

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*、吉田 光一**、赤塩 敦子*、奥野 広樹***

所属 : *仁科加速器研究センター 安全業務室

**仁科加速器研究センター 実験装置運転・維持管理室 RI ビーム分離精製装置チーム

***仁科加速器研究センター 加速器基盤研究部

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

仁科加速器研究センターの運用する RIBF 加速器は、水素からウランまでの幅広い核種の重イオンビームを、最大エネルギーが核子当たり 350MeV まで加速することができる。ビーム強度は現在世界最高であり、施設の目標は 6×10^{12} particle per second である。核反応により、様々な RI ビームを生成し、原子核物理学実験等、様々な実験を行う。

大強度ビームにより、核反応から大量の放射線が発生し、放射線量、熱、損傷、残留放射線などの様々な問題が発生する。世界に類のない加速器のため、これまでの経験からも予想できない問題が多い。これらの影響を、実測と共にモンテカルロシミュレーション計算を用いて評価し、問題解決や将来予測、新しい装置設計などを行う。

2. 具体的な利用内容、計算方法

放射線輸送コード PHITS を用い、並列計算を行った。2016 年度は、主に以下の検討を行った。

- ①昨年度に引き続き、ヘリウムガス荷電変換装置の残留放射線影響評価
- ②RIBF の放射線ソフトウェアエラー発生原因の追及
- ③標的、近傍超伝導電磁石 (STQ1) の寿命予測

3. 結果

①重イオンビームは複数の加速器を通じて催行エネルギーまで加速する。ウランビームの場合、途中でウランから電荷をはぎ取るヘリウムガス荷電変換装置を設置している。すべてのビームがガス中を通過するため、核反応により装置周辺の残留放射線が高くなり、装置に近寄る際の被曝が問題となる。改善のために、詳細な原因調査を行った。加速器運転期間中、装置周辺にアルミ等の物質をサンプルとして設置した。ウランビームの核反応により中性子や核分裂片が発生し、サンプル

ル板が放射化する。サンプル回収後に γ 線を測定し、サンプル中 RI の核種および量を同定した。

PHITS コードのモデル空間に装置を再現し、実測と計算の比較を行った。結果として、サンプル中に観測された、多数の核分裂生成核種と、中性子放射化による生成 RI の両者とも、計算が実測の 2 倍以内で再現した。計算から、残留放射線の主因は核分裂生成核により、それが装置の一部に集中していることが判明し、遮蔽や低被曝化手順の考案など、改良の手がかりを得られた。

②回路中の半導体素子に高エネルギーの中性子が入ると、素子に影響し回路全体が誤動作するソフトウェアエラーを起こす。

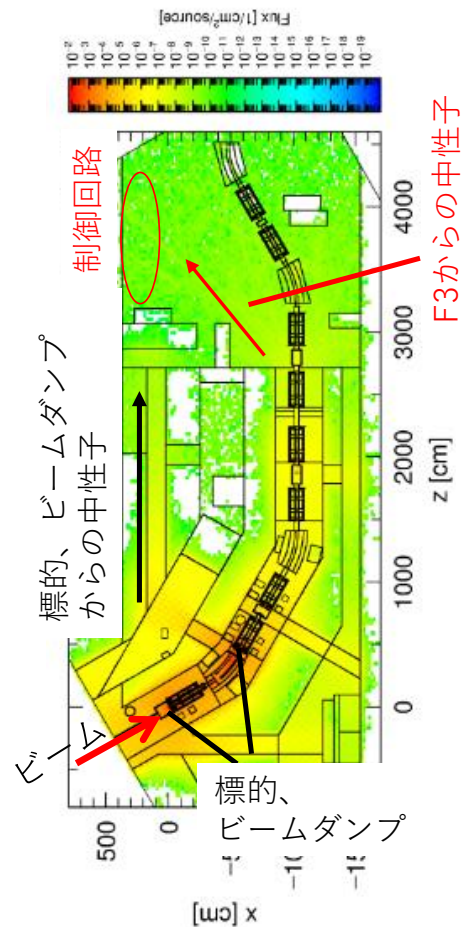


図 1 RIBF の中性子の移動経路

RIBF では、超伝導電磁石の制御回路が度々エラーを発生し、加速器運転に支障をきたしていたため、PHITS 計算により原因を調査した。図 1 に、計算評価の結果を示す。エラーの原因となる中性子は、ビームが直接照射される標的、ビームダンプで最も多く発生し、そこから制御回路までトンネルを通じて到達することが想定されていた。しかし、計算により、標的周辺からの中性子よりも、下流の F3 周辺から流入する中性子の方が多いことが判明した。この計算評価に基づき、遮蔽の追加など検討を行う。

③標的に最も近接する超伝導電磁石 STQ1 は、標的から発生する放射線による損傷が深刻である。超伝導電磁石は、コイル部分に放射線耐性の高い樹脂材の使用が避けられず、近い将来に寿命が尽きることが予想される。RIBF のビーム強度は年々増加しており、現在蓄積されている損傷を PHITS 計算により見積もった。図 2 に結果を示す。エポキシ樹脂の寿命は、 $0.7\sim 1.2\times 10^7\text{Gy}$ と言われており、2016 年時点で、樹脂素材が耐えられる 1/10 の放射線損傷の評価を得た。

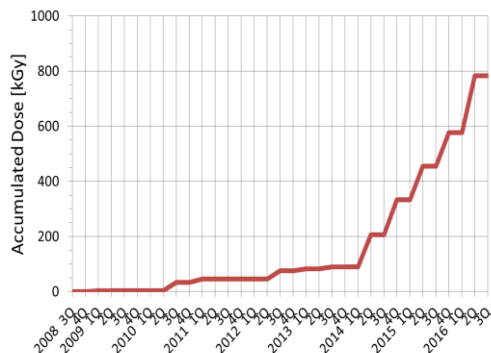


図 2 STQ コイルに蓄積した放射線損傷

ただしビーム強度の増加を考慮すると、あと数年の寿命と予想される。高耐久性の新型 STQ や、放射線損傷を低減するスクレーパー装置などの開発を、PHITS 計算評価により行う。

4. まとめ

放射線輸送モンテカルロコード PHITS を用いた並列計算により、RIBF 加速器の放射線影響評価を行った。残留放射線や、中性子による回路誤動作の原因究明、超伝導電磁石の寿命評価などを行

った。計算結果を実測値と比較することにより、将来の装置開発においてシミュレーション計算により精度高く放射線影響評価を行うことができる。そのほかにも、施設の次期計画などを考案するための放射線影響評価なども行っている。

5. 今後の計画・展望

引き続き、RIBF 加速器における放射線影響を評価し、現在の問題の原因究明、解決方法の検討を行う。また、将来の装置開発において精度高く放射線影響予測が必要であるが、実測値と計算値を比較することによりベンチマークを作る。

平成 28 年度 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

国内学会

赤塩敦子「RIBF 加速器におけるヘリウムガスへのウランビーム 11MeV/u 照射による放射化評価」日本原子力学会 2016 春の年会、2016/3/26

国際会議

A. Akashio et al, “Measurement of activation of helium gas by ^{238}U beam irradiation at about 11 A MeV”, ICRS13&RPSD2016, 5th October 2016, Paris.