

# 「きぼう」自動実験システム (GEMPAK)

内川 英明 (JAXA)

## GEMPAK, $\mu$ -G Experiments by Manipulators with Precise Actuation in Kibo

Hideaki Uchikawa \*

\*Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA, Sengen 2-1-1 Tsukuba, Ibaraki, 305-8505  
E-Mail: uchikawa.hideaki@jaxa.jp

Abstract: This paper introduces automated experiment system, named GEMPAK,  $\mu$ -G Experiments by Manipulators with Precise Actuation in Kibo, which aims to overcome existing constraints and issues and further improve the quality and quantity of experiments and utilization in the space environment by utilizing robot technology.

Key words; Space experiment, International space station, GEMPAK, Robotics

### 1. はじめに

国際宇宙ステーション (ISS) 「きぼう」日本実験棟は、2009 年の完成後、多くの宇宙実験・利用に供され、数多くの学術的、社会的成果を創出してきた。

ISS は定期的な輸送があり、宇宙飛行士による設置・実験が実施可能、また微小重力環境での実験成果等を地上に持ち帰って、より詳細な分析等が出来る等の利点がある。一方で、有人滞在拠点であり、有人安全制約等を受けることが、逆に宇宙実験・利用にとっては制約・課題となっている面もある。

本稿では、昨今、地上でも発展著しいロボット技術等を活用し、既存の制約・課題を克服し、宇宙環境利用・実験の質・量を向上することを目的とし、2025~2026 年度の実用化を目指している「きぼう」自動実験システム (GEMPAK) について紹介する。

### 2. 「きぼう」での宇宙実験・利用の課題

「きぼう」における宇宙実験・利用では、例えば以下のような課題がある。これらは主に、有人安全要求と、クルータイムの制約による。

#### (1) 使いたい薬品等が使えない

例えば高濃度のホルマリンが使えない。

#### (2) 使いたい手技が使えない

例えば、クルー操作は手順を順次確認しながら行うため、一連のシーケンス作業が出来ない。

#### (3) クルータイムが取れない

宇宙飛行士は厳格に 1 日 8 時間労働であり、うち 2 時間程度は筋力維持のためのトレーニングに充てられる。また、実験操作以外にも設備メンテナンス、広報活動等があり、実験に必要なタイミングでクルータイムを取りづらい。

#### (4) 高いクルータイム費用

有償利用 (非定型サービス) の場合、550 万円/hr。

( <https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/72879.html> ) 。

#### (5) 事前準備、訓練が必要

基本的に事前に決められた作業を行うため、地上で実験に係る作業の手順を決め、手順書等に明示し、クルーによる訓練等が必要。

#### (6) 質の高い単純繰返し作業が困難

宇宙飛行士は必ずしも実験操作に習熟しているわけではなく、実験操作の状況がクルーによってバラツキがあるとともに、N 数を稼ぐような実験では限界がある。

GEMPAK では、これらの課題・制約を外すことで、宇宙実験・利用の質・量の向上を目指す。

### 3. GEMPAK の基本コンセプト

GEMPAK の基本コンセプトは、密閉空間の中で、クルーの手をロボットアームへ代替、研究者・利用者自ら出来る微小重力実験・利用環境の 2 つである。

密閉空間内の操作とすることで、有人安全要求に抵触する薬品等を利用しやすくするとともに、地上から遠隔操作や自動処理ができるロボットアームを組み合わせることで、前項の課題を解決若しくは低減し、従来は宇宙飛行士を介して行っている実験を、地上から研究者・利用者自ら操作できる微小重力実験・利用環境を目指す。



Fig. 1 GEMPAK の基本コンセプト

#### 4. GEMPAK の構成

GEMPAK は、地上、宇宙、将来的にはバーチャル空間を統合した、微小重力環境下での遠隔化・自動化・自律化した宇宙実験・利用システムである。開発当初は、基本構成として「きぼう」内の多目的実験ラック (MSPR) 内の Work Volume (W/V) に市販の人協働ロボットアームを2つ設置し、薬品等が使えるように3重封入環境を持つ軌道上セグメントと、地上から遠隔操作するための操作系及び事前の地上試験環境による地上セグメントによって構成される。発展的要素として、シミュレーション環境、データ蓄積・活用や、ユーザインタフェース等を提供するデジタルプラットフォーム等の構築も目指している。



Fig. 2 GEMPAK の構成

#### 5. 開発方針

##### (1) 開発要素を極力減らす、絞る

GEMPAK は、ロボットや装置そのものの開発には重点を置いていない。既に地上では多くの信頼性の高い汎用ロボット等が販売されており、それらを宇宙対応化 (部品等の処置等) させることで、開発要素を減らし、早期の実用化を目指す。ただし、地上でのロボットアームは重力下における高精度操作を実現しているため、微小重力環境下での操作精度は不確定な部分があり、技術リスクとして捉え、対応をしていく予定である。

##### (2) 地上での既存技術を活用する

革新的研究開発推進プログラム ImPACT でのバイオニックヒューマノイドが開く新産業革命 (原田香奈子 PM) で開発されたスマートアームの制御アルゴリズム (微細手術ロボット技術) を活用する。

#### 6. 想定用途

GEMPAK は主ミッションとして、小動物飼育における操作を行う。但し、この操作は現状の想定では年間に約1週間程度の軌道上での利用しか見込めていない。このため、使っていない時間帯で他の多様な利用に対応することで稼働率を上げ、より多くの価値を生むとともに、将来的に地球低軌道活動の商業化が進む中で、事業性を持たせていく。

例えば、現在「きぼう」でも行われているタンパク質結晶生成実験や細胞培養実験等への適用 (例え

ば分注作業の遠隔化・自動化) や、植物栽培における受粉・剪定等の作業、更には衛星に活用される要素技術を微小重力下で試験し、データを取得することで宇宙技術実証へ貢献すること、更には現在、「きぼう」でも実施している Kibo-RPC 等での活用による教育、エンターテインメント活用等も可能である。

#### 7. 開発スケジュールと進め方

あくまでも計画案であるが、GEMPAK の打上げは、約2年後を想定しており、2030年までの「きぼう」運用期間で実績を積んでいくことを想定している。

一方、ロボット回りは汎用ロボットを活用するが、微小重力環境下での操作精度に技術リスクを持つ。このため、ロボット回りを早期に「きぼう」に設置し、技術データ取得・実証をしていく「宇宙実験ロボティクス実証設備 (TASK)」を計画している。

#### 8. 開発と研究の関係 (更なる発展要素)

GEMPAK は JAXA にてプロジェクト的に開発する。一方、そのキー技術は地上での研究成果を活用する。この研究成果を開発に適用していくために、JAXA にて企業と契約をして移植作業を行っている。

一方、更なる発展要素として、デジタルツインを用いた AI を鍛える研究<sup>1)</sup>や、力覚フィードバックを用いて操作感の改善を行う研究等<sup>2),3)</sup>を、JAXA と東京大学・九州大学の共同研究として実施している。

#### 9. まとめ

検討中の「きぼう」自動実験システム (GEMPAK) について紹介した。小動物実験に関する操作を初期ミッションとしつつも、微小重力環境下における多様な宇宙実験・利用の課題・制約を克服し、実験・研究の質・量の向上に貢献することを目指し、多くのユーザに、手軽に、低コストで、高頻度で使ってもらえるような仕組み・アーキテクチャを検討中である。約2年後には初期のものを「きぼう」内に設置し、使っていく中で適宜改善していくことを検討中である。多くの方に使っていただき、様々な成果を創出して頂ければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) Juan José Quiroz-Omaña, Murilo Marques Marinho, Kanako Harada, and Mamoru Mitsuishi; Telerobotic System for Experiments in the Kibo, 宇宙科学技術連合講演会(第67回) (2023).
- 2) 山野駿介, 野上大史, D.S.V. Bandara, 荒田純平; 「きぼう」での遠隔実験システム・ロボットツールに関する研究, 宇宙科学技術連合講演会(第67回) (2023).
- 2) 安藤有輝, 野上大史, D.S.V. Bandara, 荒田純平; 「きぼう」での遠隔実験システム・ロボットツールにおけるエクステンジャーに関する研究, 宇宙科学技術連合講演会(第67回) (2023).