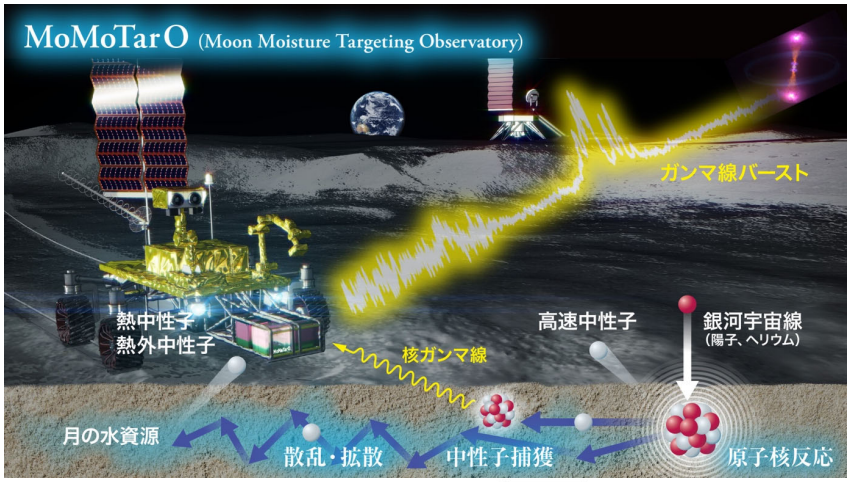
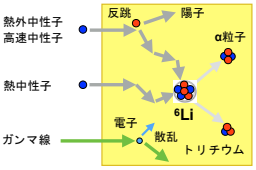
月面探査と土木建築でのデュアルユースを視野に入れた次世代型の中性子水モニタの開発

理化学研究所/聖マリアンナ医科大学/立命館大学/ソイルアンドロックエンジニアリング社/量子科学技術研究開発機構

□宇宙／地上へのインパクト

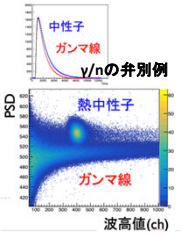
✓月面に衝突する**銀河宇宙線で発生する中性子**を月面ローバー搭載の放射線モニタで測定し、**非接触に水資源を探査**したい。
✓シンチレータと光検出器の宇宙用小型モニタは、**宇宙探査や科学観測**に加え、**地上の土木建築で事業化**するデュアルユース。
✓日本国内で中性子を用いた含水率モニタを研究する研究者、企業が一同に集まった**学際コラボレーションが形成**できた。

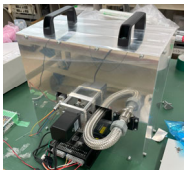




シンチレータ内での
中性子とガンマ線の反応

月面モデル・宇宙用
(京大/聖マ医/立命館/QST)

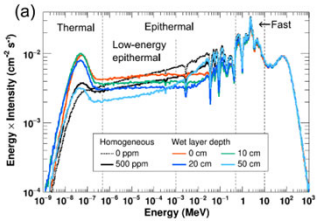




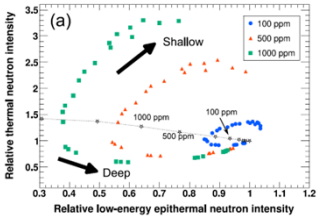
小型パルス中性子源
(理研)

□研究成果のハイライト

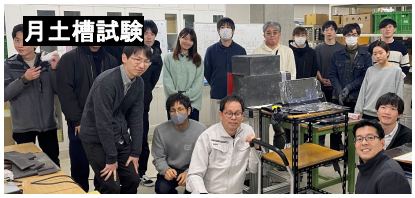
✓宇宙空間での利用を想定した中性子モニタ **Moon Moisture Targeting Observatory (MoMoTarO)**を国産で設計・開発し、国際宇宙ステーション「きぼう」曝露部で**2026年に半年間の宇宙実証**を行うことが決まった。
✓宇宙環境での利用のため、陽子照射試験等の環境試験を実施した。今後、熱真空や振動などの環境も試験予定。
✓月面の極低含水率(~0.5-3重量%)を模擬したシミュラント土槽の作成法を確立し、中性子実験を複数回行って**月面の含水率を測定できる見込み**を得た。
✓月面環境での粒子飛跡シミュレーションを繰り返し、熱・熱外・高速中性子の強度比から、**水の量と存在形態の情報を引き出せる**ことを示した。
✓将来の月面探査において**中性子のオンオフ照射により信号ノイズ比を向上**させるため、回転シャッター式の小型パルス中性子源を開発した。
✓これらの技術を応用し、**地上での事業化**を目指す測定器モデルを開発した。
✓MoMoTarO の月面運用で、**中性子の寿命パズルの解明**や**ガンマ線バーストの重力波宇宙論へ活用**などの宇宙科学もできると判明（探査と科学の連携）。



銀河宇宙線で発生する月面中性子の運動エネルギースペクトル（シミュレーション）



高速中性子に対する熱・熱外中性子の比率
(Kusano et al., Planetary and Space Science, 2024)



立命館大で実施した月模擬土壌を用いた含水率の非接触・測定試験の様子。プロジェクト内で3回実施した。

□地上における事業化計画

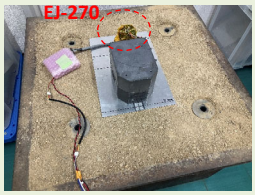
✓地上においても、月開発と同様に、**無人化や遠隔施工が注目**されている。建設分野で使用されている土やコンクリートの水分を計測するための**RI計器にMoMoTarOの技術を適用**できないか計画。
✓中性子シンチレータ EJ-270 の地上モデルを開発し中性子に関する基本応答を確認した。
✓透過型RI密度水分計、散乱型RI水分計への搭載実験を行い所定の**水分計測精度が得られることを土木学会にて発表**した。
✓現在、EJ-270がガンマ線にも感度を持つ特性を利用して、**密度計としての利用**ができないか研究を継続中。密度計測技術が利用できれば、**散乱型RI水分計の測定精度向上、適用範囲の拡大が可能となる見込み**。

● RI計器とは？
熱中性子検出器（He-3比例計数管）と中性子線源（Cf-252）を用いて、中性子線源から放出された速中性子線が土中の水分と反応し熱中性子となる技術を用いた水分計。ガンマ線検出器とガンマ線を用いた密度計と組み合わせて利用されることもある。建設分野では50年以上用いられている品質管理には欠かせない測定器。

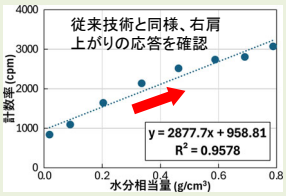
SRE社製　散乱型RI水分計
WARP-mini

SRE社製　透過型RI密度
水分計　ANDES

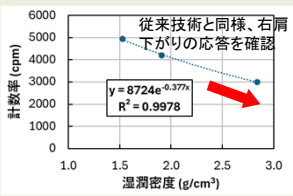
地上モデルEJ-270
（SRE社）



SRE社で実施した土槽実験の様子



散乱型RI水分計にEJ-270を搭載した際の水分応答例



散乱型RI密度計にEJ-270を搭載した際の密度応答例