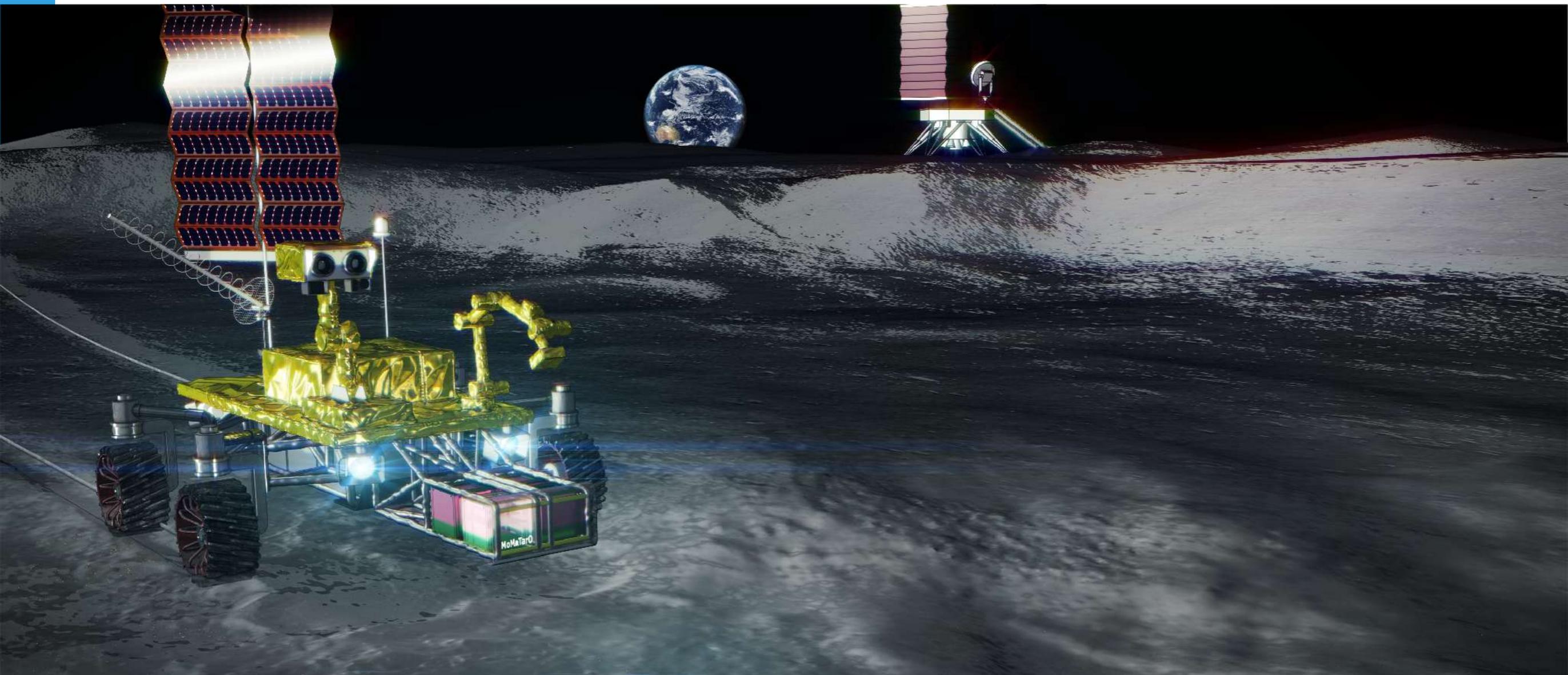


CPRプロジェクト打ち合わせ

辻 直希

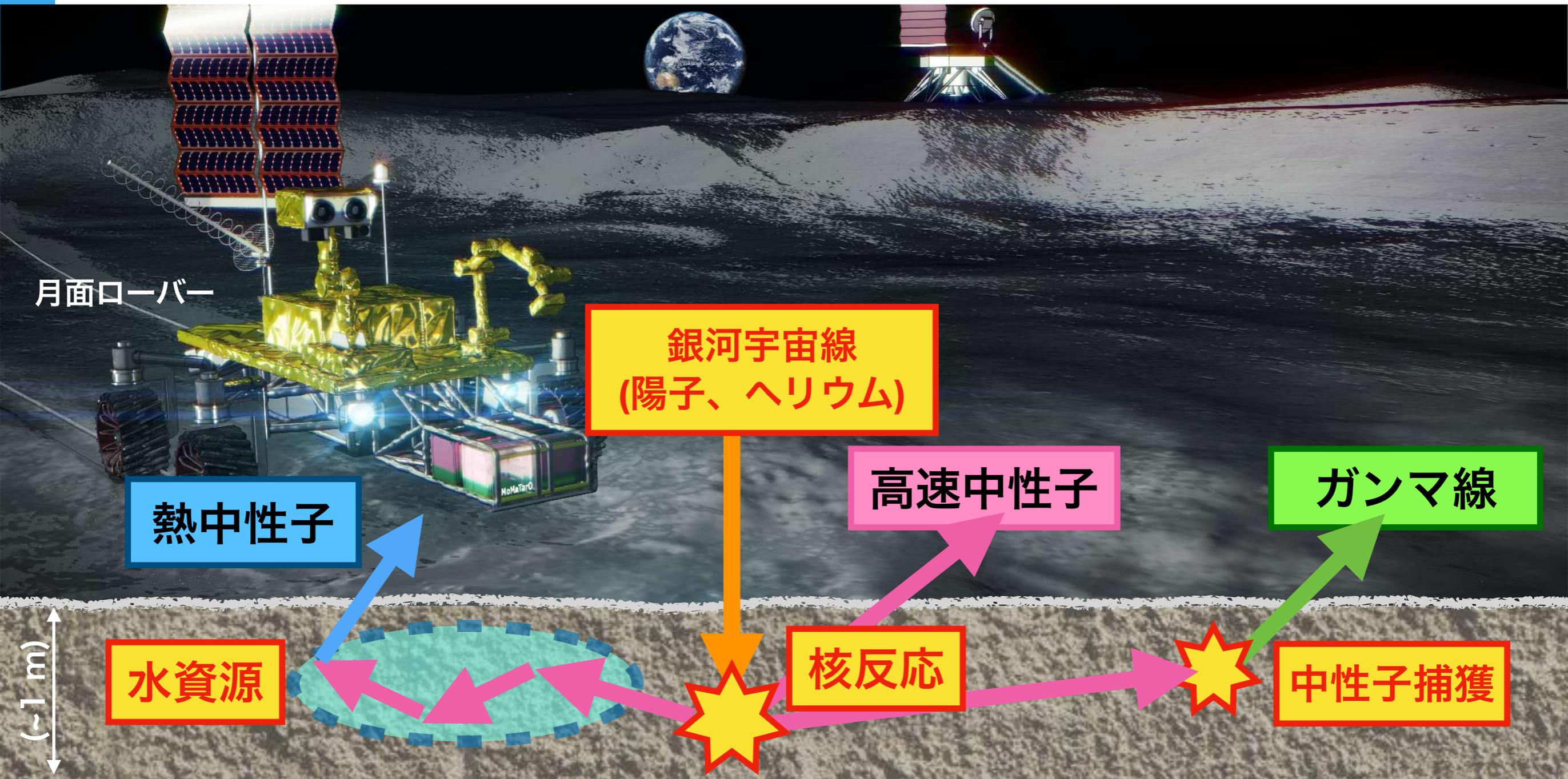
Moon Moisture Targeting Observatory (MoMoTarO)

- 中性子とガンマ線の放射線測定を軸とした、月面・月周辺での他分野連携プロジェクト
 - 中性子を用いた水資源探査 (惑星科学)
 - 中性子の寿命測定 (素粒子物理学)
 - ガンマ線バースト (マルチメッセンジャー天文学)



月面での中性子生成過程

- 月面には高エネルギーの銀河宇宙線(陽子やヘリウムなど)が降り注いでいる
- 銀河宇宙線が月面の原子に衝突した際に、核反応で高速中性子が生じる
- 発生した高速中性子は水(水素)で散乱されて、熱・熱外中性子になる
- **この熱・熱外中性子を測定することで、月の水資源探査を行う！**



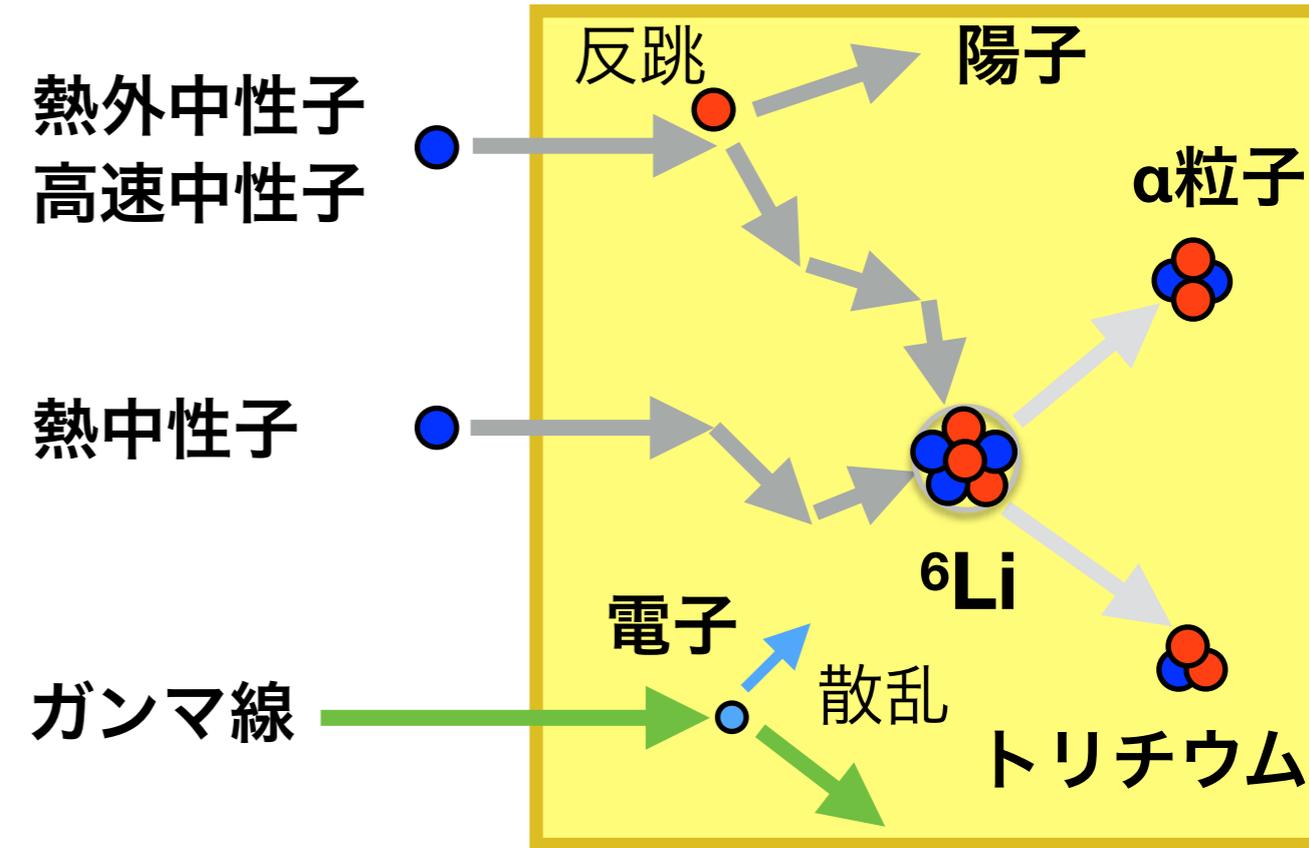
新たな中性子の測定技術

- これまでの中性子検出では、ヘリウムガス検出器が主流
 - 価格の高騰、振動に弱い
- **リチウムを含むプラスチックシンチレータ(EJ-270)とシリコン半導体光検出器(SiPM)を使う新技術の開発**
 - 熱中性子、熱外/高速中性子、ガンマ線を同時測定し、波形の違いで弁別が可能
 - ヘリウムに比べて安価
 - 振動に強く、小型・省電力
 - ➡ 高感度化、量産化が可能
- 実験室モデルで熱中性子と高速中性子の弁別を確認
- 宇宙環境モデル(過酷な熱環境、放射線の影響、打ち上げの振動)の設計へ

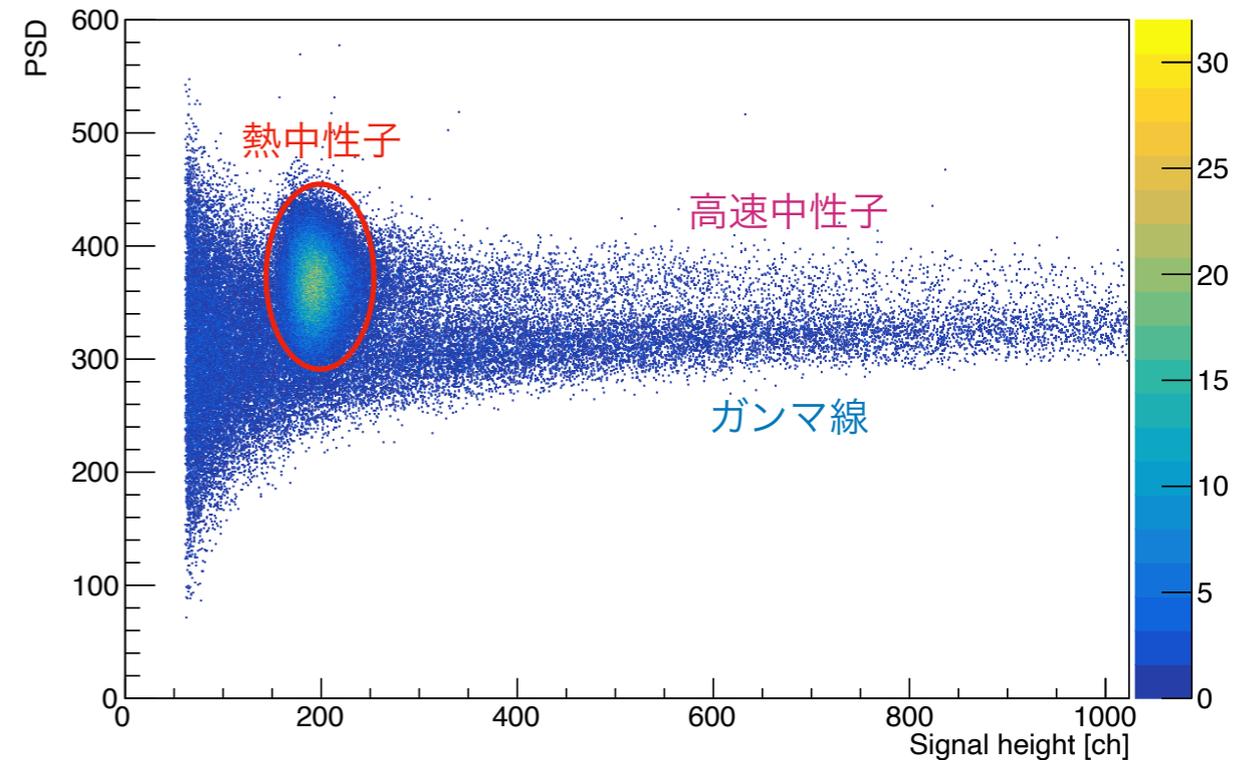
高速中性子: 主に陽子(水素原子核)との弾性散乱でエネルギーを落とす。十分にエネルギーを失って熱化され、 ${}^6\text{Li}$ に捕獲される。

熱中性子: Li に捕獲されると、 (n, α) 反応(Q値: $\sim 4.8 \text{ MeV}$)で α 粒子と ${}^3\text{H}$ を放出する。

ガンマ線: 主にコンプトン散乱を起こす。



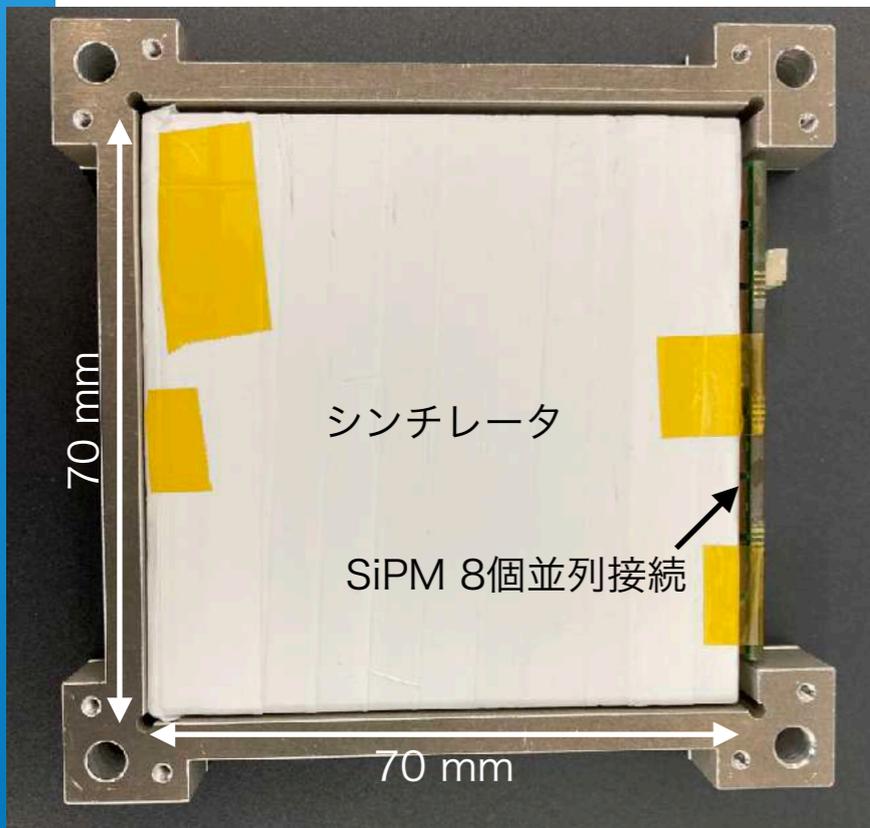
熱中性子、高速中性子の波形弁別



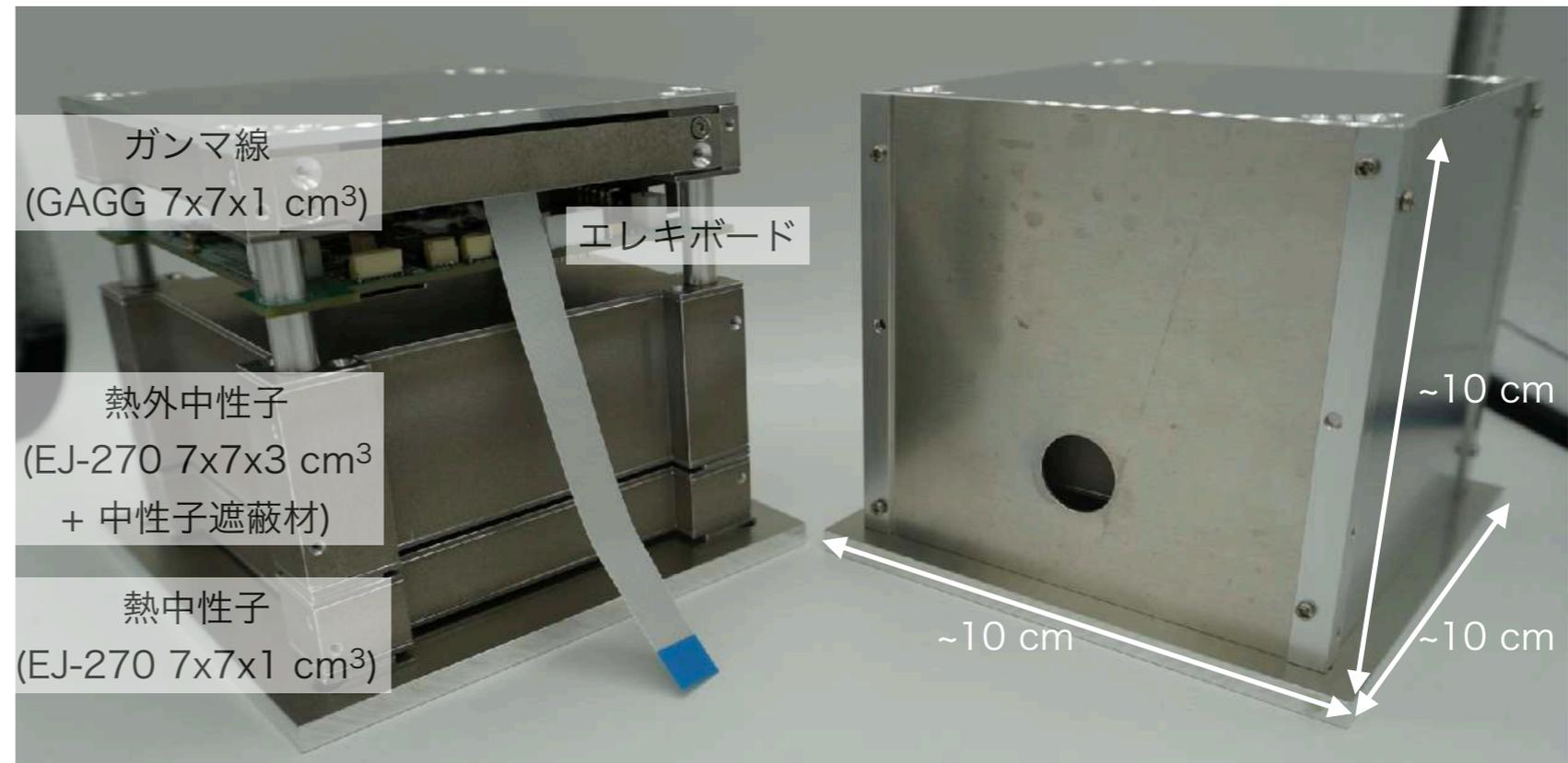
MoMoTarOに搭載する中性子・ガンマ線検出器

- **キューブサット1Uサイズのもジュール化で搭載機会・拡張性を増やす**
- 第一世代として、シンプルなシンチレータ + SiPMの構造で放射線計測
 - 熱・熱外/高速中性子を弁別して測定するシンチレータ: EJ-270
 - ガンマ線バーストや月の元素組成を測定するシンチレータ: GAGG
 - 半導体光検出器: Silicon Photomultiplier (SiPM)
 - キューブサット衛星NinjaSatのノウハウを活用した電子回路ボード
- 第二世代として、高統計や撮像系を目指した検出器も検討中

シンチレータ + SiPMの1ユニット

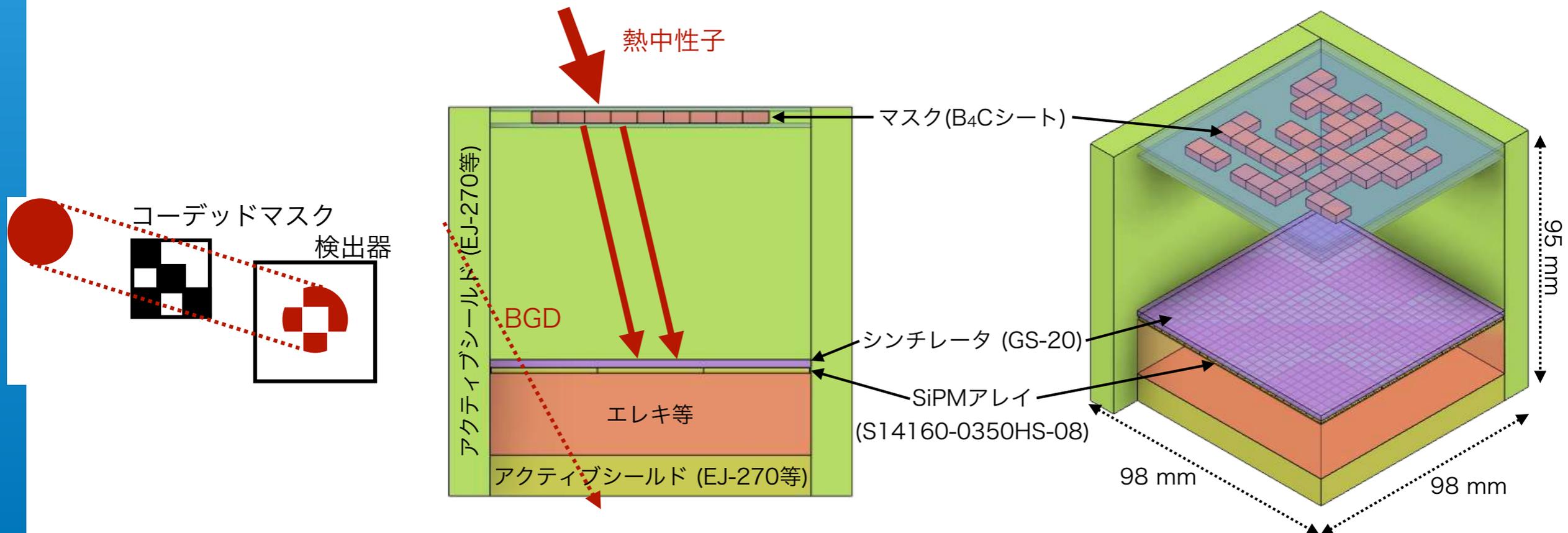


MoMoTarO試作機



中性子イメージング検出器の開発

- イメージング機能(角度分解能)を持った中性子検出器の開発に着手
 - コーデッドマスクで熱中性子を撮像
 - 月から来た中性子か、さらに月のどこから来た中性子かを判別できる
 - 月表面の元素組成の分布も組み込める
 - アクティブシールドで反同時係数を取ることでバックグラウンド削減
 - ➔ 系統誤差を軽減
 - 中性子ミラー望遠鏡
 - 理研榎戸チーム谷口・鶴見ほかが衛星設計コンテストにて設計大賞・文部科学大臣賞受賞
- 国際宇宙ステーションや小型衛星を用いた宇宙実証を行い、技術成熟度を確認



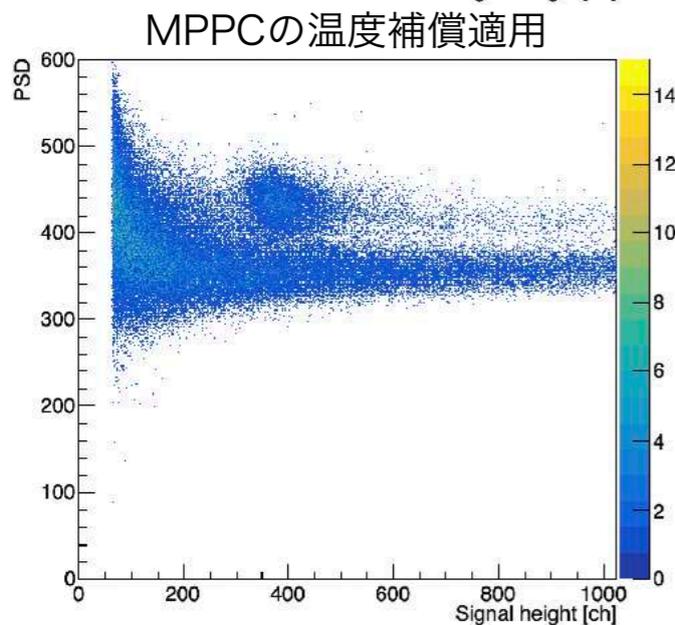
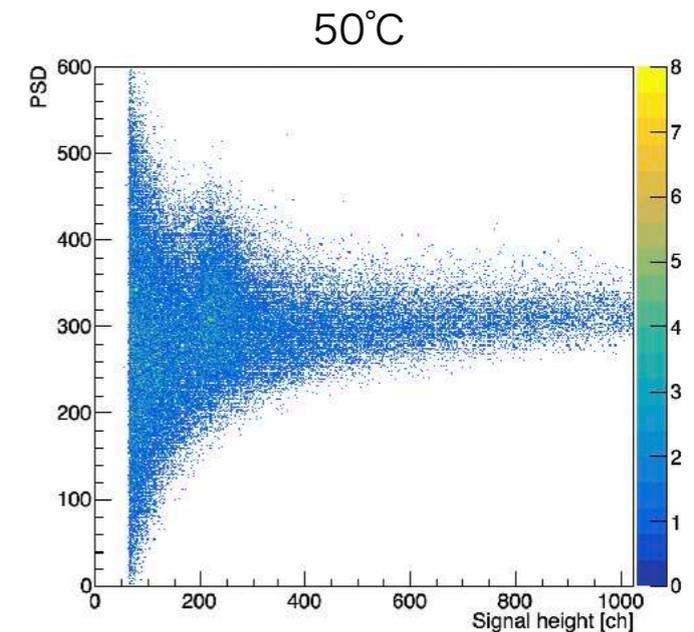
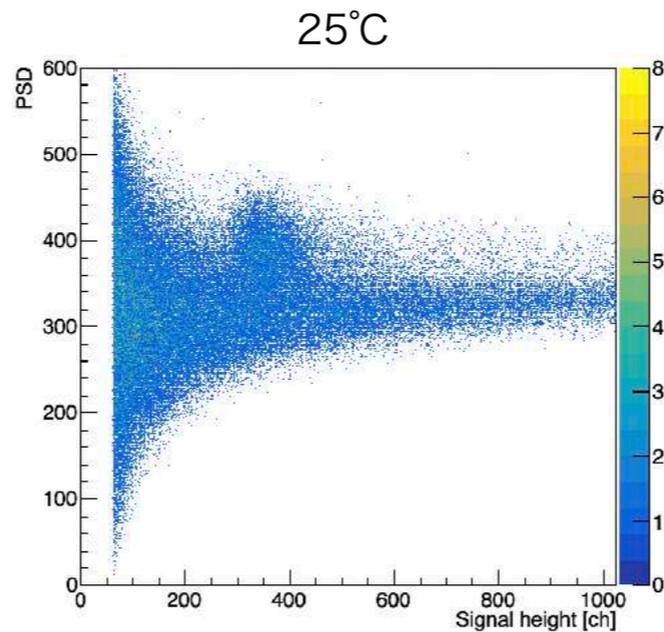
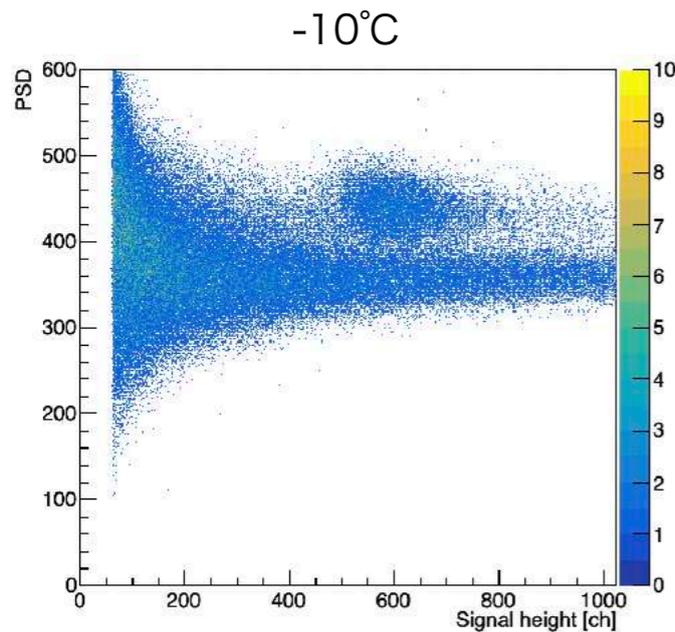
水資源探査のための月周回衛星“Izumi”

谷口 絢太郎¹, 鶴見 美和², 小松 龍世³,
 工藤 雷己⁴, 伊澤 梓実², 海江田 蒼⁵, 相澤 脩登⁴, 五味 篤大⁴, 永井 悠太郎⁶
1 早稲田大学大学院 2 青山学院大学大学院 3 総合研究大学院 4 東京大学大学院
 5 横浜国立大学大学院 6 京都大学大学院
 2022/11/12 第30回衛星設計コンテスト最終審査会 @クロス日本橋

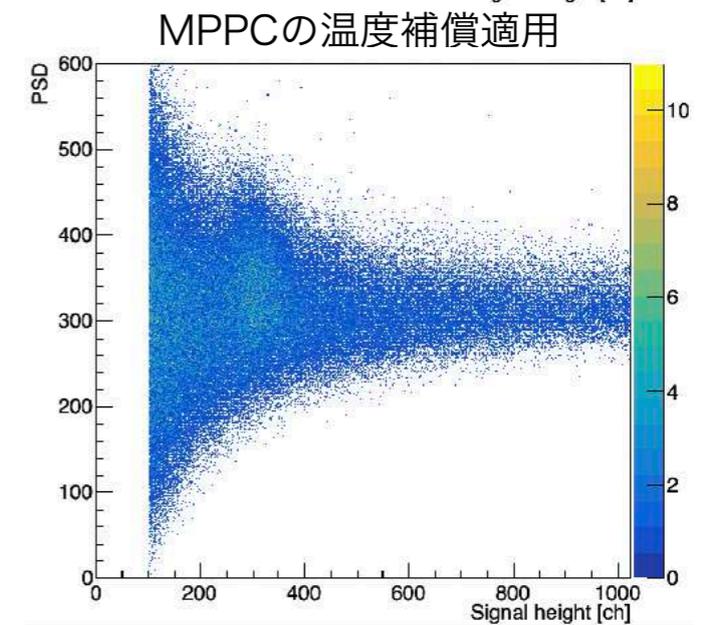
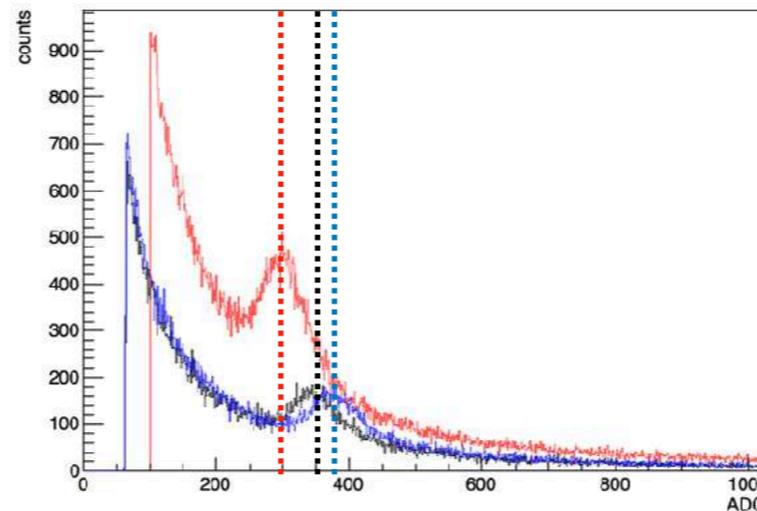


温度特性試験

- 恒温槽で $-10 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ の温度変化で波形弁別(PSD)の性能変化を検証
 - 低温になるとゲインが高くなりノイズが減少するので、PSDの性能が良くなる
 - 高温になるとゲインが低くなりノイズが増加するので、PSDの性能が悪くなる
- MPPCの温度補償を組み込み式で実装予定



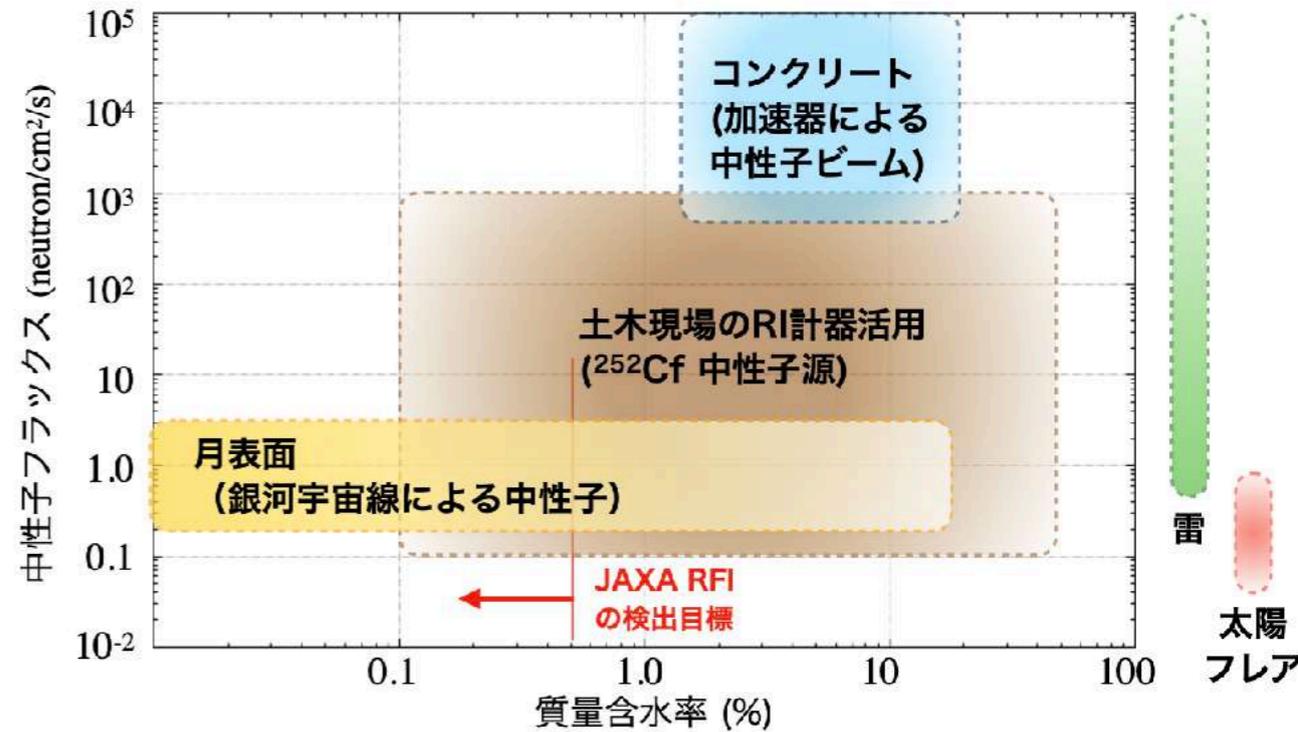
熱中性子ピークの比較 (温度補償適用後)



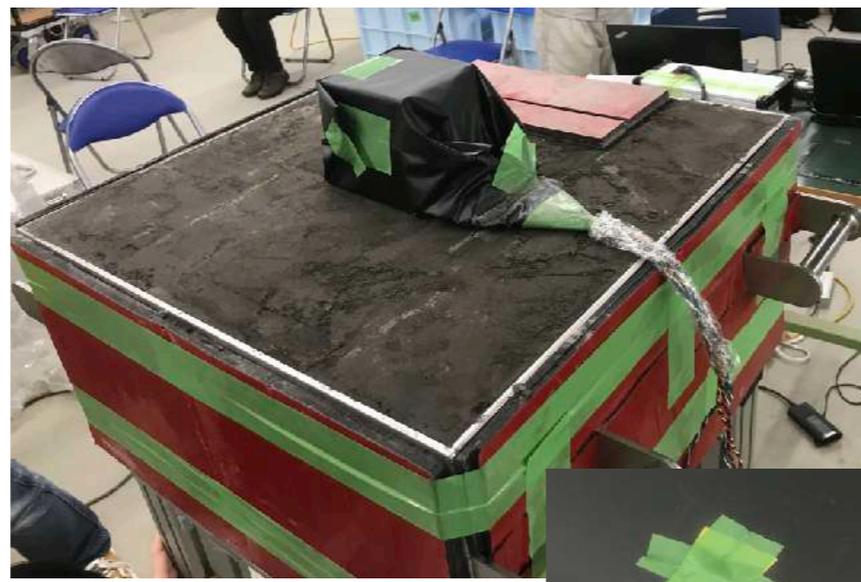
極低含水率の月シミュラントの測定

- **中性子水モニタの応用範囲は広い**
 - 土木工事: 地盤調査、締固め
 - コンクリート構造物の非破壊検査: 橋梁、ダムなどの構造物、コンビナート
 - 将来の日本のインフラ維持への貢献
- 地上の測定に対し、月面では極低含水率を測定する必要がある。
- 立命館大学小林研で月面環境を想定した試験を実施
 - 極低含水率で作成した6点のシミュラントに対して、中性子の計数率を測定する

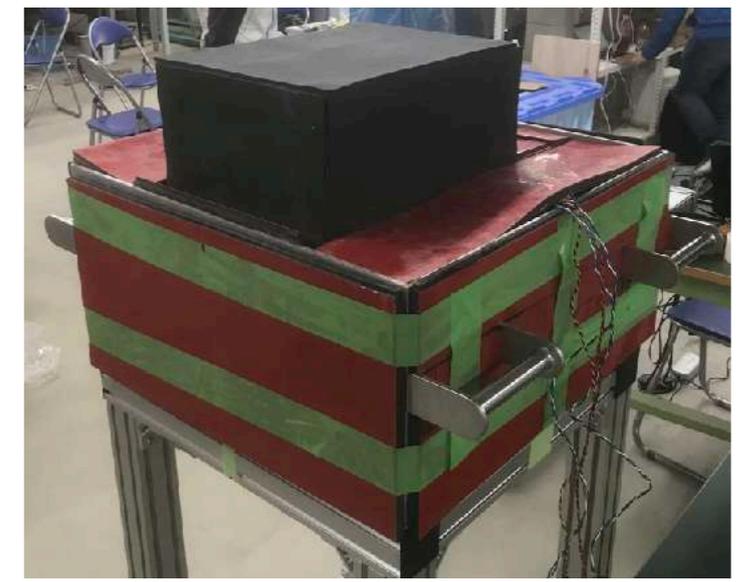
月面と土木建築での中性子フラックスと含水率の比較



(1) 数%以下の含水率の月シミュラントを土槽に詰める



(2) 中性子線源とMoMoTarO 検出器を設置

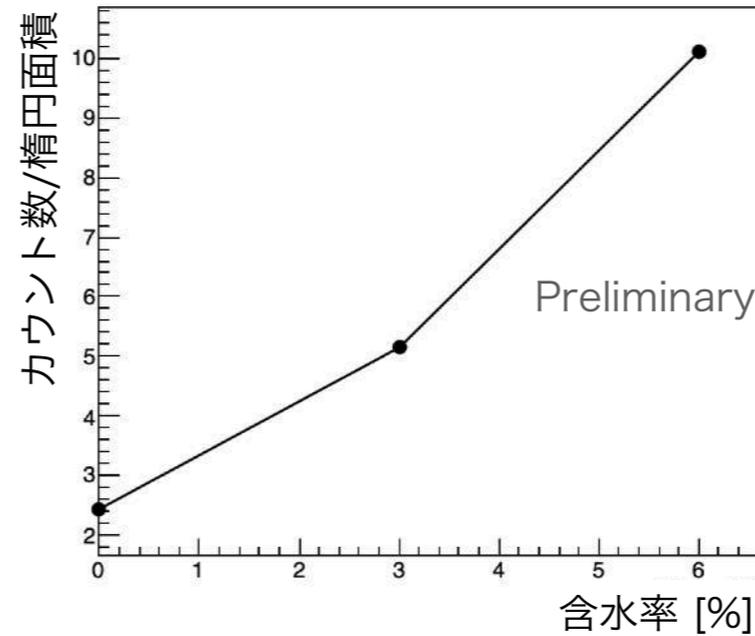


(3) 土槽からの中性子を測定

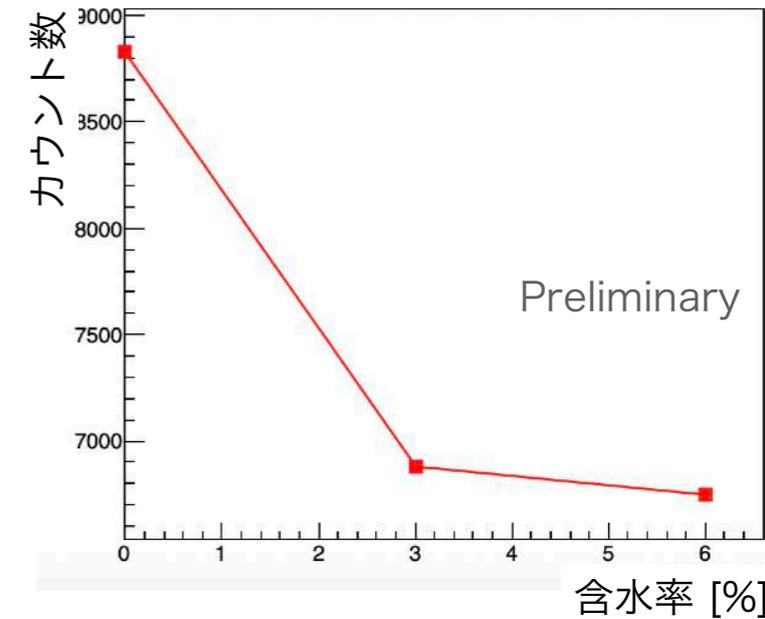
極低含水率の月シミュラントの測定

- 含水率により中性子カウント数に変化
 - 熱中性子：増加
 - 高速中性子：減少
 - 中性子を用いた水探査の原理と合致
 - EJ-270を用いた検証は初めて
- 同じセットアップでGeant4シミュレーションを準備中
- 測定点を増やし、より低含水率を測定する試験を準備中

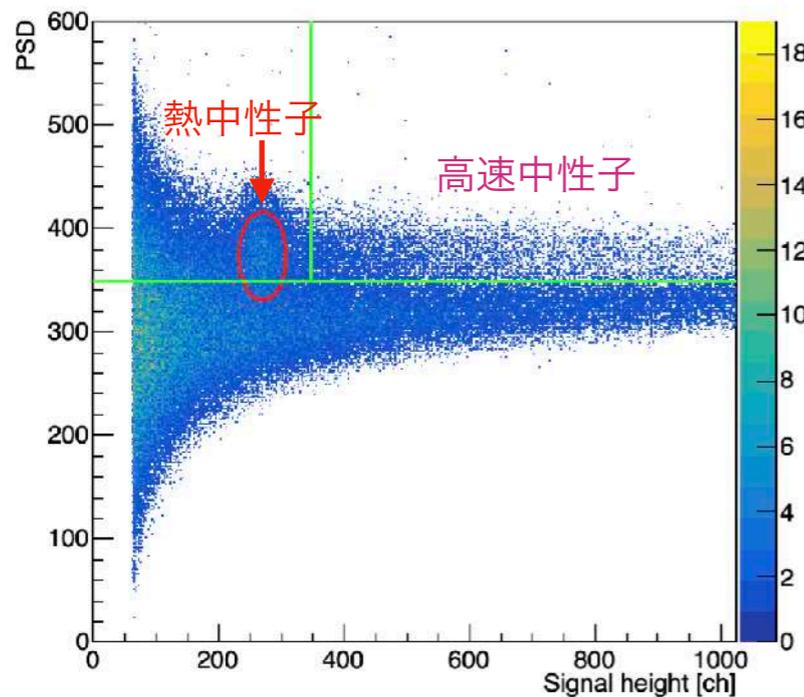
含水率と熱中性子カウント数の相関



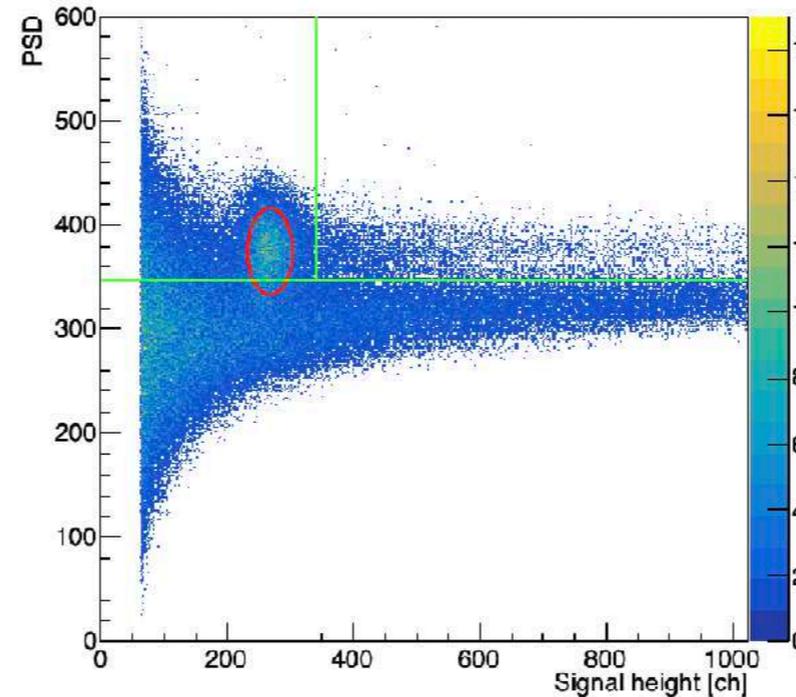
含水率と高速中性子カウント数の相関



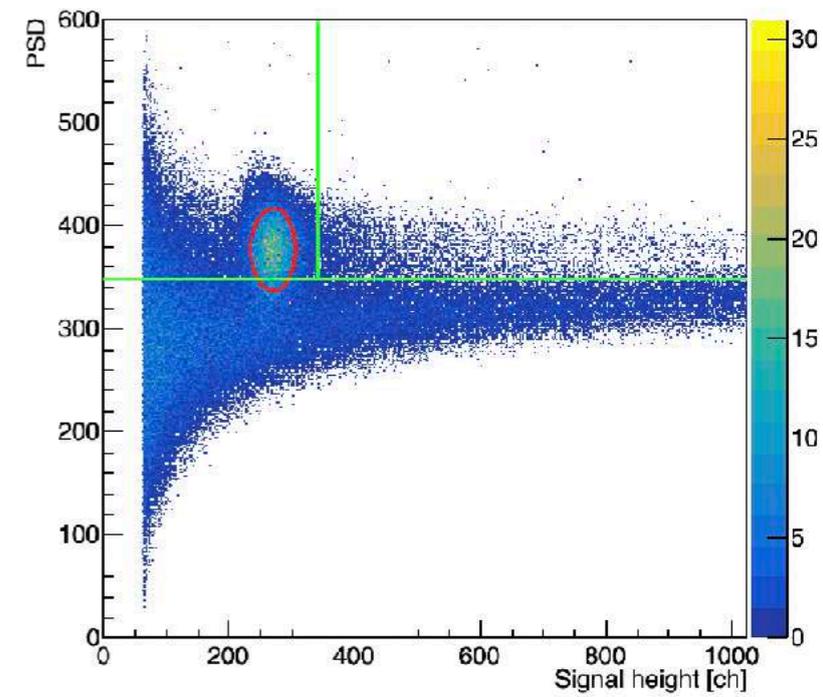
含水率 0%



含水率 3%

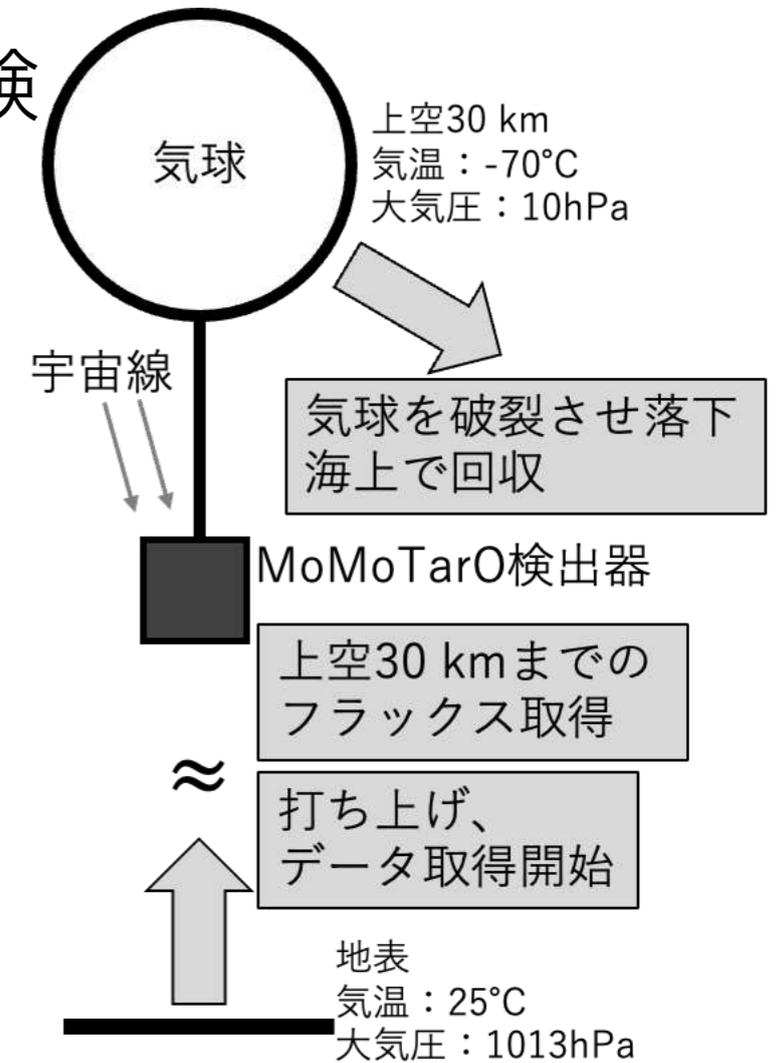


含水率 6%



MoMoTarO開発状況: 気球実験

- MoMoTarOを気球に載せて放射線を測ってみたい
 - ロケット発射時の振動や大気圏・軌道上での熱真空環境、高レートの放射線環境に耐えられるか、簡易的に試験ができる
 - 宇宙線大気シャワーを観測することで、検出器の性能実証できる
- EJ-270搭載の中性子検出器を製作し、気球に載せて打ち上げ
 - 高度30 kmまで飛行 by 成層圏往復便 GOCCO.社
 - 故障無く帰還。宇宙線シャワーの中性子成分が取れている。



EJ-270搭載中性子検出器

気球打ち上げの様子



Credits: GOCCO.

熱中性子カウント数の高度プロファイル

