

ISS 曝露部搭載型生物培養器 (BioCube Unit) 開発の進捗状況 2022

日出間 純 (東北大・院・生命科学), 愿山 (岡本) 郁 (東北大・院・生命科学), 笠羽 康正 (東北大・院・理), 栗原 聡文 (東北大・院・工), 久米 篤 (九大・院・農), 永井 大樹 (東北大・流体研), 橋本 博文 (JAXA)

Development of Plant-Biosatellite Cube-Unit (Plant-BioCube Unit) Mounted on Exposure Area at ISS Platform for Investigation of Plant Life Support Mechanisms in Space Environment 2022

Jun Hidema, Kaoru Yoshiyama (Okamoto), Yasumasa Kasaba, Yoshinori Kuwahara, Atsushi Kume, Hiroki Nagai, Hirofumi Hashimoto*

*Tohoku Univ., Graduate School of Life Sciences, Sendai, Miyagi 980-8577
E-Mail: jun.hidema.e8@tohoku.ac.jp*

Abstract: This project aims to develop the world's first "BioSatellite Cube (BioCube)" based on the versatile 1U size (10cm x 10cm x 10cm) CubeSat, which can irradiate space radiation including ultraviolet radiation and control life support. The development of BioCube will make it possible to conduct experiments to estimate the effects of the space environment on living organisms, independent of ISS operations. In addition, in the near future, the development of the BioCube will undoubtedly be a pioneering and indispensable research to lay the foundation for space habitation. This research will not only promote the technology of plant cultivation in space, but can also be applied to animal space habitation, space medicine, and basic biology. Furthermore, in terms of the construction of life-support systems, it is also expected to be applied to the fields of space engineering and materials engineering.

Toward its practical application, the BioCube-ISS experiment is currently being planned, in which the atmospheric pressure module portion of this unit (up to 3U in size) will be deployed and recovered on the Kibo Exposed Facility of the ISS platform. The goal of this year's research project is to develop and test the performance of Prototype 2 based on the results of analysis using Prototype 1, which has been produced previously. To date, Prototype 2 has been fabricated and is currently undergoing performance testing.

Key words; Space experiment, Post International space station, Biosatellite Cube (BioCube), Space plant culture unit,

1. はじめに

人類の宇宙開発・利用は、国際宇宙ステーション (ISS) に代表される国際協力活動を経て、発展しつつある。その究極的目標は、宇宙惑星居住科学の確立であり、宇宙環境を利用した多様な理学・工学・生命科学の追求を進め、広範な科学・工学および人間・社会科学との連携で、宇宙での生命と人類の長期居住の確立を目指すものである。その中でも、宇宙生命科学研究は、国際探査を含む人類・生命活動の宇宙展開を目指すうえで、継続的發展が必要不可欠な分野である。しかし、目前には 2 つの問題がある。

(1) ISS の運用が 2030 年で終了することが決定され、2030 年以降の現実的な宇宙実験実施の展望が不明確である。「20-30 年後の活動」を語る上でこの点は関係者が共通に憂慮するところである。宇宙生命科学研究の舞台が月面や gateway に収斂される場合、ISS

以上に高いハードルとなり、宇宙生命科学研究の機会・縮小につながりうる。「現実的な実験機会の確保」は、宇宙惑星居住科学の確立への階梯に欠かせない。

(2) ISS における「活動中の高等生命」を対象にした宇宙生命科学研究は、「ISS 内の実験」に限定されている。過去に行われた曝露部実験では、活動中の高等生命は用いられておらず、乾燥微生物もしくは種子など活動休止状態を対象とするものに留まっている。ISS 船内は宇宙飛行士の生存・活動が保障された環境であり、より厳しい宇宙環境への曝露研究には適用できない。「活動中の高等生命」に対する ISS 船外生命科学実験の確立は、宇宙惑星居住科学の確立への階梯に欠かせない。そこで我々は、新たな実験場として、生命維持機能を装備した宇宙環境曝露実験ユニットとなる生物衛星 (Biosatellite Cube: BioCube) を開発することを目指す。BioCube の開発

は、宇宙生命科学コミュニティに加え、超小型衛星開発、衛星・探査機搭載機器開発等の知識・実績の蓄積を擁する工学・理学の研究者らとの強い連携による横断的学際コミュニティによる推進が必要不可欠であるため、東北大に形成された「宇宙航空研究連携拠点」を中心に実施する。

2. BioCube 試作 2 号機

本研究で最終的な開発を目指す、「BioCube」は、「小型汎用 Unit」10 cm 角 (1U) の超小型人工衛星に搭載可能な標準サイズを採用した生命維持装置を装着したユニットである。小型化・標準化によって、大学規模でも開発を可能とし、また超小型衛星への搭載ペイロード化も容易となるため、宇宙実証・実験機会を飛躍的に増大させることが期待される。しかしながら、この 10 cm 角という非常に小さな BioCube 内に、生命維持が可能なシステムを全て組み込む必要がある。これまでに 2020 年、2021 年フロントローディング研究の支援を受け、BioCube の試作機の作製、ならびに試作機を用いた検証試験、各種センサー、モニタリングシステムの開発を実施してきた。現在、我々はこれまでの試作機を用いた機能検証試験の結果を踏まえ、新たに試作 2 号機を作製した。ここでは試作 2 号機の概要を記す。

(1) BioCube 試作 1 号機から 2 号機への変更点

試作 1 号機では、1 ユニット内に 1 つの生物培養器を組み込み、ユニット毎に独立した BioCube として設計した。ただし、電子制御ユニット (バス部) に関しては 1 ユニット内にまとめ、1 ユニットのバス部で 2 つの生物培養器を含む与圧ユニットを制御する 3 ユニット構造で設計し、試作 1 号機を製造した。BioCube の開発で最もポイントとなる課題は、与圧ユニット内の与圧を生物が生存可能な範囲で長期間保つ技術である。目標としては、1 年間真空の環境下でのリーク率が 60%以内を目指して設計した。実際、真空中でのリーク試験を実施した結果、1 週間で 1000 hPa から 983hPa と約 1%のリークが認められたが、1 年間に換算すると、50%以内のリークを抑える目標を達成する容器の開発に成功した。したがって、構造的には問題ないことを確認したが、与圧容器内での培養容器の設置方法や、ハーネス・コネクタ類の配置などから、与圧ユニットの構造を見直す必要が生じ、構造に修正を加えた。主な変更点は、熱構造解析の結果などから、現在 1 ユニット内に 1 つの生物培養器を組み込む予定であったが、与圧ユニットを 2U サイズとして、2U サイズの与圧ユニット内に 2 つの培養容器を組み込むことに変更した。この変更により、与圧ユニット内の生物培養器以外のスペースを広げることで、ハーネス・コネクタ類を配線するスペース等を確保することにした。

また、生物培養器に関しては、生物容器内に設置す

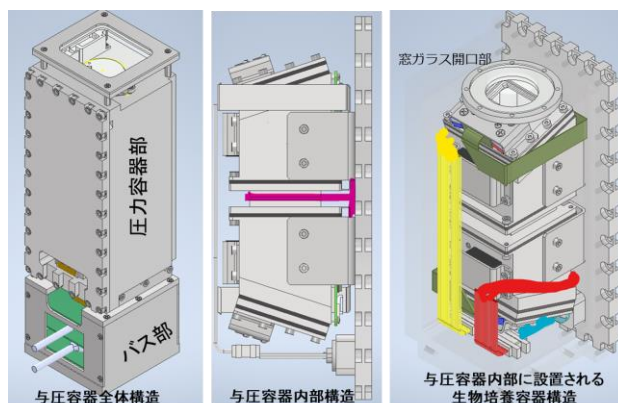


図 1. 3U タイプ BioCube の概要

るセンサー類、外部に設置するモニタリングカメラ、LED ランプ、ポンプの配置や、ハーネスの配線方法、組み立て手順を考慮し、図 2 に示す構造設計に変更した。

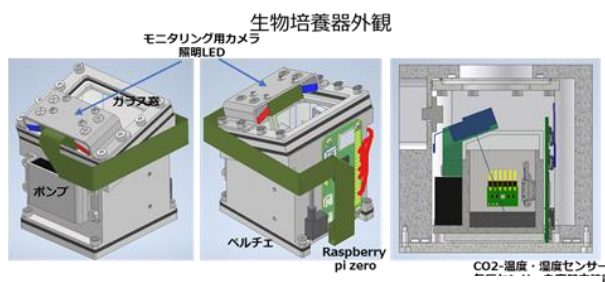


図 2. 生物培養器の概要

(2) 製作した試作 2 号機

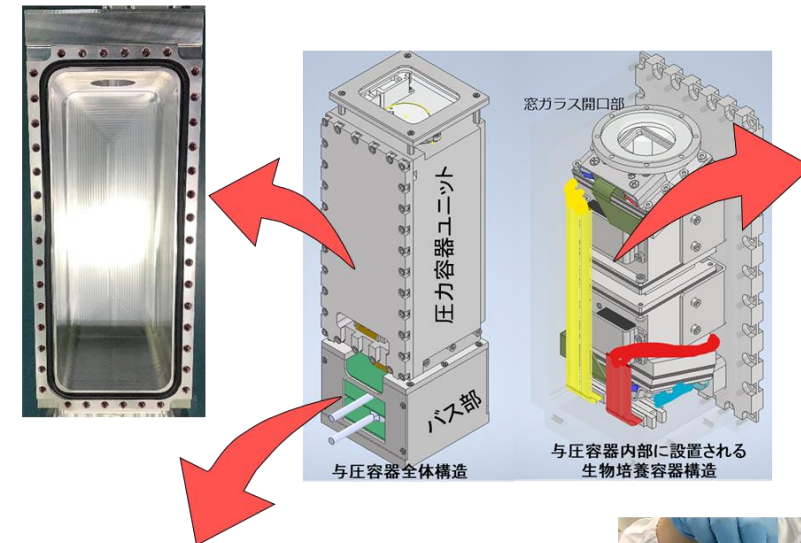
作製した与圧ユニット、電子制御ユニット、および生物培養器を図 3 に示す。与圧ユニットは、株式会社明星電気に、電子制御ユニットおよびプログラミングは、株式会社ソリトンテクノロジーに委託し、また生物培養器は東北大学の製造工場に依頼し作製した。作製した各ユニット、生物培養器を組み立て、現在までに与圧容器内に 2 つの生物培養器を設置し、ハーネス類を配線し、設計通り試作 2 号機の組み立てに成功した。

現在、作製した試作 2 号機を用いて作動試験、熱真空チャンバー内でのリーク試験、温度変化に伴うリーク試験、植物栽培試験等を通して、試作 2 号機のパフォーマンスを実証している。

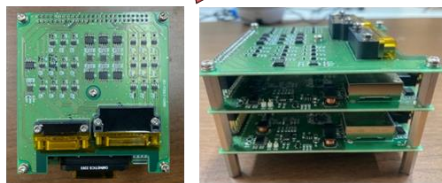
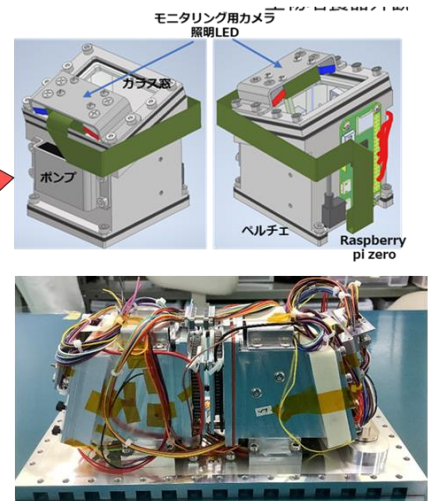
3. 今後の予定

現在実施中の試作 2 号機の作動試験、リーク試験、熱真空試験、植物栽培試験の結果を基に、試作 2 号機のパフォーマンスを評価する予定である。また、修正箇所が生じることも想定されるが、速やかに修正を行い、エンジニアリングモデル、フライトモデル作製の準備を行う。なお、現時点では本 BioCube 開発後、実際に ISS 曝露部に搭載し、宇宙環境での検証試験を

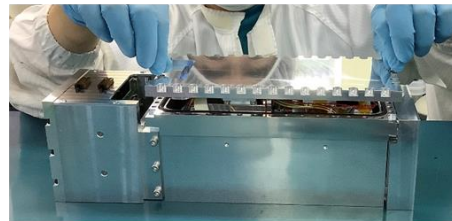
与圧容器ユニット外観・内部



与圧容器ユニット内部に設置する
生物培養容器外観・内部



電気制御ユニット（バス部）



試作2号機組み立ての様子

図3. 作製した試作2号機

実施する計画は未定であるが、引き続き、JAXA と連携し、宇宙環境で検証する機会を得る努力を続ける。

4. 謝辞

試作1号機の設計・開発、モニタリングシステムの開発、センサー類の開発、そして、これらの結果を基に試作2号機の開発に至るまで、2020、2021、2022年度の3年間にわたるフロントローディング研究によるサポートをいただきましたことに、深く感謝申し上げます。おかげさまで、3年間でエンジニアリングモデルに相当する BioCube を作製することができたと考えております。今後は、一日も早くフライトモデルを作製し、宇宙環境での実証実験を実施できるよう開発を遂行していきたいと思っております。

最後に、宇宙環境利用専門委員会の皆様は勿論のこと、JAXA 関係者、そして多くの支援、サポートをいただきました、東北大学・社会にインパクトある研究「宇宙航空研究連携拠点」（拠点長・大林茂）メンバー、Duo プロジェクト支援メンバー、ならびに「スペースモス」メンバーの皆様に感謝いたします。