

課題名 (タイトル) :

仁科加速器研究センターの放射線安全評価

利用者氏名 : ○田中 鐘信

所属 : 仁科加速器研究センター 安全業務室

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

理化学研究所仁科加速器研究センターでは、RI ビームファクトリー(RIBF)加速器施設を始め、多数の加速器を運用している。RIBF 加速器では、水素からウランに至る多種の重イオンビームを、最大 6×10^{12} 個/s の高強度で、約 350MeV/核子の高エネルギーまで加速し、標的に入射する。これにより核反応が生じ、過去にない多種の放射性同元素原子核を生成し、様々な原子核物理に関する実験を実施することができる。

加速器、および標的を格納する BigRIPS ビーム輸送装置は、超伝導電磁石を用いている。ビーム照射中は、核反応により、ビームライン装置周辺に大量の放射線が発生するため、超伝導電磁石や真空装置に対する放射線損傷や熱負荷などが必要になる。これらの装置は、放射線損傷により保守点検や修理などが必要であるが、ビーム停止後も高残留放射線があり、作業者の被曝も問題である。

放射線影響は、RIBF 加速器設計時に、主に簡易数式計算によって評価され、各装置の設計開発にも反映されている。RIBF 稼働後、初期設計よりも高い放射線量や温度上昇を発見し、また、装置の不具合も発生した。RIBF ではビーム強度が年々上昇しており、それに伴い、装置が高強度ビームおよび放射線に耐え得る様に、装置を強化する必要がある。装置の追加設計開発や追加遮蔽を行うためには、RIBF で加速される多種の重粒子ビームについて、核反応により放出される 2 次・3 次反応や電磁石による粒子軌道の変化など、複雑な状況を考慮に入れなければいけない。このため、RICC を用いて核反応・放射線輸送モンテカルロシミュレーションの大規模計算を行う。

RIBF の毎年のビーム強度上昇に伴い、施設の放射線影響範囲も広がる。範囲の拡大に合わせて、

シミュレーション計算を行う装置群も大規模化する必要がある。施設全体は大規模かつ複雑な装置群を含むため、短期間に全て計算コードを開発することは困難であり、中長期的に開発を継続する。その他にも、仁科加速器研究センターが運用する加速器や放射線に関する問題の評価を行う。

2. 具体的な利用内容、計算方法

放射線輸送コード PHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)を用いて、様々な計算を行った。RIBF の装置群を、PHITS のモデル空間に構築し、重イオンビームを入射させ、核反応により発生する放射線影響について評価を行った。

目的とする装置への放射線影響を評価するために、毎回 100~1000 万個のビーム粒子を標的に入射する計算を行った。

3. 結果

近年の RIBF では、原子核物理実験で有用な ^{238}U , ^{124}Xe , ^{48}Ca イオンがよく利用されており、昨年に引き続き、主にこれらの核種についての放射線影響評価を行った。代表的な結果を以下に示す。

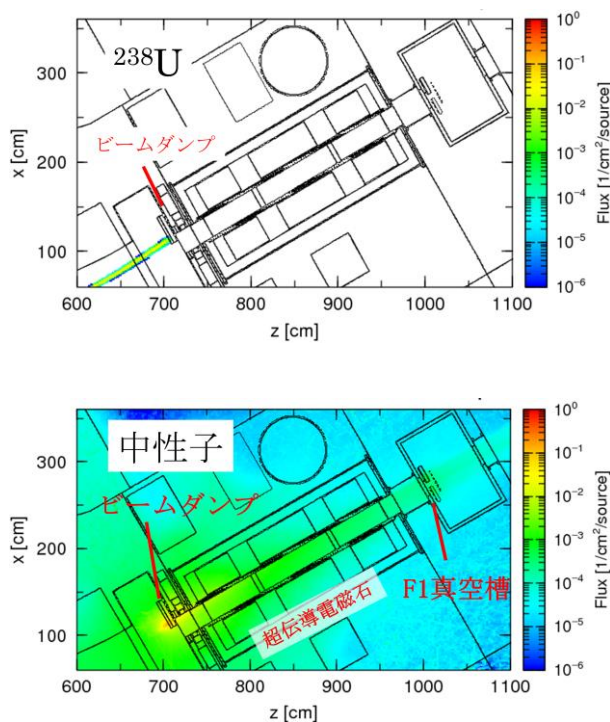
a, 超伝導電磁石内部の放射性核種 ^3H の生成量評価

標的には、高エネルギーの重イオンビームが直接照射するため、その近辺には、核反応により大量の 2 次・3 次の放射線が発生する。標的の下流直近には超伝導電磁石があり、低温保持のために液体ヘリウムが入っている。このヘリウム原子核から陽子 1 個が放射線によりはじき出され、大量の放射性 ^3H (トリチウム)核が生成し、大気放出の際に放射性物質の法定許容濃度限度を超えることが懸念された。

PHITS コードにより、2013 年度に予定されている期間での ^{238}U ビーム照射による生成トリチウム量を見積もったところ、許容濃度限度に比べ、4 桁以上小さい値であることがわかり、問題なしとの結果を得た。

b, 下流装置の残留放射線予想

高強度ビームは、標的に直接入射し、大部分は反応せずに通過して、最終的にビームダンプに入射し、エネルギーを失い停止する。これらの装置周辺での放射線強度が最も高くなり、残留放射線も高くなるため、人が近寄って保守や修理などの作業はできなくなる。その数 m 下流の F1 真空槽においては、検出器出し入れ等の作業が想定されている。ビーム強度の増加と、ビーム照射予定の緊迫化から、照射直後に F1 真空槽内の装置交換が予定され、作業可能な残留線量かを評価した。



上図に、ビームダンプへ入射する ^{238}U ビームと、核反応により発生する中性子の強度を示す。中性子がビームダンプから、超伝導電磁石を通過して F1 真空槽まで到達していることが判る。これにより、F1 真空槽に残留放射能が発生するが、過去のベンチマーク測定と比較し、ビーム停止後数時間で数百 $\mu\text{Sv/h}$ の放射線量と予想され、数分間の作業は可能と評価した。

このほか、装置の高放射化の原因追及、J-PARC

加速器ハドロンコース検出器バックグラウンド原因の追及、従来の放射線熱負荷や放射線損傷の影響評価の高度化、測定と計算の比較ベンチマーク取得、仁科センター将来計画のための、放射線遮蔽検討などを行った。

4. まとめ

RICC を用いて、PHITS 放射線輸送コードによる仁科加速器センター関連施設における放射線影響評価を行った。ビーム強度の増加に伴う、評価領域や項目の拡大を行い、加速器施設の運用や実験実施に必要な情報を得た。

5. 今後の計画・展望

引き続き、高強度ビーム照射に伴う放射線影響の評価を行う。将来の最大強度化に向けて、より広い範囲で、より詳細な装置を PHITS コードで計算できるように、開発を続ける。

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

会議名 American Nuclear Society winter meeting 2013, Nov.2013, Washington D.C, U.S.A

発表者 田中 鐘信 (招待講演)

題名 Evaluation of radiation levels and comparison with PHITS calculation for the BigRIPS separator in Radioactive Isotope Beam Factory