

なる

NAL

No.534

SEPTEMBER 2003



- 飛行シミュレータ施設FSCATを整備
- ジェットエンジン用仮想試験技術の開発
- 110kW誘導プラズマ加熱風洞の整備
- 太陽熱推進でデブリをなくす
- 飛行船を追いかけて - その④ -

National Aerospace Laboratory of JAPAN

9

航空宇宙技術研究所

= 航空安全技術研究開発の新たな拠点 =

飛行シミュレータ施設FSCATを整備

当研究所はこれまで、飛行シミュレータを新しい機体や搭載機器、運航方式の開発や、人間・航空機系の特性評価などの航空システムに関する様々な研究に活用してきました。

そして、航空安全技術に関する研究の一層の推進と外部利用による国内航空産業活性化への寄与を目的として、大学、メーカ、運航会社等外部ユーザーの意見を取り入れた新しい飛行シミュレータ施設FSCAT (Flight Simulation Complex for Advanced Technology) を整備しました。

飛行シミュレータは、実際の航空機の操縦と等価な感覚および情報をパイロットに対して与えるための装置です。飛行シミュレータを利用することで、実際に航空機を使用することと比較して高い安全性を確保しつつ、少ないコストで航空機に関する様々な実験や評価研究を行うこと



写真 固定翼機型コックピットFSCAT-Aの外観と内部の様子

が可能となります。

FSCATは、ユーザーが様々な研究開発試験を容易に実施できるように用途に合わせた3つのコックピットと、飛行運動計算機および模擬視界生成装置から構成されます(図)。コックピットは、エンジニアリング(研究開発用)シミュレータでは国内唯一の6軸モーション装置を備えた固定翼機型コックピットFSCAT-A

(Airplane)(写真)、水平180度垂直80度の大型ハーフドーム型映像装置を備えた回転翼機型コックピットFSCAT-R (Rotorcraft) および拡張性の高いオープンエア型の固定式コックピットFSCAT-F (Fixed-base) を備えています。また、FSCATで利用されているデータ処理ソフトウェアや計器表示プログラムは、当研究所の実験用航空機 MuPAL- および MuPAL- と共通となっていることから、飛行シミュレーションと実際の航空機を利用した飛行実験とを併せた総合的な実証実験を行うことができます。

FSCATを航空安全技術研究開発の拠点とするとともに、アビオニクスメーカ、機体メーカ、大学等の関係機関に活用していただくことで、国内の航空技術研究開発および航空宇宙産業の振興に役立てたいと考えています。

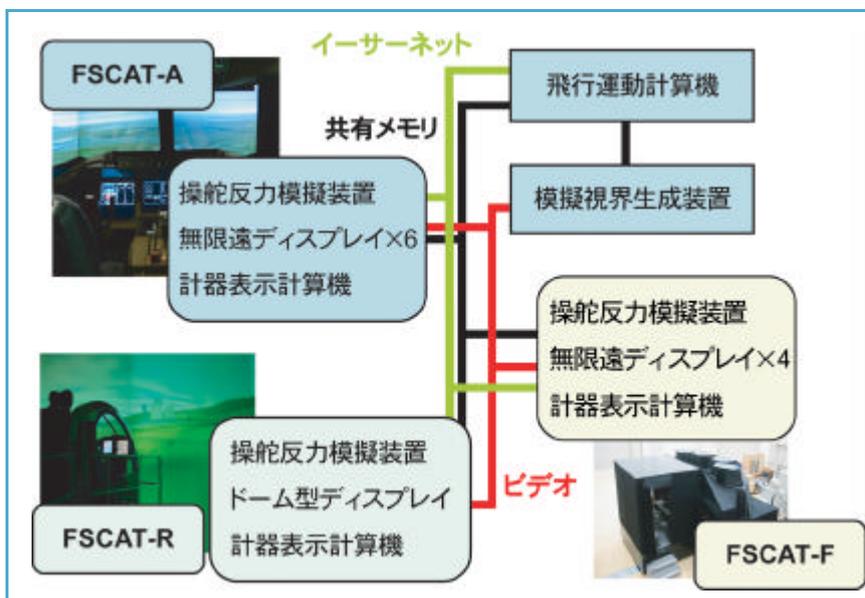


図 FSCATシステム構成

飛行システム研究センター

= 大規模数値シミュレーションでジェットエンジン開発プロセスの革新を =

ジェットエンジン用仮想試験技術の開発

当研究所は石川島播磨重工業(株)(IHI)と共同で、当研究所のスーパーコンピュータによる数値シミュレーションを用いて、ジェットエンジンの開発に関する仮想試験技術開発を行っています。

ジェットエンジン内にある圧縮機とタービンは、回転する多数の羽根(翼)で構成されています。圧縮機やタービンを開発する際には、必ず回転要素全体を模擬した模型を使って、空力設計の妥当性を確認する試験を行います。模型の製作から試験までは約1年かかるため、開発には長い期間が必要な上に、多額の費用がかかっています。しかし、数値シミュレーションを利用した仮想試験技術を確立することで、模型による性能試験を効率よく進め、エンジンの開発期間や開発コストの削減を図ることが可能です。

そこで第1段階として、ジェットエンジンの構成要素であるタービンの仮想試験を行える技術を開発しました。圧縮機やタービンは多数の翼を有していますが、通常の技術計算用コンピュータでは演算速度やメモリの制約があるため、数値シミュレーションで解析できるのは、1つか2つの翼に限られていました。実際の流れは各翼が相互に影響を及ぼしあった結果決まるので、数個の翼の解析結果を積み重ねても、全体を正しく予想することは

困難です。このため、回転翼列要素全体の数値シミュレーションが必要になります。当研究所ではこれまでに、スーパーコンピュータ「NS-」を利用して回転翼列要素全体の数値シミュレーションを行い、4段低压タービンの仮想試験技術を開発しています。この技術

を用いて設計開発された「CF34-10ターボファンエンジン¹⁾」試作機で実際のエンジン試験を行い、数値シミュレーションの結果から予想していた通りの性能が達成されていることを確認しました。仮想試験技術を適用することで、CF34-10の設計開発では、前開発エンジンであるCF34-8C1に比べて低压タービンの開発期間を9ヶ月短縮(従来の1/4)することに成功しました。図1に、CF34-10低压タービンのシミュレーション結果を示します。

さらに第2段階として、圧縮機の仮想試験技術の開発にも取り組んでいます。当研究所が2002年10月に導入した超高速コンピュータ「NS-」(「なる」2002年3月号参照)を用いた大規模数値シミュレーションによって、先ごろ、7段の翼列からなるジェットエンジンの圧縮機全体の複雑な流れの流動解析を行うことに世界で初めて成功しました(図2)。実用レベルでの約7000万メッシュ²⁾という高解像度でのシミュレーションはこれまでに例がなく、NS-の高速処理と大規模メモリによって初めて可能になったものです。また、一定時間毎にデータを保存することで詳細な時系列データを取得し、従来の模型による試験では分析困難な流動の時間変動を詳細に捉えることもできまし

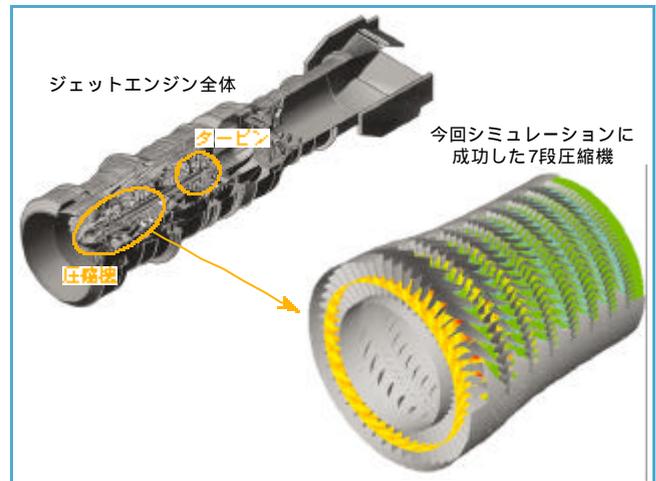


図2 7段圧縮機のシミュレーション結果
ある半径一定の円筒断面上での、瞬間のマッハ数の分布を示したものです。マッハ数は赤い部分で高くなり、青い部分で低くなります。

た。

今後は、今回成功した大規模数値シミュレーション技術を拡張し、数値シミュレーションを用いて航空機用エンジンの開発試験をコンピュータ上で仮想的に行い、大幅な開発期間の短縮と、開発コストの低減を図るジェットエンジン設計システムの開発を進めて行く予定です。

- 1 CF34-10ターボファンエンジン：90～110席のリージョナル(地域間航空)ジェット旅客機向け推力9トンクラスのターボファンエンジンです。このエンジンは、日本航空機エンジン協会(JAEC)が経済産業省の開発助成を受けてアメリカのゼネラルエレクトリック(GE)社と国際共同開発を行っているもので、同じくJAECがGE社と国際共同開発した推力6トンクラスの「CF34-8C1ターボファンエンジン」に引き続き開発されています。JAECのメンバーであるIHIは、CF34-8C1の開発時から低压タービンを担当しています。
- 2 メッシュ：コンピュータは飛び飛びの数値データしか扱えないため、解析対象物の周りの空間を小さな網目状の格子に分割し、その格子上で値を計算します。この格子を計算格子、またはメッシュと呼びます。

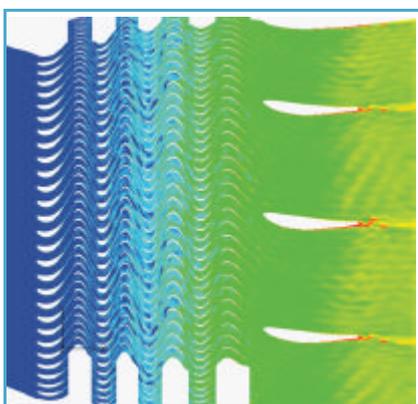


図1 CF34-10低压タービンのシミュレーション結果
ある半径一定の円筒断面上での物理量(エントロピー)の分布を示したものです。エントロピーはエネルギーのロスを表しており、これをできるだけ低く抑えるようにタービン翼は設計されます。エントロピーは、青い部分で低く、赤い部分で高くなっています。

CFD技術開発センター
航空推進研究センター

110kW誘導プラズマ加熱風洞の整備

スペースシャトルなどの大気圏再突入時には、機体は超高温の空気に包まれ、機体表面は1000 以上に加熱されます。この状態を模擬する地上設備として、通常、アーク放電によって気体を超高温に加熱し、耐熱材料に向けて吹き出すアーク加熱風洞¹が用いられてきました。しかし、アーク放電を起こす電極が気流中に溶け出して、気流を汚染する問題があります。特に、精度の高い熱防護材料の設計に不可欠な、気体の化学反応を考慮した「実在気体効果²」や材料表面での「触媒性³」などの現象解明に、気流の汚れの影響が大きな障害となっていました。そこで、気体に汚染物質が混ざらないように加熱する手法として、電磁誘導を用いた誘導結合プラズマによる加熱方式が注目されています。当研究所では、これらの研究に必要とされるクリーンな超高温の気流を生み出すため、110kW誘導プラズマ加熱風洞を整備しています。

誘導プラズマ加熱風洞は、プラズマトーチに巻いたコイルに高周波電流を流し、トーチ内に誘導電磁場を発生させて誘導電流によって気体をジュール加熱⁴し、プラズマを発生するものです（写真1）。さて、大気圏へ再突入しようとする衛星軌道上の機体の速度は約8km/s弱程度ですから、逆に止まっている物体に加熱試験を行う時には、空気はこの速度を持たせれば良いことになります。運動エネルギー（エンタルピ）に換算すると、1kgの質量あたりの値で30MJ程度⁵です。本誘導プラズマ加熱風洞では、1~3g/s（50~150l/min）の気体に110kWという大エネルギーを供給することができます。これま

でエンタルピとして最大20MJ/kg程度の値が得られ、加熱風洞として必要な気流の条件を満たすことができました。また、加熱率センサーを気流中に入れて計測したところ、1MW/m²以上の加熱率が得られました。この加熱環境下で実際に耐熱材料を加熱し（写真2）、1500 を超える温度が得られ、耐熱材料試験設備としての基本的な性能を確認できました。

今後、さらに性能の向上を目指すとともに、気流の汚れの少ない利点を生かし、これまでの設備では取得できなかった精度の高い試験データを取得し、新たな現象の解明、設計データへの寄与を目指して行きます。

- 1 アーク加熱風洞：アーク放電によって発生するエネルギーにより、風洞内の

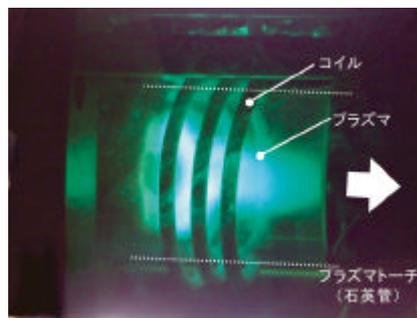


写真1 プラズマ着火時のトーチ内の様子

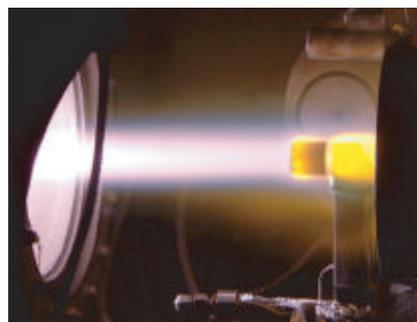


写真2 耐熱材料の加熱風洞試験

気流を超高温に加熱する風洞です。放電現象としては雷（雲と地上との間で起こる放電）が良く知られていますが、アーク風洞ではプラス電極とマイナス電極を使って、その間で放電を起こします（アーク放電）。この時、雷が落ちて地上の物が破損するのと同様に電極が破損し、気流中に溶け出して放出されます。

- 2 実在気体効果：気体は常温では分子の状態で存在していますが、温度が高くなると、分子が解離したり反応したりする現象が起きてきます。実在気体効果とは、このような実際の気体の振る舞いのことです。
- 3 触媒性：原子に分かれた分子が再結合するのを促進する性質のこと。分子は再結合するときに反応熱を発生するため、気流が汚れていると、余計な反応や反応の阻害などが起こり、触媒性を正しく評価することができなくなります。
- 4 ジュール加熱：電気回路に電流を流すと、抵抗によってその電流は熱に変わります。ジュール加熱とは、この現象のことです。プラズマトーチの場合は、トーチ内の電子が電圧をかけられて移動する際、気体分子などにぶつかって抵抗を生じ、熱に変わります。
- 5 加熱が最大になる時点では減速されているため、もう少し小さくなります。当研究所が1994年に実施した軌道再突入実験（OREX）では、約6.5km/sの速度で、対応するエンタルピは20MJ/kg程度でした。



流体科学研究センター
伊藤 健

= 自 分 の こ と は 自 分 で し ま す =

太陽熱推進でデブリをなくす

デブリの問題

地球の周りには、役目を終えたロケットや人工衛星等がゴミ(デブリ)として多量に存在しています。デブリは地球を周回しながら徐々に高度を下げ、最終的には地球大気に再突入して燃え尽きます。しかし、軌道や高度によっては何十年、何百年も地球の周りを回り続けることもあり、デブリ同士が衝突を起こして数を増大させたり、運用中の衛星や宇宙ステーションに衝突し、損害を与える危険性も危惧されてきています。そのため、今後宇宙に打ち上げられる衛星等には、運用後に再突入等の自主廃棄を行うような機構を保持していることが求められます。

小型衛星の廃棄には太陽熱推進系を

最近、大型衛星打ち上げ時のピギーバック衛星として、小型(50kg級)および超小型(5kg級)の衛星が多数打ち上げられるようになって

きました。これらの衛星は小さくて軽いいため、それに見合った自主廃棄用の推進系が求められます。その候補として当研究所が考えているのが、太陽熱推進系です()

NALが研究している太陽熱推進系の現在と未来

当研究所では現在、小型および超小型衛星に搭載可能な太陽熱推進系を目指して、研究を進めています(写真1)。これまでに様々な性能試験を行っており、今年の7月にはスラスタと集光系を組み合わせた試験を地上で行い、目標とする性能(スラスタ加熱温度1500K)を達成することができました(写真2)。

既に地上では、各部の性能試験を行い、良好な結果を得ています。そこで今後は、実際に小型衛星に搭載し、宇宙空間でも十分な性能を発揮できることを証明したいと考えています。

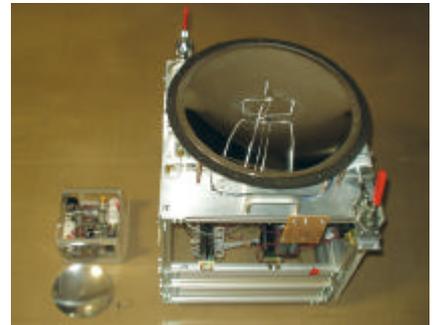


写真1 衛星に搭載した太陽熱推進系
(左:超小型、右:小型)



写真2 試験の様子

宇宙システム研究センター
佐原 宏典(取材協力)

太陽熱推進系

現在、宇宙では、液体および固体ロケット等の化学推進系と、イオンエンジン等の電気推進系が使用されています。化学推進系は、大推力なので再突入への移行は速いのですが、比推力(燃費)が低いために燃料が多量に必要となり、重量が大きくなります。電気推進系は逆に、高比推力なので推進剤は少なく済みますが、推力が小さいため再突入に長時間を要します。太陽熱推進系は、両推進系のちょうど中間の性能を持っています。

太陽熱推進系は、太陽集光鏡によって太陽光をキャビティに集中させ、スラスタを加熱します。推進剤はスラスタ内を通る間にその熱によって暖められて膨張し、超音速ノズルから噴射されることで推力が得られます(図)。スラスタの加熱温度が高いほど推進剤は膨張するため、推力はより増大し、比推力もより高くなります。太陽熱推進系は太陽集光鏡とスラスタ、スラスタに推進剤を供給するタンクからなる単純な構造で、比較的軽量化しやすいという利点があります。また太陽光を直接利用して推力を得るので、太陽光を電力に変換する電気推進系よりも高効率となります。

太陽熱推進系を実現するために重要となるのは、超軽量で高精度の太陽集光鏡と、高温に十分耐えられるスラスタの開発です。当研究所では数年前より、衛星の軌道変換に利用する目的

で太陽熱推進系の研究を進めており、中型までの衛星に搭載可能な大きさのスラスタ、小型衛星用のスラスタと太陽集光鏡については、十分な結果を得ています。

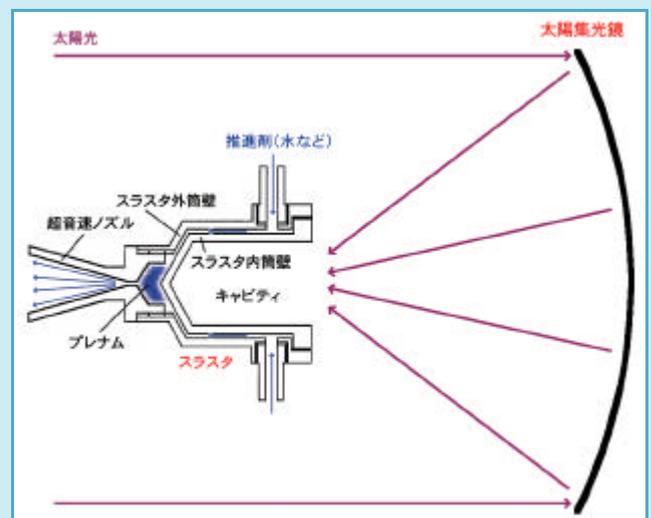


図 太陽熱推進系の概念

飛行船を追いかけて

- その 飛行船の推進系 -

当研究所では、8月4日に茨城県の日立港にて行った成層圏滞空飛行試験に引き続き、高度3,000mの上空に飛行船を滞空させる、定点滞空飛行試験を今年度末より北海道の大樹町にて行う予定です。この試験では、定点滞空や上昇・下降等の飛行制御技術の確認や、機体製造技術の確認等を計画しています。

飛行船が風に逆らって定点に滞空するのはもちろん、自由に飛行を行うためには、推進系が重要です。成層圏プラットフォーム飛行船には、どのような推進系が搭載されるのでしょうか。

成層圏プラットフォーム飛行船の推進系

飛行機の多くは、推進力を得るのにジェットエンジンを利用します。ジェットエンジンは燃料を燃やすことで推力を得ますが、成層圏プラットフォーム飛行船は長時間の滞空を予定しているため、燃料の供給が常時必要なジェットエンジン等の推進系は適していません。また、成層圏には、人体に有害な紫外線が地上に届くのを防いでいるオゾン層があるため、燃焼によりオゾン層を破壊する恐れのあるNO_xを放出するジェットエンジン等の推進系は、この点からも適しているとはいえません。

これらの理由から、成層圏プラットフォーム飛行船に搭載する推進系には、燃料の供給を必要とせず、NO_x等の有害物質を発生しないことが求められます。

太陽電池を使えばよい

成層圏には雲が発生しないため、昼間はいつも晴天です。そのため成層圏プラットフォーム飛行船には、太陽エネルギーを使った推進系が適しています。その候補が、太陽電池です。

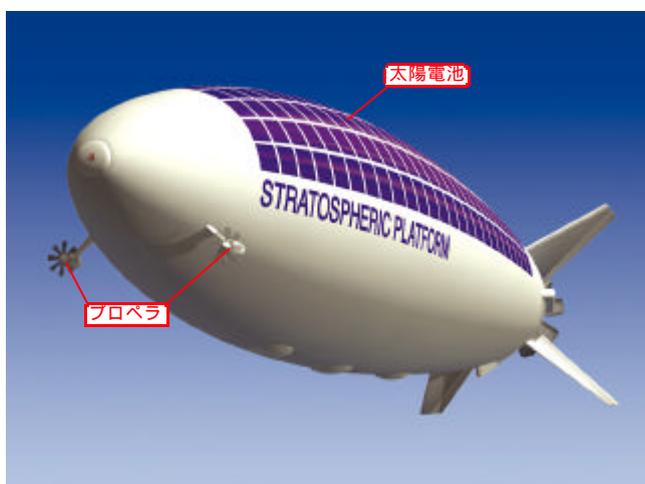
今日主流となっているシリコン製の太陽電池は、アメリカのベル研究所により1954年に発明されました。太陽電池は一般に、シリコン等で作られた半導体の板を何枚も敷き詰めた形態をしています。この板に太陽光を当てると、半導体内に電圧差が生じて電流が流れる光電効果という現象を利用して、電力を得る仕組みです。太陽光を直接電気に変換するため、有害物質等を発生しません。成層圏プラットフォーム飛行船では、太陽電池によって得られる電力をプロペラを駆動するモーターに供給することで、推力を得ます。

太陽電池は、電池という名が付いてはいますが、電力を蓄えておくことはできません。そのため太陽が沈んでしまうと、電力の供給は止まってしまい、プロペラも駆動できなくなってしまいます。

燃料電池も使ってみよう

そこで考えたのが、燃料電池の併用です。燃料電池は、イギリスのグローブ卿により1839年に発明されました。水は、電気によって水素と酸素に分解されます。燃料電池ではこれを逆に利用し、水素と酸素を反応させて電力を得ます。水素と酸素は昼間の内に、太陽電池により供給される電力の一部を使って水を電気分解することにより、蓄えておきます。水素と酸素は反応することで水に戻るため、一定量の水さえあれば、外部から燃料を供給する必要はありません。また、水以外の物質を発生することはありません。

太陽電池と燃料電池を組み合わせた推進系を構築することで、日夜働き続ける、クリーンなエネルギーを実現することができるわけです。



成層圏プラットフォーム飛行船

<参考文献>

『新・太陽電池を使いこなす』 桑野幸徳
講談社ブルーバックス

『この日なんの日科学366日事典』
フレア情報研究会

講談社ブルーバックス

JPC2003に展示ブースを設営

角田宇宙推進技術研究所ラムジェット推進研究センターは、2003年7月20日（日）から23日（水）にわたってアメリカのアラバマ州ハンツビルで開かれた、Joint Propulsion Conference 2003（JPC2003：アメリカ航空宇宙学会のエンジンの専門会議）に現在検討中の複合サイクルエンジンの模型などを展示しました。アメリカ航空宇宙学会の機関誌 Aerospace America 7月号に、当研究所のスクラムジェットエンジン研究の特集記事が掲載された直後でもあ

り、たくさんの方が興味を持って展示ブースを訪れました。展示ブースはわずか10㎡だけで、展示ポスターなどもすべて手作りでしたが、学会での発表とは異なる形で、これまでの成果と今後の研究方針について来場者の方に理解していただけたいと思います。航空宇宙技術研究所（NAL）としてのこのような展示はこれが最後となりますが、今後もひろく研究成果を発表し、諸外国の研究者の方との交流を考えた展示を進めたいと考えています。



展示ブースの様子

角田宇宙推進技術研究所
ラムジェット推進研究センター
平岩 徹夫

開催報告1

「空の日」「宇宙の日」イベント

2003年9月7日（日）「空の日」と「宇宙の日」を記念したイベントを開催しました。まず、事前に募集した絵画コンクールの表彰式を行った後、小学生を対象に「工作教室」を行いました。今年は、ライト兄弟が人類初の動力飛行を行ってちょうど100年という記念の年です。そこで今回の工作教室では、航空の歴史を学んだ後に、ライトフライヤー号の模型を作製しました。併せて、展示室の一般公開も行いました。

また、角田宇宙推進技術研究所では、9月6日（土）に「宇宙の日」を記念して施設を一般公開すると共



に、水ロケット製作・打上教室やお絵かきコーナー等のイベントを開催しました。



空の日

「空の日」はもともと「航空日」といい、日本で初めて飛行機が飛んでから30年目にあたる1940年（昭和15年）に制定されました。その後、民間航空再開40周年を迎えた1992年（平成4年）に、より親しみやすい「空の日」と改称され、併せて「空の旬間」（9月20日～30日）が設けられました。

宇宙の日

国際宇宙年（ISY）の1992年、日本でも末永く宇宙の普及活動を行おうと一般の方々から「宇宙の日」を公募しました。その結果、毛利宇宙飛行士がスペースシャトルで宇宙へ飛び立った9月12日が、「宇宙の日」として選ばれました。

SCIENCE CAMP 2003

当研究所では今年、本所（東京都調布市）および角田宇宙推進技術研究所（宮城県角田市）にて、高校生（高等専門学校の1～3年生を含む）を対象としたサイエンス・キャンプを実施しました。サイエンス・キャンプは、最先端の科学技術に触れることで科学の素晴らしさを実感し、科学技術に対する理解を深めてもらうことを目的に、日本科学技術振興財団の主催で毎年行われています。



本所 8月5日(火)～7日(木)

航空・誘導・制御技術セミナー
構造・材料研究セミナー

20名の参加者を迎えた本所のサイエンス・キャンプは、毎年恒例の「飛行機はなぜ飛ぶの？セミナー」から始まり、「構造・材料セミナー」や



「推進技術セミナー」、「空気力学セミナー」等、航空機の開発に欠かせない事柄を紹介するセミナーが続きました。各セミナーではただ講義を聞くだけでなく、加熱試験装置や風洞等の設備を見学したり、高性能GPSや数値シミュレーション等の実験を体験する構成となっていました。また最終日は、「次世代超音速機プロジェクト」や「宇宙輸送システムプロジェクト」といった最先端の研究に関するセミナーも行われました。



角田宇宙推進技術研究所 (角田) 8月19日(火)～21日(木)

今年初めてサイエンス・キャンプを実施した角田には、8名の参加者が集まりました。角田では宇宙推進技術の研究を行っているため、セミナーは「ロケットエンジンセミナー」や「ラムジェットエンジンセミナー」等、ロケットや宇宙エンジンに関するものが中心となりました。各セミナーは本所と同様、施設の見学やマッハ4風洞でのインレットオイルフロー実験等を織り交ぜた、講義だけに留まらない構成となっていました。その他にも、隣接する宇宙開発事業団角田ロケット開発センターの施設見学や、特別セミナーとして「星の話と天体観測」が行われました。角田は光害が少ないため、火星や天の川等が鮮やかに観測できるはずでしたが、当日は天気が悪く、天体観測は中止となってしまったのは残念でした。



どちらの会場でも高校生たちの好奇心は大変強く、様々な質問が飛び出しました。また、セミナー内容に捉われない質問もぶつけられ、学ぶ側である高校生だけでなく、教える側に立った研究者にとっても、充実した3日間になったのではないかと思います。懇親会では、1つ1つのセミナーをもっと時間を掛けてじっくり学びたかったという感想も聞かれ、彼らの底なしの探究心に感心させられました。

2003年10月1日、航空宇宙技術研究所は宇宙科学研究所、宇宙開発事業団とともに宇宙航空研究開発機構になります。これに伴い、広報誌「なる」は本号を持ちまして廃刊いたします。永きにわたりご愛読いただき、誠にありがとうございました。



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9月発行 No.534
© 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