

空と宙

研究開発 —— JAXAの風洞力をアップ!

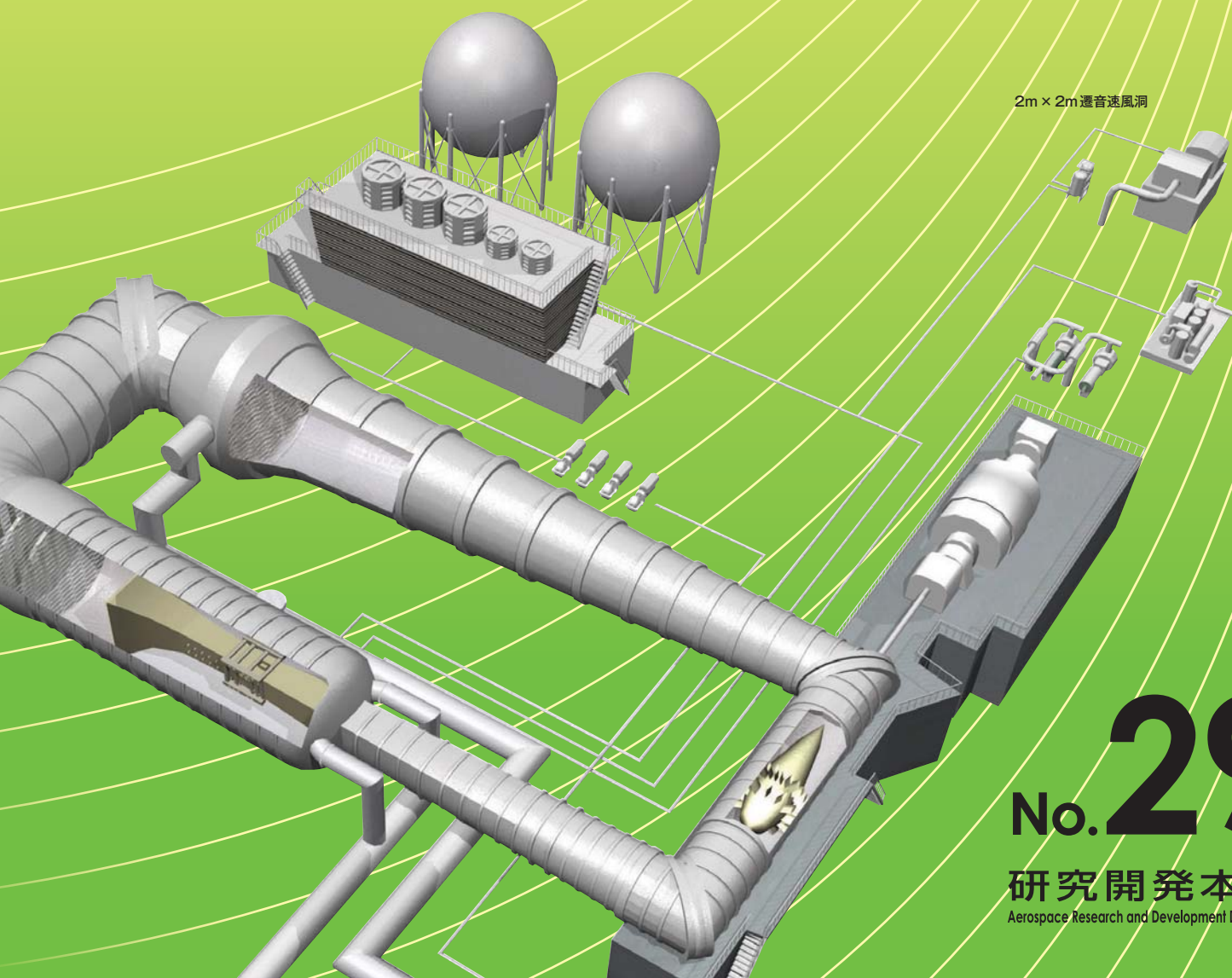
日本の風洞技術を高め、
国際競争力の底上げを目指す

「1カウント」の抵抗を測るには?

標準風洞としての役割を果たすために

そら そら
空宙情報

小型実証衛星1型「SDS-1」打ち上げ成功
「一般公開」開催案内



2m x 2m 遷音速風洞

No. **29**

研究開発本部
Aerospace Research and Development Directorate

日本の風洞技術を高め、国際競争力の底上げを目指す

航空機・宇宙機の開発に用いられるJAXA所有の7基の基盤風洞について、今後どの様に研究・開発および運営を進めていくべきかの指針として「JAXA風洞ビジョン2025」をつくりました。そこで、中心となってビジョンをまとめた風洞技術開発センターの重見仁センター長と渡辺重哉さんに話を聞きました。

目標を明確化、共有化することで「やる気」と「一体感」が生まれる

なぜ「JAXA風洞ビジョン2025」をつくったのでしょうか。

重見：共通の課題や夢を持つことにより風洞技術開発センター全体のモチベーションが上がると考えたからです。また、我が国の宇宙開発の方針を定めた「宇宙基本法」が昨年8月に施行され、JAXAも変革を迫られるだろうという思いもありました。そのような流れの中で、風洞設備の運営や風洞技術開発の方向性を打ち出して行くべきと考えるようになったわけです。

渡辺：2005年3月、JAXAはおよそ20年後までの宇宙航空分野の望ましい姿を「長期ビジョン（JAXA2025）」として示しています。その中で、様々な将来像の実現を謳っていますが、そのために必要な基盤となる技術をどうやって開発していくのかについてはあまり触れられていません。そのため、階層的な技術項目ごとのビジョンが必要だと考えたのです。その先駆けとして風洞に関するビジョンをつくった、という面もあります。

どの様につくり上げていったのでしょうか。

渡辺：まず、外部の有識者からなる委員会によって当本部の風洞技術研究開発のあり方について議論していただきました。委員会でもとめられた意見を踏まえて、センター長を中心にセクションリーダークラスで議論を重ね、3項目から成る柱をつくりました。その後も、風洞の将来を担う若い人たちも含めて更に広く意見を聞き、それらを反映してまとめたのがこのビジョンです。若い人たちの意見を聞いて感じたのは、“自分が胸を張って目指せる目標であって欲しい”という思いです。国内はもちろん、世界に向けても誇れる様な目標を持ち、実現させたいという非常に強い思いですね。

ビジョンを達成するための具体的な活動

ビジョンの1番目を達成するためには、風洞ユーザの海外からの

獲得が必要とのことです。

渡辺：ユーザは独自の様々な技術を保有しているので、欧米の技術レベルの高いユーザを獲得することでそれを吸収することが可能です。しかも、我々の風洞を使ってもらうことで、我々の技術を世界に広く知ってもらえるという利点もあります。そうすることで風洞技術や運営のノウハウを国際的に切磋琢磨することができ、1番目のビジョンの達成に繋がると考えています。ただ、JAXAの風洞は「我が国の標準となる試験設備」という位置づけがあるため、国内ユーザと国外ユーザの試験のバランスはしっかりと考えなければいけません。

2番目のビジョンとして世界トップとなる風洞の開発を検討しているようですが。

渡辺：現在開発中の国産小型旅客機「三菱リージョナルジェット（MRJ）」の次の世代の国産旅客機の開発を見据えて、航空機が実際に飛んでいる環境を模擬できる新たな風洞設備の建設を望む声が上がっています。

重見：国内で開発された航空機およびロケットは、ほぼ全てJAXAの風洞にて空力性能の実証を行っています。JAXAの風洞群にはその様な歴史があり、それが一つの価値と成っています。しかし、建設された年代が古く、近年特に重要となってきている騒音などの環境計測には配慮できていません。JAXAに限らず、世界を見回しても開発に使われている大型風洞は古いものが多く、似た様な状況です。そのため、第1の候補である低速風洞で「実機の飛行条件を模擬する能力」を有しつつ「環境（騒音）計測能力」を備えた風洞を開発できれば、それは世界で唯一の風洞となり、我が国の航空宇宙分野の国際競争力の向上に役立ちます。

渡辺：航空機による二酸化炭素の排出や空気の汚染、騒音などの環境問題は近年ますます真剣に議論されるようになってきました。現在では、空力性能と合わせて環境性能も高い機体でないと国際市場で売れる機体にはなりません。そのため、そのような試験を行える風洞が必要になってきています。若い人の中には、世界で戦えるような新しい設備の建設に携わりたいという意欲のある人

「JAXA風洞ビジョン2025」

ビジョンの達成によりJAXA長期ビジョンの達成および国産旅客機の国際競争力向上に貢献する。

1. 風洞技術の開発を通じ、世界トップ品質の風洞群を整備し、アジア標準風洞としての地位を確立する。
JAXA風洞ユーザの10%以上を海外から獲得する。
2. 欧米風洞の試験能力を凌駕する世界トップの風洞1基を新規に開発する。
「実機飛行条件模擬能力と環境（騒音）計測能力を兼備した世界唯一の低速風洞」が有力候補であるが、
「世界最高性能／効率／低コストの超音速風洞」も含め今後検討。
3. 風洞技術をベースとした、世界をリードする実機空力特性予測・評価技術を獲得する。
風洞技術とCFD技術の融合、飛行試験データの活用などにより実現する。

もおり、良い目標になると思います。

3番目のビジョンの達成のためには、CFD（計算流体力学）などの風洞試験以外の技術も重要になってきますね。

渡辺：いろいろな技術の「相互理解」というのが一つの鍵だと思っています。例えば、風洞技術とCFD技術、それぞれ得意とする部分、不得意とする部分がありますよね。お互いの良いところを上手く組み合わせることができれば、個別の技術だけでは実現できないことができるようになり、機体の設計に必要な空力データを高精度でかつ効率的に取得できると考えています。それは、国際競争に勝てる高性能な機体の開発に繋がっていきます。

広い視野に立つことでビジョンを達成する

「風洞ビジョン2025」を実現するために大切なことは何だと思えますか。

重見：我々が昔から憧れていたことを明文化したのがこのビジョンです。このビジョンで掲げた項目は2025年の実現を目指していますので、これから活躍する若い人たちにこのビジョンの精神をきちんと伝え、託すことで

実現してもらわなければならないと思っています。ビジョンを実現しようという意欲を持って取り組むことが、恐らく一番大事だと思うんです。

渡辺：ビジョンをつくって内外に示すということは、覚悟を決めるということだと思います。目標を掲げたからには、その実現のために関係者で協力して最後まであきらめないで努力し、2025年までにぜひ実現したいですね。「風洞ビジョン」と言うと「風洞」のみに限定しているように聞こえるかもしれませんが、でも、実際にはCFD技術との連携やフライト計測技術など、風洞とは異なる分野についても、ビジョンを実現するために必要な技術であれば風洞技術に限定せずに含めるように心がけました。そこまで広く含んだ構想にしないと、我々が目指すべきビジョンとしての意義が薄れると考えたからです。これは、JAXA長期ビジョンがJAXAの担当する活動以外にも包含しているのと同じ理由です。

重見：このビジョンは我々風洞に携わる者の力だけでは実現できませんので、JAXA内部だけではなく大学やメーカーなどの外部の方々のご理解やご協力も必要になります。



【風洞技術開発センター】

（左より）渡辺 重哉、重見 仁

もっと詳しく知りたくなったら
ココに **アクセス!**

JAXA2025
研究紹介

http://www.jaxa.jp/about/2025/index_j.html
<http://www.ard.jaxa.jp/res/wintec/index.html>

「1カウント」の抵抗を測るには？

飛行機の性能は空気力で決まる

高性能な飛行機の特徴の一つに、浮くための力（揚力）に比べて抵抗が極めて小さいことが上げられます。飛行機に働くこれらの空気力は、機体形状を模擬した模型に対して人工的に空気の流れを作る「風洞」という設備によって求めることができます（図1）。

計測精度は解決できたけれど

飛行機の抵抗は「カウント^{*1}」で表現されます。抵抗を1カウント減らすことができると、燃料の搭載量を変えずに乗客を数名増やすことができます。つまり、抵抗のカウント数を減らせば減らすほど、経済性の高い飛行機になるわけです。そのため、風洞試験では1カウントの精度で計測できることが重要になってきます。

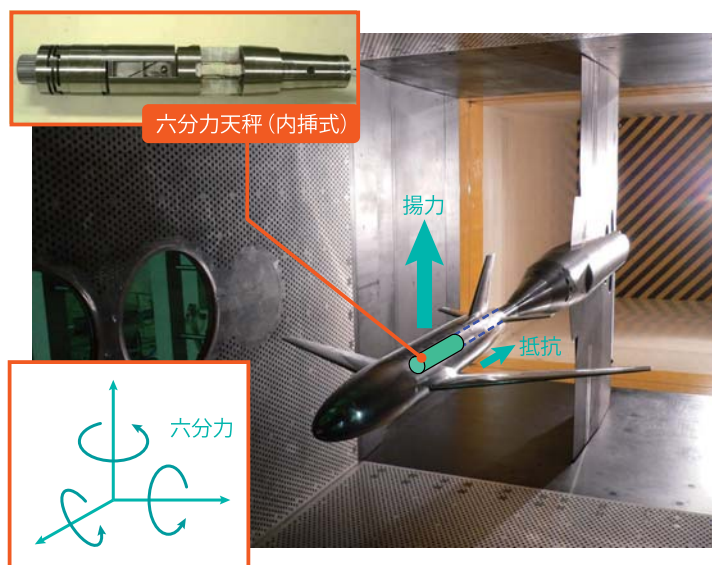
JAXAが所有する2m×2m遷音速風洞（表紙）は、マッハ数0.1から1.4（音速の0.1から1.4倍）の気流速度域に対して長時間連続で試験ができる、我が国最大の遷音速風洞です。長時間連続的に試験が行えるため、データ生産性は国内随一です。しかし、試験時間が長くなると、送風機から加えられるエネルギーや壁などとの摩擦熱により冷却装置を使って

も50℃近くまで気流温度が上がってしまうという問題があります。天秤の変形量を計測するひずみゲージは温度の影響を大変受けやすいため、熱が加わると天秤の計測精度が落ちてしまいます（図2）。そこで、天秤温度がほぼ一定になるまで待つことで高精度の空力データを取得する「予備加熱法」を考案しました。さらに、試験途中でマッハ数が変わっても天秤温度が変わらない様、気流温度の微調整を可能にしました。また、より計測精度を高めるため、試験中間でも基準データ^{*2}を取得し、データ処理方法も工夫できるようにしました。これらにより、良好な試験結果を得ることができました。

図3はONERA-M5標準模型による試験結果の一例です。季節を変えて6回の試験を行ったところ、どの試験でもほぼ同じ結果（良い再現性）が得られていることが分かります。

より精度の高い計測を目指して

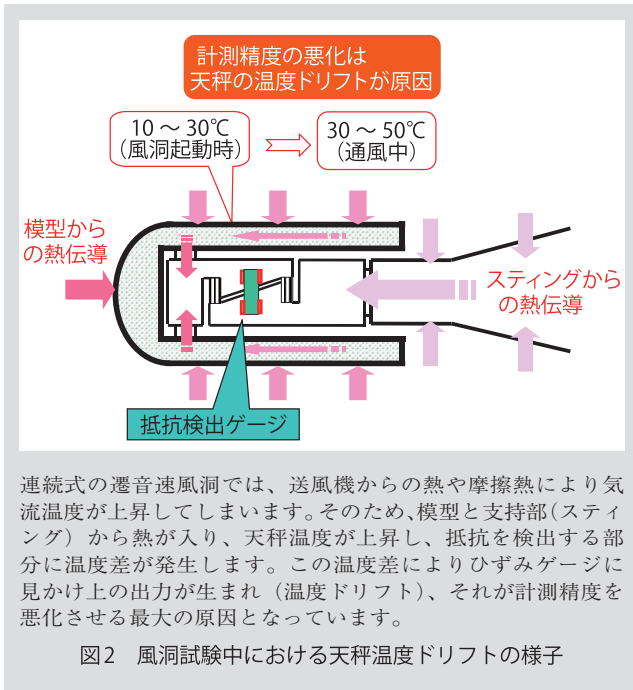
しかし、現在の方法では天秤温度が一定になるまで1時間以上予備加熱する必要があるため、せっかくの生産性を十分に活かしきれません。そこで、気流温度の変化に左右されない高精度の天秤を開発することにしました。新しい天秤には、材料や形状、



写真の模型は、風洞の基本特性を調べるために世界中で使用されているONERA-M5標準模型です。模型には、前後、左右、上下および、各軸周りに働く力（モーメント）の合わせて6方向に空気力がかかります。模型の中には六分力天秤が内挿されており、模型にかかる空気力によって天秤の六分力検出部が変形します。この検出部にはひずみゲージ[◆]が貼り付けられており、その変形を計測することで空気力を求めることができます。

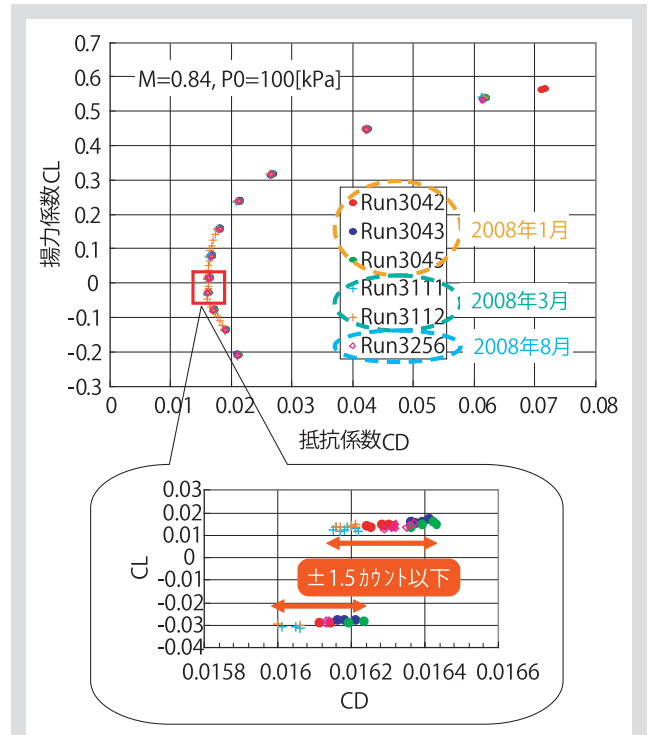
◆ ひずみゲージ：ひずみとは、外力の作用によって伸ばされた長さを元の長さで割った値です。ひずみゲージはこのひずみを求める計測装置です。

図1 2m×2m遷音速風洞での六分力天秤による計測の様子



ひずみゲージの貼り方など、熱による変形がキャンセルできる様な工夫を取り入れます。現在は天秤の熱構造解析を進めているところです。

高精度天秤の開発により、高い計測精度を得ることができるようになります。しかし、その精度を達成するには、精度の高い天秤較正を行う必要があります。風洞試験では実際に機体が飛んでいる状態を模擬するため、模型(天秤)には全ての方向の力(複合荷重)が同時にかかります。そこで風洞試験で得られるデータを正確なデータ(実際に飛行した際に得られる値)に近づけるため、自動で複合荷重の天秤較正を行う「複合荷重式自動天秤較正装置」の開発にも着手しています。



外気温度により気流の温度変化の様子が異なる三つの季節で6回の試験を行い、約30点のデータの精度を確認しました。抵抗が最小となる辺りでの精度は±1.5カウント以下となり、海外の主要風洞と同程度の精度を達成することができました。

図3 改善された力計測データの精度

- ※1 カウント：飛行機の抵抗の大きさは、機体の形状や飛行速度などによって決まる「抵抗係数」に大きく左右されます。カウントはこの抵抗係数によって決まります。抵抗係数が0.0001の時、1カウントになります。巡航中の旅客機の全抵抗に対し、1カウントは0.3～0.5%程度です。
- ※2 基準データ：基準とする気流条件、模型姿勢の時に得られる天秤の計測データのことです。本来、気流条件と模型姿勢が同じであれば、天秤の計測データも常に同じになるはずですが、そのため、試験中間に基準データを取得することにより、天秤温度ドリフトの様子を知ることができます。



【風洞技術開発センター】

(左より) 須谷 記和、香西 政孝

標準風洞としての役割を果たすために

不確かさとは

実験結果に、誤差はつきものです。よって、定量的な誤差の提示がなければ、いかなる判断も結果から引き出すことはできません。ここで、図1と図2に、実験値と理論値を比較した例を示します。図1の方が図2より、実験値と理論値が一致すると判断する人は多いでしょう。ところが両図は同じデータを、縦軸を変えてプロットしたに過ぎません。

そこで、ある確率（通常95%）で、実験結果に含まれる誤差の限界値である「不確かさ」を、科学的に推定して用います。先ほどのデータを図3に、不確かさをエラーバー（I）として共に示します。す

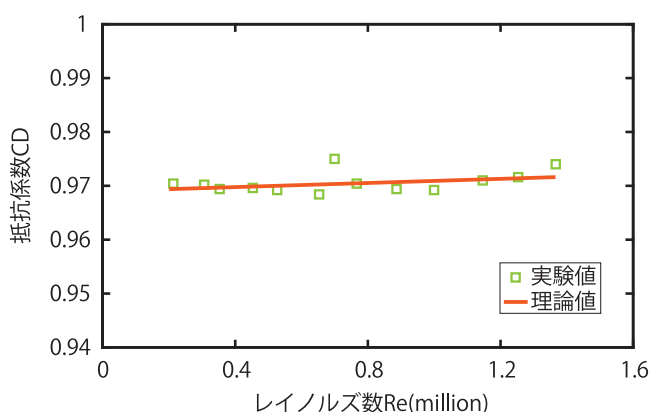


図1 実験値と理論値の比較例1

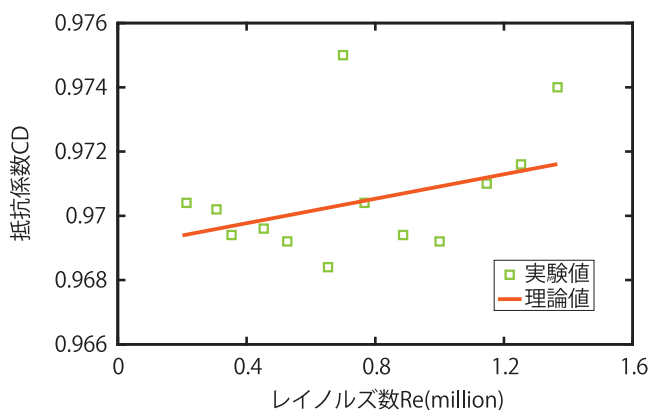


図2 実験値と理論値の比較例2

ると、実験値と理論値の一致が客観的に判断されます。また、図3の中央部の一点は、統計的判断基準*により、異常値とみなすことができます。

この不確かさの求め方（不確かさ解析）に関し、国際規格が発行されています。また、各学会からも標準規格が発行され、論文への表示の義務付けや推奨がなされています。不確かさ解析のもう一つの意義は、各誤差要因の寄与が実験をする前から判明することです。目的を達成できない実験を、事前に中止する根拠になるばかりか、効率的な改善も可能となります。

世界トップ品質の標準風洞として

JAXA大型風洞群には、風洞試験データの絶対値の基準となる標準風洞の役割があります。長さの基準となるメートル原器や、時間の基準となる標準時計と同様な役割です。風洞試験（実験）は、流れのモデル化が必要なCFDより、絶対精度では優れています。また、メーカーの中小型風洞では、模型の大きさから詳細な試験の制約があります。よって諸外国でも、その国随一の大型風洞が、国の機関によって運営されています。そのような風洞では、結果の不確かさを推定するのに必要な、風洞気流などの不確

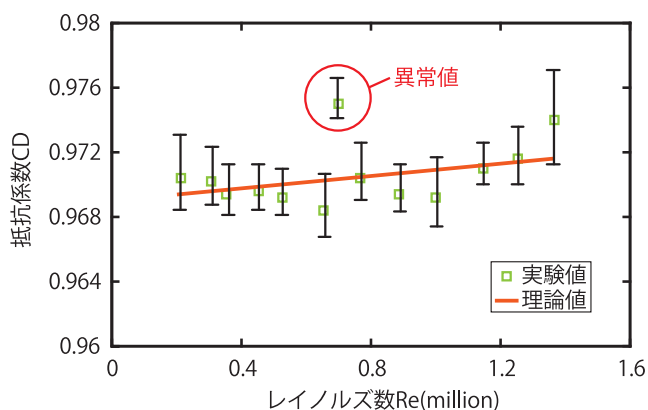


図3 実験値と理論値の比較例3

かさが表示されつつあります。

風洞で最も重要なのは、気流の一様性や擾乱率などの、「気流の質」です。これは、静止空気中を飛ぶ状態を人工的な気流で模擬する、風洞試験の根本的な問題です。また、実機ではなく模型による試験結果から、相似則を用いて実機性能を予測します。これらにより、単なる測定手法だけではなく、気流の質や実機予測手法など、全てを含めた性能予測の不確かさを、推定する必要があります。いまのところ、これは経験から推定するしかありません。

JAXAから日本の航空機産業へ

風洞技術開発センターでは、国内各風洞の試験データを集約し、データベースを作成しています。これにより、共通形状に対する試験データを比較することができます。すると、図4に示すような標準模型形状に関しては、自風洞の癖や風洞試験全体のばらつき、すなわち風洞試験の不確かさが判明します。

また、アメリカ航空宇宙学会の不確かさ標準規格AIAA-SO71A-1999を和訳刊行し、ユーザに配布しています。さらに、極／超音速風洞で不確かさの表示／推定のサービスを始めています。

風洞試験は、多くの人員の様々な業務によって成り立っています。そして不確かさに関する問題は、風洞に携わる全ての人員が、様々な形で取り組んで



図4 JAXA超音速風洞に設置したAGARD-B標準模型

いると言えます。このような活動も併せ、風洞試験の不確かさを推定する技術の研究開発を進めています。それは、JAXA風洞からユーザである、日本の航空機産業に波及していくものと考えています。

(風洞技術開発センター 永井 伸治)

※ 統計的判断基準：統計学の工学的応用により、異常値を判断できる基準を求めることができます。

【参考文献】笠木、長野「計測における不確かさ解析の基礎と応用(第一回)」『ターボ機械』第17巻 第4号、1989



【風洞技術開発センター】

(後列左より) 佐藤 衛、神田 宏、西島 寛典、永井 伸治、渡辺 光則、木村 毅
(前列左より) 赤塚 純一、青木 良尚、飯島 秀俊、板橋 幸広

空 宙 情 報

小型実証衛星 1 型「SDS-1」打ち上げ成功

JAXAでは、次の世代の衛星に搭載が予定されている新規技術を用いた機器の実証や、先端基盤技術の軌道上データ取得を目的に、開発した小型実証衛星（SDS）を相乗り衛星として打ち上げる「小型実証衛星プログラム」を進めています。その第1号機として、2006年夏より当本部の若手技術者が設計段階から主体になりインハウスで開発してきた「小型実証衛星1型（SDS-1、上図）」が、2009年1月23日に温室効果ガス観測技術衛星「いぶき（GOSAT）」の相乗り衛星として打ち上げられました。現在、筑波宇宙センターにある小型衛星運用室（下図）からのテレメトリ監視やコマンド運用によって、順調に飛行を続けています。SDS-1

には、マルチモード統合トランスポンダ、スペースワイヤ実証モジュール、先端マイクロプロセッサ軌道上実験装置など、JAXA内から選ばれた種々のミッション機器が搭載されており、初期チェックアウトにおいて正常に機能することが確認されました。

今後、定常運用において各ミッション機器の軌道上実験を行い、貴重な実証データを取得する予定です。

（宇宙実証研究共同センター
平子敬一）



図 SDS-1軌道上イメージ（上）小型衛星運用室（下）

【開催案内】 一般公開

当本部では毎年、4月の科学技術週間に合わせて施設を公開しています。今年もたくさんの施設・設備を公開します。各種イベントも開催しておりますので、みなさまお誘い合わせのうえご来場ください。

詳細は、JAXAのホームページにて紹介しています。ご不明な点などありましたら、各センターに直接お問い合わせください。

JAXA HP <http://www.jaxa.jp>

※イベントページ（2009年4月）をご覧ください。

筑波宇宙センター

所在地：茨城県つくば市千現2-1-1

開催日時：4月18日（土）10：00～16：00

キャッチフレーズ

「つくばで感じる 宇宙のいぶき！」

【お問合せ先】

筑波宇宙センター 広報係 電話：029-868-5216

調布航空宇宙センター

所在地：東京都調布市深大寺東町7-44-1

開催日時：4月19日（日）10：00～16：00

「空の未来に出会える日。」

【お問合せ先】

調布航空宇宙センター 広報 電話：0422-40-3960