

# 「宇宙での生命維持機構の解明に向けた、超小型衛星Biosatellite Cubeの開発

## Development of Bioatellite Cube (BioCube) for Investigation of Life Support Mechanisms in Space Environment

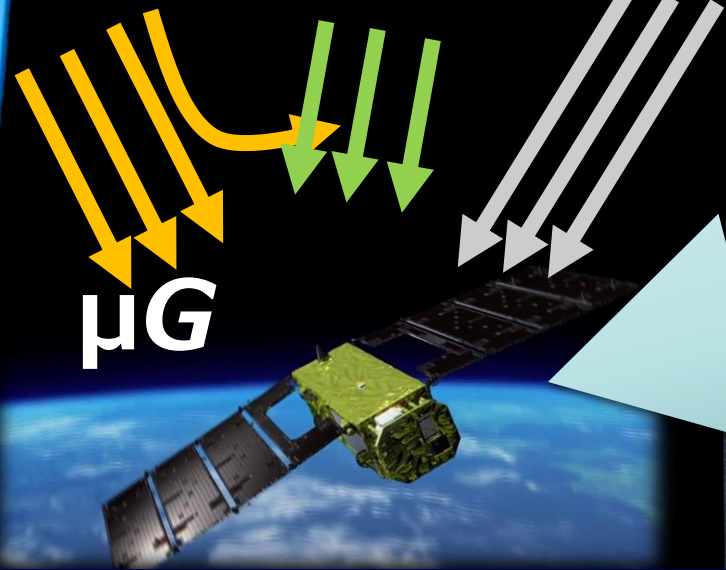


Galactic cosmic rays

Solar particles  
Solar UV

Protons

Heavy particles



**6U CubeSat**

- ・打上時の基本寸法：6U
- ・1U = 10 x 10 x 10cm

**TU BioCube**

- ・暴露環境実験装置
- ・1Uサイズ
- ・標準モジュール化

© AAC Clyde Space

汎用Unit (1U) 宇宙環境暴露  
実験ユニット

**生命科学** ・ **工学** ・ **理学 連携**  
 (宇宙生命科学) (人工衛星工学) (太陽系電波科学)

Microgravity and Space radiation environment

日出間純<sup>1</sup>・笠羽康正<sup>2</sup>・柴原聡文<sup>3</sup>・愿山郁<sup>1</sup>・永井大樹<sup>3</sup>・坂野井健<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東北大・院・生命科学、<sup>2</sup>東北大・院・理、<sup>3</sup>東北大・院・工

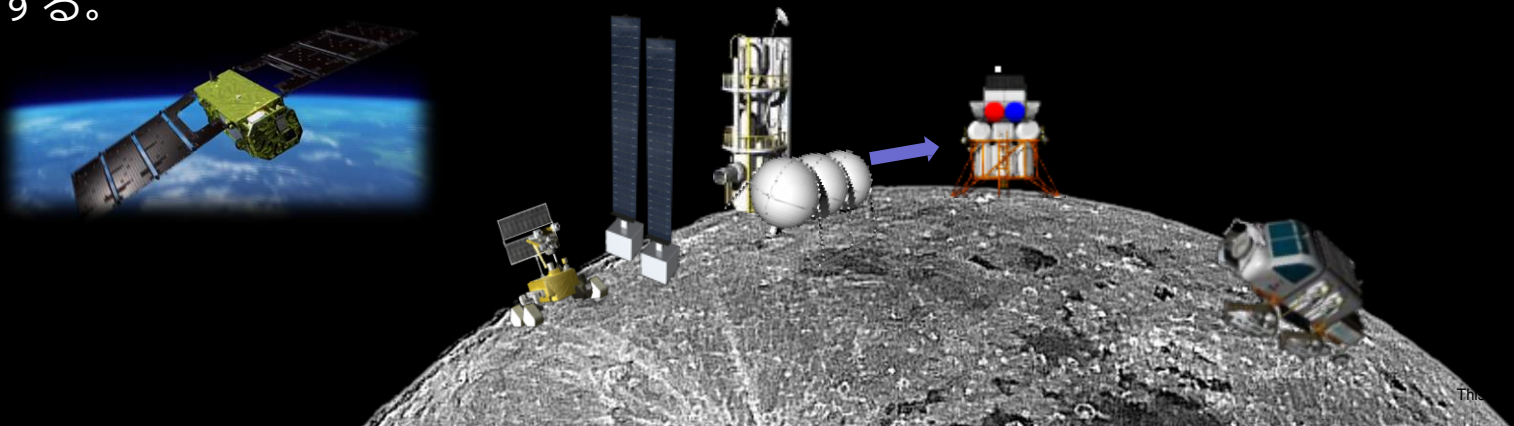


# 要旨

**宇宙生命科学実験は**、国際宇宙探査を含む人類・地球生命活動の将来宇宙展開を確実に支える重要な活動である。しかし国際宇宙ステーションの現利用方式が終了するとされる2024年度以降の展望は不明確で、関係者の憂慮するところである。

**ポストISS時代の低コストインフラ**として、**東北大では**「宇宙での生命維持機構解明に向けた超小型宇宙生命科学実験装置(BioCube)開発」に着手している。本装置は、これまでの宇宙生命実験、小型・超小型衛星開発、衛星/探査機搭載機器開発の融合で推進し、**与圧部を有する4~6U程度の超小型フリーフライヤーを宇宙環境曝露実験の共通インフラ**として供する。既に東北大新プログラム「新領域創成のための挑戦研究デュオ」の1つとして採択され、進行中である。また開発にあたっては、宇宙環境利用委員会での議論にも供し、use casesの検討等を国内宇宙生命科学実験メンバーと進めている。

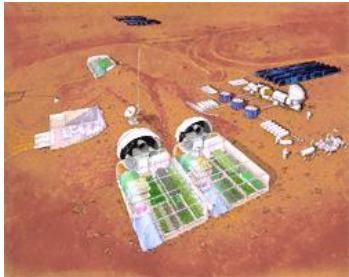
本装置は、「**閉鎖型の陸上生命維持システム**」を有する**大気モジュール部** (Max:3Uサイズ) で構成される。現在、**本ユニットを国際宇宙ステーション「きぼう」曝露部への展開**し (i-Seep事業)、回収実験を実施することを想定している。これにより、「閉鎖型の陸上生命維持システム」として**初の宇宙実証**を行うと共に、大気圏外の自然太陽光環境下における初の陸上植物 (コケ植物) を対象とした長期育成実験(max: 6ヶ月)を行う。2023年度にISS曝露部での培養実験を実施し、2024年度 (現ISS利用スキーム終了時点) の完了を目指して遂行している。本シンポジウムでは、現在までの進捗状況を報告する。



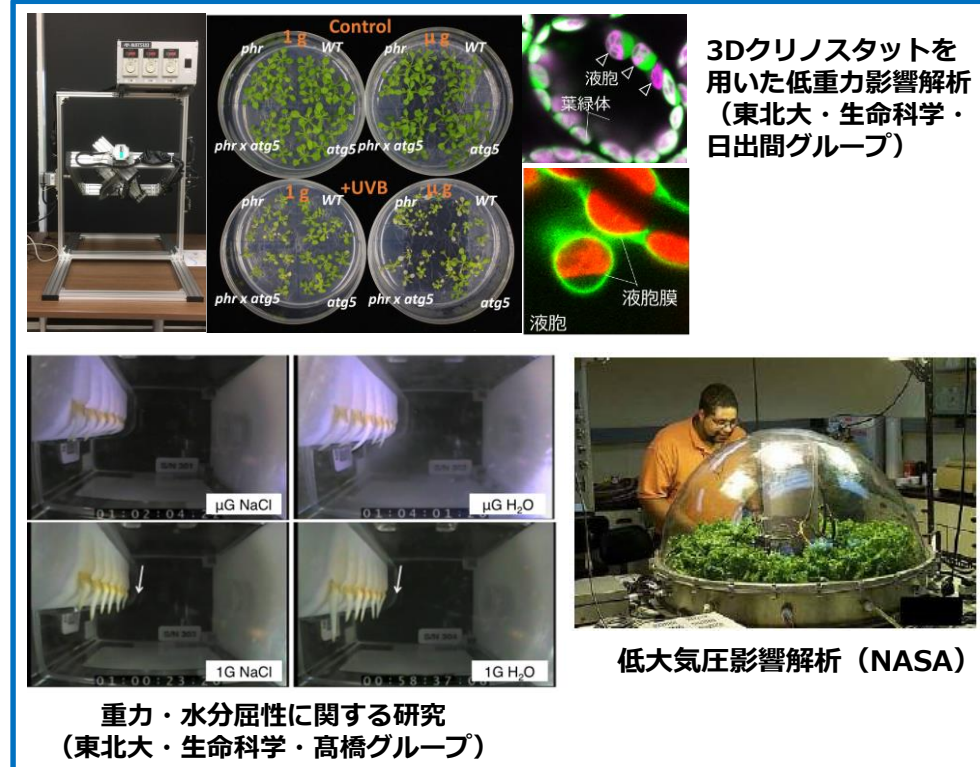
## 生命生存の基本である衣食住の確保

- 1G環境で適応進化してきた生物は低重力環境で長期生存可能か？
- 低重力に加え、高宇宙放射線（含高紫外線）・低大気圧環境で長期生存可能か？
- 食料・酸素・水等の生存に必須な物資をどのように確保するのか？

### 植物の利用に注目



宇宙農業（植物栽培）計画 ©NASA



3Dクリノスタットを用いた低重力影響解析  
(東北大・生命科学・日出間グループ)

低大気圧影響解析 (NASA)

重力・水分屈性に関する研究  
(東北大・生命科学・高橋グループ)

### 宇宙工学・材料工学における課題

- ✓ 宇宙環境に耐え得る資材・材料の開発
- ✓ 植物栽培システム（温度・気相・水循環）の開発

厳しい宇宙環境での植物栽培技術確立の必要性



これまでの宇宙生命科学実験は、与圧環境が確保されたISS内で実施

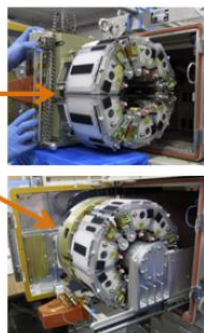


宇宙飛行士による軌道上実験

遠心機付き  
生物実験装置



微小重力区画

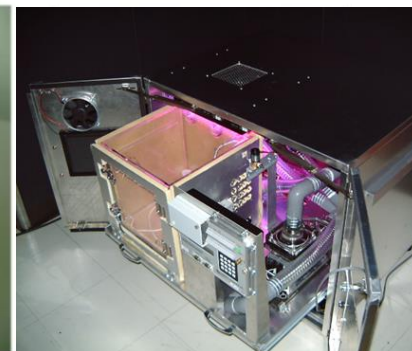


人工重力区画  
(遠心機)

微小重力影響を解析するための植物培養器



ISS内の植物培養器(10 cm x 20 cm x 30 cm)



微小重力・高宇宙放射線（含高紫外線）などの複合環境影響を解析するためには、**船外実験**が必要不可欠



船外実験プラットフォーム（曝露部）



生きた生物を用いた実験は不可



生命維持機能を備えた生物曝露  
装置の開発が不可欠

宇宙環境での生命維持装置開発の鍵

- 与圧部の機械的・機構的な設計
- 温度コントロール技術の開発
- ユニット内への太陽光透過窓（ガラスフィルター）の設計

➤ 国際宇宙ステーション（2025年運用終了予定）に頼らない新たな実験モジュールの開発

宇宙実験の機会が飛躍的に増大する新たな実験モジュールの開発

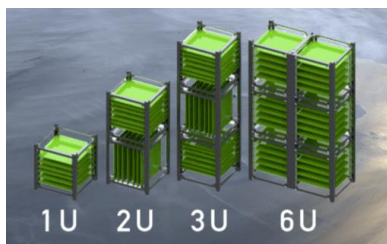
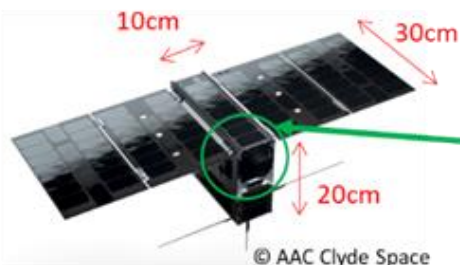
### 3 汎用型「超小型生物衛星Biosatellite Cube」開発への挑戦

#### 汎用Unit (1U)を単位とする**生命維持装置**を備えた宇宙環境生物曝露実験ユニット

- 超小型衛星は、これまでに気象・通信・放送・測位衛星として幅広く利用
- **1U**(国際標準)は、**本学開発の超小型衛星**や世界の超小型衛星への搭載が容易に可能
- 拡張性が高く、多数の比較実験、検証実験が可能
- 植物のみならず、生物全般の曝露実験機会の極大化

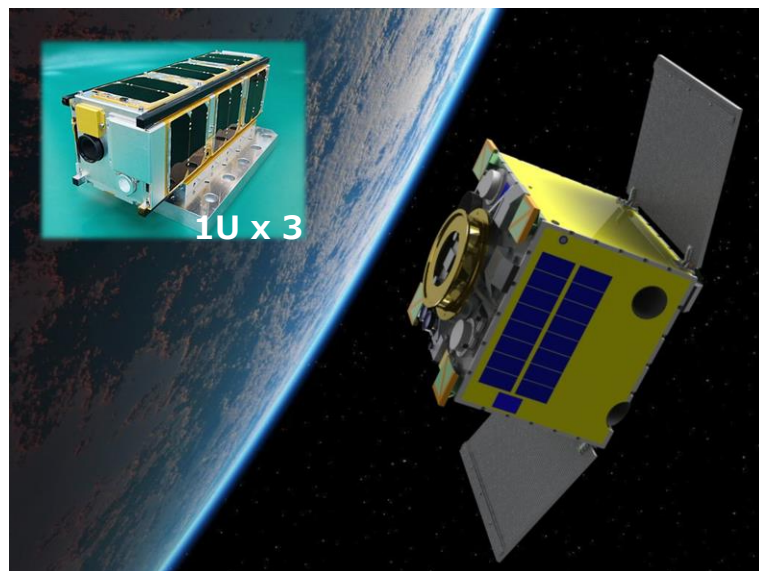
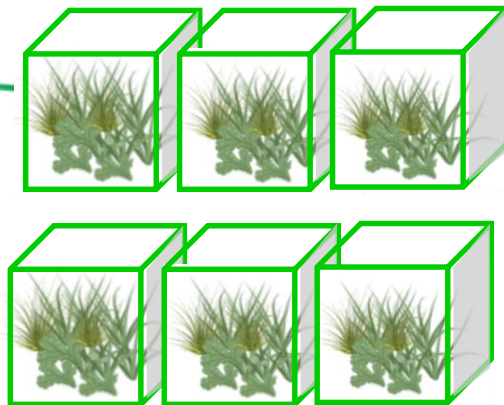
#### 6U CubeSat

- ・ 打上時の基本寸法：6U
- ・ 1U = 10 x 10 x 10cm



#### TU BioCube

- ・ 曝露環境実験装置
- ・ 1Uサイズ
- ・ 標準モジュール化



宇宙実証・実験の機会の飛躍的増大を実現

生物曝露装置開発の課題を克服し、宇宙開発の新たなステージへ



工学研究科

宇宙機・宇宙  
ロボット・小型  
衛星など宇宙探  
査に必要な技術  
開発



<研究協力者>

吉田 和哉 教授  
榎原 幹十郎 教授

<研究協力者>

大林 茂 教授  
永井 大樹 教授

流体科学研究所

人工衛星工学

<研究責任者>

栞原 聡文 准教授

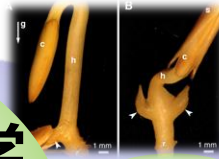
超小型衛星開発  
研究分野

宇宙生命科学

<研究責任者>

日出間 純 准教授

宇宙環境生物適応科学  
研究分野

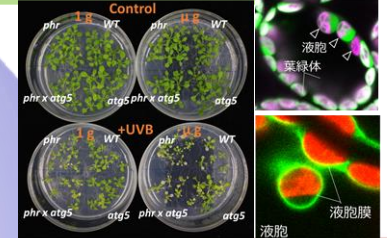


<研究協力者>

高橋 秀幸 名誉教授  
東谷 篤志 教授

生命科学研究科

微小重力・高放射線複合  
影響研究・ISSを利用  
した宇宙実験



連携 融合 太陽系環境科学

<研究責任者>

笠羽 康正 教授

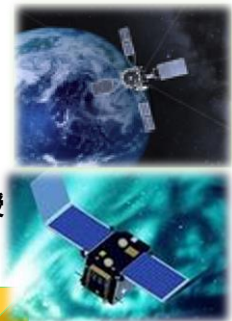
衛星搭載観測装置開発  
研究分野

<研究協力者>

小原 隆弘 教授  
坂野井 健 准教授  
他

理学研究科

様々な日欧の宇宙  
探査ミッションに  
携り、衛星搭載観  
測装置を開発



TOHOKU  
UNIVERSITY

社会にインパクトある研究 宇宙航空研究連携拠点「宇宙を拓く」

拠点長・大林 茂 教授 (流体研)

宇宙航空科学分野を日本が世界を先導

# 5 汎用型「TU BioCube」の概要と開発計画

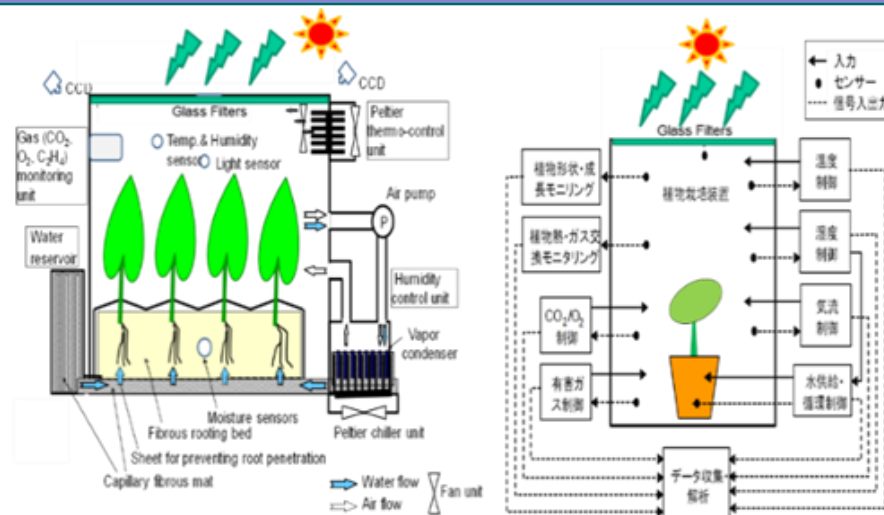
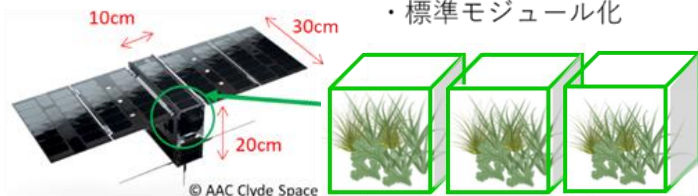
## 汎用Unit (1U)を単位とする 宇宙環境暴露環境実験ユニット

### 6U CubeSat

- ・ 打上時の基本寸法：6U
- ・ 1U = 10 x 10 x 10cm

### TU BioCube

- ・ 暴露環境実験装置
- ・ 1Uサイズ
- ・ 標準モジュール化



植物栽培ユニット概要

## 宇宙環境で1か月、3か月、6か月育成可能な性能を目指す

### 鍵となる課題

- 1UサイズTU BioCubeの構造設計とその開発
  - ・ 与圧部の機械的・機構的な設計
  - ・ 温度コントロール技術の開発
  - ・ ユニット内への太陽光透過窓（ガラスフィルター）の設計
  - ・ 姿勢制御装置
- 環境センサー・モニターの小型化
  - ・ 計測を行う小型測定器の開発
  - ・ 通信・データ処理装置
- 模擬宇宙環境での栽培試験・生育適応条件の検討
- 宇宙機・搭載機器に必須の各種環境試験の実施と生命維持能力の評価試験
  - ・ 搭載物の振動耐性
  - ・ クリノスタット、紫外線・放射線照射装置を利用した生命維持能力評価

2023年度までに本ユニットの技術的実証性の確立



# 6 なぜコケなのか？：地上に初めて進出した基部陸上植物

イネ  
*Oryza sativa*

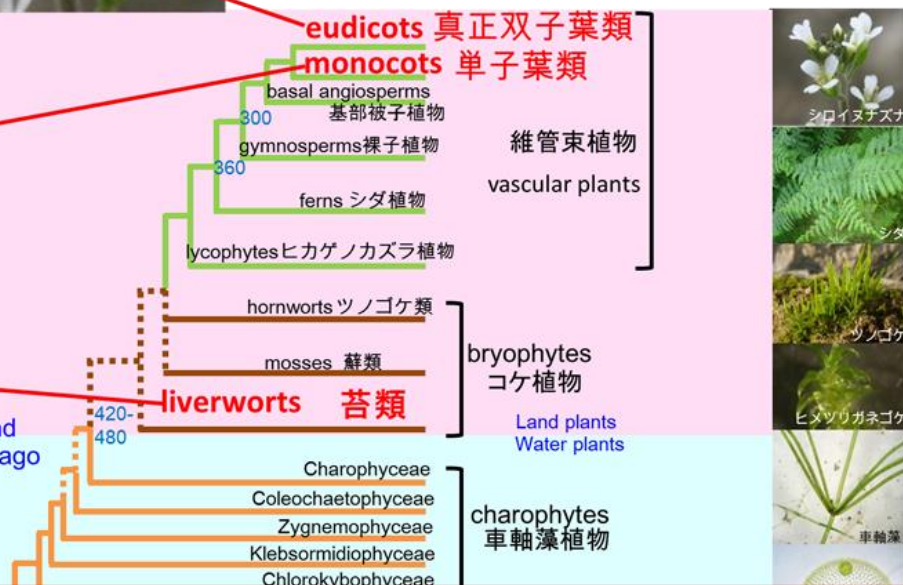


シロイヌナズナ  
*Arabidopsis thaliana*



ゼニゴケ  
*Marchantia polymorpha L.*

The first plant life on land  
420-480 million years ago

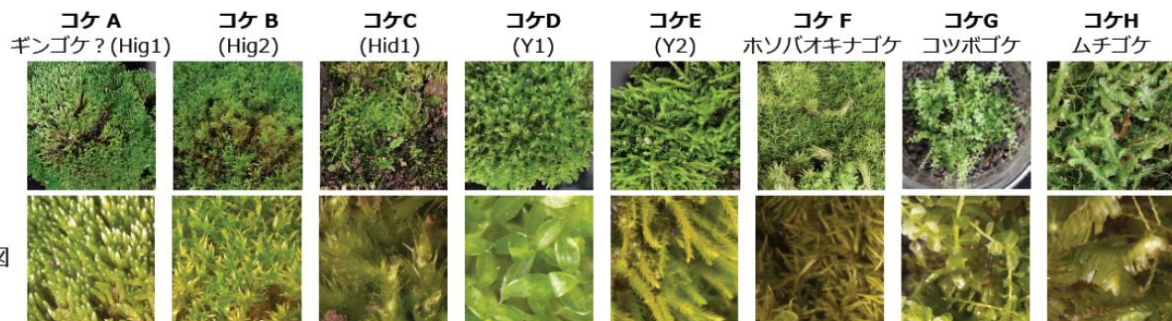


植物は低温には強いが、高温  
(40℃以上) に弱い



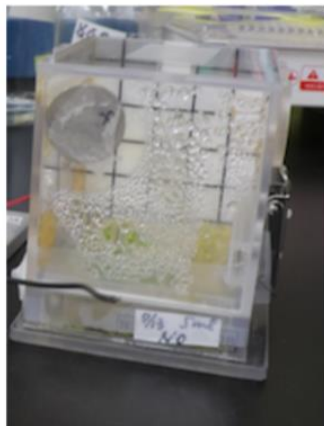
培養器内の温度：30℃以下の  
制御を目指す

拡大図





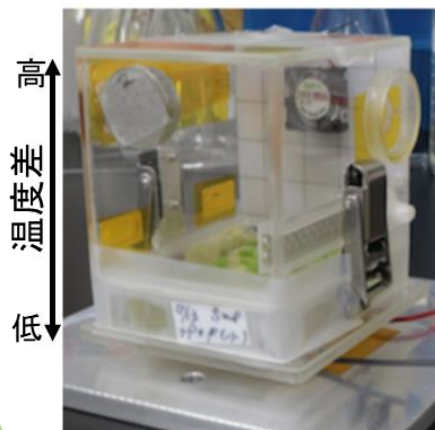
ペルチェもファンも無し



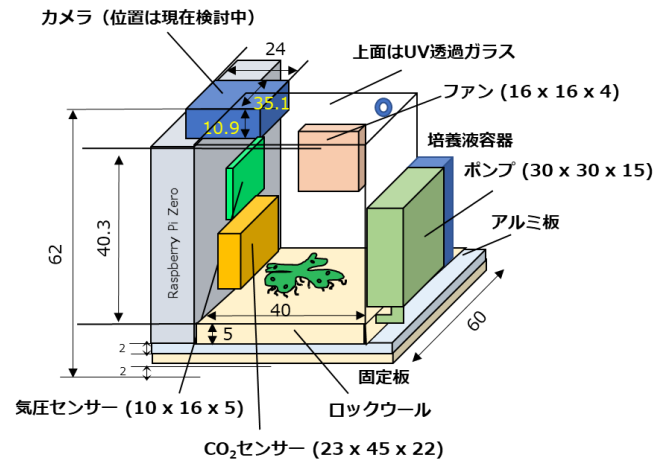
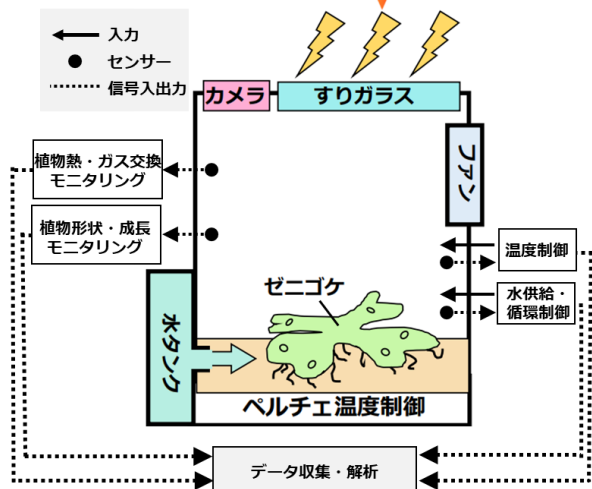
培養容器内に水滴！



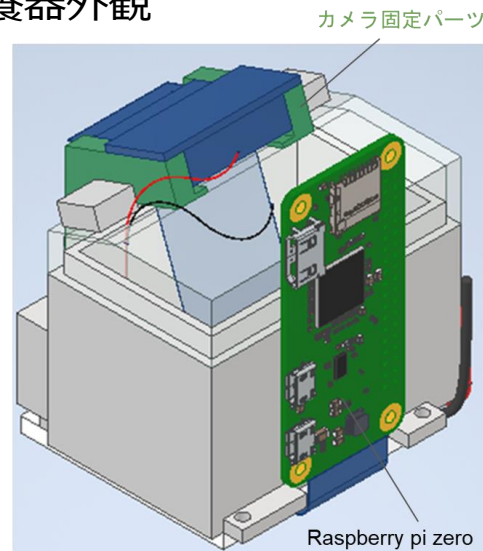
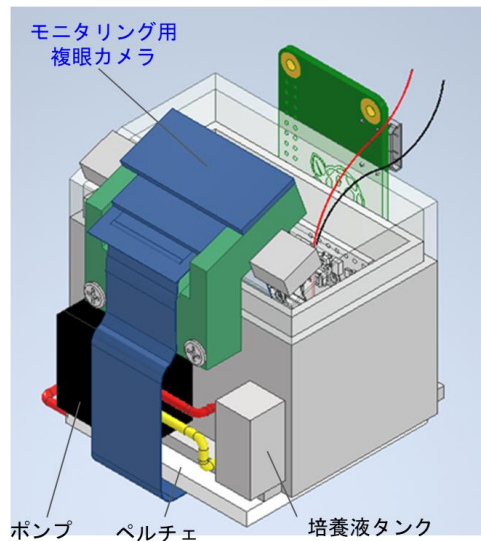
+ペルチェ+ファン (Small)



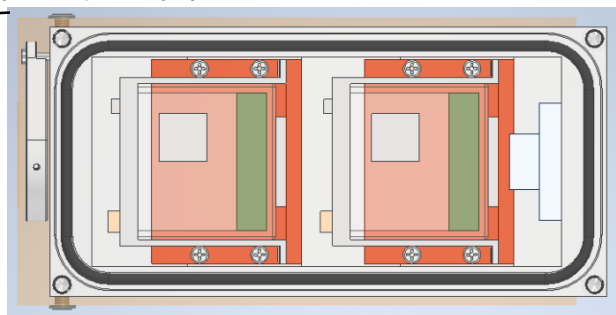
## 生物培養器概要



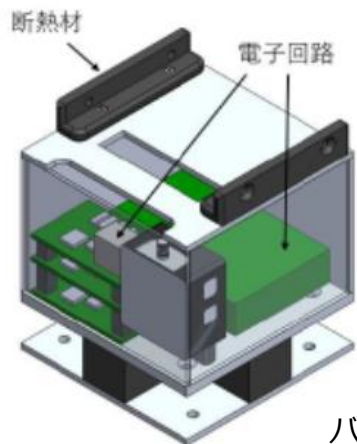
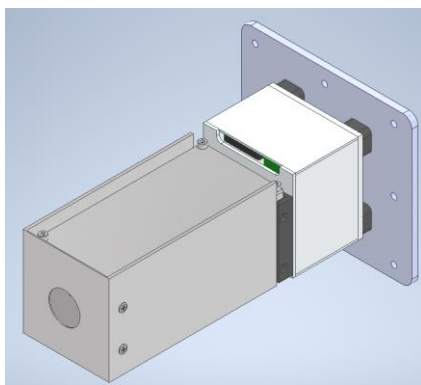
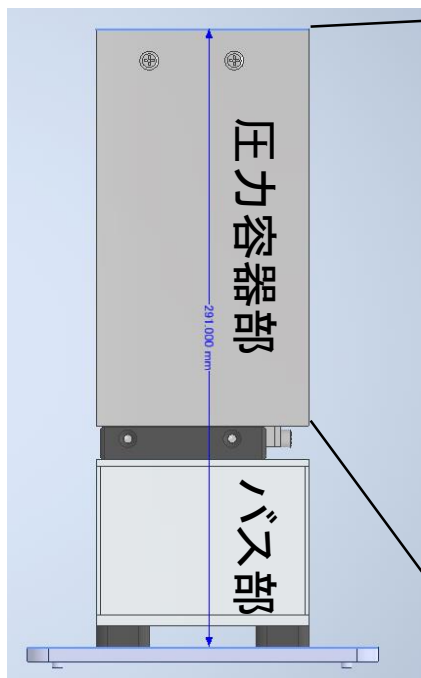
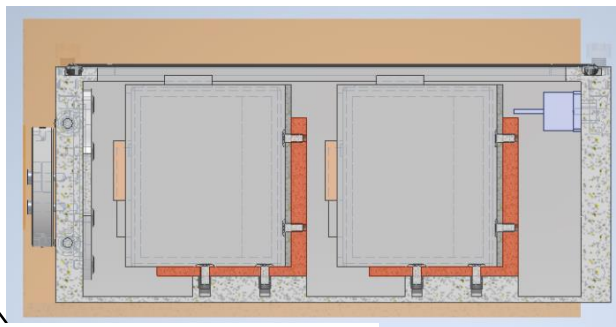
## 生物培養器外観



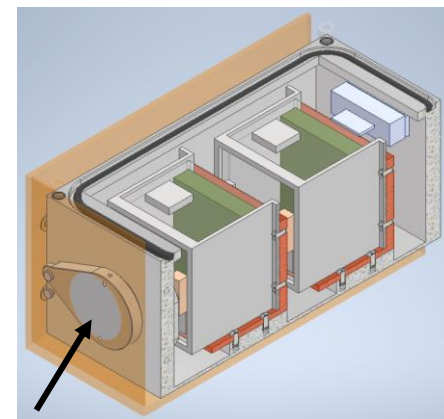
上面から見た図



側面から見た図

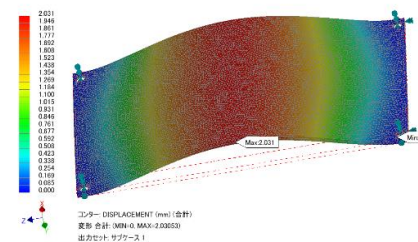


バス部



窓ガラス開口部

圧力容器部CAD上質量 : 2.465 kg



### 今後の課題

- BioCube材料特性および軌道上熱環境から熱設計を実施し、構造のさらなる改善
- 現在、BBMを作製し、設計の実現性を確認中
- 電気設計
- 閉鎖系生物培養試作器を用いた、生命実験の地上検証実験



# 10 今後の実施計画

2019年度

BioCube概念設計の開始

上面から見た図

2020年度

基本設計・BBMによる要素試験

製造担当メーカーとの交渉・契約

2021年度

EM + STMの製造 (製造メーカー担当)

動作検証・環境試験実施 (大学担当)

PFM設計への反映・ソフトウェア開発 (大学担当)

2022年度

PFM製造 (製造メーカー担当)

動作検証・環境試験実施 (製造メーカー・大学共同)

2023年度

PMFの打ち上げ・曝露実験開始

(2024年度)

植物サンプルの回収・生物影響評価試験の実施

協力研究者へのサンプルシェア、共同解析

次期実験への着手

主要要素技術開発

- Cube基本構造
- 与圧制御系
- 温度制御系
- 栄養分供給システム
- モニタリング・センサー系
- 生物実験系

- BioCube第2号機の開発
- BioCubeの衛星への搭載
- 他の生物宇宙実験利用への応用

# 共同研究者・協力者

社会にインパクトある研究 宇宙航空研究連携拠点「宇宙を拓く」

拠点長・大林 茂 教授（流体研）

久米 篤 （九州大学・農学院）

藤田知道 （北海道大学・理学）

小林稜平・葛野諒・田中大河・渋谷 知正・  
永田和也・中村悠斗・中尾太樹・他

（東北大学・工学・理学 大学院生・学部生）

東北大学研究プロジェクト 新領域創成のための挑戦研究デュオ  
JAXA 2020フロントローディング研究



新領域創成のための  
挑戦研究デュオ  
Frontier Research in Duo (FRiD)

