第３３回衛星設計コンテスト
ジュニア概要書（3 ページ以内）

応募区分　　ジュニアの部

１．作品情報・応募者情報

作品名（２０文字以内）＊作品内容が推測しやすいような名称を付けてください。（略称は不可） マイクロハ エネルギーデンソウニヨル　コオリエイセイタンサ マイクロ波エネルギー伝送による氷衛星探査
副題（自由記入） 氷床に潜む、宇宙生命のシグナルを追って
学校名 ノートルダム清心高等学校・広島県立広島中学校　（子ども宇宙アカデミー）

２．ミッションの概要（プレスリリース等で使用するので、200 字程度でわかりやすく表現して下さい。）

氷衛星エウロパやエンケラドスでは、生命の起源の可能性が示され、これまでプルームや内部海を対象とした探査ミッションが計画・検討されてきた。本ミッションでは「氷床」に着目。マイクロ波エネルギー伝送により、親子機の氷床探査を実施、赤外線レーザで氷床を昇華させながら、可視光や赤外線分光等のセンサーを使うことで氷床の表面や内部を観測し、生命痕跡の検出を試みると共に氷床の成り立ちに迫る。

３.目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a)目的（今回考えたアイデアを何に利用するか等）

① 氷衛星の氷床そのものに着目し、氷床の表面および内部を観測することで「生命の痕跡の検出」を試みると共に「氷床」の堆積状態や過去の環境変動の変遷を明らかにすることを目指す。

②「マイクロ波」による「氷床の昇華」や氷衛星環境下での「エネルギー伝送」を、氷衛星での探査に活用する。

(b)重要性・技術的意義等(ex:宇宙空間で利用する理由、他にない技術など)

① 氷衛星探査の多くはプルームや内部海を対象としてきたが、本ミッションでは氷床を対象とする。

② 掘削には、物理的なボーリングに代わり、マイクロ波加熱を利用して氷を局所的に昇華させることで、サンプルへの調査を実現する。

③ マイクロ波エネルギーは、氷の昇華だけでなく観測機器(4-II 探査機構成と役割参照)への電力供給や地球との通信にも活用する。

④ 氷内部の観測には、赤外線分光(FT-IR)と可視光・赤外線カメラ・ガスクロマトグラフを用いる。

⑤ 氷床の昇華にフェーズドアレイアンテナを使うことで、指向性のある加熱を高精度・長期間・繰り返し行えるほか、アンテナの機械的な駆動が不要のため、低温低圧の環境でも適用可能である。

４．アイデアの概要

※ミッション全体の構成・ミッション機器の形状・質量・機能・運用軌道など、図を使用するなどして分かりやすく説明して下さい。

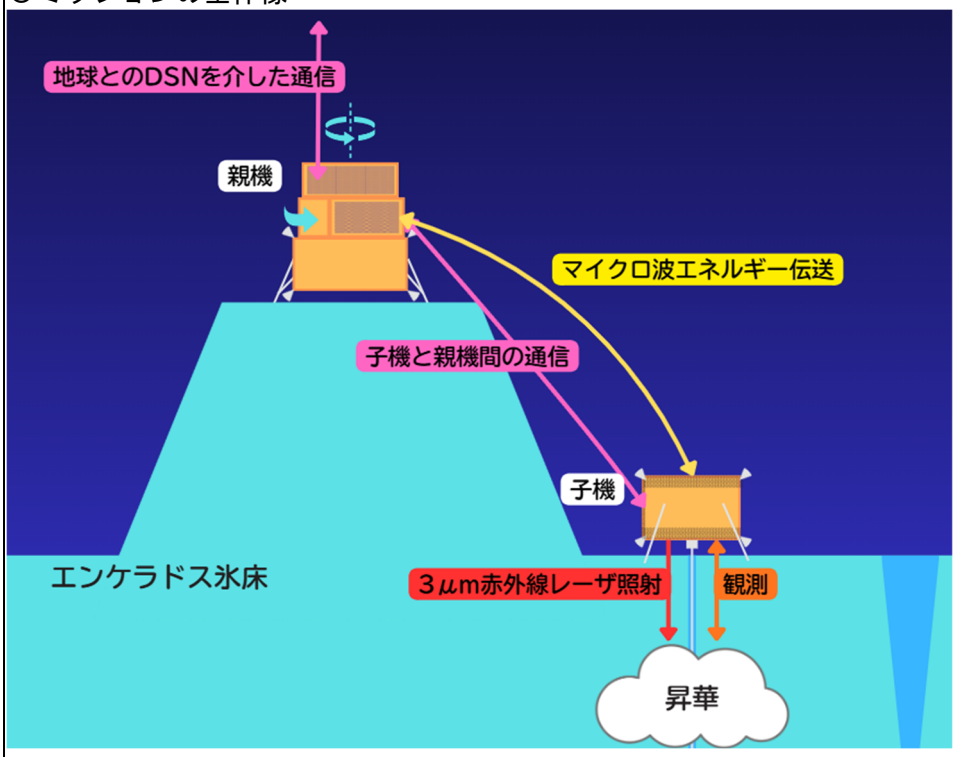
Ｉ）ミッション全体の構成（エンケラドスの場合）

〇ミッションの全体的な流れ

探査機(親機)に小型観測機(子機)を搭載し、エンケラドス着陸後分離。
子機からのマイクロ波照射により氷床を昇華させ、氷内部の観測を行う。
通信とエネルギー伝送を担う親機と、氷床を観測する子機の 2 機体制で探査を行う。
以下にミッションの全体的な流れを示す。

1)探査機はエンケラドスに接近、カメラによる表面観測を行って着陸地点[1)]を選定し、氷床へ着陸
2)着陸後、探査機を親機と子機に分離し、子機を観測場所まで自走させる。子機の駆動及び観測系のエネルギーは親機からマイクロ波で供給、宇宙太陽光発電(SSPS)技術を応用する。
3)子機はフェーズドアレイアンテナで 10GHz のマイクロ波を局所的に照射。円柱状に氷床を昇華。
4)昇華により露出した氷床内部を赤外線分光、可視光カメラ、ガスクロマトグラフなどにより観測し、取得したデータを親機へ送信する。
5)親機は、受信した観測データを DSN を通じて地球へ送信する。

○ミッションの全体像



（注１）探査機着陸地点について
タイガーストライプ付近では熱水活動や地殻変動が活発で、プルーム由来の有機物も氷床に堆積していると考えられる。またプルームの局所的な熱供給により氷殻が薄く、昇華効率や内部環境へのアクセス性にも優位である。さらに地形的に見通しの良い場所は親機と子機間のマイクロ波通信やエネルギー伝送の安定性を確保できる。これらの要素(1.氷層が薄い 2.熱水活動の活発度 3.通信条件)をもとにカメラによる観測データを評価し着陸地点を選定する。

Ⅱ）探査機構成と役割

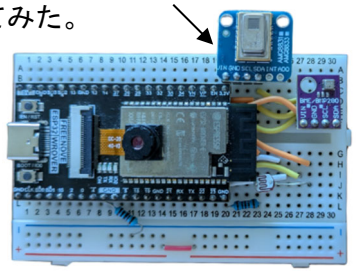
○親機（航行・着陸機及び通信とエネルギー伝送）
形状：直方体型　RTG　スラスタ
通信装置：X 帯/Ka 帯フェーズドアレイアンテナ（DSN 連携）
親機子機間の通信用フェーズドアレイアンテナ
センサ機能：IMU センサ(軌道制御・姿勢制御)　赤外線放射温度センサ　LiDAR
スタートラッカー　可視光赤外線カメラ（着陸地形撮影用）
○子機（氷床を観測）
形状：直方体型　スラスタ　レクテナ　フェーズドアレイアンテナ(通信用)　レーザ照射口
電力受信：レクテナにより親機からのマイクロ波を受信、電力をエネルギーに変換
通信：氷床の表面を内部の観測データをマイクロ波で親機に送信
センサ機能：距離センサ　加速度ジャイロセンサ　赤外線温度センサ　可視光カメラ
フーリエ変換赤外分光分析装置(FT-IR)　ガスクロマトグラフ

Ⅲ）実験（実験詳細は、補足資料参照）

実験Ⅰ：マイクロ波の照射に電子レンジを使用、氷床の代用として氷柱を製作して実験した。
電子レンジは、その中心部にマイクロ波（2.45GHz）が集まり加熱される仕組みとなっている。

そこで、氷柱を作って電子レンジ中心部に置き、マイクロ波を一定時間照射。
取り出して、赤外線アレイセンサにて温度を測定、溶け具合を調べてみた。
※自作した温度分布計測装置で表面温度を計測。

赤外線アレイセンサ



照射時間ごとの氷柱の温度分布、溶け具合は補足資料に示すが、
氷は水よりも圧倒的に溶けにくかったものの、
温度は最大で約 60℃まで上昇し、最終的には溶けてしまった。

マイクロ波による氷衛星表面の加熱は、可能と考えられる。

実験Ⅱ：LED 付アンテナを自作、稼働中の電子レンジのマイクロ波によるエネルギー伝送を検証した。

Ⅳ）課題点

実際の氷衛星環境でのマイクロ波の活用について、以下の技術的課題に対する検証と最適化が必要である。

①昇華運用の信頼性：計算上赤外線が有効であると結論付けた（補足資料ｐ.6 昇華運用における他方式参照）が、氷衛星環境下での運用について　実際の衛星条件を模擬した環境での実証実験を行い、実機に導入する昇華条件（周波数、照射時間、出力強度）を精緻に決定する必要性がある。

②深宇宙での電力供給：マイクロ波エネルギー伝送には電力からマイクロ波への変換での損失、アンテナの照射するマイクロ波が広がりを持ち、レクテナに収集されないための損失、レクテナでのマイクロ波を再び電力に変換する際の損失の大きな3つの損失があるが、レクテナの大きさ、伝送距離については設計・模擬実験が必要である。

５．得られる成果

※宇宙で利用することにより、どのような効果があるかなど。
・氷床内部での生命の痕跡発見
・氷衛星の過去の環境変化、起源、成り立ちの究明
・宇宙でのマイクロ波の活用効果の実証・新たな技術の確立

６．主張したい独創性または社会的な効果

※「ここは新しいアイデアである」という部分や、このアイデアによって世の中のここに役立つなど、特に主張したい箇所。

本ミッションの特筆すべき点は、3 点ある。まずは、従来は内部海やプルームを探査対象としてきたのに対し、氷衛星エンケラドスの「氷床」を探査対象とする点である。氷床に堆積した成分の分析を通じて、氷衛星の起源や過去の環境変化、そして生命体の痕跡に迫る新たな手法となる。次に、マイクロ波を用いて「通信」「エネルギー伝送」を行うことで、宇宙空間におけるマイクロ波技術の実証と新しい技術の獲得を目指せる。さらに、天体上で探査機を親機と子機に分離し、親機が通信を担い、子機が観測を行うことで、通信を維持しながら広範囲かつ繰り返しの観測が可能となる。これらの技術的・科学的な新規性と応用可能性により、本ミッションが実現できれば地球外生命探査分野において、科学的意義と社会的関心の両面で大きな貢献が期待される。

以上

マイクロ波を用いた氷の局所的加熱および電力伝送の検証

子ども宇宙アカデミー　ノートルダム清心高等学校2年　小西葵
広島県立広島中学校2年　小西尊

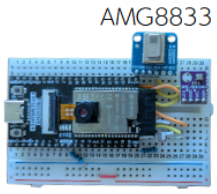
氷衛星探査技術として提案する「マイクロ波による氷の局所加熱」と「無線電力伝送」の実現可能性を、温度分布計測装置で簡易実験した。電子レンジをフェーズドアレイアンテナの模擬装置としマイクロ波を照射することで氷温は約60℃まで上昇、加熱効果を確認した。さらに、自作アンテナを用いて、電子レンジのマイクロ波伝送による電力生成を実証した。これらの結果から、マイクロ波による加熱効果と電力供給の有効性が示された。

実験Ⅰ　「マイクロ波による氷の局所的加熱」

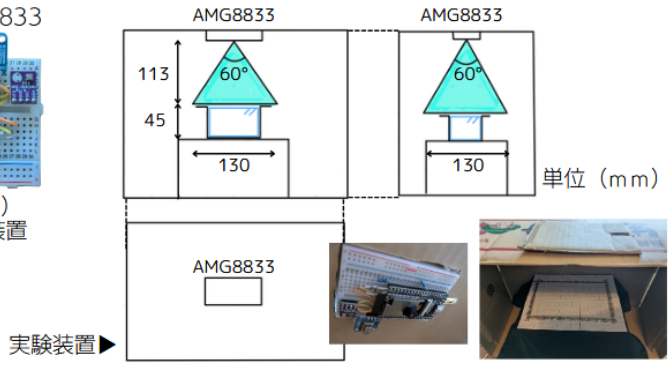
マイクロ波の照射で氷はどのように溶けるのか、その特性を電子レンジと温度分布計測装置を用いて観測した。

＜実験装置＆ソフトウェア＞

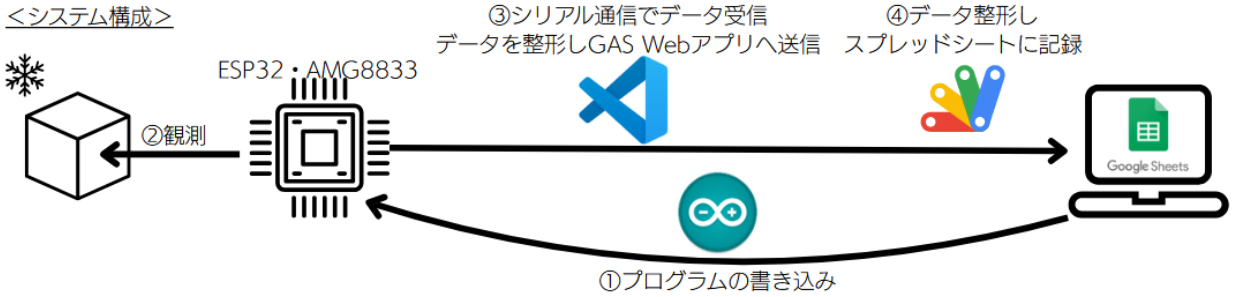
- マイコン（ESP32）
- AMG8833（赤外線温度センサ）
- パソコン
- Arduino IDE
- Visual Studio Code
- Google スプレッドシート
- 氷柱（直方体と円柱）180㎖
- 箱（右図参照）
- ケーブル
（データ通信及びプログラム書き込み）



マイコン（ESP32）
▲温度分布計測装置



＜システム構成＞

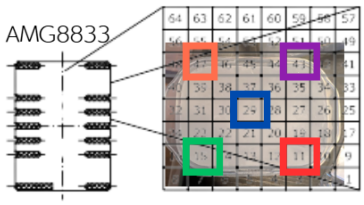


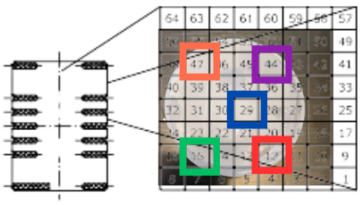
＜方法＞　直方体型・円柱型、二種類の氷柱に以下の方法で実験

1.氷柱に電子レンジで500W30秒照射する。
2.氷柱を取り出し、赤外線温度センサを用いて氷柱表面の温度変化を観測する。
3.シリアル通信でパソコン側に転送し、スプレッドシートに記録をとる。
4.1~3を氷が融解するまで繰り返す。

＜結果＞

直方体型氷柱：マイクロ波照射　0回～11回　　円柱型氷柱：マイクロ波照射　0回～11回　室温26度　湿度44%





直方体型氷柱の場合：マイクロ波照射　0回～11回

0回目

19.	18.	18.	18.	19	21	22.	23.
18.	12.	2	-0.1	2.2	16.	21.	22
15.	-3.1	-10	-10	-10	5.7	19.	21.
13.	-7.1	-10	-12	-12	2.2	17.	20
13.	-7	-12	-13	-12	1	17.	20.
13.	-6.5	-11	-13	-12	-0.5	17.	20.
14.	-0.1	-10	-12	-9.7	3.2	18.	20.
16.	12.	3.2	0.7	4.2	14.	19.	20.

2回照射

21	19.	18.	18.	20.	22.	24	24.
18.	7.7	2.5	1.5	6.2	20	23	24
15.	-0.2	-2.5	-3	-0.7	16.	22.	23.
13.	-1.7	-3	-4.7	-2.7	16	21.	22.
13.	-1.5	-4.5	-4	-2.2	15.	21.	22.
14.	-0.5	-3.5	-3	-0.2	15.	21.	23.
16.	5	0.5	-0.2	4	18	22.	23
18.	18.	15.	15.	18.	21.	23.	23.

5回照射

20.	15.	11.	11.	18.	22.	24	24.
18.	5.2	3.2	2.5	6.5	21.	23	23.
16.	3.5	2.2	2	4.7	20.	22.	23.
15	3.7	1.7	2.2	4.7	20	22.	24
15	4	2.7	2.7	8.7	20	22.	23.
17.	8.5	5	7.7	12.	21.	23.	24
19.	18.	16.	16.	19.	22.	24	24.
21.	21.	22.	22.	23	23.	25.	24.

11回照射

34	47.	48.	49.	49.	38	29.	29.
35.	48	49.	49.	49.	37.	30.	29.
35.	48	49	49.	49	38.	30	29.
35.	47.	48.	48.	48.	37.	29.	29
33.	45	47.	48	47.	36	29	29
32	34.	37.	38	38.	30	29	29
30.	31.	32.	33.	31.	29.	28.	28.
33	39.	45.	46.	43.	31.	29	29

円柱型氷柱の場合：マイクロ波照射　0回～11回

0回目

22	22.	22.	22.	23.	23.	24.	24
21	20.	18	18	21	22.	23	24
19	7	-4.1	-7.	5.2	21	22.	23
15.	-6.	-8.	-10	-8	15.	22	23
12	-7.	-9.	-10	-8.	12.	21.	23
16.	-3.	-9	-8.	-4.	17.	22.	23
18.	14.	4.2	2.5	14	21.	23.	23
20.	20.	19.	19.	22	22.	23.	23

2回照射

23.	23.	24	24	24.	24.	25	25.
22.	22.	22.	23	23.	24.	25	24.
21.	16	9	10	19.	23.	24.	25
18	4.5	3.7	2.7	6.5	21.	23.	24
14.	3.7	4	3.2	4.2	19.	23.	24
16	4.5	3.5	3.7	5.5	20.	23.	24
19	14.	7	7.2	16.	22.	23.	23.
19.	21.	20.	20.	22.	23	24.	24.

5回照射

23	23.	24	24	24	24.	24.	25.
22.	22.	21.	22.	23.	24	24.	25
22.	17.	11.	11	19.	22.	24.	24.
20	9	2.7	2	5.7	21.	24	24.
18.	5.7	2.5	2	3.5	20.	23.	24
19.	10.	3.2	2.7	9.2	21.	23.	24.
21	19.	14.	14.	20.	23.	24.	24.
22.	22	22.	22	23.	23	24.	24.

11回照射

31.	31	31.	31	30.	29.	29.	28.
33	33.	34.	34	32	30.	30.	30.
35	43.	54.	55.	43.	33	31.	31
38.	57.	59.	59.	58.	38.	32	30.
42	58.	58.	59.	59.	43.	32.	31
38.	56	58.	58.	58.	38.	31.	31.
35.	42.	53.	54.	44.	33.	31	30.
34.	34.	35.	35.	33.	31	31	30

＜考察＞

・マイクロ波で複数回照射することで氷は確実に融解しており、加熱は十分できることが示された。
・特に円柱型の氷は直方体に比べて温度上昇が早く、形状による熱分布の違いが影響している可能性がある。
・水の対流により氷温が均一になるまで温度が上昇しにくい傾向にある。
・氷の融解完了後は急激な温度上昇が観測された。これは、それまで熱が氷の融解に使われていたがすべて水になった後は加えられた熱がそのまま水の温度上昇に使われるようになったためと考えられる。
・氷の融解完了後は急激な温度上昇が観測された。 調べてみると「電子レンジのマイクロ波（2.45GHz）は水の発熱性が高く、水は氷に比べて約 8000 倍も加熱されやすい」とされている。
（※（株）ニチレイ WEB サイト　氷の実験室ページより
→　本探査では、時間をかけてじっくり昇華していくことで対応する。純粋な氷よりも塩分や有機物を含有する氷は、溶けやすいともされている。エンケラドスの氷床には、これらが含有されているため、マイクロ波による昇華の実現可能性は高いといえるだろう。
実際、月面などでの水分確保にマイクロ波の活用が計画されている。

実験II 「マイクロ波の電力伝送」

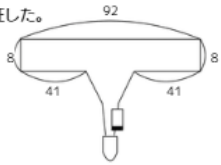
マイクロ波エネルギーは電力を供給できるのか。アンテナを自作し電力伝送ができているのか検証した。

<実験装置>

・エナメル被覆線　φ=0.4mm 長さ190mm
・LED
・ショットキーバリアダイオード　1SS106

▲自作したアンテナ

▲回路図



▲アンテナの形状（mm）

<方法>

1.アンテナを電子レンジに近づける。
2.LEDが点灯が起こる。

<結果>

LEDの点灯により、マイクロ波が電気エネルギーに置換されたことが確認された。
また中に水を入れて加熱させたが水の沸騰が激しくなると同時にLEDの点灯が起こりやすい傾向にあることが確認された。
アンテナの形が歪であったがエネルギー伝送は起きていたことがわかった。

<考察>

・LEDの点灯は、マイクロ波が電力エネルギーとして変換されたことを実証した。
・アンテナの形状が不規則でも電力伝送が実現したことから、形状より配置角度が重要である可能性が高い。
・水を加熱した際、沸騰が激しいほどLEDの点灯が起こりやすいのは沸騰による蒸気が電磁波の拡散・反射を増加させたためである。

参考文献

電子レンジ検波器 京浜県電波適正利用推進員協議会.（参照：2025/7/6）
http://www.technomix.net/cleandenpa/09%E9%9B%BB%E5%AD%90%E3%83%AC%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%83%81%E3%82%A7%E3%83%83%E3%82%AB%E3%83%BC.pdf
電波をキャッチしてLEDを光らせよう！ワクワク★工作実験　NICTchannel（参照：2025/7/6）
https://www.youtube.com/watch?v=PaTXT0Zuko0
AMG8833：赤外線アレイセンサGrid-EYE.Panasonic Industry.（参照：2025/7/6）
https://industrial.panasonic.com/jp/products/pt/grid-eye/models/AMG8833

昇華運用における他方式の検討

当初マイクロ波による昇華運用を構想していたが、高効率な方式を検討したところ、下記の表に示す通り**赤外線レーザ**を用いることとした。
ここでの昇華効率は、誘電体に交流電場を加えた時、そのエネルギーの一部が誘電体内部で熱となって失われる現象である誘電損失について考えた。

	10GHzマイクロ波	3μm赤外線レーザ
氷床への浸透深度	深い　△	浅い　○
昇華効率	小さい　△	大きい　○

参考文献

株式会社レゾナック・ホールディングス,”【徹底解説】伝送損失・誘電損失・誘電正接とは？計算式、低誘電材料、誘電率との関係について詳説”,https://www.resonac.com/jp/solution/tech/transmission-loss.html#sec2-1(参照:2025/11/10）
University of Oxford Department of Physics,”AerosolRefractiveIndexArchive”, https://eodg.atm.ox.ac.uk/ARIA/data?Water_and_Ice/Ice/200_K_to_300_K/200_K_(Clapp_et_al._1995)/ice200_Clapp_1995.ri(参照:2025/11/10）
JAXA,ファン！ファン！JAXA！,”はやぶさ 2 概要”,https://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/overview.html（参照:2025/11/10）
櫻井俊光ほか,“赤外レーザーを利用した遠隔融雪法と屋外試験の速報”http://www.thr.mlit.go.jp/yukimirai_aizu/ronbun/ka04.pdf（参照:2025/11/10）
MAX-PLANCK-GESELL-SCHAFT,”Flash-frozen seawater sprays from Enceladus”, https://www.mpg.de/4352064/flash-frozen-seawater-sprays-from-enceladus#:~:text=The%20dust%20detector%20found%20the,vapour%20–%20mainly%20in%20the%20vents.（参照:2025/11/10）
EarthSky,”Enceladus’ocean not too salty for life”, https://earthsky.org/space/enceladus-ocean-salty-ice-shell-astrobiology/#:~:text=Thinner%20ice%20over%20Enceladus'%20poles,than%20oceans%20on%20our%20planet（参照:2025/11/10）
マイクロ波化学株式会社,東京工業大学,”190617_2018 事業概要.indda”,https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/assets/prev/files/report_2018/2018report_2_3_2.pdf（参照:2025/11/10）
JAXA,”ロボット探査 3.0 と EELS による氷上垂直降下実験”,https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews515.pdf（参照:2025/11/10）
Japan Space Systems,”SSPS の地上実証実験”, https://www.jspacesystems.or.jp/jss/wp-content/uploads/2023/08/ISTS2023_SSPS.pdf（参照:2025/11/10）
スペースサイト”深宇宙ネットワーク（DSN）について”.https://spacesite.biz/news.more.html（参照:2025/11/10）

謝辞：株式会社東京インスツルメンツ 栗林 文雄様には、ポータブル **FT-IR** についての情報やご助言を賜り深謝申し上げます。