

補助事業番号 2021M-231

補助事業名 2021年度 月・火星の水探査を目指した、革新的中性子・ガンマ線センサの開発 補助事業

補助事業者名 山岡 和貴

1 研究の概要

本研究は月や火星の水資源探査に活用するため、放射線の一種である中性子・ガンマ線の両方を検出でき、両方を撮像・分光できる小型・軽量・低消費電力の大学発の革新的放射線センサを開発し、超小型衛星や探査車(ローバー)に搭載することを目指す。センサは積層・アレイ型のシンチレータとシリコン半導体光センサ(MPPC)が用いられ、700を超える電気信号を同時に処理することで、放射線が入射・反応した時の飛跡を3次的に追跡可能である。そのための基礎技術である、多チャンネル処理電子回路、振動構造設計技術、高密実装技術を獲得して宇宙空間での動作実証と水資源検出を実現する。

2 研究の目的と背景

NASAはアポロ計画以来のアルテミス計画を高らかに掲げ、近い将来、月や星へと人類の活動の場を拓けようとしている。我が国もこの計画に参画することが決定しているが、国際貢献の具体的方法が決まっていない。その一つが宇宙活動を続けていく上で重要となる水資源探査である。水は月の北極や南極に存在することが示唆されているが、一体どのくらいの量、どこに、どの深さにあるのか詳細に分かっていない。中性子は宇宙線が地中の鉱物と衝突することで生じ、地表面へと出てくるときに水(厳密には水素原子)と効率よく減速するため、高速の中性子の量が減るといいう性質がある。また、ガンマ線も中性子が水素原子と反応して特有のラインガンマ線を出す性質があるので、両者に感度をもつセンサを開発し、人工衛星や探査車(ローバー)に搭載することで一刻も早く国際貢献を果たしたいと考えている。

3 研究内容

(1) 中性子・ガンマ線センサの検出器シミュレーションと形状決定

(https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~yamaoka/research/planet_exploration/)

図1のような形状を計算機上に作り出し、材質や密度を再現したセンサに中性子とガンマ線を打ち込んで、散乱・吸収などの放射線と物質の相互作用をシミュレーションで追跡する。センサは中性子とガンマ線を積層したプラスチックシンチレータとアレイ型GAGGシンチレータという2種類のシンチレータが使用されており、多層・複数のセンサを配置することで3次的に飛跡を追跡できる。この飛跡パターンとエネルギー情報を使ってから中性子やガンマ線の到来方向やエネルギーを制限する。1 MeVのエネルギーのガンマ線を正面からと30度からずれた位置から当たった場合にコンプトンカメラの原理を使って方向を決定することが分かった(図2)..

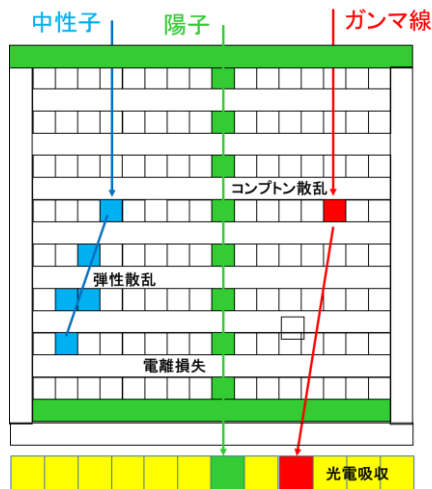


図 1: センサの断面構造模式図と様々な放射線の種類(陽子・中性子・ガンマ線)による反応の違い。

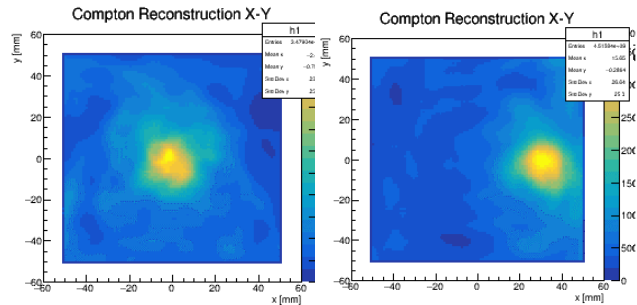


図 2: エネルギー1MeV のガンマ線を正面(左)、30度外れた位置(右)からセンサに入射した時に得られる画像。両者を識別できる。

(2) 衛星搭載に向けた中性子・ガンマ線センサの開発研究

(https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~yamaoka/research/planet_exploration/)

目には見えない放射線の飛跡を追跡するためには、個々のシンチレータで発生する微弱な電流信号を独立に信号処理する必要がある。我々は700以上に及ぶシステムの信号を低消費電力で処理するシステムとして、1) 超低消費電力の集積回路(ASIC)とプログラム可能なデジタル回路(FPGA)を使用した前段(フロントエンド)回路、2) 全体の信号を統合するデータ処理回路、3) 衛星からの電力供給や電氣的インターフェースをとる電源・デルタ機能回路の大きく3つの信号処理基板を開発し(図3に試験風景を示す。)、それがJAXA衛星の規定サイズ(10 cmx15 cmx15cm)の限られたスペースで実現できることを示した(図4)。

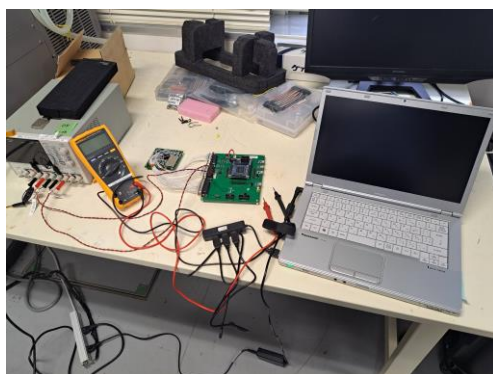


図 3: データ処理基板と電源・デルタ基板を接続しての動作試験風景

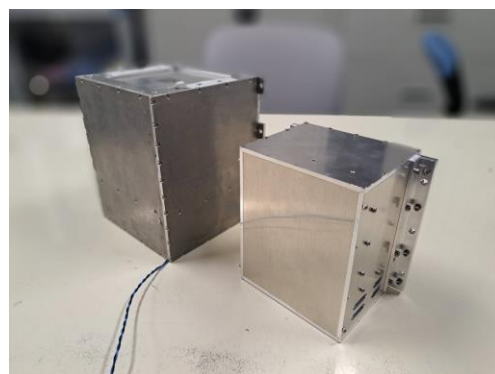


図 4: ChubuSat-2 で開発した放射線センサ(左)と今回の JAXA 革新的技術実証衛星適合条件で開発したセンサ(右)

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

もしも月や火星で水資源が存在する場所や量が本センサで特定されれば、掘削作業により、効率よく水資源を確保し、水素と酸素に電気分解することで、自立的に活動していく上での必需物質を得ることができる。これは人類が宇宙空間で持続的に活動していくには必須の技術である。また、小型・軽量・低消費電力のセンサ技術開発により、センサを可搬型で用いることができ、放射線環境モニタ、放射線除染、地上での医療や構造物の透視技術などへの応用が考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで50 cm角、50 kg級の超小型人工衛星ChubuSat-2の実験責任者として太陽フレア観測用中性子検出器を開発し、2016年2月にJAXA種子島宇宙センターからH-IIAロケットで打ち上げられたが、その後宇宙空間での動作実証には至らなかった。さらなる打ち上げ機会を増やすためによりコンパクトなキューブサットの開発を行っており、ChubuSat-2のリベンジを狙っている。今回はキューブサット用に開発する中性子・ガンマ線センサを太陽フレアだけでなく、月や火星の水資源探査へも応用しようとする開発研究である。中性子というほとんど着目されていない検出手段を用いることにより、宇宙物理学や惑星科学だけではなく人類の実益にも貢献することができる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

・Kazutaka Yamaoka, Hiroyasu Tajima, Kikuko Miyata, et al.

“Solar Neutron and Gamma-ray Spectroscopy Mission (SONGS)”

Proceedings of SPIE, Astronomical Telescopes and Instrumentation, Aug. 31, 2022

Volume 12181, doi: [10.1117/12.2629131](https://doi.org/10.1117/12.2629131)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~yamaoka/research/planet_exploration/doc/final_report.pdf

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：名古屋大学宇宙地球環境研究所

(ナゴヤダイガクウチュウチキュウカンキョウケンキュウジョ)

住 所：〒464-8601

愛知県名古屋市千種区不老町

担 当 者：特任准教授 山岡和貴(ヤマオカカズタカ)

担 当 部 署：飛翔体観測推進センター 宇宙開発利用推進室

(ヒショウタイカンソクスイシンセンター ウチュウカイハツリヨウスイシンシツ)

E - m a i l: yamaoka@isee.nagoya-u.ac.jp

U R L: <https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~yamaoka>