

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、Radio Isotope Beam Factory (RIBF) を始め、多数の加速器を運用している。RIBF では、多段階の加速器を組み合わせて、水素からウランまでの幅広い核種の重イオン原子核ビームを、350 MeV/核子の高エネルギーまで加速し、標的に入射する。加速器から 6×10^{12} 個/s の大強度ビームを供給し、ビームの原子核と標的核の核反応により、これまでよりも幅広い種類の放射性同位元素を生成し、様々な原子核物理や応用の実験を行う。

核反応により、放射線が発生する。放射線は人や装置に影響し得るため、様々な影響評価や対応が必要になる。ビーム照射中は、中性子や荷電粒子の発生により、加速器装置への熱負荷や、放射線損傷の影響ある。また、装置は周辺をコンクリートにより遮蔽されているが、人体への影響を十分低減できているかの評価が必要である。さらに、ビーム停止後も装置周辺は残留放射線が残る。装置は熱や放射線損傷があるため、定期的な保守点検や修理が必要だが、作業員への残留放射線の被曝評価や対策が必要になる。

これらの放射線影響は、RIBF の設計時には簡単な数式を用いて評価され、遮蔽や装置に活用された。しかし、実際に 2006 年に RIBF が稼働し始めると、予想よりも高い放射線量や温度上昇、それに伴う装置の異常などが観測された。装置や遮蔽の複雑な構造は簡易数式では評価できないためである。さらに、RIBF のビーム強度は毎年増加しているため、装置が大強度ビームに耐える様に改良を続ける必要がある。

装置や遮蔽の改良・追加を設計するためには、精度の高い放射線影響評価が必要になる。ビームと標的による核反応だけでなく、放出される 2 次・3 次粒子による反応、加速器の電磁場による粒子軌道の変化、複雑な構造の装置等を考慮する。

また、RIBF は多核種の重イオンビームを加速できるため、それぞれの核種についての、数多くの評価が必要になる。この高精度評価のために、核反応・放射線輸送モンテカルロシミュレーション計算を、RICC を用いて行う。

RIBF のビーム強度増加に伴い、放射線影響評価が必要な範囲も広がる。そのため、本課題による計算コードの開発や評価も、長期的に継続する。

2. 具体的な利用内容、計算方法

放射線輸送計算コード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) を用いて、RIBF のシミュレーション計算を行った。加速器の装置を、PHITS のモデル空間に高い精度で再現し、ビームを入射させ核反応による放射線影響を評価した。

3. 結果

様々な項目について計算評価を行ったが、以下に代表的な成果を示す。

a, 装置への熱負荷評価

RIBF の標的近傍には、超伝導電磁石が配置されている。低温状態の保持が必要であるため、標的での核反応に起因する放射線熱負荷を高い精度で行う必要がある。将来ビーム強度がより高くなった際に、装置の改良が必要な場合がある。近年、従来よりも高い精度で、熱負荷計算に影響し得る核反応モデルが開発されたため、様々なビーム核種について再評価を行った。その結果、超伝導電磁石への熱負荷は従来の評価と大きな差はないことが分かった。また、これまで計算評価を行わなかった、 ^{70}Zn ビームについて、RIBF 加速器での利用が進んだために、評価を行った。

b, 計算のベンチマーク取得

RIBF の重イオンビームの中で最も重要なウランは、世界初のエネルギー領域のため、シミュレー

シヨンの精度が確認されていない。計算と現実では数倍の差があり得る。そのため、標的近傍の数箇所において、放射化箔を用いた中性子数の計測を行い、計算結果と比較し、ベンチマークを得た。

c, ヘリウムガスストリッパの放射化原因追求
RIBF 加速器の装置上流には、ヘリウムガス中をウランビームが通過するヘリウムガスストリッパ装置がある。装置に想定外の放射性同位元素が発見されたため、将来のメンテナンス作業を念頭に置いて、計算により原因を調べた。図 1 に装置内で生成した核種を示す。通常は放射化は核反応により発生した中性子が原因の場合が多いが、本装置においては、ウランビームが核反応分裂によって生成した分裂片核種が残留放射能の主原因であることが分かった。

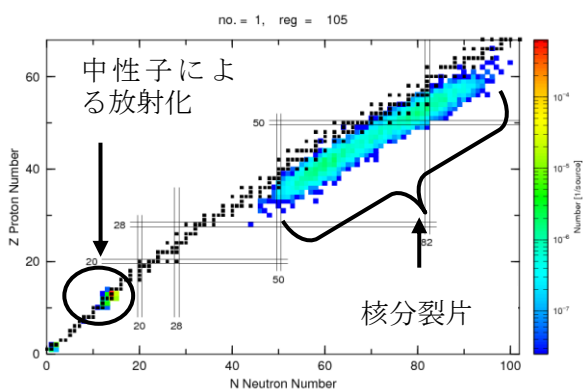


図 1, ヘリウムガスストリッパ装置に核反応で発生した核種の計算結果。黒点は、安定核を示す。ウランビームの核分裂により生成した放射性同位元素核種が多くを占める。

d, 高放射線リスク評価

加速器からビームの供給を受ける、ある実験コースには、設計上ビーム強度に制限がかけられている。加速器のトラブルにより、意図しない大強度ビームが供給された場合の人への被曝などリスク評価計算を行った。結果を受けて、実験者の立入箇所を低リスクな場所に限定するなどの対応を行った。

4. まとめ

核反応・放射線輸送モンテカルロ計算コードを用いて **RIBF** の放射線影響評価を行った。加速器

の様々な装置について、問題に応じて計算と測定
 の両面から評価を行った。

5. 今後の計画・展望

RIBF における大強度ビーム照射による放射線影響評価を引き続き行う。将来のさらなる大強度化に向けて、様々な装置について精度の高い評価をできるように計算コードの開発を続ける。

平成 26 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議などの予稿集、proceeding】

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

Kanenobu Tanaka, Naohito Inabe, Koichi Yoshida and Toshiyuki Kubo

Progress in Nuclear Science and Technology Vol4(2014) p.201

【国際会議、学会などでの口頭発表】

日本原子力学会 2014 秋の大会

理化学研究所 RI ビームファクトリー重イオン加速器施設における線量評価

田中鐘信, 稲辺尚人, 吉田光一, 久保敏幸,

2014,9,8 京都大学