

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2024年7月号 No.31

LignoSatフライトモデル JAXAへの納品が完了しました！

6月4日(火)LignoSatフライトモデルを無事にJAXAへ納品しました。当日は、住友林業の皆様、京都大学の教職員2名、学生チーム5名が引き渡しに立ち会いました。まずは、JAXA筑波宇宙センターのクリーンルームにてJAXAの主任検査官によって2時間ほどかけて最終検査が綿密に行われました。最終検査では特に指摘事項もなく無事に合格し、責任者の方から引き渡し証をいただきました。現在、フライトモデルはJAXAからNASAへ送られるのを待っているところで、まもなく日本を出発し、9月下旬にアメリカフロリダ州のケネディ宇宙センターでスペースX社のロケットで打ち上げられる予定です。打ち上げの約1ヶ月後には国際宇宙ステーションから衛星が放出され、運用を開始する予定です。

宇宙木材研究室では秋からの本格的な運用開始に向けて、現在他の衛星からの電波を受信する練習に励んでいます。京都大学北部総合教育研究棟に設置されている管制室にて木造人工衛星からの初めての電波の受信に備えて学生チーム全員が操作できるよう日々訓練しています。今後打ち上げ、運用開始まで木造人工衛星の新しい情報をお伝えして参りますので、どうぞご期待ください。これからも皆様の応援を宜しくお願い致します。(辻廣智子 記)



有人宇宙学実習

オリエンテーション#2

6月8日、京都大学の少人数教育科目群 ILAS セミナーである有人宇宙学実習のオリエンテーション#2が実施されました。

今回のオリエンテーションでは9人の参加者を3人ずつ3班に分け、実習科目を共同で実施するメンバーを決定しました。有人宇宙学実習では【閉鎖環境実習】・【宇宙森林実習】・【天体観測実習】・【模擬微小重力実験】・【宇宙無線通信実験】の5種類の課題を1週間かけて実施しますが、それぞれが同時かつ全期間に渡って進行するので、チームで役割分担しながら効率よく課題をこなすことが必要になります。そのため、参加者のチームワークや自己管理能力といった有人宇宙活動に必須の技能を養うこともこの実習の目的です。

オリエンテーションでは各班から1人調整役となるリーダーを選出し、さらに班員の3人それぞれが宇宙森林実習と天体観測実習、模擬微小重力実験、宇宙無線通信実験のうちどの課題の責任者となるかを決定しました。各メンバーは自身の役割に対して、期間内にすべての課題を終えられるよう責任を持つこととなります。

また、今回各班は閉鎖環境実習、模擬微小重力実験、宇宙無線通信実験のうちそれぞれどれか1つのハンズオフを受けました。これらの課題や実験結果、座学の資料や日記など、実習で学ぶすべての事は参加者各々に渡された「クルーノートブック」に記入していくこととなります。これは実際の宇宙ミッションでも飛行士1人ごとに渡されるもので、オリエンテーション中にすべての手順を完成させ、実習を行いながら結果や学んだことを記入し、自らの手で完成させていくものとなっています。この実習の最終的な目標はクルーノートブックの完成であり、参加者が有人宇宙学で学んだ全ての事がその中に集約されていくということとなります。(山本陽大 記)



宇宙木材研究室学生メンバー紹介

[樹木育成チーム]

名前：豊西 悟大

学部・研究科：農学部森林科学科

自己紹介：

幼いころから生物と宇宙が好きで、新入生の頃に学部の先生にこの研究室を紹介していただいた時に迷わず入ることを決めました。現在は学部4回生で白色腐朽菌の子実体形成の研究をしています。



宇宙木材研究室で頑張りたいこと：

今までの研究室の活動で培ってきた技術などを使い、少しでもメンバーをサポートできるような立場になればよいと思っています。また今まで行ってきた実験のデータをまとめ、一つの形にできればよいと考えています。

名前：原口 朝妃

学部・研究科：人間・環境学研究科 人間・環境学専攻

自己紹介：

普段は運動制御学という分野で、月の重力下でどのように運動が上手くなるかについて研究しています。他の分野の宇宙研究にも携わりたいと思い、樹木育成チームに参加しています。特技(趣味ではない)は長距離を走ることで、最近ではウルトラマラソンに出場しています。



宇宙木材研究室で頑張りたいこと：

- ① 観察記録。(おかしな数値を自分で直せるようにする)
- ② 宇治へのお出掛け。(for ポプラの赤ちゃん)

名前：出口 颯馬 🌲 新メンバー 🌲

学部・研究科：理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

自己紹介：

初めまして！出口颯馬と申します！普段は宇宙の謎を解き明かすべく日夜研究に励んでいます。趣味はサッカーとサイクリングで、最近バグパイプの練習も始めました。とても難しいですが、ケルトの雰囲気がとても良く出るので気に入っています。まだ何も知らない新米ですが、よろしくお願ひします！



宇宙木材研究室への参加動機：

僕自身、宇宙に対してサイエンスだけではなく、あらゆる観点から興味を持っていて、有人宇宙活動もその興味の一つなので参加させていただきました。特に、宇宙での樹木育成は長期的な宇宙開発の視点で必ず必要になると確信しているため、強い興味を持っています。

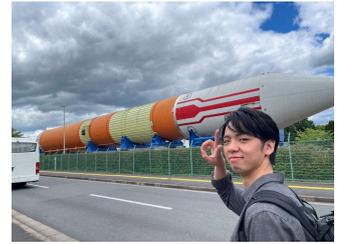
[LignoSat チーム EPS 班]

名前：鳥谷 陽樹

学部・研究科：工学部物理工学科宇宙基礎工学コース

自己紹介：

こんにちは！昨年度より EPS 班班長を務めている鳥谷陽樹です。1 号機の開発ではありがたいことにテレビ取材に多く出演させていただきました。つまりこの宇宙木材研究室学生チームの顔というわけです。もっとメディア慣れして LignoSat の宣伝をしていきます。



宇宙木材研究室で頑張りたいこと：

昨年度の 1 号機開発の期間で EPS のあらゆることに手を付けてきました。2 号機開発からは班のサポート役に徹しつつ、新しくプログラミングにも手を伸ばしたいと思っています。

名前：麻田 景人

学部・研究科：工学部物理工学科機械システム学コース

自己紹介：

こんにちは。EPS の麻田です。昨年度の春からこの研究室で活動しています。ガンダムや STARWARS に影響されて宇宙産業にとっても興味があります。普段はこの研究室での活動とテニス(サークル)と勉強で忙しくしています。まあ、良い忙しさです。趣味は音楽鑑賞とアウトドアアクティビティ全般です。



宇宙木材研究室で頑張りたいこと：

強いて言うなら、「宇宙を目指す」ことですかね。

名前：小林 武司

学部・学科：工学部物理工学科宇宙基礎工学コース

自己紹介：

はじめまして！EPS 班の小林武司と申します。昨年度の秋より本プロジェクトに参加し 1 号機では太陽光基板で少しだけ関わらせていただきました。テニスのサークルに所属していて、夏の大会に向けて練習しており、既に真っ黒になってしまいました。



宇宙木材研究室で頑張りたいこと：

2 号機では担当の太陽光基板関連を中心に、EPS 班の仕事全体を把握して LignoSat に貢献できたらと思います。

名前：加藤 千晶

学部・研究科：工学研究科 電気工学専攻

自己紹介：

昨年度よりEPS班のメンバーとなりました、加藤千晶です。宇宙関係のことが好きで、大学院の研究では観測ロケット実験に携わっています。また、サークルではゲーム音楽や映画音楽を制作しています。

宇宙木材研究室で頑張りたいこと：

昨年度はシンポジウムのポスター作成等を担当する中で、各仕事の基礎的な部分を勉強していました。2号機からは主体となって開発に取り組むこととなります。電源系統の開発を通して回路基板のエキスパートになれるよう頑張ります。



名前：劉 仲天 🎴 新メンバー 🎴

学部・研究科：工学部物理工学科

自己紹介：

はじめまして！EPS班新メンバーの劉仲天と申します。乗り物が好きで、よく飛行機の写真を撮りに行きます。一度ロケットの打ち上げを撮りたいと思います。よろしくお願いします！

宇宙木材研究室への参加動機：

ビラで宇宙木材研究室のことを見て、木を使って人工衛星を作ることは素晴らしいと思いました。幼いころから宇宙に興味があるので、将来宇宙関係に携わりたいなと思って、このプロジェクトに参加しました。



名前：小山 修平 🎴 新メンバー 🎴

学部・研究科：工学部地球工学科

自己紹介：

初めまして、今年度より参加した小山修平です。高校ではフィールドホッケーというスポーツをしていました。そのせいかは分かりませんが、最近は腰痛に悩まされています。

宇宙木材研究室への参加動機：

受験生の時に英語の勉強として見ていたアメリカのニュース番組で、京都大学で木造の人工衛星を開発していることを知り、興味を持ちました。幼い頃から宇宙開発に関心があり、これからの活動が楽しみです。



第2回宇宙木材利用シンポジウム開催報告④

2024年3月21日に京都大学益川ホールにて、第2回宇宙木材利用シンポジウムを開催しました。今月号は4回目の報告になります。

(1) 低圧下におけるポプラの成長特性

京都大学農学研究科 遠藤早緒里・三本勇貴

1. 低圧下での植物の成長特性に関する研究のレビュー

植物は根・茎・葉の器官を有していますが、それらに対するバイオマス配分は種によって、あるいは環境の制御によって異なります^[1]。今回のポプラの育成実験では主に、LMA (Leaf Mass per Area、葉重/葉面積比) と T/R 比 (Top/Root Ratio、地上部/地下部重量比) に着目して、低圧下の成長特性について測定を行いました。LMA は葉における生産量と構造 (強靱性、存続) のバランスを示す指標であり、LMA が大きいほど葉は丈夫になり、LMA が小さいほど生産量の増加に重きを置いていることとなります。木本植物だけでなく草本植物も含めた、メタアナリシスの結果^[2]では乾燥状態になるほど LMA が増加する傾向がみられています。T/R 比は地上部 (炭水化物の生産) と地下部 (水、無機養分の吸収) のバランスを示す指標であり、樹木においては水ストレスを受ける (乾燥状態になる) と低下 (R が増加) します^[3]。

低圧下における樹木育成を行った例はほとんどない^[4]のですが、CELLS (Controlled Ecological Life Support System、閉鎖生態系維持システム) における食物栽培を目的とした実験例^{[5],[6],[7]}は多数あり、これらの種の低圧下での成長特性が調べられています。これらの実験結果をまとめたものを表 1 に示します。実験条件が同じではないことも考慮する必要がありますが、低圧下における植物の成長特性は、種によって異なると考えられます。したがって、木本植物においても、低圧下における成長特性を調べる必要があります。

表 1 低圧下における草本植物の成長特性変化の例

| 植物 | 気圧 | LMA | T/R比 |
|-----------------------|-----|-----|------|
| トマト ^[5] | 0.4 | (+) | - |
| ハウレンソウ ^[6] | 0.5 | - | + |
| レタス ^[7] | 0.4 | - | - |

(+ : 増加、- : 減少)

2. 低圧科樹木育成実験における成長特性評価

2.1. 葉の成長特性

本実験における LMA 測定値を気圧条件ごとに比較した結果が図 1 です。葉序 (各葉が供試体の下から何番目かという値) が小さいほど形成から時間が経った (古い) 葉を表します。図 1 では、葉序の 2 乗に対してほぼ線形に、古い方の葉ほど LMA が小さく (葉が広がって薄く) なる傾向がみられるほか、低圧条件では常圧条件よりも全体的に LMA が大きく葉が分厚い、広がっていない状態であることが分かります。これらの結果から、低圧条件が葉の展開過程に影響を及ぼす可能性があるといえます。

更に 0.5 気圧、0.3 気圧実験ともに古い葉ほど低圧と常圧の LMA の差が小さいことから、葉の成熟に伴って LMA に及ぼす気圧の影響が小さくなると考えられます。表 1 の草本の低圧下育成実験における結果と比較すると、低圧状態で LMA が大きいという結果は木本、あるいはポプラに特有である可能性があります。

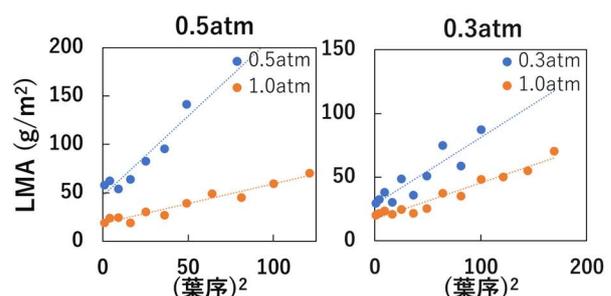


図 1 各実験における葉序の 2 乗に対する LMA

2.2. 同化産物の分配

実験の結果、T/R 比（地上部と地下部の乾燥重量比）については気圧による一定の傾向はみられませんが、同化部（同化に利用される部分、つまり葉）と非同化部の比を気圧ごとに比較すると、ほとんどの低圧条件下育成個体でコントロールよりも非同化部の割合が大きくなる傾向がみられることが分かりました。つまり、低圧条件が地下部以外の非同化部、つまり幹へのバイオマス配分比率が大きくなることに何らかの影響を及ぼしたと考えることができます。幹のうち特に二次肥厚が起きる木部は木本に特有であり、この影響についても草本植物ではみられないものである可能性があります。

以上のように本実験から低圧条件が葉の成長特性および同化産物の分配にある影響を及ぼしていることが示唆されましたが、これら影響が生じる機序についてはより詳細な調査を必要とします。

引用文献

- [1] Poorter, H. et al. (2012) Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytol.* 193(1), 30-50.
- [2] Poorter, N. P. et al. (2009) Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA) : a meta-analysis. *New Phytol.* 182: 565-588
- [3] Mokany, K. et al. (2006) Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Glob. Chang. Biol.* 12(1), 84-96.
- [4] Nagatomo, M. (2005) Experimental study on growth of young trees under the pressure of one tenth of earth atmosphere. *J. Space Tech. Sci.* 21(2), 2,11-2,26.
- [5] Daunicht, J. J. & Brinkjans, H. J. (1992) Gas exchange and growth of plants under reduced air pressure. *Adv. Space Res.* 12, 107-114.
- [6] Goto, E. et al. (1995) Effect of reduced total air pressure on spinach growth. *J. Agri. Meteorol.* 51, 139-143.
- [7] Tang, Y. et al. (2010) Effects of long-term low atmospheric pressure on gas exchange and growth of lettuce. *Adv. Space Res.* 46, 751-760.

(2) 超小型木造人工衛星 LignoSat の通信システム

京都大学工学部物理工学科 小泉荘平

1. 地上局・衛星の通信システム

1.1 通信方法の種類

LignoSat は UHF 帯の電波を用いて地上とのコマンド送受信を行う。コマンドの送受信には、FM パケット通信と CW（モールス信号）の 2 種類が用いられる。衛星から地上局に対しては FM パケット通信と CW の両方を用いて通信を行い、地上局から衛星に対しては FM パケット通信のみを用いて通信を行う。

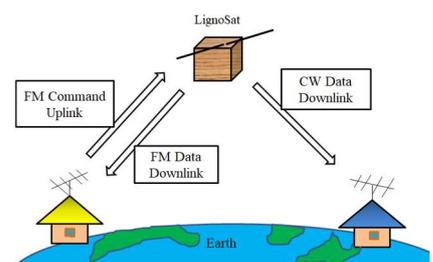


図 1 衛星通信の概略図

[衛星→地上局] FM パケット通信、CW（モールス信号）

[地上局→衛星] FM パケット通信

1.2 地上局

京都大学内にはアンテナを備えた地上局が設置されている。地上局がある建物の屋上には、図 2 に示すアンテナが設置されている。屋内には、図 3 に示す地上局設備が備えられている。アンテナと無線機 IC-9100 は同軸ケーブルで繋がれており、受信した信号は TNC を介して PC 内の地上局アプリに反映されている。

また、衛星通信を行うにはアンテナを衛星の方向に向ける必要がある。アメリカの機関「ノラッド」は地球周りのあらゆる衛星等の軌道情報を調べている。この衛星の軌道情報をもとに衛星を追尾するようにアンテナを制御している。

衛星は地上局に対して相対速度を持つので、それによる電波のドップラー効果も考慮して通信を行う。



図 2 地上局のアンテナ



図 3 地上局の様子

1.3 衛星局

LignoSat は衛星外部に一对のダイポールアンテナを備えており、このアンテナを通じて地上局と通信を行う。衛星の運用が開始するまではダイポールアンテナは紐で丸く縛られており、衛星が宇宙空間に放出されたのちに上記の紐を焼き切ることによってアンテナを展開する。図 4 はダイポールアンテナが設置された衛星の一面であり、この面の内部には図 5 に示すアンテナボードが取り付けられている。アンテナとアンテナボードは同通されており、アンテナを行き来するデータはこのアンテナボードを介して処理される。

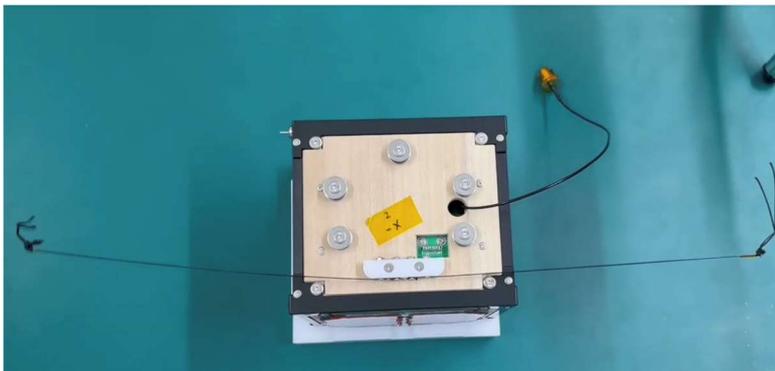


図 4 LignoSat のアンテナ面（アンテナ展開状態）



図 5 アンテナボード

2. アマチュアミッション

2.1 アマチュアミッションの目的

Lignosat はアマチュア無線家が使用する周波数帯を使用して通信を行うため、アマチュア無線家に向けたミッションを研究ミッションと別で行う。

2.2 アマチュアミッション①

アマチュア無線家から FM パケットを受け取り、受信した証として彼らのコールサインを CW で返送する。上記の通信は送受信を共に同じ周波数の電波で行う。一般的に衛星通信は、送信と受信で周波数を変えることで混信を防いでいる。しかし LignoSat は一つの周波数のみ割り当てられているので、送受信を同一周波数で行う。本ミッションは、送受信を同一周波数で行っても上手くやり取りができるかという技術的な挑戦の一面も持っている。

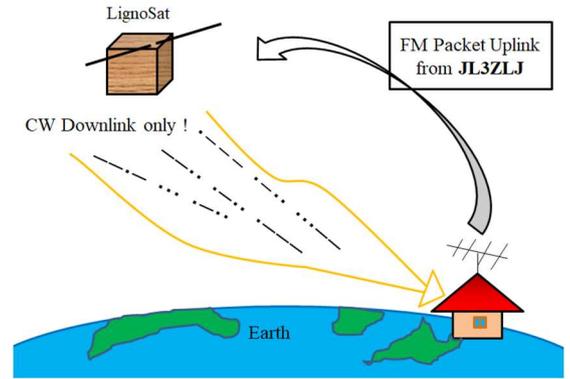


図6 アマチュアミッション①の概略図

2.3 アマチュアミッション②

アマチュアミッション①で衛星が受け取ったアマチュア無線家のコールサインを衛星に一時保存した後、地上局に送信して Lignosat のホームページに掲載する。

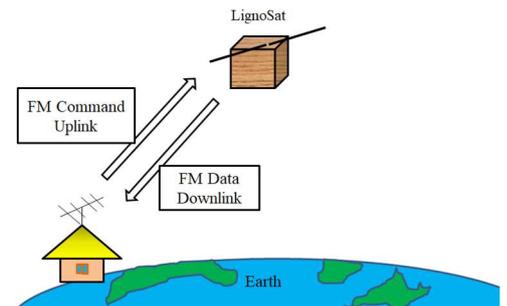


図7 アマチュアミッション②の概略図

3. 木材の評価

ノラッドが公開する衛星の軌道情報を解析することで、衛星の軌道を把握することができる。我々はフィリピン大学が開発した MAYA 衛星の軌道を解析した。その解析結果は図8のようになった。

衛星の運用期間と高度の変化から、各衛星の性能を評価することができる。LignoSat の場合、宇宙空間における木材の影響が運用高度の変化に影響をもたらすかもしれない。

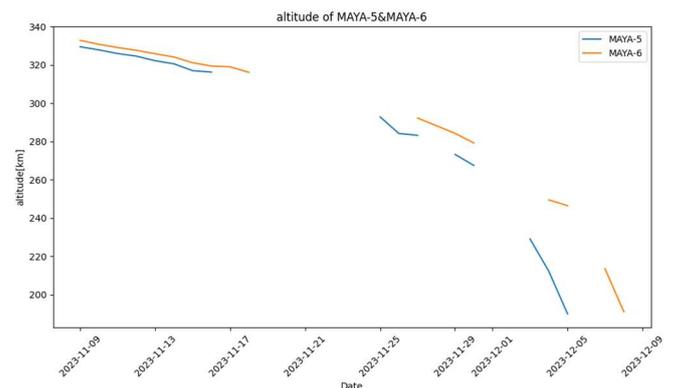


図8 MAYA 衛星の軌道解析結果

4. パッチアンテナ

4.1 パッチアンテナの概要

LignoSat の大きな特徴は木造人工衛星ということである。木材は電磁波を透過しやすいという特徴から、衛星のアンテナを木造構体内部に設置しても通信が可能であると考えられる。LignoSat 2号機では、木造構体内部に板状のアンテナ「パッチアンテナ」を設置し、パッチアンテナを用いた通信を試みる。

人工衛星でパッチアンテナを用いるメリットは2点ある。1点目はアンテナを宇宙空間で展開する必要がない点である。実際、多くの人工衛星はアンテナの展開不良により運用が厳しくなってしまう。そのためアンテナ展開作業が不要であることは、衛星を運用する上で非常に好ましい。2点目はアンテナと内部基板との電氣的導通が容易である点である。アンテナが衛星外面に設置する場合、衛星内部の基板とアンテナを導通するために工夫が必要である一方、アンテナを衛星内部に設置できる場合、他の基板と直接導通することも可能である。

人口衛星でパッチアンテナを用いるデメリットは、衛星の姿勢制御が必要になることである。パッチアンテナは、放出する電波に指向性が強く、地球側に放たれる電波を強くするにはアンテナを地球側に向け

る必要がある。そのため衛星自体の姿勢制御ができるかどうかは通信精度に大きく影響してしまう。

4.2 パッチアンテナ基礎実験①

パッチアンテナの研究を進めるにあたり、初めに木板をおいた時のパッチアンテナのスペクトルを測定した。スペクトルの測定結果から、木板が通信に与える影響を評価した。測定結果は図9のようになった。

この結果から、アンテナ間に木板をおいても通信には大きく影響しないことが明らかになった。これは木造構体内部にパッチアンテナを設置できることを示唆している。

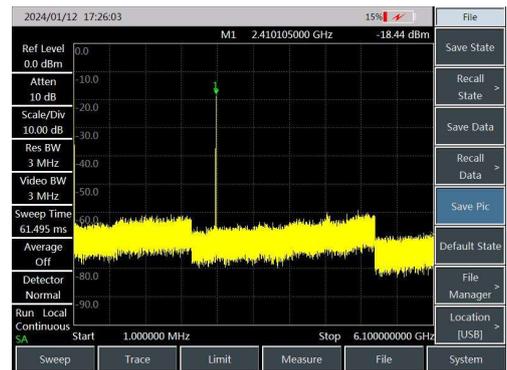


図9 スペクトル測定結果

4.3 パッチアンテナ基礎実験②

基礎実験①の結果から、通信に対する木材のより正確な影響を測定するために基礎実験②を行った。本実験では、「木板の厚さ」「木板とパッチアンテナの距離」の二つの変数を変えながら、通信精度に関する測定を行った。測定の結果、木板とパッチアンテナが密着する場合に、通信への悪影響が見られた。そのため、LignoSat 2号機は木造構体とパッチアンテナを密着させないように設計することになるだろう。



図10 電波暗室における測定の様子

5. 最後に「木材と宇宙通信の展望」

LignoSat は世界初の木造人工衛星として木材の宇宙利用に新たな可能性を見出す。その中で我々COMM 班のパッチアンテナの開発がもたらす新たな可能性について考える。将来月や火星に木材住居ができた時のことを想像しよう。木材住居の内部にパッチアンテナを設置した場合、パッチアンテナは住居外部の砂などによる物理的損傷から守られる。またアンテナを交換するとなった場合、人間は宇宙空間に暴露されることなく、住居内でアンテナの交換作業を行うことができる。このようにパッチアンテナと木材の試験を通じて、将来の宇宙通信に新たな可能性を！！

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：宇宙木材研究室 三本勇貴、豊西悟大、山本陽大

Tel: 075-753-5129 Email: spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter No.31

2024 年 7 月 1 日発行