

研究テーマ名 宇宙使用も視野に入れた土木建築での活用を目指す次世代型の中性子水モニタの開発

機関名：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株式会社、量子科学技術研究開発機構

プロジェクト概要

【目的】

中性子による水探査は、月惑星や地上において土壌含水量の非接触による調査法の一つとして広く用いられている。本提案では、近年の放射線測定技術の進展を活かし、従来の中性子検出器に比べ、高圧電源を用いず、省電力、安価、耐振動性に優れた次世代の中性子モニタを開発することを目的とする。

大気の厚い地球上や火星、月の地下空洞内など天然の中性子量が期待できない場所では、安全で効率的な中性子源を使用し、測定が必要となるため、中性子ビーム・集光技術に応用した小型の中性子源の開発も進める。

これらを組み合わせることで、建設現場での地盤調査、コンクリート構造物や配管の内部劣化検査といった用途に向けた事業化も推進する。宇宙放射線の測定、加速器科学、月探査、土木分野という異分野の専門家が集結したコラボレーションを構築する。

【成果】

1. 宇宙用の放射線モニタMoon Moisture Targeting Observatory (MoMoTarO)の設計・製作を行った(図1, 土槽試験での様子)。中性子検出にはリチウム添加のプラスチックシンチレータを用い、ガンマ線と熱中性子、高速中性子をパルス波形で弁別できている。
2. 月の模擬土壌の製作手順を確立した。乾燥密度を固定し、含水率のみを変化させた模型地盤(土粒子量は一定であるが、空隙の水分量のみが異なる地盤)の作成に成功し、水の混合には、土粒子破砕が起こらないよう、攪拌羽のない容器回転型の混合機を用いた。含水率1%という極めて低い含水率条件であっても均一に混合することができた。
3. 月面を模擬した土槽試験で含水率の異なる模型地盤を複数作成し、水濃度と中性子の有効カウントの関係性を調べた。低含水率帯で含水率と中性子カウントの間で良い相関関係を取得し、シミュレーション計算との整合性も確認できた。これにより中性子による含水率測定の実用性を示した。1wt%を下回る極低含水率では、熱外中性子の測定が有用なため、今後は、熱・熱外中性子を弁別測定し、シミュレーション計算と合わせて、極低含水率での測定有用性を検証する。
4. 銀河宇宙線由来の月面中性子と月地下の水の関係をモンテカルロシミュレーションにより計算し、熱・熱外・高速の各エネルギー帯中性子強度と水の深さの関係を明らかにした。図2は厚さ20cm以下の薄い含水層が様々な深さに存在するときの熱中性子と熱外中性子の強度の関係を表し、含水層が深さ50cm以内に存在する場合に中性子計測で存在量と存在深さが推定できることを示した。従って、ローバ搭載中性子分光計により、探索経路下の水分量と深さ分布の情報を取得することが可能である。
5. リチウム添加したシンチレータEJ270が、建設分野で盛土の品質管理に使用されているRI計器の検出器の代替となり得るのかについて取りまとめ、2023年度土木学会全国大会で発表した。現在、具体的な事業開発として簡易含水比計WARP-miniへのEJ270搭載に向けて検討を進めている。
6. パルス化した小型の中性子源の開発では、カリフォルニウム中性子源(Cf線源)を回転させ、フォトインタラプタを用いたパルス化を可能にする回転機構に必要な部材の組立や追加部材の設計・手配を行っている(図3)。

