JAXA宇宙科学研究所

ISAS News

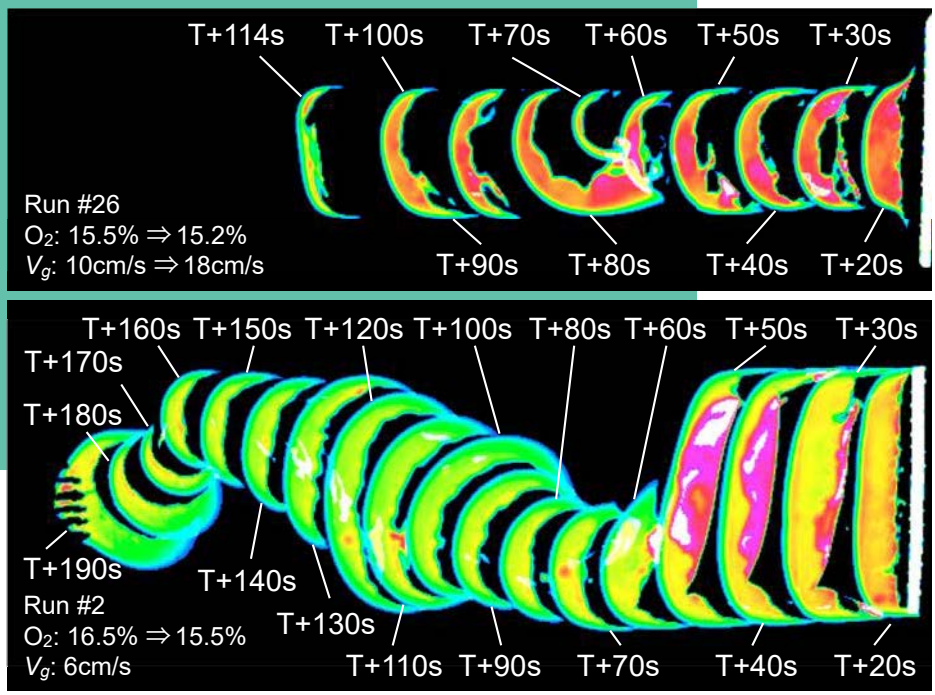
ISSN 0285-2861

2025 5

No.530

ISS／日本実験棟「きぼう」で実施されたろ紙の燃焼実験の赤外線画像

国際宇宙ステーション（ISS）/日本実験棟「きぼう」に設置された固体燃焼実験装置（Solid Combustion Experiment Module: SCEM）で実施したろ紙の燃焼実験において、赤外線カメラで撮影した火炎の燃え拡がり挙動のスナップショットを1枚に重ね合わせたシーケンス画像。（上）平面状の火炎が2次元的に燃え拡がる安定な燃焼挙動、（下）球状の火炎が蛇行しながら3次元的に燃え拡がる不安定な燃焼挙動。



The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

宇宙火災から命を守る――有人宇宙活動を支える微小重力燃焼研究の最前線

岐阜大学 工学部 機械工学科　小林 芳成（こばやし よしなり）

民間宇宙時代の到来と新たなフロンティア

1961年、人類が初めて宇宙飛行を達成して以来、宇宙開発は急速な進歩を遂げてきました。冷戦下における米ソの熾烈な開発競争を経て、宇宙は単なる技術力や国威を誇示する舞台から、国際協力と革新技術が交差する新たなフィールドへと変貌しました。そして今、私たちは「民間による宇宙時代」の幕開けを目の当たりにしています。

この変革の象徴的存在が、米国の宇宙ベンチャー企業SpaceXです。従来はNASAなどの国家機関が担っていた国際宇宙ステーション（ISS）への有人輸送を、同社は商業ベースで実現しました。これにより、宇宙開発の効率化と持続可能性が飛躍的に高まりました。近年は、米国を中心に多くのスタートアップが宇宙旅行、宇宙ホテル、民間宇宙ステーションなどの構想を次々と打ち出し、かつてSFとされていた世界が現実のものになりつつあります。

そして、次なるフロンティアは月や火星への本格的な進出です。NASAの「アルテミス計画」は、2020年代半ば以降に人類を再び月面に送り、将来的な基地建設に繋げることを目指しています。また、SpaceXが開発を進める超大型宇宙船「Starship」は、火星移住を見据えた設計がなされており、過去にない頻度と規模での探査ミッションが想定されています。

このように、地球以外の天体を「訪れる場所」から「生活の場」へと転換するための技術・制度・産業の整備が着々と進められており、有人宇宙開発は今後ますます多様化・長期化していくと考えられます。民間企業の参入によって宇宙開発の裾野は広がり、科学探査にとどまらず、商業・観光・教育など多様な目的の宇宙活動が展開される未来が、現実のものとして見え始めています。

宇宙で最も恐れられるリスク――火災の歴史と教訓

有人宇宙開発がこの数十年で飛躍的に発展し、宇宙での「暮らし」が現実味を帯びるなかで強く求められるのが、安全

性の確保です。とりわけ、宇宙船や宇宙基地のような閉鎖空間での火災は、有人宇宙活動において最も深刻かつ致命的な緊急事態の1つとされています。地球上であれば、避難や換気、外部からの消火が可能ですが、宇宙ではそのいずれも現実的ではなく、乗員の命に関わる重大事故へと発展する危険性があります。

NASAなどの宇宙機関では、宇宙空間における三大エマージェンシーとして「急減圧」「火災」「空気汚染」を挙げていますが、このうち火災は、突発性・予測困難性・制御の難しさという点で、極めて扱いが難しい脅威です。実際に、宇宙開発の歴史の中でも複数の火災事故が報告されています。中でも象徴的なのが、1967年のアポロ1号での火災事故です。地上での訓練中、指令船内で火災が発生し、逃げ場を失った宇宙飛行士3名が犠牲となりました。この悲劇は、その後の宇宙船設計やミッション計画に深い影響を与えました。

この事故を契機に、宇宙機に使用される材料の難燃性強化や早期火災検知システムの導入など、総合的な安全対策が推進されました。しかし、宇宙開発が国家単位の計画から、民間企業による多様な宇宙船・居住区設計へと広がるなかで、安全性の基準や設計方針にもばらつきが生まれつつあります。今後は、商業宇宙旅行や月面・火星滞在といった多様な活動に対応した、より柔軟かつ高度な火災対策が求められます。

地上評価の限界――NASA規格が抱える科学的課題

現在、有人宇宙活動における火災安全対策の基本方針は、「火災を未然に防ぐ」ことにあります。ISSでは、船内に搭載される機器や構造部材が厳格に評価されており、その判定基準に採用されているのが、NASAが策定した「NASA-STD-6001B」という燃焼性評価試験です。この規格に基づいて燃焼特性が審査され、基準を満たしたものだけが実際の宇宙ミッションに採用されています。

しかし、このNASA-STD-6001Bには、科学的な問題点が存在します。それは、この評価試験が地上の通常重力環境（1G）で実施されている点です。燃焼は、重力の影響を強く受ける現象であり、重力レベルによって炎の形や挙動は劇的に変化します。たとえば、ろうそくの炎は、地上では自然対流によって上方に立ち上がりますが、宇宙空間のような微小重力環境では、対流がほとんど発生せず、炎は球状になるなど全く異なる燃焼ダイナミクスを示します。この違いは、熱伝達や酸素供給のプロセスに直結し、結果として材料の「燃えやすさ」を変えてしまいます。つまり、地上での燃焼性評価がたとえ合格であっても、それが宇宙環境における安全性を保証しているとは限りません。

このような科学的限界を踏まえると、地上試験に依存した現行の評価手法には見直しが必要であり、今後の宇宙開発では、微小重力環境に即した、より現実的で高精度な火災安全評価法の確立が不可欠となります。それは単に火災リスクを減らすだけでなく、有人宇宙活動の自由度と柔軟性を高め、持続可能な宇宙社会の実現を後押しする重要な一歩となるはずです。

FLAREプロジェクトの挑戦――重力の影響を科学する

現在の火災安全評価手法が抱える課題を解決し、今後さらに加速・多様化していく有人宇宙開発に適応した評価手法を構築するために発足したのが、「FLARE（Flammability Limit At Reduced-gravity Experiment）」プロジェクトです（図1）。FLAREは、宇宙空間における火災リスクの科学的解明と、燃焼性評価法の刷新を目的とした国際共同研究プロジェクトであり、JAXA、NASA、ESAをはじめとする複数の宇宙機関と国内外の大学、計4ヵ国14機関が参画しています。

本プロジェクトの中核を担っているのは、岐阜大学の高橋周平教授らの研究グループで、同グループが開発した理論モデルをもとに、固体材料の宇宙での「可燃限界（＝火炎が自立的に燃え拡がることのできる限界条件）」を予測する新たな手法の構築が進められています。この手法は、材料の性質や環境条件を入力することで、宇宙空間での燃焼可否を定量的

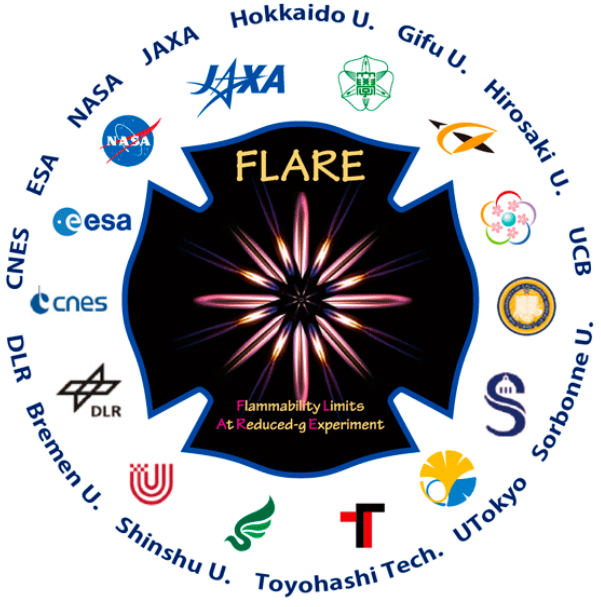


図1：FLAREプロジェクト

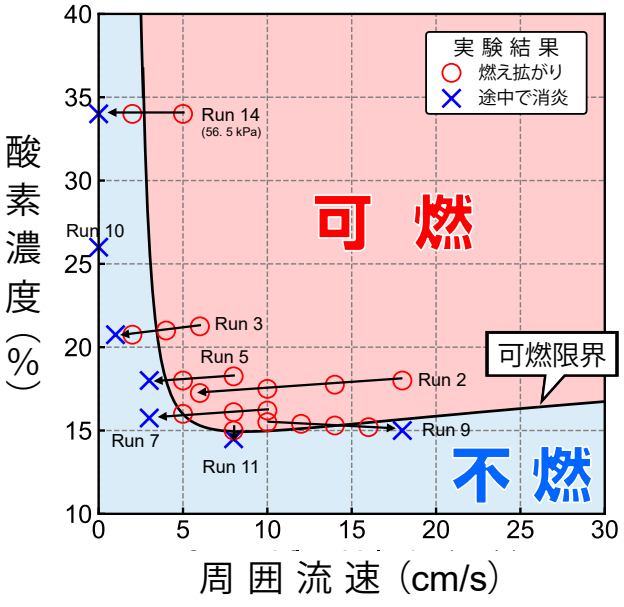


図2：PMMAで予測された可燃限界（黒線）とISS軌道上実験結果（プロット）

に予測することが可能であり、従来の「実験による確認」から「モデルによる事前評価」への転換を目指すものです。

この理論を軌道上で検証するために用いられているのが、ISSの日本実験棟「きぼう」に搭載された固体燃焼実験装置（SCEM: Solid Combustion Experiment Module）です。実験では、シート状や円柱状の試料、さらには模擬電線など多様なサンプルを用い、それらをさまざまな酸素濃度や流速の下で燃焼させることで、微小重力下での燃焼特性を調査しています。得られたデータは、理論モデルによる可燃限界の予測値と照合され、手法の妥当性と汎用性が科学的に検証されています。

ISS実験が明らかにした燃焼挙動の未知と可能性

これまでSCEMでは、ろ紙、アクリル樹脂（PMMA）、そして難燃繊維であるNOMEXの燃焼実験が行われました。これらの実験材料は固体燃焼研究でよく用いられ、組成や燃焼特性が判明している材料が選定されています。その理由は、先行研究やデータが豊富にあり、開発中の燃焼性予測手法を検証するのに適しているからです。上記3つの材料のうち、PMMAについては理論的に導き出された可燃限界と実際の燃焼挙動が定量的に一致し、FLAREプロジェクトの開発する手法の信頼性を裏付ける有力な結果となりました（図2）。

一方で、ろ紙およびNOMEXについては、理論上の可燃限界を下回る条件であっても燃え拡がりが観察され、開発中の予測手法が一部の材料において燃焼性を過小評価している可能性が示唆されました。特に注目すべきは、ろ紙やNOMEXで確認された「不安定な燃え拡がり挙動」です。これらの材料では、火炎が球状を呈しながら蛇行するように進行する、これまで地上の1G環境では見られなかった非常に特異な燃え拡がり挙動が確認されました（図3）。さらに興味深いのは、こうした不安定燃え拡がり挙動がPMMAでは観察されなかった点です。この違いについては、燃焼後の「残渣」の有無が関係しているのではないかと推測されており、現在、その因果関係の詳細な検証が進められています。

もしこの不安定燃え拡がりのメカニズムが理論的に明らかになり、予測手法に組み込むことができれば、FLAREが目指す「汎用で高精度な燃焼性評価手法」へと大きく前進することになります。このように、ISSでの燃焼実験は、単なる実証実験にとどまらず、火災という複雑な現象の本質に迫る基礎研究の側面も有しており、次世代の宇宙安全技術の礎を築きつつあります。

FLARE-2、FLARE-3へ――次世代宇宙火災対策への展望

ISSという長時間の微小重力環境は、地上では決して得られない極めて貴重な実験場です。ここで蓄積されるデータは、既存の理論モデルの洗練だけでなく、より広範な材料や使用条件に対応可能な汎用的な燃焼性評価法の構築に直結するものです。今後は、理論と実証を一体化させた次世代評価体系の確立が期待されています。

現時点でのFLAREプロジェクトでは、主にPMMAのような単一の高分子材料（モノマテリアル）を対象としていますが、実際の宇宙機では炭素繊維強化プラスチック（CFRP）などの複合材料の利用が進んでおり、これらの燃焼性も重要な課題となっています。この課題に応えるべく、後継プロジェクトの「FLARE-2」では、複合材料や配線、内装部材などの“実部材”を用いた実験が行われる予定です。さらに、将来の宇宙船では、火災リスクが高まるとされる「低圧・高酸素濃度環境」が採用される可能性があるため、FLARE-2ではこのような条件を模擬した実験も進められる見込みです。加えて、次々世代にあたる「FLARE-3」では、月（1/6G）や火星（1/3G）といったわずかに重力が存在する環境での燃焼現象を対象とした研究が構想されています。これは、今後の月面基地建設や火星居住ミッションにおいて、安全設計の技術的指針を与えるものとして、きわめて重要な意味を持ちます。

このように、FLAREは現在進行中のプロジェクトであると同時に、次の10年、さらにはその先を見据えたビジョンを持つ長期的な取り組みです。微小重力下という特殊環境における火災に立ち向かい、理論と実証の両輪で宇宙火災安全の確立を目指すこの挑戦は、未来の宇宙社会の安心・安全を支える礎となるでしょう。そしてこのプロジェクトの成果が、多様な宇宙ミッションを安全に、持続的に運用するための共通基盤として広く活用されることを心より願っています。私自身もその一員として、軌道上実験で得られる限られたデータを最大限に活用し、有効な燃焼性指標の抽出や理論モデルとの照合・改良に努めることで、次世代の燃焼性評価手法の確立に貢献してまいります。

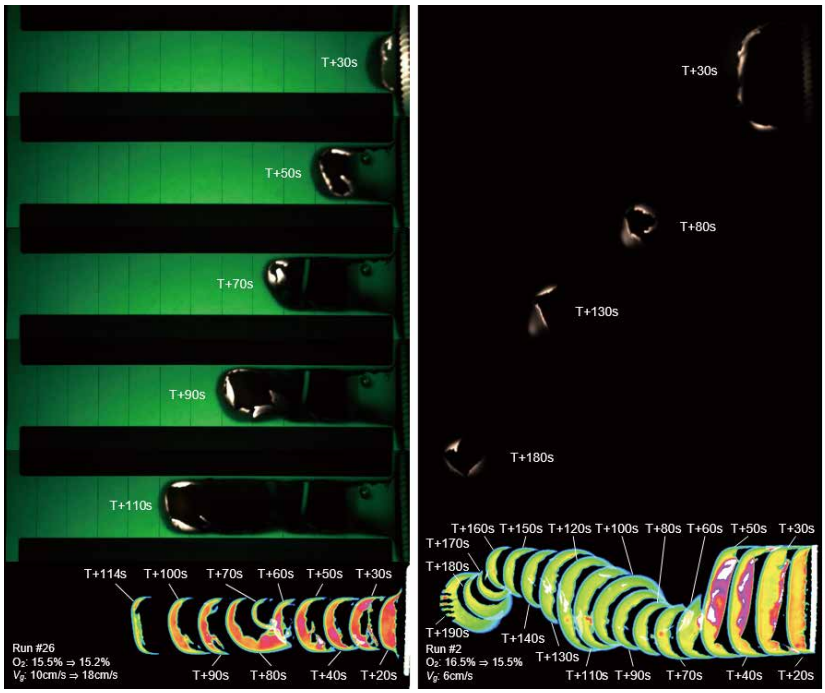
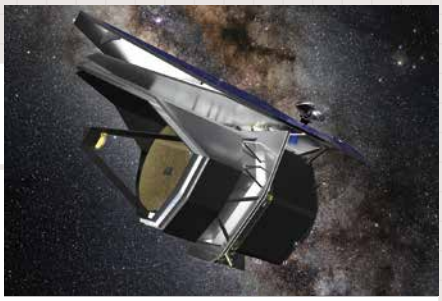


図3：ろ紙の安定燃え拡がり挙動（左図）と不安定燃え拡がり挙動（右図）。上段は一定間隔で撮影した可視カメラのスナップショット、下段は可視カメラと同時に撮影した赤外線カメラのスナップショットを1枚に重ね合わせたシーケンス画像。

PRIMAとともに、見えなかった宇宙を見る



NASA FIR-Probe PRIMA 冷却赤外線望遠鏡のイメージ図　Courtesy NASA/JPL-Caltech

可視光で見慣れた一見「普通」の宇宙は、波長の長い赤外線で捉えると、全く別の世界が広がっています。波長の長い赤外線で捉えると、そこには全く別の世界が広がっています。星間塵（ダスト）のベールに包まれ、可視光ではうっすらとしか見えないような、誕生間際の惑星系や恒星、さらには初期宇宙の銀河やブラックホールを、透過力の高い赤外線で見出すことができるのです。こうした“隠れた宇宙”の姿は、1983年のIRAS以降、日本の「あかり」等の観測によって徐々に明らかになってきました。

現在、次期遠赤外線望遠鏡計画として注目されているのが、NASAの新しいカテゴリ「Probeクラス」で2024年の第一選抜で採択された遠赤外線宇宙望遠鏡PRIMA（the PRobe far-Infrared Mission for Astrophysics）です。2026年にX線Probe候補との間で最終選抜が行われ、選ばれれば2031年の打上げが予定されています。

PRIMAは、惑星大気の起源の解明、銀河での物質進化、重元素とダストの生成・進化という、米国Decadal Survey 2020で挙げられた最重要課題に挑むミッションです。これらの課題解決に向け、口径1.8mの冷却望遠鏡（4.5K）に、米国主導の分光装置（24-235μm）と仏国主導の撮像装置（24-261μm; うち80-261μmは偏光機能含む）を搭載予定です。

JPLが推進の中核を担い、仏国の他に蘭・伊・英が参加を表明する中、日本も技術・科学の両面から本格的な参画を目指しています。PRIMAの主目的の達成は、PI（Principal investigator）サイエンスを通じて実施されます。これは他のNASA望遠鏡でのGTO（Guaranteed Time Observations, 開発チーム占有時間）に相当するもので、チーム内で独自に実施される観測枠です。ここに日本が直接参加することで、世界の潮流の中で最先端の成果を獲得し、発信することが可能になります。特に、PRIMAはかつてISASがESAと共に検討活動を行ったSPICAミッションと機能的にも目指す科学ゴールも近く、日本の赤外線観測の技術と科学の知見が活かせる絶好の機会です。また、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡による観測との連携も期待され、太陽系探査との相互補完も視野に入り、幅広い科学分野への発展を目指せるミッションと言えます。

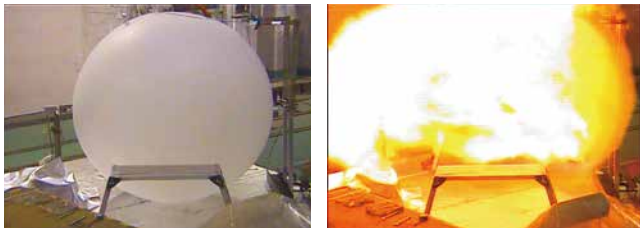
現在、日本からはJAXA研究開発部門第二研究ユニットがSPICA向けに開発したNICS MLI（Non-Interlayer-Contact Spacer Multi-Layer Insulation）を活用した断熱シールドの提供や、Romanミッションでの開発を基にした美笹局によるデータ受信支援、日本が得意とする冷却光学系の性能試験・評価への貢献が検討されています。科学面では、波長領域にとらわれず天文現象に焦点をあてた研究会を開催し、若手研究者の育成と国内研究者間の連携と機運の醸成を図っています。2024年末にはISAS理学委員会ワーキング・グループの設立が承認され、戦略的海外共同ミッションとしてのチーム設立に向けて活動しています。

（広島大学／稲見 華恵）

あきる野実験施設の近況：理工学の様々な実験が実施されています

ISASニュースの読者におられるかもしれない潜在ユーザーの皆様の参考となるよう、この欄をお借りして最近のあきる野実験施設の耐爆実験室を活用した実験を2件ご紹介します。

2024年9月には静岡大学と宇宙科学研究所の共同研究による、水素ガスと空気ガスを使用した小型のパルスデトネーションエンジンの燃焼実験が実施されました。このエンジンは垂直離着陸機の姿勢制御用スラスタへの適用を目指して研究が進められています。パルスデトネーションエンジンは、燃料と酸化剤を間欠的に燃焼させて推進力を得るエンジンです。そのため一定時間燃焼音が持続する通常のロケットエンジンの燃焼実験とは異なり、燃焼音が断続的に発生することが特徴です。実験は順調に終了し、エンジンの実用化に向けたエンジンの燃焼データが取得できたとのことです。



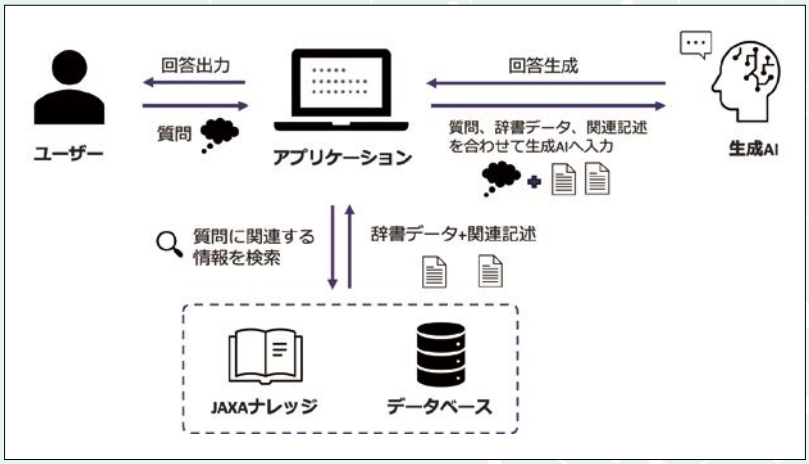
直径2mの小型ゴム気球の着火実験の様子

また、2025年2月には水素を充填した気球の着火実験が実施されました。北海道の大樹航空宇宙実験場で飛翔運用されている大気球は、空気よりも軽い不活性ガスのヘリウムを浮力ガスとして使用しています。近年、国際的な需要の高まりによりヘリウムガスの入手が困難になってきています。そこで宇宙科学研究所では、将来的に入手性の良い水素ガスをヘリウムガスの代替として使用することを検討しています。今回の実験は小型のゴム気球の着火、燃焼実験を実施して、水素ガスを充填した気球の運用に必要な知見を得ることを目的としています。まず、小型の直径1mの気球に水素ガスや水素／空気の混合ガスを充填し、着火実験をはじめました。安定して着火できる手順を確立した後に、直径2mのゴム気球の着火実験を実施しました。今回の着火実験により、小型ゴム気球の安全な着火方法が確立されたとともに、着火の際の爆風圧と火炎の広がりに関するデータを取得しています。今回得られた知見は今後の水素ガスによる小型気球運用の検討に活用される予定とのことです。

あきる野実験施設の耐爆実験室は推進薬量30kg程度までの小型のロケットモーターの燃焼実験が安全にできるように設計されています。様々な制約で実験を実施する場所にお困りでしたら、あきる野実験施設所長の後藤 健または設備保安主任の田口 鉄也へご相談ください。　（あきる野実験施設／後藤　健）

生成AIを活用した審査会業務効率化の検討

皆さんは「生成AI」を使ったことがありますか？生成AIとは、テキスト・画像・動画・音楽など多岐にわたるコンテンツを生成することができる人工知能システムのことです。2022年11月にOpenAI社のChatGPTが公開されて以来、生成AI技術は瞬く間に発展し、現在では高度な推論や高精細な画像・動画・音楽生成も可能となり、新しいコンテンツを生み出す革新的ツールとして広く世間一般に普及してきています。そのような中、生成AIを会議資料や企画書等の作成、社内知見検索等に活用し、業務効率化を図る企業が増えています。現在、ISASにおいても生成AIを活用して審査会業務効率化を目指す検討活動を行っています。以下では、その活動についてご紹介します。



SLIM RAG ChatBotの仕組み（概要）

本活動は、2019年に実施したSLIMの審査会において審査会効率化の指摘がなされたことがきっかけです。審査会では、プロジェクトの活動結果の妥当性を確認し、次段階・次フェーズへの移行可否等を判定するためにチームと審査委員の間で説明、質疑応答、議論等が行われます。その1つのプロセスとして、チームと審査委員の間で指摘票をやりとりします。そこでは受審チームから提出される大量の審査会文書を踏まえて、短期間で審査委員が活動結果に対する不備や疑義を問う指摘票を起票し、チームはその回答を作成する必要があり多大な労力が要求されます。そこで情報検索・要約・テキスト生成を得意とする生成AIを活用することで、指摘票対応を効率化することができるのではないかと考え、昨年度からSLIM関係者と宇宙科学プログラム室を中心に検討を行っています。昨年度は、生成AIの実用性を検証するトライアルとして指摘票回答の自動生成をユースケースとし、セキュアな生成AI利用環境の構築と回答精度向上施策の検討を行い、生成AIの可能性と課題の両面を探索しました。これから昨年度の検討成果をいくつかご紹介します。

まずMicrosoft TeamsチャットをGUIとした「SLIM RAG ChatBot」を構築しました。これは、機微情報をマスクしたSLIMの審査会文書を参照させてユーザーの質問に回答するチャットボットシステムです。今回のシステムには、RAG（Retrieval Augmented Generation）という技術を活用しています。RAGとは、ユーザーの質問に関連する情報を、外部データベースに格納した機構内情報の中から検索し、その情報をもとに生成AIに回答を作成させる仕組みです。生成AIは機構内情報などの非公開情報は学習しておらず、それに基づいた回答を生成することはできません。そのためRAGを用いて外部から生成AIに対して知識を与えています。これにより、AIが根拠のない回答（ハルシネーション）を生成するリスクを減らし、機構内文書に基づいた正確な回答を得ることが可能となります。また機構内情報を参照させる際には、AIに入力した情報を記憶・学習され、外部へ漏洩することを防ぐことが必要となります。今回はセキュリティが確保されたクラウドサービス内に環境を構築しました。今回の検討で、将来のJAXA内での検討や実用化に向けたカスタマイズ性のある環境と環境構築のノウハウが取得できたと考えています。

次に回答精度向上施策の検討も行なったので、2点ご紹介します。1つ目は、文書特性に応じたチャンク化ルールの考案です。まずチャンクとは、情報を処理可能な単位に分割したデータのまとまりです。生成AIが一度に処理できるデータ量には限りがあるため、RAGで参照させる文書データをAIが処理可能な単位に分割（チャンク化）する必要があります。回答精度向上にはRAGでいかに質問に関連する該当チャンクを抽出できるかが重要であり、そのためには、文書を意味のまとまりを保つように適切にチャンク化するのがポイントです。そこで意味のまとまりを保ちつつ、AIが処理しやすい形に文書全体を分割する方法を考案しました。結果として回答精度向上に繋がり、回答の際に参照箇所も示せるようになり回答の信頼性が向上しました。2つ目は、「JAXAナレッジ」を用いたRAGシステムの改修です。背景知識不足からJAXA特有の知識を問う質問に対する回答精度が悪いという課題点がありました。そこで回答を生成する際にJAXA専門用語やノウハウをまとめた「JAXAナレッジ」を参照するようにRAGシステムを改修しました。結果として、背景知識を踏まえた回答が可能となり、回答精度の向上に繋がりました。

実際の試行では、「○○を教えてください。」や「図○○は何ですか。」という質問に対して、文書内に参照先がある場合は比較的精度の高い回答が得られています。また回答の際に参照箇所を示してくれるので、効率的な情報検索が可能です。また「○○系の専門家としてSLIMの設計で気になる点を教えてください。」という質問には、実際に他プロジェクトで問題になった点を指摘したケースもありました。検討の抜け漏れチェックや、将来的には各サブシステムを専門とするAI審査員として活用できるかもしれません。昨年度の結果を通して私たちは審査会業務効率化のツールとして生成AIの活用可能性を感じています。一方で様々な文書フォーマットに対応できる汎用的なチャンク化ルールの考案や複雑な図表が読み取れない等の課題も多くあり、今年度以降も更なる回答精度向上と適用範囲の拡大を目指し、検討を継続していきたいと考えています。

（宇宙科学プログラム室／伊庭　遼）

連載 第1回

世界初の火星衛星サンプルリターン計画

MMXはフォボスを目指す!

MMXのミッションが目指すもの

連載をはじめるにあたって

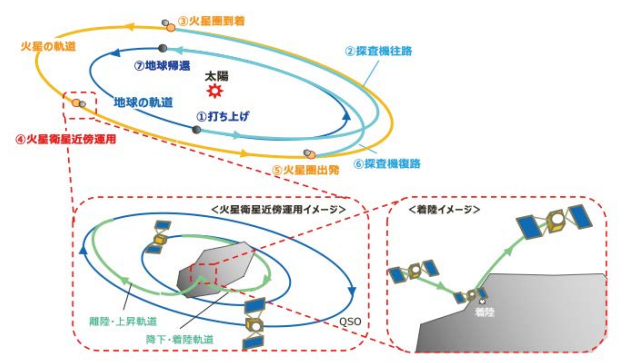
この連載は「MMXはフォボスを目指す!」というタイトルです。では、なぜ、フォボスを目指すのでしょうか？宇宙研は、太陽系の小天体の探査を戦略的に進めてきました。太陽系内の外惑星領域で生まれた小天体は、地球型惑星を生命居住可能とするために必要な水や有機物を供給したと考えられています。火星の近傍にある小惑星がごとき天体、火星衛星は、その輸送を担ったカプセルと考えられます。もう1つは、「はやぶさ」「はやぶさ2」を通じて、小惑星などの小天体への着陸、サンプル採取などの技術を培ってきたことです。この技術を基に、次のサンプルリターンのターゲットに選んだのが火星衛星、フォボスであり、火星衛星探査計画 Martian Moons eXploration（MMX）が計画されました。

これから約1年かけて、MMXの連載を行います。まず初めに、MMXの目指すサイエンスについて紹介します。そのあと、現在進行中のシステム総合試験、打上げから地球帰還までの運用の準備や、地上システムの開発状況などをお伝えする予定です。今回の連載を通して、MMXの探査機をフォボスに到達させるために、多くの人が関わっていること、さまざまな努力・工夫・作業があることもお伝えできればと考えています。

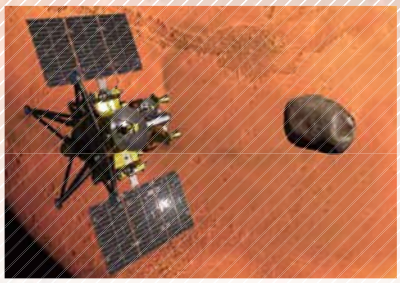
MMX概要と開発状況

【MMXの概要】 MMXは、火星衛星フォボスからサンプルリターンを目指すミッションです。2031年度に人類初の火星圏からのサンプルを持ち帰ることを目指し、2026年度に探査機を打ち上げます。MMXは2016年度に検討が開始され、2020年2月に開発に移行。来年度の打上げに向けて、現在、システム総合試験を進めています。

【MMXのミッション目的】 MMXには、惑星科学と探査技術獲得、2つの面のミッション目的があります。



ミッションプロファイル



MMX探査機の火星周回軌道投入の想像図

【惑星科学】 火星衛星の起源と、生命が誕生・居住可能な惑星環境の起源を探り、火星圏進化史への新たな知見を獲得します。火星衛星に含まれる水や有機物などをリモートセンシング観測や、採取したサンプルの分析により解析します。それにより、2つの火星衛星の起源や火星圏（火星、フォボス、ダイモス）の進化の過程を探ります。火星衛星の起源については、火星重力によって捕獲された小天体なのか（捕獲小惑星説）、火星に大規模な天体が衝突してその破片が再集積して形成されたのか（巨大衝突説）、明らかにします。また、原始太陽系における水の移動及び天体への供給量の解明に貢献するため、火星圏の水や有機物の存在を明らかにします。

【探査技術獲得】 将来の有人探査活動の礎となる以下の探査技術を獲得します。

1. 火星圏への往還技術および惑星衛星圏への到達技術の獲得
2. 火星衛星表面への到達技術・滞在技術および天体表面上での高度なサンプリング技術の獲得
3. 新探査地上局との組合せに最適な通信技術の獲得

特に、フォボスのサンプルの入ったカプセルが地球に帰還すれば、世界で初めて、火星圏への往還を実現したことになります。

【ミッションプロファイル】 MMXの探査機は、打上げの約1年後、2027年度に火星圏に到達、フォボスとランデブーします。火星圏には約3年滞在し、フォボスや火星のリモートセンシング観測を行い、フォボスの着陸地点を選定。フォボスに接近・着地し、フォボス表面からサンプルを採取します。フォボス観測終了後は、もうひとつの衛星ダイモスのフライバイ観測を実施したのち、火星圏を離脱、地球への帰路につきます。その約1年後の2031年度に地球に到達、カプセルを分離、大気圏に突入させ、採取した試料を地上で回収します。

【搭載機器】 ミッション目的を達成するため、11の科学ミッション機器が搭載されます。MMXを世界最高のミッションとするため、そのうちの4つは海外機関から提供されます。加えて、探査技術獲得を目的とする2つの機器を搭載します。各機器の詳細については、今後の連載の中で触れていく予定です。

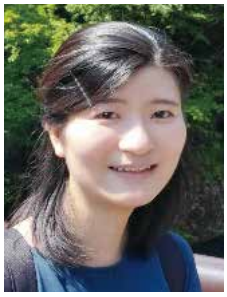
【最後に】 この連載が進むに連れて、読者の皆さんにMMXのことをより良く知ってもらうと共に、MMXの探査機打上げが近づいていることを実感できるよう期待しています。

川勝 康弘（かわかつ やすひろ）

宇宙・夢・人
Space Human Dream

自分だけの特別な人生を宇宙と歩む

火星衛星探査機プロジェクトチーム
研究開発員
梶谷 伊織（かじたに いをり）



1995年、京都府生まれ。東京工業大学（現 東京科学大学）理学部地球惑星科学科卒業。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士課程修了。2021年、JAXA月惑星探査データ解析グループ。2024年より現職。BepiColomboプロジェクトチームを併任。

私、火星をやりたいんです

――2021年4月にJAXAに入職されました。なぜJAXAに？

ずっと宇宙探査、特に火星探査に携わりたいと思っていたからです。始まりは中学生のころで、はっきりしたきっかけがあったわけではありませんが、「宇宙ってすごいな」と、ふと思ったのです。そして宇宙のことを調べている中で、アポロ計画のドキュメンタリー番組を見ました。人類が初めて月面に立った瞬間、管制室では人々が抱き合い、喜びを爆発させていました。私もこんな瞬間に立ち会いたい、と思ったのです。当時は月に行くことが人類の共通の夢でした。では人類が月の次に目指すのは？と考え、火星探査に携わりたいと思うようになりました。

――それからどのような道を歩んできたのでしょうか？

宇宙に関する中高生向けのイベントや講演会を探して参加し、情報を集めました。理学系か工学系か、理学系なら天文学か惑星科学かと、少し迷ったこともありましたが、東京工業大学（現 東京科学大学）の理学部に進学しました。そして、火星隕石の物質科学を研究されていた地球惑星科学科の臼井 寛裕先生の研究室を訪ね、「私、火星がやりたいんです」と思いを伝えました。臼井先生は「一緒にやりましょう」と言ってくださり、火星隕石の化学分析を行って太古の火星表層の環境を推定する研究に取り組むことができました。大学院進学時には臼井先生の異動に合わせ東京大学大学院の地球惑星科学専攻に進学し研究を続けました。

研究生活はとても充実していました。しかし、修士2年生のとき、迷ってしまったのです。このまま研究者の道を進むのか、それとも宇宙探査プロジェクトを推進する立場を目指すのか。悩んだ末、宇宙探査プロジェクトを推進する方を選び、JAXAに就職することにしました。

火星衛星サンプルリターンと水星磁気圏探査

――JAXAではどのような仕事をされているのですか？

最初に配属されたのは月惑星探査データ解析グループで、月周回衛星「かぐや」などが観測したデータの解析を行いました。2024年11月に異動し、現在は火星衛星探査機MMXプロジェクトチームに所属しています。国際水星探査計画BepiColomboプロジェクトチームも併任しています。

――念願の宇宙探査プロジェクトに参加し、どのように感じていますか？

火星衛星からのサンプルリターンを行うMMXは、火星隕石の研究に近いです。一方で、水星の磁気圏探査を行うBepiColomboは、分野としてはやや離れています。そのためBepiColomboも併任すると聞いたときは、少し驚きました。でも今は、この配属にも意味があるのだと分かります。探査対象が違うだけでなく、MMXは日本が主導するミッションであり、BepiColomboは日欧共同ミッションであるという違いもあります。規模も体制も違います。こうした対照的な2つのプロジェクトに携わることで、それぞれの良い点や課題が見えてきて、とてもよい経験になると実感しています。

将来的には、プロジェクトの構想段階から携わりたいと思っています。そしていつかは、火星の有人探査を実現したいです。

チーム一丸となってプロジェクトを実現する

――宇宙探査プロジェクトを推進する方を選んだ決め手は？

研究者も共同研究を行いますが、基本的には自分の興味や関心を追い続けていく、いわばソロプレーの世界です。一方で、宇宙探査プロジェクトを推進する立場では、共通の目標に向かってみんなで力を合わせることが求められます。そうしたチームプレーの方が自分に合っていると感じたのです。

――チームプレーが合っていると感じた背景には、どのような経験があったのでしょうか？

私が通っていた京都市立堀川高校では、修学旅行に相当する研修旅行の行き先を、生徒が主体となって決めます。私は研修旅行実行委員となり、NASAケネディ宇宙センターの訪問を盛り込んだ研修プログラムを仲間たちと企画し、実現しました。みんなで力を合わせて目標を達成する過程がとても楽しく、強く印象に残っています。

大学時代は天文研究部に所属し、プラネタリウムを制作するプロジェクトでサブリーダーを務めました。そのときも、チーム一丸となって1つのものをつくり上げることが、とても楽しかったのです。

夢をもらった。今度は返す番

――日頃から心掛けていることはありますか？

自分だけの特別な人生を生きたいと思っています。小学生のころ、人生がとても長く感じられました。そして、長い人生に退屈しそうで怖かったのです。そこで、自分の人生が退屈ではない、特別なものになるように、夢中になれるものが欲しいと思っていました。そうして出会ったのが、宇宙でした。宇宙には、人類がまだ見たことがないもの、行ったことがないところ、未解決なことがあふれています。宇宙ならば一生をかけても退屈しないだろうと考えたのです。そして今、宇宙探査プロジェクトに携わり、まさに自分だけの特別な人生を生きていると感じています。

――JAXAベンチャー Starry Canvasのメンバーでもあります。

Starry Canvasは、JAXAの職員を中心に2024年に設立され、宇宙をテーマに探究的なプログラムやイベントの実施、教材の提供などを行っています。もともとアウトリーチに興味があったので、「一緒にやらせてください」と自分から声を掛けました。

私自身、中高生のころ宇宙に関するイベントや講演会を探して参加していました。そうした場で宇宙のことをたくさん知り、火星探査に携わりたいという夢をもらいました。今度は私がそうした場をつくり、これからの中高生たちに返す番だと思っています。私は高校まで関西に住んでいました。イベントや講演会の開催は首都圏に集中していたため、参加を見送らなければいけないこともありました。最近はオンライン開催も増えていますが、地方に暮らす人たちにもそうした機会をもっと届けられるようにしたいと考えています。

JAXA 名誉教授
NPERC-J 非常勤研究員・
半導体エネルギー研究所 顧問
田島 道夫（たじま みちお）

PL一筋に半世紀

「PL」と聞いて、みなさんは何を思い浮かべるでしょうか。宇宙研の方ならPayloadやProject Leaderを連想するかもしれませんね。他にはProduct Liability（製造物責任法）、Profit and Loss statement（損益計算書）や、高校野球の名門・PL学園などもあります。部外者にとっては、頭字語は本当にわかりにくいものです。私自身、宇宙研に着任した当初、会議で飛び交う数々の略語に面食らい、自作の「略語表」を片手に悪戦苦闘していたのを思い出します。

さて、今回お話しする「PL」は、Photoluminescence（フォトルミネッセンス）の略です。これは半導体結晶に光（Photo）を照射したときに見られる蛍光現象（Luminescence）のことを指します。私は大学の卒論の時からずっと――昨年喜寿を迎えましたので、55年余りにわたり―― PL一筋に取り組んできました。そこでこのたび、PL法による半導体結晶評価の研究に対し、文部科学大臣表彰という栄誉を賜りました。この機会に一老研究者として、経験談を少しご紹介したいと思います。

PLは、結晶中の不純物や欠陥の状態を敏感に反映するため、物性研究には古くから利用されてきました。しかし、実用的な結晶評価への応用は難航していました。PLの強度が、照射光の強さ、測定装置の性能、試料の状態などに大きく依存するためです。大学院修了後、電総研（現産総研）に入所してすぐ、通産省プロジェクトで設立された超LSI共同研究所に出向していた時のことです。シリコン（Si）結晶の電気的性質を変える極微量のドナー・アクセプタ不純物を定量したいという強い要請があり、大学時代の研究テーマだったPLを応用できないかと検討を始めました。そこで得られたのが、不純物に由来する発光成分と母体結晶固有の発光成分との強度比を濃度指標とすれば、測定条件に左右されない「物差し」になるのではという着想です。単純なアイデアでしたが、誰も試みておらず、実際にこの方針で進めたところ、従来法を大きく超える0.1ppt（原子比で10兆分の1）という超微量に至る定量分析を達成することができたのです。

応用物理学会「シリコンへのドーピングの物理」研究会にて
（ドーピングとは半導体材料の電気的性質を変えるために不純物を添加すること）

このような成果を出すことができた要因を振り返ると、まず、当時でも極めて稀だった、競合するウェーハメーカー2社が積極的に研究に協力してくれたことが挙げられます。試料作製、PL測定・解析、議論、製造工程へのフィードバックというサイクルが回り始めました。そして、複雑で混沌としていた解析結果を突き詰めていったとき、一瞬、はっとするような単純な関係が見えました。その方向に探究を続けると、美しく整理された全体像が浮かび上がってきたのです。

この手法は、国内外の複数の研究機関によって追試され、有効性が実証されました。国内ではJIS規格、国際的にはSEMI規格として標準化されています。さらに、2017年9月号の「いも焼酎」*でご紹介したとおり、宇宙用太陽電池の放射線劣化の研究を背景にSi結晶中の炭素不純物の定量分析にも応用し、こちらもJIS規格化されました。現在では、Siにとどまらず、パワーデバイス用材料として注目される炭化ケイ素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）といったワイドギャップ半導体の不純物評価にも展開されています。これらの材料は放射線や高温に強く、宇宙用半導体デバイス材料としても大きな期待が寄せられています。

最近では、PL法を高濃度領域の不純物状態評価にも拡張しています。絶縁体から金属状態に至るまで、10桁にわたる広範な濃度域（10^{10}～10^{20}cm^{-3}）で、PLが系統的に変化していく様子が捉えられました。これまで、このような広濃度域をカバーした報告例はなく、私たちのアプローチがその先駆けとなるものです。今後も、本手法のさらなる可能性を追究するとともに、次世代への技術継承に力を注いでいく所存です。

ここに載せた写真は、関連研究会でトップバッターとして発表したときのもの。ちなみに、スライドに映っているマグカップは、ポーランド（PL）の空港で見つけ、ちょっとした遊び心で買ったお土産です。

＊https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews438.pdf

編集後記

令和7年度の科学技術分野の文部科学大臣表彰では宇宙科学研究所関連で、いも焼酎に寄稿頂いた田島先生やSLIMトップスリーをはじめ6件もの表彰がありました。受賞された皆様、おめでとうございます！後に続くことができるよう、我々も精進せねばなりませんね。。。

（宇佐美 尚人）

ISASニュース　No.530　2025年5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/