

# SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2022年8月号 No.8

## 7月の活動

### 鹿島建設との共同記者会見の開催

人類は現在、宇宙空間に「滞在」する時代から、月や火星で「生活」する時代へと移行しようとしています。その実現には、どのような環境や施設が必要となるでしょうか。また、月や火星において、衣食住を可能にし、社会システムを構築するためには、どのような観点や技術が重要になるでしょうか。京都大学（大学院総合生存学館 SIC 有人宇宙学研究センター）と鹿島建設株式会社（社長：天野裕正）は、大きく3つの構想を掲げ、これらの実現に向けた研究に着手することで合意いたしました。SIC 有人宇宙学研究センターと鹿島建設株式会社は、未来社会における人類の他惑星への移住を想定して、大きく3つの構想を掲げ、これらの実現に向けた研究に着手することで合意いたしました。

- i. 月・火星での生活基盤となる人工重力居住施設「ルナグラス®・マーズグラス®」
- ii. 宇宙に縮小生態系を移転するためのコンセプト「コアバイオーム」
- iii. 惑星間を移動する人工重力交通システム「ヘキサトラック」

本研究を通じて、“1G は人類のアイデンティティ”との認識の下、人類の宇宙生活を支える「ルナグラス・マーズグラス」、「コアバイオーム」、「ヘキサトラック」による人工重力ネットワークを提案してゆきます。共同研究には、SIC 有人宇宙学研究センターからは、山敷庸亮教授(センター長)、大野琢也 SIC 特任准教授、山崎直子特任准教授および、積山薫総合生存学館長（ソーシャルイノベーションセンター長）が参加し、鹿島建設株式会社 福田孝晴専務執行役員が参加しました。

詳しくは以下のリンクをご覧ください。

[https://space.innovationkyoto.org/2022/07/06/coretechnology\\_kyoto\\_kajima/](https://space.innovationkyoto.org/2022/07/06/coretechnology_kyoto_kajima/)

(山敷庸亮 記)

## 木造人工衛星及び樹木育成学生チームへ 新メンバーの参加

木造人工衛星及び樹木育成学生チームに新メンバーが加わり、心機一転、より活発な活動を展開していく準備が整った。木造人工衛星学生チームには10名、樹木育成学生チームには7名の新メンバーが入った。木造人工衛星学生チーム新メンバーは、工学部5名、理学部4名、医学部1名と多岐にわたっている。樹木育成学生チーム新メンバーは、理学部が3名、工学部が3名、農学部が1名である。7月3日に木造人工衛星学生チームの新メンバーが初めて全員集まり、オリエンテーションが行

われ、木造人工衛星の概要を学んだ。秋までに所属の各班で基礎トレーニングを行う予定である。樹木育成学生チームの新メンバーは6月27日と28日にオリエンテーションに参加した。7月に実施された0.2気圧下のポプラ育成実験に参加する強者もすでに現れている。新メンバーの今後の活躍を心より期待している。(土井隆雄 記)



木造人工衛星学生チーム新メンバー

## 朝日新聞社主催

### 『中高生のためのウェビナー 宇宙に住む未来に向けて』

#### 登壇報告

7月23日(土)に朝日新聞社主催『中高生のためのウェビナー 宇宙に住む未来に向けて』において、講演並びにパネルディスカッションへの登壇を行いました。本イベントは中高生が宇宙に関する仕事に携わるキャリアを考えるヒントを与えることを目的にしており、登壇者は朝日新聞社本社から講演を行い、その様子がオンライン発信される方式により開催されました。中高生向けのイベントでしたが、当日は約900人の幼児から社会人までの幅広い世代の参加者がオンラインで視聴しました。

三木は『人間はどこまで宇宙人か? - 宇宙生物学から有人宇宙を見る -』と題した、宇宙生物学の概要と現在取り組んでいる成層圏実験の解説、科学者の仕事についての講演を行いました。講演とパネルディスカッションを通して、4人の登壇者に対しておおよそ1000件の質問が寄せられ、活発な意見交換が行われました。(三木健司 記)



三木健司の講演スライドの一部

## 8月の予定の紹介

### 学ント住友林業 鹿島建設 present 火星に住もう！

この講座では、SIC 有人宇宙学研究センターに所属する講師が、6回にわたって、人類が宇宙で快適に暮らせる可能性や実現に向けた最新の研究成果について紹介します。第1回は土井隆雄氏による「有人宇宙活動」、第2回は山敷庸亮氏による「火星に海を～宇宙移住のための海をつくろう～」、第3回は三木健司氏による「宇宙基地を想定した宇宙人材育成」、第4回は村田功二氏による「宇宙木材プロジェクト（住友林業との共同研究）」が開講されました。

第5回以降の申込先：大阪よみうり文化センター <https://www.oybc.co.jp/mananto/>

| 回 | 日時    | 講義タイトル 講師 所属   |
|---|-------|--|
| 5 | 8月21日 | 「宇宙で暮らす～人工重力施設研究～」<br>大野琢也 鹿島建設関西支店副部長、SIC 有人宇宙学研究センター   |
| 6 | 9月18日 | 「ロケットで宇宙旅行に出かけよう」<br>稲谷芳文 宇宙航空研究開発機構名誉教授、SIC 有人宇宙学研究センター |

### 現代の教養講座 宇宙移住の現在・未来について

現代の教養講座 宇宙移住の現在・未来についてが8月にあと2回開催されます。なお、すでに今年度の一般申し込みは終わっていますが、聴講したい学生は、以下にメールアドレスにお問い合わせください。 [e-mail: envhazards@gsais.kyoto-u.ac.jp](mailto:envhazards@gsais.kyoto-u.ac.jp)

タイトル<コアバイオームコンセプト>「宇宙移住の現在・未来について」資料 URL:

[https://www.consortium.or.jp/wpcontent/uploads/page/39230/recurrent2022\\_02.pdf](https://www.consortium.or.jp/wpcontent/uploads/page/39230/recurrent2022_02.pdf)

| 回 | 日時    | 講義タイトル 講師 所属  |
|---|-------|---|
| 1 | 8月4日  | 「天体活動に適用される国際宇宙法」<br>青木節子 慶應義塾大学大学院 法務研究科 教授<br>現行の国際宇宙法は一部の軍備管理規定を除いて、天体上とそれ以外の宇宙空間部分の活動における法にほとんど相違はみられない。その点を留意し、天体での有人・無人の宇宙活動を規律する法制度を検討する。「宇宙物体」をめぐる管轄権・登録制度、宇宙資源採取の法、宇宙での人権問題などを扱う。  |
| 2 | 8月18日 | 「宇宙移住の実現に向けて」<br>山敷庸亮 京都大学大学院 総合生存学館教授専攻長 SIC 有人宇宙学研究センター長<br>「コアバイオーム」「コアテクノロジー」から「コアソサエティ」につながる宇宙移住構想を学んできました。NASAをはじめ各国の宇宙機関や民間で様々な構想が進んでおりますが、それらの構想と我々の構想の共通点と違い、構想を実現するための技術的・経済的ハードルを考えるとともに、我々がいつごろ宇宙社会を構築できるようになるか考えてゆきます。 |

# LignoSat 紹介

## 木造人工衛星学生開発チーム

### CDH 班 菊川祐樹

8 回目となる LignoSat 紹介、今回は CDH 班の活動を紹介します。今回は現在進行中の、基板単評価と新規メンバーの紹介について説明する。

今回 7 月から CDH に新規メンバーとして理学部工学部から合計 3 人が加わり、合計 5 人での開発体制となった。夏休みに CDH としての基本的知識を学習してもらい、正式な担当分野を 9 月に確定後、11 月の EM 試験で恒温槽試験などを早速担当してもらう予定である。

続いて現在行っている基板単評価の進捗報告です。基板単評価とは、基板そのものに異常がないかを基板間通信を行う前に確認する作業で、図 1 のような単評価基板を用いる。単基板評価の対象は LignoSat において FAB（電圧温度データ担当）、OBC/EPS 基板（衛星全データ担当）、COM 基板（データ通信担当）の 3 つである。現在 FAB は異常が見られ基板製作会社に再確認中、OBC/EPS 基板は完了、COM 基板も CW 信号の送信に成功するなど順調に進んでいる。特に FAB に異常が見られたのを事前に発見できたのはまさしく単基板評価の成果であろう。今後も COM 基板を含め進めていく。

また OBC/EPS 基板や COM 基板の単評価に関しては、実際に扱う基板と同じものを取り扱う経験を通して、衛星の仕様や制御を知識だけでなく経験によって習得でき、実験から理論を修正するなど衛星開発に本格的に踏み込んだ段階に入った。図 2 は実際の COM 基板の単評価の様子である。

さらに単評価の先にある相互評価にも向けて準備を進めており、図 3 の相互評価基板も納品され基板単評価をすでに完了している。今後の EM 試験に向け今後も尽力する所存である（菊川祐樹 記）

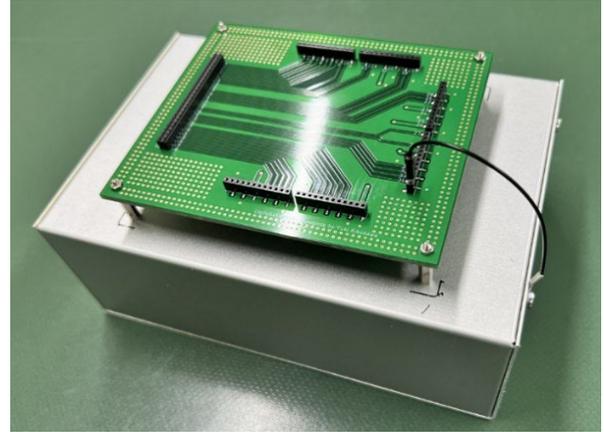


図 1 単評価基板

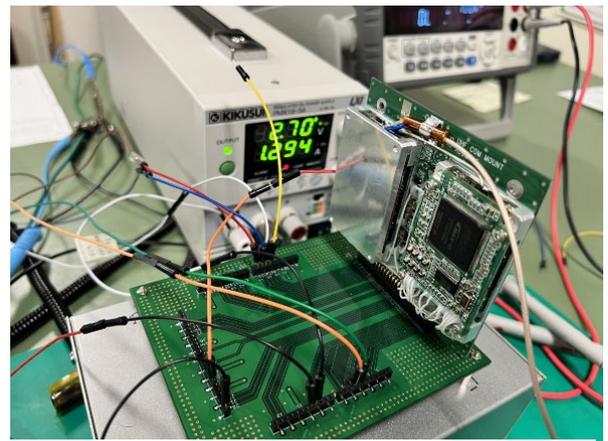


図 2 COM 基板単評価の様子

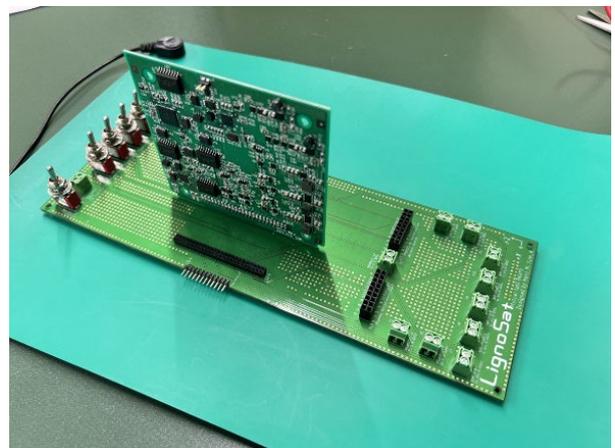


図 3 相互評価基板

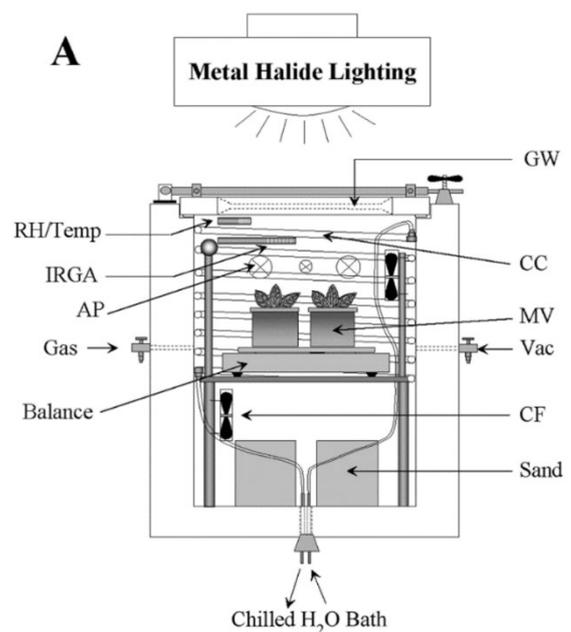
# 低圧下樹木育成プロジェクト紹介

## 樹木育成学生チーム

前回紹介した低圧下植物育成に関連する原著論文は、減圧状態でホウレンソウを栽培し、曝露時間ごとに成長速度等のパラメータを常圧で栽培した個体と比較したもので、0.5 気圧での正常な生育可能性、低圧の影響による一時的な成長率の向上（その後常圧と同程度の成長率に順化）、低圧栽培における CO<sub>2</sub> 施肥の有効性等を示しました。

今回紹介するのは Richards, J.T., Corey, K.A., Pau, A.-L., Ferl, P.J., Wheeler, R.M. and Schuerger, A.C. (2006) Exposure of Arabidopsis thaliana to hypobaric environment: Implications for Low-pressure bioregenerative life support systems for human exploration missions and terraforming on Mars (シロイヌナズナの低圧環境への暴露；火星での人間の探査ミッションとテラフォーミングのための低圧生物再生生命維持システムへの影響) . Astobiology 6:851-866 です。0.1 気圧までの低圧におけるシロイヌナズナの同化率および蒸散量を正確に測定したうえで、それらへの低圧及び低酸素それぞれの影響を究明することを試みたもので、実験に使用している 45 L の密閉低圧オープンは 2.5 kPa まで非常に低いリーク率 (0.1 気圧で 0.5% 以下/h) で維持可能です。シロイヌナズナの成熟個体を密閉して全圧を 101, 75, 50, 25, 10 kPa ( $\pm 0.1\%$ )、CO<sub>2</sub> 分圧を 0.1 kPa とし、曝露 1 時間後及び 16 時間後 (順化後) に外部からの CO<sub>2</sub> 供給を止め、それ以上低下しなくなるまで光合成による CO<sub>2</sub> 濃度低下の様子を記録することで同化速度を、同時にその際の重量損失から純蒸散量を、また、暗期に 101, 50, 10 kPa で CO<sub>2</sub> 制御を停止させて呼吸による CO<sub>2</sub> 濃度上昇の様子を記録することで暗期呼吸を、それぞれ測定しています。更に①1 気圧での正常酸素状態、②10 kPa での低酸素状態 (2.1 kPa O<sub>2</sub>)、③1 気圧における低酸素状態 (2.1 kPa O<sub>2</sub>) に設定し同様の実験を行うことで、同化率や蒸散量の変化が低酸素のみの影響なのか低酸素と低圧の交互作用なのかを明らかにしようとしています。

結果としてはまず、実験間での CO<sub>2</sub> 同化率の違いは低酸素によるもので低圧によるものではないことが示されました。そのうえで、CO<sub>2</sub> 分圧がある程度低い状態では酸素分圧が低いほど同化率が大きく、CO<sub>2</sub> 分圧が非制限的な (光合成の律速とならない) 程度に高い場合においては同化率の酸素分圧による差はありませんでした。特に CO<sub>2</sub> 分圧が低い場合に酸素分圧下げることによって酸化よりカルボキシル化が優先され同化速度が増加したことが考えられます。また、この相対差は 16 時間の順化期間ののちには減少しており、気孔開度および気孔コンダクタンスの低下による拡散速度増大の相殺など植物側で起きた何らかの順応によるものと考察されています。その他蒸発散、暗呼吸についてはともに全圧が低いほど大きい結果となりましたが、これらは他の研究によるレタスや小麦での報告の傾向と必ずしも一致せず、種間



での気体交換・利用特性に違いがある可能性が示唆されています。

有人宇宙開発のための植物資源運搬及び作物生産用モジュール構築コスト削減、という低圧下作物栽培研究の動機については前回も言及しました。この研究も NASA の火星探査計画における有人探査を念頭に置いたもので、研究の目的として①将来の火星表面実験の際に植物生物学的な低圧実験を行うための前準備 ②有人探査用の生物再生生命補助システム設計のため ③火星表面のテラフォーミングへの長期的努力の足掛かり を挙げています。低圧植物研究と一言でまとめてしまえることではありますが、実際に上のような応用の場面を考えると（この研究のような例を含め）植物種ごと・条件ごとに影響を丁寧に調査し蓄積していく必要があるのかなと思います。（遠藤早緒里 記）

## 研究紹介

### 大気生物学と宇宙生物学にエアロゾル物理の観点から挑戦する

#### 三木健司 総合生存学館特定助教

私たちは現在、花粉や孢子、微生物などの生物由来の粒子である生物粒子について研究する学問分野である大気生物学(aerobiology)に取り組んでおります。中でも特に、エアロゾル物理学の理論を生物粒子へ適用することで、生物粒子の飛散動態を解析することを専門としています。今回はこれらの研究の中でも、現在研究代表者として重点的に取り組んでいる、成層圏生物粒子の研究についてご紹介いたします。

#### 大気生物学と宇宙生物学が交錯する成層圏

宇宙生物学の分野で最も重要な仮説の一つに、Panspermia 説というものがあります。この説は、地球の生物の元(例えば原始的な DNA など)は宇宙のどこかで生まれて、その後この生物の繁栄にとって都合の良い地球にたどり着くことで現在の地球上での繁栄を見せているのではないかとする説です。この Panspermia 説は一見すると“とんでも理論”に見え、今のところあまり広くは認められていません。しかし、その反対の現象、つまり、地球ですでに十分繁栄を見せている微生物などが宇宙の別の星に移動し、その星で独自の生態系を築いているという可能性は十分に議論する必要があります。このいわば『逆 Panspermia』が引き起こされるにはいくつかの条件が必要です。一つは微生物粒子を宇宙空間まで放出させるような十分な運動量を与える現象が起きることです。今のところ、例えば恐竜の絶滅を引き起こした隕石の衝突などがこれに当たるのではないかとされています。もう一つは、宇宙空間や他の惑星の環境でも活性を保つか、繁殖が可能であることです。例え宇宙空間を漂い他の惑星に到着しても、死んでしまっている逆 Panspermia は起こりません。以上 2 つの条件を満たしたとき、地球で生まれた生命は他の惑星においても繁殖している可能性が出てくるわけですが、このような条件が重なることは非常に稀であるように思われます。しかし、最近の研究により、この逆 Panspermia が引き起こされる確率は、想定されているよりもずっと高いかもしれない可能性が出てきています。その理由は、微生物の存在範囲の広がりにあります。1930 年代に微生物は上空数十キロメートルまで存在範囲を広げているのではないかとする議論が始まります<sup>1)</sup>。その後、1978 年には当時のソ連の研究者が最高高度約 80km

において微生物と思える痕跡を発見しました<sup>2)</sup>。これらの報告は微生物のコンタミネーションなく純粋に成層圏に存在した微生物を捉えたものであるかは今となっては確認することはできませんが、その後の世界各国の調査により、確かに上空約 15km から約 80km ほどの中層大気には微生物がいることが確定されつつあります。もし微生物が宇宙空間近傍の中層大気にまで存在しているのであれば、隕石衝突のような天文的イベントが起きなくとも、微生物が地球を脱出している可能性が高まります。また、成層圏はおおよそ-50℃、1/100 気圧であり、有害な UV-C に曝露されるという、生物にとっては過酷な環境ですが、最近の研究により、黒カビの一部などはこの成層圏の数時間の曝露を生き抜くことが分かっています<sup>3)</sup>。この成層圏環境は実は火星の環境に似ているため、成層圏で生き抜けることは火星において繁殖可能である可能性をも示しており、地球の微生物の一部は他の惑星でも生き抜けるのではないかと考えられています。



図 1 研究グループのメンバー

以上のように、地球大気である成層圏に存在する生物粒子を見ることは、宇宙生物学的発展につながることに注目し、私たちの研究グループ（図 1）は大気生物学的観点から宇宙への生物の広がりを解明する研究に取り組んでいます。

### 理論と実験の独自発展を目指して

上述のように、宇宙空間に地球の生き物が進出しているのかを解明するため、成層圏における微生物の動態を調べる研究がこれまで為されてきています。しかし、これらの研究結果にはいくつかの大きな疑問点が残ります。まず一つは、どのようにして成層圏にまで微生物が運搬されているのかという点です。成層圏では上空に行くにしたがって保温効果を持つオゾンが増えるため気温が上がります。このことから、上に行くほど空気密度が低くなるため、成層圏では強い対流が存在せず、鉛直方向の空気の動きは非常に弱いのです。このため、微生物粒子のような数  $\mu\text{m}$  もある粒子が上空数十キロまで上昇するにはなにか特別な力がかかっている必要があります。現在でもこの力は一体何なのかはわかっていませんが、この力が何かを解明することで、微生物が成層圏にまで運搬される現象がどの程度稀であるのかを解明することに繋がると考えられます。次に、成層圏環境に耐える生物の特徴とは何かという点です。先行研究でも

成層圏環境に耐えた微生物と耐えられなかった微生物が存在することが示されていますが、DNA を破壊する紫外線や宇宙線が激しく降り注ぐ宇宙空間では、どのような特徴を持った生物であれば生き残ることが出来るのでしょうか。これを明らかにすることで、地球から他の惑星に移住している可能性がある微生物の特定に繋がると同時に、他の惑星で生まれた微生物の生物学的特徴の特定にも繋がる可能性があります。私たちの研究グループは、東京工業大学地球生命研究所の極限環境ウイルスの専門家、徳島大学の成層圏実験の専門家、岐阜県のものづくりメーカー(株)GOCCO. (<https://gocco.co.jp/>)と共同チームを作り、これら2つの問題を理論と実験に取り組むことで解明しようとしています。

理論的アプローチとしては、先行研究で議論されてきている成層圏において粒子にかかり得る力(例えば太陽光泳動や雷雲による電氣的力など)を各高度ごと、各環境ごとに計算し、どのような条件下で粒子を成層圏上部にまで運搬する力が生じ得るのかをシミュレーションから計算しています。また、中層大気上部にまで粒子が運搬された場合、宇宙線の影響はどの程度生物の活性維持にとって重大な影響を及ぼすのかを日本原子力研究開発機構が開発した PHITS コードなどを用いた計算で解明しようと試みています。

実験的アプローチとしては、私たちは独自にゴムバルーンによる成層圏への微生物曝露実験のセットアップを構築し、様々な特徴の微生物を成層圏に打ち上げることで微生物の成層圏環境への耐性を調べています(図 2)。特に、私たちのグループは極限環境の古細菌に感染しているウイルスに着目した実験を行っています。地球上の生物は、主に3つのドメインに分けられます。もっとも原初的な生物である真性細菌、私たち人類を含め細胞核を持つ真核生物、そして原初的でありながら真性細菌に比べて真核生物に近い、私たちが注目している古細菌の3つです。古細菌はあらゆる極限環境に住んでいることが特徴的で、熱水や強酸環境の中から見つかることもしばしばあります。なぜ古細菌はこのような極限環境で生きられるのかはまだ分かっていませんが、私たちはこの古細菌の中に潜み極限環境で共に暮らしているウイルスを成層圏に打ち上げ、その活性や形態を詳しく調べることで、DNA レベルで地球生物の成層圏環境での耐性の有無を決定する要素を特定しようとしています。また、私たちの本研究は、JAXA の大気球プロジェクトの実験としても採択されており、JAXA が所有する成層圏まで上昇する気球を用いた実験の実施が今後予定されています。この JAXA の気球と私たちの研究チームが所有するゴムバルーンでは成層圏滞在時間や飛行経路が異なるため、成層圏環境への曝露条件の物理的違いが生む生物的影響の違いを解明することに繋がることが期待されます。本プロジェクトは本格的に立ち上がってまだ3年目ですが、世界で初めてウイルスの成層圏環境曝露実験の結果を公表するなど、大きな進展を見せています。今後とも、本研究グループへの温かいご支援を賜れますと幸いです。



図 2 ゴム気球バルーンの打ち上げ前(左)と成層圏に打ちあがった実験装置(下)

### 参照文献

- 1) Rogers, L.A. and Meier F.C., National Geographic Society, Technical Papers. 146-151 (1936)
- 2) Imshenetsky , A.A., Lysenko, S.V., and Kazakov, G.A., Upper boundary of the biosphere, Appl. Environ. Microbiol., 35, 1-5 (1978)
- 3) Cortesão, M., Siems, K., Koch, S., Beblo-Vranesevic, K., Rabbow, E., Berger, T., Lane, M., James, L., Johnson, P., Waters, S.M., Verma, S.D., Smith, D.J., Moeller, R., MARSBOX: Fungal and bacterial endurance from a balloon-flown analog mission in the stratosphere, Front. Microbiol., 22 (2022)

(三木健司 記)

**京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター**

<https://space.innovationkyoto.org/>

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 吉田キャンパス本部構内 総合研究 16 号館 208 号室

編集人：木造人工衛星製作チーム 菊川祐樹 筒井涼輔

Tel&Fax: 075-753-5129 Email: [spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp](mailto:spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp)

SIC 有人宇宙学研究センター News Letter No.8

2022 年 8 月 1 日発行