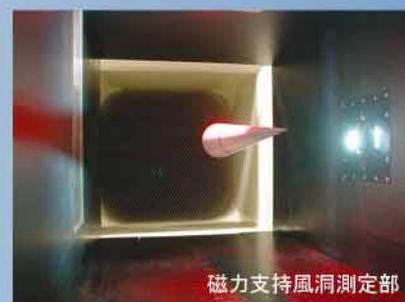


なる

NAL

No.531

JUNE 2003



- 宇宙航空研究開発機構の初代理事長決定
- カーボンナノチューブの複合化による
耐熱ポリイミド複合材料を開発
- 予冷ターボエンジンの
ラム燃焼器・可変ノズル実証試験を実施
- 磁力支持天秤装置
- 飛行船を追いかけてーその②ー

National Aerospace Laboratory of JAPAN

6

航空宇宙技術研究所

宇宙航空研究開発機構の初代理事長決定



新機関のロゴ：星の意匠に様々な思いが込められています

本年10月1日に当研究所、宇宙科学研究所（ISAS）、宇宙開発事業団（NASDA）の宇宙関連3機関が統合し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構が誕生します。3機関は現在、独立行政法人宇宙航空研究開発機構法に基づき、統合のための準備作業を進めているところです。5月20日には統合に先立ち、新機関の初代理事長としてNASDAの現理事長である山之内秀一郎が、文部科学大臣より指名されました。それを受けて5月23日に、世界貿易センタービル内にあるNASDAiプレゼンテーションルーム（東京都港区浜松町）にて、新理事長に対する記者会見および新機構の英文名と略称、ロゴマークの発表が行われました。

新機関の英文名称は、“Japan Aerospace Exploration Agency（JAXA）”です。日本語正式名称を直訳することをあえて避け、“Exploration”に「探査」だけではなく、「研究」や「開発」まで含む広い意味を持たせています。また、略称の最初に“J”を入れることで、「日本の」という印象を与えています。

ロゴマークは、“Aerospace”の“A”を星というモチーフで意匠化しています。星のダイナミックな曲線が躍動感を表現しており、また右方向への鋭い直線が未来やスピードを表しています。星の輝きは、「希望」、「誇り」、「探求心」の

象徴であり、また進むべき道を示す「道しるべ」でもあります。新機関もその事業によって日本の、ひいては人類の星となり、燦然と輝きたい。そのような願いが込められています。

独立行政法人宇宙航空研究開発機構法の概要

法人の目的

大学との共同等による宇宙科学に関する学術研究、宇宙科学技術に関する基礎研究及び宇宙に関する基盤的研究開発並びに人工衛星等の開発、打上げ、追跡及び運用並びにこれらに関連する業務を、平和の目的に限り、総合的かつ計画的に行うとともに、航空科学技術に関する基礎研究及び航空に関する基盤的研究開発並びにこれらに関連する業務を総合的に行うことにより、大学等における学術研究の発展、宇宙科学技術及び航空科学技術の水準の向上並びに宇宙の開発及び利用の促進を図ること。

業務の範囲（主な業務）

1. 大学との共同その他の方法による宇宙科学に関する学術研究
2. 宇宙科学技術及び航空科学技術に関する基礎研究並びに宇宙及び航空に関する基盤的研究開発
3. 人工衛星及び人工衛星打上げ用ロケット（人工衛星等）の開発等
4. 人工衛星等の打上げ、追跡及び運用等
5. 成果普及
6. 施設及び設備の供用
7. 研究者及び技術者の養成、資質の向上
8. 大学における教育への協力

カーボンナノチューブの複合化による 耐熱ポリイミド複合材料を開発

当研究所は、宇宙科学研究所、宇宙興産(株)と共同で、熱硬化型ポリイミド樹脂¹とカーボンナノチューブ²の複合化による耐熱ポリイミド複合材料を開発しました。この複合材料は、各材料の複合化前の諸特性を維持しつつ、熱硬化型ポリイミド樹脂をベースとする複合材料としては極めて高い、357 というガラス転移温度³を有していることが特徴です。ベースとなる樹脂のガラス転移温度が335 であることから、カーボンナノチューブとの複合化により20 以上もの耐熱性向上が実現したことになります(図1)。このような耐熱性の向上は今まで発表されておらず、NASAで開発された世界最高の耐熱性を誇る熱硬化型ポリイミド樹脂PMR-15よりも、優れた耐熱性を有していることが見出されました。

本研究は、宇宙科学研究所と宇宙興産(株)が共同で開発した熱硬化型ポリイミド樹脂Tri-A PIをベースとして、当研究所において、カーボンナノチューブと樹脂との基礎的な複合化技術を確立したものです(特許出願中)。なお、カーボンナノチューブとしては、(株)カーボン・

ナノテク・リサーチ・インスティテュートが開発した、チューブが幾層にも重なった構造をとる多層カーボンナノチューブ(直径10~100nm)を使用しています。

今後は、この技術をベースに複合材料の更なる特性改善を進めていくとともに、炭素繊維強化複合材料のベース材や、部品間をつなぐ接着剤として、航空機、ロケット、宇宙往還機など航空宇宙分野への応用も検討していく予定です。また、カーボンナノチューブを加えることによる電気伝導性の付与(図2)を利用して、電気伝導性を必要とする人工衛星用フィルムなどへの適用も期待しています。



耐熱ポリイミド複合材料の電子顕微鏡写真
糸のように白く浮き上がっているのが、カーボンナノチューブです。(1 μm = 1000nm)

- 1 熱硬化型ポリイミド樹脂：耐熱性や高強度性等の優れた特性を持ち、電気・電子分野から宇宙開発用途まで高い信頼性のある樹脂として利用されています。NASAで開発されたPMR-15やPETI-5などが世界的に良く知られています。
- 2 カーボンナノチューブ：炭素でできたチューブ構造の物質です。その直径は数nm~数10nm(1nm=1/10億m)と非常に小さく、中空構造となっています。電気伝導性が高く、ダイヤモンド並みの高い強度を有しています。
- 3 ガラス転移温度：樹脂の剛性が急激に低下する温度。様々な測定方法がありますが、今回は動的粘弾性測定法⁴によって測定しました。PMR-15およびPETI-5のガラス転移温度は、今回と同じ方法で測定すると、それぞれ345、270 前後となります。
- 4 動的粘弾性測定：微小な変形(振動)を与えることで、内部構造を壊さことなく流動性や粘性・弾性を測定する方法です。今回は変形を与えながら温度を連続的に上昇させ、材料のガラス転移温度を測定しました。

先進複合材評価技術開発センター
小笠原 俊夫(取材協力)
石田 雄一(取材協力)

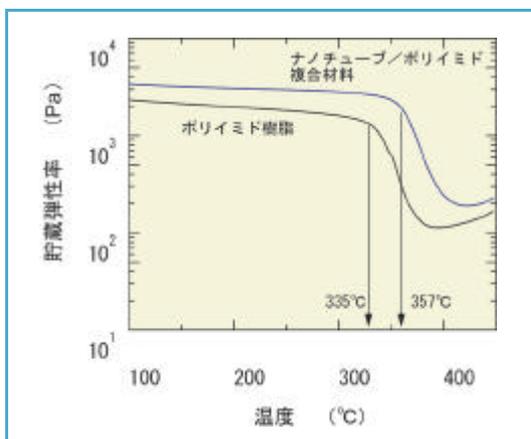


図1 ナノチューブ/ポリイミド複合材料の動的粘弾性測定結果

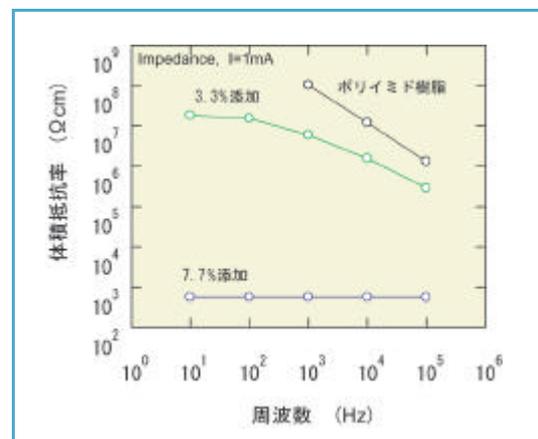


図2 ナノチューブ/ポリイミド複合材料の電気抵抗測定結果

= 2 段 式 ス ペ ー ス プ レ ー ン の 実 現 に 向 け て =

予冷ターボエンジンのラム燃烧器・可変ノズル実証試験を実施

2段式スペースプレーン(図1)は、飛行機のように滑走路から離陸して、1段機体、2段機体ともに自力で基地に戻るができる宇宙輸送システムです。当センターの高速機用エンジングループは、この1段機体に用いることを想定した予冷ターボエンジン(図2)の研究を進めています。予冷ターボエンジンは、燃料である液体水素の冷熱で入口を冷やすことにより超高速の空気による厳しい加熱を緩和し、マッハ6(音速の6倍)程度の飛行速度まで作動することを可能とした、空気吸い込み式エンジンです。

このエンジンの実現のためには、1900 以上の高温燃焼ガスを生成す

るラム燃烧器と、広い速度範囲で最適な性能を得るために面積比を大きく変化できる可変ノズルが必要となります。また、各部を熱から保護する冷却機構も必要となりますが、超高速の空気はエンジン内に取り入れるだけで1400 程度に加熱されるため、航空機用エンジンで用いられる空気による冷却方式は適用できません。

そこで、これらの厳しい要求を満たすことを目標としたラム燃烧器と可変ノズルを設計・製作し、実証試験を実施しました(写真)。ラム燃烧器は、炭化ケイ素複合材の内壁を断熱材で支持する構造とし、内壁温度を高温に保つことで壁面に流入する熱量を抑え、冷却要求を低減する設計としました。可変ノズルについては、地上から高度30kmにおける圧力変化に対応して、理想に近い膨張流れ場を形成して、損失を低減する形状を考案しました。また、気流の速度が高く、壁面に流入する熱量が非常に大きくなるため、液体水素による冷却を模擬した水冷却構造としました。

実証試験においては、地上静止からマッハ6まで

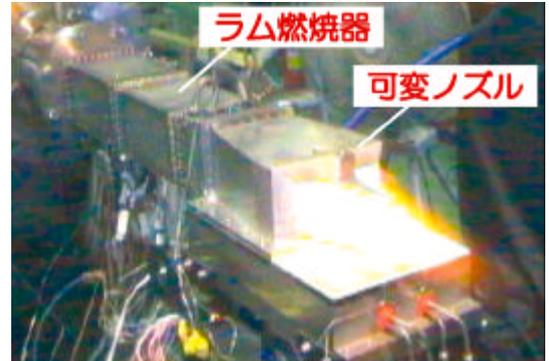


写真 ラム燃烧器・可変ノズル燃焼試験

飛行した場合にエンジン内部にかかる圧力条件の下で可変ノズルの流量特性を取得するとともに、1900 以上の燃焼温度において、ラム燃烧器と可変ノズルの壁面における温度や流入する熱量の計測を行い、耐熱構造が設計どおりに機能することを実証しました。ただし、試験後にラム燃烧器の内壁に亀裂を発見したため、現在、この原因の調査と改良設計の検討を進めています。

今後は、改良したラム燃烧器と可変ノズルを用いて、さらに広い試験条件で実証試験を行うとともに、予冷ターボエンジンの入口に装着する可変インテークの実証試験を進める予定です。

なお本研究は、宇宙3機関連携融合プロジェクト「再使用型宇宙輸送システム研究」の一環として行われています。



高速機用エンジングループのメンバー(筆者:前列右)

航空推進研究センター

田口 秀之

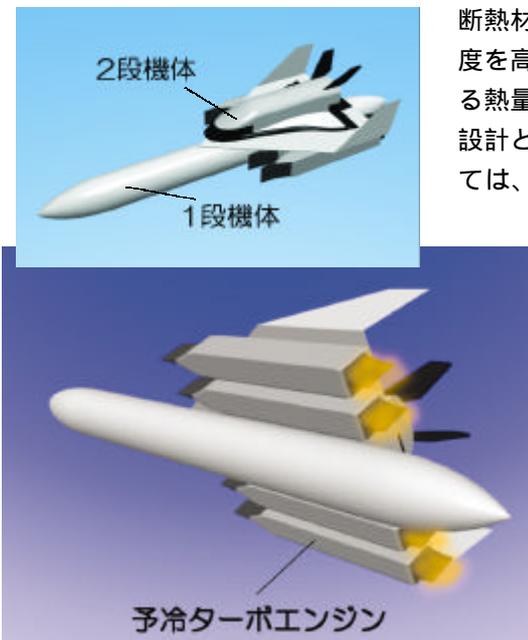


図1 2段式スペースプレーン

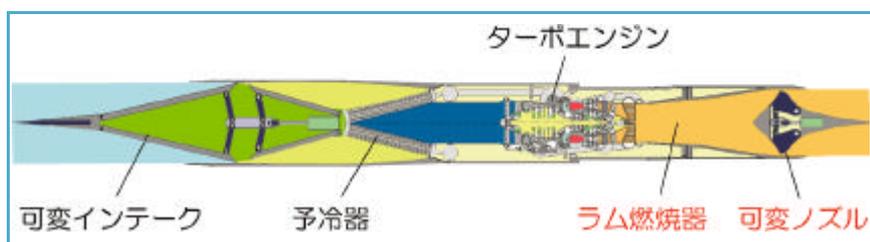


図2 予冷ターボエンジン断面図

= 磁場を作って模型を浮かす =

磁力支持天秤装置

磁力支持天秤装置とは

従来の風洞試験では、模型に作用する空気力を、模型を支える支柱に作用する力から計測しています。しかし、計測された空気力から支柱の影響を完全に排除することが難しいために、力やモーメント計測の高精度化の障害となっていました。

磁力支持天秤装置では、支柱の代わりに、風洞測定部の周りに配置した10個の電磁石と、模型内部に埋め込んだ永久磁石との磁気力で、模型を空中に固定します。模型に空気力が作用し位置（角度）が変化すると、位置（角度）を一定に保つためにフィードバック制御で電流量を変化させます。この変化量から、模型に作用する空気力を割り出すことができます。このように、磁力支持天秤装置は支柱のない理想的な形態で、模型に作用する力を計測することができます。

軸間干渉の問題

磁力支持天秤装置では電流を制御することによって、前後（X軸）、左右（Y軸）、上下（Z軸）および各軸周りの回転という6つの方向に対して、模型を自由に動かすこともできます（図1）。

模型を浮かせるためには、図2のような磁場の向きになるように電流を流します。この時Z軸方向に大きな力を発生させるための強い磁場が原因で、模型をX軸方向に動かすとY軸周りの回転運動が誘発されてしまうことが知られていました（軸間干渉）。軸間干渉は模型の意図しない位置（角度）変動を引き起こすだけでなく、模型に作用する力の計測にも悪影響を及ぼします。

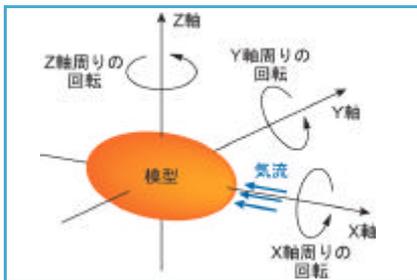


図1 模型の自由度

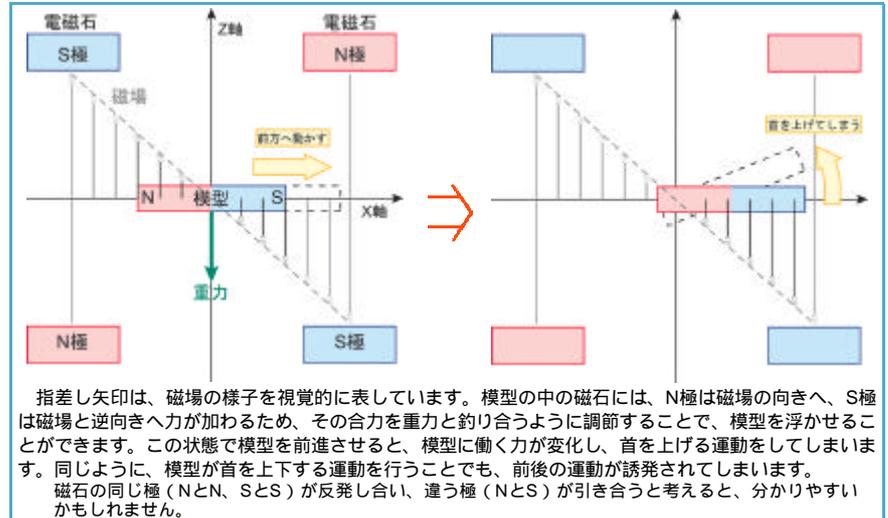


図2 前後運動と首振り運動の干渉問題

軸間干渉を解消するための制御

軸間干渉は、運動する模型の安定性を損なうため、電流量を変えて意図しない変動を抑える必要があります。磁力支持天秤装置では、数ミリ秒先の模型の位置（角度）を予測して電流を制御していますが、急激な模型の運動に伴い予定外の力が発生するために、今までの制御では軸間干渉を完全に排除することができませんでした。そこで、あらかじめ平衡状態を保つために必要な電流量を調べることで、軸間干渉を抑えるために必要な電流量を追加する、新たな制御系を構築しました。この制御系の有効性を証明するため、低速風洞にて実験を行った結果、従来の制御系では抑えることのできなかった軸間干渉が、実用上問題にならないレベルにまで抑えられることが示されました（図3）。当研究所では現在、この制御方式に関して特許を申請しています。

磁力支持天秤装置は、装置によって電磁石の数や配置形態が異なりますが、この制御方式は、どのような装置にも対応でき

る適用範囲の広い技術です。また、今回は低速風洞で実験を進めたため重力（Z軸方向の強い磁場）のみが問題となりましたが、例えば超音速風洞などで、高速な気流に対して模型がZ軸周りにある一定の角度を保ち続けられるよう、Y軸方向に強い磁場を作る場合にも、適用できます。

今後の研究の進め方

今までは、模型を動かさずに風洞試験を行ってきました。今回、軸間干渉を解消できたため、複雑な運動が今まで以上に安定な状態で行えるようになりました。今後は模型を動かした状態での非定常な空気力計測も行っていく予定です。

流体科学研究センター
須田 信一（取材協力）

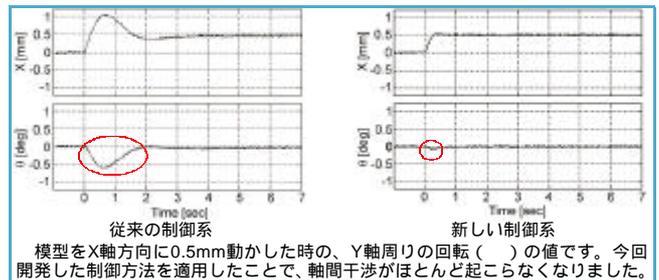


図3 実験結果

飛行船を追いかけて - その ツェッペリンの飛行船 -

成層圏プラットフォームでは、全長が250mもある巨大な飛行船がプラットフォームとして使用されます。現在運航中の旅客機は大きいものでも75mほどですから、その大きさは相当なものです。しかし、過去にも250m近くある巨大な飛行船が建造され、実際に運航されていました。

飛行船の推進方法

1852年にフランスで誕生した飛行船は、推進機関として蒸気機関を使用していました。また1880年代前半には、電気モーターを推進機関にした飛行船が誕生しています。しかしこれらの推進機関は、飛行船に搭載するには重すぎました。飛行船を自由に飛ばすためには、もっと軽く、小型で馬力も強い推進機関の方が向いています。

1885年、自動車への搭載を目的にしたガソリン・エンジンが、ドイツのダイムラー社により開発されました。小型で軽量、馬力も強いこのエンジンは、飛行船にとっても十分魅力的でした。そのため1888年には、ダイムラー社製のガソリン・エンジンを搭載した飛行船が開発され、初飛行を行っています。

硬式飛行船の誕生

ガソリン・エンジンの登場も手伝って、飛行船の運動性は格段に向上しました。次にやってきたのは、構造そのものの変化による進化です。

1900年、フェルディナンド・フォン・ツェッペリンが開発した全長96mの飛行船が、ドイツのボードン湖にて初飛行を行っています。この飛行船は、今までに開発されてきたものとは異なり、アルミの骨組みを持っていました。その周りには帆布が貼られ、内部には水素の詰まったガス袋が入っている、いわゆる硬式

飛行船です。強度を受け持つ構造と浮揚性を受け持つ構造を分けることにより、その両方をガス袋で受け持つ構造の今までの飛行船（軟式飛行船）では不可能であった、形状のスマート化や大型化が可能になりました。

ツェッペリンは、その後も精力的に飛行船の開発を進めていきます。1909年には、ドイツ飛行船空輸会社（DELAG）を設立し、ドイツ国内の主要都市を結ぶ世界初の定期航空便を開始しています。この便は、第1次世界大戦の始まる1914年まで運行を続けました。

世界一周旅行、そして・・・

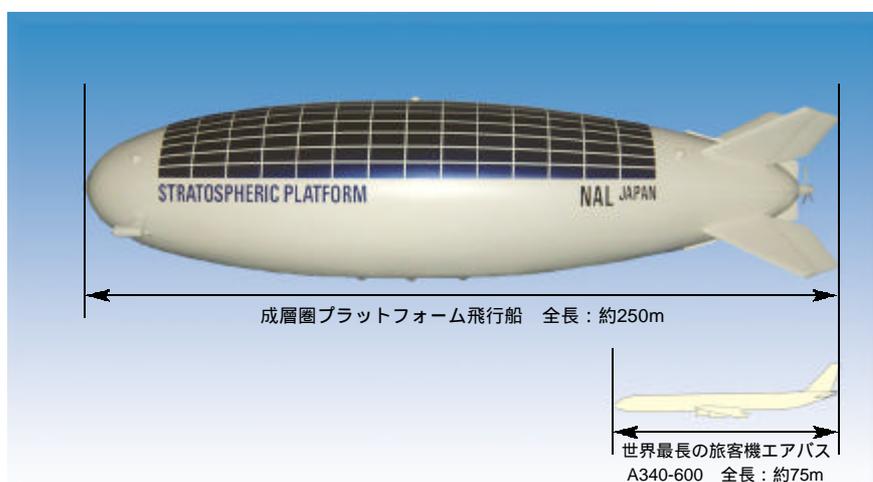
1928年、ツェッペリンの名を冠した飛行船、グラーフ・ツェッペリン号が完成しました。ツェッペリンは既にその生涯を終えており、この飛行船の開発は、彼の飛行船開発に長年関わってきたエッケナーが取り仕

切っています。グラーフ・ツェッペリン号は、完成の翌年に飛行船初の世界一周旅行へと旅立ちました。この航行中、飛行船は日本の霞ヶ浦にも立ち寄り、大変な歓迎を受けています。

エッケナーはその後も、太平洋横断の定期便航路の開設などを手がけ、硬式飛行船の運航を強力に進めていきました。しかし、1936年に運航を開始した全長245mもある大型硬式飛行船のヒンデンブルグ号が、その翌年に爆発炎上事故を起こしてしまいます。この事故により、大型硬式飛行船の開発は急速に終焉へと向かっていきました。

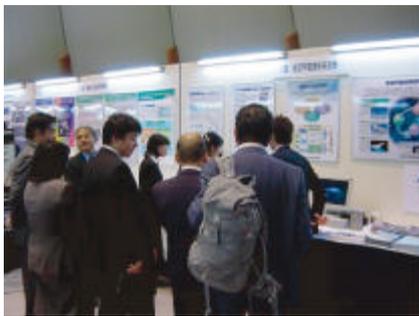
<参考文献>

- 『飛行船の再発見』 飯沼和正 講談社ブルーバックス
- 『飛行船の時代』 関根伸一郎 丸善ライブラリー
- 『航空の世紀』 吉川康夫 技報堂出版



第2回 産学官連携推進会議

2003年6月7日（土）、8日（日）の2日間、第2回産学官連携推進会議が、国立京都国際会館で開催されました。この会議は、産学官の各関係者が情報交換や対話等の交流を行える場を提供することにより、産学官連携の進展を図ることを目的に去年



より開催されています。

当日は、各種講演が行われると共に、多数の展示ブースが設けられました。当研究所でも展示ブースを設け、パネルやリーフレットを使って技術移転の取組について紹介しました。また、「飛行速度ベクトル計測システム」、「傾斜機能材料」、「フリーピストンスターリングエンジン」の実物の展示や、「風洞試験」、「小型ジェット機を用いた騒音計測試験」などのビデオによる紹介を行いました。当研究所のブースには2日間で365名の見学者が訪れ、製品化や具体的な活動に関する質問や意見などを受けることができ、当研究



所およびその技術に対する強い関心を直に感じられる良い機会となりました。

業務部 業務課
技術移転推進室

第22回 アメリカ航空宇宙学会空力測定法 / 地上試験法会議の優秀論文賞を受賞

アメリカ航空宇宙学会（American Institute of Aeronautics and Astronautics）が主催する第22回空力測定法/地上試験法会議（22nd Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference）において、当研究所の流体科学研究センターがMOSAICプロジェクトで進めてきた、「感圧塗料を用いた寿命イメージング計測システムの開発」に関する論文（"Development of a Lifetime Imaging System for Pressure-Sensitive Paint"）が優秀論文賞を受賞しました。

寿命イメージング計測とは、感圧塗料に含まれる感圧センサー（色素）

の発光寿命が圧力に依存する特性を利用した計測法です。しかし、感圧塗料の発光寿命（ μsec オーダー）は圧力だけでなく、温度にも依存します。そのため、寿命イメージング計測は温度分布が生じるような流れ場には適用できませんでした。

私たちは感圧センサーの発光寿命と圧力、温度の相関関係を明らかにし、発光寿命イメージから圧力と温度イメージを同時に計測する手法を確立しました。計測システムのハード面の開発は浜松ホトニクス（株）が担当しました。その成果の独創性と新規性が米国の学会で評価され、今回の受賞となりました。



流体科学研究センター
満尾 和徳

2002年度 日本トライボロジー学会技術賞を受賞

日本トライボロジー学会では毎年、トライボロジーに関する優れた研究に対して、功績賞、論文賞、技術賞、奨励賞の授与を行っています。今年、当研究所角田宇宙推進技術研究所が進めてきた「DN値300万級



開発したハイブリッドセラミック玉軸受の外観

の超高速・極低温ハイブリッドセラミック玉軸受の開発（「なる」2002年3月号参照）」が技術賞を受賞し、5月13日（火）に開催されたトライボロジー学会通常総会において表彰されました。

軽量（小型）化、高性能化が求められる再使用ロケットエンジンでは、極低温推進剤である液体酸素や液体水素を燃焼器に供給する、ターボポンプの高速化が必要です。特に上段用ロケットエンジンには、回転数100,000rpm級の液体水素ターボポンプが必要です。これだけの回転数

を実現するためには、ポンプやタービンの回転軸を支える軸受の超高速技術の開発が不可欠でした。

当研究所が開発した、窒化ケイ素セラミック玉を用いたハイブリッドセラミック玉軸受（内径25mm）は、ターボポンプ用軸受の回転速度限界を回転数120,000rpm、高速性の指標となるDN値（軸受の内径×回転数）300万の世界最高レベルにまで引き上げました。このことが、独創性、新規性、性能の優秀性の高い、実用的な技術だと認められ、今回の受賞となりました。

第12回 日本航空宇宙学会賞を受賞

日本航空宇宙学会では毎年、航空・宇宙工学と航空宇宙産業の発展を奨励するために学会賞（論文賞、技術賞、奨励賞）の授与を行っており、当研究所は今年、論文賞1件と技術賞2件の計3件を受賞しました。4月8日（火）に当研究所で開催された日本航空宇宙学会通常総会において表彰され、記念のメダルを受け取りました。

論文賞 Developmental History of Liquid Oxygen Turbopumps for the LE-7 Engine

この論文では、世界一級レベルのH-ロケット用1段メインエンジンLE-7の高性能液体酸素ポンプ技術の詳細について述べており、日本の技術到達点のひとつを後世に伝える好ましいテーマであるとともに、プロ

ジェクトの総括的報告としての好例であることが評価されました。

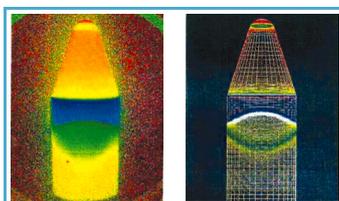
技術賞 開発風洞試験のための感圧塗料技術の開発

感圧塗料を使用した風洞試験での模型表面の圧力計測方法の開発が技術的に評価され、技術賞を受賞しました。この方法では、圧力孔などを使った従来の計測方法に比べ、コストと時間を大幅に減少できます。また、今まで計測が困難であった薄翼

やエンジンの回転ブレードなどにも適用することが可能です。

技術賞 多目的実証実験機（MuPAL-）の開発

インフライト・シミュレータであるMuPAL-の完成が、画期的な研究設備の開発に成功したと認められ、技術賞の受賞につながりました。MuPAL-は、新しい航空技術の研究開発や航空機の安全性向上に大きく貢献することが期待されています。



H-ロケット模型の圧力計測
（左：感圧塗料 右：圧力孔）



MuPAL-

訂正：2003年5月号6ページ参考文献の『飛行の世紀』は『航空の世紀』の間違いでした。



発行

独立行政法人 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1 〒182-8522
平成15年5月発行 No.531

© 禁無断複写転載「なる」からの複写、転載を希望される場合は、広報室にご連絡ください。
ご意見ご感想などは電話、FAXまたはEメールでお寄せください。
電話：0422(40)3958 FAX：0422(40)3281
NALホームページ：http://www.nal.go.jp/ Eメール：WWWadmin@nal.go.jp