

空と宙

2012 SEP/OCT
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

研究開発

“小型・省エネ・高信頼性”空気再生システムを宇宙へ
惑星探査に用いるエアロアシスト技術の開発

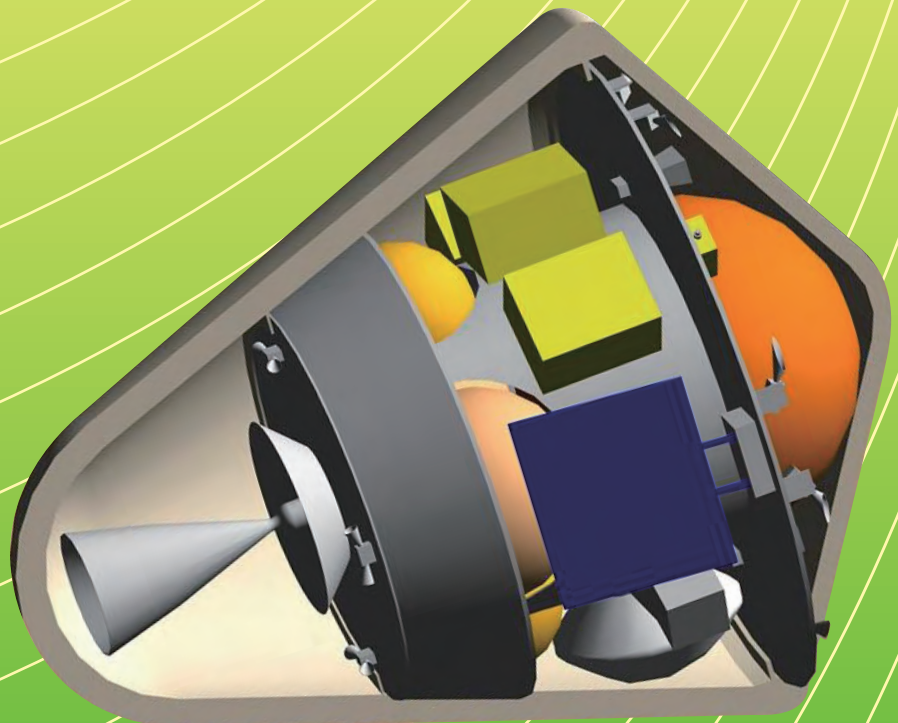
和輪広場

乗り物の話をしよう

空宙情報

「筑波宇宙センター 秋の特別公開」開催案内

「第25回 マイクロエレクトロニクスワークショップ
(MEWS25)」開催案内



火星無着陸サンプルリターン「MASC」(P.04)

No. **49**

研究開発本部
Aerospace Research and Development Directorate

“小型・省エネ・高信頼性” 空気再生システムを宇宙へ

国際宇宙ステーションの空気はロシアとアメリカ頼み

高度約400kmに浮かぶ国際宇宙ステーション (ISS)、そこには通常6名の宇宙飛行士が滞在し、実験や研究などを行っています。宇宙には空気が無いため、ISS運用当初は酸素を地上から運んでいました。今は、ロシアおよびアメリカが開発した酸素製造装置も併用しています。宇宙飛行士が吐き出した二酸化炭素はやはりロシアおよびアメリカ製の装置によって除去し、船外に排出しています。ISSの一部である「きぼう」日本実験棟内への酸素供給と二酸化炭素除去についても、二国の装置に頼っているのが現状です。

ISSは少なくとも2020年までは活用することが決まっています。ISSの後、各国が協力する宇宙開発として月面基地の建設や有人小惑星探査などが検討されています。それらのミッションでは、より小型で省エネかつ信頼性の高い空気再生システムが求められます。

日本製空気再生システムを開発中

空気再生システムは空気中から二酸化炭素を除去する「二酸化炭素除去装置」、除去して集めた二酸化炭素を水へと変化させる「二酸化炭素還元装置」、その水から酸素を作り出す「水電解装置」などで構成されます (図1)。

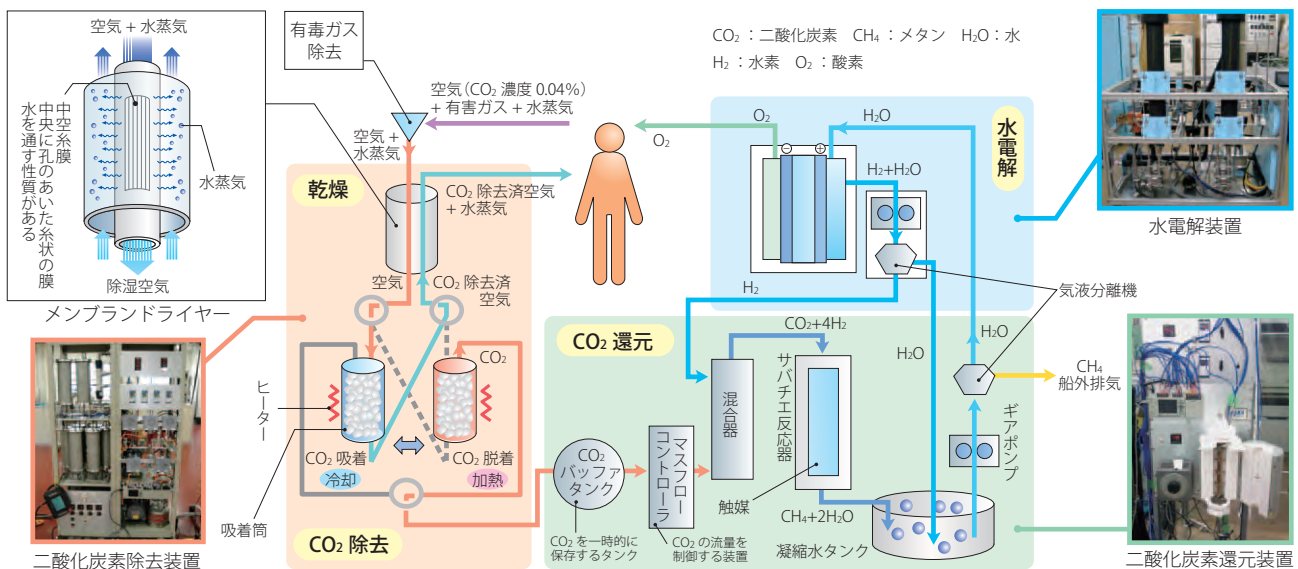
●二酸化炭素除去装置

二酸化炭素の除去には、二酸化炭素を吸着する性質を持つ「ゼオライト」という物質を使います。ゼオライトは他にも様々な分子、特に水を好んで吸着するため、空気が湿っていると二酸化炭素を吸着できません。そこで、メンブレンドライヤーを用いてまず空気を除湿します。ゼオライトは常温で二酸化炭素を吸着し高温で脱着するため、粒状ゼオライトの入った容器 (吸着筒) をふたつ並列につなぎ、約90分ごとに切り替えで稼働させることで、常時連続して二酸化炭素を除去します。脱着のためにヒーターを300℃程度に加熱して吸着筒を温めるのですが、ゼオライトは断熱性が高いため、加熱した吸着筒をいかにスムーズに冷却させるかが鍵となります。二酸化炭素が0.04%程度含まれる空気を使った実験で、95%程度にまで濃縮できることを確認しています。

二酸化炭素の吸脱着に優れたゼオライトですが、熱サイクルの負荷により粉状になって機器のすき間に入り込む問題を抱えています。それを防いで信頼性を向上させるため、ハニカム状にすることで熱サイクルに耐えるゼオライトに関しても検討しています。

●二酸化炭素還元装置

集めた二酸化炭素に水素を加えて化学反応させると、水とメタンが生成されます。この反応は適当な触媒を介するこ



ISS 実証を目指した空気再生システムの研究開発

とで起こり、「サバチエ反応」と呼ばれています。

サバチエ反応は、一般的な触媒の下では350℃程度で反応効率が最も高くなります。この効率を下げずに、反応に必要な温度を下げたり触媒の量を減らしたりすることを目的に、触媒の開発を行っています。現在、10分の1人前というスケールではありますが、効率を保ったまま反応温度を250℃、触媒の量を半分に減らすことに成功しています。反応温度を下げる事ができれば、温度を上げるのに必要な電力消費も抑えられます。つまり、“省エネ化”できるのです。

● 水電解装置

サバチエ反応で作った水を電気分解し、酸素と水素を生成します。宇宙の様な微小重力環境で電気分解する際に問題となるのは、発生した気体（酸素および水素）と水との分離です。地上であれば重力によって気体と水は自然に分離しますが、宇宙ではそうはいきません。そこで、水素発生側から水を供給することで発生した酸素中の水蒸気量を低減させる構造にしています。しかし、水素と水とは分離する必要があります。そこで鍵となるのが「気液分離機」です。

現在、3種類の気液分離機を検討しており、水電解装置に搭載することを目指して試験を行っています（図2、図3）。

「きぼう」で宇宙実証試験

二酸化炭素除去装置および水電解装置に関しては、大人ひとりに対応できる規模のものでできており、二酸化炭素還元装置に関してもスケールアップを図っています。数年後には、今回紹介した各要素技術をつなげて全体システムを構成し、アメリカ航空宇宙局（NASA）の設備による実証を検討しています。また、宇宙実証が必要な二酸化炭素還元装置と水電解装置については、宇宙ステーション補給機「こうのとり」でISSへ運び、「きぼう」日本実験棟にて実証試験を予定しています。この試験により、小型で省エネかつ信頼性の高い空気再生システムの開発技術が実証できれば、将来の宇宙開発に貢献できます。

将来行われる月や小惑星での有人ミッション。そこで使われているのは、日本得意の環境技術を駆使した生命維持システムであって欲しい・・・そう夢見て、日々研究開発に取り組んでいます。



A 回転式気液分離機



B 中空糸式気液分離機



C 膜型気液分離機

図2 3種類の気液分離機

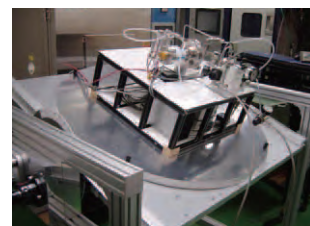


図3 重力方向テストスタンドによる回転式気液分離機の試験



【未踏技術研究センター】

(左より) 桜井 誠人、大西 充、島 明日香、小口 美津夫、曾根 理嗣

惑星探査に用いるエアロアシスト技術の開発

未踏技術研究センター 藤田和央

エアロアシスト技術とは

エアロアシスト (aeroassist) 技術は、aero (大気) の assist (助け) を得て宇宙船や人工衛星の軌道変更などを行う技術の総称です。宇宙空間は真空ですから、宇宙船が大気の助けを得てなにかを行うというのはピンとこないかもしれません。ところが宇宙にも大気が存在する場所があります。金星や火星など大気を持つ惑星、そして地球です。これらの惑星を調査する探査機や、地球へ帰ってくる宇宙船にエアロアシスト技術を用いることで、燃料 (推進剤) を大幅に減らす効果や、従来の技術では実現できない独創的なミッションを創造することが期待できます。

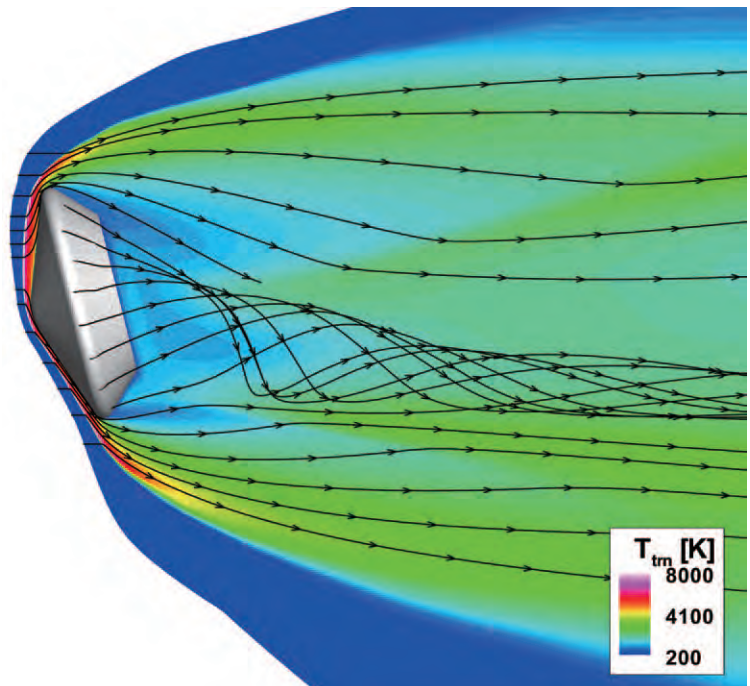
惑星の周回軌道に探査機 (オービタ) を送り込む場合、まず地上からロケットにより加速して地球の重力を離脱し惑星に向かいますが、惑星に到着して周回軌道に入るためには、逆に重力に捉えられるように減速しなければなりません。減速には多量の燃料が必要で、例えば火星の高度 500 km の軌道にオービタを入れる場合、その重量の半分以上が燃料となることもあります。これでは探査に必要な観測装置があまり搭載できません。これを解決するためには、燃料を使って減速する代わりに、オービタが惑星の大気をかすめるように飛行させて空気抵抗により減速すれば良いでしょう。惑星到着時に直接大気突入し、一気に減速して軌道へ投入する方法をエアロキャプチャ (aerocapture) と呼び、一旦少量の燃料を使って高い軌道へ投入した後に大気の抵抗を利用して徐々に軌道を下げる手法をエアロブレーキ (aerobraking) と呼びます。

開発の現状

エアロキャプチャではオービタが惑星大気中を超高速 (時速数万 km) で飛行し、強い加熱を受

けるため、機体を保護するための熱防御システムが必要です。また、大気から空気力を受けて軌道が大きく変わるため、減速し過ぎて地上に落下する、あるいは減速不足で軌道に投入できないことが無いよう、機体を飛行に適した形状に設計するとともに、飛行中は進行方向をコントロール (誘導制御) する必要があります。熱防御システムや機体形状、誘導制御システムを最適に設計するためには、オービタが飛行中にどのような加熱や空気力を受けるかを正確に予測しなければなりません。

そこで、エアロアシスト技術の実現のために、上記のような必要技術の開発を総合的に推進しています。飛行環境の予測技術では、超高速飛行のため大気中の分子が解離したり原子が電離したりするような効果 (実在気体効果) を考慮した詳細な流体解析ツール (JONATHAN、MOTIF など) を開発し、既に多くの宇宙機の検討に応用しています。



K: ケルビン。温度の単位。0K=-273.15℃。

図1 火星飛行中のカプセル周りの流れの温度分布 (高度 49 km、速度 5.6 km/s、迎角 -14° による揚力飛行)

図1はJONATHANを用いて計算した火星大気中を飛行するカプセル周りの流れの一例です。これらのツールの精度検証や改良は、オービタの飛行環境を模擬できる高速衝撃波管HVSTや高速希薄風洞HRWTといった試験装置を利用して行われています。

解析により加熱率や空気力が予測されれば、熱防御システムや機体形状の最適設計が可能です。できるだけ多くの観測機器を搭載できるようにするためには、熱防御システムや機体を覆う外殻（エアロシェル）の重量は極限まで軽量化しなければなりません。これを実現するために、複合材技術研究センターや風洞技術開発センターと連携して超軽量エアロシェルの開発を進めています。一例として図2に示したのは、NALTと呼ばれる複数回の利用が可能なエアロシェルの概念図です。熱防御システムの耐熱性能は、風洞技術開発センター所有の数千度の温度の気流が作れる風洞を用いて検証され、熱防御システム解析ツール（SCMA2）を用いて詳細に数値モデル化されます。これにより、飛行環境で最適な設計を行うことができます。

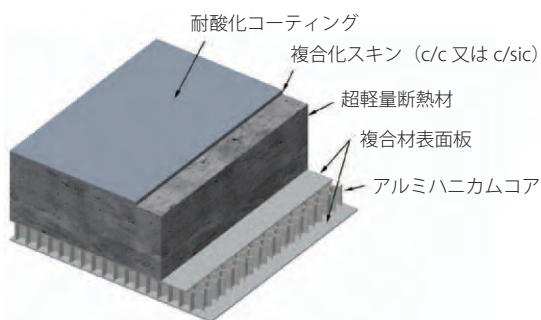


図2 複数回の利用が可能なNALTエアロシェルの概念図

今後の展望

今回紹介したような要素技術の開発と同時に、技術を統合化してシステムの概念検討を行い、独創的なミッションの提案を行っています。図3は、火星エアロキャプチャ中に大気中のダスト粒子を捕集し地球へ持ち帰るという、火星無着陸サンプルリターン（MASC）システムの概念図です。また、月・惑星探査プログラムグループと連携して火星複合探査（MELOS）の着陸機や、エアロキャプチャ技術実証機の検討を行っています。エアロアシスト技術は既に実用段階にあり、2020年頃までには探査を実践したいと考えています。

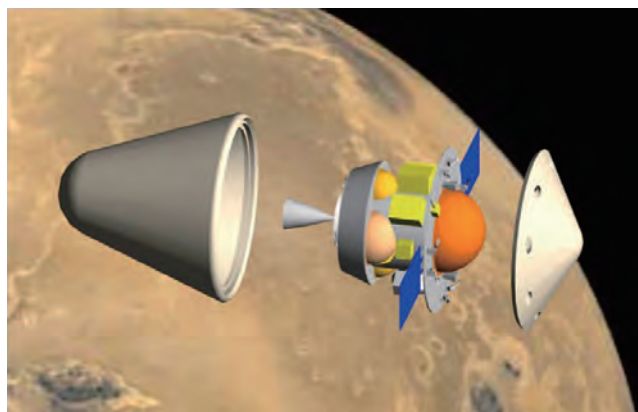


図3 火星無着陸サンプルリターン（MASC）システムの概念図



(後列左より)【流体グループ】
水野 雅仁、高柳 大樹、松山 新吾

(前列左より)【未踏技術研究センター】
鈴木 俊之、藤田 和央、小澤 宇志、伊藤 愛実



船引 浩平
Funabiki Kohei

研究開発本部
飛行技術研究センター
1993年入社
Q.仕事の時間の息抜きは？
A. おやつ
Q. JAXAで働きたい老若男女に一言(一言)
A. かつこよくて面白く、非常に泥臭くてやりがいのある分野です。

油井 亀美也
Yui Kimiya

有人宇宙環境利用ミッション本部
宇宙飛行士運用技術部
2009年入社
Q.一番好きな機体は何ですか？
A. 前職で一番多く乗っていた機体であるF-15です。古い機体ですが、色々な面で優れています。でも、今後は搭乘する事はないでしょう。次のお気に入りの機体は、勿論「日本の有人宇宙船」です。

藤田 和央
Fujita Kazuhisa

研究開発本部
未踏技術研究センター
1995年入社
Q.自分を動物に例えると？それは何故？
A. マグロ。止まると死んじゃうから。
Q. JAXAで働きたい老若男女に一言(一言)
A. いつも心に夢を。

三者三様のJAXAへの道

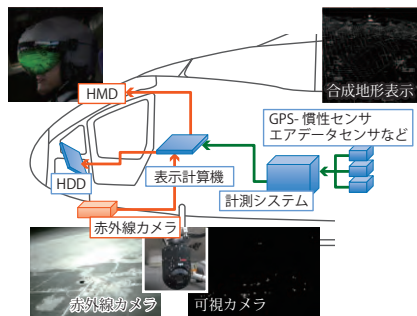
—まずは、現在の仕事内容と携わる様になった経緯を教えてください。

藤田：子供の頃、1970年代に放映されていた『宇宙戦艦ヤマト』というテレビアニメを見ているうちに、アニメに出てくるような乗り物を作って宇宙で飛ばしたいと思うようになりました。大学では航空宇宙学を学びたいと考えたのですが、当時、私の住む長崎には航空宇宙学科はほとんどなく、東京でなければ勉強できないと考えました。そこで、航空宇宙学科のある東京の大学に進学しました。幸運にも、大学院終了後に宇宙科学研究所 (ISAS) ^{※1}の安部隆士先生にお声を掛けていただき、ISASで働くことになりました。ISASでは、小惑星探査機「はやぶさ」が放出するサンプルリターンカプセルが地球大気圏へ再突入する際の気流や熱の様子を解析するのに欠かせない数値解析コードの開発に携わりました。2010年6月のカプセル再突入時には、光学観測チームを率いて落下地であるオーストラリアへ赴き、回収のための地上観測を行いました。2011年10月に公開された竹内結子さん主演の映画『はやぶさ/HAYABUSA』のラストにも出演してるんですよ。どこにいるのか見つけられないんですけど(笑)

—「はやぶさ」で培った技術を今の研究 (P.04 参照) に活かしているのですね。

藤田：更に発展させ、火星着陸機やサンプルリターンに活かそうとしています。

船引：私は人間工学 ^{※2} に強い興味がありました。就職先として国の研究機関を考えていたところ、たまたま航空宇宙技術研究所 (NAL) ^{※1} が人間工学関係の研究員を募集していたため、NALに就職しました。以来、コンピュータと人とのコミュニケーション方法であるヒューマンイ



赤外線カメラやデータベース化した地形のCG画像などを組み合わせて表示することで、夜間や悪天候などの視界不良時でも安全に飛行できるシステムである「SAVERH」の開発を進めているパイロットが機外から視線を外さずに操縦できるようヘルメット型ディスプレイ (HMD) に情報を表示すると共に、通常の計器位置 (HDD) へも表示する

ンターフェイスや、機械やコンピュータなどを操作する際の人為的ミスであるヒューマンエラーを、航空機に関して研究しています。大学生の時に北アルプスの大天井岳 (おてんしょうだけ) 付近の山小屋でアルバイトをしていたため、救助用ヘリコプタが山岳部を飛行するのを何度か見る機会があり、ヘリコプタによる人命救助には興味を持っていました。今は、その一助となりえるパイロット支援技術「SAVERH (セーバー)」の研究開発に取り組んでいます。

油井：私は、長野県の川上村という星がとても綺麗に見える小さな村で生まれ育ちました。そのためか宇宙にとっても興味を持ち、将来は宇宙飛行士か天文学者になりたいと思っていました。ですが、家の都合で防衛大学に進学することにしたため、夢は一度諦めざるをえなくなりました。当時、自衛隊から宇宙飛行士や天文学者になる道はありません

でしたから。少しでも宇宙に近い場所で働きたいと思い、パイロットを目指すことにしました。養成のために滞在していたアメリカで『The Right Stuff』という映画を見たことで、初期のアメリカの宇宙飛行士はテストパイロットから選ばれていたことを知り、状況が変われば日本もそうなるかもしれない考えるようになりました。パイロットの資格を得てからは、戦闘機パイロット、テストパイロットと従事してきました。そんな時に、JAXAが宇宙飛行士を募集しているという情報を妻がたまたま見つけてくれ、背中を押してくれたんです。有難いことに合格することができ、今は宇宙飛行士として訓練に励んでいます。

※1 2003年10月1日、宇宙科学研究所 (ISAS)、航空宇宙技術研究所 (NAL)、宇宙開発事業団 (NASDA) という3つの組織が統合し、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が誕生しました。
※2 人間工学：人の生理的・心理的な特徴からみて、より快適な生活環境になるように諸道具や設備などの改善を図ることを目的とした学問分野。

どれだけ分かりやすい表示にできるか

—SAVERHを体験してみて、いかがでしたか？

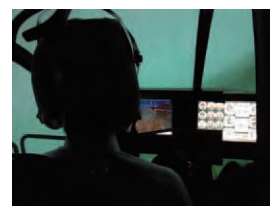
油井：普通、このような山岳地帯かつ低空に深い霧がかかっていると怖くて飛べないのですが、コレがあれば飛べますね。パイロットを助けてくれる、素晴らしいシステムだと思います。自衛隊にも赤外線カメラを装着している機体はありますが、あそこまで統合されたシステムは見たことがありません。着眼点は非常に良いと思います。ただ、実機による事前試験により、どの程度の誤差があるのかを正しく評価する必要がありますね。

船引：HMDの映像などは故障によって突然消えることも想定されます。

油井：例えばHMDの表示が消えてしまったとしても、前方のディスプレイなどの表示があれば操縦はなんとかなります。後は、情報の出し方ですよ。ヒューマンインターフェイスと先ほど言われてましたけれど、それはテストパイロットが重視する要素です。表示方法が適切でない事故に直結する恐れもあるため、非常に細かくチェックします。

藤田：時々、外部のパイロットを呼んで評価してもらうんですか？

船引：ええ、JAXAのパイロットと併せて外部のパイロットの方々にも



研究開発本部所有の回転翼機型シミュレーターにてSAVERHを体験する油井宇宙飛行士。前面には霧が立ち込めた景色が映し出されている

評価してもらっています。他にも、見学に来たパイロットの方に評価をお願いすることもあります。海上自衛隊第51航空隊の方々は毎年いらしているので、簡単なアンケートに回答いただいています。

油井：それは良いと思いますよ。彼らはテストパイロットですから、評価のプロです。

藤田：最終的な目標は、実機への実装ですよ？

船引：そうですね。ただ、今のシステムは実験用ということもあり、結構なコストがかかっています。実際に防災ヘリコプタなどに搭載するには、値段がかかり過ぎるんです。今はコストを抑えて同レベルの性能が達成できる技術ができつつあるので、近い将来には実機開発に着手できると考えています。

火星有人探査のために日本ができること

——世界では火星有人探査が議論されていますよね。

油井：火星を最終目標に、月や小惑星への有人探査が検討されています。アメリカ航空宇宙局（NASA）に身を置いていると、日本は様々な役割を求められていると感じます。月なら周回衛星「かぐや」、小惑星なら「はやぶさ」の素晴らしいデータを日本は持っていますから。2012年6月にNEEMO（ニーモ）16というNASAの海中訓練を受けました。NEEMO16の主な目的は、小惑星探査時の船外活動方法を検証することでした。けれども、小惑星のデータというのはあまりにも少ないため、「はやぶさ」のデータや写真などは訓練中に非常に重宝されていました。「はやぶさ2」も期待されていますよ。

藤田：日本では、JAXA月・惑星探査プログラムグループが中心となって火星複合探査「MELOS（ミーロス）」の検討を進めています。火星有人探査を行うためには、火星への着陸技術が確立している必要があるため、MELOSでは無人探査機による火星への着陸実証を検討しています。

油井：火星からサンプルを採取してくるのも大事ですよ。国際間での発言力も上がりますから。

船引：JAXA有人宇宙環境利用ミッション本部が宇宙ステーション補給機「こうのとり（HTV）」に回収機能を加えた「HTV-R」の開発を行っています。HTV-Rには有人宇宙活動に不可欠な技術である安全確実な帰還・回収技術を実証・確立するという目的があります。更に、有人宇宙機の開発を見据えた検討を行っており、関係者からは人間工学の専門家として意見を求められることもあります。ただ、航空機のことしか分からないので、航空機のコックピット視点での意見ばかりになってしまうのですが・・・

油井：操縦システムや情報表示の方法は航空機とそれほど変わらないと思います。意見は参考になっていると思いますよ。

藤田：有人探査に必要な技術として、生命維持装置を作るのが一番難しいと思うんです。ISSに参加して「きぼう」日本実験棟を作ることでその技術を培ったというのは大きいと思いますね。昔は、上手く飛ぶ技術や熱防御技術があれば有人は簡単なのではと思っていました。でも、実はそうではない。1960年代から70年代にかけてNASAが進めていた月への有人宇宙飛行「アポロ計画」の報告書などを見ても、いかにして安全を確保するか、いかにして人が生きるための生存圏を確実に作るかというところに相当努力しています。

——人を生かす技術として、研究開発本部では空気再生システムを研究開発しています（P.02参照）。

油井：本当に色んな優れた技術を研究開発していると感じています。た

だ開発費は限られていますので、キーポイントとなる技術、国際的な発言権の増える技術に絞って取り組むのが良いと思います。空気再生システムや輸送システムは重要ですよ。物が運べるのは素晴らしいけれど、人が運べたらなお素晴らしい。

藤田：日本のH-II A／II B ロケットは、低軌道や静止軌道への打上げ能力は高いものの、深宇宙探査機を打ち上げるにはやや不便です。中型の深宇宙探査機を低コストで打ち上げられるロケットが欲しいところです。

空の安全と宇宙への夢

——今後の目標を教えてください。

船引：実用化を目標に様々な研究に取り組んで行きたいです。SAVERHであれば、個々のパーツでも良いのでまず実機に載せ、実際に役立たせたいと考えています。現在、MRJの型式証明の取得作業が進められていますが、航空機の認証は物凄く厳しいですね。その壁を突破するためにはパイロットや技術者、航空局の検査官とのやりとりが重要になります。その議論の中で本当の問題点を見つけ、それを解決して承認につなげるのはやりがいのある面白い仕事です。

油井：至近の目標はISSでしっかりと仕事をする事です。更に先を見据えた話をする・・・私のバックグラウンドはテストパイロットなのですが、この仕事は一人前になるまでに結構な時間がかかります。宇宙飛行士も認められてから仕事ができるようになるまで物凄く時間がかかるんですよ。その両方ができるJAXAの宇宙飛行士は、今のところ私だけなんです。日本独自の有人宇宙機を作るのであれば、そのテストは私がするのが良いのではないかと自分では思っているのですが、私が現役の内に作っていただき、私が現役の内にテストさせていただきたい、というのが将来の夢です。新しい人を一から養成するのにも時間がかかりますから。

藤田：まずは無人探査で技術的なチャレンジを続け、その技術がある程度成熟したら、次は有人探査に必要なレベルまで安全率を上げる。つまり、無人探査を通して、より信頼性の高い有人探査技術へと進化させたいと思っています。「はやぶさ」カプセルの熱防壁システムを有人探査技術にまで高めるには、MELOSなどの無人探査で技術を高めていくことが重要だと思います。

——「はやぶさ」カプセルの帰還技術はなぜそのまま有人宇宙機に使えないのでしょうか。

藤田：一番の難点は、大きさです。直径40センチの「はやぶさ」カプセルであれば一体成型が可能ですが、でも、人が乗るとなるとそれなりの大きさ、4メートル程度は必要になるため、一体成型は不可能です。そうすると、つなぎ目の問題が出てきます。材料は熱によって膨張するため、つなぎ目がどうしても弱くなってしまいます。そこが壊れてしまうと、人命の安全を保証できません。だからまず、無人探査で技術を積み上げ、安全性を高めて有人宇宙機につなげるんですね。

——材料開発も必要になってきますね。

藤田：それはもう。今もばんばんやっています。

船引・油井：材料は重要ですよんね。



火星探査機や有人宇宙機に必要な材料の開発を進めている（左）再利用可能な超軽量エアロシェル（通称「なると」）の加熱試験用模型（右）加熱試験の様子

空 宙 情 報

筑波宇宙センター 秋の特別公開 「つくばで宇宙 みんなが夢中」

【開催案内】

筑波宇宙センターでは毎年、4月と10月の年2回、施設の特別公開を行っています。普段のツアー見学では見ることのできない施設もご覧いただけます。様々なイベントも開催いたしますので、皆さまお誘い合わせのうえ、ぜひお越しください。

詳細はJAXAのHPをご覧ください。

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

※ イベントページ (2012年10月) をご覧ください。

日時：2012年10月13日(土)
10:00～16:00 ※入場15:30まで

会場：筑波宇宙センター
茨城県つくば市千現2-1-1

【お問合せ先】
筑波宇宙センター 管理部広報係
TEL：050-3362-6265



2011年の様子

第25回 マイクロエレクトロニクスワークショップ (MEWS25)

【開催案内】

世界と日本の宇宙用部品の動向や展望、今後の課題などを議論することを目的とした「第25回 マイクロエレクトロニクスワークショップ (MEWS25)」をつくば国際会議場にて開催いたします。今年は「先端電子部品・技術の宇宙適用」をテーマに、国内外の宇宙関係者による講演を行います。

詳細はMEWS25のHPをご覧ください。

MEWS25 HP <https://eepitnl.tksc.jaxa.jp/mews/jp/index.htm>

日時：2012年11月1日(木)、2日(金)

会場：つくば国際会議場
茨城県つくば市竹園2-20-3

【お問合せ先】
MEWS25事務局
TEL：050-3362-5416 FAX：029-868-2978