFRPを安く作る作り方の研究を行っています。

MRJでは、真空樹脂含浸製造法（VARTM: Vacuum-assisted Resin Transfer Molding）という低コストの作り方で作ったCFRPを機

■ 静粛超音速研究機 尾翼とジェット排気の干渉試験を実施

静粛超音速研究機開発の初期段階における検討作業の一環として、エンジンのジェット排気を模擬した風洞試験を 6.5m × 5.5m 低速風洞において開始しました。この機体はエンジンを機体の上方に配置していますが、このようなエンジン配置の経験は少なく、ジェット排気が尾翼およびその周辺へ干渉することで、機体の空力特性へどのような影響を及ぼすかを正確に把握することが重要です。本風洞試験は、この効果を評価するとともに、必要となる試験技術の確立および問題点の抽出を目的として実施されるものです。

供試体は、静粛超音速研究機の 12% 模型で、高圧空気をノズルから排出し、ジェット排気を模擬しています。エンジンを機体の上方に搭載することは、NASA などでも提案されており、離着陸時の騒音低減を考慮した、静かな超音速旅客機のコンセプトです。なお、本風洞試験は、風洞技術開発センターへの委託研究として実施されています。（超音速機チーム）



日本の航空発祥の地・所沢で未来の航空機開発を語る

「タウンミーティング in 所沢」開催報告

JAXA は 7 月 27 日、所沢航空発祥記念館（埼玉県）において同館との共催で「第 27 回 JAXA タウンミーティング in 所沢」を開催しました。タウンミーティングは、宇宙航空研究開発について市民の皆さまと JAXA が意見交換を行う場で、今回は 71 名の方にお越しいただきました。

当日は、石川隆司理事の「40 年ぶりの国産旅客機実現に向けての JAXA の技術協力」、大貫武超音速機チーム長の「誰もが乗れる静かな超音速旅客機を目指して」の話題提供をもとに、参加者の皆さまと活発な意見交換がなされました。国産旅客機と超音速旅客機開発への期待、関心の高さなどを伺うことができました。

今後の開催予定については、ホームページをご覧ください。

(<http://www.jaxa.jp/townmeeting/>)

