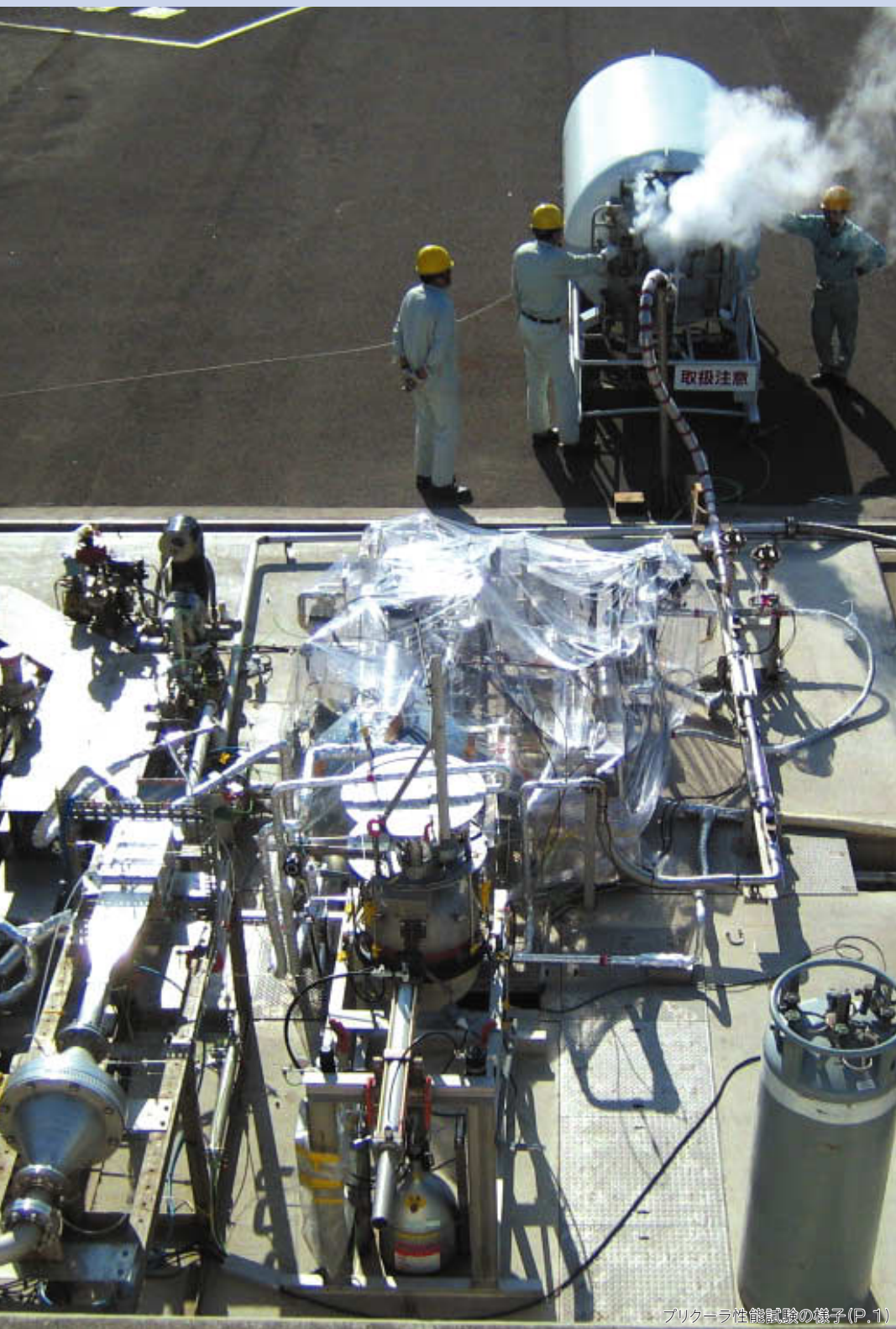


# 空と宙



2006 | JAN./FEB.  
隔月刊発行  
EVERY OTHER MONTH  
ISSN 1349-5577 No.10



プリクーラ性能試験の様子(P.1)

## 研究紹介

極超音速ターボジェット  
エンジン用空気予冷却器  
(プリクーラ)の開発

宇宙用燃料電池  
発電システムの研究

## 設備紹介

高空燃焼試験設備

## 横路散歩

燃料電池

## 空宙情報

第2回  
スペースデブリ  
ワークショップ

「そら」の技術を身近に感じて

そらとそら

総合技術研究本部  
Institute of Aerospace Technology  
<http://www.iat.jaxa.jp/>

10

## 極超音速ターボジェットエンジン用空気予冷却器(プリクーラ)の開発

スペースプレーン実現のために

### 音速の5倍(マッハ5)を目指す

宇宙航空研究開発機構(JAXA)総合技術研究本部では、長期ビジョン(JAXA2025)で示したマッハ5クラスの極超音速機の実証やスペースプレーン(図1)への適用を目指して、極超音速ターボジェットエンジンの研究開発を行っています。

極超音速機用エンジンにとって最大の技術課題となるのが、流入空気による過熱対策です。マッハ5で飛行する場合、流入する空気の温度は960℃にも達し、このような高温環境下で通常のターボジェットエンジンを使用することはできません。そこで、空気取入口で捕獲した高温の空気を圧縮機の上流に配置した空気予冷却器(プリクーラ)で冷却することによって、ターボジェットエンジンの作動範囲を飛躍的に拡大するシステム(空気予冷却システム)が考えられています。

私たちは、エンジンの作動範囲を飛躍的に拡大すると同時に、推力を増強し、燃料消費率を低減する空気予冷却システムの研究開発を世界に先駆けて進めています。



図1 予冷ターボジェットエンジンを搭載するスペースプレーンの概念図

### プリクーラの性能試験

これまで数年にわたって実施した地上燃焼試験の結果を受け、現在は、実飛行環境でのエンジン技術実証を目的とする推力100kgf級の小型極超音速ターボジェットエンジン(Sエンジン:図2)の設計・製作を進めています。このエンジンに用いるプリクーラは、直径2mmの冷却管648本を組み合わせた100kW級の熱交換器です(図3)。冷媒には、燃料として搭載する水素(-250℃)を

利用します。

冷却性能を向上するために、6個の直交型熱交換器を直列結合し、空気流と逆方向に冷媒を流す工夫をしています。プリクーラの製造工程において最も困難な作業が、多数の冷却管の一括口付けです。この作業は真空高温炉にて行いますが、炉内が非常に高温となるため、冷却管が熱変形を起こす恐れがあります。そのため、真空

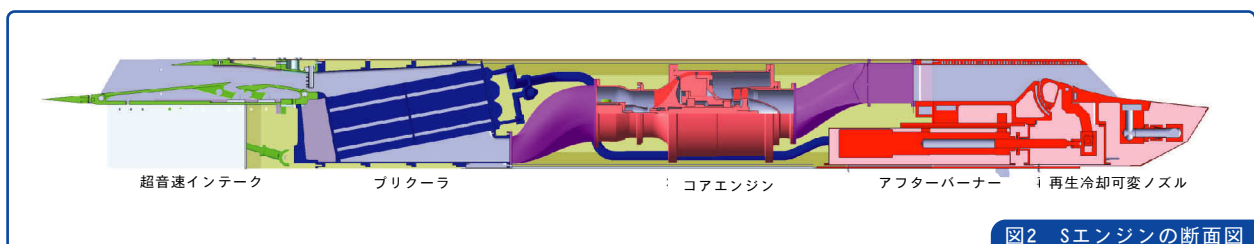


図2 Sエンジンの断面図



航空エンジン技術開発センター  
 将来宇宙輸送系研究センター  
 (後列左より)小島孝之、小林弘明、正木大作、田口秀之  
 (前列左より)岡井敬一、佐藤哲也、藤田和央

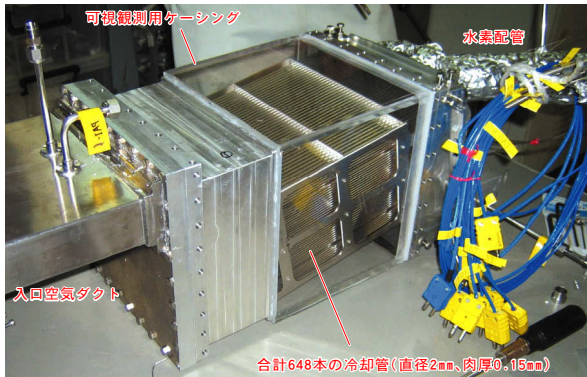


図3 Sエンジン用プリクーラ

高温炉での熱変形を防止するための各種意匠を考案して製造に適用しています。

2005年7月にはプリクーラの性能評価試験を当本部の能代多目的実験場※1(秋田県能代市)において実施しました。図4はプリクーラ試験の様子です。空気は、気蓄器より最大流量1kg/secで供給されます。一方、液体水素は、ヘリウムガスにより加圧され、超臨界状態※2で供給されます。試験

の結果、プリクーラの設計点における予冷空気温度は-93℃、空気側圧力損失は3%、冷媒側圧力損失は6%となり、設計仕様を十分に満足することを確認しました。ただし、プリクーラの出口空気に約40℃の温度勾配ができており、これが圧縮機の作動特性に与える影響を評価する必要があります。

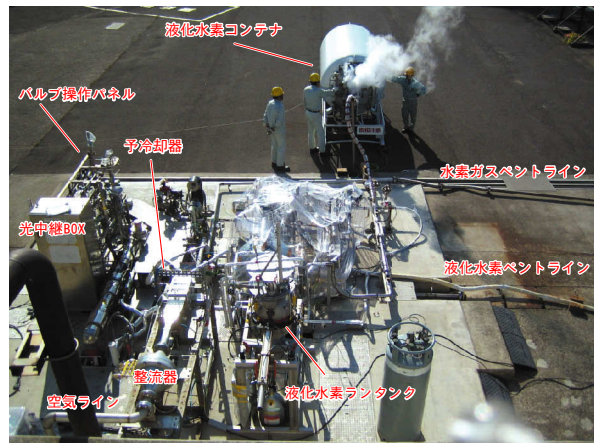


図4 能代多目的実験場におけるプリクーラ試験の様子

## 飛行実証試験を目指して

プリクーラと、別途製作中のコアエンジン、超音速インテーク、可変ノズルを組み合わせることで予冷ターボジェットエンジンを構成し、2006年度、能代多目的実験場においてシステム全体での燃焼試験を実施する予定です。

また、JAXA宇宙科学研究本部の研究グループと協力して、大型気球を利用した微小重力実験機へ本エンジンを搭載し、飛行実証試験を行うことを計画しています。まずは、高度35kmから自由落下させることで全長4mの実験機をマッハ2まで加速し、実飛行環境におけるエンジン性能を取得することを目指しています。

※1 能代多目的実験場

ロケットやジェットエンジンなどの、システムおよび要素の研究開発試験を主として行うための施設です。液体水素、液体酸素などの高圧ガスを貯蔵、供給する設備を有しています。

※2 超臨界状態

気体と液体が共存できる限界の温度と圧力(臨界点)を超えた状態です。通常の気体や液体とは異なる性質を示します。

(航空エンジン技術開発センター 小林弘明)

もっと詳しく  
 知りたくなったら、  
 コゴロにアクセス!

研究内容関連ページ  
<http://www.iat.jaxa.jp/res/atc/e00.html>  
 JAXA2025関連ページ  
[http://www.jaxa.jp/missions/plan/long\\_term/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/missions/plan/long_term/index_j.html)

## 宇宙用燃料電池発電システムの研究

### 宇宙での多様化する電力需要に応えるために

#### JAXAでの燃料電池の研究

JAXAでは宇宙・航空分野の使用を目指し、燃料電池※(P.6「横路散歩」参照)に関連する以下の研究を行っています。

- ①今回紹介する「燃料電池発電」に関する研究
- ②燃料電池発電の逆反応である水分解反応を利用した「酸素(空気)再生」に関する研究
- ③燃料電池発電と水分解反応による充電の両方を組み合わせた「再生型燃料電池」に関する研究

図1に示すように、これらは宇宙・航空分野それぞれの用途に応じた多岐に渡るニーズ、特に大電力を要するニーズに対応できるものです。必要となる基礎基盤の技術は共通している部分が非常に多いので、各研究グループ間で協力しながら研究を進めています。

当グループでは、宇宙科学研究本部と連携し、燃料電池を宇宙機に搭載するために必要な装置の簡素化、小型・軽量化や、特に宇宙空間に必要な気水分離技術、閉鎖環境対応技術の研究を行っています。



図1 燃料電池などの宇宙・航空分野での応用・利用先

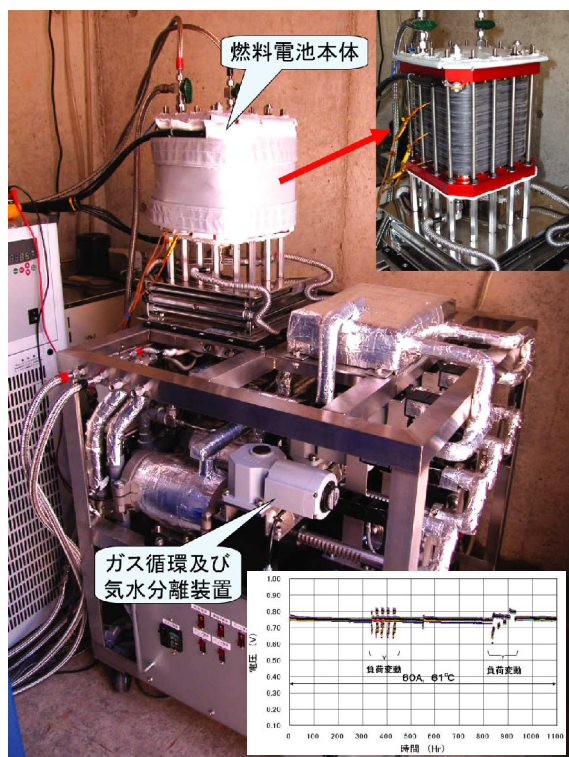
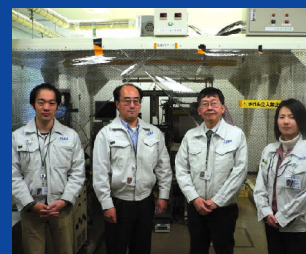
#### 宇宙用燃料電池発電システムの試作と連続運転試験

スペースシャトルなどでは、燃料電池の電解質としてアルカリ形を利用していますが、私たちはメンテナンス性、再使用性、コストの面で優位になると考えられる固体高分子形を採用しました。固体高分子形は電解質膜を湿潤環境に保持するため、一般に外部で燃料ガスを加湿して供給する方法が使われます。しかし、燃料電池が発電時に生成

する水をうまく活用することで、外部から加湿することなく電解質膜の湿潤環境を保持できることを発見しました。

また、打上げコストを抑え、全体質量・容積を可能な限り小さくするためには、燃料なども効率的に利用する必要があります。地上では発電時の未反応ガスはそのまましくは処理されて大気に





排出されますが、未反応ガス分を勘案した燃料自体が無駄な荷物になるため、搭載した燃料、酸化剤を理想的には100%発電に利用する工夫が必要になります。そのため、反応後の生成水と未反応ガスを分離し、かつ未反応ガスだけ循環して供給ガス側へ戻す機構を開発しました。この中には、宇宙空間という微小重力環境で気体(未反応ガス)と液体(水)を分離する技術の開発も含まれています。

図2は、これらの工夫を取り入れて試作した固体高分子形燃料電池発電システムです。燃料電池本体の下に気水分離、ガス循環機構を装備しています。この装置を用いて、約1kWの出力で連続1,000時間以上安定した発電が可能であることを実証しました。

図2 試作した微小重力・閉鎖環境対応燃料電池発電システム

## 宇宙/上空での実証～応用へ

宇宙空間を模擬した実験で、固体高分子形燃料電池が長時間安定に作動したとの成果は、あまり多くは得られていません。この結果を踏まえて装置の小型・軽量化を進め、宇宙空間や高層大気環境で燃料電池発電実証を目指すとともに、さらにその先にある多彩な宇宙活動へ貢献して行きたいと考え



図3 100W級小型軽量型燃料電池発電システム試作品

ています。

実証に向け、宇宙科学研究本部と共同で100W級の小型軽量システムの試作を行っています(図3)。また、これらの技術について宇宙・航空分野だけでなく、地上の特殊環境での発電システムへの適用も推進しています。

※燃料電池 水素と酸素の反応により水が生成する際の電気化学反応を利用してエネルギー(電流)を得るシステムのこと。

(電源技術グループ 内藤均)

## 高空燃焼試験設備

高空燃焼試験設備(HATS)とは、宇宙の真空状態を模擬してロケットエンジンの燃焼試験を行うための設備です。角田宇宙センター(宮城県角田市)にあるHATSは、国内最大の規模を有しています。

図1に設備の外観を示します。供試体となるエンジンは、試験棟内にある低圧室に設置します。低圧室を真空状態にするために、まずはボイラー棟にて蒸気を大量に発生させ、蒸気アキュム

レータに保存します。この蒸気を排気管に高速で噴出させることにより管内の空気が引きずられるエジェクター効果が起こり、低圧室内の空気も引っ張りだされて真空状態となります。真空状態になってから燃料の液体水素と液体酸素をエンジンに供給することで、宇宙空間を模擬した状態で燃焼試験が行えるわけです。



図1 高空燃焼試験設備

HATSは、H-II Aロケットの前身であるH-Iロケットの第2段エンジン(LE-5)用実験設備として、1982年に完成しました。その後、第2段エンジンの能力向上と共にHATSも改良を続け、現在はH-II Aロケットの第2段エンジン(LE-5B)の開発試験および領収試験(フライト品の性能確認試験)を行っています。

また、2006年度にはGXロケットの上段エンジンの燃焼試験も行う予定です。



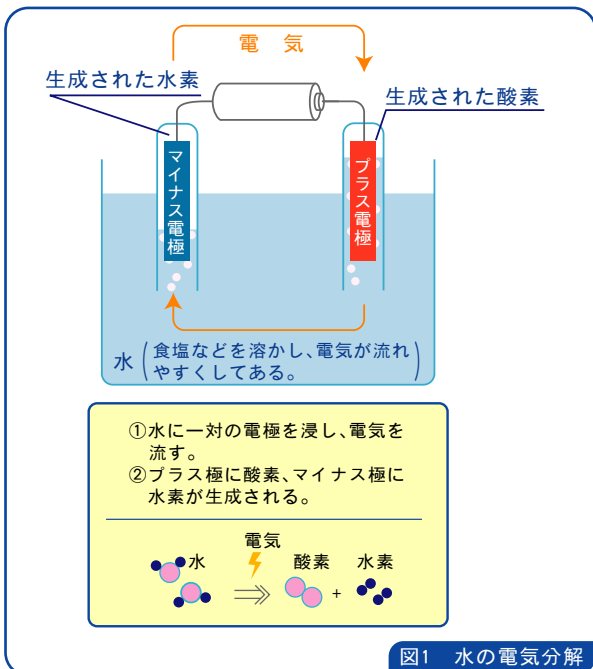
図2 LE-5B燃焼試験時の様子

もっと詳しく  
知りたかったら、**ココ**にアクセス!

<http://www.iat.jaxa.jp/kspc/japanese/xf/kpc-hats.htm>  
[http://www.jaxa.jp/missions/projects/rockets/h2a/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/missions/projects/rockets/h2a/index_j.html)  
[http://www.jaxa.jp/missions/projects/rockets/lng/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/missions/projects/rockets/lng/index_j.html)

## 燃料電池

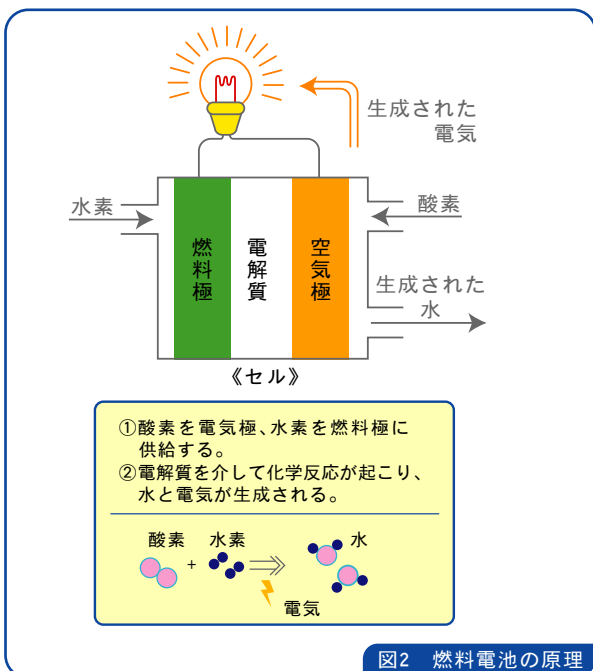
一対の電極を水に浸し、電気を加えることでプラス極に酸素、マイナス極に水素を発生させる「水の電気分解」の実験を行ったことがある人も多いのではないのでしょうか(図1)。燃料電池はこの逆の動作、酸素と水素を化学反応させることにより電気を得ます。



水素を供給する燃料極と、酸素を供給する空気極が電解質を挟んだ構造をしており、このひとまとまりをセルと呼んでいます(図2)。燃料電池はスペースシャトルの電力供給源として採用されており、生成された水はクルーの飲料水などに利用されています。

電解質の違いにより、燃料電池はいくつかに分類されます。スペースシャトルにはアルカリ型と呼ばれる燃料電池が採用されていますが、現在研究の主流となってきているのは固体高分子型燃料電池です。当本部でも、衛星用燃料電池として固体高分子型燃料電池の研究を進めています(3,4ページ参照)。

燃料と酸素を外部から供給する燃料電池は、燃料と酸素を送り続けられ、いくらでも電気を得ることができるという特徴があります。加えて、発電効率が高く、排気ガスや騒音も少ないなどの利点もあり、環境への配慮から電気自動車などへの活用が急速に進められています。



1839	燃料電池の原理が実験により確認される(イギリス)
1932	実用的な試作機が開発される(イギリス)
1961	NASAによる燃料電池研究の開始(アメリカ)
1965	人工衛星「ジェミニ5号」の電源として実用化(アメリカ)
1981	ムーンライト計画※1開始(日本)
1993	ニューサンシャイン計画※2開始(日本)
1996	燃料電池自動車の試作車発表(ドイツ)

※1 ムーンライト計画 通商産業省(現経済産業省)による省エネルギー技術開発プロジェクト。  
※2 ニューサンシャイン計画 ムーンライト計画と、太陽光発電などによる新エネルギーの開発を目的としたサンシャイン計画を統合したものの。

参考文献  
「図解雑学 電池のしくみ」 株式会社ユニゾン著 ナツメ社

参考ホームページ  
日本ガス協会 <http://www.gas.or.jp/>  
JAXA <http://www.jaxa.jp/>



## 第2回 スペースデブリワークショップ

### 開催報告

2005年12月8日(木)～9日(金)の2日間、文部科学省および日本航空宇宙学会の後援を得て、第2回スペースデブリ※ワークショップを航空宇宙技術研究センター(東京都調布市)講堂にて開催しました。2001年度末に旧航空宇宙技術研究所主催で開催したワークショップに続くもので、前回は大きく上回る137名(大学、企業、各種法人などからは77名)の参加者が集まり、活発な意見の交換が行われました。

1日目は、スペースデブリ問題に関する基調講演5件と海外からの招待講演1件、「今後の宇宙活動におけるデブリ対策の進め方」と題するパネルディスカッションが行われました。2日目は、デブリ観測・分布密度のモデル化、防御、発生防止の各技術分野における国内の研究成果12件の

発表が行われました。

今後も、同様のワークショップを通して国内外の関係機関と連携しながら、当本部における研究を着実に推進していきます。

※ スペースデブリ

ロケットや人工衛星の残骸などの、宇宙に残されたゴミのことです。その数は、新たな打上げや、軌道上での爆発、デブリ同士の衝突によりどんどん増加しています。軌道上での平均衝突速度は秒速約10kmと非常に高速であるため、宇宙ステーションや運用中の人工衛星に衝突すると大変危険です。今後も宇宙を安全に使用するためには、対策が急務となっています。

(宇宙先進技術研究グループ 中島厚)

