

第1章 国際宇宙ステーション/きぼうの利用に関する動向

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
宇宙環境利用センター 主任開発員 荒木 秀二

Japan's status of ISS/JEM utilization

Japan Aerospace Exploration Agency
Space Environment Utilization Center, Shuji Araki

ABSTRACT The Japanese Experiment Module, KIBO is going to be launched by Space Shuttle from 2007 to 2008, and the initial three years of JEM utilization called the JEM first phase utilization will start. Three exposed payloads and 3 internal experiment racks will be installed on the JEM and 28 experiments will be conducted in this phase. And JAXA is planning the 2nd phase JEM utilization which develop infrastructure to realize various utilization quickly and easily, and the big facilities to make the most of the advantage of JEM in parallel with using the JEM 1st phase payloads. JAXA is discussing the 2nd phase program with internal and external stake holder.

1. はじめに

スペースシャトル事故後の対策確認を主な目的としたミッションSTS-114,121 が成功裏に終了し、平成18年9月のSTS-115の打上げにより国際宇宙ステーション(ISS)の組み立てが再開した。日本の実験棟「きぼう」の打上げは平成19-20年度(2007-8年度)に計画されており、その利用も間近に迫ってきている。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、きぼうの打上げから平成22年(2010年)頃までの3年程度の利用(第1期)開始に向けて、実験装置開発・打上げ準備、実験テーマの準備、具体的な利用計画の国際調整等を進めている。また、この第1期に続く平成24年(2012年)頃までの3年程度の利用(第2期)について、具体的なテーマや必要な装置の準備を本格的に開始する時期が来ている。

本章では、ISS計画、きぼうの準備状況、第1期利用に向けた準備状況を中心に、併せて第2期利用に向けた検討状況について報告する。

2. ISS計画の現状

(1)ISS組立状況

平成15年(2003年)2月のスペースシャトルコロンビア号事故対策の確認を目的として、平成17年(2005年)7月のSTS-114、平成18年(2006年)7月のSTS-121の2回のスペースシャトル飛行が行われ、外部燃料タンクからの断熱材剥離対策、シャトル船体外観の確認、修理手法の検証などが行われた。これらの成功を踏まえて同年9月のSTS-115の打上げで、ISSの組み立てが再開し、その後の12月のSTS-116の打上げにより、トラスの増設と、物資の運搬・回収等を実施している。

ISSの組立ては、平成10年(1998年)11月に最初のISSモジュールである基本機能モジュール

「ザーリヤ」(FGB)の打上げによって開始された。平成18年2月までの8年間に、20回のスペースシャトル打上げ、40回のロシアロケットの打上げ(補給フライトを含む)により、完成時の重量に対して約60%の構成要素が組み立てられている。また、平成12年(2000年)の第1次クルーによる滞在開始から6年が経過し、これまでに延べ12カ国、168名の宇宙飛行士がISSに訪問・滞在し、現在は第14次クルー3名が滞在している。(図1)



図1 現在のISS (平成18年12月撮影 STS-116、NASA 提供)

今後の組立て計画としては、平成19年(2007年)に欧州宇宙機関(ESA)の実験棟「コロンバスモジュール」が打ち上げられ、日本の「きぼう」も平成19-20年度(2007-8年度)に渡って3回のシャトルの打上げでISSに取り付けられる予定である。今後、15回のシャトルの打上げ、2回のロシアロケットの打上げで、平成22年(2010年)までにISSは完成する予定である。(図2)

ISSは組立て途中ではあるが、米国実験棟「ディスティニー」、ロシアサービスモジュールで実験が行われている。米国は、ディスティニーに9つの実験ラックを搭載し、これまでに90以上の実験を実施している。コロンビア事故によって輸送能力、宇宙飛行士の作業時間が一時期非常に限定されたが、シャトル飛行再開、3人滞りの再開により、ようやく本格的な実験ができる環境となってきた。欧州や日本は自国の実験棟が打ち上げられるまでの間、ロシアとの商業契約や米国との協力によりISSでの実験機会を確保して、実験を実施している。



図2 ISS 完成形態 (NASA 提供)

3. 日本実験棟「きぼう」等の準備状況

(1) きぼう開発、及び運用準備状況

きぼうの各要素の開発は完了しており、平成19年1～2月にはロボットアームと船内保管室をNASAケネディ宇宙センター(KSC)に輸送し、スペースシャトルでの打ち上げに向けた準備を進めている。きぼうの主要なシステム機器を搭載する船内実験室については、これらに先立って平成14年(2003年)5月にKSCへ輸送し、軌道上で船内実験室と結合する第2結合部(ノード2)のフライト実機と地上で電氣的に組合せた性能確認を行っている。また、平成18年(2006年)10月には、KSCに保管されているきぼう船内実験室と、NASAジョンソン宇宙センター(JSC)内のISS管制室、JAXA筑波宇宙センター(TKSC)内のきぼう管制室とをつないで、TKSCから「きぼう」へのコマンドの送信や「きぼう」からのテレメトリの受信が正常に行われることを確認するなどの、「きぼう」が打ち上げられた後の運用を模擬した試験を実施している。

運用にむけた準備状況としては、運用管制システムの開発は完了しており、きぼうの船内実験室やロボットアームの運用、実験装置の運用について、NASAとの合同のシミュレーション訓練を繰り返し、運用要員の訓練、手順の確認などを実施している。

(2) 宇宙ステーション補給機(HTV)

HTVの開発状況としては、現在平成20年度(2008年度)にH-IIBロケットにて実証飛行を行うことを目指して、技術実証機を製作中である。

HTVは、平成22年(2010年)のスペースシャトル退役後、国際標準実験ラック(ISPR)やきぼう船外実験プラットフォーム実験ペイロードを含む曝露機器の輸送が可能な唯一の輸送機であり、平成22年以降のISS/きぼうの運用・利用を実現するためには、非常に重要な役割が期待されている。

4. 「きぼう」利用の準備状況 (第1期利用)

JAXAでは、きぼうの運用・利用が開始される平成20年(2008年)から平成22年(2010年)頃までの3年程度の利用を第1期利用期間と定義し、その準備を進めている。

(1) 実験装置開発

第1期において船内実験室で利用される実験装置は、SAIBO(細胞)ラック、RYUTAI(流体)ラック、KOBAIRO(温度勾配炉)ラックの3ラックに搭載される。これらの装置の開発は完了しており、RYUTAIラックについては平成18年12月に、SAIBOラックについては平成19年2月KSCへ輸送され、打上げに向けた準備を進めている。KOBAIROラックについては、当初の船内保管室/スペースシャトルでの打上げを変更し、HTVでの打上げに向けた必要な技術検討を実施している。

- ・ SAIBOラック(図3):人工重力発生装置付インキュベーターである細胞培養装置と、生物試料の取扱及び顕微鏡観察が可能なグローブボックスであるクリーンベンチから構成。
- ・ RYUTAIラック(図4):液体表面・内部の流れ観察が可能な流体物理実験装置、溶液内の結晶成長過程やその周辺の濃度等の観察を行う溶液結晶化観察装置、蛋白質結晶生成装置、及び各々の実験装置から得られた6チャンネルの映像を圧縮し、ハードディスクへの記録、地上への伝送を行う画像取得処理装置から構成。
- ・ KOBAIROラック(図5):温度勾配による半導体等の一方向凝固が可能な高温電気炉



図3 SAIBOラック



図4 RYUTAIラック



図5 KOBAIROラック

船外実験プラットフォームに取り付ける観測ペイロードについては、下記の3装置について開発を進めている。宇宙環境計測ミッションについては、開発が完了しており、全天X線監視装置、超伝導サブミリ波リム放射サウンダについては、現在フライト機器の製作を行っている。

- ・ 宇宙環境計測ミッション/共通バス部 (SEDA-AP、図6)：重粒子、中性子等の宇宙放射線、原子状酸素、プラズマ等のISS近傍の環境計測、及び機器材料への影響を評価
- ・ 全天X線監視装置 (MAXI、図7)：90分周期で、全天のX線放射天体を今までにない高感度で隈なく走査し、活動銀河のダイナミックな振る舞い、分布を明らかにし、宇宙の構造・起源・進化を解明
- ・ 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES、図8)：4K冷凍機による超伝導サブミリ波受信機を宇宙実証し、成層圏大気中の微量分子の高感度3次元グローバル観測を行い、成層圏分子の詳細な化学的プロセス、オゾン層破壊メカニズム等を解明



図6 宇宙環境計測ミッション
/共通バス部



図7 全天X線監視装置

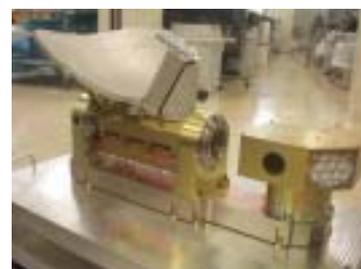


図8 超伝導サブミリ波リム放射
サウンダ

これらの実験装置は、下記のスケジュールで打ち上げられ、きぼうに搭載する計画である。

- ・ 平成19年度(2007年度) 船内保管室: SAIBOラック、RYUTAIラック
- ・ 平成20年度(2008年度) 船外パレット: SEDA-AP、MAXI
HTV: KOBAIROラック(検討中)、SMILES

(2) テーマ準備

きぼうの第1期利用計画については、宇宙開発委員会利用部会が平成16年6月に取りまとめた報告「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方について」にて設定された以下の重点的に取り組むべき領域・課題に絞り、準備を進めている。

a. 科学・技術開発利用

- 宇宙ゲノム科学: 重力感受遺伝子の働きの理解
- 臨界点ダイナミクス: 物質の凝集原理と相転移のメカニズムの理解
- 全天X線モニタによる、宇宙の大構造マップの作成と宇宙誕生の謎解明への貢献
- 世界に先駆けたオゾン層破壊に関連する微量気体成分の実験的観測と、センサ技術の検証

- 結晶成長メカニズム解明と革新的結晶成長制御技術の開発
 - 船外実験プラットフォーム利便性向上のための技術開発
- b. 応用利用
- 構造機能解析のための高品質蛋白質結晶生成
 - 高性能光学素子用3次元フォトニク結晶生成
- c. 教育利用、商業活動利用、文化利用等の一般利用

利用テーマの準備状況としては、船内実験室ではこれまで公募により選定された物質科学、生命科学の分野の17テーマ(表1)が準備中で、さらに国際公募により選定された「きぼう」以外のISS施設の利用テーマについても8テーマ(表2)が準備中である。

船外実験プラットフォームにおいては、前述の3つのペイロード(表3)が開発中である。これらすべての実験は「きぼう」打ち上げ後、初期利用として早く成果を出すため優先的に利用リソースを使って、2~3年以内にすべて実施される。

さらに、新しい分野として、宇宙医学、有人技術の取り組み、文化・教育をはじめとする一般利用など多様な利用の拡大に向けた取り組みを進めている。更に、アジア太平洋地域の国々との協力として、科学研究・教育の分野できぼう利用を呼びかけ、具体化に意見交換等を行っている。利用拡大の取り組みについては「(6)分野別活動状況」の中で詳しく報告する。

新しい分野のテーマは比較的短期間で準備できるであろうことから、タイムリーに利用するテーマを決めて、順次調整をしながら具体化を図る予定である。

表1 きぼう船内実験装置を利用するテーマ

実験装置	テーマ名	代表研究者
流体物理実験装置	マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程	東京理科大学 河村洋
	マランゴニ対流における時空間構造	北海道大学 武田靖
	高プラントル数流体の液柱マランゴニ振動流遷移における表面変形効果の実験的評価	JAXA科学本部 松本聡/鴨谷康弘
溶液結晶化観察装置	ファセット的セル状結晶成長機構の研究 (Facet)	JAXA科学本部 稲富裕光
	樹枝状結晶の成長過程のその場観察による結晶の形態形成に対する微小重力の効果 (Ice Crystal)	北海道大学 古川義純
	固液界面安定性に対する重力の影響 (Succinonitrile)	長岡技術科学大学 宮田保教
細胞培養装置	両生類培養細胞による細胞分化と形態形成の調節 (Dome Gene)	東京大学 浅島誠
	蛋白質ユビキチンリガーゼCblを介した筋萎縮の新規メカニズム (Myo Lab)	徳島大学 二川健
	線虫C.elegansを用いた宇宙環境におけるRNAiとタンパク質リン酸化 (CERISE)	東北大学 東谷篤志

実験装置	テーマ名	代表研究者
	宇宙放射線と微小重力の哺乳類細胞への影響 (Neuro Rad)	鹿児島大学 馬嶋秀行
	哺乳動物培養細胞における宇宙環境曝露後のp53調節遺伝子群の遺伝子発現 (Rad Gene)	奈良県立医大 大西武雄
	カイコ生体反応による長期宇宙放射線曝露の総合的影響評価 (Rad Silk)	京都工業繊維大学 古澤壽治
	ヒト培養細胞におけるTK変異体のLOHパターン変化の検出 (LOH)	理化学研究所 谷田貝文夫
	微小重力環境における高等植物の生活環 (Space Seed)	富山大学 神阪盛一郎
	重力による穀類芽生え細胞壁のフェルラ酸形成の制御機構 (Ferulate)	大阪市立大学 若林和幸
温度勾配炉 (調整中)	液体構造の複雑性の系統的変化を示す14 (IVB) 族液体における自己拡散および不純物拡散に及ぼす短距離秩序の役割 (Diffusion)	北海道大学 伊丹俊夫
	微小重力下におけるIn _{0.3} Ga _{0.7} As均一組成単結晶の成長 (Hicari)	JAXA科学本部 木下恭一

表2 きぼう以外を利用する国際公募選定テーマ

実験装置	テーマ名	代表研究者
ESA培養実験装置 (EMCS)	植物の抗重力反応における微小管 - 原形質膜 - 細胞壁連絡の役割 (Resist Wall)	大阪市立大学 保尊隆享
	微小重力環境下におけるシロイヌナズナの支持組織形成に関わる遺伝子群の逆遺伝学的解析 (Cell Wall)	東北大学 西谷和彦
なし	飛行前ゾレドネート静注投与による宇宙飛行中の骨量減少・尿路結石の予防	徳島大学 松本俊夫
実施に向けて調整もしくは見直し中のテーマ		
ESA培養実験装置	微小重力下における根の水分屈性とオーキシン制御遺伝子の発現 (Hydro Tropi)	東北大学 高橋秀幸
ESA電磁浮遊炉	微小重力下におけるシリコンの無容器結晶化 (CCSM)	JAXA科学本部 栗林一彦
NASA小動物装置	ラットの骨格筋繊維および脊髄運動のニューロンに及ぼす微小重力ならびに神経筋活動の影響	京都大学 石原昭彦
	微小重力の前庭系神経伝達機構に及ぼす影響	信州大学 宇佐美真一
NASA燃焼装置	宇宙船内低速空気流中における電線の燃焼特性に及ぼす材料諸特性の影響	北海道大学 藤田修

表3 きぼう船外実験プラットフォームを利用するテーマ

実験装置	テーマ名	実施機関
全天X線監視装置	全天にわたるX線天体の長期・短期変動の研究	JAXA科学本部 理化学研究所
宇宙環境計測ミッション / 共通バス部	宇宙環境の計測とその部品・材料に及ぼす影響に関する研究	JAXA総研本部
超伝導サブミリ波リム放射サウンダ	超伝導技術を用いたサブミリ波リム放射サウンダの軌道上実証ならびに地球大気環境の実験的観測	JAXA科学本部 情報通信研究機構

(3) 利用計画

ISS全体としての詳細な利用運用計画は、クルーの滞在期間の約半年間に合わせたインクリメントと呼ばれる計画期間毎に、その実施の約2年前から開始される国際調整プロセスを経て設定される。きぼうで実施される実験についても、このプロセスの中で具体的な実施時期が調整されることとなっており、平成16年3月に、国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会で審議された分野別リソース配分や早期に実施すべき実験テーマ等の方針に基づき、NASAから提示されたきぼうでの実験へ割当て可能なリソース量を踏まえて、きぼうでの利用が開始されるインクリメント17(平成20年(2008年)2月から9月まで)の利用計画の国際調整を進めている。

平成19年度(2007年度)に船内実験室、船内保管室が打ち上げられ、約3か月の組み立て・起動検証の後、船内実験室で実験が開始されるのが平成20年初めとなる。運用開始1年目は、クルー3人体制の制約下で人手のかからない実験を優先して実施する予定である。また、船外実験プラットフォームの取付け後は、観測装置の運用が開始されるとともに、衛星間通信システムが稼働し、日本のデータ中継衛星経由で実験データの通信が可能になる。

運用開始後2年目の平成21年(2009年)には、ISS施設全体の拡充によりクルー6人体制が実現し、本格的な実験が可能になる。第1期利用の終わりの平成22年(2010年)には、スペースシャトルが退役し、HTV等による輸送が中心となる。現時点で想定しているリソースの状況では、2010年前半には現在計画している実験はほぼ完了する予定である。

(4) きぼう利用に先立つ宇宙実験

シャトル飛行中断に伴い、ソユーズ、プログレスによる輸送、2人体制による作業と限られた状況で新たな宇宙実験機会をもうけることは厳しい中、既存の宇宙実験を確実に実施するとともに、国際協力による実験機会の確保に努めてきた。

応用利用の分野では、平成15年から実施している高品質タンパク質結晶生成プロジェクトの一連の6回の宇宙実験が終了し、延べ256種のタンパク質を用いて実験を行った。その結果、後半の3回の実験では、搭載したタンパク質の60%について、地上で得られた結晶と比較して宇宙で得られた結晶の品質が改善しより精密な構造が得られており、宇宙利用の有効性が確認された。また、試料受付から宇宙実験回収まで6~8ヶ月で実施できるプロセスを確立するとともに、結晶生成率を向上させるための試料評価方法や結晶化条件設定法の確立、試料搭載方法の高密度化などの結晶生成技術の高度化が図れた。成果の応用の視点では、寄生虫感染症の寄生体の増殖に不可欠なタンパク質、睡眠物質及びアレルギー物質合成酵素、食品に関連する機能性タンパク質等の最高分解能の構造データが得られ、医薬品などの化合物設計や機能性タンパク質の機能向上など応用への取組みが進められ、成果を出しつつある。

上記の成果と今後もタンパク質構造解析研究や創薬研究が一層活発化することが想定されることを踏まえ、きぼうが本格的に稼働するまでの間ロシアモジュールでの3回の宇宙実験機会を新た

に設定した。この実験機会では、これまでに確立したISS利用結晶生成技術及びプロセスの基盤を活かし、疾患関連タンパク質・膜タンパク質など有用なタンパク質の結晶生成・構造解析による社会への貢献(国の施策である「ターゲットタンパク研究プログラム」と連携体制による)を図ると共に、きぼうでの本格的な利用に向け微量なタンパク質試料量に対応できる結晶生成技術、超精密構造解析に対応した結晶高品質化・構造解析技術等を確立することを目指している。あわせて、ISSを利用したタンパク質結晶生成ビジネスの展開や技術移転による外部機関の主体的な利用を促進するため、きぼうでのタンパク質結晶生成事業へ発展させることを目指した取組みを試行していくこととしている。

一方材料創成の分野では、高輝度レーザー加工装置の小型化等、レーザー産業、IT産業、エネルギー産業等への貢献を目指し、次世代の光制御素子として期待される3次元フォトニック結晶の生成実験を行っている。これは、粒ぞろいの微粒子を微小重力下で均一に自己配列させ、cmサイズに結晶化させる実験であり、ロシアサービスモジュールを利用して、平成17年12月～18年4月に1回目の宇宙実験を実施した。

第1回実験では、微粒子を結晶化させ、ゲルで固定するまでのプロセス制御技術を確立するとともに、微粒子のサイズ、種類、結晶化の方法などの異なる複数の実験条件下で生成した結晶を取得した。とくに、直径200nmのシリカ微粒子を用いた実験では、地上では実現困難な数mmサイズの均一結晶を、世界で初めて生成することができた。第2回目の宇宙実験に向けては、実用面で有利となる、より高屈折率の微粒子を用いた結晶の取得、cmサイズの大型結晶の取得などを目指し、準備を進めている。

技術開発分野では、平成13年8月からロシアサービスモジュール外壁に設置して実験を実施してきた微小粒子捕獲・材料曝露実験(MAPC&SEED)について、平成14年11月の第1回目の試料回収、平成16年4月の第2回目の試料に加え、最後の試料を平成17年10月に地上回収し、4年間にわたる実験が終了した。現在はこれら試料を比較し、長期的な宇宙環境の影響分析を進めている。

放射線計測技術では、生物実験時の線量計測を目的とした受動型線量計(PADLES)を開発し、国際的な地上での比較実験に参加して、計測精度の検証を実施している。これまでの地上比較実験では他国の線量計に比べて高精度に計測できており、海外機関から軌道上の比較検証実験への参加要請を受けて、下記の宇宙実験に参加している。

- ・ マトリョーシカ実験:ドイツ航空宇宙研究所(DLR)との協力による、人体ファントムを用いた、ISS船内外環境での被曝量計測実験。2004年から船外、船内の実験に参加。
- ・ Lazio-Eschilo実験:イタリアイタリア核物理研究所(INFN)との協力による、ISS各国モジュールでの放射線環境計測実験。2005年から参加。
- ・ 宇宙放射線検出器 国際比較実験ICCHIBAN:ISS参加国等による宇宙放射線検出器の比較実験。これまで地上の加速器を用いた比較実験を実施し、ISSでの計測実験を放射線医学

総合研究所が準備中。

宇宙での高精細度テレビジョン映像取得・伝送技術については、スペースシャトル、ISSロシアモジュールでの業務用カメラによる撮影実験を経て、NASA、NHK、JAXA三者が協力してハイビジョンリアルタイムダウンリンクシステムを構築し、平成18年11月15日に日本初のISSからのハイビジョン生中継をNHKが実施した。今後、きぼうでの本格的な映像取得に向けて、小型民製品を活用した日本独自の高精細度テレビジョンダウンリンクシステムについて整備を進めている。

第5回ライフサイエンス国際公募において選定された日本の植物実験2テーマ (Cell Wall, Resist Wall)について、ESA実験装置 (EMCS; European Modular Cultivation System)を利用して、日本の利用権が発生する前のインクリメント16 (平成19年8月～平成20年2月)で実験することについてESA、NASAと合意し、現在実験の準備を進めている。

(5)きぼう利用推進体制

JAXA 統合後、人工衛星の打上げロケット、ISS計画を含む有人宇宙活動に必要となるインフラの開発及び運用等を行う宇宙基幹システム本部で、日本実験棟きぼう、及びHTVの開発、運用を行うと共に、宇宙環境利用センターにおいて、ISS利用全体の取りまとめ、利用者支援、実験装置・技術の開発といった全般的な利用推進、産業界との連携による応用を目指した利用、教育や文化に関する利用の推進を実施している。

宇宙環境利用科学分野の利用に関しては、宇宙科学研究本部 宇宙環境利用研究系において国内の研究者コミュニティと連携して宇宙環境を利用した科学研究の推進を行い、またISS科学プロジェクト室においてISSでの実験に選定されたテーマ研究プロジェクトを実施している。(図9)

また、ISS/きぼうの利用推進に関する全体方針を設定するJAXA 理事長の外部諮問委員会として「国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会」(委員長 海部宣男 国立天文台 前台長、名誉教授)を設置している。また、利用分野別の推進方針等については、それぞれの推進部署で必要に応じて、既設の委員会や新たに委員会等を設置して審議している。科学研究については宇宙科学本部の「宇宙環境利用科学委員会」及び「宇宙理学委員会」が、応用利用については、宇宙基幹システム本部の「JEM 応用利用推進委員会」が、宇宙医学研究を含む有人宇宙技術分野については「有人サポート委員会」等が、それぞれ、役割を担っている。

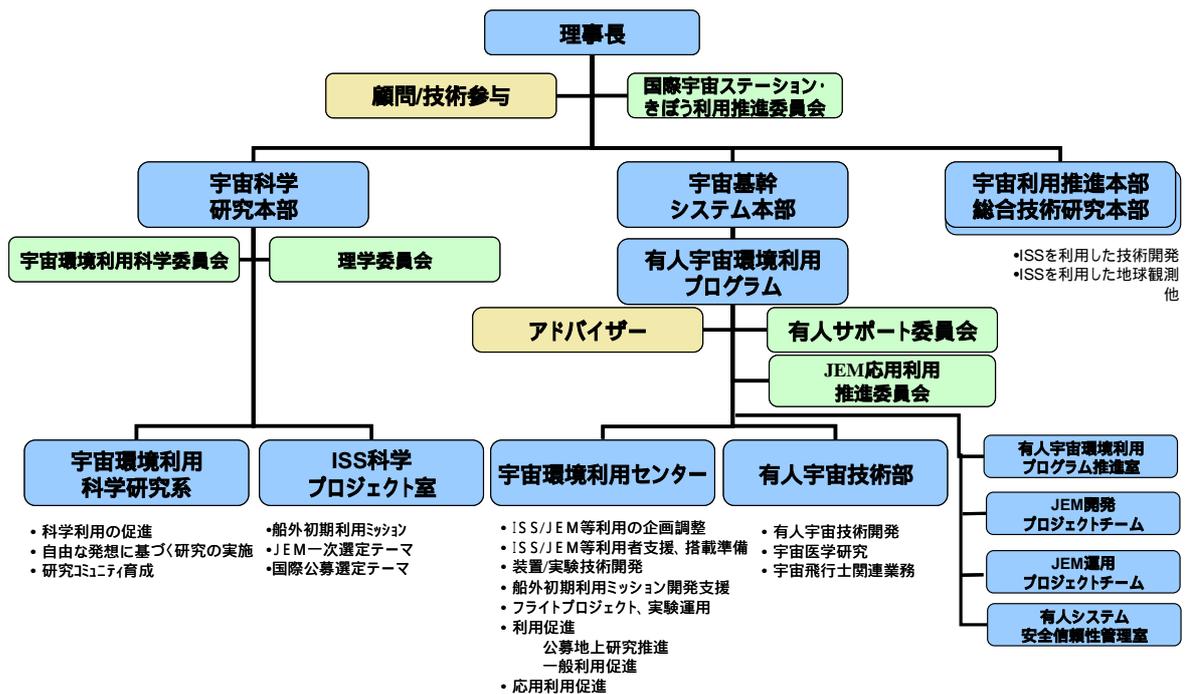


図9 JAXAにおける宇宙環境利用推進体制

(6) 分野別活動状況

a) 全般

宇宙環境利用センターでは、公募地上研究制度を運営し、科学および技術開発分野でのISS利用の促進を進めている。本制度は宇宙環境利用の裾野拡大、新たな研究領域の開拓及び研究コミュニティの育成といったきぼう利用初期の利用立ち上げを目指した設立当時の目的から、きぼうの利用を目指した地上研究特に第2期利用に向けた研究テーマの育成に目的を変更し、対象となる装置や利用時期を念頭に置いた研究区分に見直すと共に、落下施設及び航空機などの施設利用促進につながる研究区分の新設を行った。平成16年の第7回公募から平成18年の第9回公募で合計183テーマを選定し、地上研究を進めている。

b) 科学利用

宇宙環境利用科学委員会では、具体的な宇宙実験計画を立案、将来の研究課題を議論する等の活動を行う関連分野の研究者のグループを、「宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキンググループ」(以下、研究班WG)として公募し、研究活動の支援を平成16年度から行っている。平成18年度には69の研究班WGが選定され、延べ650名の研究者が参加している。また、毎年、当該委員会主催による宇宙利用シンポジウムを開催し、これら研究班WGの活動報告と、宇宙環境利用科学の推進方針について議論を行っている。更に本分野における国際協力について、欧州の研究者チーム(ESAトピカルチーム)との会合を定期的に行い、ISSに搭載されている欧州の実験装置の共同利用、回収カプセルや小型ロケットでの共同実験などの具体的な協力について検討を進めている。

表4 物質科学分野 研究班ワーキンググループ(平成18年度)

名称	代表者
バルク結晶成長機構研究	稲富 裕光(JAXA)
ナノメートルサイズ半導体微結晶研究	木下 恭一(JAXA)
成長メカニズムに依存するタンパク質結晶の完全性	塚本 勝男(東北大学)
タンパク質結晶品質の評価と制御	新村 信雄(茨城大)
マクロ分子の関与する結晶成長機構	古川 義純(北大)
タンパク質結晶の特性	相原 茂夫(京大)
高機能炭素系薄膜微粒子	高木 喜樹(帝京科学大)
革新的機能性材料	余野 建定(JAXA)
準安定相研究	長汐 晃輔(JAXA)
凝固ワーキンググループ	奥谷 猛(産総研)
微小重力下での酸素分圧制御による金属性融体の表面張力測定	日比谷 孟俊(首都大)
拡散現象問題研究会	伊丹 俊夫(北大)
静電浮遊炉研究	石川 毅彦(JAXA)
浮遊液滴非線形ダイナミクス	阿部 豊(筑波大)
界面現象と流体不安定性研究	松本 聡(JAXA)
Hydrothermal Wave 不安定と気液界面熱伝達	西野 耕一(横国大)
微小重力沸騰・二相流研究会	大田 治彦(九大)
宇宙機内における大域的対流・拡散現象	大西 充(JAXA)
コンタクトライン近傍流体の動力学	上野 一郎(東理大)
微小重力燃焼による材料気相合成検討	藤田 修(北大)
微小重力環境を利用した固体燃焼現象検討	藤田 修(北大)
液滴群燃焼ダイナミクス研究班	菊池 政雄(JAXA)
乱流場における不均質燃焼とその要素過程の解明	小林 秀昭(東北大)
高圧環境下における点火・燃焼現象解明のための共通微小重力実験装置検討	野村 浩司(日大)
宇宙燃焼合成	小田原 修(東工大)
燃焼の非線形特性とその応用	植田 利久(慶応大)
宇宙環境に適合する低温実験用冷凍機の開発	沼澤 健則(物材機構)
月面でのセメントペーストの流動性予測のその場観察による研究	朝倉悦郎(宇部三菱セメント)
月面環境利用技術研究ワーキンググループ	高柳 昌弘(JAXA)
移動メカニズムの研究	吉光 徹雄(JAXA)
宇宙量子通信	豊島守生(情報通信機構)
微小重力環境下微粒子プラズマ研究会	林 康明(京工繊大)
微小重力下における液体・固体ヘリウム	奥田 雄一(東工大)
臨界点ダイナミクス	三浦 裕一(名大)
非平衡化学物理系の微小重力科学	北原 和夫(国際基督教大)
メソスコピック系の微小重力化学	辻井 薫(北大)

表5 その他の分野 ワーキンググループ(平成18年度)

名称	代表者
高エネルギー宇宙線計測	鳥居 祥二(早大)
外部汚染管理技術 WG	木村 秀夫(物材機構)
超高層大気撮像観測ワーキンググループ	斉藤 昭則(京大)
広域大気汚染WG	鈴木 睦(JAXA)

表6 生命科学分野 研究班ワーキンググループ(平成18年度)

名称	代表者
交感神経活動の微小重力環境への長期適応過程と体液調節	三木健寿(奈良女子大学)
宇宙環境へ適応するための感覚・運動ゲインコントロール	和田佳郎(奈良県立医大)
神経・筋の可塑性および発育・発達における重力の役割を追求する研究	大平 充宣(大阪大学)
「ダイナミック適応重力場」でうまれた生物原理を探る宇宙利用基盤研究	跡見 順子(東京大学)
宇宙環境下における生殖・継世代研究の展開	奥野 誠(東京大学)
両生類の生活環に対する重力影響	柏木 昭彦(広島大学)
大きさと重力の生物学	馬場 昭次(お茶の水大)
生体要素間の共同作用に基づく重力効果の増幅発現機構	最上 善広(お茶の水大)
宇宙環境ストレス応答の細胞生物学	宇佐美 真一(信州大学)
フロンティア生物の戦略 植物の成長と重力受容システムー	高橋 秀幸(東北大学)
植物の抗重力反応解明	保尊 隆享(大阪市立大学)
高等植物の生活環	神阪 盛一郎(富山大学)
宇宙における樹木形態形成に關与する環境機能分子および樹木の応用利用	富田-横谷 香織 (筑波大学)
地球周回軌道におけるアストロバイオロジー実験	小林 憲正(横浜国大)
隕石・彗星内ハビタブルゾーン	長沼 毅(広島大学)
宇宙ステーションにおける宇宙放射線の生物影響研究	大西 武雄(奈良県立医大)
宇宙環境微生物学	大森 正之(埼玉大学)
宇宙農業構想	山下 雅道(JAXA)
宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築	北宅 善昭(大阪府立大学)
生物衛星利用重力生物学	三枝 誠行(岡山大学)
線虫(C.elegans)を用いる回収衛星宇宙実験	石岡 憲昭(JAXA)
フリーフライヤー等の早期飛行手段を利用した小型魚類の宇宙生物学研究	加藤 聖(JAXA)
生物科学系スモールペイロード宇宙実験	東端 晃(JAXA)
哺乳類小動物を用いた宇宙生物学実験	片平 清昭(福島県立医大)
他種動物の重力生物化学研究手法を宇宙でのメダカ実験に適用するための研究	井尻 憲一(東京大学)
メダカを用いた宇宙放射線の継世代影響評価	三谷 啓示(東京大学)
魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究	鈴木 信夫(金沢大学)
水産学の宇宙生物化学へ応用展開	竹内俊郎(東京海洋大学)
無重力環境下の作業における身体及び精神負担の測定及び作業支援	鈴木 哲(首都大学東京)

c) 応用利用

応用利用分野の利用促進については、JEM 応用利用推進委員会を設置して応用利用分野の利用戦略の検討を進めている。また、大学等外部の研究機関を核に産学官連携体制を構築する「国際宇宙ステーション応用利用研究拠点推進制度」を平成16年度に新設し、これまで3つの拠点を設置して宇宙実験を目指した準備を進めている。

▶ 新材料創成研究領域:名古屋工業大学

ナノレベルの規則的凹凸構造を有する2次元ナノ構造体や光制御可能な高機能フォトニック結晶を創製し、超撥水/油性のガラスやレンズや光スイッチング素子等へ応用を目指す。

➤ タンパク質結晶生成研究領域:大阪大学

蛋白質の超高分解能な構造解析・機能解析技術を確立し、製薬企業等への構造特許の販売を通じ、新薬開発等、世界を勝ち抜く産業競争力の強化を図るとともに国民を悩ます病の克服・健康寿命の延伸に貢献を目指す。

➤ 界面ダイナミクス研究領域:東京理科大学

宇宙実験と計算化学シミュレーションを活用し、触媒材料であるナノスケールの機能的な骨格構造体(ナノスケルトン)を創製し、既存の製品に置き換わる性能を有する光触媒や、高いエネルギー変換率を有する太陽電池、及び重油をガソリンに改質する触媒等へ応用を目指す。

d) 宇宙医学研究

有人宇宙技術部では、日本人宇宙飛行士の、ISSでの6ヶ月程度の長期宇宙滞在における医学的リスクの軽減を図り、より安全でより効率的な滞在を実現させ、さらに我が国の有人宇宙技術の蓄積を目指すことを目的として、宇宙医学研究を進めている。

研究分野は、これまでのJAXAにおける医学研究・運用の蓄積、および既に米口を中心に実施されているISSの医学運用上の課題を考慮して、長期宇宙滞在の健康管理に必要な観点で、生理的対策、精神心理支援、放射線被曝管理、軌道上医療システム、及び宇宙船内環境対策の5つの分野に整理・分類した。この5つの分野における医学的リスクを基に、その対策の優先順位付けを行い、優先順位が最も高く、平成17～21年度(2005～2009年度)の間に取り組むべき医学研究課題を「最重要課題」として9つの課題を設定し、研究を進めている。また、このような長期的な宇宙医学研究推進の基本的な考え方と進め方を「宇宙医学研究の進め方」として示した。

表7 宇宙医学研究における最重要課題

分野	課題
生理的対策	薬剤を用いた宇宙飛行中の骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究
	微小重力下における効果的な運動器具・トレーニング法に関する研究
精神心理支援	長期閉鎖隔離環境滞在に対する精神心理的な適応の評価方法に関する研究
	多文化環境に対する多文化適応訓練の研究
放射線被曝管理	次世代受動型個人線量計に関する研究
	生物学的線量推定を用いた被曝管理手法確立のための研究 (バイオドシメトリ)
軌道上医療システム	軌道上における簡易型生体機能モニター装置の研究
	自動診断機能のある搭載用医療機器の研究
宇宙船内環境	船内空気環境汚染による健康障害に対するモニタリングシステムの研究

e) 一般利用

新たな領域・分野等の利用促進の一環として、「地球人育成への貢献」「人類未来の開拓への貢献」「宇宙利用における新しい価値の創出」を生み出すことを目標に、教育分野及び文化・人

文社会科学分野での利用促進を行っている。

教育利用分野では、宇宙環境利用への理解・関心を深め、人材育成に寄与することを目的として、学生航空機実験コンテストを平成14年から実施している。これまで4回のコンテストを実施し、延べ111チームが応募し、21チームが選抜されて、流体現象、燃焼現象、生物学、芸術など多様な分野の実験を実施している。

また、第1期利用での科学教育ミッションとして、植物種子、ミジンコ卵などをきぼうに搭載し、回収後に、学校・科学館等に配布して生育等の比較実験、閉鎖生態系実験等により、「宇宙・地球・生命」をテーマとして学ぶ教育ミッション実施に向けて検討を進めている。

人文社会科学分野では、これまで人文社会科学系の研究者、芸術家との研究会、共同研究、及びスペースシャトル日本人宇宙飛行士の搭乗機会での試行的な取り組みを通じて、きぼうにおける本分野の活動の検討を進めてきた。きぼうの利用開始が迫り、本分野の活動が広がりを見せている状況を踏まえ、パイロットミッションとして第1期利用の早い時期に実施する芸術アイデアを平成18年5月に募集し、応募があった24件の中から宇宙実験候補として10テーマを選定委員会により選定した。現在、各テーマの実験計画の作成、搭載品の検討および試験の準備等を進めている。

また、きぼうの新たな社会的な利用事業を創出し、より広く一般市民の参加を促すことを目指して、宇宙を題材に日本が発祥の連詩を製作することにより、宇宙について、地球について、いのち生命について、国境、文化、世代、専門、役割を超えて共に考え、「連詩」を通して協働の場を創出していこうという「宇宙連詩」を実施している。

具体的には、詩人大岡信氏監修の元、宇宙、地球、生命をテーマにして、公募(国内外)と寄稿(詩人、著名文化人)によって24編の連詩を編纂する予定である。完成した連詩はDVDに記録し、船内保管室の打上げにあわせてきぼうに保管する予定で、今後も継続的な実施を目指している。本活動が単に連詩による一般市民の参加を促すだけでなく、プラネタリウムでの宇宙連詩の上映、朗読や、高校の授業や活動での参加など、地域のさまざまな活動や教育分野への広がりも出てきており、新聞やラジオなどのメディアからも関心を持って取り上げられている。

きぼうの利用を我が国のみに限らず、アジア地域との協力・協働を通して、利用の拡大と多様化を図ることを目的に、アジア地域とのきぼうを利用した共同研究・共同利用ミッションを実施することを旨とした様々な活動を始めている。

具体的には、アジア・太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF)のISSワーキンググループにおいて、科学・技術・教育などの分野におけるきぼう共同利用をアジア地域の宇宙機関と協議を進めている。平成18年12月の第13回会合では、きぼうの第2期利用期間に年間1~2テーマのアジア諸国の実験を実施することを想定し、具体的な宇宙実験の提案要請を参加各国に行った。その結果、韓国、ベトナム、タイ、インドネシア、マレーシアの各国機関からの具体的な実験提案があり、平成19年6月末までに、フィジビリティスタディの対象となる提案テーマを選

定する予定である。

また、総合研究大学院大学と連携して、アジア地域の若手研究者を対象とした宇宙環境利用研究に関するセミナー「アジア冬の学校」を平成18年12月に開催し、中国、韓国、ベトナム、タイ、インドネシアから約30名の若手研究者が参加した。また、タイ国立科学技術開発機関(NSTDA)と協力して、JAXAの学生航空機実験コンテストの機会を活用してタイで選抜された学生1チームの航空機実験を平成19年3月に実施する予定である。これらの活動を通じて、アジア諸国の研究者や学生による将来のきぼう共同研究や宇宙環境利用への発展が期待される。

f) 民間による利用

これまでの高品質蛋白質結晶生成宇宙実験計画を通じた、ISS用高品質蛋白質結晶生成技術の確立、及び外部の利用者の利用可能性や蛋白質研究に係る市場動向等を踏まえ、民間事業者によるきめ細やかな蛋白質結晶生成サービスの提供を通じた宇宙環境利用促進と将来の外部事業者への技術移転による蛋白質結晶生成宇宙実験の事業化へ展開を目指して、新たに設定したロシアサービスモジュールを利用した3回の実験機会のうち、一部のリソースを外部の事業者提供することとした。平成18年5月に実施事業者の公募(RFP)を実施し、応募のあった(有)コンフォーカルサイエンスを6月に選定し、平成19年1月から実施している第1回目の実験から有償による実験サービスを提供している。

また、JAXA産学官連携部が進めている宇宙オープンラボ制度において、民間等からの提案を受けた4テーマについて、将来のきぼうの民間利用のモデルケースとして実現に向けての協力を進めている。

表8 宇宙オープンラボ関連研究テーマ

研究テーマ	参加機関
ISSにおける映像撮影機材のレンタル事業の研究	株式会社 SPACE FILMS
長期滞在宇宙飛行士用運動靴の開発	有人宇宙システム(株)、(株)アシックス
宇宙での生活支援研究	日本女子大学、東レ(株)、(株)ゴールドウィン、(株)島精機製作所、有人宇宙システム(株)
宇宙での長期滞在型居住空間における快適「睡眠環境」の創造	西川リビング(株)、京都市立芸術大学

5. 「きぼう」利用の将来構想 (第2期利用)

JAXAの次期中期計画(平成20-24年、2008-2012年)策定を念頭に置き、新規の利用準備や装置開発に必要な時間を考慮して、きぼうの第1期の利用後の平成22-24年(2010-2012年)を第2期利用と位置づけ、具体的な利用プログラムの検討を始めている。

(1)2010年以降の利用の方向性

平成22年にはISSの組立も終わり、きぼうの本格的な利用が可能となる。きぼうは人間の支援による複雑かつ多様な活動を可能とし、定常的に日本として利用可能な軌道上拠点であるという特長を活かし、第2期においては新しい試みにより先端技術の実証や新しい利用の可能性を拓く場として最大限活用し、科学技術のイノベーションを育むことを目指す。

具体的には、第1期での活動を発展させ、社会・国民に支持され成果を還元することを目指す。

- ・ 極限環境を利用した新しい基礎科学の開拓と新しい知見の獲得
- ・ わが国の科学技術における政策的課題解決
- ・ 宇宙環境や有人活動を利用したイノベーションの創出
- ・ 宇宙開発に限らない広範な分野における国内外の人材育成

また、JAXA長期ビジョンの方向性及び諸外国の動向を踏まえ、将来の宇宙活動において日本の自立性と確固たる地位を確保することを目指す。

- ・ 将来の有人月探査等において鍵となる有人技術等の研究・技術実証テストベッドとして、きぼう等を活用
- ・ きぼう曝露環境を活かして、特長のある科学観測ミッションや最先端技術の実証を世界に先立って実施
- ・ 有人による宇宙利用の可能性実証と新しい技術による拡大を通じ、次の有人活動に向けた期待感、信頼感を醸成

上記の方向性、これまでの活動で得られた成果、コミュニティの準備状況を踏まえ、きぼうの利用分野別に第2期利用における目標や方向性の具体化を進めている。

(2)実験装置候補

前項に示した利用の方向性にに基づき、限られた機会、資源を最大限活用し、利用成果を取得、社会に貢献するためには、実験装置、インフラの整備に当たって工夫が必要である。

具体的には、第1期に整備した必要最低限の実験装置を可能な限り活用して、確実な成果を創出するとともに、第1期では対応できない実験要望に対応することを目的に、必要な基盤的な実験装置や実験システムを整備する。

分野毎の第2期利用の方向性や利用者コミュニティからの具体的な利用要求を踏まえ、船内実験室の次期実験装置候補として、ラック規模の実験装置である静電浮遊炉、サブラック規模の実験装置である水棲生物実験装置について要素技術・装置の概念設計を進めている。また、個別の実験装置等の小型・軽量、利用準備期間短縮、開発コスト削減など、利用者の負荷を軽減して、利用要求が強い水棲生物実験、応用利用実験、燃焼実験を実現できる実験環境を整備し、より

効率的な JEM 利用を実現する多目的実験ラックを検討している。

船外実験プラットフォームの第2期利用ミッションについては、開発に向けた概念設計等のフェーズ A 検討を実施する複数の候補ミッションの募集を、平成18年11月から平成19年2月16日にわたって実施した。

第2期利用における船外実験プラットフォームのミッションを募集するに当たっては、平成22年(2010年)以降のISSへの輸送機会や日本へ割り当てが想定される利用リソースを勘案して、平成23年度(2011年度)頃及び平成25年度(2013年度)頃に各500kgの実験装置1基、計2基の実験装置の打上げ機会を前提とした。また、利用形態としては、ユーザの多様なニーズに対応するため、1ミッションできぼう船外実験プラットフォームの1つの実験ポートを占有する「ポート占有利用形態」、複数の小型なミッション機器を混載し、1つの実験ポートを共有する「ポート共有利用形態」の2つの形態を設定している。

今回募集分野としては、下記の2分野を設定している。

- a) 「世界をリードする先端的な科学研究の実施」天体観測、地球科学研究、材料・ライフサイエンスなど、広範な科学研究を対象として、世界をリードする先端的なミッション。
- b) 「宇宙開発利用の発展につながる先端的・基盤的技術の開発」ロボティクス、通信、エネルギー、構造物、有人宇宙技術をはじめとした様々な技術分野を対象に、JAXA 長期ビジョンの方向性を踏まえ、きぼう船外実験プラットフォームでの実証に適したミッション。

候補ミッションの選考は、国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会に曝露部分科会を設置して、平成19年度始めごろに選定する予定である。その後1~2年かけてフェーズ A 検討作業を提案機関と JAXA 協働で実施し、ミッション機器の設計検討、きぼう/HTV へのインテグレーションなどの技術的実現性、資金、スケジュール実施体制などのプログラムの実現性について具体化を進め、これらを確認の上、次フェーズである開発段階へ進めることを想定している。

6. あとがき

きぼうの打上げが目前に迫り本格的利用を迎えるなか、きぼうを最大限活用し、地上での科学や産業への貢献、将来の宇宙活動の発展へ貢献することが重要となってきている。

今後利用計画の具体化が図られる第2期利用に向けての課題として、分野毎の利用のビジョン・戦略に基づいた利用方針の設定、これまでの研究活動や地上公募研究成果を早く宇宙実験で実現するための実験テーマの公募、多様なユーザによる広範な利用をさらに促進するための制度や実験実施までのプロセスの設定、環境整備などが考えられる。これらについては、これまでの課題や改善要望等について利用者コミュニティの意見を聴取し、改善を図り、第2期利用計画として取りまとめる予定である。

参考文献

- [1] 宇宙開発委員会利用部会報告:我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方について、平成16年6月
- [2] 平成16年度 宇宙環境利用センター/ISS科学プロジェクト室 年報、宇宙航空研究開発機構
- [3] JEM 将来利用構想とHTV 輸送、第50回宇宙科学技術連合講演会