主任者コーナー 📢))

年次大会ポスター発表紹介 交流会賞 RIBF 加速器施設の冷却水に関する放射線管理

向井 弘樹*1,2, 田中 鐘信*1, 上蓑 義朋*1

1. はじめに

RI ビームファクトリー (RIBF) では、(国研)理 化学研究所仁科加速器科学研究センターが建設した 多段式の加速器(リニアックやリングサイクロトロ ン等)を用いて、HからUまで多数の核種を核子 当たりのエネルギーで約350 MeV に加速すること ができます。施設の目標とするビーム強度は1puA (6 × 10¹² particle per second) です。加速された粒子 は、RIビーム生成分離装置 BigRIPS 内にあるター ゲットに入射し、核反応により多量の不安定原子核 (RI ビーム)を生成します。その中から目的の不安 定原子核を選別し、原子核の研究を行う施設です。 RIBFでは加速粒子(一次ビーム)が加速器機器等 に当たり、放射化させます。更に、その際発生する 中性子等の二次粒子が、ビームライン上の機器のみ ならず周辺の冷却水やその配管、真空装置や部屋の 壁や床等の躯体を放射化させます。特に RIBF では、 ビームが照射されるターゲットやビームダンプを含 む BigRIPS の放射化が放射線管理上で重要となっ ています。今回は、その中で主に冷却水の放射線管 理について報告します。

2. 管理方法

BigRIPS は、RI ビームを生成分離する第1ステージ(図1)、粒子毎に識別して後段の実験装置に送り出す第2ステージに分かれます。放射化に伴う放射線管理が必要となっているのは第1ステージです。この第1ステージは、一次ビームから核反応により RI ビームを作り出すターゲットと、生成した RI ビームから実験に使用する RI を選び出す分析電磁石群と、核反応を起こさなかった一次ビームを安全に止めるビームダンプで構成しています。これらの機器を冷やすための冷却水系は、それぞれ独立した閉鎖系のシステムになっています。冷却水に関す

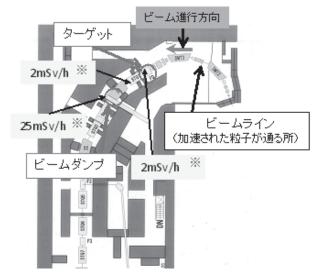


図 1 BigRIPS の第 1 ステージ

※は GM サーベイメータ (β・γ線テレスコピックプローブ) を用いて測定した空間線量率

る放射線管理のために、高い強度の一次ビームが照射されるターゲットとビームダンプの冷却水を定期的に測定しています。また、図1に示す加速器停止中の放射線量率 1 から、冷却水の放射線管理が必要な箇所は空間線量率も高くなっていることが分かります。

冷却水中に最も多く含まれるのは3Hであり、それ以外の主な放射性核種としては、7Be、54Mn、56Co、57Co、58Co、60Co等があります。3Hと7Beはターゲット等からの二次粒子と水の構成成分である酸素との核反応よって、それ以外の60Co等の核種は冷却水配管等のステンレス鋼や銅等の構成成分との核反応によって生成され、冷却水配管内壁が冷却水により削られ、冷却水中に混入したと推測しています。

冷却水は、検出された核種の放射能濃度の排水中の濃度限度に対する比の和が 1/2 を超えた時に交換しています。冷却水交換の際は排水ピットに捨てられ、その後 RI 貯留槽へ移送され、その他の実験排

表 I BIGKIPS の中型水中の放射能震度及の排水中震度限度との比め相						
冷却水系統	検出核種	半減期	放射能濃度 (Bq/cm³)	排水中濃度限度 (Bq/cm³)	排水中濃度 限度との比	濃度限度と の比の和
ターゲット	H-3	12.3 年	$5.7 \times 10^{\circ}$	60	9.5×10^{-2}	0.10
ビームダンプ (出口)	H-3	12.3 年	2.3×10^{1}	60	3.9×10^{-1}	
	Be-7	53.2 日	1.2 × 10 ⁻²	30	4.0×10^{-4}	
	Co-56	77.2 日	2.4×10^{-3}	0.3	8.0×10^{-3}	
	Co-57	271.7 日	9.8×10^{-3}	4	2.4×10^{-3}	0.44
	Co-58	70.9 日	1.4×10^{-2}	1	1.4×10^{-2}	
	Co-60	5.3 年	3.3×10^{-3}	0.2	1.7×10^{-2}	
	Mn-54	312 日	6.5×10^{-3}	1	6.5×10^{-3}	
ビームダンプ	H-3	12.3 年	4.3×10^{1}	60	7.2×10^{-1}	0.72
(側壁)	Be-7	53.2 日	6.9×10^{-3}	30	2.3×10^{-4}	0.72

表 1 BigRIPS の冷却水中の放射能濃度及び排水中濃度限度との比の和

表 2 2015 年度下半期の加速器運転条件

加速器 運転期間	加速粒子	加速 エネルギー (MeV/u)	ビーム 強度 (pnA)
10/18~11/14	U-238	345	49
11/14~12/4	Ca-48	345	650

表 3 2015 年度下半期の BigRIPS 冷却水中の H-3 の放射能濃度

BigRIPS 冷却水系統	放射能濃度 (加速器運転前) (Bq/cm³)	放射能濃度 (加速器運転後) (Bq/cm³)	増加量 (Bq/cm³)			
ターケ゛ット	7.7	20.2	12.5			
ピームダンプ。(出口)	10.9	16.2	5.3			
ビームダンプ(側壁)	6.8	20.7	13.9			

水と合流します。その排水は最終的に第三者機関による測定後、排水中濃度限度以下を確認して放流します。BigRIPSの冷却水の放射能濃度は、冷却水をサンプリングし、低エネルギーベータ線放出核種の3Hは液体シンチレーションカウンタで測定し、γ線放出核種はGe検出器で測定しています。

直近(2018年1月測定)のBigRIPS 冷却水中の放射能濃度測定結果を表1に示します。ビームダンプの冷却水には、出口ビームダンプと側壁ビームダンプの独立した2系統あります。金属から生成される放射性核種も検出されていますが、3Hの放射能が大半を占めています。BigRIPS 側壁ビームダンプ系統は濃度限度との比の和が1/2を超えたため、冷却水を交換しました。次に、加速器運転(2015年10月~12月)に伴って、3H濃度がどれだけ増加したかを表2及び表3に示します。2015年度下半期の加速器運転期間に相当します。この時の3Hの増加量は、約1.5か月の加速器の運転で、排水濃度限度の約1/4となる最大13.9 Bq/cm3まで上昇しました。この上昇率から、これまでは1~2年程度で冷却水を交換してきました。

冷却水中に含まれる。H以外の放射性核種については、それぞれの冷却システムに設置されたイオン交換樹脂で捕集され、表1の結果にもあるように、放射能濃度は低く保たれています。イオン交換樹脂に捕集された放射性核種では、時間が経過するにつれて半減期の長い。MCoが支配的になるので、将来は MCo が重要になると思われます。

3. まとめ

前記管理方法を実施することで、現在までRI 貯留槽の排水中の放射能濃度が濃度限度との比の和について1を超えたことはありません。また、BigRIPS機器の冷却水が機器の故障等で床や外部に漏れても、冷却水の放射能濃度を常に濃度限度以下に抑えることで安全を担保することができています。管理上の注意点としては、交換する水に関して他の系統で使用していた水で交換したところ、予想外に既に放射化していたことがありました。交換する水は事前に3H濃度を測定しておき、濃度の十分低い水を使用するようにしています。

4. 謝辞

冷却水の放射線管理では、理化学研究所仁科加速 器科学研究センターの安全業務室とRIビーム分離 生成装置チームの方々の協力により行っておりま す。ここに感謝の意を表します。

参考文献

 K. Tanaka, et al., "Radiation safety management at RIBF", RIKEN Accelerator Progress Report, 51, 255-256 (2018)

(※1 (国研)理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 安全業務室, ※2 (株)日本環境調査研究所)