

「そら」の技術を身近に感じて ————— そらとそら



空と宙

2008 JAN/FEB
<http://www.iat.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

研究紹介 — JAXA が誇る風洞計測技術

機体表面の圧力をくまなく計測

空気の流れをツブさにキャッチ！！

多数の耳で音を捉える

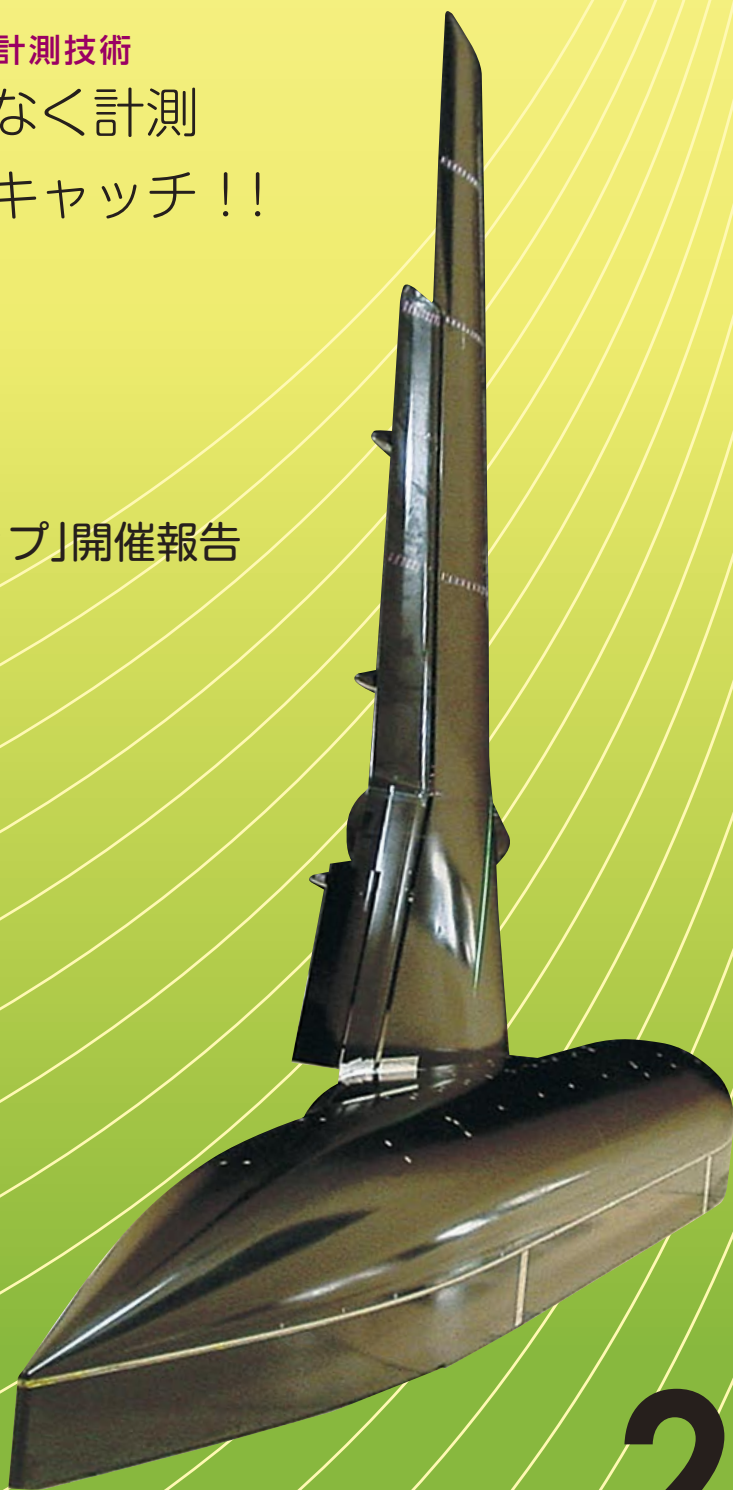
そら そら

空宙情報

「公開研究発表会」開催報告

「東大－JAXA

航空宇宙工学ワークショップ」開催報告



粒子画像流速測定法(PIV)計測における
JAXA 高揚力装置風洞模型(JSM)

No. **22**

総合技術研究本部
Institute of Aerospace Technology

研究紹介

機体表面の圧力をくまなく計測

もっと分かりやすい圧力計測を

航空機を開発する際には、どのような形にすれば燃費が良くなるのか、設計した形がどのような飛行性能を持っているのか、などを調べるために模型を使った風洞試験が欠かせません。風洞試験の中でも航空機の形や強度を決めるために行われるのが「圧力試験」です。

一般的な圧力試験では模型表面に直径0.5mm程度の小さな孔をあけ、圧力センサを使って圧力を計測します。この方法は計測精度は高いのですが、計測点の数が最大でも数百点程度に限定されてしまいます。

これに対し、感圧塗料（Pressure-Sensitive Paint：PSP）計測では圧力に反応して発光量が大小する発光塗料を模型表面にスプレー塗装し、これをカメラで計測することで圧力を調べます。PSP計測を利用すれば、模型表面の圧力値を広範囲かつ詳細に調べることができます。圧力分布を可視化することで、模型表面の流れを明瞭に理解することも可能です。

風洞技術開発センターでは、航空機やロケットの開発に使われる宇宙航空研究開発機構（JAXA）の大型風洞群にPSP計測システムを整備し、風洞模型表面の圧力分布を詳細に計測することによって流れを解りやすくする技術を研究しています。

PSPで様々な流れを計測する

PSPは圧力の高低に反応して明るさの変化する発光

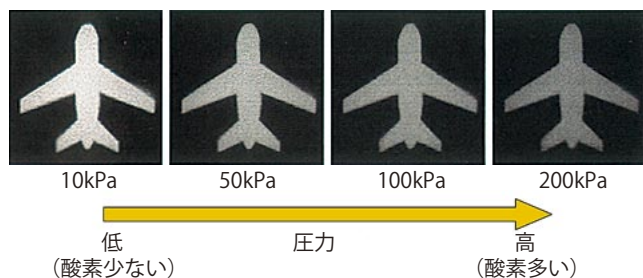


図1 圧力とPSPの発光強度の関係

分子を酸素透過性ポリマーと混合した塗料です。図1はPSPを塗装した航空機の型を圧力チャンバー内に設置し、圧力を変化させたものです。圧力が高くなるとPSP発光が小さくなるのが分かります。この明るさの変化はPSP発光分子と酸素分子の間のエネルギー移動によって起こる現象で、酸素消光と呼ばれています。PSP計測では、圧力と発光強度の関係を使って風洞試験で撮影された画像から圧力分布を求めます。

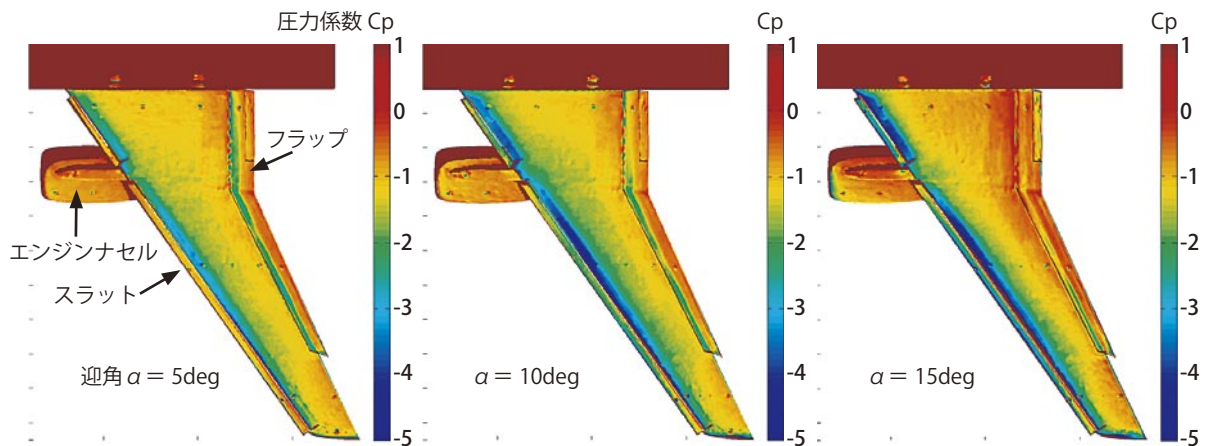
図2はPSPを塗装した模型をJAXA6.5m×5.5m低速風洞に設置した様子です。この模型では主翼、翼前縁のスラット、翼後縁のフラップ、エンジンナセルにピンク色のPSPが塗装されています。図3は流速60m/sで模型の迎角を5°、10°、15°と変化させた時の圧力分布です。青色が圧力の低い部分を、赤色が圧力の高い部分を示しています。迎角が大きくなるにつれて翼の上での圧力変化の幅が大きくなっていくことや、翼前縁のスラットと主翼の隙間部分で青色が濃くなり圧力が非常に小さくなっていることなど、流れの構造を明瞭に理解することができます。

JAXAでは、航空機の巡航速度であるマッハ0.7や0.8程度の遷音速領域において、現在開発中の国産旅客機



模型サイズ：胴体長さ4.9m、床面から翼端まで2.3m

図2 JAXA6.5m×5.5m低速風洞に設置されたJAXA高揚力装置風洞模型（JSM）



濃いエンジ色の部分はPSPが塗られていない部分とカメラからは見えない部分

図3 JAXA6.5m × 5.5m低速風洞におけるJSM主翼上面の圧力分布（流速60m/s 迎角 $\alpha = 5^\circ$ 、 10° 、 15° ）

の高性能化に貢献するような実用レベルのPSP技術を既に確立しています。さらに現在では、これまでのPSP技術では難しいとされていた圧力変動の小さな低速流れに対しても、図3に示す様に実機設計に提供できる十分なレベルの計測が行なえるところまで技術開発を進めています。

これからのPSP

—— 正確に捉える、動きを捉える

これから先、さらに進めるべきPSPの発展としてはふたつの方向があります。

ひとつは、より精度の高いPSPの開発です。PSPは圧力だけではなく温度にも反応してしまいます。この温度の影響をいかに取り除くかが圧力計測の精度向上のカギになります。そこで、ひとつの塗料で温度と圧

力を計測できる「複合PSP」や、温度の影響を受けにくい「温度感度低減PSP」の開発をデータ処理手法の改良も含めて進めています。

もうひとつは、時々刻々と変化する圧力を計測できるPSPです。フラッタと呼ばれる振動によって、航空機が破壊される現象を調べたり、気流の圧力変化によって発生する騒音を減らすために役立つ「非定常PSP技術」の開発も進めています。

PSP技術は航空機やロケットに限らず、自動車や鉄道など、空気の流れがあるところならどこにでも使える技術です。広く世の中に役立つ技術に育てて行きたいと考えています。

（風洞技術開発センター 中北 和之）



【風洞技術開発センター】
高度化セクション

（後列左より）栗田 充、伊藤 正剛
（前列左より）満尾 和徳、中北 和之、山内 智史

空気の流れをツブさにキャッチ!!

PIVって？ — 空間の流れの速さを測る技術

高性能な航空機やロケットを開発するためには、PSP技術（P.2参照）を用いた圧力計測によって機体表面に沿った流れを詳細に調べるとともに、機体周りの空間の流れの様子も詳細に調べることが重要になってきます。

空間の流れ、つまり空間速度場の様子を詳細に調べる方法としてJAXAが導入しているのが「粒子画像流速測定法（Particle Image Velocimetry：PIV）」です。PIVは光を使った気流計測法です。シードと呼ばれる微小粒子を気流中に混ぜ、流れに照射したレーザー光の散乱を利用してシードの移動量をカメラで捉えることで、流れを乱すことなくレーザー光面内の速度場を調べることができます。風洞技術開発センターでは、2台のカメラを使うことで流れの速度の3成分（3方向の速さ）を同時に導き出す「ステレオ PIV システム（図1）」を整備し、JAXAの低速風洞や遷音速風洞に適用しています。

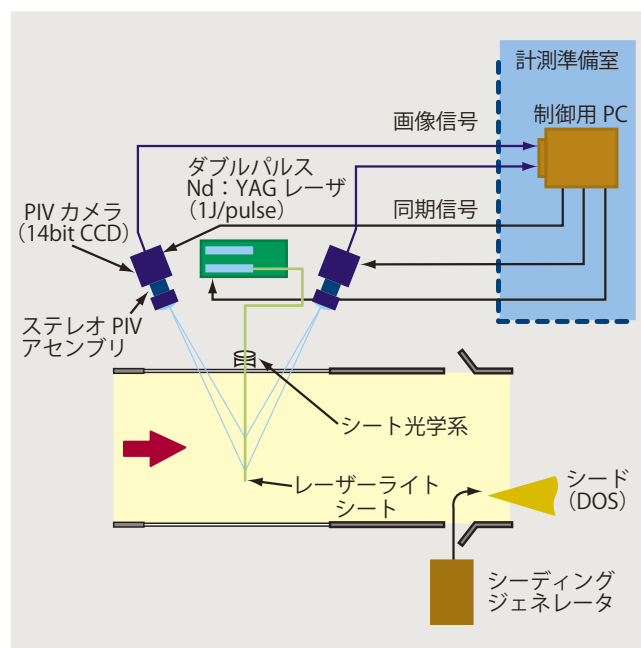


図1 ステレオ PIV システムの概要

複雑な気流を「見る」だけでなく 定量的に「測る」

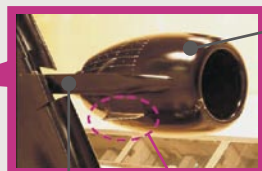
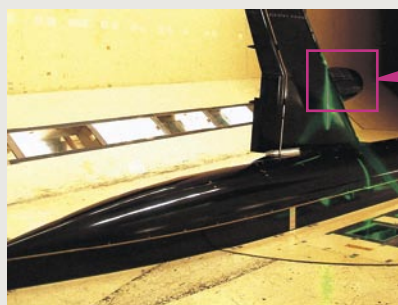
航空機のエンジンはパイロンによって主翼に取り付けられていますが、離着陸の際にパイロンから渦が発生し、その渦が翼面に沿う流れと干渉して流れの剥離を起こし、揚力を減少させてしまうという問題があります。その剥離を抑えるために、エンジンのカバー（エンジンナセル）にチェーンと呼ばれる突起状の板が設置されていますが、その設置位置が航空機の性能にとって重要になってきます。図2は“チェーンの性能評価”に関する試験の様子とその結果です。PIV計測により、チェーンによって剥離が抑えられる様子や、チェーン設置位置による効果の違いを定量的に捉えることができました。

その他にも、離着陸時に使用する高揚力装置（スラット、フラップ）から発生する空力騒音の低減に役立てるため、高揚力装置周りの気流の計測にも PIV を活用しています。

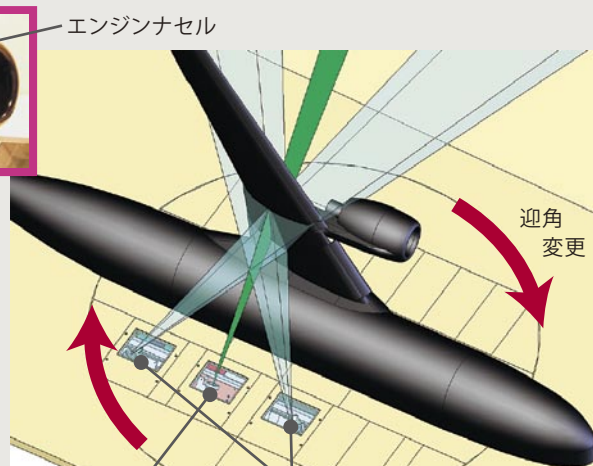
より正確で便利な技術への発展を目指して

先に紹介した PSP 技術や、このページで紹介している PIV 技術は、航空機やロケットの表面の詳細な圧力や空間の速度場など、これまでの技術では計測できなかった2次元または3次元的な流れの状態を計測するために導入した技術です。現在は、これらの計測技術の「精度」と「効率」の更なる向上を目指し、「計測技術の高度化」の研究を進めています。

PSP 技術や PIV 技術では、一回の試験で膨大な量の流れの情報を得ることができます。その中から、ユーザにとって本当に必要な情報だけを選別し、可視化などにより利用しやすい形で提供することも重要です。そこで、そのために必要な「データ利用技術」の開発にも、今後、力を入れて行きたいと考えています。



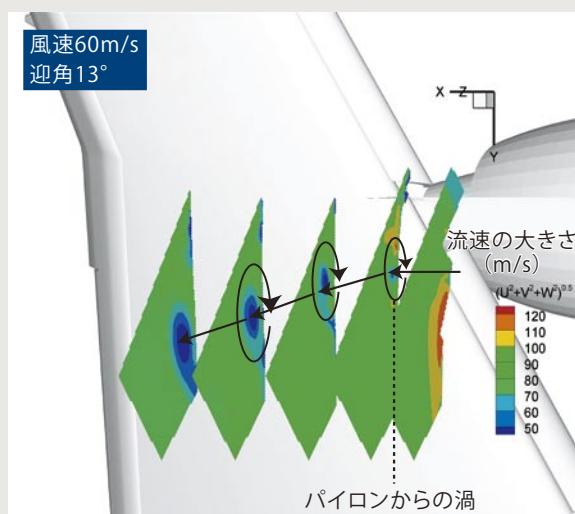
パイロン チェーン



レーザーシート光学系 カメラ

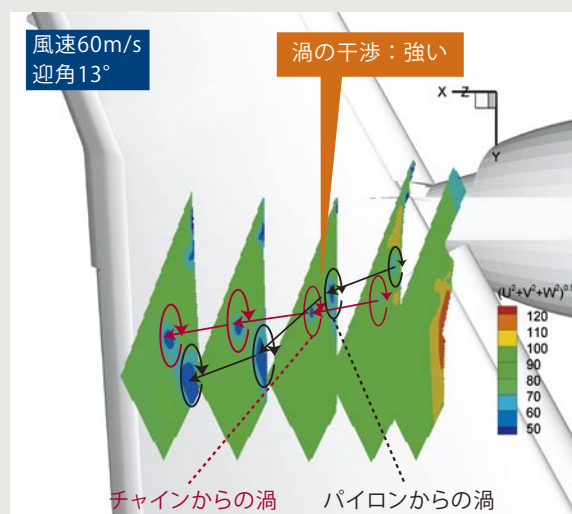
A：試験の様子

JAXA 6.5m × 5.5m 低速風洞にて、JAXA 高揚力装置風洞模型 (JSM) を使って試験を行いました。PIV 計測に必要な機材を模型と一体化することで、迎角変更による機材の再配置の手間を省いています。



パイロンからの渦

チェーンなし



チェーンからの渦

パイロンからの渦

チェーンあり

B：試験結果

チェーンから発生した渦がパイロンから発生した渦と干渉し、剥離が抑えられている様子がよく分かります。

図2 チェーンの性能評価試験



【風洞技術開発センター】
高度化セクション

(後列左より) 松本 一洋、橋本 拓郎
(前列左より) 渡辺 重哉、加藤 裕之

研究紹介

多数の耳で音を捉える

空港周辺で問題になる騒音は？

高性能の航空機を設計するためには、揚力や抵抗などの機体に加わる力、圧力、流れ場などの計測が欠かせません。これらの計測で得られたデータによって機体の形状が決められますが、もしその形状が“うるさい”ものであったなら、どんなに優れていても採用することはできません。

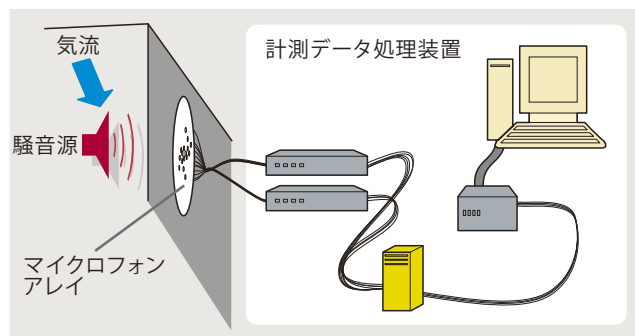
空港周辺にも住宅地が見られる日本では、静かな機体、特に離着陸時に騒音を抑えられる機体が求められています。航空機の騒音源としてまず考えられるのはエンジンです。離陸の際には、最大推力を必要とするエンジンは確かに一番の騒音源になります。しかし、着陸の際には、「空力騒音」と呼ばれる機体と気流の干渉により生じる音、いわゆる風切り音が問題になってきます。

埋もれてしまう音を探索

通常、通風中の風洞内は気流と壁との干渉などで音（暗騒音）が発生しており、騒音計測に適した状態ではありません。そのため、騒音計測用に特別に整備された風洞を使用する必要があります。もし、通常風洞試験と同じ状態で騒音を計測できれば、他の試験で得られるデータとの比較も容易になり、現象の解明などにも効果を発揮すると考えられます。

また、1本あるいは数本の独立した計測器（マイクロフォン）を用いる一般的な騒音計測では、騒音の総量は調べられても騒音の発生場所を特定することは困難でした。そこで、通常使用している風洞の測定部の壁面に多数の計測器（マイクロフォンアレイ）を埋め込み、気流を乱すことなく音の発生場所を特定する「音源探索技術」

の整備を進めています。この方法を使えば、暗騒音に埋もれてしまう音を計測し、その発生位置を特定することが可能です（図1）。

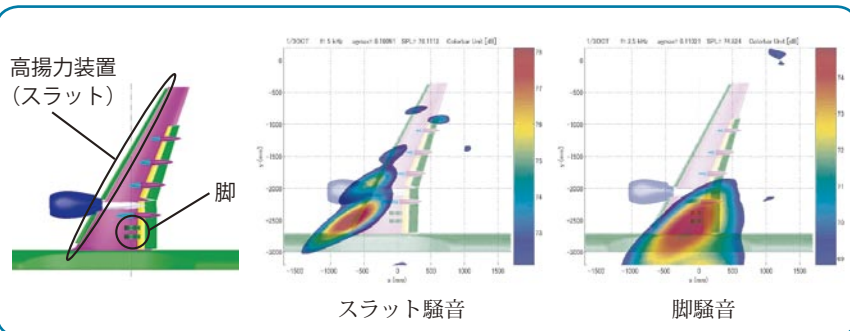


48本のマイクロフォンアレイを計測室の壁に渦を描く様に埋めることで、騒音の発生位置とそのレベルを計測することができます。

図1 JAXA 2m x 2m 低速風洞における音源探索計測の概念図



JAXA 6.5m x 5.5m 低速風洞に設置された三菱リージョナルジェット（MRJ）半裁模型（写真：三菱重工業株式会社提供）



模型から発生している音が画面上に表示され、発生位置を特定することができます。

図2 三菱リージョナルジェット（MRJ）半裁模型の音源探索結果

マイクロフォンアレイによる音源探査技術の研究

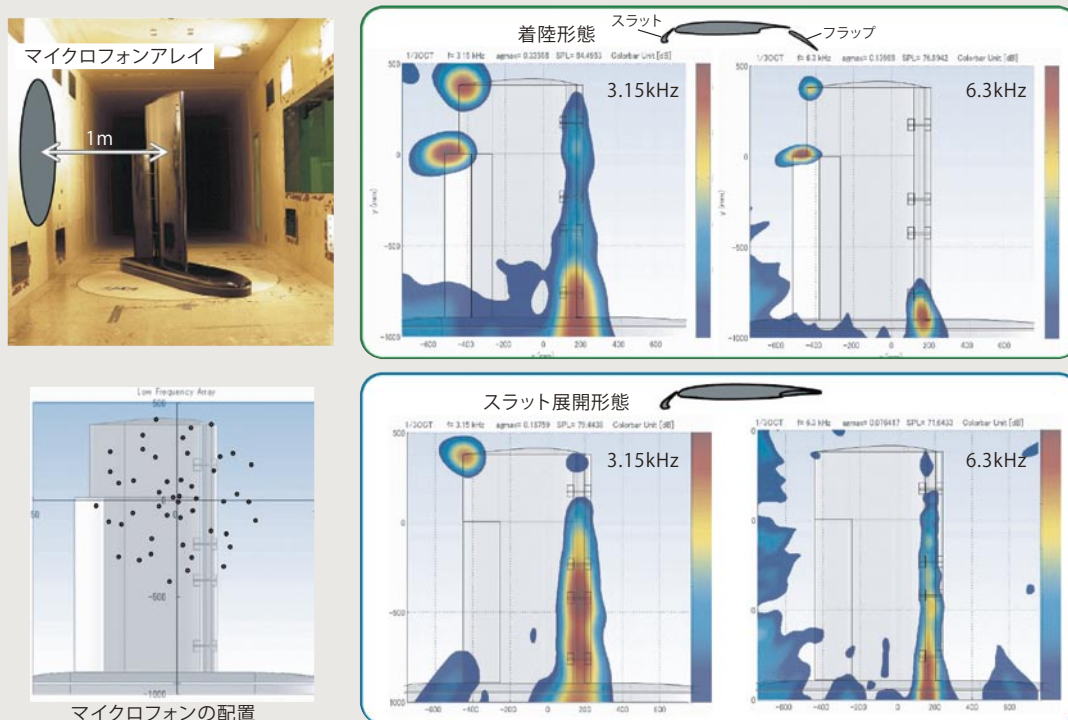
図2は、三菱重工業株式会社が開発を進めている国産旅客機の半裁模型を使った、音源探査試験の計測結果です。高揚力装置や脚部分から騒音が発生している様子が見て取れます。これらの試験により得られたデータは、実機の開発に役立てられています。

CFD解析技術の高度化を目指す

航空機の設計では風洞による試験だけでなく、機体周りの流れや騒音などを数値流体力学（CFD）にて解

析し、設計形状の性能を評価することも行われています。しかし、CFDは高揚力装置周りの気流の様子など、複雑な形状周りの解析はあまり得意ではなく、現在も研究開発が進められているところです。そのCFD解析に必要なデータの蓄積も進めています（図3）。

風洞技術開発センターでは、今回紹介した「圧力場計測技術」「空間速度場計測技術」「音源探査技術」などの計測技術をJAXA風洞群へ導入し、実機開発に必要なデータを提供しています。



Hz（ヘルツ）：音の周波数を表す単位。この値が大きいほど、高い音になる。

スラットとフラップを展開した着陸形態や、スラットのみを展開した形態など、様々な翼形態でどの周波数帯の音がどの程度発生しているかを計測し、設計に使えるCFD解析技術を確立するためのデータとして蓄積しています。

図3 JAXA 2m × 2m 低速風洞におけるCFD解析用データ取得試験の様子



【風洞技術開発センター】
低速風洞セクション

（左から）伊藤 健、浦 弘樹

空 宙 情 報

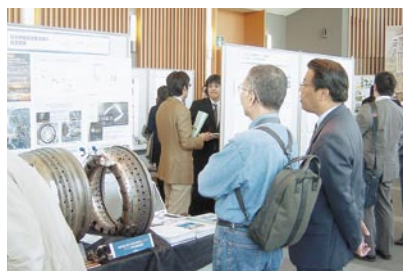
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 平成19年度 総合技術研究本部／ 航空プログラムグループ 公開研究発表会

【開催報告】

総合技術研究本部および航空プログラムグループの日頃の研究成果を広く紹介するため、2007年11月14日（水）に日本科学未来館（東京都）にて「公開研究発表会」を開催しました。



東北大学総長 井上明久氏による特別講演「大学から見たJAXAとの研究連携の重要性と今後への期待」



最新の研究成果を紹介



東大-JAXA 航空宇宙工学ワークショップ

【開催報告】

2007年10月、JAXAと東京大学の間で研究協力の包括的協定を締結しました。これを記念し、従来の高密度で円滑な研究協力を堅持しつつ、更に活発に展開するための第一歩として「東大-JAXA 航空宇宙工学ワークショップ」を、12月10日（月）にJAXA 航空宇宙技術研究センター（東京都）にて開催しました。



開会の挨拶をする坂田本部長



共同研究および委託研究の研究内容を発表



ミニパネルディスカッションの様子
研究協力のあり方について、様々な意見が
交わされました。