

課題名(タイトル):理研小型中性子源RANSの開発のための独自関数および核データライブラリーを用いた中性子発生計算

利用者氏名:○若林 泰生(1)

理研における所属研究室名:(1)光量子工学研究センター 中性子ビーム技術開発チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

メガ電子ボルト(数~100MeV)エネルギー陽子線核反応を利用した小型中性子源の開発において、入射核および標的核の組み合わせによる原子核反応を用いた中性子発生プロセスは、ターゲット減速材反射材デザイン、遮蔽見積りや試料への中性子照射、検出器開発などに関わる一番重要な部分である。特に、我々のチームが進めているインフラ検査技術のための小型中性子源 RANS だけでなく、例えば医療関係などの中性子源を製作していくにあたり、中性子発生量および角度分布・エネルギー分布の見積もりは、遮蔽量や形状など中性子源の大きさや製作費に直結するため、精度が高くなければならないにも関わらず、核データが不足しており、世界的に加速器中性子源発生や遮蔽計算には数倍から10倍の不確実性がある。我々は、中性子発生に関して独自関数の開発を行っており、精度を高めるため、統計量の増加や既存の核データライブラリーとの比較・検討を行っている。

独自関数を用いた RANS 開発のための放射線輸送計算を中心としたモンテカルロシミュレーションによる遮蔽体、ビームラインなどを含めた大規模設置が必要であり、シミュレーションに通常の PC では数か月以上の時間を要する。独自関数の精度を高め、非破壊検査技術開発など、世界に先駆ける結果を得る研究開発を実施するため、スーパーコンピュータを用いて、統計量の増加および計算回数を増やす必要がある。

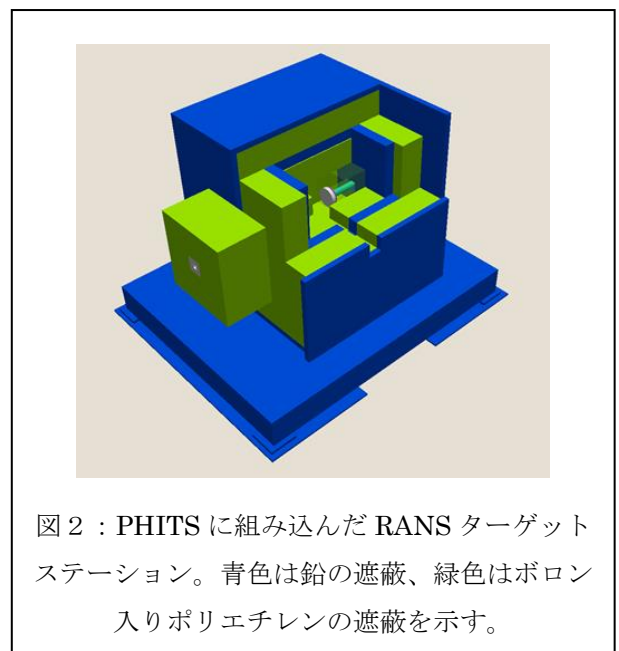
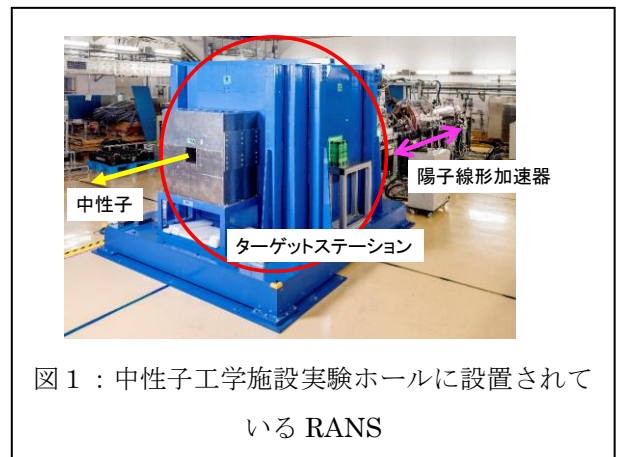
2. 具体的な利用内容、計算方法

GEANT4 や MCNP、PHITS などのシミュレーションコードを必要な計算に応じて使い分け、RANS 開発のため、陽子とベリリウム標的による中性子発生部分に独自関数を組み込んだ上記モンテカルロシミュレーションによる遮蔽体やターゲットステーション、線形加速器などビームラインを含めた

大規模設置による放射線輸送シミュレーションを行う。

3. 結果

本課題では、シミュレーションコード PHITS [T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol. Vol.50, pp.913-932 (2013)] を用いて、図1の中性子工学施設実験ホールに設置されている RANS の写真に示すような RANS システム(陽子線形加速器、ターゲットステーション、標的システムなど)および中性子工学施設実験ホールを体系として組み込み、7MeV 陽子とベ



リリウム標的による中性子の発生源として独自関数 [Y. Wakabayashi et al., Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 55, pp. 859-867 (2018)] を組み込んだ放射線輸送計算を行っている。図 2 は PHITS に体系として組み込んだ RANS ターゲットステーションである。

今年度行った計算の例として、橋梁などの塩害に対する非破壊検査技術開発のため RANS で行っている即発ガンマ線を用いたコンクリート中の元素分析実験 [若林泰生他、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.18, pp. 635-640 (2018)] において、屋外での測定を想定し配置したコンクリート試料および Ge 検出器において、Ge 検出器周りの中性子およびガンマ線の遮蔽を効果的に行うための、中性子およびガンマ線の輸送シミュレーションを示す。図3に、ターゲットステーション出口に追加の鉛遮蔽 (80x80x20cm、開口 5x5cm) を置かない場合・置いた場合を示した。図4に 1keV 以上の中性子、図5にガンマ線の Dose [(Sv/h@陽子ビーム電流 100[A)] を追加鉛遮蔽無し・有りについて示した。各々の計算は、ベリリウム標的

から中性子を 1.17×10^9 個発生させたものである。図4および図5から、中性子に対して追加鉛遮蔽の効果は薄い、ガンマ線に対しては有効である事が分かる。

このように、どの位置でどのように中性子およびガンマ線が生じるかのシミュレーションを行うことで、Ge 検出器周りの中性子およびガンマ線に対する効果的な遮蔽を行い、RANS での実験との比較・検討を行っていくことで、非破壊検査技術開発、独自関数の精度向上および RANS 開発を行っていく。

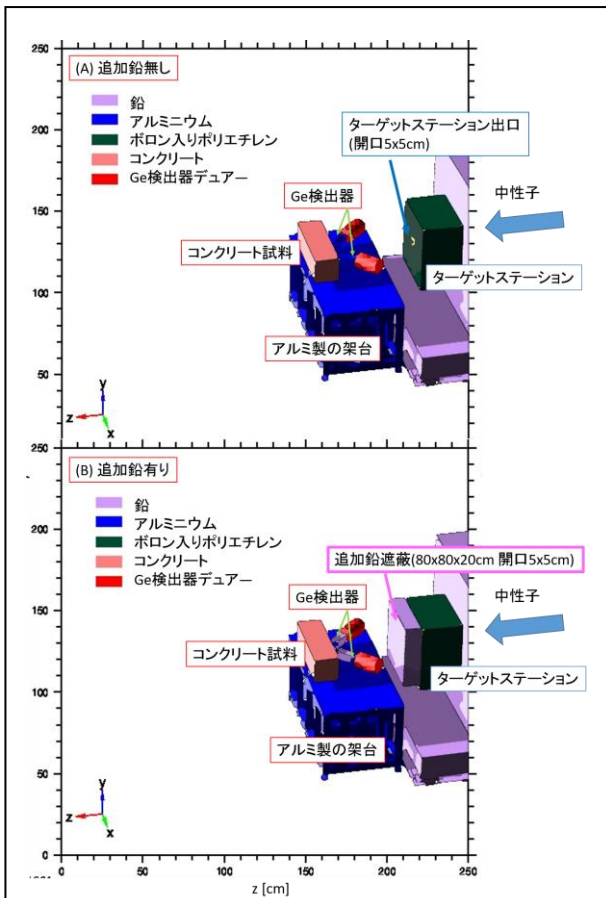


図 3 : PHITS に組み込んだ実験体系の 3 D 図。上段は追加鉛遮蔽無し。下段は追加鉛遮蔽有り。

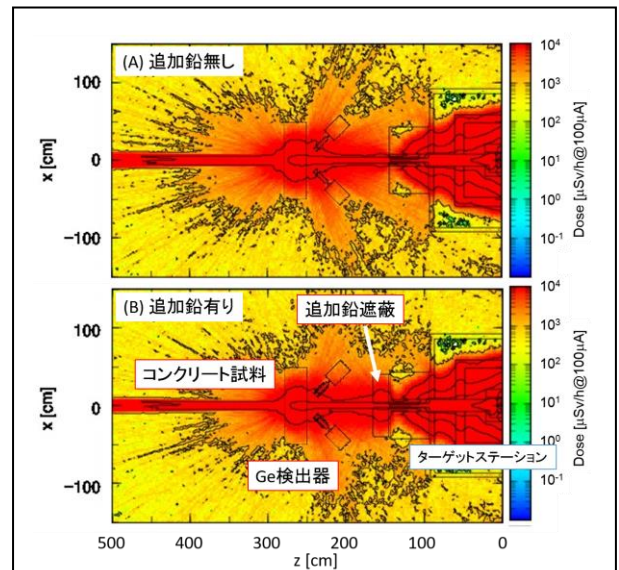


図 4 : 1keV 以上の中性子に対する計算結果。上段は追加鉛遮蔽無し。下段は追加鉛遮蔽有り。

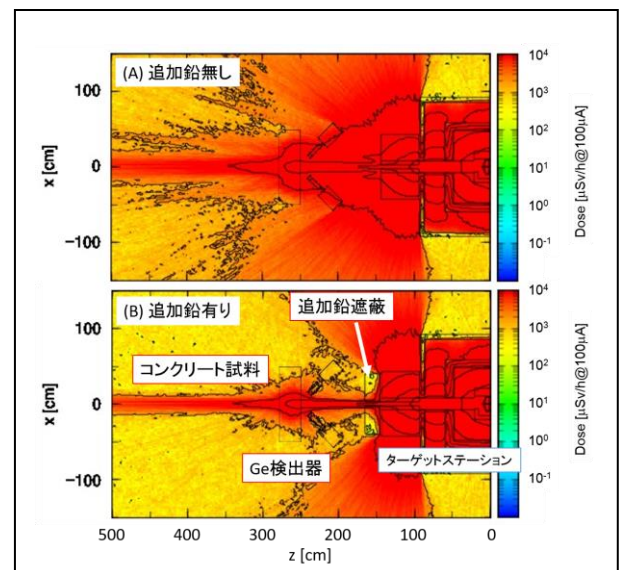


図 5 : ガンマ線に対する計算結果。上段は追加鉛遮蔽無し。下段は追加鉛遮蔽有り。

4. まとめ

低エネルギー陽子線(12MeV 以下)を利用したベリリウム標的中性子発生のエネルギースペクトル及び角度分布をより正確に与える独自関数の精度向上およびRANS 開発のため、独自関数、RANS システムおよび中性子工学施設実験ホールを取り入れ、シミュレーションコードとして PHITS を用いて、RANS で行う実験に必要な遮蔽の検討に必要な大規模計算を開始した。

5. 今後の計画・展望

引き続き PHITS を用いた遮蔽体、ビームラインなどを含めた大規模設置による独自関数を用いた中性子発生シミュレーションを行い、独自関数の精度の向上および RANS 開発を進める。また、シミュレーションコード GEANT4 もインストールしており、PHITS と併用し、独自関数の精度の向上および RANS 開発を進めていく予定である。