

TEXUS観測ロケット打上げ キャンペーンの様子

スウェーデン・エスレンジ・スペース・センターでTEXUS-60号機のペイロード部組立が無事完了し、笑顔で記念撮影するPhoenix-2の射場チームメンバ(左)。ロケット側の機器と接続した状態で、実験シーケンスを地上で事前にシミュレーションしているところ(右上)。打上げ当日、日本大学に設けたりもットサイトでフライト実験中の画像出力やセンサーデータをチェックしているところ(右下)。



The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

観測ロケット実験で探るエンジン爆発の起点:「冷炎」

日本大学理工学部 教授 田辺 光昭(たなべ みつあき)

はじめに

ISASの小規模計画という実験公募機会を利用して観測ロケットによる微小重力燃焼実験「Phoenix-2」を実施しました。JAXA、DLR(ドイツ航空宇宙センター)、日大、九大、山口大、ブレーメン大、ブランデンブルグ工科大の共同研究で、2024年3月にスウェーデンにてTEXUS-60号機で打ち上げました。燃料液滴列に生じる比較的低温で燃える炎「冷炎(Cool flame)」の基礎データを得ました。液滴冷炎は今回も参加する日独共同チームが90年代に落下塔実験で発見して以降、FLEX(NASA)とGroup Combustion(JAXA)で軌道上実験もされてきており、今回は一列に並べた複数液滴に現れる冷炎を扱いました。Coolな炎についての探求を紹介できればと思います。

エンジン燃焼で生じる冷炎とその危険性

液体ロケットエンジン(LRE: Liquid-propellant Rocket Engine)などは、燃焼で得た高温ガスを高速で噴射し反動で推力を得ます。推力150トン程度のLREだと1基3百万kW程のパワーを出しています。この莫大なパワーの源を熱エネルギーとして取

り出す燃焼室は50リットル程の容積しかありません。原子炉2基分あるいは自動車用エンジン3万台分相当の発熱量を、手持ちできるくらいの小さな空間で扱うのが燃焼の面白さです。数%でも揺らぐと数万kWの揺れなので、安全のためにはとても安定した燃焼が必要です。燃焼器起点のエンジン破壊の原因の1つに燃焼室内の圧力波があります。圧力波は燃焼室内に閉じ込められる性質があり、室内を往來し発熱とタイミングが合うと増幅され、最悪の場合、衝撃波となります。さらに波面背後で継続的に発熱に支えられるとデトネーション波になります。数百気圧の燃焼室圧の数十倍の圧力になるデトネーション波は燃焼室を壊します。現状はレゾネータ(吸音装置)で圧力波が弱いうちにエネルギーを吸収し抑えています。抜本的には圧力波と発熱が連成しない燃焼設計が求められます。圧力波と発熱の連成の仕組みとして、圧力波の圧縮による温度上昇で自発点火(発火)が生じ、その急激な発熱で場の圧力が上がって圧力波をさらに強めるというパターンが知られています。圧力波が来てすぐ自発点火するためには、事前に一帯が揃って点火し易い温度に保たれている必要があり、その状況を作る犯人が「冷炎」だと私は考えています。「冷炎」

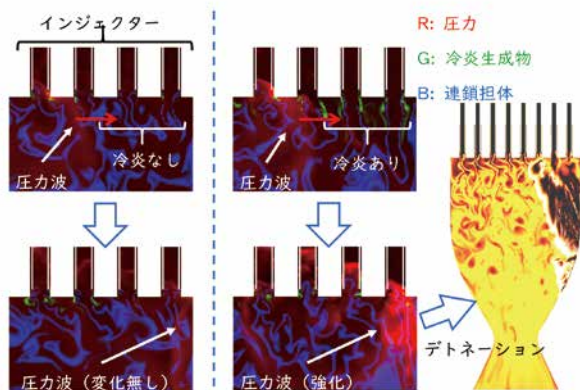


図1：燃焼器インジェクター出口付近での冷炎発生と圧力波の強化(左：冷炎なし、右：冷炎あり)

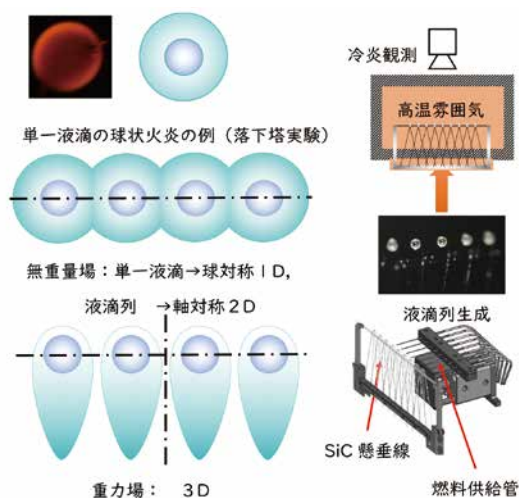


図2：微小重力環境での燃料液滴系による1D / 2D系の燃焼場生成



図3：地上試験中の観測ロケット搭載装置

は、燃焼時に主な発熱を受け持つ熱炎(通常の炎)の前後に現れることがあり、熱炎と違い1,000K以下の比較的低温で燃えます。炭素鎖の長い炭化水素燃料で生じ易いことが分かっています。冷炎はその燃焼温度付近に安定点をもつ化学反応機構に支配されており、冷炎発生前の温度に関わらず、発生によって温度はどれも上昇し同じ値に収束する傾向があります。その結果、熱炎発生に適した条件が広範囲に揃い、圧力波が通るのに合わせて多点で立て続けに自発点火します。図1はロケット燃焼器のインジェクター出口付近に出来る冷炎と圧力波の数値計算例です。破線左側に示す冷炎がない所を通過する圧力波(赤)は強くなりませんが、右側のように冷炎(緑)が出たところを通る圧力波は強化されています。これが繰り返されデトネーション波となると考えています。均一な冷炎を作った実験では、圧力波が僅か20mm程度の距離、冷炎中を伝播するとデトネーション波になることを確認しています。ですので、冷炎がいつ、どこに、どう出来るか予測したくなるという訳です。

微小重力環境で作る2次元(2D)冷炎

冷炎発生は、散逸場での連鎖分岐爆発という、パンデミックと同種の非線形力学系現象として理解できます。冷炎を生む活性物質であるOHなどの連鎖担体を1分子使って最終的に担体2分子を生み出すような分岐反応により、担体が増殖し蓄積されます。十分な量が溜まると発熱反応が活性化して冷炎が点きますが、冷炎が発展して温度が上がり過ぎると逆に分岐反応は止まります。分子拡散や熱伝導などの輸送による散逸がある場では、発熱を支える担体が減り、結果、温度も低下することになります。このような冷炎が発展抑制される現象は、丁度パンデミックで感染が酷くなると外出自粛して感染が収まる過程に似ています。感染爆発が繰り返し起きて収まるのと同じで、冷炎も発生を繰り返すことがあります。このダイナミクスの予測には、連鎖担体の増殖と散逸を正しく記述する必要があります、つまり反応モデルと輸送モデルの両方が大切になります。

モデル検証は単純な現象から始めます。輸送現象の単純化には微小重力環境での液滴系が有効です。液滴は表面張力で球形になり、表面から出た冷たい燃料蒸気はその重さで沈まず、燃えて上昇もしません。液滴中心周りに半径が唯一の変数となる球対称1次元(1D)場が作れます(図2左)。このような空間の低次元化で輸送現象を単純に記述できるようになります。一方、化学反応の方は、数百～数千の化学物質が関与し、それらの組合せで数万の化学反応が起きています。これを輸送モデルと共に解けば上述のダイナミクスの予測が可能となるはずですが、このままでは化学反応モデルが大規模すぎて現実的な計算時間で答えが出ません。このため、数十の重要物質間の数百反応だけ取り扱うことにした簡略化モデルが提案され、これを用いると空間も2次元までなら現実的な計算時間で解くことができます。これを元に空間3次元を取り扱うには保存量の導入や射影などを使いますが、情報欠落を許容するので、妥当性の検証が必要で、それもある2次元系冷炎の実験データによるモデルの検証が要望されています。

Phoenix-2では図2左の中段の微小重力環境で一列に密に燃料液滴列を並べた空間2D系を形成し実験しました。図2右のように、ケロシンやSAF(持続可航空燃料:Sustainable

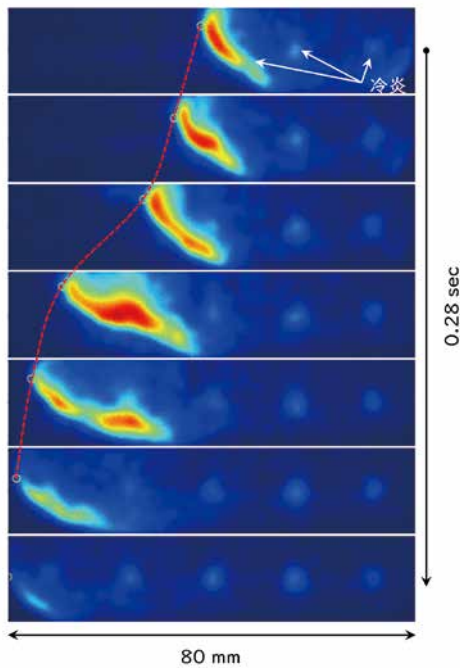


図4：液滴列を伝播する冷炎
(Saito, M., et. al, JMSA, 42 (3), 2025)

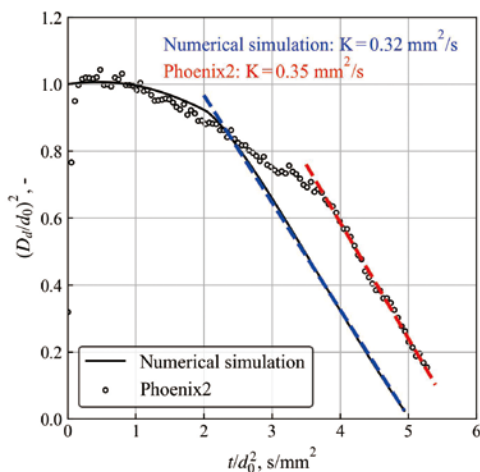


図5：D-2プロット (Iemura, K., et. al. 35th ISTS, 2025, 初期液滴径 $d_0=1.16$ mm, $T_a=564$ K, $T_d=315$ K, ○：実験結果、青線：計算結果、傾きが急変する時点が冷炎の点火タイミング、赤点線／青点線は計算／実験での冷炎燃焼時の2乗直径の時間変化を直線近似したもので、その傾きKが蒸発の速さを表している。

Aviation Fuel) の主成分の正デカンを燃料として直径約1 mmの液滴を $14 \mu\text{m}$ 径のSiCファイバ上に付け、整列させた状態で電熱炉内の高温空気に挿入し冷炎を発生させました。輸送モデル検証のため蒸発による液滴径の変化を撮影し、反応モデル検証のため冷炎をHCHO (ホルムアルデヒド：冷炎発生時に生成される) 紫外自発光で高速度撮影しました。撮影のための光学系と熱マネジメントを要する高温炉、そして液体・気体・電気の配管、配線が混在する複雑な装置になり、さらに、冷炎が発生する下限温度を決定するため、設定温度の異なる2系統の装置を詰め込みました (図3参照)。実験装置のバス系を担当するドイツ側の熟練のエンジニアにも経験のない複雑な装置となったものの、成功させたいと奮闘してくれました。フライトでは用意した高温側の系統が動作不良でしたが、低温側の系統で無事冷炎が点き、狙っていた下限温度近くの数値を取れました。打上げへ向けた射場準備中も、現地環境由来と思われるコンタミ問題が出るなど、最後まで苦労が多い

装置でしたが、開発と現場対応された日大の野村 浩司先生・菅沼 祐介先生・齊藤 允教先生の献身と忍耐に感謝するところです。

冷炎データ例

図4は16 mm間隔の5液滴列に生じた冷炎の伝播とその後の燃焼の様子です。白黒の撮影データからノイズ除去し輝度で色づけしてあります。右方で点いた冷炎が左に伝播することが分かります。伝播火炎が去った後に液滴周囲で定在して燃える冷炎も捉えています。赤破線に示す冷炎先端の動きは加速減速しており、輸送律速の低速伝播と反応律速の高速伝播とが共存していて、反応と輸送が拮抗する自発点火限界付近固有の現象を捉えたと考えています。図5に数値予測と実験で得た燃料液滴の直径の2乗の時間変化を示します。両軸共に初期液滴径の2乗で規格化しています。理論的には2乗直径は直線的に減少し、その傾きが蒸発速度を表します。冷炎が点くと液滴周囲の温度が上がり蒸発速度が上がります。実験結果を表す点列の途中、傾きが変わり、線になって折れている時刻で冷炎が点いており、点火後の線の傾きは計算結果が示す傾きとほぼ一致するので、モデルで冷炎温度が再現できていると分かります。一方で、点く時刻の予測は外れて実験と計算でずれており、既存の化学反応モデルには連鎖担体の蓄積過程に課題があると分かります。このデータを元により正確な反応モデルを開発中で、最終的に爆発のより正確な予測に繋がりたいと思います。

軌道上実験に向けて

Phoenix-2は終了しましたが、次のステップとしてJAXAの「きぼう」船内利用フラッグシップミッションとして軌道上実験の準備を進めています。観測ロケットを使った実験と違い得られたデータを都度次の実験条件にフィードバックできる宇宙ステーションのメリットを活かし、自発点火の下限温度、伝播や振動のモード遷移温度など、今まで以上に詳細な探索作業が可能になる実験を予定しています。下限温度は火災でいう発火点に相当するので、同じ冷炎反応をもつ植物油などの安全性データとして宇宙居住等にも発展できればと考えています。

おわりに

Phoenix-2の成果は、参画研究者や企業エンジニア、学生達といったチーム全員の努力の賜物でした。またISAS宇宙環境利用科学委員会による構想段階からのご支援、海外打上げ経験者の、北大・木村 勇氣先生ほか皆様からのノウハウ提供も必要不可欠でした。感謝いたします。2019年度の計画スタート以降、装置開発の問題だけでなく、パンデミックによる活動自粛、射場火災や欧州の政治案件などで、度重なる打上げ延期が発生し、国際共同研究ならではの外的障害の多さに驚かされました。その度に様々な方々のご支援があり、宇宙に携わる方々の連帯を強く感じました。チームリーダーのISAS 稲富 裕光先生の調整技もあり、困難のたびに日独相互の信頼が強まり、最後はドイツ空軍の協力もあって、大きなチームになっていました。とても充実したプロジェクトにしていたいただいた関係各位に感謝申し上げますとともに、若い研究者の方々にもぜひチャレンジングな国際協働の楽しみを繋いでいければと思います。

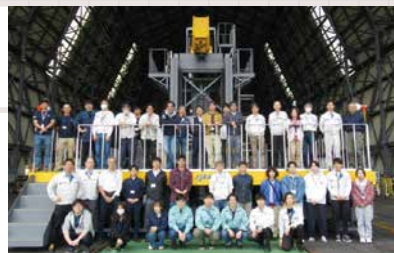
2025年度気球実験

5月中旬から9月上旬までの期間、大樹航空宇宙実験場にて2025年度気球実験を実施し、以下に述べる7回の気球フライトを計画通りに実現しました。

大型の気球を用いた実験としては、まず6月20日に「高精度変位計測装置の実証 (DREAM4)」を目的とするB25-03を実施し、気球飛行環境下にて装置の性能データを取得しました。7月4日にはB25-01「改良型クライオサンプラー性能実証試験」を実施し、約14～35kmの広い高度範囲で成層圏の大気サンプルを採取しました。8月31日にはB25-04「皮膜に網をかぶせたスーパープレッシャー気球の飛行性能評価」を実施し、新型気球の性能や運用に関するデータを取得しました。この内、B25-03には、気球の余剰搭載能力を活用して3つのピギーバック実験「ガンマ線バースト光学閃光監視計画と搭載スターカメラ原理実証気球実験」「衛星メガコンステレーション時代を見据えた成層圏エアロゾルの動態調査」「ピギーバック分散配置9軸姿勢ロガー群によるラダー形荷姿の機械特性計測」も混載し、各実験のデータも取得しました。

ゴム気球を用いた小型の実験としては、6月6日と8月23日にBS25-02およびBS25-04を実施し、「レーザー周波数比較による一般相対論の高精度検証に向けた基礎実験 (Ⅲ)」として、気球～地上間の光伝搬に関するデータを取得しました。6月12日と7月4

現場経験を積みたいJAXA職員、大学の若手研究者や学生、企業からの参加者、地域住民の支援員など、多様なメンバーが協働して実験を実施しています。



日にはBS25-03「ゴム気球を利用した剛体薄殻型大気突入カプセルの飛行試験」とBS25-05「ゴム気球を利用した柔軟フレア型大気突入カプセルの飛行試験」をそれぞれ実施し、降下中のカプセルの空力データを取得しました。

以上の通り、今期は7回のフライトを実現し、ピギーバックも含めると計10個の実験を実施できました。7回および10個という数字は、大樹航空宇宙実験場で毎年気球実験を実施するようになった2008年以降で最多です。一方、計画していた「気球VLBI実験」は、気象条件が適合する機会を得られず今期の実施を見送りました。

地球温暖化のため、実験実施に適さない気圧配置や気象状況の日は今夏も頻発しました。それでも「異常気象との付き合い方」として最近取り組んできた実験要件の緩和などの方策が効力を発揮し、多くの成果を挙げることができました。

実験実施にご協力頂きました関係者の皆様に深く感謝します。
(福家 英之)

Comet Interceptor(長周期彗星探査計画) 子機B1 EMC(高周波電磁ノイズ／磁気)試験の状況

Comet Interceptorミッションは、欧州宇宙機関の親機A・子機B2の2機と、JAXAから提供する子機B1の計3機の探査機で、長周期彗星を世界で初めて多点同時フライバイ観測する計画です。探査機を開発する際には機械・熱・電気など様々な観点で検討を行います。電磁適合性、いわゆるEMC (ElectroMagnetic

Compatibility)もその1つです。EMCとは様々な機器が生じる電磁ノイズが十分に小さく抑えられ、各機器がお互いに不具合なく共存できるようにすることです。子機B1は超小型ながら高い科学目標があることに加え、彗星に接近するまでは欧州側の2機の探査機と結合して運用されるため、自らの内部で生じるノイズはもちろん周囲の探査機から到来するノイズに対しても不具合を生じないこと、また周囲の探査機に対して影響のあるノイズを放出しないことが大切です。さらに子機B1には観測器として磁力計が搭載されます。本ミッションでは電磁ノイズの中でも静

磁場～数十Hzという極低周波の磁場ノイズについても適切に管理をしないと、高精度な磁場観測が達成できません。

2025年7月にエンジニアリングモデルを統合した子機B1全体 (ISASニュース2025年8月号*表紙写真) を供試体として、高周波の電磁ノイズを対象としたEMC試験を実施しました。この試験では人工的な電磁ノイズを供試体に当てて耐性を確認する他、供試体から出てくる電磁ノイズのレベルを測定します。本ミッションでは子機B1から電波として放射される電磁ノイズの許容値が、欧州側探査機に搭載される通信機や電場センサに影響しないように厳しく設定されています。各搭載機器がノイズを出さないように対策するのが理想ですが、リソースが限られる子機B1では外壁となるアルミ構体パネルによってノイズを封じ込める効果も最大限に活用し、無事許容値以内となっていることが確認できました。

2025年8月にはJAXA相模原キャンパスの磁気シールド室にて子機B1全体の磁場ノイズを測定するための磁気試験に臨みました。超小型探査機で宇宙科学に資する磁場観測を実現することはチャレンジングです。子機B1の磁力計は伸展ブームにより1.5m探査機から離しますが、それでもリアクションホイール (RW) が回転時に生じる変動磁場ノイズは顕著でした。幸いRWの回転数が所定以上であればその影響は磁場観測データから後処理で除去できる見込みを得て、運用で対処する方針としています。一方で搭載機器の各基板や配線等の電流ループから生じる磁場ノイズについては設計段階から配慮を行っており、探査機全体として磁場観測に影響のないレベルとなっていることが確認できました。(村田 直史)



EMC試験において子機B1に対してアンテナから電磁ノイズを当てている様子(場所:EMCジャパン第8テストサイト)。



磁気シールド室内で子機B1の磁場ノイズを測定している様子。

* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews533.pdf

地球に大接近する小惑星Apophisを探れ!RAMSESと日本の挑戦

2029年4月13日、小惑星Apophisが地球へ大接近します。直径約340mもの天体が、静止衛星より内側の高度約32,000kmを通過するという、千年に一度とも言われる極めて稀な現象です。Apophisが2004年に発見された直後には、2029年に地球に衝突する可能性が示され世界を騒がせましたが、現在では今後100年以上にわたって衝突する心配のないことが確認されています。この千載一遇の科学的チャンスを活かすため、欧州宇宙機関(ESA)が主導する国際協力ミッションRAMSES(Rapid Apophis Mission for Space Safety)が計画されています。

RAMSESの目的は、Apophisが地球に最接近する前後、その傍にとどまり、地球の潮汐力によって小惑星の表面や内部、自転にどのような変化が生じるかを詳細に観測することです。地滑りの発生や自転の首振り運動の変化を間近で捉えることで、小惑星の成り立ちや小惑星の内部の構造や硬さなどの性質を深く

理解します。これらは、将来地球に衝突しうる小惑星から私たちを守る「プラネタリーディフェンス(地球防衛)」の立場で、まずは「敵」を知るための重要な一歩となります。

JAXAはこの国際協力



地球の近傍を通過する小惑星Apophisを探索するRAMSES探査機の想像図 ©ESA

ミッションに、以下の3つの重要技術で貢献します。

1つ目は、「はやぶさ2」で実績を上げた技術をさらに向上させた「熱赤外カメラ(TIRI)」です。表面温度分布と時間変化を詳細に観測することで、小惑星表層の空隙率や粒径、形成過程や宇宙風化の影響を明らかにします。TIRIはRAMSESの先輩にあたるESAのHeraミッションに採用されており(ISASニュース2025年4月号*)、RAMSESへはその予備品が提供されます。

2つ目は、世界最高レベルの出力密度(W/kg)を誇る日本独自の「薄膜軽量太陽電池パドル」です。欧州の標準的な太陽電池パネルに比べて5~10kgも軽く、そのおかげで新たに2つの科学観測機器を追加搭載できるようになりました。日本の技術が、探査ミッション全体の科学成果の質を大きく向上させます。

3つ目は、探査機を宇宙へ送り届ける「H3ロケット」です。2028年度に、小惑星Phaethonを目指すJAXAのDESTINY²探査機と共に打ち上げられる計画です。

現在、JAXA担当機器については詳細設計が進められており、RAMSESミッションは今年11月のESA閣僚級会議での正式採択を待つ段階です。RAMSESは、Apophisという特異な天体を探る貴重な科学探査であると同時に、万が一の事態に備え世界が協力して迅速に宇宙ミッションを立ち上げる重要な試金石でもあります。日本の優れた技術が、人類共通の課題であるプラネタリーディフェンスにも大きく貢献する。その挑戦にご期待ください。(豊田 裕之)

* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews529.pdf

広報から見たMMXシステム総合試験

ISASニュースの6月号*でMMXの探査機が表紙を飾りました。このときは、復路モジュールと探査モジュールの2つが結合されていたのですが、その後、往路モジュールも結合され、3モジュール全機結合状態となり、さらにその後、着陸脚も4脚とも取り付けられ、完全に近い状態で機械環境試験が続けられています。ここまでに、正弦波振動試験、音響試験などが行われました。正弦波振動試験は、ロケットの打上げ時に、探査機や搭載機器に影響が出ない事前に確認する重要な試験です。音響試験では、探査機の打上げ時の轟音による搭載機器への影響を確かめ

ます。特別な試験室内に探査機を設置して、試験室内を大音響にさらします。写真は、正弦波振動試験時のもので、3つのモジュールが結合されています。振動試験、音響試験のあとには探査機の健全性を確認するため、改めて電気試験を実施しました。2日ばかりで行うもので、各ミッション機器の担当者も現地もしくはオンラインで招集されて各機器の機能チェックを行いました。



MMX探査機 正弦波振動試験(加振前)の様子

ところで、こういった主要な試験の場面や過程を画像や動画という形で、記録していくことは重要です。昨年12月にJAXA・三菱電機・NHKの3者間で「記録撮影に関する協定」を結んでから記録撮影を随時行ってきました。今はまだまだ素材撮りの段階で、NHKから画像や映像が目の見るのは番組として作られるずっと先の話になります。NHKとの記録撮影では、今年に入ってから、真空チャンバーの開閉(3月)、3モジュールの結合(7月)、正弦波振動試験(9月)、音響試験(9月)などの記録撮影も行いました。今後、衛星や探査機の開発に関わる若手メンバーにも貴重な機会ということもあり、経験を積む意味でも、積極的に見学会も催しました。

筆者は以前から、広報の立場でミッション機器の引渡や、各種試験に立ち会ってきました。そこで撮影した画像を、このISASニュースの紙面はもちろんウェブやSNSを通して紹介しています。画像の中には三菱電機の協力で撮影、提供されたものもあります。システム総合試験時の各種画像は、JAXAデジタル・アーカイブなどでも公開します。MMXに参加するNASAやCNES、DLRなどの海外の協力機関とも共有しており、MMX探査機の進行状況を伝えて大変喜ばれます。今後も、こういった現場を各方面へ随時伝えられるよう取り組んでいきたいと思っています。

システム総合試験はまだ続きます。今後は、保持解放衝撃試験、EMC試験、サンプリング動作試験へと続きます。ぜひご注目下さい。(矢治 健太郎)

* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews531.pdf



MMXはフォボスを目指す!



断捨離と 探査機システム設計

最近、SNS、YouTube等で「断捨離」を推奨するインフルエンサーをよく見かけます。私も極端なことはしていませんが、生活の中で必要／不要を再判断し、不要と判断したものは手放すことを常日頃から意識しています。断捨離では余分なもの、不必要なものを片づけることで、限りある空間にゆとりをもたらすことが目的ですが、質量に制約のある宇宙機プログラムでも同じことが言えます。私はプロジェクト化されなかったものを含めると10近いプログラムに関わってきましたが、途中で質量超過問題にぶち当たらなかったプログラムは1つもありませんでした。未知の分野に挑むMMX探査機のシステム設計*においてはより顕著で、基本設計期間中に質量が当初の見込みから超過することが判明し、徹底的な軽量化のための断捨離活動を余儀なくされました。今回はこの活動について振り返ります。

質量超過・経緯と対策

2020年に予備設計段階から基本設計に移行し、本格的な設計作業が開始されたと同時に次々に質量増加要因が判明しました。それはどれもMMX探査機の新規性に関わる部分であり、例えば低重力天体に安全に着陸するための脚についてはこれまで前例がなく、必要な要素と性能を吟味して設計を進める際に色々追加となり、当初の見積りよりも大幅な質量増加となりました。また、各電気機器を繋ぐ配線質量も当初見積りの2倍近い質量に増加しました。これはMMX探査機が日本で過去例の無い規模の探査機であり、機器間が広く、配線長もそれに応じて長くなったためです。このまま増加した質量ではロケットの打上げ制約に対応できないため、基本設計を進める中で必要最低限な機能・性能を吟味し、ミッションの達成度・信頼性を落とさない範囲での徹底した質量削減活動を実施しました。具体的には以下の内容です。図1に示す通り探査機の機器の基本レイアウトから見直しました。

① 徹底的にスリム化

中心部にある円筒形のコア部構造は、打上げ荷重に耐えるために必須であり変更しませんでした。箱型の一次構造は必要



図1：外観上の変化

な部分を除いて余肉を落とし、体積自体を小さくしました。各種機器を取り付けるための二次構造も軽量の複合材の多用、形状の最適化と肉抜きを実施することで軽量化を計っています。また、太陽電池パドルの収納方向も高さを押さえて胴体部との連結箇所が減るように90度回転させた上で、回転軸取り付け位置をサンプルリターンカプセルとは反対側へシフトして重心のバランスを取っています。質量増加の大きな要因となった各種電気配線も構造のスリム化と合わせて長さを短縮、細線化し、可能な部分では軽量のアルミ配線に変更しています。

② 代用できる機器の有効活用

複数の機器で同様な機能を持つものについて、その活用方法を再検討しました。例としては、X/Ka帯の送受信機です。Ka帯受信機には、元々X帯の送受信機能も付属していましたが、X帯専用の送受信機を2台冗長搭載とすることで、X帯の機能は使用しない設計になっていました。これについて最適化のトレードオフを行い、Ka帯送受信機のX帯機能を生かすことで専用送受信機の代用とし、もう1台のX帯専用送受信機と組み合わせることで本来のX帯における冗長性を維持しつつ軽量化しました。また、MGAアンテナも2台あったのですが、運用上での有効性を再度検討し、最適化された位置の1台に削減しました。

③ 運用方法で改善

ハードウェアの軽量化と並行して、搭載する推進薬の削減も図っています。具体的には火星圏への投入軌道の最適化や、フォボス周辺での観測軌道の維持・変更に必要な推進薬量の精査などが挙げられます。また、推進薬を消費する推進系側も、スラスタの使用形態をフェーズ毎に細分化し、パルス幅、サイクルなどの使用条件まで考慮した性能を解析に使用すること、及び推進薬タンクに残留する無効推進薬の厳密化を行いました。これらによって余分なマージンを無くしています。

現状と次に向けて

軽量化活動は、特に③の運用方法での改善について今なお継続中ですが、現時点のMMX探査機の質量見積りでは、H3ロケットの打上げ能力範囲内の探査機総重量で当初のフォボス観測、サンプル採取、帰還を含めた全てのミッション要求を満足することが予測されており、一息ついた状態です。

最後に、私は複数のプロジェクトに携わって質量増加に悩まされたことと書きましたが、どのプロジェクトでも共通の傾向があります。それは概念設計から基本設計へ移行した段階で、一旦質量が大幅に増加し、設計変更、場合によっては打上げ質量の増加などの仕様見直しが必要になるという点です。その後の詳細設計フェーズでは大きな増加はなく、結果として詳細設計審査(CDR)の時点が予測質量のピークとなり、その後は製造実績に基づいて設計マージンが徐々に削られ質量予測が減ってくるという点も共通しています。これからプロジェクト業務でシステム管理を担当する方々は、この傾向を念頭において質量管理をして頂くと幸いです。

今田 高峰 (いまだ たかね)

* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISAnews477.pdf



株式会社 IHI
ロケット開発事業推進部・技師長
(元明星電気株式会社 宇宙防衛事業部長)

谷本 和夫 (たにもと かずお)

打上げ射場と宇宙開発

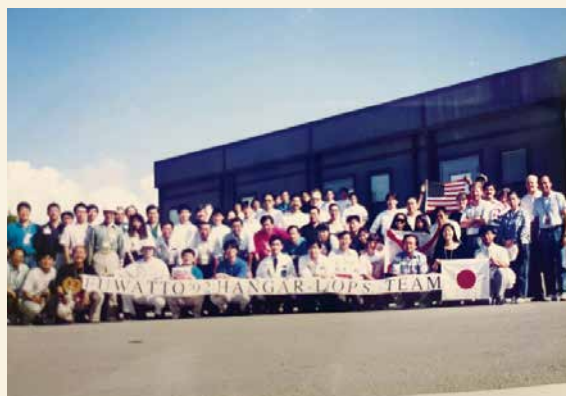
今回は、ロケットの打上げ射場との思い出に関連して私の宇宙開発との関わりについてお話しします。

初めてロケット打上げ射場へ赴いたのは、内之浦宇宙空間観測所(当時、ISAS)で、X線天文衛星ASTRO-C(「ぎんが」)を載せて、1987年2月にM-3SIIロケット3号機が打上げられた時です。今でも現地PIセンターで見た一瞬で飛び去ってしまったロケットの姿が鮮明に記憶に残っています。当時、PIセンターで昼食時に作って頂いたラーメンも懐かしく感じられます。「ぎんが」に搭載された大面積計数管(LAC)の実験研究者であった小山勝二先生から、搭載センサ類の回路技術について機器調整などを通じて学ぶことが出来たことは、小生の機器開発に対する基本となりました。

その後、1989年に宇宙開発事業団(NASDA)に出向し、4年程スペースシャトルミッション業務に従事し、出向中に、種子島宇宙センターではH-Iロケット6号機による1990年2月の海洋観測衛星1号b(「もも1号b」)の打上げに先だって、射場での現場作業を経験することができました。この経験を基に、第1次材料実験(FMPT)ふわっと92では、米国フロリダ州にあるケネディー宇宙センター(KSC)に約2年弱の期間を通じて延べ半年程度、スペースシャトルのイベントに合せて滞在を繰り返えし、同じく開発に携わっていた石川島播磨重工業株式会社(IHI)、三菱重工業株式会社・神戸造船(MHI)の方々と一緒に日本実験モジュール(JEM)の実験装置作業に従事しました。なお、この時の勤務で驚いたことを言えば、毎週金曜になると午前中だけ勤務し午後は帰宅する方が多く、遅くまで働く日本人には驚きでした。この時、既に週40時間勤務が定着していたようです。さらに施設内の路上を歩くワニを見た衝撃は今でも覚えており、まさに天然の要塞というに相応しい射場でした。

この滞在では何とんでも宇宙飛行士の毛利さんが搭乗した1992年9月のスペースシャトル/エンデバーの打上げが印象に残っています。とりわけ、シャトル打上げ時の空気を引き裂くバリバリといった音を肌を感じ感動した記憶があります。エンデバーの帰還時には、噂に聞いていたスペースシャトルから発生する衝撃波(ソニックブーム)を直に聞く機会も得られ、とても幸運でした。

2000年以降はロケット射場を訪ねる機会がなかったの



ケネディー宇宙センター(Hangar-L施設前)



JUICE打上げ前のアリアン5(クールー宇宙基地)

ですが、2020年後半から欧州宇宙機関(ESA)が主導する大型木星氷衛星探査計画(JUICE)の観測機器(ガニメデレーザ高度計、電波プラズマ波動観測器、プラズマ観測パッケージ)の開発に参加する機会を得て、2023年4月にJUICEを搭載したESAのアリアン5ロケットの打上げをクールー宇宙基地(仏領南米ギアナ)で間近に見る機会を得ました。開発においては欧州宇宙機関、ドイツ航空宇宙センター(DLR)、スウェーデン宇宙物理研究所(IRF)、欧州宇宙機器メーカー等との協業は貴重な経験となり、良い刺激となりました。このような海外との観測機器開発には、2015年3月に米国フロリダ州ケープカナベラル空軍基地よりアトラスVロケットで打上げられた米国編隊飛行磁気圏観測衛星(MMS)に搭載した高時間分解能低エネルギーイオン観測器(FPI-DIS)16台を米国サウスウエストリサーチ研究所(SwRI)から受注、納入した経験が大いに役立ちました。なお、JUICEは、2031年に木星系に到達、2034年衛星ガニメデの周回軌道への投入が予定され、まさに現代宇宙探査の旅路、グレートジャーニーだと思います。

現在は、観測機器開発から離れIHIでオブザーバとして民間ロケットアビオ開発等に参画していますが、私が関わった観測機器の集大成としてJUICEの木星到達を見届けたいと考えています。JUICEでの一連の観測機器開発は、私の明星電気における最後の仕事となりましたが、その開発はJAXA 齋藤 義文先生、塩谷先生、浅村先生、東原さん、東北大学 笠羽先生、千葉工大 小林先生、ご協力頂いたメーカーの皆様のご尽力無くして成し遂げられませんでした。ありがとうございました。

宇宙・夢・人

Space Human Dream

》小さな町から広い世界へ、
そして宇宙へ

ハンガリー語とフルマラソンと宇宙開発

——大学ではなぜハンガリー語を選んだのですか？

私は岐阜県の信号が3つしかない町で育ちました。家の前には田んぼ、美しい川、大きな山々が広がり、春は田植え、夏は川遊びやホタル、秋は栗きんとん作り、冬は雪合戦など、四季をいっぱい感じて、楽しく過ごした思い出があります。大自然に囲まれた環境だったので、幼い頃から「この町を出て、もっと広い世界を見てみたい!」と考えていました。

外国語の習得を通して、新たな世界や考え方に触れようと考え、4年も勉強できるならどの言語にするか、高校の職員室で先生と相談していました。すると隣で聞いていた教頭先生の娘さんが、ハンガリー語を専攻されて「ハンガリー語、面白いらしいよ!」と伺いました。自身が生まれたヨーロッパに憧れがあったことや、ハンガリー語専攻は日本の大学で1つしかないことから、挑戦することに決めました。

——ハンガリー語を学んでみて、いかがでしたか？

ブダペスト留学では有名な菓子屋で、インタビュー活動をしていました。朝5時ごろ開店前に、オーナーにケーキ作りの現場を見せていただき、経営成功の秘訣を卒論にまとめました。オーナーのご家族はいつも「Szia! (こんにちは!)」と手作りのお菓子で迎えてくださり、またハンガリー人の友達の実家では伝統料理を作り、家族みんなでクリスマスやイースターを祝いました。日本から遠く離れた地で、温かい思い出ができました。

日本のドラマ『逃げるは恥だが役に立つ』は、ハンガリーのことわざ「Szégyen a futás, de hasznos」に由来しています。また『ハンガリー宇宙人説』という言葉があるほど、天才的な科学者が多く生まれた国であり、コンピューターの基礎確立、ルービックキューブの発明、ビタミンCの発見が行われました。

——幼い頃から宇宙開発の仕事を考えていましたか？

考えるきっかけがなかったのですが、小学生のとき母に「この町を出て、もっと広くて大きな世界を見てみたい! でも海外に行っても、またもっと広い世界を見たいと思うだろうな」と話をすることがあります。すると母から「じゃあ、宇宙に行くしかないね!」と陽気に言われ、笑ったことを覚えています。

——なぜJAXAに？

ハンガリー語専攻でJAXAに勤める先輩がいらっしやり、コロナ禍のオンライン授業で「はやぶさ2」のカプセル回収に携

科学推進部

長谷部 尚子 (はせば なおこ)

ドイツ・フライブルク生まれ、岐阜県育ち。大阪大学外国語学部ハンガリー語専攻卒業。在学中にハンガリー・ブダペストへ留学。2024年よりJAXA宇宙科学研究所科学推進部で予算管理を担当。



わったお話を伺いました。皆で技術や努力を集結させて、1つのものを宇宙に飛ばすというミッションに、無限の広がりと感動を覚えました。すぐに筑波宇宙センターに行き、スペースドームでOBの方のお話を伺いました。

——採用選考ではどのようなことをアピールしましたか？

2度のフルマラソン完走や、サイクリング部での日本周遊、留学でのインタビューなど、体力と根気に自信があることをお話ししました。一見、宇宙開発とは関係がないのですが、面接官には「宇宙開発と頑張ってきたことには共通点があるね」と言ってもらえました。

1つ目の共通点として、すぐにビジネスや利益に直結しないこと、2つ目に成果が出るまでに長期的な努力を有することです。

私はこれまで将来の夢を決めていなかったのですが、勉強をして様々な経験を積むことで、自身の能力や可能性が広がり、やりたいことが見つかったときには、それを叶えることができると考えていました。自身が挑戦してきたことが幸運にも宇宙開発に繋がり、とても嬉しく思います。

宇宙開発の知見を深める

——現在はどのような仕事をされているのですか？

宇宙科学研究所の予算担当をしています。すべてのプロジェクトや事業に、現状の課題や来年度の資金計画を伺い、適切に予算を配分します。

——予算管理において心掛けていることはありますか？

研究開発の内容そのものを理解し、数字だけではなく実情に即した予算管理をすることです。宇宙研では研究室に伺い、先生方や研究員との会話を大切にしています。今後はお金に関する資格取得や、技術系の大学で学ぶことを目指し、予算という面からあらゆる挑戦を支えていきたいです。

宇宙の絵本を作りたい

——小さいころは漫画家になりたかったとのことですが、今も絵を描いているのですか？

はい! 私は絵を描くことが大好きなので、宇宙・惑星、また「なぜJAXA職員に?」というテーマで皆様にインタビューを行い、エピソードについて語る絵本を作りたいです。天体の特性を活かした生き物が登場し、ワクワクする面白い知見が得られる絵本、またハンガリー語をはじめ様々な言葉に翻訳することで、世界中の人々に、夢や目標を持つきっかけを届けたいです。

編集後記

宇宙研では暑いと言わずに熱いと言いたい方が多くいます。そんな環境だと冷たい炎す言葉の上から涼を感じてしまいそうです。秋にさしかかっても暑さばかり思い出されますが、落ち着いてISASニュースを手に取り、断捨離にハンガリーに思いを馳せてみてください。(戸田知朗)



ISASニュース No.535 2025年10月号
ISSN 0285-2861

発行/国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
発行責任者/JAXA 宇宙科学研究所長 藤本 正樹
編集責任者/ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠
デザイン制作協力/株式会社 トリッド
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1 isasnews@isas.jaxa.jp

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶ <https://www.isas.jaxa.jp/>