

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
「新規及び既存の放射線診療に対応する放射線防護の基準策定のための研究」
（19IA1004）（研究代表者：細野 眞）

令和3年度 分担研究報告書

「医療放射線防護の国内実態に関する研究（排水設備の放射線安全評価に関する検討）」

研究分担者 山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
研究協力者 成田 浩人 東京慈恵会医科大学附属病院

研究要旨

【目的】

医療放射線防護の国内における実態を踏まえ、医療現場において法令の適用が課題となっている核医学放射線診療での排水管理について、最新の国際基準にも対応した合理的な放射線防護のあり方を提案し、放射線診療の進歩や医療環境の変化に対応した規制整備に資する。

【方法】

文献調査、医療現場への視察やインタビュー調査により実態を把握し、国際的な規制動向も踏まえて、合理的な放射線防護のあり方の提案を試みた。

【結果及び考察】

国際機関では加盟国間の合意に基づき基本的な考え方を提示し、諸外国では実情に応じた規制整備を行っていた。日本でも医療機関の実情に応じた放射線管理ができるように評価モデルを提示した。今後、日本での規制整備は国際機関の文書体系に沿ったものとするとともに特に新しい分野では放射線管理面でも貢献する必要がある。

【結論】

日本でも各医療機関の実情に応じた合理的な放射線管理ができるように評価モデルを提示した

目次

A. 研究目的	3
B. 研究方法	3
1. LU-177 を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価	3
2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い	3
3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法	4
4. 排水管周囲の放射線の線量率の評価	4

C. 研究結果	4
1. LU-177 を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価	4
2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い	4
3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法	5
4. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計	6
D. 考察	6
1. LU-177 を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価	6
2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い	6
3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法	9
4. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計	9
E. 結論	10
1. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計	10
2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い	10
3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法	10
4. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計	10
F. 健康危険情報	11
G. 研究発表	11
1. 論文発表	11
2. 学会発表	11

A. 研究目的

ソマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍の治療薬としてLu-177を用いたルテチウムオキシドトレオチドの製造販売承認が2021年6月に日本でも得られた。本治療の日本での導入が関係者から待ち望まれているが、その普及のためには治療病室の確保が必要となる。このため、2021年6月に開催された第1回医療放射線の適正管理に関する検討会で一般の病室を一時的に管理区域とし、ポータブルトイレを設け特別措置病室も活用することとされた。この際に全国保健所長会と日本診療放射線技師会から、それぞれ放射線安全確保のための方策のあり方を提示すべきとの意見があった。既に日本核医学会では厚労科研の成果物として放射線安全確保に関するマニュアルを提示し、特別措置病室に関して蓄尿容器等も適切に取り扱うことも求めている。

蓄尿容器を適切に取り扱うための要件など特別措置病室の放射線安全確保策を明らかにすることを目的とした。

また、標的アイソトープ治療研究を含む核医学治療では比較的大きな数量の放射性核種が用いられることから、治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱いも課題となる。そこで、有効な治療を円滑に現場で導入するために放射性核種を含む廃棄物の扱いも課題を整理し、解決策を検討した。

さらに、新しい技術の発展に伴い核医学治療の拡大が期待されているが、放射性廃液の処理が放射線管理上の課題となっている。一方、海外では施設の特性に応じた管理が行われており、各国で工夫した規制対

応がなされている。そこで、それぞれの核医学治療施設の特性に応じて公共下水への放流時の放射能濃度を事前に放射線安全評価ができる計算法を提示することも目的とした。また、I-131を投与された患者が入院する放射線治療病室に設置されたトイレの排水管や排水設備内をI-131が通過および蓄積した線源からの線量の推計も試みた。

B. 研究方法

1. Lu-177を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価

蓄尿容器の周囲のしゃへいの条件を変化させ、蓄尿容器周辺の線量をPHITS 3.240を用いて計算した。また床の汚染を想定して手の皮膚の基底細胞の吸収線量を計算した。

2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い

核医学治療での放射線管理に関する国内外の資料を収集し、課題を抽出し、抽出された課題を解決するための方策を検討した。

核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱いに関してPubMedを用いて文献検索を試みた。またIRPA15での関連演題を確認するとともに米国での規制の対

応や国際原子力機関（IAEA）での検討状況に関して公開情報を調査した。

3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法

Lu-177とI-131をそれぞれ用いた核医学治療を対象にして、放射性排水設備を設けた場合と医療機関全体の公共下水への放流量を用いた場合のそれぞれの評価法を比較した。放射性排水設備を設けた場合は除害施設での放射性ヨウ素の捕捉を考慮した。また、Lu-177ではLu-177mの混入も考慮した。

4. 排水管周囲の放射線の線量率の評価

PHITSを用いて線源としてI-131を考慮し、排水設備周辺の線量を計算した。配管の長さ5m、配管からの距離1m、流速50cm/min、排水管への付着は千分の1、投与量は1 GBq、年間の治療件数は20件として計算を試みた。また汚泥処理槽周辺の線量率の推定も試みた。

さらに、以上の検討結果の現場での適用可能性を確認するために現場の方々を対象にしたインタビュー調査を国立保健医療科学院の研究倫理審査委員会で承認が得られた内容で行った（IPH-IBRA #12246）。

C. 研究結果

1. Lu-177 を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価

厚さ 3 cm の鉄しゃへい体を用いると 3 GBq の Lu-177 を含む蓄尿容器から 3 m の距離で、床から 50-100 cm の高さでは 0.2 μ Sv/h（3 日間で 12 μ Sv）となり、厚さ 15 cm のコンクリートで遮られた隣の室の壁から 1m の距離で 0.1 μ Sv/h（3 日間で 6 μ Sv）となった（図 1）。また面積が 10 cm^2 で厚み 1 mm の Lu-177 を 10 MBq 含む円盤状の水線源が床にあり、床から高さ 10cm に手があるとすると手の皮膚の基底細胞の吸収線量率は 0.1 mGy/min となった。

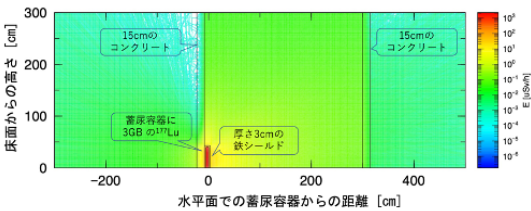


図 1 蓄尿容器周辺

2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い

扱われていた課題を表 1 に示す。

表 1 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱いに関する課題

- ・ 製剤中の副次生成物の管理
- ・ 外来患者での廃棄物収集のリスク評価
- ・ 清掃工場からの環境放出
- ・ 下水への放出の制御

- 下水処理場でのリスク評価
- その他の課題
 - 御遺体
 - （異所性集積・血管外漏えい）

ることにより、放射線管理に関する適切な取り扱いを行うこと。

この通知に基づき、排水の濃度評価に関して現行は以下のような整理されている。

- 『診療用放射性同位元素使用室のある放射線管理区域内で発生した投与患者の尿等の液体状の感染性の医療用放射性汚染物を、放射線管理区域内の排水設備に廃棄する際は、排水設備への混入率を考慮し、放射線管理区域内で適切に管理する必要がある。』¹

①下水への放出の制御

患者の排泄物等の法令適用は、「病院又は診療所における診療用 放射線の取扱いについて」（平成 31 年 3 月 15 日付け医政発 0315 第 4 号。以下、単に「通知」）で以下のようにされている（表 2）。

表 2 患者の排泄物等の法令適用

患者の排泄物及び汚染物を洗浄した水等については、その放射性同位元素の濃度が別表第 3 又は別表第 4 に定める濃度を超える場合は本条の適用を受けるものであり、排水設備により廃棄することとされたい。

なお、診療用放射性同位元素を投与された患者に伴う固体状の汚染物については、適切な放射線測定器を用いて測定す

これに従うと以下のようなになるが、安全確保は従来から測定でもなされてきたところでもある。

- 排水への混入は 0.01 とし、患者の排泄物が入る場合には、それも考慮²
- 投与 48 時間後までに投与した放射能の 73.8%が尿中に排泄³
 - 従って、投与量の 0.01 になるには 43 日必要

3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法

¹ <http://jsnm.org/archives/782/>

² http://jsnm.org/wp-content/themes/theme_jsnm/doc/Lu_houkokusho_manual_20160520.pdf

³

https://www.info.pmda.go.jp/go/pack/42914D8A1026_1_01/42914D8A1026_1_01?view=body&lang=ja

濃度の評価において分母を RI 施設からの排水のみとした場合と医療機関全体とした場合のそれぞれで評価した例をそれぞれ、表 5 表 6 に示す。

4. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計

得られた結果は以下の通りである。

- 排水管を流れる RI に由来した線量は流速 50cm/min の場合、0.1mSv/y。流速 1 cm/min の場合は 5.6 mSv/y であった。
- 排水管に付着した RI からの線量 0.2mSv/y
- 汚泥処理槽での線量率は貯留量 1 GBq あたり、6.4 μ Sv/h で 2mm の鉄板で 5.3 μ Sv/h と低下した (図 2)。
- タンクの容量を千分の一とすると 25 μ Sv/h に増加した。

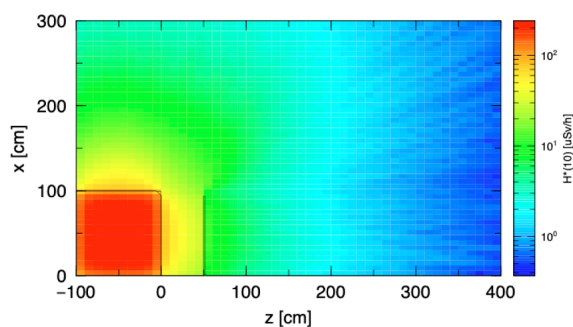


図 2 I-131 を 1 GBq 含む汚泥処理槽周囲の線量率

ここでの計算は投与量の 8 割が排水系に移行と仮定している。

D. 考察

1. Lu-177 を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価

適切にしゃへいを用いることで周辺の線量は十分に小さくできる。必要なしゃへいは、3 月間などの評価期間内での治療回数や周辺環境にも依存するがシミュレーション計算で検証できる。一方、線源となる排泄物を含む容器を運搬することが想定されており、重量物取り扱いの配慮も必要となり各施設で最適な放射線防護となるような作業環境管理が求められる。また、Lu-177 を含む排泄物等が床に漏れた場合の対応ではβ線への考慮も求められる。

2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い

① 製剤中の副次生成物の管理

米国では Lu-177m を検出した場合には以下のように減衰保管の対象外となっており⁴、医療機関での対応に影響を与えていた。

Lu-177m cannot be decayed in storage under the performance-based rule in 10 CFR 35.92, “Decay-in-storage,” because its half-life is greater than 120 days.

Therefore, licensees must dispose of detectable Lu-177m waste as low-level radioactive waste in accordance with 10 CFR Part 20 Subpart K, “Waste Disposal.” [June 1, 2018]

製剤中の目的外核種は半減期が長かったり放出する放射線のエネルギーが高かったりすると放射線管理にも影響を与えることになるので遮へい計算でも考慮されている。また、医療安全の観点から対応が求められることがある(川辺睦, 2015)。この他に、診療上の有益な情報源として活用されていたことが判明した例がある(Narita et al., 2012)。製剤供給側では『原料ラジオアイソトープの品質基準を工夫すること、廃棄の合理化に資する』とされており(日本放射性医薬品協会, 2005)、連携して課題に取り組む必要がある。

なお、以前に病院の廃棄物の中から放射線が検出され問題となった事例を紹介する(菊地透, 2000)。

『この事例は、1992年7月に金沢大学医学部附属病院で、市販の放射線測定器を用

いて同病院の一般廃棄物置き場を継続的に監視していた地元市民の測定に端を発していた。NHK金沢支局では、この問題を「病院のズサンな放射線管理」として放送すべく独自の調査を進め、栃木県の小生にまで取材が及んだ。その際、これが一病院の放射線管理に止まる問題ではなく、核医学診療を受ける患者の取り扱い全体に関わる問題に発展し得ることを指摘して、報道のスタンスを検討するよう要請した結果、この問題は一部の地方に限定して報道されることになった。しかし、こうした経緯により、この問題の存在は報道関係者の間で周知の事実となっている。』

②下水への放出の制御

放射線診療が集中化すると課題が顕在化する可能性がある。例えば、地域での集積では原子力事故後に下水処理場への集積が顕在化したことがある。

下水処理場への集積は医療利用に伴う計画被ばくの扱いになるので、医療側は排出者責任として安全確保や説明責任を果たす必要があると考えられる。この課題でも医療機関間の連携が必要となり得るので、必要に応じて行政が介入することが求められるかもしれない。

2004 年の英国での対応として、NRPB - W63 Radiological Assessments for Small Users⁵の内容を表 3 及び表 4 に示す。

表 3 NRPB - W63 での下水処理場職員へ線量評価

Table C7 - Doses to sewer maintenance workers

Radionuclide	Ingestion	Inhalation	External gamma	Totals
	Sv/y	Sv/y	Sv/y	Sv/y
Tritium (HTO)	9.0E-12	2.2E-13		9.2E-12
Tritium (OBT)	2.1E-11	4.9E-13		2.1E-11
Carbon-14	2.9E-11	2.4E-12		3.1E-11
Phosphorus-32	1.2E-10	9.2E-13		1.2E-10
Phosphorus-33	1.2E-11	1.1E-11		1.2E-11
Sulphur-35	3.9E-11	1.7E-12		4.0E-11
Chromium-51	1.9E-12	4.4E-14	7.3E-08	7.3E-08
Cobalt-57	1.1E-12	6.6E-14	2.9E-08	2.9E-08
Gallium-67	9.5E-12	2.9E-13	3.5E-07	3.5E-07
Strontium-89	1.3E-10	7.3E-12		1.4E-10
Technetium-99m	5.5E-11	1.1E-12	1.4E-05	1.4E-05
Indium-111	7.3E-12	1.4E-13	4.5E-07	4.5E-07
Iodine-125	7.5E-10	6.1E-12	9.2E-08	9.3E-08
Iodine-131	1.1E-07	8.9E-10	8.4E-05	8.4E-05
Thallium-201	4.8E-12	5.3E-14	2.0E-07	2.0E-07
Totals	1.1E-07	9.1E-10	9.9E-05	9.9E-05

表 4 NRPB - W63 の内容 (一部)

1	Introduction	1
2	General aspects	2
2.1	Radiological quantities	2
2.2	Critical groups and habit data	3
2.3	Doses to different age groups	3
2.4	Outline methodology	4
2.5	Significance of assessed doses	5
3	Radionuclide data	7
3.1	Dose coefficients	8
3.2	Dose rates for external radiation sources	9
3.3	Data for assessment of aquatic pathways	10
3.4	Data for assessment of terrestrial food pathways	11
4	Assessment of liquid discharges	12
4.1	Dispersion calculations	14
4.2	Workers at a sewage works	16
4.3	Sewer maintenance workers	17
4.4	Exposure of the public	19
4.5	Discharges into estuaries and the sea	23

③放射性物質を投与したり埋め込まれたりした患者が死亡した場合の遺体の扱い

核医学治療分野では従来から課題として認識され(Tandon, 2007)、IAEAのSafety

Reports Series No.63. Release of Patients After Radionuclide Therapyでは、「4.4. DEATH OF THE PATIENT FOLLOWING RELEASE」でこの課題を扱っている。また、放射性医薬品の審査の過程でも、必要な想定として議論されており⁶、行政機関として対応が取られることもあった(STATES & US Nuclear Regulatory Commission, 1994) (Aerts, 2001) (DePaolo et al., 2007) (Claire Greaves et al., 2006)。

火葬場の職員の内部被ばくをバイオアッセイした結果、Lu-177は検出されなかったが、Tc-99mが検出されたとの報告があった(Yu et al., 2019)。

また、以下の様な指摘もなされており⁷、実際に火葬場が放射性物質で汚染した事例があり(U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2006)、日本でも事例が発生していると考えられるので(全国保健所長会, 2007)、現実 に即した評価を医療機関側では行う必要がある。

【小佐古座長】火葬の温度が1,000度を超えるとなると、金やヨウ素が燃えず、飛散がなく、59日という短半減期のものを1年後に評価するというのは、かなり無理な仮定ではないか。保守性の仮定や温度の議論はしたのか。

⁵ <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20131102060924/http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/NPRBArchive/NRPBWSeriesReports/2004nrpbw063/>

⁶ <https://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/06/txt/s0629-5.txt>

⁷ https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9493938/www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/014/attach/1267329.htm

3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法

濃度の評価では、分母をどうするかが重要になる。RI 施設からの排水のみにするか医療機関全体としての排水にするかで結果が異なる。また、減衰を考慮するかどうかとも検討の必要がある。減衰を考慮する場合は、どのプロセスで減衰させるかを検討する必要がある。また、この他の方策を取るかどうかとも検討の余地がある。回収して「減衰保管」とすることも今後は考えられるかもしれない。また、液体物のクリアランスの考え方を用いることも今後は想定されるかもしれない。

このような検討では総量の評価が不可欠となる。海外では状況に応じた様々な整備がなされているが（表 7 表 8 表 9）、評価シナリオ作成では、どのパスが決定経路になるかを考慮する必要がある。

4. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計

医療機関内の放射線管理測定では排水設備周辺での線量率の周期的な増加が観察されることがある（図 3）。排水設備には放射性物質が集積するために関係者コミュニ

ティで議論されているが⁸、これまで提案されている評価モデルは排水設備中の水による自己吸収を見込まれていた^{9,10}。諸外国では、配管工や下水処理場職員が明示的に評価対象とされている。労働者の放射線防護で清掃担当者や保守作業員への配慮が必要とされており使用数量が大きい核医学治療施設ではこれらの職員への配慮がもめられる。

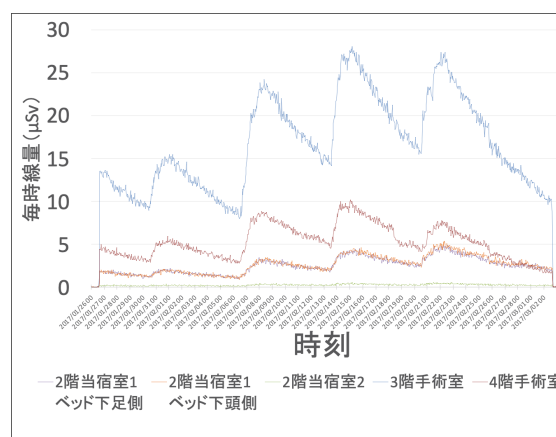


図 3 医療機関内での周期的変化

得られた結果から以下のように考察された。

排水管への付着率が千分の 1 程度であれば、線量限度を超えないと考えられた。ただし、ピットなどでの放射性物質の貯留時

⁸ https://www.researchgate.net/post/For_Ablative_I-131_therapy_is_there_a_well_known_established_value_for_the_percentage_of_I-131_that_adheres_to_pipes_after_patient_excretion

⁹ 山本哲夫・木下富士美・草間経二・大場久照;貯留槽からの外部実効線量率の新しい計算方法、日本放射線技術学会雑誌、57(9),1128-1137(2001)。

¹⁰ Ichiro Yamaguchi, Hisateru Ohba. Monte Carlo Calculation of External Dose Rate around a Radionuclide Reservoir Tank Using EGS4. Radiation Safety Management 2003, 2(1), 29-32

間や付着量が増えると線量は増加する。サイズが小さい汚泥処理槽の線量率は高くなる可能性がある。

以上から得られた結論は、次の通りである。

I-131 治療施設の排水設備周辺の線量率は高くなる可能性があり、環境モニタリングの実施が推奨される。

核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱いに関して PubMed を用いて文献検索を試みた。また 15th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA15) での関連演題を確認するとともに米国での規制の対応や国際原子力機関 (IAEA) での検討状況に関して公開情報を調査した。

検索された文献では製剤中の副次生成物の管理、外来患者での廃棄物収集のリスク評価、清掃工場からの環境放出、下水への放出の制御、下水処理場でのリスク評価が扱われていた。また、IRPA15 でも放射線管理上の実務上の発表があった。核医学治療での放射性廃棄物の管理に関して抽出された課題は、(1)製剤の品質管理、(2)排水管理、(3)固形の廃棄物管理であった。

E. 結論

1. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計

適切な遮へいを用いることで室内の線源に由来した線量を十分に小さくすることができる。Lu-177 を含む排泄物等が床に漏れた場合の対応では漏えいした数量に応じた対応が求められる。

2. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い

核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱いの課題とその解決策を(1)製剤の品質管理、(2)排水管理、(3)固形の廃棄物管理の観点から整理を試みた。

3. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法

必要な核医学治療がそれぞれの医療機関で行えるように状況に応じた評価モデルを提示した。

4. 排水管内の線源に由来した放射線量の推計

放射性排水設備に関して排水管も含めた外部被曝の評価モデルを提示した。

謝辞

研究にご協力頂いた現場の方々に感謝申し上げます。

F. 健康危険情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- (1) Ichiro Yamaguchi 1, Kazuhiko Inoue, Masahiro Natsuhori, Chryzel Angelica B. Gonzales, Hiroshi Yasuda, Yasuhiro Nakai, Minoru Miyake and Harold Swartz. L-Band Electron Paramagnetic Resonance Tooth Dosimetry Applied to Affected Cattle Teeth in Fukushima. Appl. Sci. 2021, 11(3), 1187;
<https://doi.org/10.3390/app11031187>
- (2) Yamaguchi I. What can radiation protection experts contribute to the issue of the treated water stored in the damaged Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant? J Radiat Prot Res 2021;46(1): Publication Date (Web): 2021 March 09 (Note)
<https://doi.org/10.14407/jrpr.2020.00206>
- (3) 山口 一郎. 医療放射線の安全管理に責任を持つ担当者を国際原子力機関はどう規定しているか? 医療放射線防護; 2020. (82), 44-46.
- (4) 川口 勇生, 山口 一郎, 安東 量子, 甲斐 倫明, 吉田 浩子, 佐々木 道也. JHPS 国際シンポジウム:トリチウム

問題をいかに解決するべきか? —国際的視点および社会的視点から見た放射線防護— . 保健物理 2020;55(4): 173-182.

2.学会発表

- (1) H. Hirata, Yamaguchi I, M. Miyake. Overview of electron paramagnetic resonance-based human tooth dosimetry. M. Miyake. 4th Conference on Nuclear Analytical Techniques (NAT2020) Jointed with 6th Symposium on Radiation in Medicine, Space, and Power (RMSP-VI); 2020.11. 12-2020.11.13. 大韓民国 (オンライン) . R0-1.
- (2) Yamaguchi I, Terada H, Shimura T, Inaba Y, Ushiyama A. Translation of scientific research into Public Health Action: in case of National Institute of Japan. Symposium1: Translation of scientific research into Public Health Action: An international perspectives; ISEE2020; 2020. 8. 24-27. オンライン. ID 2413.
- (3) 山口一郎, 成田浩人, 細野眞. Lu-177 を用いる特別措置病室での患者の排泄物に関する放射線安全評価. 第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会 2021年12月1日.
- (4) 山口一郎, 成田浩人, 細野眞. 核医学治療施設での公共下水への排水の放流時の放射性濃度評価法. 令和3年度放射線安全取扱部会年次大会 2021年10月29日. P. 58

- (5) 山口一郎, 成田浩人. 核医学治療で用いられる放射性核種を含む廃棄物の扱い - 課題とその解決策 -. 第2回標的アイソトープ治療線量評価研究会 2021年10月9日. P. 10
- (6) 清水勝一、田中鐘信、山口一郎、細野眞. 粒子線治療室内での患者位置決め用 X 線 CT 装置への中性子の線量評価. 第19回日本放射線安全管理学会. p. 34 (4A-3)
- (7) 川村慎二、米内俊祐、藤淵俊王、大石晃嗣、松田恵雄、長押松美、木村昇、林健一、中山優子、岡本裕之、吉峰正、山口一郎、小高喜久雄. 医療用電子直線加速器設置施設における放射化物の管理状況に関する全国調査結果 (2020年). 第19回日本放射線安全管理学会 ; 2020. 12. 9-2021. 1. 8、オンライン、講演要旨集. p. 49 (5A-4)
- (8) 角山雄一、佐瀬卓也、山口一郎、保田浩志. 海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集. 日本放射線安全管理学会 ; 2020. 12. 9-2021. 1. 8、オンライン、講演要旨集. p. 57
- (9) 山口 一郎, 成田 浩人. 核医学施設での排水管内の線源に由来した放射線量の推計. 日本保健物理学会第53回研究発表会 ; 2020. 6. 29-30、オンライン、講演要旨集. p. 106
- (10) 能登 公也, 山口 一郎, 成田 浩人. X 線 CT 装置の遮蔽計算のための遮へい体での透過割合の推定. 日本保健物理学会第53回研究発表会 ; 2020. 6. 29-30、オンライン、講演要旨集. p. 94
- (11) 秋吉 優史, Do Duy Khiem , 安藤 太一, 松本 亮, 宮川 俊晴, 掛布 智久, 岡本 泰弘, 伊藤 照生, 山口 一郎. 暫定ガイドラインによるクルックス管からの漏洩 X 線量抑制の検証. 日本保健物理学会第53回研究発表会 ; 2020. 6. 29-30、オンライン、講演要旨集. p. 80
- (12) 山口 一郎, 南 佑子, 塚本 豊浩, 中井 康博, 三宅 実, ゴンザレス・クリーゼル , 廣田 誠子, 保田 浩志. スペシャルニーズ歯科での放射線管理. 日本保健物理学会第53回研究発表会 ; 2020. 6. 29-30、オンライン、講演要旨集. p. 64
- (13) 山口一郎、藤淵俊王. 医療法施行規則は現場にどのようなインパクトを与えていますか? FBnews. 523, 2020. P. 12-16

表 5 RI 排水設備を設けて 32 週間で満水になり 8 週間減衰させる想定での排水中濃度評価

一日流入量 (1)	貯留槽の容量 (m ³)	Lu-177 排水中濃 度 (Bq/cm ³)	Lu-177 の濃度 限度との比	Lu-177m 排水中濃 度 (32 週間平均) (Bq/cm ³)	Lu-177m の濃 度限度との比	10 倍希釈後 の比の和
20	4.48	4.19E+00	2.09E+00	3.95E-01	7.89E-01	2.88E-01
40	8.96	2.09E+00	1.05E+00	1.97E-01	3.95E-01	1.44E-01
60	13.44	1.40E+00	6.98E-01	1.32E-01	2.63E-01	9.61E-02
80	17.92	1.05E+00	5.23E-01	9.87E-02	1.97E-01	7.21E-02
100	22.4	8.38E-01	4.19E-01	7.89E-02	1.58E-01	5.77E-02
200	44.8	4.19E-01	2.09E-01	3.95E-02	7.89E-02	2.88E-02

表 6 医療機関全体での濃度で管理する場合での排水中濃度評価

ベッド数	Lu-177 排水中濃度 (32 週間平均) (Bq/cm ³)	Lu-177 の濃度 限度との比	Lu-177m 排水中濃度 (32 週間平均) (Bq/cm ³)	Lu-177m の濃度限度 との比	比の和
1	2.35E+01	1.18E+01	2.53E-02	5.06E-02	1.18E+01
2	1.18E+01	5.88E+00	1.27E-02	2.53E-02	5.90E+00
3	7.83E+00	3.92E+00	8.44E-03	1.69E-02	3.93E+00
4	5.88E+00	2.94E+00	6.33E-03	1.27E-02	2.95E+00
5	4.70E+00	2.35E+00	5.06E-03	1.01E-02	2.36E+00

10	2.35E+00	1.18E+00	2.53E-03	5.06E-03	1.18E+00
20	1.18E+00	5.88E-01	1.27E-03	2.53E-03	5.90E-01
30	7.83E-01	3.92E-01	8.44E-04	1.69E-03	3.93E-01
40	5.88E-01	2.94E-01	6.33E-04	1.27E-03	2.95E-01
50	4.70E-01	2.35E-01	5.06E-04	1.01E-03	2.36E-01
100	2.35E-01	1.18E-01	2.53E-04	5.06E-04	1.18E-01

表 7 欧州諸国の規制状況 1

Country	Management approach		Notes
	Direct Discharge	Delay and Decay	
デンマーク	X		デンマークでは、排出可能な放射性物質の総量の制限はない（購入と使用の制限で管理）。しかし、病院の排水が市の下水道が合流する地点では、排出する I-131 の濃度を 0.1 MBq/l 以下まで希釈することが義務付け。
フィンランド	X		施設からの患者の排泄物は以下の要件を満足する限り自由に下水道に排出できる。要件：一度に排出される量が 100 MBq を超えず、一年を通じて 100 GBq を超えない。
フランス		X	放射線治療病室の患者（放射性ヨウ素の投与量が 740 MBq を超える）の排泄物を含む排水は、通常、2 区分のトイレでは排泄されたものが回収される。核医学治療施設に設置されている衛生設備からの排水は、通常、浄化槽に接続される。浄化槽に滞留する時間が長く、放射性核種の半減期が短いため、公共下水道系に放出する前に浄化槽内にある放射性物質の総量は大幅に減少する。
ドイツ		X	すべての施設に専用の貯留槽の設置が義務付けられており、施設からの排水は公共下水道系への排出地点で 5 Bq/l 以下とすることが規制で定められている。

表 8 欧州諸国の規制状況 2

Country	Management approach		Notes
	公共下水道 への直接放流	貯留槽や希釈 槽	
ギリシャ	X	X	水中で容易に拡散し、放射性物質の最大濃度が 3.7MBq/l 以下であれば、下水道への直接放流が許可されている。甲状腺の外科手術後の I-131 治療では、この基準を満たすために、下水道への排出前の減衰が必要である。
アイルランド共和国	X	X	現在、下水道への直接放流と専用の貯留槽での減衰の双方が用いられている。病院は、排出してはならない量で認可されている。
北アイルランド		X	規制要件ではないが、減衰保管が利用されている。下水道への排出前の濃度規制は 80 kBq/l である。
リトアニア		X	<u>Waste is retained in holding tanks for between 30 and 60 days prior to discharge to sewer. Two tanks are used, one being filled as the other is left to decay prior to discharge.</u> 廃棄物は、下水道へ排出する前に 30 日から 60 日間、

			貯留槽で保管される。2つのタンクを使用し、1つが満ちるまでの期間を利用して、もう1つのタンクが減衰に用いられる。
--	--	--	--

表 9 欧州諸国の規制状況 3

Country	Management approach		Notes
	Direct Discharge	Delay and Decay	
ルクセンブルグ		X	すべての新しい処理施設は、減衰用タンクを設置し、患者の排泄物を最低 210 日間留めておくことが義務付けられている。タンクから下水道への排出物中の I-131 の放射能濃度は 5 Bq/l 以下にしなければならない。
スペイン	X	X	<u>クリアランスレベルは、廃棄方法を決定するために使用される。クリアランスレベルを超える場合、廃棄物は減衰させるために保管が必要。</u>
スウェーデン	X		大規模病院での直接測定に基づき下水道への自由な放流が望ましいとされている。下水道への年間 50 GBq の I-131 の直接放出に基づき計算された下水道作業員の外部被ばく量は約 2 μ Sv。

オランダ		X	<u>半減期が 100 日以下の放射性核種を含む放射性廃棄物は、減衰を考慮して 2 年以内の保管が必要。患者の排泄物に対する要求事項については特に言及されていない。</u>
------	--	---	--

米国だと規制対象外（ただし州によって対応は異なる）

文献

- Aerts, M. G. (2001). Cremation of Corpses containing Bone-seeking Radionuclides following Medical Treatment. *IRPA-10. Proceedings of the 10th International Congress of the International Radiation Protection Association on Harmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem*, P-5-296.
- Claire Greaves, Senior, V., Barnett, J., Marie, C., Pope, J., & Hinton, P. (2006). *RESEARCH REPORT 416: Information to accompany patients undergoing nuclear medicine procedures*. Health and Safety Executive.
- DePaolo, F., Whitaker, R. D., & Wood, C. M. (2007). *Guidelines for handling decedents contaminated with radioactive materials*.
- Narita, H., Hirase, K., Uchiyama, M., & Fukushi, M. (2012). New knowledge about the bremsstrahlung image of strontium-89 with the scintillation camera. *Annals of Nuclear Medicine*, 26(7), 603-607. <https://doi.org/10.1007/s12149-012-0615-2>
- STATES, U., & US Nuclear Regulatory Commission. (1994). *Radiopharmaceuticals, Information Notice No. 94-70: Issues Associated with Use of Strontium-89 and other Beta Emitting*.
- Tandon, P. (2007). Radiation Safety in Nuclear Imaging and Radionuclide Therapy. *Indian J Nucl Med*, 22, 122.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission. (2006). *Event Notification Report for June 20, 2006 AGREEMENT STATE REPORT - DAMAGED SOURCES*.
- Yu, N. Y., Rule, W. G., Sio, T. T., Ashman, J. B., & Nelson, K. L. (2019). Radiation Contamination Following Cremation of a Deceased Patient Treated With a Radiopharmaceutical. *JAMA*, 321(8), 803. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.21673>
- 全国保健所長会. (2007). 前立腺癌治療の放射線照射器具を永久的に挿入された患者の 解剖許可申請についての取り扱いについて.
- 川辺睦. (2015). 取扱主任者になった診療放射線技師 (この人, こんな所: 平田 誠氏) . *Isotope News*, 735.
- 日本放射性医薬品協会. (2005). わたたちのビジョン.
- 菊地透. (2000). 医療廃棄物から放射線が検出される問題について. *医療放射線防護 NEWS LETTER*, 29, 43-45.