

放射性廃棄物等の管理と処分にに関する研究班報告

The research report on management and disposal of medical radioactive waste

平成 19～20 年度 放射性廃棄物等の管理と処分にに関する研究班

| | | |
|-----|-------|------------------|
| 班 長 | 渡辺 浩 | 横浜労災病院 |
| 班 員 | 木田哲生 | 滋賀医科大学病院 |
| | 田中真司 | 東邦大学医療センター大森病院 |
| | 長岡宏明 | 岩手医科大学附属病院 |
| | 藤淵俊王 | 茨城県立医療大学 |
| | 山口一郎 | 国立保健医療科学院 |
| 協力者 | 榎本和義 | 高エネルギー加速器研究機構 |
| | 木村健一 | 株式会社フジタ技術センター |
| | 保科正夫 | 群馬県立県民健康科学大学 |
| | 大山正哉 | 国立病院機構東京医療センター |
| | 早川登志雄 | 富士フイルム株式会社 |
| | 宮浦和徳 | 国立がんセンター中央病院 |
| | 池谷元宏 | 日本アイソトープ協会 |
| | 林 健一 | 日本アイソトープ協会 |
| | 岡崎 清 | 東芝メディカルシステムズ株式会社 |
| | 浅見文克 | 株式会社千代田テクノル |

(* 所属施設は研究活動時点のもの)

緒言

平成 18 年 9 月、文部科学省の作業部会においてパブリックコメントの手続きを経た後「RI・研究所等廃棄物作業部会報告書（以下、報告書）」ⁱがまとめられた。この報告書は、医療からの放射性廃棄物の処分方針を定めるうえでも重要である。医療での短半減期RIに汚染された放射性廃棄物のクリアランスは検討が進められてきたものの、その実現には様々な困難が立ちはだかっているのが現状である。医療機関において放射性廃棄物の放射線管理業務に従事する診療放射線技師の多くは当学会の会員であり、今回の報告書案で提示された懸案事項は、当学会としても取り組むべき重要課題であるⁱⁱと考える。

また、今回の報告書においては、「 - 冒頭省略 - すべての関係者は、これまでも同廃棄物の処分に向けた検討が数次にわたり実施されたにもかかわらず、具体的な処分事業の実施に至らなかった点を謙虚に振り返り、各自が積極的に同廃棄物の処分を実現すべく、一体となって取り組むことが期待される。」と述べ、これまでの進捗が十分ではなかったこ

とを真摯に反省しており，当学会としても関与しなければならない立場でありながら，これまでの取り組みが十分ではなかったことを率直に反省し，今後，関連学会および諸団体とも連携し積極的な取り組みが必要と考える．そのため，平成 19 年度より 2 年間，標記研究班を編成し，医療用放射線発生装置の実態調査，放射化物の管理に関するマニュアル案作成など放射線診療に伴い発生する放射性廃棄物の合理的な管理が可能となるような制度構築に向けて調査研究を行ったので報告する．

1. 医療利用放射線発生装置の実態調査

1.1 放射線治療用加速器の事前放射線安全評価とビーム使用の実態に関する全国調査^{iii, iv}

1.1.1. 目的

放射化物の安全管理基準の策定に資するため，治療用加速器の運転状況を明らかにする．

1.1.2. 方法

全国の放射線治療用加速器 874 台（725 施設）を対象とし，日本放射線技術学会等のウェブサイトに調査票を掲載し電子メールで回答を求めた．調査期間は平成 19 年 10 月から平成 19 年 11 月とした．

1.1.3. 結果

1.1.3.1 調査票回収状況と調査対象加速器の種類

480 台（406 施設）の回答が得られた（回収割合:55%）．マイクロトロンは 15 台中 11 台から回答があった．

1.1.3.2 加速エネルギーとビームの強度

約 9 割は最大エネルギーが 10MeV 以下で，96%の装置は 10MeV 以下で運転されていた（最大:21MeV）．94%の装置が 4Gy/min 以下の平均線量率で照射し，その平均値は許可条件の約 7 割程度であった．

1.1.3.3 照射時間・照射線量

許可時間は連続的ではなく離散的な分布であった．74%の装置は許可時間に対する実時間が半分以下であったが，実時間が許可の 9 割を超えた例もあった．使用時間に余裕がないのは，購入年が古く（ $P=0.037$ ）X線の使用割合の小さいもの（ $P=0.008$ ）であった．X線最大エネルギーが大きいと使用時間に余裕がない傾向にあった（ $P=0.123$ ）．約 1 割の装置は線量で最大使用量の許可を得ていたが，それでも計算値が過大すぎるために十分な余裕がない施設があった．

1.1.4 考察・結論

許可証の運転条件と日常運転には乖離がある．許可条件を用いると中性子漏洩線量や放射化物生成量を過大に推定するため，装置運転記録に基づく事後評価の活用が考えられる．壁に到達する中性子の合理的な評価法として，主な中性子発生源であるターゲットの組成や中性子のシールドに一定の役割を果たすガントリの遮蔽効果などの考慮が求められる^v．

1.2 PET用サイクロトロン^{vi}

1.2.1 目的・方法

PET検査の増加に伴い、自施設でPET製剤を合成するために小型サイクロトロンを設置する施設も増えている。今後廃棄時に放射化した装置や施設の放射線管理が大きな問題となる。科学的な根拠に基づく安全規制の構築にあたって、これらの装置の放射化の状況について評価と測定を行うことが必要である。放射線診療の進展の妨げとならない合理的な法整備に向けて、その基礎資料とすべくサイクロトロンの医療利用の実態を把握するためアンケートを実施した。

1.2.2 結果

アンケート回収率は73% (124台中91台)であった。自己遮蔽シールドを装備している装置の陽子加速エネルギーの平均は11.8MeV、装備していない装置は16.1MeVであった。使用するビーム電流は、許可証に記載された値に対して半分程度で、施設によりその割合は大きく異なった。使用時間は、ほとんどの施設が許可証の10%程度であった。許可証の1日最大製造量に対し、実際に製造されている量の割合は ^{18}F で平均15%程度であった。

1.2.3 考察・結論

サイクロトロン運転により生じる中性子は加速粒子のビームロスに起因するものも挙げられるが、各ポジトロン核種の生成核反応が多くを占める。核種の生成量や運転時間、エネルギー、ビーム電流は中性子発生量に換算するための重要なパラメータであり、これらによりサイクロトロン室内の中性子フルエンスが推定できると考えられる。サイクロトロン施設の放射化生成量を許可証の最大使用時間や最大製造量などの条件から推定すると著しい過大評価になるため、運転記録を用いて評価すべきであることが今回の集計結果から明らかになった。また、本研究班で医療機関でも実施可能な中性子計測法を開発した^{vii, viii}。

2. 放射化物の管理と処分に関するマニュアル案作成

2.1 目的

放射線発生装置の医療利用に伴って発生する放射化物の管理を合理的なものとするために医療機関で行うべき手順を定めることを目的とした。

2.2 適用範囲

本マニュアルは医療利用に適用範囲を限定し、放射線発生装置の利用に伴い生じた放射化物のうち、利用実態やそれに基づく放射化についての知見が整備された範囲を対象とした。

2.3 結果

本マニュアルにおいては管理方策を合理的に行うために、放射線発生装置の中で放射線治療用発生装置では加速最大エネルギーによって、また、PET検査用サイクロトロンでは自己遮蔽型と非自己遮蔽型でカテゴリ分けを行い、それぞれ管理基準を示した。その他、準備計画、関係機関等との調整および工事スケジュールなどの管理実務の具体的な方策についてまとめた。

2.4 考察・結論

2009年4月、文部科学省は放射線安全規制検討会で放射性廃棄物に対するクリアランス

制度を法令に整備する検討を再開した。平成 22 年度中には法令を改正する予定である。この法令改正では核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（炉規法）に導入されたクリアランス制度と同様の制度が放射線障害防止法に導入される予定である。また，今回の法整備では放射化物についても明確に法規制の中に取り入れることになっている。これらの廃棄物の扱いは放射線安全に十分に留意しつつ，関係者の理解を得て，合理的なものとなるよう制度を整備することが求められる。本マニュアルで提案した具体的な方策が医療現場での適切な放射化物の管理につながることを期待する。なお，本マニュアルは規制整備状況に合わせて調整しつつ，他学会等団体からも承認を得た後に公開の予定である。

3. 医療から発生する非密封放射性同位元素由来の廃棄物の減衰待ち保管（DIS）処分についてのガイドライン（案）の作成

本邦における放射性廃棄物の処分方法は，関連法令の改正に伴い，ようやく解決に向けて進みつつある。炉規法によるクリアランス認可（平成 18 年 9 月：日本原子力発電株式会社東海発電所）や文部科学省所管の事業所に対してもクリアランス認可（平成 20 年 7 月：日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所，JRR-3）に続き，今後は医療における放射性固体状廃棄物に拡大されていくものと予想されている。

欧米や韓国における診療用放射性同位元素の廃棄方法は，DIS（Decay in Storage）が採用されている。わが国においても，この方法が導入されようとして検討されている。医療法施行規則により，核医学診療を行う医療機関における放射性同位元素の使用状況は，規制，監視されている。そのため，発生する放射性廃棄物量も予測でき，発生廃棄物のリスク管理により，安全の担保が可能である。クリアランス認可と異なり，放射エネルギーの測定は必要はないが，確実な減衰保管により，一定基準の放射能レベルと等価になるまでの期間を管理することで，放射線規制から外すという方法である。

本研究班の研究題材の一つとして，わが国における医療機関でのDISの導入に向けて，欧米諸国や韓国での方法および減衰保管における管理状況および平成 14～15 年度および平成 17 年度の厚生労働省科学研究の研究成果を平成 19 年度にとりまとめた。さらに，（社）日本アイソトープ協会 RI 使用施設におけるクリアランス検討委員会による RI 使用施設におけるクリアランス検討のうちの一つである「減衰待ち保管によるクリアランスレベル検認制度」やその他，わが国におけるクリアランス関連の検討報告書などの情報をとりまとめた^{ix}。

また，これらから「医療から発生する非密封放射性同位元素由来の廃棄物の減衰待ち保管（DIS）処分についてのガイドライン案」を作成した。DIS 制度が導入，実現された場合，最も実務頻度が高いであろう当学会会員に DIS システムの解説と具体的かつ実現可能な方法を例示して実務案として作成したものである。

当学会として研究成果として纏めた本ガイドライン案は，諸外国の現況やわが国でのクリアランス制度の動向を踏まえ，医療からの廃棄物に DIS が導入された時点で会員にすぐ役立つガイドラインとして提供できることを目標に作成したものである。今後の関連団

体や学会でさらなる検討の場面で有効に利用され、合理的な規制整備を促進するとともに、法令改正後は、会員諸氏の日々の放射線管理に役立つものになることを期待している。

4. 韓国における短半減期核種由来放射性廃棄物の管理と処分方法^x

4.1 目的

欧米等で実施されている DIS のような合理的な放射性廃棄物管理を本邦でも実現するために、韓国の放射性廃棄物の実施状況を調査した。

4.2 方法

平成 20 年 5 月、韓国の主要医療機関 3 施設を対象に視察およびアンケート調査を実施した。また、韓国の関係法令を調査した。

4.3 結果・結論

韓国では IAEA のクリアランスレベルを基に放射性廃棄物のクリアランスに関する規程を行政機関が定めていることや医療機関が法令に基づき放射線安全管理者の監督の基に適切に廃棄物の管理と処分を行っていることを確認できた。使用核種は、本邦とほぼ同じ核種であってすべて半減期 60 日以下の核種であった。本邦でも韓国を参考に合理的な放射性廃棄物の管理と処分に関する法令整備を行うとともに品質保証された実施手順を法令に定めることが重要である。なお、韓国の原子力法に基づく放射性廃棄物のクリアランスに関する規定を本報告書に添付した。

5. PET核種由来放射性廃棄物管理に関する調査^{xi}

5.1 目的

平成 16 年、PET 検査の放射性廃棄物の取り扱いを合理化できるよう放射線障害防止法施行規則と医療法施行規則が改正された。この制度により PET 廃棄物の管理がどう改善されたか現状を把握し、医療放射性廃棄物のさらなる合理的な規制の整備に資するために調査を行った。

5.2 方法

全国の PET 検査実施施設 224 施設を対象に質問紙調査を行った。

5.3 結果

「PET4 核種廃棄物の規制緩和措置」はデリバリー施設の約 8 割で導入され普及していた。しかし、サイクロトロン設置施設での導入は半数にとどまっていた。導入していない理由の約 3 割が製造段階での異核種の混入がないことの証明ができないことであった。今後、全ての PET 施設で緩和措置が導入されると、放射性廃棄物処理費用を 10 年間で 1 億 7 千万円程度削減できることが期待された。

5.4 結論

「PET4 核種廃棄物の規制緩和措置」は順調に医療現場に普及していた。本制度の経験も踏まえ、わが国でも、関係者の理解と協力を得て、放射性廃棄物の減衰待ち保管制度等の導入を進めることが望まれる。

6. 本研究班活動の意義と成果

放射線診療に伴い発生する廃棄物の適切な処理は、日々の放射線診療の基礎である。しかし、懸案課題が山積しており、その解決のための規制整備が急ピッチで進められている。このうち解決が迫られている急務の課題は、1) 固体状放射性廃棄物の廃棄、2) 放射化物の管理ルール、である。

6.1 固体状の放射性廃棄物の廃棄の方法の確立に向けて

固体状医療放射性廃棄物は岩手県滝沢村の日本アイソトープ協会の施設に保管し続けている。保管場所周辺住民との協定があり保管場所も有限であることから最終処分などへの対応が迫られている。1年間に集荷される放射性廃棄物の総放射能はおよそ3TBqで、重量は500トンとなる。そのうち医療法関係は200トンである。滝沢村には村民の好意により一時的に保管しているに過ぎず、最終的な解決に向けて関係者が真摯に取り組むことが滝沢村との信義上も求められている。処分の方法は2つある。

一つめは、埋設処分である。平成17年の障害防止法の改正で放射性廃棄物埋設処分が制度化されたことに伴い、本制度の実現に向けて事業主体を確立するため平成20年5月に日本原子力研究機構法が改正された。この改正において、放射線診療関係者を含む関係者が協力して円滑に行われるよう努めることとの付帯決議がなされている。本学会はまさにその当事者であり、埋設処分場の立地やその費用負担に主体的に関わらなければならない。この改正を踏まえ、国として定める「埋設処分業務の実施に関する基本方針」が決定された。この方針において、「立地地域住民及び国民の理解の増進」のために、医療機関を含む発生者が国及び原子力機構に協力することや、医療放射性廃棄物に関連してクリアランス制度の進捗にも対応することとされている。

処分法の二つめは、そのクリアランスである。クリアランス制度の導入に向けて、平成18年5月に文部科学省放射線安全規制検討会「放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備に係る技術的検討について(中間報告書)」がまとめられ、国での検討が進められている。この中間報告書には「短半減期核種のみによって汚染された廃棄物の減衰保管廃棄について」との課題が検討され、医療分野への減衰保管廃棄制度の導入が課題とされている。廃棄物業界や処分場周辺住民などの理解を得て減衰保管廃棄制度を導入するためには、廃棄物が途中で混入することなく適切に減衰させることを保証しなくてはならない。本研究班では、その導入に向けて、既に実施されている規制緩和措置であるPET核種汚染物の1週間ルール(一定の要件を満足すれば、減衰保管後、放射性廃棄物としての規制を適用しない)の医療現場での普及状況とその課題を調査した。この制度は、医療放射性廃棄物全体の減衰保管制度を導入する上で、そのモデルになると考えられる。調査により、その実行の可能性や有用性が検証された意義は大きい。さらに、厚生労働科学研究(日下部班・油野班)の成果をもとに、「減衰待ち保管によるクリアランスレベル検認制度を用いた放射性廃棄物の流れ」(日本アイソトープ協会 RI 施設におけるクリアランス検討委員会)での課題整理や韓国での減衰待ち保管の状況を踏まえて、医療用放射性廃棄物の減衰保管廃棄実施のための医療機関側の要件を提示した。また、医療機関が利用できる具体的な参考資料として医療機関の放射線安全管理委員会のあり方、放射性医薬品の不純核種を考

慮した実務的な減衰保管期間の考え方を整理し、制度導入後に利用可能なマニュアルの骨格を完成させた。

6.2 放射化物の規制整備の確立に向けて

わが国には、1000 台を超える医療用加速器があるが、加速器の運転に伴い生成される放射化物の再利用や処理・処分のための規制の枠組みが未だ存在していない。また、サイクロトロン施設の更新の時期に差し掛かっているが、施設・建屋の円滑な解体のために「放射性廃棄物でない廃棄物」の区分の導入が課題とされている。このため、文部科学省の委託で高エネルギー加速器研究機構が調査研究を実施している。本研究班は医療側の窓口としてこの調査活動に協力し、治療用加速器施設やサイクロトロン施設で、熱中性子量・放射化物の計測と加速器の運転状況の調査を行った。この結果、装置の種類別の生成中性子量の見積もりを運転状況に即した合理的なものとするためのデータが得られた。文部科学省放射線安全規制検討会の中間報告書では、放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物に対するクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法が課題とされたが、個別の医療機関で測定を要さずに非放射性物質として扱える基準策定や放射性廃棄物の範囲の明確化にこれらの研究の成果が用いられることが期待される。

6.3 本研究の限界・今後の課題

本研究班は、学会の各分科会や他の機関と連携して調査研究活動を進め、科学的な根拠に基づく合理的な規制整備のために有益な知見を見いだしたという重要な意義がある。しかし、社会的な合意に基づくルールは、科学的な根拠のみで形成されるものではない。大多数の社会構成住民が主観的に受け入れられないリスクは、例えわずかであっても、ルール整備に合意が得られない。その最たる例が放射性廃棄物の処分である。社会的な合意形成がなされるようにどのようにメッセージを発信するかは重要な課題であり、今後とも継続して学会として検討を進める必要がある。

7. おわりに

我々は、医療利用による放射性廃棄物を発生させている医療機関に従事する診療放射線技師の多くは当学会の会員でもあることから、放射性廃棄物に関する課題を当学会としても取り組むべき重要課題のひとつとして位置付け、平成 19 年度より 2 年間にわたり研究活動を行った。文部科学省での放射性廃棄物の管理と処分についての進捗が同時進行したことから、文部科学省の委託調査にも協力し、合理的な法整備のための検討を行った。本研究活動は平成 21 年度に本学会の学術交流委員会関係法令等検討小委員会に引き継がれ、平成 21 年 6 月に本学会は文部科学省に対して合理的な法整備を求めるとともに、平成 21 年 10 月 2 日文部科学省所管クリアランス技術検討ワーキンググループ第 11 回会議において、事実上、医療を代表してクリアランス制度等の法整備に関して技術的な提案（および要望）を行った。

法改正動向は予断を許さないが、本研究会活動が放射線治療ならびに核医学診療の健全な発展に寄与することを願っている。また、今後も医療現場からの更なる提案が重要になるため、多くの現場の実務者や専門家の理解と協力を期待したい。

なお，本研究による成果は可能な限り論文投稿しており，本報告書では要旨のみにとどめた．詳細については参考文献で確認されたい．また，本稿は本研究の活動時期の状況に合わせた研究分野や用語等を用いており，現在の法改正状況と合致しない箇所が生じる可能性があることに留意されたい．

謝辞

本研究は，本邦における放射性廃棄物の管理と処分の進捗促進の動きに合わせた活動となったため，多くの皆様からご協力いただきました．本研究にご協力いただいた多くの皆様に心より感謝申し上げます．

参考文献

-
- i 原子力分野の研究開発に関する委員会・RI 研究所等廃棄物作業部会．「RI・研究所等廃棄物作業部会報告書」，文部科学省ホームページ
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06110922/001.htm
- ii 山口 一郎，大山正哉，大場久照，他：医療用放射性廃棄物の課題とは何か？，日本放射線技術学会雑誌 2008;64(10), 1314-1320
- iii Yamaguchi I, Tanaka S, et al.: Nationwide survey on the operational status of electron accelerators for radiation therapy in Japan. Radiological Physics and Technology 2010 doi:10.1007/s12194-010-0083-0
- iv 山口一郎，田中真司，木田哲生，長岡宏明，藤淵俊王，渡辺浩．放射線治療用加速器の事前放射線安全評価とビーム使用の実態に関する全国調査．日本保健物理学会第 43 回研究発表会．大阪．2009.6.3-4，日本保健物理学会
- v 山口一郎，木村健一，田中真司，他．最大加速電圧が 10MV の診療用高エネルギー放射線発生装置使用室内の熱中性子束計測，日本放射線安全管理学会雑誌 2008;7(1), 42-49
- vi Fujibuchi T, Yamaguchi I, Watanabe H, et al.: Nationwide survey on operational status of medical compact cyclotrons in Japan. Radiological Physics and Technology 2009 2(2), 126-132
- vii Fujibuchi T, Yamaguchi I, Kasahara T, et. al.: Measurement of Thermal Neutron Fluence Distribution with use of ^{23}Na radioactivation around a Medical Compact Cyclotron: Radiological Physics and Technology 2009; 2(2), 159-165
- viii 笠原哲治，藤淵俊王，飯森隆志，他：医療用イメージングプレートと ^{23}Na 放射化検出器を利用したオートラジオグラフィ法によるサイクロトロン室内での熱中性子束測定の基礎的検討，日本放射線安全管理学会雑誌 2008 ; 7(1), 50-55
木田哲生，山口一郎，渡辺浩 他：医療用短半減期核種の放射性廃棄物の適正な管理に向けての文献的考察，日放技学誌 2009; 65(5) 631-637
- x 渡辺浩，長岡宏明，山口一郎，堀内承治，井本厚志．韓国における医療利用に伴う放射性廃棄物の管理と処分の実施状況調査．日放技学誌 2009; 65(7), 952-957
- xi 長岡宏明，渡辺浩，山口一郎，藤淵俊王，木田哲生，田中 真司．PET 核種由来放射性廃棄物管理に関する全国調査．日本放射線技術学会雑誌，2009; 65(12), 1644-1649