

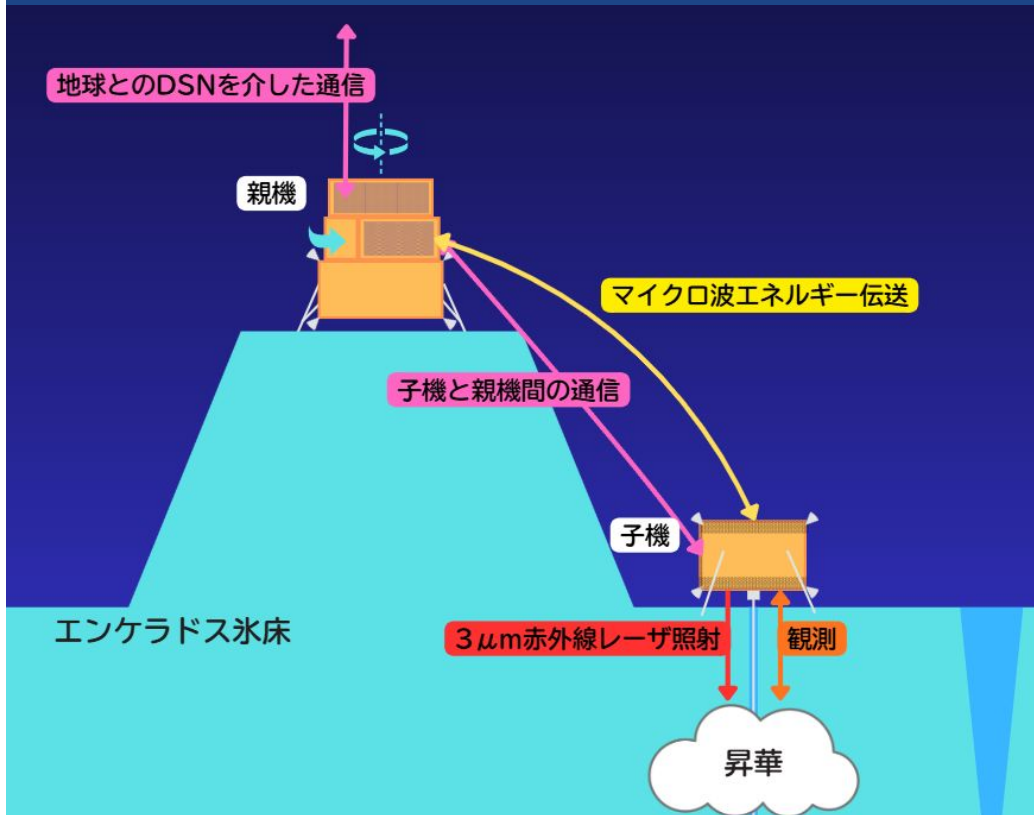
# マイクロ波エネルギー伝送による氷衛星探査

## 氷床に潜む、宇宙生命のシグナルを追って

ノートルダム清心高等学校 小西 葵・広島県立広島中学校 小西 尊

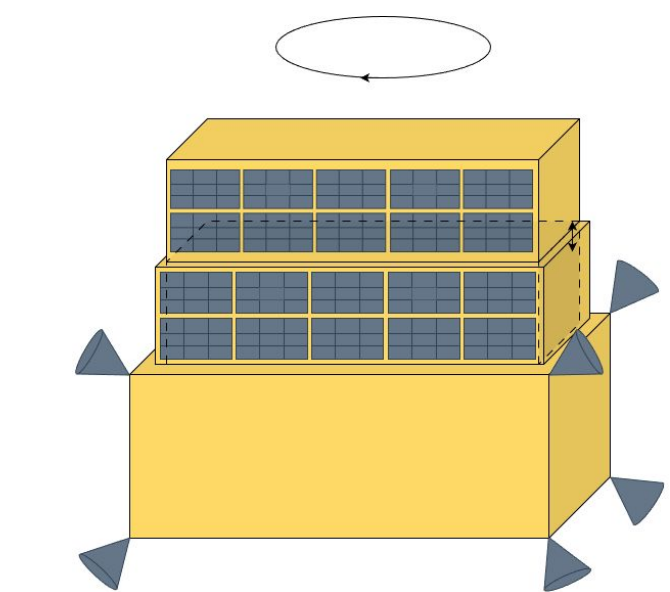
氷衛星エウロパやエンケラドスでは、生命の起源の可能性が示され、これまでプルームや内部海を対象とした探査ミッションが計画・検討されてきた。本ミッションでは「氷床」に着目。**マイクロ波エネルギー伝送**により、親子機の氷床探査を実施、赤外線レーザーで氷床を昇華させながら、可視光や赤外線分光等のセンサーを使うことで氷床の表面や内部を観測し、**生命痕跡の検出**を試みると共に**氷床の成り立ち**に迫る。（189）

### 1. 氷衛星探査システムの全体構成（エンケラドスを例に検討：重力は、0.113m/s<sup>2</sup> 地球の1/90）



- 1) タイガーストライプ付近に自律航法で着陸。
- 2) 子機を分離、観測場所まで移動。分離以降、子機の駆動及び観測系エネルギーは親機からマイクロ波で供給（宇宙太陽光発電技術を応用）する。
- 3) 子機はスラストにより移動しながら観測地点を決定。
- 4) 赤外線レーザーで3μmの赤外線を局所的に照射。氷床を昇華させ、内部を可視光・赤外線・赤外線分光・ガスクロマトグラフで観測。
- 5) 子機→親機→DSN(深宇宙通信情報網)→地上局の順に観測データを送信する。

### 2. 探査機（親機）の仕様



エンケラドスまでの航行・着陸・子機の送出を行うと共に、DSN(深宇宙通信情報網)を介した地上局との通信・子機との通信、そして子機へのエネルギー伝送を担う。

	機器名	使用用途・概要
推進機器	スラスト	親機の姿勢制御・軌道変更
	イオンエンジン	
電源	放射性同位体熱電気転換器 (RTG)	深宇宙探査機の電源
通信	X帯フェーズドアレイアンテナ	地上局のDSN連携のアンテナと通信
	Ka帯フェーズドアレイアンテナ	
	展開式フェーズドアレイアンテナ	親機子機間でのコマンド・観測データの通信及びエネルギーの伝送 親機着陸後展開
センサー系	慣性計測装置(IMU)	探査機の軌道・姿勢を制御・推定
	スタートラッカー	
	可視光カメラ	着陸する地形を決定するため氷衛星表面を撮影
	赤外線カメラ	
	赤外線放射温度センサ	氷衛星表面温度の観測 着陸地点の決定
	LiDAR	着陸時の親機の高さを観測
	ヒーター	低温環境下での各装置の保護・維持

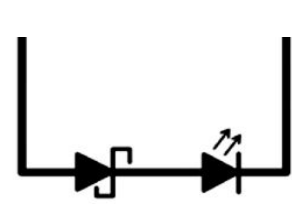
### 4. マイクロ波によるエネルギー伝送実験

宇宙太陽光発電技術で使用されるマイクロ波を、探査機のエネルギー供給に活用することを前提に検討・実験した。自作アンテナにLEDを設置、稼働中の電子レンジに近づけるとLEDが点灯。この方式を活用することで、太陽系探査活動の幅が広がると考える。

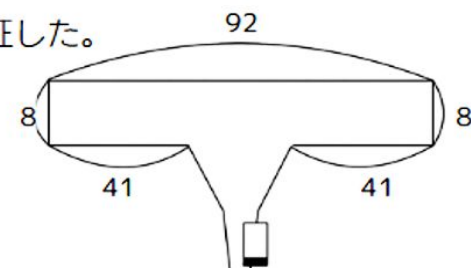
か。アンテナを自作し電力伝送ができているのか検証した。



▲自作したアンテナ



▲回路図

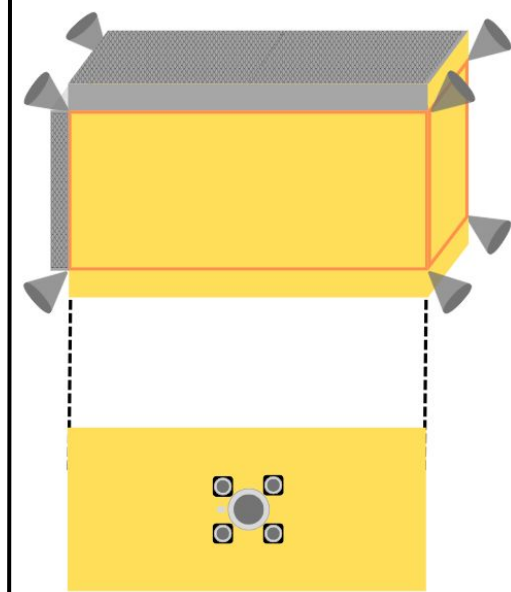


▲アンテナの形状 (mm)



電子レンジ付近でLED点灯

### 3. 探査機（子機）の仕様

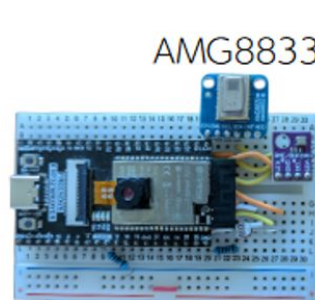


赤外線レーザーにより3μmの赤外線を局所的に照射し氷を昇華させ、露出した氷床内部を可視光・赤外線カメラフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)・ガスクロマトグラフにより観測、データを親機に送信する。

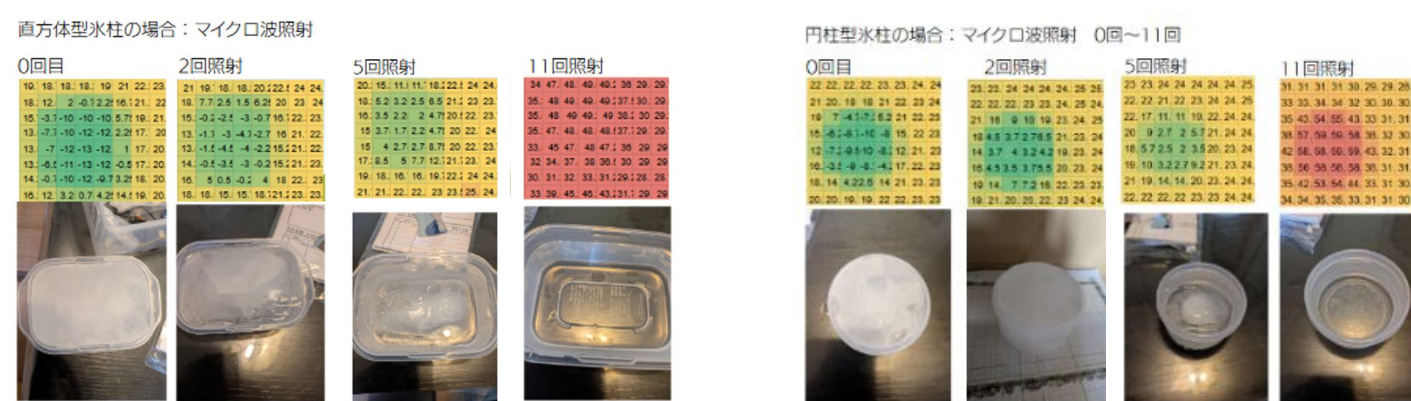
	機器名	使用用途・概要
推進機器	スラスト	子機の姿勢制御・移動
電力供給	レクテナ	親機から送電されたマイクロ波を受電し電力に変換 親機からのコマンドを受信
通信	フェーズドアレイアンテナ	親機子機間でのコマンド・観測データの通信
センサー系・ミッション機器	IMU	子機の姿勢制御・傾斜を計測・推定
	レーザー測距センサ	障害物の認識 氷床の昇華距離を測定
	赤外線放射温度センサ	氷床表面及び内部の温度を測定
	可視光カメラ	環境認識及び地形認識の視覚センサー 氷床表面の撮影
	赤外線カメラ	
	フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)	氷床表面及び内部に赤外線を照射し、その吸収スペクトルを測定
	ガスクロマトグラフ	昇華した氷床内部のガスを検出、氷床に含まれる成分の分析
	赤外線レーザー	3μmのマイクロ波を局所的に照射し、氷床を昇華
	ヒーター	低温環境下での各装置の保護・維持

### 5. マイクロ波による氷柱融解実験

マイコン(ESP32)・赤外線センサ・温度センサで回路を組み電子レンジ500wにてマイクロ波30秒照射後の氷柱温度を観測。氷柱の加熱が進むことが確認できた。



マイコン (ESP32)  
▲温度分布計測装置



マイクロ波により、衛星地中の氷から水を得るための技術開発が進んでいる。この技術の応用（注1）を検討していた。

### 6. 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ー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赤外線レーザー
氷床への浸透深度	深い △	浅い ○
昇華効率	小さい △	大きい ○

### 7. 課題

**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が、氷衛星環境下での運用について検証する必要有。  
**マイクロ波での電力供給時の損失**：電力→マイクロ波変換、マイクロ波伝送マイクロ波 →電力の変換の損失を考慮し、レクテナの設計と伝送距離の最適化が求められる。

指導：伊藤 智子（子ども宇宙アカデミー） 岩田 敏彰（デジタル化推進アカデミー）

参考文献：（注1）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](https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/assets/prev/files/report_2018/2018report_2.3.2.pdf)(最終閲覧日:2025年11月10日)  
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>(最終閲覧日:2025年11月10日)  
University of Oxford Department of Physics, "Aerosol Refractive Index Archive", [https://eodg.atm.ox.ac.uk/ARIA/data?Water\\_and\\_Ice/Ice/200\\_K\\_to\\_300\\_K/200\\_K\\_Clapp\\_et\\_al.\\_1995](https://eodg.atm.ox.ac.uk/ARIA/data?Water_and_Ice/Ice/200_K_to_300_K/200_K_Clapp_et_al._1995)  
JAXA,ファン！ファン！JAXA！, "はやぶさ2 概要", <https://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/overview.html>

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などについての情報やご助言を賜りました、心より御礼申し上げます。