

放射化物に係るクリアランス検討委員会 報告書の概要

(公社)日本アイソトープ協会
放射化物に係るクリアランス検討委員会

はじめに

放射線障害防止法において、クリアランス制度は平成22年の法令改正により導入されたが、現在まで実績はない。PETサイクロトロン装置は今後入替等による廃棄が進むと予想され、装置の廃棄等により発生する大量の放射化物は装置を廃棄する事業者を経済的負担を強いるとともに、日本アイソトープ協会（以下「RI協会」）の貯蔵スペースを圧迫し、将来の埋設スペースの圧迫をも引き起こすと予想される。

放射線発生装置（PETサイクロトロン及びリニアック）の廃棄等に伴って発生する放射化物の量を推定し、事業所がクリアランスを行う際の懸案事項を取りまとめることを目的として、RI協会は関係諸機関の専門家からなる「放射化物に係るクリアランス検討委員会」（以下「本委員会」）を設置した。本委員会は平成27年9月から平成28年3月までに3回開催され、平成28年3月に報告書を取りまとめた。本委員会における報告書の概要を紹介する。

1. 放射化物の範囲及び物量

1.1 放射化物の範囲

平成24年3月以前は、「放射線発生装置使用施設における放射化物の取扱いに係るガイドライン」（平成10年10月30日付課長通知）により放射化物の取扱いがルール化されており、実務上では線量率を測定し、その検出限界値を基準に放射化物の判断がなされていた。

平成24年3月以降は法令改正により取扱いが制度化され、事務連絡において放射化部位が参考として例示された。リニアックは事務連絡に具体的な部品名が明示されているが、サイクロトロンは部品名等の明示がなく、放射化物として取扱う必要のない自己遮蔽体の外側以外は、計算結果や実測データにより確認する必要がある。実務上の取扱いについて

は、第3章にて後述する。

1.2 リニアックの放射化物量

リニアックにおいて放射化物が発生するのは、ターゲット交換時（50Lドラム缶1本）及び装置更新時（平均して50Lドラム缶4本）である。平成24年以降にRI協会が集荷した放射化物は、平成25年度が経過措置終了時期であったため本数が多かったが、平均して年間8t（200Lドラム缶40本）である。放射線利用統計2014¹⁾によると医療機関で使用されているリニアックは全国に1,066台あるため、全てのリニアックが撤去された際に発生する放射化物は約210t（200Lドラム缶約1,066本）と推定される。

1.3 サイクロトロンの放射化物量

サイクロトロンの場合、放射化物が大量に発生するのは本体の更新を含む廃止時である。平成24年度以降のRI協会の集荷実績をもとに予想すると、サイクロトロン1台を廃棄した際に発生する放射化物は金属塊が10t（200Lドラム缶50本）、コンクリートが6t（200Lドラム缶30本）である。放射線利用統計2014¹⁾によると医療機関で使用されているサイクロトロンは全国に147台あるため、全てのサイクロトロンを廃棄した際に発生する放射化物量は金属塊が約1,500t（200Lドラム缶約7,350本）、コンクリートが約900t（200Lドラム缶約4,410本）と推定される。

2. 原子炉等規制法施設におけるクリアランス時の測定評価実施例

2.1 評価対象核種の選択

クリアランスでは、全ての放射性核種においてクリアランス対象物に含まれる濃度を原子力規制委員会で定める放射能濃度で除した割合を求め、それを合計した値（以下「 $\Sigma(D/C)$ 」）が1以下であることが定められている。

クリアランス時の核種選定においては、汚染形態ごとにクリアランス対象物に含まれると考えられる核種を想定し、その核種の中から放射能濃度を評価する上で重要な核種が評価対象核種として選定される。「放射能濃度の測定及び評価の方法の認可について（内規）」（以下「NISA 文書」）において、金属は原子力安全委員会が選定した重要核種を評価し、コンクリートは汚染の形態に応じて選定された核種から $\Sigma(D_i/C_i) \geq 0.9$ となる重要核種を選定し、測定により重要核種の濃度を決定することとされている。原子炉の型式により決定される評価核種以外は、放射化計算により核種を選定する必要がある。放射化計算では、実績があり原子炉及び施設の特徴を考慮した計算コードが用いられた。

東日本大震災に伴う原子力災害以降は、フォールアウト核種の影響を含めて $\Sigma(D/C) \leq 1$ であることとしている。また近年では、全てのクリアランス対象物をクリアランスし終わるまでに長い時間がかかることから、測定及び評価の方法の認可に係る申請書では、評価対象核種が $\Sigma(D_i/C_i) \geq 0.9$ を維持する期間が示されている。

2.2 均一性の評価、放射能濃度の測定及び評価

クリアランス対象物の放射能濃度の測定及び評価に際しては、著しい偏りがないことを確認することとされている。NISA 文書では測定単位を 100 kg 程度とし、クリアランスレベルの 10 倍を超える放射能濃度が検出された際には著しい偏りがあるものとして汚染を除去するとされている。過去のクリアランス実施例では、コンクリート 100 kg を可搬型 Ge 半導体検出器で測定し、 ^{60}Co の放射能濃度が 0.1 Bq/g を超えた際には、放射性廃棄物として取り扱われた。

評価単位の設定においては、NISA 文書では最大 1 t まで許容している。ただし過去のクリアランス実施例では、放射化発生場所が限定できる状態でクリアランス対象物が保管されていなかったため、評価単位を 100 kg として測定した。 γ 核種の測定は、Ge 半導体検出器、 ^3H の測定は水浸漬法により液体シンチレーションカウンタを用いて行っている。

2.3 クリアランス対象物の保管管理、クリアランス後の対応

放射能濃度測定後は、国の確認が行われるまで、クリアランス対象物を追加の汚染がないよう容器に

収納し、他の廃棄物と混在しない保管場所にて保管することとされている。過去のクリアランス実施例では、専用のエリアを設定し、その中で保管している。

クリアランス後は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律、建設リサイクル法等に基づき再利用・再生利用を行っていくことになる。クリアランス対象物はクリアランス後もトレーサビリティの確保（一時活用までの記録管理）が必要である。現状では社会へのクリアランス物のフリーリリースは実施されておらず、クリアランス制度に対する社会の理解が今後の課題である。

3. サイクロトロン撤去時の測定評価方法の現状

放射線障害防止法の下で使用されているサイクロトロンを撤去する際には、廃止措置を行う必要がある。現在のサイクロトロン撤去作業は、①解体前の放射化計算、②サンプリングによる放射能測定及び放射化計算の検証、③非汚染物に対する念のため測定を行うのが一般的である。

放射化物として取り扱われる範囲は、放射化計算及び測定によりクリアランスレベルを超える放射能濃度であると判明した箇所である。過去の実績では、クリアランスレベルが十分検出できる条件の汚染検査により放射化物と非汚染物を区別している。なお、サイクロトロン本体は全て放射化物として取扱われたため、本報告書では自己遮蔽体のコンクリート及び内側の鉄板の廃棄に焦点を絞ることとする。

3.1 放射化計算

放射化計算において、粒子輸送計算コードは PHITS-2、放射化計算コードは DCHAIN-SP2001 を使用し、自己遮蔽体の放射能濃度を計算している。放射化計算及びクリアランス対象物を実測した結果を基に、評価対象核種の選定が行われる。

モンテカルロ計算の条件入力では、ターゲット、照射粒子の種類及び照射時間はサイクロトロンの運転履歴にて確認できるが、サイクロトロン本体や自己遮蔽体の情報（成分及び形状）を入手することが困難である。過去の事例では、自己遮蔽体の元素組成は放射化のおそれがない自己遮蔽体外側を採取して成分分析することにより得ている。また、サイクロトロン本体と自己遮蔽体の形状は図面や実測によ

り確認し、粒子輸送シミュレーション及び放射化計算の条件としている。

3.2 放射能濃度の測定及び放射化計算との比較

放射能濃度の測定は、クリアランスレベルが十分評価できるような測定条件で、³H濃度の測定及びγ線スペクトル測定を行っている。サンプリング測定結果と放射化計算結果を比較し、放射化計算が安全側の評価であることが確認されている。

3.3 念のため測定

放射化が認められる箇所を除去した後は、他の箇所がクリアランスレベルより十分低いことを確認するため、測定により検出限界未満であることを確認している。過去の事例では、シンチレーション式サーベイメータによる自己遮蔽体及び床面の1 cm線量当量率測定、コンクリート試料の³H濃度測定及びγ線スペクトル測定を行っている。

4. サイクロトロン施設における廃止措置に係る懸案事項

4.1 今後予想されるサイクロトロンの撤去方法

放射化物の撤去方法は、方法1) 放射化物全てをRI廃棄物として廃棄する、方法2) 汚染検査を行い、検出限界を超えた場合はRI廃棄物、検出限界未満の場合は非汚染物として廃棄する、方法3) 放射化物を一体としてクリアランスする、3通りの方法が考えられる。それぞれの方法の詳細、メリットやデメリットは以下の通りである。

方法1) 放射化物全てをRI廃棄物とする場合

放射化計算や汚染除去等の時間を要する作業が不要で、廃棄に伴う作業は最も単純と思われるため、放射化の程度が高い場合や冷却期間が短い等の理由で $\Sigma(D/C) \leq 1$ となる範囲が少ない場合には有効である。ただし、RI協会にRI廃棄物を引渡す際には核種及び放射能の評価を別途行う必要がある。3通りの方法のうち廃棄物の費用が最も高額となる。

方法2) 非汚染物以外をRI廃棄物とする場合

$\Sigma(D/C) \leq 1$ のレベルが十分に検出できる条件で汚染検査を行い、検出限界を超えた場合はRI廃棄物とし、検出限界未満の場合は非汚染物として廃棄する方法で、 $\Sigma(D/C) \leq 1$ となる範囲が比較的多い場合に有効な廃棄方法である。メリットはRI廃棄物の量を抑えられ廃棄物の費用を抑えられることが考えられる。方法1)と比較すると、放射化計算や

コア抜きを伴う試料測定が必要となり、サイクロトロンの廃棄完了までに多少の時間を必要とする。現在はこの方法でサイクロロン撤去作業が行われており、放射線障害防止法でのクリアランス実施例がない現在において最も現実的な方法である。

方法3) 放射化物全体を一体としてクリアランスする場合

著しい放射化が認められた箇所を除去した上で、残りの放射化物をクリアランス対象物としてクリアランスし、非汚染物として廃棄する方法である。RI廃棄物の発生量、廃棄物の廃棄に係る費用を最も抑えられる。実績がないため新たな測定評価方法の確立が必要であり、作業時間も3通りの方法の内最も長くなることが予想される。

4.2 クリアランスの制度上の課題

原子炉等規制法では、クリアランス実施における評価方法等の技術基準が表1の通り示されている。放射線障害防止法においても、事例の蓄積や技術的な検討により、技術基準が整備されていくことと思われる。

4.3 クリアランス実施に伴う課題

i) 使用者及び廃棄業者が行う場合で共通する課題

評価対象核種の選定が主な課題である。クリアランスには放射化計算が必要と思われるが、条件設定に必要なサイクロロン装置や遮蔽体の材質、廃棄業者の場合は運転履歴の情報の入手が困難である。また、全施設で放射化計算を行うのは現実的にかんがりの困難を伴う。

一方で、PETサイクロロンは使用方法が施設によらず画一的なものであるため（RI協会が実施し

表1 原子炉等規制法でのクリアランスにおける技術基準

項目	基準の内容	文書名
評価核種	原子力安全委員会が選定した核種	NISA 文書
	$\Sigma(D/C) \geq 0.9$ を満たす核種	
放射能濃度の分布の均一性	測定単位（重量上限）	NISA 文書
	合否の基準（濃度上限）	
測定方法及び条件	評価単位（重量上限）	NISA 文書
	核種組成比法	日本原子力学会標準

たアンケート²⁾参照), 発生する放射化核種も限定されると予想される。平成 23 年度の委託事業³⁾において, 主な金属から生じる放射化核種は 1 年程度の冷却期間を経れば ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn に集約されることが判明している。調査により, 自己遮蔽体に生じる放射化核種は 90 日の冷却期間を経たサイクロトロンで ³H, ⁴⁶Sc, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ¹³⁴Cs, ¹⁵²Eu が存在することが判明している。自己遮蔽体に使用されるコンクリートの組成は多様なため詳細な調査が今後必要となるが, クリアランス申請時の評価核種を材質により決定することや, 個々の事業所で放射化計算を省略することは検討の余地があると考えられる。また, 合理的なクリアランスの実施には汎用的な測定機器を用いて行えることが望ましい。そのため, 放射化により生じる核種や簡便な測定器により放射能評価が可能かといった知見を蓄積していくことが, 今後必要となってくる。

ii) サイクロトロン使用者が行う場合の課題

原子炉等規制法の施設とは異なり, PET サイクロトロンが設置されている施設は市街地に多く, 敷地もスペースに余裕がなく, またサイクロトロン撤去後は速やかに他の用途に用いられることが多い。作業場所や時間の確保, クリアランス後の国による確認までの保管場所の確保といった, ハード面での課題が予想される。また, 濃度確認が完了するまで追加的な汚染のおそれがないようにクリアランス対象物を保管する必要があるが, 建屋等は大型で容器に封入することが困難である。濃度確認までの保管方法といった, 運用面での課題も予想される。

クリアランスでは放射化計算等の高い専門性が要求されるため, メンテナンス業者等の専門家の協力

が必要になる場合も多い。この場合はクリアランス時の品質保証の責任の所在が不明瞭になりやすく, 注意が必要である。

iii) 廃棄業者が行う場合の課題

現状では RI 協会は放射化計算に必要な情報(材質及び装置等の図面等)を, 使用者から引き継いでいない。RI 廃棄物集荷時に, 廃棄物排出元の事業所から引き継ぐ必要がある。

おわりに

放射化物の法令及び運用上の取扱い方法を確認し, 原子炉等規制法施設におけるクリアランス実施例を参考に, 放射化物のクリアランス実施のための課題を検討した。原子炉等規制法施設におけるクリアランス手法は, 評価方法や作業方法等の技術的な面で, サイクロトロンのクリアランスにおいても同様の考え方が適用可能と思われる。その一方で, PET サイクロトン施設には作業場所や時間の確保といった特有の課題があり, 今後対策を検討する必要がある。クリアランス制度が安心感をもって社会に受け入れられるようにするために, サイクロトロンの廃棄及びクリアランスに向けた, 事例の蓄積及び技術的な検討が行われていくことが期待される。

参考文献

- 1) 放射線利用統計 2014, (公社)日本アイソトープ協会
- 2) PET サイクロトロン装置に関するアンケート調査報告, *Isotope News*, No.736, 60-65 (2015)
- 3) 放射線発生装置から発生した放射線によって汚染された物の安全規制に向けた運用基準の整備に関する調査, (財)原子力安全技術センター(平成 24 年 3 月)

放射化物に係るクリアランス検討委員会構成員

委員長	柴田 徳思	((公社)日本アイソトープ協会)
委員	榎本 和義	((共)高エネルギー加速器研究機構)
	上菘 義朋	((国研)理化学研究所)
	武部 慎一	((国研)日本原子力研究開発機構)
	大石 晃嗣	((株)日本環境調査研究所)
	片岡 昌治	(住友重機械工業(株))
事務局	(公社)日本アイソトープ協会	環境整備部