



Photo Kiranori Kirano

Index

迎春のごあいさつ……………	井上 任	1
α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発 ～ 福島県立医科大学の取り組み ～ ……	伊藤 浩	2
法令に基づく被ばく線量記録等の 指定記録保存機関への引渡しについて……………	鈴木 晃	7
〔コラム〕 37th Column 【がんが転移する仕組み 後編】……………	中川 恵一	12
六ヶ所再処理工場の操業に向けた 放射線計測方法等の改善について……………	岡村 泰治	13
〔放射線道場の喫茶室〕 第13回 核災害時の環境“核能汚染”動態 ……	鴻 知己	18
〔サービス部門からのお願い〕 ガラスバッジやガラスリングを洗濯しないようご注意ください……		19

迎春の



ごあいさつ



株式会社 **千代田テクノ**
代表取締役社長 井上 任

新年あけましておめでとうございます。
読者の皆様におかれましては、お健やかに新しい年を迎えられましたこととお慶び申し上げます。

昨年も一昨年に続き、新型コロナウイルス感染拡大が続き、行動制限など個人の努力をはじめ、皆様の職場におかれましても行動の工夫を求められる、変革の一年となったことと存じます。

大きな出来事として2020年から延期されていた第32回東京オリンピック競技大会ならびに東京2020パラリンピック競技大会の開催がありました。国内外の多くの選手および関係者による大会が無事に終了したことは、大会関係者とボランティアの皆様の努力の賜物だと感じております。

放射線業界では、2021年4月1日に改正電離放射線障害防止規則等の関係法令が施行されました。これにより、放射線業務従事者の眼の水晶体に受ける等価線量限度は、改正前の一年間につき150mSvから、改正後は五年間につき100mSv及び一年間につき50mSvに引き下げられました。

また、眼の水晶体線量の測定方法の1つとして3mm線量当量が追加され、弊社では眼の水晶体用線量計「DOSIRIS」をご提供させていただいております。弊社の商品についてご質問・ご要望がございましたら遠慮なくお問い合わせください。

これからもFBNewsを通じて、皆様へ有益な情報を届けてまいります。
末筆となりましたが、皆様のご健勝と益々のご発展を心よりお祈りいたします。
本年もどうぞよろしく願い申し上げます。

代表取締役会長	細田 敏和	取 締 役	小山 重成
常 務 取 締 役	安川 弘則	取 締 役	新田 浩
常 務 取 締 役	赤座 太郎	取 締 役	尾崎 英樹
取 締 役	馬場 一郎	監 査 役	本圖 和夫

α 線放出核種を用いた 核医学治療薬の開発

～ 福島県立医科大学の取り組み ～



伊藤 浩*

はじめに

国内における核医学治療（RI内用療法）は β 線放出核種を用いた核医学治療薬である Na^{131}I による甲状腺癌の治療¹⁾や ^{90}Y 標識 ibritumomab tiuxetanによる悪性リンパ腫の治療が行われており、 β 線放出核種である ^{177}Lu を用いた ^{177}Lu -DOTATATE(^{177}Lu -1,4,7,10-tetraazacyclododecane-1,4,7,10-tetraacetic acid (DOTA)-octreotate)による神経内分泌腫瘍の治療についても保険診療が始まっている。また、 ^{131}I 標識meta-iodobenzylguanidine (^{131}I -MIBG)による悪性褐色細胞腫の治療²⁾についても核医学治療薬の製造販売が承認されている。一方、線エネルギー付与や生物学的効果比が β 線よりも高い α 線による核医学治療の研究も世界的に進んでおり、国内では α 線放出核種を用いた核医学治療薬である $^{223}\text{RaCl}_2$ による前立腺癌骨転移の治療が行われている。 α 線は飛程が短く、 α 線放出核種を用いた治療薬は一般的に投与量が少ないことから核医学治療病室への入院が不要となる可能性があり、これも長所の一つである。

α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発は、国内では主に ^{211}At を、海外では主に ^{225}Ac を用いた開発が行われている。海外では、 ^{225}Ac -DOTATATEによる神経内分泌腫瘍の治療³⁾や ^{225}Ac 標識prostate specific membrane antigen (^{225}Ac -PSMA)による前立腺癌の治療⁴⁾が報

告されており、それぞれ ^{177}Lu を用いた治療に対する優位性が示されている。国内では、 ^{211}At 標識meta-astatobenzylguanidine(^{211}At -MABG)による悪性褐色細胞腫の治療についての基礎研究が量子科学技術研究開発機構で行われ^{5, 6)}、その臨床応用に向けての取り組みが福島県立医科大学で進められている。また、大阪大学では Na^{211}At による甲状腺癌の治療の研究が進められ、臨床応用に向けての準備が進んでいる⁷⁾。

本稿では、福島県立医科大学における α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発への取り組みについてその経緯と概要を紹介する。

福島県立医科大学での取り組み

1. 施設

福島県立医科大学では、震災後、復興計画の一つである県民の心身の健康を守るプロジェクトの一環として先端臨床研究センターが設立され（図1）、2016年に附属病院の敷地内に竣工となった。先端臨床研究センターにはPET/MRI装置、PET/CT装置の他、小型サイクロトロン（20MeV、HM-20S住友重機械工業）と中型サイクロトロン（30MeV、MP-30住友重機械工業、図2、3）が導入された。小型サイクロトロンは主にPET用放射性薬剤の合成に用いられ、診療と臨床研究でのPET検査が行われている。中型サイクロトロンは ^{68}Ga ジェネレータに用いる ^{68}Ge の生成に使われる他、

* Hiroshi ITO 福島県立医科大学 医学部 放射線医学講座／福島県立医科大学 先端臨床研究センター



図1 福島県立医科大学先端臨床研究センターの外観

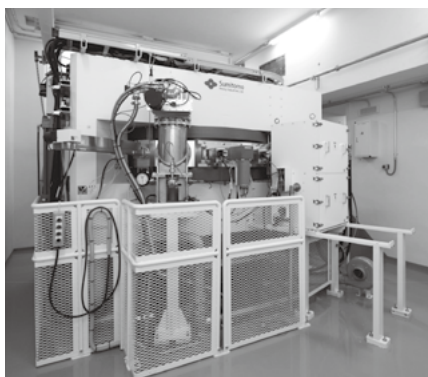
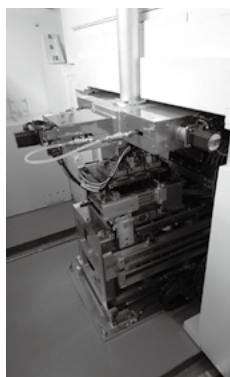
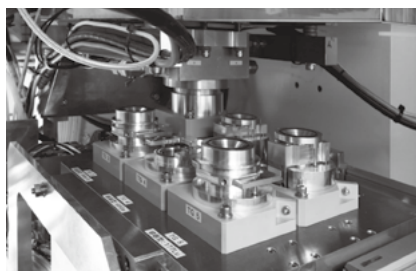


図2 中型サイクロトロン(MP-30 住友重機械工業)の本体



(A)



(B)

図3 中型サイクロトロンのターゲット部分(A)とその拡大写真(B)



図4 福島県立医科大学附属病院の核医学治療病室

^{211}At や ^{177}Lu といった核医学治療に用いる放射性核種の生成に用いられる。現在は ^{211}At の生成を中心に運用されており、 α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発に利用されている。

また、新たに建設された附属病院の棟内に核医学治療病室が9床設置され(図4)、先端臨床研究センター(附属病院核医学科)の織内昇教授、志賀哲教授らにより主に Na^{131}I による甲状腺癌の治療が行われているが、 α 線放出核種を用いた核医学治療薬の臨床応用に際しても、その初期評価にこれらの病床

が利用される予定である。

2. 中型サイクロトロンによる ^{211}At の製造

^{211}At は半減期が7.2時間の α 線放出核種であり、軌道電子捕獲により生成される娘核種の ^{211}Po も α 線を放出する。放出される α 線の平均エネルギーは6.79 MeVであり、平均線エネルギー付与は97 keV/ μm である。 ^{211}At は約30 MeVの加速 α 粒子で ^{209}Bi を照射することにより生成されるが($^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$)、福島県立医科大学では2017年に量子科学技術研究開発機構から ^{211}At 製造技術を移転し、 ^{211}At の製造を開始した。福島県立医科大学の中型サイクロトロンでは加速 α 粒子の垂直照射が可能であり、この利点を生かして簡便なターゲット(粒状Bi)を利用していたが、回収効率向上のため照射ターゲットの形状を改良して新しいターゲット基板を開発した。また、ビームの大電流化などの照射条件の改良を重ねるとともに ^{211}At の分離精製法の最適化を図り、現在では安定的に ^{211}At を製造することが可能となった。

^{211}At は半減期が7.2時間と比較的短く、繰り返し投与による治療プロトコルを立てやすい。また、ハロゲンであるため揮発性に留意する必要があるが、反応性に富んでいるため核医学治療薬の合成に適しているなどの長所がある。

海外でよく用いられている α 線放出核種の ^{225}Ac は、 ^{229}Th を親核種とするジェネレータによる製造が主流であるが、原料である ^{233}U の資源量の制約から当面の需要は賄えるが供給可能量に上限がある。また、 ^{232}Th への高エネルギー陽子線照射による製造も実施されているが、大型加速器が必要であり、製造可能な施設が世界的にも限定される。一方、国内ではサイクロトロンで製造する方法($^{226}\text{Ra}(p, 2n)^{225}\text{Ac}$)の開発が量子科学技術研究開発機構で進められているが、ターゲットとな

る ^{226}Ra および娘核種である ^{222}Rn の安全な取り扱いには厳重な注意が必要である。

3. ^{211}At -MABGによる悪性褐色細胞腫の治療(非臨床試験)

^{131}I -MIBGによる悪性褐色細胞腫の治療は ^{131}I -MIBGの製造販売承認が申請されているところであり、現在は自由診療での治療が可能である。 ^{131}I -MIBGの ^{131}I を同じハロゲン元素である ^{211}At で置き換えた ^{211}At -MABGの合成は1992年にZalutskyらにより報告されたが⁸⁾、その後臨床応用には至らなかったようである。国内では、 ^{211}At -MABGによる悪性褐色細胞腫の治療についての基礎研究が、まず量子科学技術研究開発機構で行われた。量子科学技術研究開発機構での基礎研究において、 ^{211}At -MABGの投与量と抗腫瘍効果の関係が明らかにされ、 ^{211}At -MABGの投与量と組織毒性、血液毒性との関係も明らかにされた。これらの結果を受けて、量子科学技術研究開発機構分子イメージング診断治療研究部の東達也部長らの助言の下、2018年に福島県立医科大学先端臨床研究センターにおいて高橋和弘教授を中心に ^{211}At -MABGによる悪性褐色細胞腫の治療の臨床応用に向けた非臨床試験を開始した。

非臨床試験は、まず、マウスを用いた安全性と有効性に関する予備的な試験を行った後、医薬品医療機器総合機構(PMDA)での事前相談、対面助言を受け、臨床試験に向けて必要な非臨床試験の内容を明確にした。また、 ^{211}At -MABGの安全性と有効性を明らかにする上で必要不可欠な線量測定についても、予備的な非臨床試験において ^{211}At -MABGと無担体の ^{211}At による各臓器の線量当量を明らかにした⁹⁾。

非臨床試験においては、 ^{211}At には安定同位体が存在しないことから、非放射性的MABGの毒性試験を実施することは困難で

あるという問題点があるが、放射性薬剤である²¹¹At-MABGの安全性を評価することでこの点を代用することとなった。また、国内にはα線放出核種の取り扱いが可能なGLP (Good Laboratory Practice) 施設を有する非臨床安全性試験の受託業者が存在しないことも問題点であるが、代替案としてGLP適合下での非臨床安全性試験の経験を有する受託業者の協力の下、福島県立医科大学内にGLPに準じた品質保証体制を構築して非臨床安全性試験を実施することとなった。現在、非臨床試験を終了し、α線放出核種による副作用についての詳細な検討を行うとともに、臨床試験実施に向けてのPMDAでの事前相談を踏まえ、医師主導治験の準備をしているところである。

4. ²¹¹At-MABGによる悪性褐色細胞腫の治療 (臨床試験)

福島県立医科大学における²¹¹At-MABGによる悪性褐色細胞腫の治療の臨床応用は、医師主導治験として実施する予定である。実施に当たっては、核医学治療病室担当の看護師に悪性褐色細胞腫の核医学治療や、α線放出核種を用いた核医学治療における放射線安全管理についての教育の機会を設ける必要がある。また、福島県も含め東北地方は核医学を専門とする医師が少ないため、先端臨床研究センター (附属病院核医学科) と放射線医学講座 (附属病院放射線科) が合同で臨床試験を実施する必要があるが、核医学を専門としない医師への教育も重要である。さらに、治療に伴うカテコラミン放出による副作用への対処として、附属病院救急科との協力体制も構築する必要がある。

α線放出核種を用いた核医学治療における放射線安全管理については、日本核医学会よりNa²¹¹Atによる甲状腺癌の核医学治療についての治験適正使用マニュアルが公開されて

いるが、²¹¹At-MABGによる悪性褐色細胞腫の核医学治療についても同様のマニュアルを日本核医学会と連携して作成する必要がある。

福島県立医科大学には全学の放射線安全管理組織として放射性同位元素等安全管理委員会が設置され、筆者が委員長を拝命している。放射性同位元素等の規制に関する法律 (RI規制法) に基づき、同委員会において放射性薬剤合成施設や非臨床試験施設での²¹¹At使用に関する放射線安全管理を随時確認している。臨床試験では²¹¹At-MABGの使用および安全管理は医療法に基づいて行われることになるが、同委員会では²¹¹At-MABGの臨床試験においても放射線安全管理を随時確認していく予定である。

5. ²¹¹Atを用いた今後の核医学治療薬の開発

α線放出核種を用いた核医学治療薬の開発として、²²⁵Ac-PSMAによる前立腺癌の治療が報告されている。前立腺癌は有病率も高く、核医学治療の需要も大きいことが予想されるが、PSMAを²¹¹Atで標識した²¹¹At-PSMAを合成できれば、²²⁵Ac-PSMAと同様に高い治療効果が得られることが予想され、次のα線放出核種を用いた核医学治療薬の開発の対象となり得るものである。

Interventional radiology (IVR) による癌治療は、肝癌に対する肝動脈化学塞栓術 (transcatheter arterial chemoembolization, TACE) などが行われているが、海外ではβ線放出核種である¹⁶⁶Hoによる肝癌の放射線塞栓療法が行われている。²¹¹At標識の塞栓物質を合成することができれば、より効果の高い肝癌の放射線塞栓療法を実現することができる可能性があり、このようなIVRと核医学治療の融合分野の開拓にも今後取り組むべきと思われる。

おわりに

α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発においては、 α 線放出核種の製造法の確立から非臨床試験、臨床試験に至るまで、多くの研究者、技術者の貢献があってこれを遂行することができている。本学先端臨床研究センターはミッションオリエンテッドな研究所であり、全ての研究者、技術者は組織としてのミッション遂行のために尽力しているが、これは時に研究者個人の創意による研究がやり難く、個人としての研究業績を挙げにくい研究環境にもなり得る。このような中でミッションを着実に遂行してくれた研究者、技術者に感謝するとともに、ミッションオリエンテッドな研究所における個人の業績評価方法についても今後考えていく必要がある。

α 線放出核種を用いた核医学治療薬の一連の開発過程において、多くの事務作業が必要となっているが、本学復興推進課を中心とする事務スタッフが専門外の研究の内容をよく勉強し、残業も厭わず事務業務を滞りなく遂行してくれている。事務スタッフにも感謝するとともに、研究ミッション遂行における事務部門の重要性を改めて認識させられている。

α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発も含む本学先端臨床研究センターの業務遂行において、RI規制法に基づく放射線安全管理業務や変更申請等の事務手続きも必要となり、放射線安全管理スタッフおよび事務スタッフに多大な労力を割いていただいた。この場を借りて感謝申し上げたい。

参考文献

- 1) Higashi T, Kudo T, Kinuya S. Radioactive iodine (^{131}I) therapy for differentiated thyroid cancer in Japan: current issues with historical review and future perspective. *Ann Nucl Med* 2012; 26: 99-112.
- 2) van Hulsteijn LT, Niemeijer ND, Dekkers OM, Corssmit EP. ^{131}I -MIBG therapy for malignant paraganglioma and pheochromocytoma: systematic review and meta-analysis. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2014; 80: 487-501.

- 3) Ballal S, Yadav MP, Bal C, Sahoo RK, Tripathi M. Broadening horizons with ^{225}Ac -DOTATATE targeted alpha therapy for gastroenteropancreatic neuroendocrine tumour patients stable or refractory to ^{177}Lu -DOTATATE PRRT: first clinical experience on the efficacy and safety. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2020; 47: 934-946.
- 4) Zacherl MJ, Gildehaus FJ, Mittlmeier L, Böning G, Gosewisch A, Wenter V, Unterrainer M, Schmidt-Hegemann N, Belka C, Kretschmer A, Casuscelli J, Stief CG, Unterrainer M, Bartenstein P, Todica A, Ilhan H. First clinical results for PSMA-targeted α -therapy using ^{225}Ac -PSMA-I&T in advanced-mCRPC Patients. *J Nucl Med* 2021; 62: 669-674.
- 5) Ohshima Y, Sudo H, Watanabe S, Nagatsu K, Tsuji AB, Sakashita T, Ito YM, Yoshinaga K, Higashi T, Ishioka NS. Antitumor effects of radionuclide treatment using α -emitting meta- ^{211}At -astatobenzylguanidine in a PC12 pheochromocytoma model. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018; 45: 999-1010.
- 6) Sudo H, Tsuji AB, Sugyo A, Nagatsu K, Minegishi K, Ishioka NS, Ito H, Yoshinaga K, Higashi T. Preclinical evaluation of the acute radiotoxicity of the α -emitting molecular-targeted therapeutic agent ^{211}At -MABG for the treatment of malignant pheochromocytoma in normal mice. *Transl Oncol* 2019; 12: 879-888.
- 7) Watabe T, Kaneda-Nakashima K, Ooe K, Liu Y, Kurimoto K, Murai T, Shidahara Y, Okuma K, Takeuchi M, Nishide M, Toyoshima A, Shinohara A, Shirakami Y. Extended single-dose toxicity study of [^{211}At] NaAt in mice for the first-in-human clinical trial of targeted alpha therapy for differentiated thyroid cancer. *Ann Nucl Med* 2021; 35: 702-718.
- 8) Vaidyanathan G, Zalutsky MR. 1- (m- ^{211}At) astatobenzyl) guanidine: synthesis via astatodemetallation and preliminary in vitro and in vivo evaluation. *Bioconjug Chem* 1992; 3: 499-503.
- 9) Ukon N, Zhao S, Washiyama K, Oriuchi N, Tan C, Shimoyama S, Aoki M, Ku-bo H, Takahashi K, Ito H. Human dosimetry of free ^{211}At and meta- ^{211}At] astatobenzylguanidine (^{211}At -MABG) estimated using preclinical biodistribution from normal mice. *EJNMMI Phys* 2020; 7: 58.

著者プロフィール

福島県いわき市出身。1989年福島県立医科大学卒業、1993年東北大学大学院修了(医学博士)。1995～1997年スウェーデン・カロリンスカ研究所客員研究員、1997～2003年秋田県立脳血管研究センター研究員、2003～2005年東北大学加齢医学研究所講師・助教授、2005～2014年放射線医学総合研究所チームリーダー・プログラムリーダー、2014～2016年福島県立医科大学先端臨床研究センター教授、2016年より福島県立医科大学放射線医学講座主任教授。専門は核医学。震災をきっかけに福島に戻り、現在は専門の脳神経領域の核医学に加えて α 線放出核種を用いた核医学治療薬の開発にも従事。放射線取扱主任者(選任)として放射線安全管理にも取り組んでいる。

法令に基づく被ばく線量記録等の 指定記録保存機関への引渡しについて



鈴木 晃*

1. はじめに

放射性同位元素等の規制に関する法律（以下、「RI規制法」という。）及び同施行規則において、事業者は放射線業務従事者の被ばく線量記録及び健康診断記録を保存することが義務づけられています。当該記録について保存期間の定めはありませんが、記録を5年以上保存した場合等において原子力規制委員会が指定する「指定記録保存機関」に引渡しを行うことでその保存義務が適用外となることも示されています。また、RI等の使用廃止など廃止措置を行う段階では、それまで保存してきた記録のすべてを同機関へ引渡すことが義務づけられています。

（公財）放射線影響協会は、RI規制法をはじめ、放射線防護に係わる各法令のもとで、指定記録保存機関の指定を受け、引渡しを受けた記録類を事業者に代わり長期間保存する事業を行っています。各法令での規定のとおり、廃止措置等を行う前であっても、5年以上保存した後などにおいては、事業者は指定記録保存機関に記録引渡しを行うことが可能となります。早い段階での記録引渡しを行っていただくことは、事業者における記録保存のご負担の軽減や長期保存による記録の紛失防止等に繋がるものと考えています。ここでは、当協会が行っている指定記録保存機関としての事業の概要及びご活用いただくための記録引渡しに係る手続きなどについてご紹介させていただきます。

2. 被ばく線量記録・健康診断記録の保存 について

被ばく線量記録や健康診断記録は重要な記録であり、長期間にわたり保存することが求められています

放射線業務従事者の被ばく線量記録や健康診断記録は、各人の放射線管理を実施する上で重要な記録であり、適切な管理が必要です。放射線管理を規定している各法令では、被ばく線量や健康診断結果を個人ごとに記録し、それらを保存することが定められ、法令ごとに違いはあるものの、長期間保存することが求められています。また、これら事業者による保存義務と併せて、法令上、事業者は一定期間保存を行った後には指定記録保存機関への記録引渡しが可能であること、そして廃止措置や事業の廃止を行う際にはこれまで保存してきた記録の全てを同機関へ引渡すことが必須であることが規定されています。記録の引渡しを受けた指定記録保存機関では、以降、事業者に代わって継続して保存を行います。例えば、RI規制法に基づく記録引渡し機関に係る規則では、指定記録保存機関は受理した記録を少なくとも本人が95歳に達するまでの期間保存しなければならない（死亡した場合は除外）としています。

放射線被ばくを伴う業務に従事した者については、一人ひとりについて被ばく線量等の記録保存や必要時には履歴の確認等も含めて管理を行っていくことが必要であり、これら

* Akira SUZUKI 公益財団法人放射線影響協会 放射線従事者中央登録センター 部長

表1 各法令における記録保存と指定記録保存機関への引渡しに関する内容

法令 [所管省庁]	事業者による記録保存と 指定記録保存機関への引渡し	対象記録
放射性同位元素等の 規制に関する法律 ・同施行規則 [原子力規制委員会]	◆記録の保存期間：期間の定めなし（永久） ①従業者でなくなった場合は引渡しにより適用外 ②5年以上保存した場合は引渡しにより適用外 ◆廃止措置の場合には引渡しが必要	被ばく線量記録 健康診断記録
原子炉等規制法 ・同法関係規則 [原子力規制委員会]	◆記録の保存期間：以下の期間 ①従事者でなくなった場合において引渡すまで ②5年を超えて保存した場合において引渡すまで ◆廃止措置の場合には引渡しが必要	被ばく線量記録
労働安全衛生法 ・電離則（電離放射線 障害防止規則） ・除染電離則（※） [厚生労働省]	◆記録の保存期間：30年間 ①離職した場合は引渡しにより適用外（除染電離則） ②5年を超えて保存した場合は引渡しにより適用外 ◆事業廃止の場合には引渡しが必要	被ばく線量記録 健康診断記録
鉱山保安法 ・同施行規則 [経済産業省]	◆記録の保存期間：以下の期間 ①従事者でなくなった場合において引渡すまで ②5年を超えて保存した場合において引渡すまで	被ばく線量記録

※東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則

の点から上記のような制度が定められているものと考えます。

放射線業務従事者の被ばく線量管理を定めている各法令における被ばく線量記録や健康診断記録の保存及び指定記録保存機関への引渡しに係る規定内容を整理したものを表1に示します。

3. 指定記録保存機関について

当協会は、「指定記録保存機関」として指定された国内で唯一の機関です

当協会は、法令に基づき原子力規制委員会及び関係大臣から指定記録保存機関として指定を受けた国内の唯一の機関です。各法とも関係規則において指定記録保存機関となるための要件や申請方法等が示されています。経緯や時期に違いはありますが、当協会はこれまで、それぞれに基づいて指定申請を行い、被ばく線量記録等の引渡し規定のあるすべての法令に対して、指定記録保存機関としての指定を受けています。

引渡し記録はマイクロフィルム化するとともに、情報を専用システムへ登録するため容易に検索することが可能となります

当協会は受理した記録をマイクロフィルム化するとともに、当該記録に係わる事項（申請日、カナ氏名、生年月日、性別、登録番号等）を専用システムに登録します。マイクロフィルムと紐づけてこれら情報を登録することにより、その後の保存期間中の必要時の記録検索を容易に行うことができるようになります。

記録引渡しを行った事業者からの照会や本人からの開示請求への回答を行います

当協会は受理した記録をマイクロフィルム化し、所定の期間（少なくとも当該記録の本人が95歳に達するまで）保存を継続します。この間、記録引渡しを行った事業者をはじめ、記録の本人を雇用しようとする事業者も記録の照会を行うことができます（後者では本人同意が必要）。また、記録の本人は、記録の開示請求を行うことができます。当協会は、これらの照会や本人からの開示請求があった場

合には適切に回答を行います。

＜参考＞ 指定に係わる主な経緯

当協会が被ばく線量記録の引渡し機関として国から最初の指定を受けたのは、昭和53年であり原子炉等規制法に基づくものでした。その後、昭和59年に放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（現、RI規制法。以下、「障防法」という。）、平成7年には鉱山保安法に基づく指定を受けました。また、労働安全衛生法では、平成13年に電離則が改正され、被ばく線量記録及び電離健康診断記録の保存期間が5年間から30年間に延長されるとともに、厚生労働大臣の指定した機関への記録引渡しに係る規定がなされましたが、引渡し機関の指定は行われませんでした。

その後、国の決定のもと平成21年3月に各省庁により指定基準を明確にした省令が定められました。これを受けて、当協会は平成21年9月に経済産業省及び文部科学省にあらためて指定記録保存機関の指定申請を行い、原子炉等規制法のもとの実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の他8規則及び鉱山保安法施行規則に基づく指定を同月に、また、障防法施行規則及び原子炉等規制法のもとの3規則に基づく指定を平成22年3月に受領しました。電離則については、平成21年11月に厚生労働省へ指定記録保存機関の指定申請を行い、同年12月に指定を受けました。その後、福島第一原子力発電所の事故に伴い制定された除染電離則に係る記録についても、平成24年2月に指定を受けています。

4. 引渡しを受けた記録の保存実績

昭和52年から引渡し記録の保存事業を開始し、長年にわたり多数の記録の保存実績を有しています

当協会が、これまでに事業者から引渡しを受けた放射線業務従事者の被ばく線量等の記録は、約341万件（令和2年度末）に達しています。引渡し事業者別の件数の内訳を表2に、また、これらの年度別の推移を図1に示します。令和

2年度における件数及び累積件数とも、当協会が運営する被ばく線量登録管理制度に参加する事業者による記録引渡しが大半を占めています。当協会では放射線従事者中央登録センターにおいて、「原子力放射線業務従事者被ばく線量登録管理制度」（以下、「原子力登録管理制度」という。）、「RI放射線業務従事者被ばく線量登録管理制度」（以下「RI登録管理制度」という。）及び「除染等業務従事者等被ばく線量登録管理制度」（以下「除染登録管理制度」という。）の3つの制度を各制度への参加事業者と連携しながら運用しており、この中で参加事業者から記録引渡しを受け、保存を行っています。原子力登録管理制度は昭和52年に発足し運用実績も長く、また、国内の原子力事業者の殆ど（令和2年度現在で16事業者33事業所）が参加していることから、記録引渡し累積件数及び年間件数とも最多となっています。平成25年には、除染登録管理制度が発足し、除染電離則や電離則のもとで除染等業務を行う殆どの事業者が参加しており、同制度のもとで引渡される記録が2番目に多くなっています。このように原子力事業や除染事業の分野では、殆どの事業者が登録管理制度に参加し、その運用の一環で制度的に記録引渡しが行われているため実績件数も多くなっています。一方、RI等の使用事業者は全国に多数（7,000事業所以上）ありますが、RI登録管理制度への参加事業者はごく一部（令和2年度現在で25事業者）であり、同制度のもとで引渡される記録の件数も限られているのが現状です。

表2 事業者別の記録引渡し件数

分類 [引渡事業者]	令和2年度 (件)	累積 (件)	対象 記録
原子力登録 管理制度	37,449	2,737,880	線量
除染登録管理 制度	29,456	353,577	線量 健診
RI登録管理 制度	5,199	203,211	線量 健診
RI等使用廃止 に伴う引渡し	4,992	120,720	線量 健診
合計	77,096	3,415,388	—

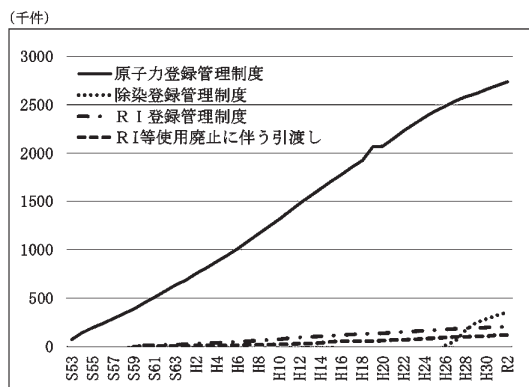


図1 事業者別の記録引渡し件数推移

＜参考＞ 被ばく線量登録管理制度

当協会は「放射線従事者中央登録センター」を昭和52年11月に設立し、それまで各原子力施設で個別に行われていた作業者の被ばく線量などの情報管理を一元的に実施する原子力登録管理制度を発足させました。昭和59年10月にはRI登録管理制度を発足させ、RI規制法の適用を受ける事業所の放射線業務従事者の被ばく線量の一元的管理を推進しています。更に福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質による環境汚染の除染作業に従事する作業者の被ばく線量の一元的管理を行う目的で、平成25年11月に除染登録管理制度を発足させています。

5. RI等の使用廃止に伴う記録引渡し

RI等の使用廃止など廃止措置を行う場合には、これまで保存してきた全ての記録の引渡しが必要です

RI等使用事業者からの記録引渡しのうち、RI登録管理制度参加者以外からの引渡しは、殆どがRI等の使用を取りやめるなど廃止措置に伴うものです。RI規制法に基づく廃止措置を行う場合は、先述のとおり各事業者はこれまで保管してきた放射線業務従事者全員分の被ばく線量記録及び健康診断記録を指定記録保存機関（当協会）へ引渡すことが義務づけられています。昭和59年に指定記録保存機関の指定を受けて以降、廃止措置等を行うRI等

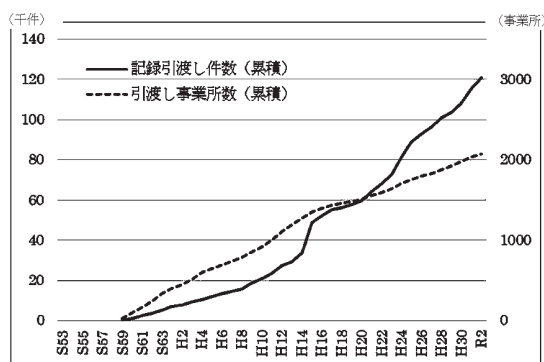


図2 廃止措置等に伴う記録引渡し件数及び事業所数の推移

使用事業者より記録の引渡しを受け、それらの保存を行ってきています。これまでの廃止措置等に伴う引渡し件数の推移（累積）及び当該引渡しを行った事業所数（累積）を図2に示します（引渡し件数は図1データの再掲）。令和2年度までの廃止措置等に伴う記録引渡しの累積件数は約12万件、事業所数の累積は2,070事業所でした。至近5年間における平均としては、記録引渡し件数は年間約4,800件、事業所数は年間約49事業所となっています。

廃止措置に伴う記録引渡しでは、事業所での長期間の保存中に記録の紛失や破損などが多く発生している現状です

多くの事業者の皆様において、廃止措置の段階になってはじめて、これまで保存してきたすべての記録の引渡しが行われる状況にあります。しかし、これら引渡しでは、事業所での長期保存の間に、記録が紛失し引渡せないケースや記録の破損や劣化してしまうケースなどが多く発生しているのが現状です。

（記録の紛失等の要因例）

保管場所の移動（移転、統合、譲渡等）、
担当者の交替（引継ぎ不足）、認識不足

5年以上保存した後の引渡しなど早期の記録引渡しをお勧めします

記録の対象者が従事者でなくなった場合または当該記録を5年以上保存した場合には、指定記録保存機関である当協会へ引渡すこと

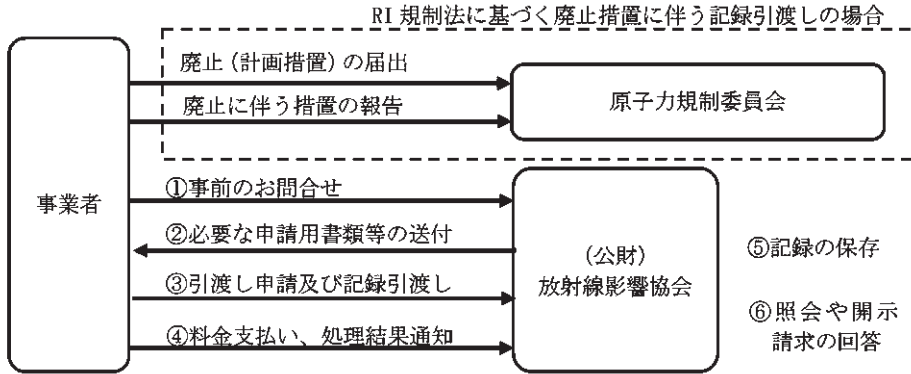


図3 RI規制法に基づく廃止措置に伴う記録引渡し手続きの流れ

により法令上の記録保存の義務が除外されます。先にご紹介のとおり、当協会では引渡しを受けた記録を厳正な管理のもとに保存するとともに、事業者からの照会や本人からの開示請求等に対応しています。廃止措置にかかわらず、5年以上保存した後の引渡しなど、早期に記録の引渡しを行っていただくことにより、記録保存に係るご負担の軽減や紛失防止等にも繋がりますので、どうぞご活用ください。

<記録引渡しの手続きについて>

RI規制法に基づく廃止措置時の記録引渡しの手続きの具体的な流れは①～④の順番のとおりです。図3と併せてご覧ください。

①事前のお問合せ

記録引渡しに際しては、事前に当協会放射線従事者中央登録センターにご連絡をお願いします。

②必要な申請書類等の送付

申請書類やご案内等をお送りします。

③引渡し申請及び記録引渡し

次の書類とともに、被ばく線量記録及び健康診断記録を引渡しいただきます。

- ・放射線管理記録引渡し書：
事業者代表者から当協会宛の文書
- ・記録引渡し登録申請書：
従事者ごとに氏名・生年月日・従事期間・被ばく線量・健康診断記録の有無等の情報を整理した一覧表
- ・理由書（紛失等で引渡し不可の対象者がいる場合）や不明瞭記録説明書（破損に

よるデータ欠落や判読不明箇所がある場合)

④料金支払い・処理結果通知

確認後、記録の受領書と費用の請求書をお送りします。また、記録のマイクロフィルム化及びシステムへの登録後、「記録引渡し処理結果通知書」を事業者にお送りします。

6. まとめ

指定記録保存機関の事業概要などを紹介させていただきました。被ばく線量や健康診断の記録は長期保存が求められる重要な記録でもありますので、本記事が早めの記録引渡しをご検討いただく機会となれば幸いです。

RI等記録引渡し手続き等のお問合せ先

(公財)放射線影響協会
放射線従事者中央登録センター
RI等記録管理課
TEL：03 (5295) 1790
E-mail：ri@rea.or.jp
http://www.rea.or.jp/chutou/hikiwatashi.htm

著者プロフィール

1985年に東京電力(株)入社。同社の各原子力発電所及び本店で放射線管理に係る業務に従事。また、在職中、日本原子力発電(株)及び日本原燃(株)にも出向し各社事業での放射線管理に係る業務に従事。2019年に同社を定年退職し、(公財)放射線影響協会(現職)。

がんが転移する仕組み 後編

今回もがんの転移を考えます。がんが転移する仕組みとして、2つの仮説が考えられています。

1つは、がん細胞に遺伝子変異が加わることで、転移する能力を獲得する可能性です。がん細胞が誕生するためには、数個の遺伝子変異が蓄積される必要があります。遠隔転移についても、転移能をもたらす遺伝子変異があるに違いないという発想です。「遺伝子変異追加説」と呼ぶことにします。しかし、今のところ、そういう遺伝子は見つかっていません。

もう1つは、遠隔転移を司る遺伝子変異はそもそもないという考え方です。原発巣から血中へのがん細胞の流入は最初から起きており、大抵は失敗に終わるけれども、そのうちのほんの一部がたまたま転移するという考え方です。血流に乗ったがん細胞が遠くの臓器に漂着して増えるのは、実はとても難しいことです。実際、血管に入ったほとんどのがん細胞は途中で死ぬことがわかっています。しかし、ずっと続けていればいつか転移が成立してしまうと考える見方です。「数撃ちや当たる説」としておきます。

さて、近藤誠医師の提唱した「がんもどき理論」というのがあります。

- ・がんには、「本物のがん」と「がんもどき」がある
- ・「本物のがん」は、早期発見してもすでに転移していて命を奪うから治療しても無駄
- ・「がんもどき」は、転移する能力を持っていないため、放っておいても大丈夫

だからがんは放置せよという理論です。この理論の前提にあるのは、がんが転移するかどうかは最初から決まっていますそれは絶対に変わらない、という仮定です。

転移の仕組みから考えると、この仮定は成

立しません。

「遺伝子変異追加説」が正しいとします。遺伝子変異というのはランダムに起きる現象です。遺伝子変異は、タバコを吸ったとか、放射線を浴びたとか、何かで遺伝子に傷がつくことが引き金で起きます。例えば放射線は、遺伝子のどこだろうとお構いなしに切断する能力を持っています。転移を起こす遺伝子を、タバコの煙や放射線が認識して避けて通る理由があるのでしょうか？長い時間をかけていくつもの遺伝子変異を積み重ねた結果、がん細胞になったのです。転移を司る遺伝子に変異が起きるのも時間の問題と考えるのが自然です。

「数撃ちや当たる説」が正しいとすれば、数を撃たせてはいけないうのは自明です。これも時間の問題です。つまりどちらの仮説が正しいにせよ、がんの転移は時間の問題であるという結論は同じです。がんもどき理論の仮定は成り立ちません。

「がんもどき」と「本物のがん」という2つの別物があると考えるところに問題があります。全てのがんは最初のうち、まだ転移していないという点でがんもどきの的です。時間がたつにつれ、転移して本物のがんのように見えるものが増えていきます。「がんもどき」と「本物のがん」という2つの別物があるのではなく、同じ1つのがんにまだ転移が起きていない時期と、転移が起きてしまった時期という2つの時期があると考えべきです。

今、この瞬間だけを見れば人間には子供と大人がいる、と言うこともできるでしょう。しかし、よく見れば、同じ人に子供の時も大人の時もあることがわかってきます。「がんもどき」と「本物のがん」もそういう関係です。

人間で考えれば当たり前なのですが、がんは人間に比べて増殖速度の個体差が大きく、また何もせずに観察することは生命の危険を伴うこととなりますから、放置することは倫理的にもできません。

六ヶ所再処理工場の操業に向けた放射線計測方法等の改善について



岡村 泰治*

1. はじめに

青森県上北郡六ヶ所村に建設中の再処理工場は、1993年4月の着工以来、様々な設計変更、トラブルの経験等を通じて、課題をひとつひとつ克服しながら、本格操業に向けて技術を蓄積してきた。2020年7月29日には、竣工の前提条件となる新規基準への適合に向けた事業変更許可（安全審査合格）を得て、現在は、2022年度上期の竣工を目指して、新規基準に伴う安全性向上対策工事等を実施中である。

ここでは、六ヶ所再処理工場の操業に向けた放射線計測方法等の改善として、アクティブ試験の経験を反映した放射性廃棄物の放出モニタリング設備の改善、及び操業時の環境放射線レベルの変動に対応するための環境放

射線モニタリング設備におけるクロスコンタミネーション等への対策について紹介する。

2. 放射性廃棄物の放出モニタリング設備におけるアクティブ試験での経験と改善

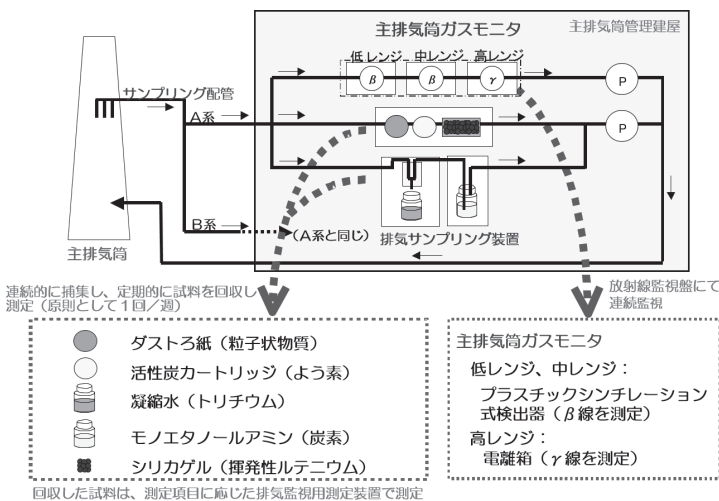
2.1 放射性廃棄物の放出モニタリング設備の概要

2006年3月31日に開始されたアクティブ試験は、使用済燃料を実際に再処理し、工場全体の機能・性能・安全性・操作性の確認、設備の運転特性の把握と調整、不具合部位の発見と修正、トラブルの経験を反映した運転と保守のノウハウの蓄積等を行うことを目的として実施されてきた。これまでに425t（BWR燃料219t、PWR燃料206t、重量は照射前の

金属ウランの重量）の使用済燃料をせん断・溶解し、ウラン製品粉末約366t、MOX製品粉末約6.7tHM（ton Heavy Metal：MOX中のプルトニウムとウランの金属成分の重量を表す値）、ガラス固化体346本を製造した。現在、アクティブ試験は約96%を終了している。

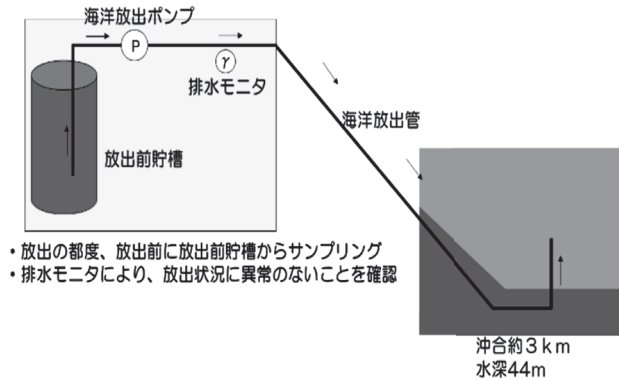
六ヶ所再処理工場の放射性気体・液体廃棄物の放出モニタリング設備の構成を第1図及び第2図に示す。

放射性気体廃棄物の放出管理に用いる主排気筒ガスモニタは、



第1図 放射性気体廃棄物の放出モニタリング設備

* Yasuharu OKAMURA NPO放射線安全フォーラム 理事／日本原燃株式会社 安全・品質本部 副本部長



第2図 放射性液体廃棄物の放出モニタリング設備

高レンジ、中レンジ、低レンジの3つの測定レンジの検出器で構成されている。再処理工場では、使用済燃料のせん断・溶解を行う際に、被覆管内及び燃料中に閉じ込められたクリプトン-85が全量大気中に放出されるので、せん断・溶解を行っていない期間と、せん断・溶解中では、クリプトン-85の放出量（濃度）が著しく変化する。この濃度の変動をカバーするため、主にせん断・溶解を除く平常運転時の放出量の変動を確認するための低レンジの検出器、主にせん断溶解時の放出量を評価するための中レンジ検出器、さらに、臨界事故等の異常な放出の測定用の高レンジ検出器を備えている。低レンジ検出器及び中レンジ検出器にはプラスチックシンチレーション検出器を採用してβ線を測定している。これは、クリプトン-85はβ壊変し0.514MeVのγ線を放出するが、γ線の放出割合が0.43%と非常に小さいため、β線を測定することにより効率よく検出するためのものである。また、高レンジ検出器には電離箱を採用してγ線を測定している。これは、臨界事故に伴い放出が想定されている様々な放射性希ガスの測定に適用できるようにしたためである。

2.2 主排気筒ガスモニタのテーリング対策

アクティブ試験の開始後、クリプトン-85の測定において、せん断・溶解終了後、低・中レンジモニタの指示値がバックグラウンドレベルまでに戻らないという事象（テーリング）が発生した。この原因は、プラスチックシン

チレーション検出器の保護膜に生じた貫通孔又はクラックをクリプトン-85が通り抜けて検出器に付着したことによるものであった。このとき保護膜として使用していたのは、Al蒸着PET（ポリエチレンテレフタレート）膜であった。

テーリングへの対策として、クリプトン-85を透過させない保護膜を選定するための特性試験を行った。候補としたのは、既製品として入手が可能な、①Al蒸着EVOH（エチレンビニルアルコール樹脂）膜、②SiO₂蒸着PET膜及び③SiO₂+Al₂O₃蒸着PET膜の3種である。

保護膜選定のために、次の2種類の特性試験を行った。

特性試験(1)せん断・溶解時の特性試験

使用済燃料のせん断・溶解によるクリプトン-85の放出終了後、検出器容器内の排気試料の追い出し（パージ）を行い、パージ後のモニタ指示値におけるバックグラウンド値への低下状況により、テーリングの発生の有無を確認した。

特性試験(2)非放射性クリプトンを用いた透過試験

未使用状態の膜及び使用後の膜を用いて、非放射性クリプトンを含む空気と通常の空気の間膜を置き、通常の空気側への単位面積（m²）当たり・単位時間（日）当たりの非放射性クリプトンの透過量を測定した。得られた透過量の測定値については、モニタにおいて想定される計数に換算し、その透過量が許容できるか否かを判定した。

それぞれの特性試験の結果を第1表及び第2表に示す。

第1表に示すとおり、特性試験(1)の結果、せん断・溶解におけるクリプトン-85の放出測定時のテーリングは、①Al蒸着EVOH膜及び②SiO₂蒸着PET膜では発生したが、③SiO₂+Al₂O₃蒸着PET膜では発生しなかった。

次に、第2表のとおり、特性試験(2)の結果、従来のAl蒸着PET膜では許容できないレベルの透過量があったが、選定対象とした3種の膜

第1表 特性試験(1)せん断・溶解時の特性試験結果

膜の種類	せん断・溶解日	バックグラウンド値	せん断・溶解後の指示値	テーリング発生の有無
		[cpm]	[cpm]	
①Al蒸着EVOH膜	2007/10/30	218±23	270	発生
①Al蒸着EVOH膜	2007/12/26	199±30	200	発生せず
②SiO ₂ 蒸着PET膜	2007/10/30	223±28	303	発生
③SiO ₂ +Al ₂ O ₃ 蒸着PET膜	2007/10/30	202±15	203	発生せず
③SiO ₂ +Al ₂ O ₃ 蒸着PET膜	2007/12/26	201±38	203	発生せず
③SiO ₂ +Al ₂ O ₃ 蒸着PET膜	2008/4/9	200±39	210	発生せず

第2表 特性試験(2)非放射性クリプトンを用いた透過試験結果

膜の種類	未使用膜		使用済膜	
	透過量	想定される計数	透過率	想定される計数
	[cm ³ /m ² ・day・atm]	[min ⁻¹]	[cm ³ /m ² ・day・atm]	[min ⁻¹]
Al蒸着PET膜	6.9	80.9	160	1875
①Al蒸着EVOH膜	0.03	0.4	0.21	2.5
②SiO ₂ 蒸着PET膜	0.67	7.9	0.19	2.2
③SiO ₂ +Al ₂ O ₃ 蒸着PET膜	0.14	1.6	0.3	3.5

では、いずれも許容できる透過量であった。ただし、②SiO₂蒸着PET膜では、未使用膜のほうが使用済膜より透過量が大きく、保護膜としては透過の防止効果が不安定であることが示唆された。

これらの結果に基づき、主排気筒ガスモニタの検出器の保護膜として③SiO₂+Al₂O₃蒸着PET膜を採用することを決定した。

特性試験に基づき採用した保護膜を使用した結果、テーリングにより放出放射エネルギー評価に与える影響は1%以下となった。クリプトン-85の放出測定においては、「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」における放射性希ガスに係る測定下限濃度(2×10⁻²Bq/cm³)を満足することを設計目標としている。保護膜の改善により、テーリングの影響について、測定下限濃度を下回るレベルに抑えられることを確認できた。

2.3 冷却空気出口シャフトモニタのKr影響対策

六ヶ所再処理事業所では、再処理工場以外に、フランス及びイギリスへの再処理委託により返還されたガラス固化体を、地層処分を行うまでの30~50年、一時的に貯蔵・冷却するための高レベル放射性廃棄物貯蔵管理セン

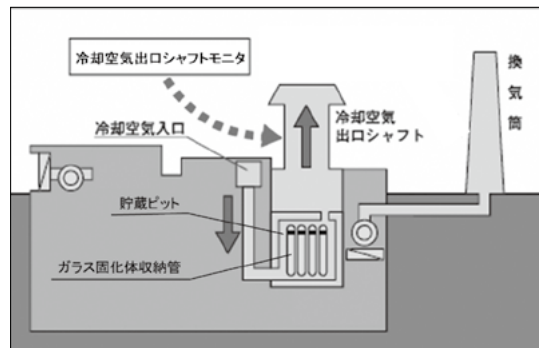
ターが操業されている。

海外から返還されたガラス固化体は、貯蔵建屋内の貯蔵ピット内にある収納管に9本ずつ入れられ貯蔵されている。ガラス固化体は、その中に含まれる放射性核種からの崩壊熱により発熱している。このため、熱によって発生する自然通風力を利用した自然空冷により冷却している。冷却に使われた空気は、冷却空気出口シャフトから大気中に放出される。

ガラス固化体にはアメリカシウム、セシウム等のアクチノイド核種も含まれているため、中性子も放出される。空気中には微量のアルゴンが含まれるため、アルゴン-40が中性子で放射化されることにより、放射性のアルゴン-41が生成される可能性

がある。このため、アルゴン-41を測定するための装置として、冷却空気出口シャフトモニタ(以下、「シャフトモニタ」という。)を設置し、リアルタイムで連続測定している(第3図参照)。検出器には、アルゴン-41からのβ線を測定するためにプラスチック検出器が用いられている。

アクティブ試験において、再処理工場でせん断・溶解を行っている際にシャフトモニタの指示値が上昇し、警報が発報する事象が発生した。この原因は、主排気筒から放出されたクリプトン-85が、大気中を拡散しながらガラス固化体貯蔵施設の冷却空気に混入し

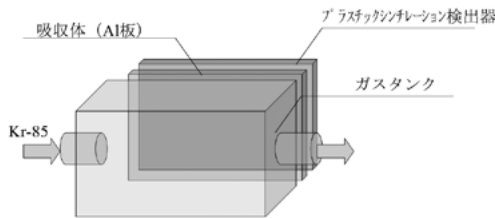


第3図 冷却空気出口シャフトモニタの設置状況

たことによるものであった。

対策として、クリプトン-85のβ線（最大エネルギー0.678MeV）とアルゴン-41のβ線（最大エネルギー1,108MeV）のエネルギーの違いに着目し、採取した冷却空気を通すためのガスタンクとプラスチックシンチレーション検出器の間に、クリプトン-85からのβ線のみを遮へいするための吸収体を挿入することとした。吸収体としては、0.5mmのアルミニウムを採用した。第4図に概要を示す。

吸収体の設置により、クリプトン-85のβ線を遮へいし、指示上昇を低減することができた。一方、アルゴン-41から放出されるβ線も吸収体に吸収される成分があるために、検出器の感度も低下したが、これに対しては、バックグラウンドの測定時間を長くすることに



第4図 シャフトモニタへの吸収体の設置の概要

第3表 アクティブ試験以前の測定実績(最大値)と本格操業時の予測計算値との比較

測定対象	測定値(最大値)	予測計算値	過去の測定値
線量率 (nGy/h)	5 (*1)	200	96 (最大)
大気中Kr-85 (kBq/m ³)	11	150	ND (<2)
大気中トリチウム (Bq/m ³)	ND (<0.04) (参考値0.015) (*2)	1 (*3)	ND (<0.04)
雨水中トリチウム (Bq/L)	12	-	
湖沼水中トリチウム (Bq/L)	4	-	
海水中トリチウム (Bq/L)	4	300 (*4)	ND (<2)
魚類組織自由水中トリチウム (Bq/kg・生)	3	300	ND (<2)
精米中C-14比放射能 (Bq/gC)	0.26 (BGを含む)	0.44 (BG (0.23)を含む)	
葉菜中C-14比放射能 (Bq/gC)	0.27 (BGを含む)	0.44 (BG (0.23)を含む)	

NDは定量下限値未満であることを表し、定量下限値を () に示す。

(*1) Kr-85寄与分

(*2) 定量下限値未満であるが有意な測定値

(*3) 年間平均値

(*4) むつ小川原港港湾区域内年平均値

過去の測定値の期間

・積算線量：1999年4月～2004年3月

・環境試料：1989年4月～2004年3月（ただし、精米のC-14は1995年4月～、魚類のトリチウムは1998年4月～）

より、測定器に要求される性能を満足することを確認した。これにより、冷却空気にクリプトン-85の流入によるシャフトモニタへの影響を除去する見通しを得ることができた。

3. 環境モニタリングにおけるクロスコンタミネーション等への対策

3.1 高濃度トリチウム環境試料分析によるクロスコンタミネーション対策

六ヶ所再処理工場の設計においては、気体及び液体放射性廃棄物の放出による一般公衆の線量が合理的に達成できる限り低くなるよう、放出放射性物質の低減を行うことを基本方針とし、再処理工場の操業に伴い放出される気体・液体廃棄物中の放射性物質により施設周辺住民等が受ける線量評価値は約0.022mSv/年と、線量限度の1mSv/年を十分下回ると安全審査で評価されている。一方、線量としては十分に低いものの、放出される放射性物質に起因する放射線（能）は、環境放射線モニタリングにおいて施設寄与として検出され得るレベルのものとなる。また、1年間の積算値

又は平均値としては有意な上昇が認められなくとも、短期間では測定値に比較的大きな変動が生じることも予想される。FBNewsNo.509の記事「六ヶ所再処理工場の環境安全について」で紹介した、再処理工場が最大処理能力である800t/年で本格操業した場合の予測計算値を、アクティブ開始以前の測定実績と合わせて第3表に再掲する。

第3表に示した予測計算値のうち、大気中トリチウムは年間平均値、海水中トリチウムは、むつ小川原港港湾区域内年平均値である。

一方、放射性気体廃棄物は、主にせん断・溶解時に放出され、放射性液体廃棄物の放出はバッチ放出であることから、環境中の放射性物質濃度は、放出が行われてい

る時とそれ以外で時間的に変動する。また、環境における拡散・希釈に応じて空間的にも変動する。その結果、例えば、海水試料中のトリチウム濃度は、海水中トリチウム濃度の時間的・空間的な変動に従い、試料採取のタイミングと場所によって、予測計算値より高い濃度をとり得る。高いトリチウム濃度となる可能性のある主な環境試料は、次のとおりである。

- ・ 大気中水分（水蒸気）、雨水
- ・ 海水、湖沼水
- ・ 海産物

なお、飲料水については、周辺地域においては地下水を利用していることから放射性廃棄物の放出に起因するトリチウム濃度の上昇は考え難い。

環境水準に比べてトリチウム濃度の高い環境試料の分析を行う場合、分析過程でトリチウムが蒸発・拡散し、トリチウム濃度の低い環境試料へのクロスコンタミネーションを起こすことが懸念される。この対策として、既存の環境モニタリング建屋（本館）に隣接して別棟（別館）を建設した際、トリチウム濃度の上昇が想定される環境試料は別館の分析室、トリチウム濃度の上昇が想定されない環境試料は本館の分析室と、別々の建屋で分析するようにした。別館は、2016年6月に建設を完了し、現在、運用中である。

また、平常運転時に再処理工場から放出される放射性気体廃棄物中に含まれるトリチウムについては、給気設備の高性能冷凍機により除湿と水道水による加湿を繰り返すことにより、外気から分析室内への流入を低減することとした。

3.2 東日本大震災の経験を踏まえた対策

東日本大震災では、周辺の分析機関において、東京電力福島第一原子力発電所の事故の影響として汚染された外気が建屋内に流入したことにより放射能測定機器等が汚染され、環境放射能測定に必要な測定精度の担保が困難となる事象が発生した。この事象を受け、事故により環境中に放射性物質が放出された

場合を想定して、環境管理建屋に、放射能測定器等の汚染を防止する対策を行うこととした。具体的には、測定室及び分析室の給気系統の空調機にHEPAフィルタを追加設置することにより給気中の粒子状放射性物質を除去することとした。

さらに、分析室内への外気の流入防止の対策として、分析室の手前に微陽圧の前室を設けてエアタイト化を図ることとした。なお、分析室全体を陽圧にすることにより外気の流入を防ぐという対策も検討したが、分析室内は薬品等の取扱いのため負圧を維持する必要があるために採用を見送った。また、窓等の外部アルミサッシについて、気密性を確保するため建具周りのシーリングを実施した。

これらの対策により、六ヶ所再処理工場の操業以降も、環境モニタリングに求められる分析精度を維持していくことができるものと考ええる。

4. まとめ

六ヶ所再処理工場では、周辺公衆への受ける線量は十分に低いと評価されているものの、放射性気体・液体廃棄物の放出管理においては有意な放出量が測定され、環境モニタリングにおいても検出できるレベルでの施設寄与がありうる。これまで、アクティブ試験等を通じて、放射線管理及び環境モニタリングの経験を蓄積し、改善を進めてきた。今後も竣工と操業開始に向け、放射線安全及び環境安全の放射線管理の向上に取り組んでいく。

著者プロフィール

1981年、東京大学工学部原子力工学科を卒業、日本原燃サービス株式会社(当時)に入社。六ヶ所再処理施設の安全審査に従事し、主に放射性廃棄物の放出による環境影響評価を担当。1998年から六ヶ所再処理事業所における現場の放射線管理業務に従事。その後、環境管理センター長等を経て、現在、安全・品質本部において放射線安全・環境管理センターの担当として勤務。

放射線道場の喫茶室
第13回

核災害時の 環境“核能汚染”動態

鴻 知己



重核がfission (核分裂) やspallation (核破碎) の核反応で生成する放射性核種は多種多彩であり、それらの放射能の多寡も広範囲に及ぶ。“でき易いものは減り易い”の経験則を裏書きするかのように見える。

戦争を含む人災であれ、現状では人智の及ばぬ天災であれ、核災害の生起に伴う環境汚染では、ヒトの個人寿命 (の実効値) との比較から、物理的半減期30年のCs-137が、現状では社会にとっての最大関心対象となっている。

放射能は放射性核種の“自発的核壊変の生起率”として規定された概念であり、その適用は、関心対象核種が閉鎖物質系に在る場合に限定される。核変換に伴って放出される中性子 (陽子、パイ中間子などのハドロン) や電子 (などのレプトン) や光子 (などの膠粒子) によって引き起こされる2次以降の反応を除外するとすれば、自発的核変換は互いに独立な確率事象であり、その確率は恒常的に一定である。

環境は、一般的には非閉鎖形であり、外部との間で、関連の物質や放射線の授受が常態的に行われる。このような開放系においては、内部の湧き出しや外部からの注入を一先ず考慮の対象から除外するとしても、着目核種の経時減弱は半減期の規定で想定した物理的減弱を上回ることに成り、その率が、“一定の変動幅内で時間的に一定”と見做せるときには物理的半減期を“実効半減期”に置き換えることで、放射性物質の量的managementの数理モデルをつくってきた。

実際、広島・長崎の原爆被災から76年経過し、当時生成されたCs-137は“自発的核変換”により1/6まで減少している勘定となる中、反応生成物の現存量 (濃度/密度) は現在の測定技術の水準に照らして、測定による定量評価に困難は見いだせないものと考えるが、実存のレベルは恐らく大変に低く、測定は容易でないものと推測する。

このような背景から、2011年3月に起きたFukushima原発事故による放射性環境汚染の経時推移に関心を寄せ続けている。

戦争・人災・天災の別を問わず、核災害においては、核反応生成物の放射能総量の経時減弱は、頭初冪関数的に減弱し、それから漸次指数関数的に移行していくように見受けられる。これにより、核災害環境汚染の動態記述モデルとしては、冪関数と指数関数の積の対数表示を実体とする混成関数モデルが魅力的である。このモデルは、熊澤蕃、豊田亘博、加藤和明のコラボ討議で産み出されたものである¹⁾。

因みに、燃焼度ゼロのウラン核燃料 (Virgin Uranium) の核分裂生成物が総体として持つ放射能は、

$$Q(t) \sim t^{**} \quad (1.2)$$

として知られWay-Wignerの式と呼ばれる。

参考文献

- 1) 熊澤蕃・豊田亘博・加藤和明：“1FNPP事故後の環境線量率長期予測 (Kinaseら2017) への補足的検討” 1C2-1, 第2回JRSM&JHPS合同大会 (仙台, 2019.12.5)

サービス部門からのお願い

ガラスバッジやガラスリングを洗濯しないようご注意ください

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。「ガラスバッジを洗濯してしまった」とご連絡をいただくことがございます。白衣や作業着などを洗濯される時は、今一度ガラスバッジがついていないかご確認をお願いいたします。

ガラスバッジやガラスリングを洗濯してしまった場合は、必ず**自然乾燥してください**。

急激な加熱乾燥は、避けてくださいますようお願いいたします。誤ってドライヤーの熱風を当てたり、乾燥機にかけてしまったときは、最寄りの弊社事務所にご相談ください。状況によっては、ガラスバッジやガラスリングを交換する必要があります。

洗濯してしまったガラスバッジやガラスリングを測定依頼される時は、測定依頼票の通信欄に「お客様コード」「整理番号」「お名前」と洗濯した旨を明記してください。

お客様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。



【お詫びと訂正】

FBNewsNo.537(2021年9月号)におきまして一部誤りがございましたので下記の通りお詫びして訂正いたします。
「放射線道場の喫茶室 第11回 LNT」

16ページ 左段上から16行目 誤： $R = 1 - \exp\{D/D_0\}$ → 正： $R = 1 - \exp\{-D/D_0\}$

編集後記

- 本号では、伊藤浩（福島医大）先生に「 α 放出体利用治療」、鈴木晃（放射線影響協会）先生に「職業被曝の“法定線量測定”記録保管の“法定助成制度”」の執筆をお願いし、定期寄稿いただいている（NPO）RSF から岡村泰治理事の「(JFNL) 再処理工場の始業準備状況」解説を提供いただいた。中川恵一先生のコラムは「がんが転移する仕組み」の後編である。
- この2年、コロナ禍による行動規制があり、本誌も“じっくり読まれた量”が、従前に比べて、間違いなく増えているだろうと、希望的に推測している。何を隠そう、筆者自身がそうであるからである。当否の論評は控えるが、“職業被曝”に係る“法定測定”の記録保管に係る現行制度では、記録媒体にマイクロフィルムが使われ、保管期間を当該者の年齢95歳まで

- としていることを初めて知った。
- 人生100年といわれる今日、専門家が「予測頻度100年を超える期間に1度」という大型の災害に、一生の内に数回遭遇する。その様相は多彩であり、戦争・人災・天災に分類される。今回のコロナ禍（COVID-19）は100年に1度のパンデミックであった。我々は、災害発生の潜在リスクと、それが顕在化した後に生まれる非一過性の“副作用リスク”と如何に共生するかを課題として突きつけられている。専門家は首都圏巨大直下地震や富士山大噴火など数百年に一度の大災害地震発生の確率は高まっていると警告している。本年も読者諸兄諸姉とご一緒にリスクとの共生について考えていきたい。（加藤和明）

FBNews No.541

発行日/2022年1月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 藤森昭彦

篠崎和佳子 高橋英典 廣田盛一 前原風太 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

— 禁無断転載 — 定価400円（本体364円）