

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2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」

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 清水 勝一 兵庫県立粒子線医療センター
田中 鐘信 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター
成田 浩人 一般社団法人 日本放射線治療専門放射線技師認定機構
能登 公也 金沢大学附属病院
鈴木 智和 大阪大学放射線科学基盤機構

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放射線診療行為について、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】

行政機関に相談される事例を中心に、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。課題として対象としたのは、① 2019年度に発出された通知のフォローアップとしての粒子線治療施設での位置決め用X線CT装置の利用、② X線CT装置の遮蔽評価法、③ 自治体による医療機関支援のあり方、である。

【結果及び考察】

1. 粒子線治療施設での位置決め用 X 線 CT 装置の利用における安全の確保

放射線によるソフトエラーのリスクと機器の耐用年数の比較を行うために中性子線量を計算で求めた結果、迷路の出口に近づけると半導体への吸収線量は1/100 から1/1,000程度は小さくなるので10年以上の耐久度を期待できると考えられた。

2. 高性能化に対応した X 線 CT 装置の遮蔽評価法の開発

通知に比べて測定値はほぼ安全側であったが、鉛を内側にした場合は、X線CT装置ではX線エネルギースペクトルが硬くなっていることから、鉛の透過割合が現行通知では過小評価になることが効いて、非安全側になっていた。このため、NCRP Report No. 147のX線CT装置を想定した透過割合を用いるのがより適切であると考えられた。

3. 自治体による医療機関支援のあり方

- (1) 医療法施行規則が改正され、2020年度から、医療機関において医療安全の観点からの放射線安全対策の実施が求められることになった。

【結論】

1. 粒子線治療施設での位置決め用 X 線 CT 装置の利用における安全の確保

- (1) 医療機関で想定されている機器の使用方法で放射線診療従事者や医療機器の安全は確保されうると考えられた。
- (2) 使用開始より1年以上が経過し、ハード、ソフトともに重篤なエラーは現在までに確認されていない。今後は運用によるエラー回避にとどまらず、粒子線治療室内に設置される医療機器に対する損傷リスクや許容範囲を明らかにすべく検証を進めていく。
- (3) 移動型 X 線 CT 装置の迷路内退避も、本治療の供給可能量を決定する律速となっているので、今後、放射線診療の最適化のために、より安全評価の定量性を高める必要がある。

2. 高性能化に対応した X 線 CT 装置の遮蔽評価法の開発

壁の透過割合も含めて NCRP Report No. 147 の考え方で放射線安全は確保されうると考えられた。

- (1) 室内に労働者が滞在する場合には人体も遮へい体として働くので、測定ポイントの選定で配慮が必要になりうる。

3. 自治体による医療機関支援のあり方

- (ア) 生殖腺プロテクタの課題、(イ) 放射化した部品を含む医療機器の輸出の課題、(ウ) 排水管内の線源に由来した放射線量の推計、(エ) 医療従事者の放射線防護、(オ) 放射線診療における正当性の確保、のそれぞれの課題の整理を試みた。

A. 研究目的

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放射線診療行為について、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。

B. 研究方法

行政機関に相談される事例を中心に、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を提案する。

厚労科研で医療用リニアックの海外への輸出に向けての関係者の動きを確認し、規制整備上の課題として以下の課題の整理を試みた。

1. 2019年度に発出された通知のフォローアップ
(ア) 粒子線治療施設での位置決め用 X線CT装置の利用
2. X線CT装置の遮蔽評価法
3. 自治体による医療機関支援のあり方
(ア) 生殖腺プロテクタの課題
(イ) 放射化した部品を含む医療機器の輸出の課題

(ウ) 排水管内の線源に由来した放射線量の推計

(エ) 医療従事者の放射線防護

(オ) 放射線診療における正当性の確保

本課題の検討では日本診療放射線技師会及び日本放射線公衆安全学会の協力を得た。

本研究のうち質問紙法及びインタビュー調査は、国立保健医療科学院の研究倫理審査委員会から承認を得て実施した (NIPH-IBRA# 12246)。

C. 研究結果

1. 2019年度に発出された通知のフォローアップ
(ア) 粒子線治療施設での位置決め用 X線CT装置の利用
結果を別紙1で示す。
2. X線CT装置の遮蔽評価法
結果を別紙2で示す。
3. 自治体による医療機関支援のあり方
(ア) 生殖腺プロテクタの課題
生殖腺プロテクタの利用は従来から医療機関によって対応方針が異なっており、議論の対象になってきた¹²³。

1 石井里枝. 股関節撮影時の生殖腺防護の不必要性

<http://jglobal.jst.go.jp/public/20090422/200902212179594349>

2 中山美保 (JA 北海道厚生連 旭川厚生病院 放射線技術部門) 小児股関節撮影における生殖腺防護の必要性について. 誌上討論「X線診断領域における患者防護衣は必要か」

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003471582>

3 瀬川裕子, 山口玲子, 大川 淳. 女兒に対する股関節単純 X 線正面像撮影における性腺防護の検討. 第 28 回 日本小児整形外科学会学術集会 2017.12.07 新宿

医療での放射線防護は総合的な観点から考える必要がある。小児股関節撮影での生殖腺防護にも、メリットとデメリットがあり、その比較が必要となる。米国医学物理学会（AAPM）は2019年4月に生殖腺防護ではメリットがデメリットを下回るとして、その利用を控えることを勧告した⁴。

その理由は診断領域では生殖腺への線量が限られることで遺伝性の影響や胎児への影響が事実無視できるからとしている。もっとも、「hereditary effects」以外のアウトカムに関心があるのではないかと考えられた。

また、体表面を覆う防護衣は体内での散乱を防げないとしている。もっとも生殖腺に到達する放射線は体内散乱よりも体外からの散乱線の侵入によると考えられる。

米国放射線学会は、この声明の支持を表明した⁵。一方、米国放射線技師協会は、当初、より検討が必要として慎重な姿勢で

あったが⁶、その後、検討を重ねた結果、考え方を見直し、支持に転じた⁷。

米国放射線防護審議会（NCRP）もパブリックコメントを経て⁸、見解への支持を表明した⁹。

この資料を日本保健物理学会では「生殖腺防護に関するNCRP声明」翻訳ワーキンググループを設置して翻訳する予定となっている¹⁰。

これらの動きを受けて、日本放射線技術学会の小児股関節撮影における生殖腺防護に関する検討班では調査を行っている¹¹。

放射線防護に関するトレードオフなので、メリットとデメリットを比較して判断ができると考えられる。

（イ）放射化した部品を含む医療機器の輸出の課題

⁴ <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=468&type=PP¤t=true>

⁵ ACR Endorses AAPM Position on Patient Gonadal and Fetal Shielding
<https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/Advocacy-News/Advocacy-News-Issues/In-the-June-8-2019-Issue/ACR-Endorses-AAPM-Position-on-Patient-Gonadal-and-Fetal-Shielding>

⁶ ASRT Board of Directors Provides Update on Gonadal and Fetal Shielding Position
<https://www.asrt.org/main/news-publications/news/article/2019/07/02/asrt-board-of-directors-provides-update-on-gonadal-and-fetal-shielding-position>

⁷ ASRT Statement on Fetal and Gonadal Shielding Jan 12, 2021
<https://www.asrt.org/main/news-publications/news/article/2021/01/12/asrt-statement-on-fetal-and-gonadal-shielding>

⁸ Statement for Review NCRP SC 4-11 DRAFT Statement on Routine Gonadal Shielding of Patients During Abdominal and Pelvic Radiography is ready for review & comment Comment Deadline: July 17, 2020
<https://ncrponline.org/>

⁹ Statement No. 13 – NCRP Recommendations For Ending Routine Gonadal Shielding During Abdominal And Pelvic Radiography (2021)
<https://ncrponline.org/publications/statements/>
<https://ncrponline.org/wp-content/themes/ncrp/PDFs/Statement13.pdf>

¹⁰ <http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/info/page.cgi?id=81>

¹¹ <https://www.jsrt.or.jp/data/news/43849/>

これまでに示されていた考え方では、免除レベルを超える放射化物は事実上、輸出が困難としている例がある。

- 大阪大学 核物理研究センター 放射線管理室・放射線取扱主任者 鈴木智和氏による「加速器周辺の放射化とその放射線管理(自然科学研究機構 核融合科学研究所 放射線業務事従者に対する教育訓練) 2017/3/17 H29核融合研教育訓練¹²⁾」

どの程度放射化したら放射化物として扱うべきかが放射線管理上の課題にある。現行規制では、放射化物は放射性汚染物の一種とされ閾値がない。

クリアランス制度の濃度基準は、放射化物であるかどうかを判断するための閾値ではない。このため、検出されたら放射化物の扱いとなりかねない。測定の質をよくすると全てが放射化物となりうる。何故なら、地表でも毎時数ナノシーベルト・レベルの中性子があり、常に放射化物が生成されているからである。従って、コストをかけて測定の質を上げると放射化物が検出されることになる。

輸出するものは廃棄物かどうかも法令適用上のポイントになると考えられる。放射性同位元素等規制法においては、「汚染物の輸出」は規定されていないが、廃棄物だと許可廃棄業者にしか引き渡せない。しかし、輸出が想定される加速器は有効に活用することが想定されており、廃棄物ではない。

一方、放射性物質を含むことからBSS(国際原子力機関のBasic Safety

Standards)に規定されている免除レベルを超えているならばRIとして輸出するしかないとの考え方がなされていた。

現行法令上も免除レベルを超えていれば、RIとして扱う必要がある。

また、このような放射化物の管理は現実的かとの疑念があった。放射化物を「密封されていない放射性同位元素」として管理するため、放射化物に含まれる全ての核種の非密封の許可が必要となる。このため、まったく非密封の許可がない施設では許可を得るのがかなり困難との懸念があった。

BSSの免除レベルを超えるか超えないかの判断は放射化物管理上の代表的な核種だけでなく、全ての核種のBSSとの比の和で評価する必要がある。

ここで免除レベルを超えるかどうかは、一定の質を担保して行う必要がある。判定の誤分類が起きないように測定の不確かさを制御する必要がある。この誤りが制御されているのであれば、必ずしも全ての核種で質のよい評価が必要ではなく、一定以上の寄与がある代表的な核種のみで評価すればよいのではないかと考えられた。

また、加速器の輸出の事例について検討した。

加速器の輸出は国策となっており、『協定に基づく支援事業は、粒子線治療装置の海外輸出拡大の効果的な手段の一つであることが、国(経済産業省)により認められ、本年度は補助金が交付されます¹³⁾。』とされていた例や、『タイ王国への粒子線治療装置フルサポート輸出調査事業 報告

¹²⁾ <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~tomokazu/slide-pdf/nifs-2017.pdf>

¹³⁾ <https://www.hibmc.shingu.hyogo.jp/past/news/news34.pdf>

書¹⁴』、磯山 悟朗著『タイの放射光計画の顛末¹⁵』の事例報告があった。

行政機関の見解提示例としては、第3回放射性同位元素等規制法に係る審査ガイド等の整備に関する意見聴取¹⁶があった。

『事前に提示された意見への回答¹⁷』、『その場での追加質問への回答¹⁸』が公開されていた。ここでは、輸出の可否に関して規制庁として判断するものではないとの見解が示されていた。

この課題の類似例として、医療機関内の加速器の移設も輸送時の放射線安全確保の観点では同じ構造であると考えられた。

放射性廃棄物に区分される場合は、放射性廃棄物の輸出¹⁹の扱いを考えることになるが、特定有害廃棄物等の輸出入等の規制に関する法律では、目的で『第一条 この法律は、有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約

(以下「条約」という。)等の的確かつ円滑な実施を確保するため、特定有害廃棄物

等の輸出、輸入、運搬及び処分の規制に関する措置を講じ、もって人の健康の保護及び生活環境の保全に資することを目的とする。』とされ、定義等で『第二条 この法律において「特定有害廃棄物等」とは、次に掲げる物(船舶の航行に伴い生ずる廃棄物であって政令で定めるもの並びに放射性物質及びこれによって汚染された物を除く²⁰。)をいう。』とあり、放射性物質はそもそもこの法令の対象外ではあるが、廃棄物の輸出²¹は制限されており、特定有害廃棄物等の輸出入管理²²もなされている。具体的には、告示²³で示されている。

- 輸出貿易管理令別表第二の二一の項で定める廃棄物(平成15年告示第381号【最終改正】令和2年告示第58号)
- 輸出貿易管理令別表第二の二一の二の項で定める放射性同位元素(平成17年告示第334号)
- 輸出注意事項17第34号(H17.12.15)「放射性同位元素の輸出承認につい

14

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/healthcare/iryoku/downloadfiles/pdf/26fy_kameda_outbound.pdf

15 <http://www.pasj.jp/kaishi/cgi-bin/kasokuki.cgi?articles%2F2%2Fp523.pdf>

16 <https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/youshikisya/RIGuide/260000035.html>

17 <https://youtu.be/FXi1TdQBAs?t=9460>

18 <https://youtu.be/FXi1TdQBAs?t=9152>

19

https://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/02_export/05_nuclear/houusyasei.html

20 <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=404AC0000000108>

21

https://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/02_exandim/02_haiki/haiki_ex.html

22

https://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/02_exandim/01_basel/index.html

23

https://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/01_seido/03_law/houreiiran.html

て」(輸出注意事項2019第33号
(R1.7.26))

一方、IAEAでは『Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material²⁴』を策定しており、医療用加速器の輸入を想定した輸入規制の事例もあった²⁵。

(ウ) 排水管内の線源に由来した放射線量の推計

この課題の背景として、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1)。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²⁶、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^{27,28}。

本研究の目的は、I-131を用いた放射線治療病室からのトイレの排水管や排水設備内の線源からの線量を推計することである。

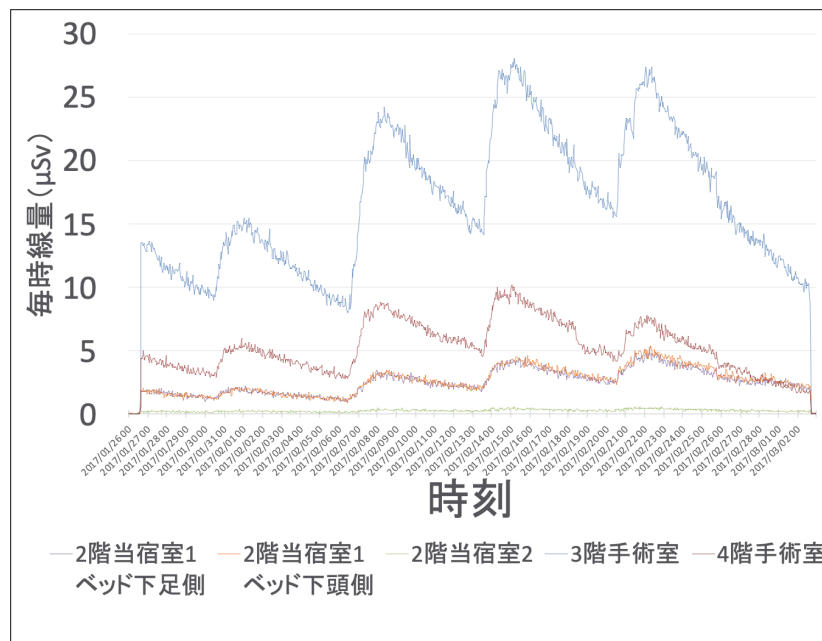


図1 医療機関内で観察された周期的な線量率の変化

²⁴ <https://www.iaea.org/publications/12288/regulations-for-the-safe-transport-of-radioactive-material>

²⁵ https://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2007/september/tradoc_136014.pdf

²⁶

<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>

²⁷ 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)。

²⁸ 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

方法としては、線源として I-131 を考慮し、排水設備周辺の線量を PHITS により計算した。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 1GBq、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。

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 0.1mSv/y、流速 1cm/min だと、5.6 mSv/y
- 排水管に付着した RI からの線量は 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 1 とすると、25 μ Sv/h に増加した。

得られた結果から以下のように考察された。

排水管への付着が千分の 1 程度であれば、公衆の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。

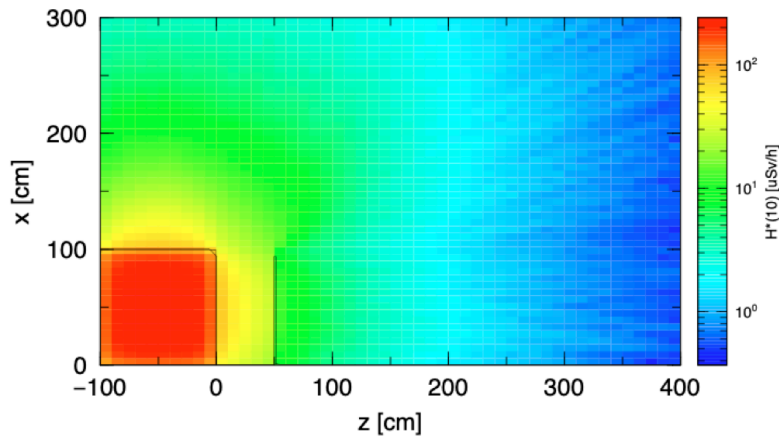


図 2 I-131 を 1 GBq 含む汚泥処理槽周囲の線量率

タンク容量:1m³で 1 cm の鉄の板を遮へいに用いた場合(Z 軸上で 50 cm の位置)

(エ) 医療従事者の放射線防護

国際原子力機関 (IAEA) は、原子力の平和利用に関する役割を担っている国際機関で、核エネルギーや放射線利用の安全を改善し、公衆・労働者・環境への潜在的な害を減らすことを目的としている。IAEAは様々な取り組みを行っているが、加盟国での労働者の放射線防護の取り組みの質を維持・向上させるために、職業放射線防護評価サービス (Occupational Radiation Protection Appraisal Service (ORPAS)) の機会を提供している²⁹。この事業はIAEAが求められている機能や目指すべきゴールに沿って実施されている。ORPASへの参加経験に関しては、労災疾病臨床研究事業費補助金研究令和元年度報告書報告書<研究課題名>不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究に記述されている³⁰。

ORPASで主に参照される文書は、IAEA General Safety Guide (GSG) -7によりガイダンスされる General Safety Requirements (GSR) Part 3である。

IAEAでは、より包括的なレビューとして総合規制評価サービス (Integrated Regulatory Review Service (IRRS)) を提供しており、日本では平成28年1月11日から22日の期間に実施され、その後の法令改正などにつながっているが、ORPASはその対象分野を特化したものとなる。

ORPASの目的は、自発的に望んだ加盟国

(ホスト国) に対して職業被ばく防護対策に関して客観的な評価を提供し、ホスト国が職業被ばく防護の対策に関して必要な措置を講じているかどうかを判断し、これらの措置が有効に機能し、全般的に最適化されているかどうかを判断するものである。

さらに、国際的なガイダンスに適合するために改善すべきところや良い取り組みであるところを明らかにし、防護の最適化に資するようにし、このような改善を達成するために取るべき手立てを推奨するとともに、ホスト国での独自の取り組みで他でも参考になると考えられるものを指摘する仕組みである。このプロセスでは、過去に実施されたIRRSの結果も参照され、そのフォローアップも行われるが、IRRSとは別の枠組みでの取り組みとなっている。

ORPASは放射線に関わる全ての種類の事業所や活動を扱い、規制当局だけでなく、エンドユーザー(事業所)やそれらをサポートする技術支援組織 (Technical and scientific support Services or Organisations (TSOs)) の全てを対象とする。また、放射線防護に関わる個人モニタリング、作業場モニタリング、助言サービスの全てを対象としている。

ORPASは、自己評価、放射線防護での安全文化、事業所や放射線防護活動の品質管理システムを促進している。自己評価は Self-Assessment of Regulatory Infrastructure for Safety (SARIS) を活用している。³¹

²⁹ <https://gnssn.iaea.org/main/ORPAS/SitePages/Home.aspx>

³⁰

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/rousai/hojokin_00034.html

³¹ <https://www.iaea.org/resources/software/saris>

ORPAS は、国際的枠組みで実施され、各加盟国の放射線安全制度やその適用の違いが配慮される。専門家チームによる活動成果は最終報告書としてまとめられ、そこに改善のための推奨や行動が示されることになる。

ORPAS は機能した取り組みとなっており、このような外部評価の仕組みを利用することも有用であると考えられることから、自己評価用の質問紙票³²を一部翻訳し、国立保健医療科学院の Web ページ³³にて掲載した³⁴。

(オ) 放射線診療における正当性の確保

部門間の連携や職種間の連携が課題となっており、その課題の解決には、現場でのコミュニケーションの充実が必要であるが、扱うのが困難になっていたと考えられる放射線診療における正当性の確保の考え方の整理を試みた。作成した資料を (エ) と同じく、国立保健医療科学院の Web ページにて掲載した³⁵。

D. 考察

3. 自治体による医療機関支援のあり方 (ア) 生殖腺プロテクタの課題

X線検査時の生殖腺防護の見直しに関する勧告が米国の関係機関から連携してなされていた。当初は関係機関間での見解の不一致もあったが、議論が積み重ねられることで各機関間での合意形成に至っていた。

放射線防護の課題は主観的な価値観も関係するだけでなく立場によって利害が衝突するので、単純にメリットとデメリットを比較するトレードオフ分析だけでは解決が得られない。放射線防護コミュニティ以外にも巻き込んだ関係者間での合意形成が挑戦的な課題となる³⁶。

未だに出口が得られていない放射性廃棄物の課題も同様の構造で解決策を模索する必要がある。

(イ) 放射化した部品を含む医療機器の輸出の課題

海外では中古の医療用加速器が流通している実態があり、資源の有効利用の観点か

³² <https://gnssn.iaea.org/main/ORPAS/questionnaires/SitePages/Home.aspx>

³³ <https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/>

³⁴ https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/pdf/orpas_module.pdf

³⁵ https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/pdf/justification_jart.pdf

³⁶ 2018年9月28日 第7回医療放射線の適正管理に関する検討会

○大井参考人 大井です。先ほどの説明の中でフットスイッチといろいろあったと思うのですが、患者さんが被ばくするのは、動けば撮影回数がふえて、ふえてくるという問題があると思うので、それをどう抑えるかということの一つだったと思うのです。ただ、先生方や技師の方たちが中に入られると、またそれも被ばくすることになったりする。イギリスのNICEなどでは医療を評価していこうということで、国民も参加してAll.Canというプロジェクトの中では、例えば子供たちが動かないでいられる方法はないかということで、CTの中にフィルムでジャングルの絵を書いたりして、子供が楽しんでその時間を過ごせるようにしようとか、違った形の工夫に取り組み、そこに国民の目線が入ってくる、子供の目線が入ってくるということがあると思うので、患者の被ばくをできるだけ抑えていく、あるいは医療者の被ばくを避けていくということの中で、ぜひそういういった、もっと総合的な議論の中で検討をいただけたらと思いました。

https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000209711_00004.html

らリスクベースでの規制適用が望まれると
考えられる。

一方、医療用サイクロトロンを含む加速
器の廃止措置に関して、ISO標準化計画が
進行中となっており（CIB投票（Committee
Internal Ballot：委員会内投票）の依頼
を各国に送付：投票期間：2021年1月16
日～4月10日）、日本原子力学会の
ISO/TC85国内対策委員会で対応を模索して
いる（日本放射線安全管理学会が対応する
見込みとなっている）³⁷。

医療用サイクロトロンの設置や廃止は日
本が先行しており、この分野でも世界に貢
献する必要がある。

（ウ）排水管内の線源に由来した放射 線量の推計

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。また、地域での集積では
下水処理場への集積が原子力事故後に顕在
化した。

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。この課題でも医療機関間の連
携が必要となりうるので、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。

（エ）医療従事者の放射線防護

医療法と労働安全衛生法のそれぞれによ
る管理がなされており、それぞれ保健所と

労働基準監督署が分担して業務を行って
いるが、保健所が行う医療機関への立入検
査の業務では従来から、医療法第15条、第17
条、第20条の規定なども勘案し、医療法以
外の規定でも、病院の管理と密接な関係の
あるものは、立入検査の対象とされ、その
遵守が促され、医療機関側の対応が不十分
な場合には行政指導を行い、さらなる対応
は、担当部署に委ねることとされていた。

労働基準監督署と都道府県等（保健所）
との連携が想定されている例としては、眼
の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する
検討会での議論がある。ここでは、以下の
ような資料が提示されていた。

『また、労働基準監督署で、「医療現場
において年20mSv超～50mSvの被ばく労働者
がいる旨の情報」を把握した場合には、原
則として労働基準監督署から都道府県等
（保健所）に情報提供を行い、都道府県等
（保健所）は、医療法に基づく立入検査等
の際に、当該情報提供も踏まえ病院・診療
所に指導を行い、結果等を適宜、労働基準
監督署に情報提供を行う。このように、労
働基準監督署と都道府県等（保健所）は、
医療機関で医師等が適切に業務遂行でき
るよう連携を図ることが望ましい。』³⁸

検討会での検討を経て、保健所と労働基
準監督署の連携に関する通知が発出され
た。

³⁷ 日本産業標準調査会（経済産業省に設置されている審議会）からの付託を受けて、国内
審議団体としてISO（International Organization for Standardization：国際標準化機
構）の技術委員会TC85（Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological
protection）の標準化活動対応を行っている。

³⁸ https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06824.html

- 厚生労働省医政局地域医療計画課長通知「放射線障害防止対策に係る都道府県労働局との連携について」（医政地発0128第4号 令和3年1月28日）³⁹
- 厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課長通知「放射線障害防止対策に係る都道府県等衛生主管部局との連携について」（基安労発 0128 第1号 令和3年1月28日）⁴⁰

放射性同位元素等規制法では報告義務のある計画外被ばくを制度化しているが、計画的な業務の範囲内で何らかの逸脱があり診療用X線の利用において線量限度を超えた場合は、この規定の想定外としているように見受けられる。

これに対して海外ではIVRに従事する医療従事者の眼の水晶体の等価線量が年間で20 mSvを超えた場合などでも、法令に違反する逸脱事例だとして、国際原子力事象評価尺度（International Nuclear Event Scale：INES）のレベル2に該当すると判断

し、IAEAに報告すると共に^{41,42,43,44,45}、詳細な調査がなされている例がある⁴⁶。

日本では実態把握も十分ではないと考えられ、段階的な管理でリソースを効率的に割り当てて、特に介入すべき事例に関して海外での取り組みにもあるように関係者による調査結果の情報共有を図ることが求められる。

線量計を付けていない場合の事後的な線量評価に関する技術の進歩が進んでいる。このうち、電子スピン共鳴法を用いた方法は非破壊的な方法で、原子力災害による放射線曝露による信号が被災牛で確認された⁴⁷。この方法は歯科放射線診療の繰り返しやERCPに長年従事した看護師でも信号検出に成功している。

国際原子力機関では労働者防護だけでなく包括的な自己評価用の資料を Self-Assessment of Regulatory Infrastructure for Safety (SARIS)として作成しており⁴⁸、参考となる。

³⁹ <http://www.jart.jp/news/ibOrgt0000006v9l.html>

⁴⁰ <http://www.jart.jp/news/ibOrgt0000006v9l.html>

⁴¹ <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=69a3d2a3-6f67-40a8-a972-691145e2b97e>

⁴² <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=13478410-38e4-453b-a563-9c1f6d44a443>

⁴³ <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=a232913d-b079-4277-b7ea-c842a7201cb0>

⁴⁴ <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=91bad547-30d4-4a11-9f41-f845e6337d26>

⁴⁵ <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=70741b5d-2d78-4660-80a4-46127b282181>

⁴⁶ <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Surexposition-d-un-radiologue-au-niveau-des-mains>

⁴⁷ Yamaguchi, I.; Inoue, K.; Natsuhori, M.; Gonzales, C.A.B.; Yasuda, H.; Nakai, Y.; Miyake, M.; Swartz, H.M. L-Band Electron Paramagnetic Resonance Tooth Dosimetry Applied to Affected Cattle Teeth in Fukushima. *Appl. Sci.* 2021, 11, 1187. <https://doi.org/10.3390/app11031187>

⁴⁸ <https://www.iaea.org/resources/software/saris>

(オ) 放射線診療における正当性の確保

各診療科を援助するために放射線部の貢献が求められる。放射線診療の正当性を確保するためには放射線リスクとの比較が避けられない。このため放射線リスクの定量的な推計の提示も必要であると考えられる。

E. 結論

1. 粒子線治療施設での位置決め用 X 線 CT 装置の利用における安全の確保

(1) 医療機関で想定されている機器の使用方で放射線診療従事者や医療機器の安全は確保されうると考えられた。

(2) 使用開始より 1 年以上が経過し、ハード、ソフトともに重篤なエラーは現在までに確認されていない。今後は運用によるエラー回避にとどまらず、粒子線治療室内に設置される医療機器に対する損傷リスクや許容範囲を明らかにすべく検証を進めていく。

(3) 移動型 X 線 CT 装置の迷路内退避も、本治療の供給可能量を決定する律速となっているので、今後、放射線診療の最適化のために、より安全評価の定量性を高める必要がある。

2. 高性能化に対応した X 線 CT 装置の遮蔽評価法の開発

壁の透過割合も含めて NCRP Report No. 147 の考え方で放射線安全は確保されうると考えられた。

(1) 室内に労働者が滞在する場合には人体も遮へい体として働くので測定ポイントの選定で配慮が必要になりうる。

3. 自治体による医療機関支援のあり方
部門間の連携や職種間の連携が課題となっており、その課題の解決には、現場でのコミュニケーションの充実が必要であるが、扱うのが困難になっていたと考えられる放射線診療における正当性の確保の考え方を整理した。その他、以下の課題の整理を行った。

- (ア) 生殖腺プロテクタの課題
- (イ) 放射化した部品を含む医療機器の輸出の課題
- (ウ) 排水管内の線源に由来した放射線量の推計
- (エ) 医療従事者の放射線防護
- (オ) 放射線診療における正当性の確保

謝辞

研究にご協力頂いた現場の方々やご協力頂いた日本診療放射線技師会及び日本放射線公衆安全学会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, 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. 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) 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 ; 2020. 12. 9-2021. 1. 8, オンライン, 講演要旨集. p. 34 (4A-3)
- (4) 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)
- (5) 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. 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. 57
- (6) 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
- (7) 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
- (8) 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
- (9) 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
- (10) 山口 一郎, 藤淵 俊王. 医療法施行規則の改正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