

課題名(タイトル): 仁科加速器科学研究センターの放射線安全評価

利用者氏名: ○田中 鐘信(1)、吉田 光一(2)、奥野 広樹(3)、赤塩 敦子(1)、杉原 健太(1)、泉谷 祥伍(1)、小林 知洋(4)、KorKulu Zeren(6)

理研における所属研究室名:

- (1) 仁科加速器科学研究センター 安全業務室
- (2) 仁科加速器科学研究センター 実験装置運転・維持管理室 RI ビーム分離生成装置チーム
- (3) 仁科加速器科学研究センター 加速器基盤研究部
- (4) 光量子工学研究センター 中性子ビーム技術開発チーム
- (5) スピン・アイソスピン研究室

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

仁科加速器科学研究センターでは、超伝導サイクロトロンを擁する RIBF 加速器施設を始め、多数の加速器を運用している。RIBF では水素からウランに至る様々な種類の重イオンビームを、エネルギーは最高核子あたり 350MeV まで加速でき、目標とするビーム強度は 6×10^{12} particle per second である。この大強度ビームの核反応により、様々な RI ビームを生成し、原子核物理学、天体核物理学、生物学などの基礎科学実験や、RI 製造などを行っている。

核反応に付随して、大量の放射線も発生する。高放射線を遮蔽により管理区域内で法令による基準値まで低減する必要がある。また、放射線は加速器やビームライン上の装置に対して、熱負荷、放射線損傷などの様々な悪影響を及ぼす。

RIBF は現在世界最高強度の重イオンビームを用いる施設であり、さらに様々な核種のビームを供給する。そのため単純な経験則により放射線影響を予測することは困難であり、シミュレーション計算と現実の測定を組み合わせ放放射線影響の原因などを評価する。評価に基づき、装置の寿命や熱負荷等の予想と対策、法令遵守のための遮蔽設計、作業員への被曝低減方法の考案などの対応を行う。

2. 具体的な利用内容、計算方法

核反応・放射線輸送計算コード PHITS を用い、大規模並列計算を行った。現実の加速器装置および遮蔽を計算モデル空間内に構築し、ビーム照射による核反応および放射線の生成や伝搬などの挙動をモンテカルロシミュレーション計算する。2019 年度は、主に以下の評価を行った。

① 中性子工学棟における小型中性子源 RANS2 加速器の遮蔽改良設計

② RIBF 遮蔽の高精度化のためのウランビーム核反応による中性子生成量の計算と現実との比較

③ RIBF 制御装置の電子機器ソフトウェア原因究明

3. 結果

① 昨年度も RANS2 加速器の遮蔽評価を行い、結果に基づいて原子力規制庁から使用許可を受けた。しかし標的近傍における、異なるセットアップでの実験が考案され、管理区域境界における放射線量の増加が予想された。PHITS による計算から、遮蔽壁の一部増強が必要と判明した。

まず中性子の遮蔽が必要であるが、遮蔽体と中性子の核反応による二次 γ 線生成も問題になることが判った。中性子に対し効果の高いポリエチレン遮蔽と、その外側に二次 γ 線に効果的な鉛遮蔽の 2 重構造とした。PHITS 計算によりそれぞれの最適な厚さを決定し、製作設置した。結果に基づき、原子力規制庁から再度許可を取得した。

② RIBF では高エネルギーのウランビームを使用できるが、世界に類がないビームであり、ウランの核反応により生成する中性子は、他の核種による測定値から推定している。標的周辺は施設で最も厚い遮蔽が必要で、現在は厚さ 7m あるが、かなり冗長な設計になっていると思われる。施設のスぺースが限られているなど、運用上の制約になっており、さらには将来のビーム大強度化時にも追加遮蔽が必要かなど問題になる。そこでウランビームを用いて中性子生成量の精密測定を行った。結果を PHITS 計算値と比較し、将来の遮蔽を計算により精度高く設計するためのベンチマークを得た。

③ RIBF の標的等の制御装置は、高放射線による電子機器のソフトウェアエラーに備えて、放射線源の遮蔽の外側かつ十分離れていると思われた箇所に設置していた。しか

しビーム強度の上昇により、放射線量が比較的低かった箇所でもソフトウェアが頻発するようになってきている。核種や実験条件により、高線量の発生箇所や対応方法も異なる事が予想されたため、キセノン、クリプトン、ウランなどの各ビームにおいて、室内の線量分布を PHITS 計算により求めた。

図1に計算例を示す。ソフトウェアを起こしていた超伝導電磁石用の冷凍装置制御盤の電子機器への主な中性子放射線の到達経路を求めた。図中下部の離れた位置にある、大強度ビームの標的周辺で大量発生する放射線の一部が飛来する場合(経路 A)と、近くの低強度ビームと電磁石などから飛来する場合(経路 B)が想定されていたが、経路 A が主因であることが判った。結果に基づき、局所的なコンクリート遮蔽を設置し、対策を講じた。

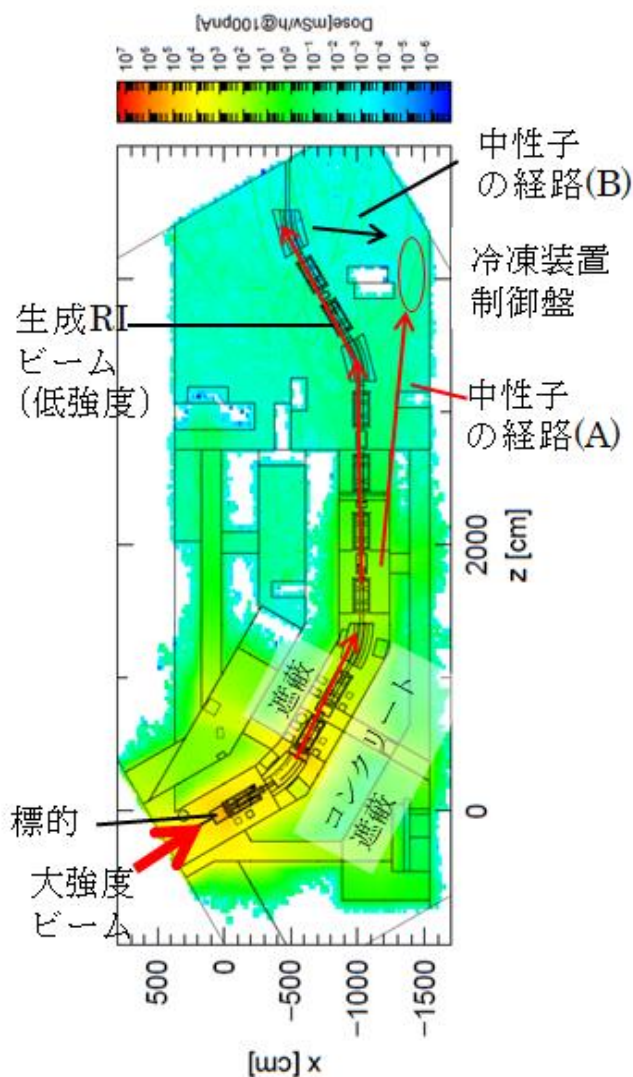


図1 クリプトンビームによる電子機器への中性子到達経路の計算評価。色は中性子放射線量率(mSv/h)を表す。中性子は標的周辺で大量生成するが、低強度のRIビームからもある程度生成し、電子回路が近傍にある場合は誤作動の原因になる。

4. まとめ

PHITS コードを用いた計算により、放射線遮蔽の設計などを行った。中性子工学棟においては、RANS2用の遮蔽を設計製作し設置することにより、原子力規制庁からの使用許可を得ることができた。

また、RIBFにおいて放射線により電子機器の誤作動が起きている箇所に対し、原因の分析を行い、対策を講じた。

5. 今後の計画・展望

引き続き、仁科加速器科学研究センターにおける放射線による影響評価を行う。2020年度は特にリニアック棟において計画中の新しいビームコースのための遮蔽設計を行う予定である。

2019 年度 利用研究成果リスト

【ポスター発表】

発表者：杉原健太

講演題名：Measurement of Neutron Energy Spectra of 345 MeV/u ^{238}U Incidence on a Cu Target

会議名：2019 Symposium on Nuclear Data

発表年月・場所：2019 年 11 月 28 日、九州大学筑紫キャンパス