

# 空と宙

2013 JAN/FEB  
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

## 研究開発

数値解析で、宇宙機や航空機の音の問題を解決する  
ロケットフェアリング内へ伝わる音を捉える技術  
静かな超音速機を実現する

## 縁の下の力持ちたち

研究開発に特化したネットワーク「調布 Pnet」

## 空宙情報

紐（テザー）による移動技術の宇宙実証に成功  
～船外活動支援ロボット実証実験「REX-J」～

「平成 24 年度 JAXA 宇宙航空技術研究発表会」開催報告



H-IIA ロケット  
フェアリング

No. **51**

研究開発本部  
Aerospace Research and Development Directorate

## 数値解析で、宇宙機や航空機の音の問題を解決する

### 人工衛星に快適な空間を

ロケットの仕事は、人工衛星などの荷物（ペイロード）を宇宙へ運ぶことです。ペイロードを載せ、空気抵抗から守るためにフェアリングで包み、準備ができればテイクオフ。壮大な轟音を響かせ、宇宙目指して一直線に飛んでいきます（図1）。

轟音は周りへと広がって行き、打上げ直後のロケットにも伝わり、フェアリングを透過して人工衛星にまで届きます。うるさくたって人工衛星には関係ないのでは？ いえいえ、そんなことはありません。音というのは空気の振動であ



フェアリング  
この中に人工衛星  
などのペイロード  
が収まっている。

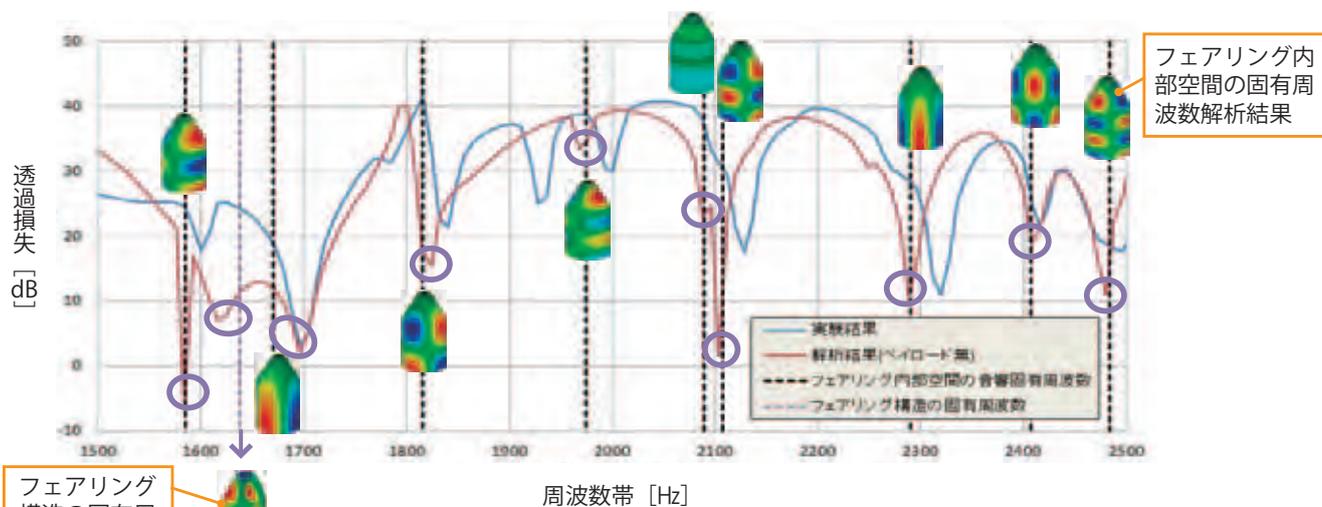
図1 轟音を響かせながら宇宙へと飛んで行くロケット

り、つまり“波”です。その波が持つ周波数によっては、人工衛星に悪影響が及ぶ恐れがあるからです。物にはその大きさなどにより、共鳴しやすい周波数があります。楽器はそれを利用して綺麗な音色を奏でますが、人工衛星の搭載機器はその周波数によって激しく振動し、最悪の場合、壊れてしまいます。私たちは、どの様な音がフェアリングを透過し、人工衛星まで届くのかを精度良く求める数値解析手法の確立を目指して研究を進めています。

音は、波長の長い「低周波数帯」、波長の短い「高周波数帯」、その間の「中間周波数帯」に分けられます。高周波数帯の解析手法は既に確立されており、JAXAでもロケットや人工衛星の開発に使用しています。低周波数帯に関しても、「有限要素法（FEM）」と呼ばれる解析手法によって高精度に求めることが可能です。しかし、中間周波数帯については、有効な解析手法はまだ確立されていません。

### ハイブリッドな解析手法

中間周波数帯を高精度で解析できる手法として私たちが目を付けたのは「波動ベース法（WBM）」です。WBMは空間内を伝わる音を持つ様々な振舞いを関数（波動関数）で表し、



フェアリング  
構造の固有周  
波数解析結果

フェアリング内  
部空間の固有周  
波数解析結果

フェアリング構造が共鳴しやすい周波数(↓)やフェアリング内部空間が共鳴しやすい周波数(○)で音波の透過損失が低くなっている（透過率が高くなっている）ことが分かります。

図2 フェアリング内への音の透過比較結果

## ロケットフェアリング内へ伝わる音を捉える技術

その関数を重ね合わせて作った式を使うことで、音の伝わりを求めるといった方法です。WBMであれば、低周波数帯から中間周波数帯までの音の伝わりを高精度に求めることができます。しかし、“フェアリングの様な個体を介して音が透過する現象”の解析には適用できません。そこで、“フェアリングを介して音が透過する現象”に対しては構造のFEM、“フェアリング内における音の伝播”に対してはWBMで解析する「ハイブリッド有限要素波動ベース法(HF-WBM)」を適用し、解析手法の確立を目指して研究を進めています。

HF-WBMの検証のため、無響音室内にフェアリング模型を設置し、音の透過を調べる試験を行いました。その結果を解析結果と比較したところ、精度良く解析できていることが確認できました(図2)。

### 将来のロケット開発も視野に

最終的に求めたいのは、フェアリング内の人工衛星への音の影響です。そこで、人工衛星を模した直方型アルミ製模型をフェアリング模型に入れて試験を行うと共に、解析についても作業を進めています(図3)。

実際の人工衛星はもっと複雑な形をしています。WBMでは、解析する空間を適当な大きさの領域に分割する必要があります。ただし、分割された領域が全て出っ張っていないと、解析することができないという特徴があります(図4A)。そこで現在は、衛星周りの限られた空間を音響のFEMで解析する、もう一歩進んだHF-WBMの研究開発に取り組んでいます(図4B)。

HF-WBMによる解析手法が確立できれば、人工衛星に音の影響を及ぼしにくいフェアリングの設計が可能になります。また、航空機や船、トラックなどの同じような問題を抱える乗り物にも適用できると考えています。

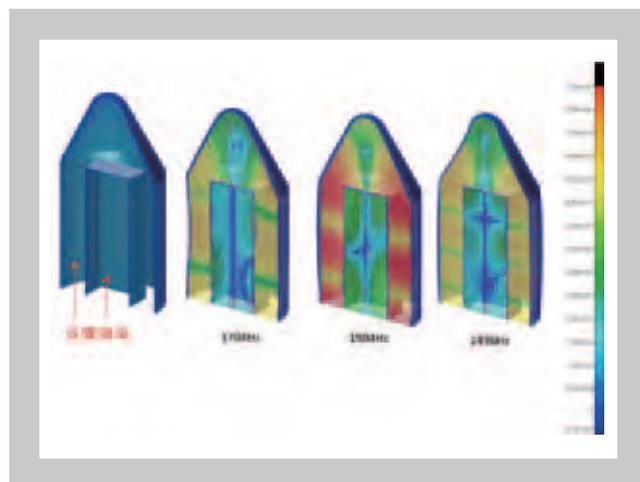


図3 ペイロードありモデルの解析例

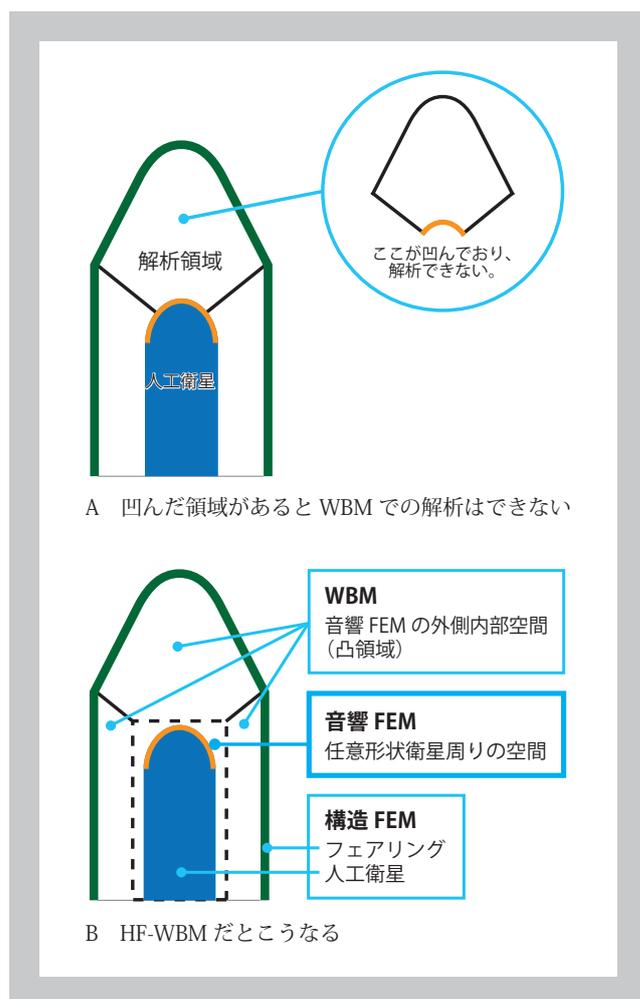


図4 HF-WBM

# 数値解析で、宇宙機や航空機の音の問題を解決する

## もっと世界を身近に

広い太平洋を挟んだ向こう側、アメリカの西海岸まで船で行く場合、十数日はかかります。でも、飛行機であれば8時間程度でひとつ飛び。空気抵抗の少ない高度10000mを音速の8から9割（マッハ0.8~0.9）という高速で移動することで、時間短縮を図っています。もっともっと短い時間で遠くまで行きたい！ そんな要求を満たすには、“飛行機の速度を更に速くする”しかありません。

2003年まで、コンコルドと呼ばれる旅客機がヨーロッパ-アメリカ間で運航されていました。18000mの高高度を音速の2倍（マッハ2）という速さで飛んでいたのですが、音速を超えて移動するときに必ず発生する「ソニックブーム」のために陸地の上空を飛ぶ時には超音速飛行ができないという問題を抱えていました。

先ほど、音は空気の振動、つまり波だと述べました。通常の音の場合、空気の振動は非常に小さいのですが、音速を超える速度で移動すると、その前方の空気がめいっぱい圧縮され、圧縮率の非常に大きな波である「衝撃波」が発生します。その波が空気中を伝わり私たちの耳へと届くと、ソニックブームと呼ばれる大きな音になるのです（図5）。

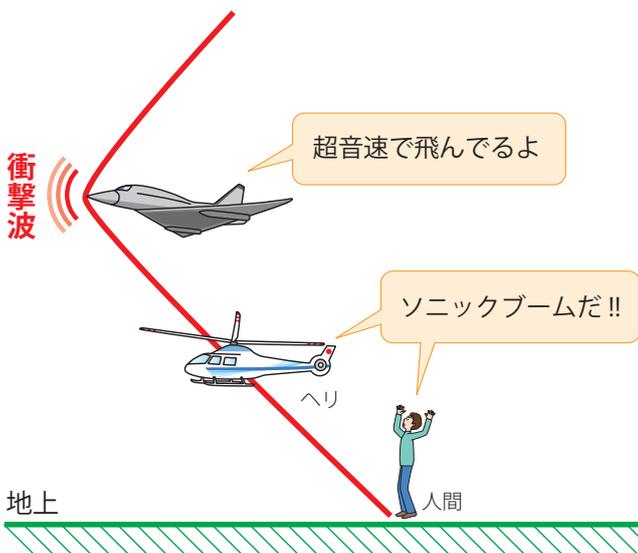


図5 ソニックブーム

## ソニックブームを検証する

音を解析する場合、音が徐々に弱くなりながら空間的に広がって行く「幾何学的減衰効果」や高度によって圧力や温度が変わる「伝播中の環境の変化」を考慮する必要があります。音圧が非常に高い音の場合には、音圧が高いほど波が速く伝わる「非線形効果（図6）」の考慮も必要です。これまでも、これらを考慮してソニックブームの解析を行ってきました。

しかし、従来の解析手法では、熱粘性と振動緩和による「減衰効果」を考慮することができませんでした。そこで、「拡張バーガース方程式」という、減衰効果を考慮できる方程式を使った新しい解析手法を確立しました。それにより、現実のソニックブームで見られる“立ち上がり”を捉えられるようになりました（図7）。

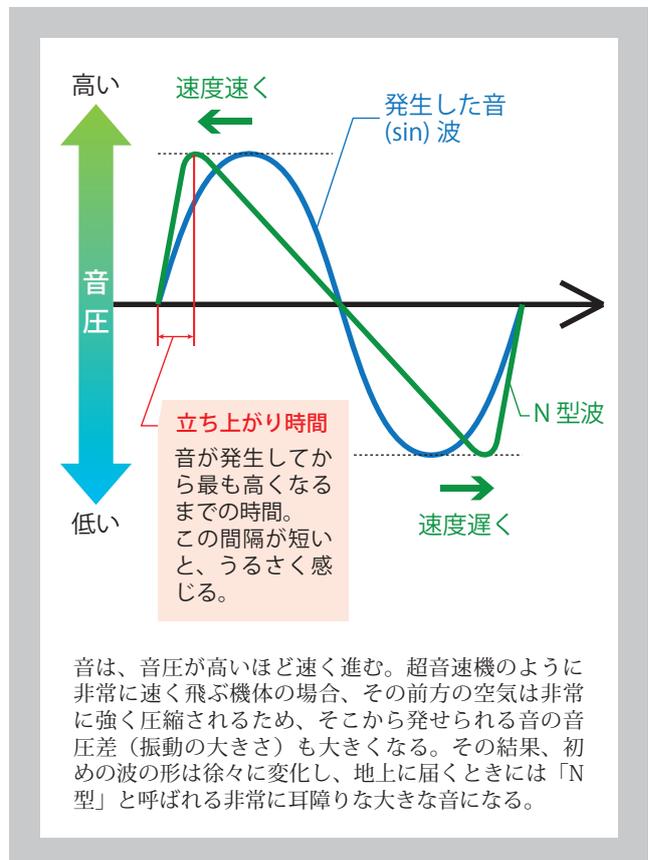


図6 非線形効果

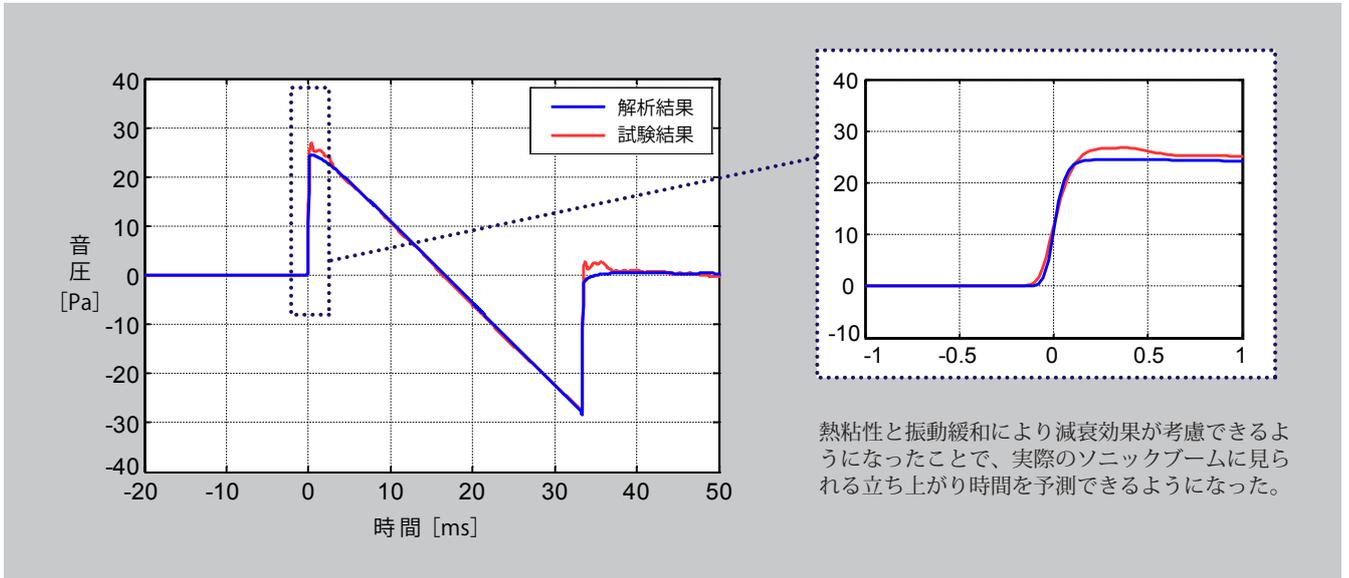


図7 ソニックブーム計測試験結果との比較

熱粘性と振動緩和により減衰効果が考慮できるようになったことで、実際のソニックブームに見られる立ち上がり時間を予測できるようになった。

**加速や旋回飛行時に発生する「フォーカスブーム」**

超音速機は一定の速度を保ったまま、ただ真っ直ぐに飛び続けるわけではありません。加速や減速、旋回飛行など、運航に合わせて様々な飛行形態を取ります。超音速機が加速や旋回をすると「フォーカスブーム」というソニックブームよりも更に大きな音が発生することが知られています。フォーカスブームを予測する解析手法は研究段階にありますが、既に予測ツールを作製し、通常よりも数倍強いブームの発生を再現することに成功しています(図8)。

実際の運航に即した騒音を解析することができれば、新たな機体を開発する際に役立つのはもちろん、超音速機を世界の空で飛ばすための基準作りにも役立ちます。そのた

め、解析で実際のフォーカスブームが再現できるかどうかを検証しています。

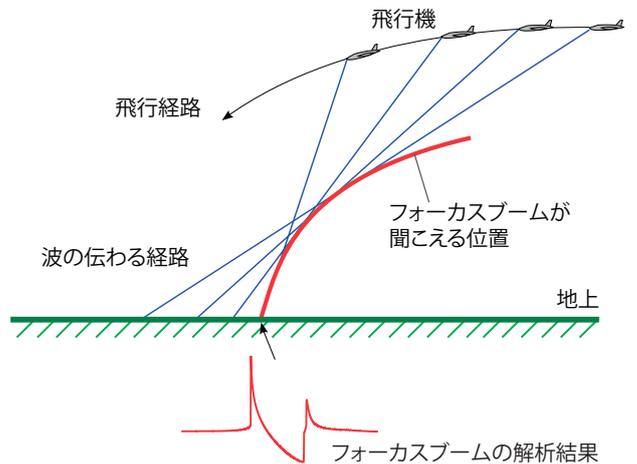


図8 フォーカスブームの発生原理



【数値解析グループ】

(左上から) 青山 剛史、高橋 孝、山本 雅史  
(左下から) 金森 正史、橋本 敦、金田 英和

## 緑の下の力持ちたち

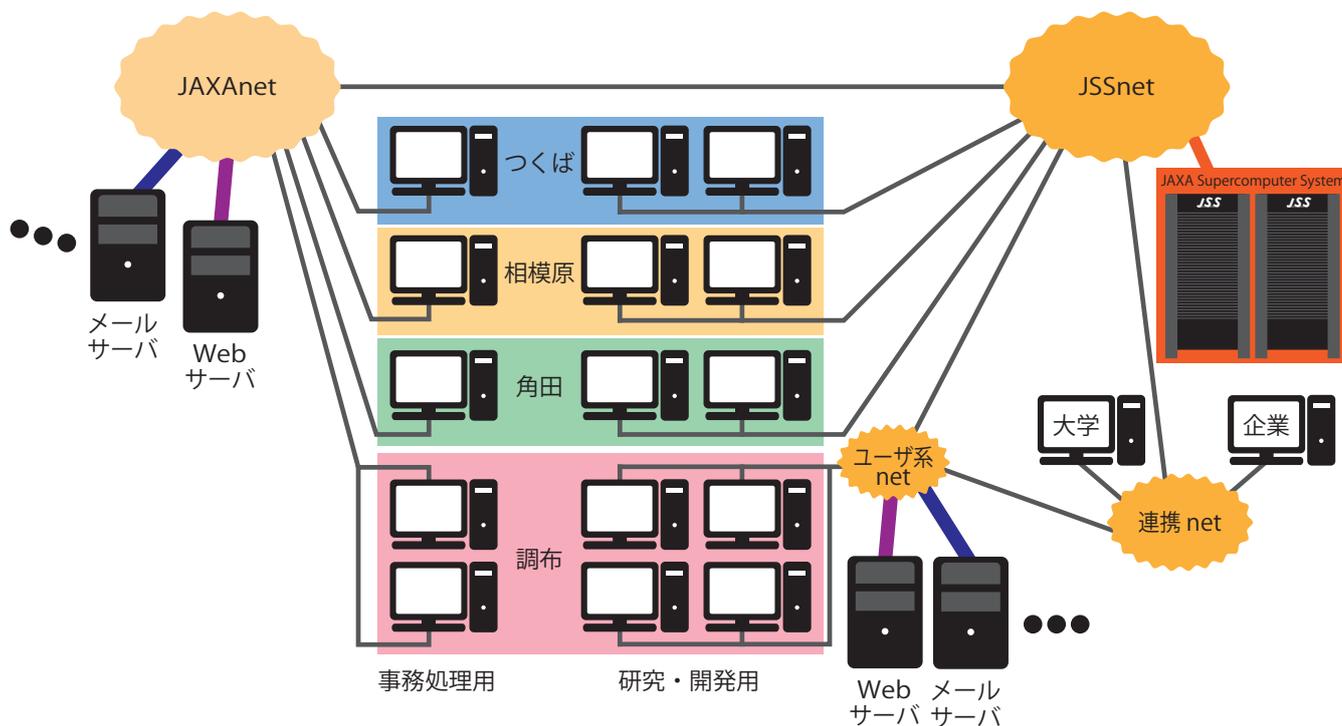
### 目的に応じたネットワーク環境を

私たちが普段、何気なく使っているパソコン。実は、これ1台ではメールを送ることも、webページを閲覧することもできません。メールの送受信機能やwebページへのアクセス機能を提供してくれる高い処理能力を持ったコンピュータである「サーバ」を利用する必要があります。サーバへのアクセスはネットワークを介して行います。JAXA内のパソコンは「JAXAnet」と呼ばれるネットワークにつながっており、メールやwebの閲覧はもちろん、様々な事務処理はこのネットワークを介してサーバにアクセスすることで行います。

しかし、研究や開発を行う際に求められるサーバやネットワークの性能は、事務処理のそれとは異なります。例えば、航空宇宙に関する様々な数値シミュレーションを行うためのスーパーコンピュータ「JAXA Supercomputer System (JSS)」へのネット接続が挙げられます。そこで、研究開発に特化したネットワークとして、JSSのある調布航空宇宙センターを中心に「調布プロジェクトネットワーク (調布Pnet)」を整備し、運用しています。

### スムーズな研究開発をサポート

調布Pnetは、「サーバ管理グループ」と「ネットワーク管理グループ」、そして窓口となる「ヘルプデスク」が管理および



パソコン上での事務処理は全て JAXAnet を介して行われる。それとは別に、研究に特化した「調布 Pnet」が存在する。調布航空宇宙技術センターはもちろん、筑波宇宙センター（つくば）や宇宙科学研究所（相模原）、角田宇宙センター（角田）の研究者、開発者が快適に利用できるようなネットワーク環境が整備されている。

図 JAXAのネットワーク環境

## 研究開発に特化したネットワーク「調布Pnet」

び運用しています。新しいサーバの開設やネットワーク接続の要求、不具合時の問い合わせなどは全て、まずヘルプデスクに寄せられます。

寄せられた要求を元に、サーバ管理グループが研究開発に必要なサーバの開設や管理を行います。

サーバへアクセスするためのネットワークの構築は、ネットワーク管理グループの仕事です。調布Pnetはみつつのネットワークで成り立っています。ひとつはJAXAの研究者や開発者が自身のパソコンからJSSを使用するための「JSSnet」です。JSSはJAXA内はもちろん、航空宇宙の研究や開発を行う大学や企業などにも使用してもらっています。ふたつ目は、その外部機関とJSSとをつなぐ「連携net」です。

みつつ目はJAXA内の研究者や開発者がJSSnetや連携netとのやりとりを迅速化したいとなった時に構築する「ユーザー系net」です。これらのネットワークをつないだり、つないだネットワークの状況を常に管理するのがネットワーク管理グループの仕事です。滞りなく接続してもらうため、各ネットワークを常時監視し、不具合が起こってもすぐに対応できる体制となっています。

### インタビュー



伊藤 利佳                      奥居 毅彦  
藤田 直行

**奥居：**JSSは大規模なコンピュータシステムのため、一般的なシステムでは起こりえない様な技術課題も出てきます。また、特殊な用途のユーザが多く、それぞれの解決策が異なります。その様な課題を解決することにやりがいを感じています。

**伊藤：**私は研究職として働きながら、サーバ管理に従事しています。ユーザである研究者の要望をより正確に把握できる立場だからこそ、ユーザが本当に必要としている要求をできる限り反映するよう心がけています。大変なこともあります。ユーザの方々

に満足していただけた時はとても嬉しく、やっていて良かったと感じます。

**藤田：**調布Pnetの取りまとめ役として、研究開発に役立つインフラの構築をしていることに大きなやりがいを感じています。この部署はJAXAの職員だけではなく、委託や派遣など様々な立場の人たちが働いています。密接に関連するJAXAnetやJSSのヘルプデスクとの合同研修を行い、皆がひとつの仕事に向かい、一丸となって取り組むことでひとつのチームができて上がっている姿を見ることが、最近の密かな楽しみです。



調布Pnetグループ及び  
JAXAnet調布地区担当者たち

# 空 宙 情 報

テザー

## 紐による移動技術の宇宙実証に成功 ～船外活動支援ロボット実証実験「REX-J」～

国際宇宙ステーション (ISS) では、宇宙飛行士は限られた活動時間で多くの作業を実施しなければなりません。また、船外活動は宇宙飛行士にとって危険を伴うため、宇宙飛行士の活動を支援・代行する「有人宇宙活動支援ロボット」が必要と考えています。

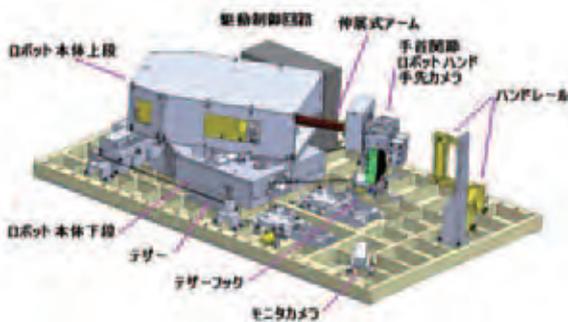
私たちが考える支援ロボットは、体から4本の紐 (テザー) を伸ばして四方に張り、各長さを調整することで移動します。そこで、伸展式アームを使ってテザーを伸ばして固定し、テザー制御により移動する技術の研究を進めています。

この移動技術を世界で初めて宇宙実証することを目

指し、2012年10月から、ISSの一部である「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームにて、“伸展式ロボットアームと紐 (テザー) を利用した移動ロボット技術”の宇宙実証実験「船外活動支援ロボット実証実験 (REX-J)」を行っています。この実験を通じて、地上の重力環境では得ることが難しいロボットの基礎的な特性の把握や機能確認を行い、貴重なデータを取得しています (図1、図2)。

今後、更に実験データの取得を行い、「有人宇宙活動支援ロボット」の開発に役立てていきます。

(ロボティクス研究グループ 西田 信一郎)



伸展式ロボットアームを使い、テザーフックをハンドレールに取り付ける。

図1 REX-J外観



図2 REX-Jの様子

最新のREX-J情報はこちらを!

REX-J特設サイト

[http://robotics.jaxa.jp/rexj/rexj\\_topics.html](http://robotics.jaxa.jp/rexj/rexj_topics.html)

## 【開催報告】平成24年度JAXA宇宙航空技術研究発表会

JAXAが取り組む宇宙航空技術の研究を広く一般の方々にも紹介するため、「JAXA宇宙航空技術研究発表会」を2012年12月12日(水)に東京ステーションコンファレンスにて開催いたしました。

当日は、527名の来場者にお越しいただきました。



空と宙 2013年1月発行 No.51

【発行】宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1

電話：050-3362-8036 FAX：0422-40-3281

ホームページ <http://www.ard.jaxa.jp/>

【禁無断複製転載】「空と宙」からの複製もしくは転載を希望される場合は、広報までご連絡ください。



リサイクル適性 (A)  
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。