

課題名 (タイトル) :

RIBF 大強度ビームによる放射線強度計算

利用者氏名 : 田中 鐘信

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター RIBF 研究部門 実験装置運転・維持管理室

RI ビーム分離生成装置チーム

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

理化学研究所仁科加速器センターでは、RI ビームファクトリー(RIBF)加速器を運用している。超伝導加速器を用いて、高強度の重イオンビームを超伝導電磁石を用いたビーム輸送装置 BigRIPS 内の標的に入射し、核反応を起こす。これにより、過去にない多種の放射性同元素原子核を生成し、様々な原子核実験を実施する。

RIBF は世界に先駆けて、高エネルギー約 350MeV/核子の高強度重イオンビームを加速する。これによる核反応は、ビームライン装置周辺に大量の放射線が発生させる。超伝導電磁石や真空装置などへの、放射線による損傷や熱負荷対応が必要である。損傷のために保守や交換が必要となるが、高残留放射線があり、加速器停止中でも人間に対する被曝も問題になる。

放射線影響は、主に数式による簡易計算により評価され、装置の設計開発に反映されている。RIBF 稼働後に、予想より高い放射線量や温度上昇を発見し、装置に問題が発生した箇所もある。高い精度で放射線影響を評価するためには、様々な運用条件で、放射線の 2 次・3 次反応や、磁場による粒子軌道の変化など、複雑な過程を考慮する必要がある。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。

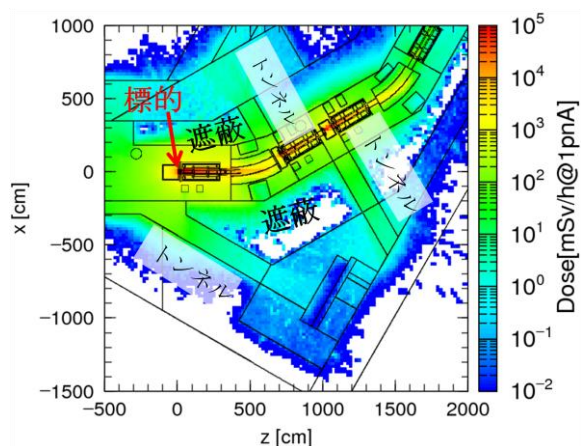
RIBF ではビーム強度が年々上昇しており、それに伴い装置がビームに耐えるように強化する必要がある。最終的には、施設の目標とする強度のビーム入射に耐える装置を開発するが、大規模かつ複雑な装置群のため、短期間に全て対応することは困難であり、中長期的に、開発を継続する。

2. 具体的な利用内容、計算方法

PHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)放射線輸送シミュレーションコードを用いて様々な計算を行った。RIBF で最も放射線強度の高くなる標的周辺の装置群を PHITS のモデル空間に構築し、重イオンビームの核反応による放射線量や熱負荷などの評価を行った。装置への負荷を十分な精度で評価するためには高い統計が必要であり、100 万個以上のビーム粒子を標的に入射させた。

3. 結果

主に ^{238}U , ^{124}Xe , ^{48}Ca の、原子核物理において重要な 3 種類のビーム核種について、標的の種類や磁場の値など、多種の条件で放射線影響の計算評価を行った。昨年度までは主に ^{48}Ca についての評価を行ってきたが、モデル空間の装置モデルの精密化、範囲の拡大を行い、他の核種の計算も行った。計算例として、下図に ^{238}U ビームの場合の発生中性子による放射線量を示す。最終目標の 1/1000 強度で、2012 年度前半の実験時ビーム強度である。標的周辺のコンクリート遮蔽にはメンテナンス用のトンネルがあり、通過した放射能が遮蔽外まで出ており、遮蔽外の装置まで届くことが判った。この効果は簡易計算では評価できない。



本年度に計算評価した主な項目は以下の通り。

a: 放射線量率分布および放射性核種の生成量の精密な計算を行った。計算により高い精度で評価を行うためには、実際の値とのずれを検証する必要がある。世界で RIBF のみ使用できるビームであるため、実測値が存在しない。そのため観測を行い、U, Xe, Ca など核種毎に計算値と比較し、ベンチマーク結果を得た。これらの核種は RIBF が先行して利用しており、将来は他加速器施設でも利用される。大強度重イオンビーム加速器の設計上貴重な結果であり、放射線遮蔽・評価に関する国際会議での口頭発表で、セッションのベストペーパー賞の高評価を得た。

b: 標的近くの超伝導電磁石への放射線損傷および熱負荷の評価を行った。超伝導を用いているため、低温状態を保つ必要があるが、特に放射線影響の強い標的近くの電磁石に関する影響を評価した。昨年度は ^{48}Ca ビームについて評価を行ったが、本年度は ^{238}U , ^{124}Xe などでも計算を行った。将来、目標とする強度のビームを照射した場合に、超伝導状態を保持できなくなる熱負荷がかかり、放射線損傷により 1 年以内に超伝導電磁石が壊れることを示唆する結果を得た。装置の密集した領域に、遮蔽機構の追加や、排熱機構などの設置し、計算により効果の検証が必要になるが、本年度はそこまで到達しなかった。

4. まとめ

RICC 上で PHITS 放射線輸送計算コードを用いて、RIBF 加速器施設の BigRIPS ビームコースの装置群に対する放射線影響の評価を行った。計算のベンチマークとなる評価を行った。

5. 今後の計画・展望

より強いビーム強度を想定し、RIBF のさらに広い範囲の装置モデルを構築し、放射線影響（熱・損傷・放射線量・放射化等）の評価を行う。2012 年度に評価に至らなかった、標的そばの超伝導電磁石の、放射線影響を低減する方法の検討を行う。

また、仁科加速器研究センターの他のプロジェクトの放射線遮蔽・安全評価も行う。

平成 24 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】

国際会議 ICRS12 & RPSD-2012 (12th International Conference on Radiation Shielding & 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society)

口頭発表

発表者：田中 鐘信

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

Best paper of "Accelerator Facilities 5 session" 獲得

発表年月、場所: September 4th, 2012, 奈良県新公会堂