

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）

「放射線診療の発展に対応する放射線防護の基準策定のための研究」

（221A1010）（研究代表者：細野 眞）

令和6年度 分担研究報告書

国際機関の文書を活用した国内法令の整備の方向性に関する研究

複数の事業所間での労働者の個人線量記録の管理を例として

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 主任研究官

研究協力者 菱沼 隼人 茨城県中央保健所総務課 地域保健推進室 技師

望月 真吾 愛知県岡崎市保健部（保健所）保健企画課 医務指導係 主査

研究要旨

【目的】

国内での放射線管理の課題の解決に国際機関の文書が有益であるかどうかを明らかにする。

【方法】

国内での放射線管理の課題として複数の事業所間での労働者の個人線量記録の管理を例として、国際原子力機関の文書が適用できるかどうかを検討した。

【結果及び考察】

医療現場での放射線管理に関する課題は、国際的に共通する面があり、国際機関の文書も課題の解決に役立つと考えられる。

【結論】

事業所間での労働者の個人線量に関する情報の共有が課題となっている。このような課題の解決においても、国内でのルール整備において国際機関の文書を活用するとよいと考えられた。また、DX（デジタルトランスフォーメーション）化の推進で関係者の負担軽減を図っていくのがよいと考えられた。

目次

A	研究目的.....	3
B	研究方法.....	3
C	現状と課題.....	3
ア)	現場からの疑問例.....	3
イ)	個人線量測定サービス会社との契約.....	4
ウ)	現状の手順の想定.....	4
エ)	現時点での線量合算方法.....	6
オ)	現場での工夫例.....	7
カ)	改善に向けてのアイデア.....	7
キ)	線量限度を超過しそうな場合.....	7
ク)	個人線量測定サービス会社が提供しているソフトウェア.....	8
ケ)	国内法令への取り入れが考えられる国際機関の文書が示す要求事項.....	8
i.	防護の最適化.....	8
ii.	複数の事業所で働く労働者の管理.....	10
iii.	職業曝露のモニタリングと評価.....	12
iv.	線量拘束値.....	12

v.	周辺監視区域.....	13
vi.	作業環境モニタリング.....	13
D.	考察.....	14
E.	結論.....	14
F.	謝辞.....	14

A. 研究目的

放射線診療の発展に伴い、放射線管理のルール整備も課題となっている。これまでのルールの整備では、本報告書に示すような新たな問題が引き起こされることもあった。そこで、国内での放射線管理の課題を解決するために、国際原子力機関の文書で示されている要求事項などが国内の放射線管理に関する法令整備に有益であるかどうかを明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

国内での放射線管理の課題として複数の事業所間での労働者の個人線量記録の管理を例として、国際機関の文書が適用できるかどうかを検討した。国内の現況については、第1回日本放射線医療技術学会の大会企画で実施された学術企画②（日本放射線公衆安全学会、日本放射線技術学会放射線関係法令委員会）「放射線管理人材の育成」¹に関する開催時や開催前後の議

論（以下「学術企画」という。）において提起された課題等について整理を行った。

関連して、医療機関の事故への対応について国際機関からの情報に基づき検討した。また、新しい技術の導入への地方自治体の対応支援、 α 線放出核種での中性子の発生、医療関係の放射線の事故についても検討した。これらの結果は別紙で示す。

C. 現状と課題

ア) 現場からの疑問例

医療機関の労働者の放射線管理において民間事業者が行う個人線量測定に関する事業としての個人線量測定サービスにおいて個人情報開示請求の方法が不明であるとされていた。個人線量測定サービス規約にある個人情報の保護の例外規定である「予めお申込者から了解を得ている場合」²はどのようなことを指すのかが不明とされていた。これらを個人線量測定会社に質問しても回答がないままであったとの不満が医療現

¹ 第1回日本放射線医療技術学会 2024年11月3日（日）10：00～11：50（第5会場（B5-7））

² 千代田テクノル社 個人放射線被ばく線量測定サービス規約. <https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/kiyaku-p-2021.1.pdf>

場にはある。もっとも個人線量測定会社のウェブサイトには情報がある。現場での疑問が明確化されておらず、コミュニケーションが成り立っていない。病院団体などでの現場の疑問の集約例も見当たらなかった。医療放射線管理に関して、他分野とは異なり医療機関の放射線取扱主任者の会もなく、日本放射線技術学会のパネルディスカッションなどで参加者から問題提起はされているが、組織的な取り組みに弱点があると考えられる。

このような現場での課題は多岐にわたり、様々なパターンがあるが、ここでは医師の異動時において、以前の職場での線量測定結果が新しい職場に提供されるまでの扱いを取り上げる。

イ) 個人線量測定サービス会社との契約

医療機関における個人線量の管理は、医療機関が提供する測定器を用いる他は、個人線量測定サービス会社の支援を受けている。このため、その情報の扱いは、個人線量測定サービス会社との契約内容に沿う必要がある。

個人線量測定機関協議会（個線協）に加盟している各社とも個人情報の開示の例外規定を以前から設けている。「申込者から了解を得ている場合」は個線協のサービス規約例上も開示が可能となっている（第5条第3項）³。「個人情報開示請求」では費用が発生し、この費用負担が

課題であると認識されている例がある。その一方で問題なく運用されている例もある。

情報開示を受ける手順を簡素化し、職場にて発行される「個人用報告書」や個人線量測定サービス会社が発行する「外部被ばく線量の測定結果の報告書」があれば、新しい職場での線量登録依頼に必要な情報が記載されている場合がある。ただし、医療機関によっては「個人用報告書」を発行していない契約もある。「個人用報告書」がない場合は、本人または管理担当者から前の施設に線量報告書の問い合わせが必要となる。情報の開示のためには「事業所番号」と「個人番号」が必要になるが、この手順を機能させるためには開示請求者がそれぞれの番号を知っている前提があり、現行の4社の契約では、いずれも本人の承諾のみでは線量の照会ができない。本人の承諾のみで線量の照会が可能とするには規約の見直しが必要であるが、規約の見直しを依頼する動きも皆無である。海外のシステムでは、個人の情報開示権が行使できる例があることが、学術企画で示されていた。制度の趣旨としても個人の情報開示権を認めるべきではないかと考えられた。

ウ) 現状の手順の想定

現行においては労働者個人が情報を整理して、他の職場にデータを持参する手順が想定されている。つまり、新しい職場側の視点では、前の職場を離職後、新しく採用した労働者に対して、退職した後に以前の職場から送付される個

³ 第5条（個人情報の保護）3. 会社は、お申込者からの指示による場合、またはあらかじめお申込者から了解を得ている場合を除き、個人情報を第三者に提供または開示はいたしません。

<http://www.kosenkyo.jp/siryou/serviceA.pdf>

人線量報告書や累積線量報告書を新しい職場に提出してもらうことが想定されている。この手順が守られていないのは医師の怠惰であると放射線管理部門側から認識されている。医療機関の放射線管理担当者の間では放射線管理に関して医師の協力が得られないとの不満が伝統的に強い。しかし、労働者が主体的に動いて情報を持ち運ぶことには課題がある。この手順は労働者に負担を強いる非効率的なものである。医師の側は放射線管理部門が怠惰と受け止めかねない。そもそも、医師や看護師からは職場での放射線管理の対策が不十分であり、放射線防護に対して課題を感じているにも関わらず作業環境の改善の援助が得られないなどの不満がある。放射線防護について提案しても却下され、診療放射線技師の防護が優先されがちとの意見が看護師からある。このような職種間の認識のミスマッチがあるが、看護師による貢献で放射線リスクを取る場合には放射線管理部門の援助が不可欠である⁴。

このような手順において、医師の負担を軽減するために放射線管理部門が模索している例もある。負担の軽減のためには電子化の利用が考えられる。各個人線量測定サービス会社ともデータの電子化の管理が進んでいる。CSV (comma separated values) 形式のファイルの読み込みなども実装されている。

ただし、このことについて医療機関の放射線管理担当者が認知できておらず、この機能の活用例の報告が見当たらない。現場の放射線管理担当者の認識では、各社の線量管理ソフトに他社

データの取り込み機能が実装されておらず、取り込み機能の実装を望んでいるが、そのことを要望として表出できないままとなっており、職能団体などからの正式な要望には至っていない。提供されるデータ形式についても医療機関の放射線管理担当者としてはCSV形式では受け入れがたいとのことであったので、それ以外の形式でのデータのエクスポートとインポート機能やRDB (Relational Database) として管理できるような仕組みの実装が求められる。

このような電子化のメリットをより享受するためには、労働者の同意を得て、情報のやりとりを事業所間で行うことが考えられる。

ただし、法定管理帳票を複写して提供してもらい、線量管理ソフトに入力することは手間であるので、各職場で利用している個人線量測定サービス会社に線量登録を申請することで管理がしやすくなると思われる。これは、想定している個人線量サービスの想定外と考えられるが、各社ともユーザーの負担軽減のための工夫を模索している。

なお、離職後、前の職場からの情報入手は労働者でも困難との意見があった。現行の労働安全衛生法に基づく規定では、以下のように通達が示されており、それが遵守されているはずであり、どこかで認識の齟齬があると考えられる。

- 基発 1027 第4号 令和2年10月27日厚生労働省労働基準局長 電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令等の施行等につ

⁴ 看護師の間には核医学医師の負担を軽減するために（診療放射線技師法の適用上の疑義から慎重な態度を示している日本看護協会の意向

には沿わないが）リスク分散を試みる動きがある。

いて（以下「基発 1027 第 4 号」という。）

- なお、第 9 条第 3 項において、事業者は放射線業務従事者に同条第 2 項各号に掲げる線量を遅滞なく知らせなければならないこととされているが、事業場を離職する放射線業務従事者に対しては、当該離職する日までの同項各号に掲げる線量を知らせなければならないこと

エ) 現時点での線量合算方法

まず、異動前の線量結果を入手する必要がある。測定会社が異なる場合には、得られた情報に基づき、あらかじめ用意されているデータ登録をするための個人線量登録申込書を記載し、異動先が契約している個人線量測定サービス会社にデータ登録する。ただし、申込書への記入を誤ると、労働者に対して正しい線量管理ができず、誤った判断がなされることになりかねない。

このため、様式の簡素化が必要である。前の施設の法定管理帳票を送付することで個人線量測定サービス会社が申請書の作成を代行することも可能とする例がある。この例では、一度登録すれば送付される帳票上で線量が合算されることになる。このように「前の施設の法定管理帳票を送付すること」で必要な情報が得られるような手順の策定が求められる。

現場の負担感として、データの移行のために線量管理ソフトに測定結果を手入力する場面があ

る。手入力は避けた方が良いと考えられるが、実装されているデータ読み込みの機能が現場では活用されておらず、月毎に手入力することになっており強い不満が持たれていた。なぜ、現場が実装されている機能を利用しないかの原因を踏まえた対応が必要である。

また、誤りのないように入力するのが難しく感じるだけでなく、個人線量測定サービス会社からの帳票とは別に線量管理ソフトの数値を確認しなければならないので、管理が煩雑だと指摘されている。しかし、線量管理ソフトの数値は、共通するデータベースを用いてクラウドを介して共有すれば帳票とは同じであり一元的に管理はなされることになる。

これらはシステムの利用法の習熟とも関係し、ユーザー間での情報共有を促進させると良いと考えられる。

将来的には契約している個人線量測定サービス会社の帳票の線量に全ての線量が合算される方向にして欲しいとの意見が学術企画であった。自動で線量測定サービス会社を超えて名寄せされ、帳票の線量に合算されることを望むとの意見もあった。契約している会社から報告される帳票と線量記録の管理ソフトとの二重管理の負担感がこの意見の背景にある。

この意見は一元化を志向したものである。一元化は様々なレベルのものが想定されるが、現実的に可能なシステムを目指した検討が進められている⁵。

⁵ 菅井 研自, 草間 朋子. 放射線作業者の被ばく線量の一元管理（線量国家登録）に関する提案

<https://www.jriias.or.jp/books/cat3/2024/791.html>

そのハードルになっているものを特定し、その解消法を提案する必要がある。課題の解決に向けては、放射線以外の労働安全関係分野の動向も参考にするとよいだろう。健康管理手帳の例も参考になると思われる⁶。

その他の技術的な課題としては、送付される月々の外部被ばく線量の測定結果の報告書には前の累積線量は反映されないので、高い線量の者には別途報告書を作成する必要があることが懸念されている。レアなケースにはなるかもしれないが、異動元の事業所の責務として、累積線量が高い労働者の異動時の配慮として注意喚起しておくのが良いかもしれない。

オ) 現場での工夫例

新たに異動してきた医師を受け入れる医療機関において、医師の受け入れ時に、異動前に所属していた医療機関の管理者宛に個人線量記録に関する問い合わせする手順の導入例が産業医科大学から発表されている⁷。

カ) 改善に向けてのアイデア

放射線管理部門の担当者から個人線量測定サービス会社への問い合わせが可能になれば省力化に役立つとの意見があった。労働者の協力が得られると、異動前の医療機関の協力が得られると現行の契約でも機能すると考えられる。しかし、医療機関間の連絡が放射線管理部門の担当

者に計り知れない負担をもたらし、このままでは医療機関の放射線管理が瓦解するとのことであった。医療機関間の連絡の負担を減らすか、契約内容を見直し、異動前の医療機関の関与がなくても照会できるようになると良いと考えられる。労働者の協力は得られるとのことであったので、契約内容を修正すると実装が可能ではないかと思われた。

本データは、電離放射線健康診断個人票にも反映されるが、個人票自体がアナログ様式のため、データが活用できず手間が発生する。ここもまとめてデータ管理ができる体制にできるとよい。少なくとも機械判読可能な様式とすると良いのではないかと考えられる⁸。

キ) 線量限度を超過しそうな場合

異動してきた医師の線量限度超過への対応が懸念されていた。医師が異動してきた場合に、これまでに受けた線量が線量限度に近いかどうかは、労働者の作業管理上配慮すべきである。これまでに受けてきた線量が比較的高い場合には、作業計画を策定する上で、前の職場の放射線防護の最適化の確認も必要となる。そのため放射線管理部門の担当者へのヒアリングも重要になる。このような例では、保健所による立入検査の記録も参考になるかもしれない。

⁶ <https://jsite.mhlw.go.jp/kanagawa-roudoukyoku/content/contents/001358293.pdf>

⁷ 第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会での発表例

[2P32] 大学病院における医療従事者の放射線被ばく歴調査の事例紹介

⁸ 統計表における機械判読可能なデータの表記方法の統一ルールの策定

https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01toukatsu01_02000186.html

なお、医療資源に限られた地域では、その労働者自身が被ばくしないと地域の医療が回らないと説明している例があるとのことで、地方の資源も利用して医療機関内での組織的な取り組みにつなげる必要があるのではないかと議論が本院（国立保健医療科学院）の研修でもなされていた。

ク) 個人線量測定サービス会社が提供しているソフトウェア

個人線量の管理に役立つソフトウェアが各社から提供されている⁹。提供されているアプリで個人票の作成や素子のバーコード管理ができて便利との指摘が学術企画であった。

異動パターンが多様できめ細かい仕様を望む意見が学術企画であった。手順を定められると、その手順や運用の状況を医療機関への立入検査時に確認することも考えられる。

研修医等で6ヶ月ごとに転勤した医師は放射線診療従事者等として管理していない施設も混在し、複雑になるとの意見があった。ただし、放射線診療従事者等としての管理は短期間でも反復継続であれば必要であると考えられる。

ケ) 国内法令への取り入れが考えられる国際機関の文書が示す要求事項

i.防護の最適化

防護の最適化は、日常の放射線管理で重要な概念である。必要な資源をより必要な部分に割り当てて安全確保を図ることを目指している。労働者の防護の観点では、IAEA GSG-7

Occupational Radiation Protection では、7. MONITORING AND ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE でも以下のように扱われている。医療機関への立入検査の記録の確認でも反映できるだろう。

7.252. As well as use in demonstrating compliance with the legal requirements, record keeping may be used for several additional purposes, such as the following:

(a) Demonstrating the effectiveness of the optimization process;

(b) Providing data for the compilation of dose distributions;

(c) Evaluating trends in exposure and thus providing the information necessary for the evaluation of the radiation protection programme;

(d) Developing effective procedures and programmes for monitoring;

(e) Providing exposure data from new medical procedures and programmes;

(f) Providing data for epidemiological and research studies;

(g) Providing information that may be necessary for litigation related purposes or for workers' compensation claims, which can arise years after the actual or claimed exposure.

⁹ ACEGEAR NEO

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

日々の線量を確認するには以下にもあるように直読式の線量計も活用できる。

7.4. For controlling individual exposure on a day to day basis, or during a particular task, it should be considered whether it is necessary to use supplementary dosimeters of the direct reading type (i.e. active dosimeters). Direct reading dosimeters can provide estimates of an individual's dose with a frequency greater than that provided by typical routine dosimetry and can give information on dose rates. Such a dosimeter can be useful for optimization purposes.

このような直読式の線量計も最適化に役立てられる。しかし、日本では放射性同位元素宇藤の規制に関する法律施行規則第20条第2項第3号に基づく測定の信頼性確保への対応から日本放射線安全管理学会では使用が推奨されていない。事業所が管理する測定器の信頼性確保にはコストがかかることが懸念されていると考えられる。しかし、直読式の線量計はその場で線量が確認できるので迅速なフィードバックを可能とする。また、手軽に利用できるので一時立入者の管理でも活用されてきた。このように有益なツールは使えるように環境整備する必要がある。この学会内でも実用的な信頼性確保の方策が検討されている。測定の信頼性確保は重要であるが、耐容できる労働者のリスクを踏まえ

た、求められる不確かさを満足するような最適化が考えられる。

最適化の観点では線量が低い場合の対応の合理化も日本の課題になっている。医療法では特段の考え方は示されていないが、電離則の解説資料では、労働者が装着する線量計の数は、不均等被ばくかどうかで大きく分かれ、不均等被ばくかどうかは防護衣を着用しているかどうかでも判定される¹⁰。もちろん、防護衣の着用と不均等被ばくの判断は、本来は別である。また、IAEA SSG-46では、以下のように状況別の対応の考え方が示されている。(c)では、防護衣をいつも着用する場合、線量計は防護衣の外側とあり、防護衣を着用するかどうかだけで必要なモニタリングを規定していない。

3.112. For individual monitoring with only one dosimeter in diagnostic radiology and image guided interventional procedures the following recommendations are made:

(a) If the monitored worker never wears a protective apron, the dosimeter should be worn on the front of the torso between the shoulders and the waist.

(b) If the monitored worker sometimes wears a protective apron, the dosimeter should be worn on the front of the torso between the shoulders and the waist, and under the apron when it is being worn.

¹⁰

<https://www.mhlw.go.jp/content/000481094.pdf>

(c) If the monitored worker always wears a protective apron, the dosimeter should be worn on the front of the torso at shoulder or collar level outside the apron (see also para. 3.113), except if national regulations require the dosimeter to be worn under the apron.

(d) If the working situation is such that the radiation always or predominantly comes from one side of the person, such as in image guided interventional procedures, the dosimeter should be placed on the front front of the torso on the side closest to the source of radiation; the guidance in (a) to (c) should also be followed in this case.

また、線量が低い場合は、以下のように状況からの推定も許容している。

3.118. In some radiology facilities and for some individuals with a low level of occupational exposure (e.g. general dental practitioners), area dosimetry to estimate the level of dose per procedure can be an acceptable alternative to individual monitoring. With knowledge of the typical level of dose per procedure for positions where personnel are placed during exposures and the number of procedures per year, the RPO can estimate personnel doses.

また、作業環境モニタリングからの個人線量推定も可能としている。

3.119. Similarly, occupational doses can be estimated from the results of workplace

monitoring. The effective dose for personnel can be inferred from the measured ambient dose equivalent ~~/#~~(10). The ICRP [119] provides conversion coefficients from ambient dose equivalent to effective dose for different types of radiation and energy. The conversion coefficients for photons are close to unity except for very low energy photons, such as photons scattered from a mammography X ray beam.

ii.複数の事業所で働く労働者の管理

医療機関の従事者では複数の事業所に勤務することもある。この場合、個人線量計の管理をどうするかが課題となることがある。

IAEA GSR part3 では、複数の事業所で労働する場合の職業曝露の記録に関して (Records of occupational exposure)、それぞれ労働場所について雇用主に記録の義務を課している。

3.105. Records of occupational exposure shall include:

(c) When a worker is or has been exposed while in the employ of more than one employer, information on the dates of employment with each employer and on the doses, exposures and intakes in each such employment;

また、自身の情報へのアクセスの保障も求めている。

3.106. Employers, registrants and licensees:

- (a) Shall provide workers with access to records of their own occupational exposure;

ここで、国内の運用と齟齬が生じうるのは、異動時の情報のアクセス権で、異動前の医療機関が情報を把握していないタイミングでは、個人線量測定サービス会社に本人が照会しないと情報が得られないが、現在の契約ではそれが許されていない。個人情報保護法では保有個人データの開示が規定されており（第28条）、その対応が課題であると考えられた。

また、次項にあるように関連する他の雇用主の情報アクセスの確保も求められている。労働者が望む場合には、異動先からの照会だけではなく、異動元からのアプローチも求められるのではないだろうか。

- (b) Shall provide the supervisor of the programme for workers' health surveillance, the regulatory body and the relevant employer with access to workers' records of occupational exposure;

異動の際には情報共有の促しも求められている。現行規制では、基発 1027 第4号で「事業場を離職する放射線業務従事者に対しては、当該離職する日までの同項各号に掲げる線量を知らせなければならないこと」とあるが¹¹、情報の

共有に関しても認識を共通化するのが良いかもしれない。

- (b) Shall facilitate the provision of copies of workers' exposure records to new employers when workers change employment;

いずれにしても、事業所間での調整がポイントになると考えられるが、IAEA の文書ではそれを明示しており、国内規制での今後の改善点になるかもしれない。

- (d) Shall make arrangements for the retention of exposure records for former workers by the employer, registrant or licensee, as appropriate;

IAEA SSG-46 Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation では、複数箇所の事業所で働く労働者の管理として、医療分野の場合が記載されている。

3.123. Some individuals might work in more than one radiology facility. The facilities may be quite separate entities in terms of ownership and management, or they may have common ownership but separate management, or they may even have common ownership and management but be physically

¹¹ 基発 1027 第4号 令和2年10月27日厚生労働省労働基準局長 電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令等の施行等について

なお、第9条第3項において、事業者は放射線業務従事者に同条第2項各号に掲げる線量を遅

滞なく知らせなければならないこととされているが、事業場を離職する放射線業務従事者に対しては、当該離職する日までの同項各号に掲げる線量を知らせなければならないこと

quite separate. Regardless of the ownership and management structure, the occupational radiation protection requirements for the particular radiology facility apply when the person is working in that facility.

複数の医療機関で働く労働者の個人線量のモニタリングとして、それぞれ従事している職場から提供された線量計をその職場で用いるのが原則としている。もっとも、状況に応じた多様性も想定し、それぞれの職場の雇用主が同一である場合には線量計は一つでも対応が可能と考えることにも言及がある。ただし、その手法には欠点もあると説明されている。いずれにしても、事業所間での調整とされている。

As described in para. 3.106, a dosimeter issued for individual monitoring should be worn only in the facility for which it is issued, as this facilitates the effective optimization of protection and safety in that facility. This approach is logistically more easily implemented, since each physical site has its own dosimeters, and so there is no need to transport dosimeters between facilities, with the risk of losing or forgetting them. In cases where the facilities are under common ownership, it may be seen as an unnecessary financial burden to provide more than one set of dosimeters for staff that work in more than one of its facilities. However, the radiation protection advantages of having the dosimeter results linked to a person's work in only one radiology facility remain (see also para. 3.125).

iii. 職業曝露のモニタリングと評価

IAEA GSG-7 Occupational Radiation Protection では、「7. MONITORING AND ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE」において、「Record keeping for individual monitoring」が記述されている。

7.253. The individual occupational exposure record should be linked uniquely to the relevant worker.

個人線量管理の労働者の同定の一意性は、各事業所や各測定サービス会社では達成されている。

7.254. Dose records should preserve the consistency of data fields to enable the reconstruction of results at any later time. Dose records should permit coordination with other required records (e.g. they should permit a linkage with data from workplace monitoring).

iv. 線量拘束値

GSR part3 では、Dose constraints and reference levels の考え方が提示されている。しかし、日本では線量拘束値が制度化されておらず、その導入が課題である。

1.22. Dose constraints and reference levels are used for optimization of protection and safety, the intended outcome of which is that all exposures are controlled to levels that are as low as reasonably achievable, economic, societal and environmental factors being taken into account. Dose constraints are applied to

occupational exposure and to public exposure in planned exposure situations.

Dose constraints are set separately for each source under control and they serve as boundary conditions in defining the range of options for the purposes of optimization of protection and safety. Dose constraints are not dose limits: exceeding a dose constraint does not represent non-compliance with regulatory requirements, but it could result in follow-up actions.

v. 周辺監視区域

GSR part3 では周辺監視区域の概念が提示されている。我が国の医療機関では導入されていないが、段階的な管理のツールと活用の余地がある。

Requirement 24: Arrangements under the radiation protection programme

Employers, registrants and licensees shall establish and maintain organizational, procedural and technical arrangements for the designation of controlled areas and supervised areas, for local rules and for monitoring of the workplace, in a radiation protection programme for occupational exposure.

例えば GSR part3 での要求事項 25 の職業被ばく及び作業者の健康監視の評価での個人線量評価において、個人線量モニタリングが困難な場合の作業環境モニタリングの活用に関する注釈で、EU では管理区域立入と周辺監視区域立入で適用する評価を区分していることが述べられている。

vi. 作業環境モニタリング

作業環境モニタリングにおいても段階的な管理が想定されている。

3.96. Registrants and licensees, in cooperation with employers where appropriate, shall establish, maintain and keep under review a programme for workplace monitoring under the supervision of a radiation protection officer or qualified expert.

3.97. The type and frequency of workplace monitoring:

(a) Shall be sufficient to enable:

(i) Evaluation of the radiological conditions in all workplaces;

(ii) Assessment of exposures in controlled areas and supervised areas;

(iii) Review of the classification of controlled areas and supervised areas.

(b) Shall be based on dose rate, activity concentration in air and surface contamination, and their expected fluctuations, and on the likelihood and magnitude of exposures in anticipated operational occurrences and accident conditions.

個人線量の推定のために作業環境モニタリングデータの活用も想定されているが、国内では、この観点が十分ではなく、令和4年 地方分権改革に関する提案募集 提案事項での「医療法に基づくエックス線診療室等の漏洩線量定期測

定義務の見直し」では『エックス線診療室等から外部に放射線が漏洩する可能性はなく』放射線管理測定の実用性が乏しいとしているが、室外への放射線の漏えいは容易に検出できることがあるだけでなく、「放射線障害が発生するおそれのある場所」の「放射線の量」の測定として、「エックス線診療室」も位置づけられており、作業環境モニタリングとして位置づけられており、その観点を機能させる必要がある。この観点は測定だけではなく、計算での事前放射線安全評価も重要である。

D. 考察

個人線量管理の課題として、事業所間のデータの共有が手間になることが指摘されているが、個人線量測定サービス会社との契約内容を見直すことと個人線量測定サービス会社でのデータ管理の質を向上させることで現場の手間を軽減できると考えられる。

この課題に関連して、個人線量の一元管理の検討が進められているが、目的に基づいたシステムの設計を目指す必要があり、そのためには、検討に現場の意見を反映させると良いと考えられる。このためには現場の意見を集約する必要があり、学会や職能団体の総力を結集する必要がある。

国際原子力機関（IAEA）は、放射線防護の取り組みを推進しており、関係機関とも連携して医療関係の放射線の安全ガイドをまとめている。基本的な考え方が提示されており、それを

我が国の医療放射線管理にも反映させると良いと考えられる。

E. 結論

個人線量管理の課題として、事業所間のデータの共有を取り上げ、課題解決の方向性を示した。契約内容を見直すことと個人線量測定サービス会社でのデータ管理の質を向上させることで現場の手間を軽減できると考えられる。

国際原子力機関（IAEA）は、放射線防護の取り組みを推進しており、関係機関とも連携して医療関係の放射線の安全ガイドをまとめている。基本的な考え方が提示されており、それを我が国の医療放射線管理にも反映させると良いと考えられる。今後、反映させるべき項目を提示した。

F. 謝辞

ここでの検討は、第1回日本放射線医療技術学会大会の大会企画で実施された学術企画②（日本放射線公衆安全学会、日本放射線技術学会放射線関係法令委員会「放射線管理人材の育成」¹²）に関する開催時や開催前後の議論がベースになっている。この議論において個人線量測定機関協議会の各社の担当の方々から多大な支援を受けた。

また、国立保健医療科学院の医療放射線の適正管理に関する研修での受講者の意見にも言及した。

¹² 第1回日本放射線医療技術学会大会 2024年11月3日（日）10：00～11：50（第5会場（B5-7））

茨城県
令和6年度業務

立入検査 DX推進計画

2024年12月23日
茨城県中央保健所 菱沼

01

TABLE OF CONTENTS

- 01 背景と目的
- 02 茨城県の実施体制
- 03 課題の特定
- 04 改善提案
- 05 立入検査表の統合・電子化
- 06 業務削減効果
- 07 実施計画
- 08 作成した検査表
- 09 出力データ
- 10 参考資料

02

01 背景と目的

[背景]

保健所等は医療法第25条に基づき、医療機関に対し病院等立入検査を実施している。

立入検査において、**効率化（事前資料作成や立入検査時間の短縮）、標準化（同一検査項目における指摘内容の統一、保健所ごとの業務フローの統一）**が求められている。

立入検査を担当する行政職員は、立入検査における資質の向上と専門的知識が求められている。

[目的と重要性]

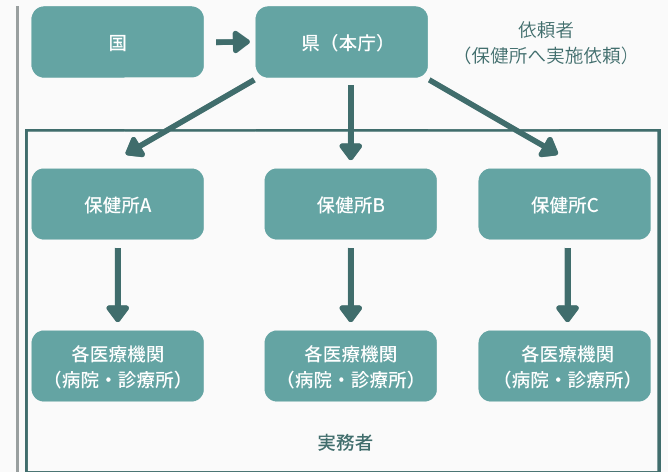
この業務改善プロジェクトの目的は、立入検査業務における効率化及び標準化、教育体制の確保を実現することです。

より効率的なワークフローを確立することで、行政職員の業務軽減を図ります。

さらに、**検査表として具体的な検査項目が一般公開されること**で、医療機関の自主検査を促すとともに、**それをういた研修体制を確保することにより、保健所職員の技能向上及び医療機関へのより有用な情報提供体制の確立**を実現します。

03

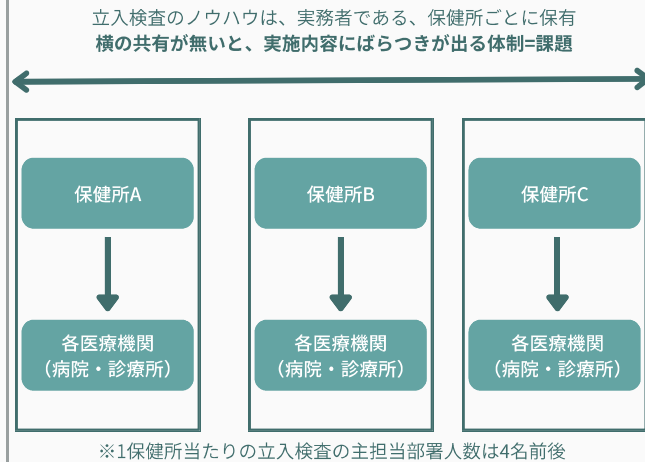
02 茨城県の実施体制1



04

02

茨城県の 実施体制2



05

03

課題の特定

[現行業務の課題や問題点]

県内非統一の検査項目

保健所ごとに異なる様式を持つ検査表※であり、指導事項に“ムラ”が生じる可能性がある。

※最低限確認が必要な基本項目は統一されているが、詳細項目が非統一

紙使用がベース

紙ベースで使用を想定された様式となっているため、非効率的・環境負担の大きい業務となっている。

検査員の技能“ムラ”

保健所職員が検査員となるが、初任者や医療未経験者が就任することがあり、経験者との指導内容に“ムラ”が生じている。また、所管する医療機関の管理体制をノウハウとしているため、保健所ごとにも経験差がでる。

06

03

課題の特定

[問題点]

課題/問題点	詳細
統一されていない検査表	保健所ごとに検査表の項目が異なるため、指導時に“ムラ”が生じる。
立入検査表の紙ベース使用	紙ベースで使用を想定されているため、結果取りまとめが非効率的である。
研修体制の不足	教育体制が不十分であり、検査員として自信を持った業務遂行が困難である。

07

04

改善提案

[各提案の具体的な内容と目的]

立入検査表の統合・電子化

茨城県病院等立入検査実施マニュアルを基として、各保健所の検査表の項目を統合。その後立入検査電子化を実装する。

目的

業務の効率化と精度向上
保健所間の情報共有の改善

行政職員の研修体制の構築

統一した検査表を見るだけで、医療機関が必要な管理体制を理解できる内容とする。また、検査表を基に、行政職員に対する研修を実施する。

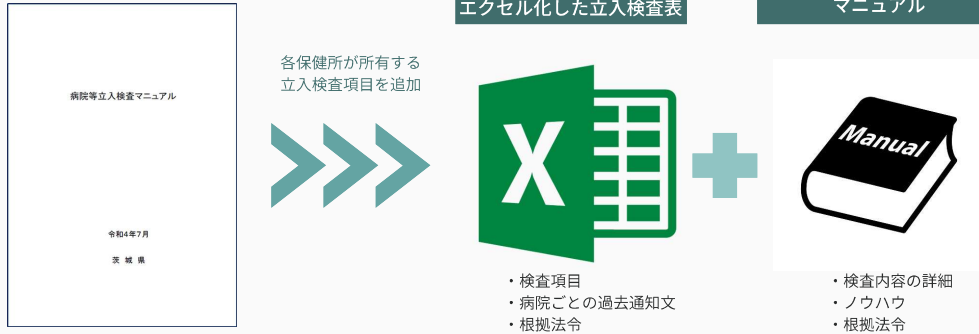
目的

立入検査員の技能向上
医療機関への情報共有の強化

08

05 立入検査表の統合・電子化

[病院等立入検査マニュアルの改訂]



09

05 立入検査表の統合・電子化

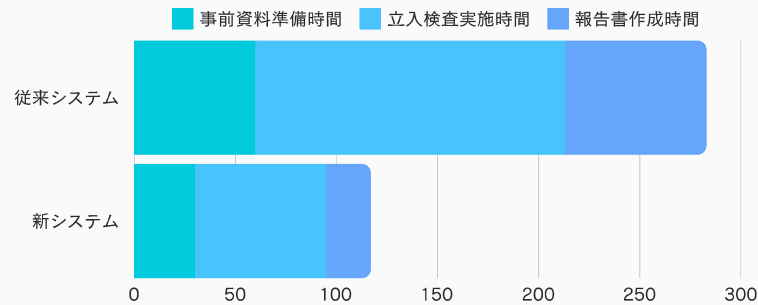
[報告フローの見直し]



10

06 業務削減効果

立入検査の業務時間（500床規模の医療機関1件当たりの時間）

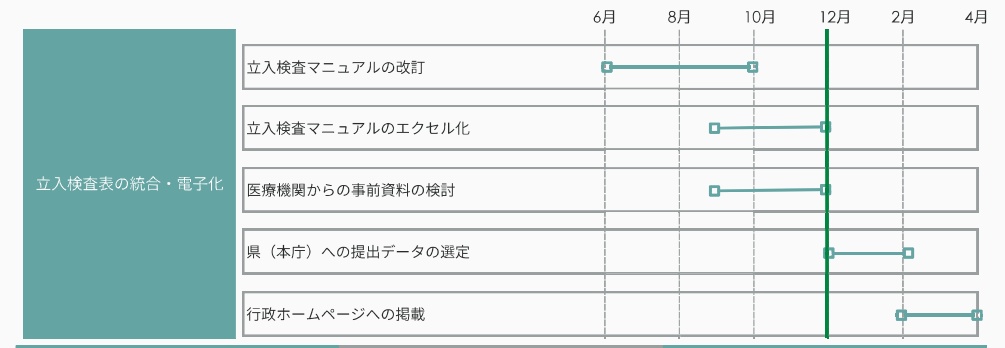


立入検査担当者1名の業務時間を示しています。
先行事例となる、茨城県中央保健所の業務内容から試算しております。
一人当たりの紙の消費量は前年度と比較し、**98.7%を削減可能**となります。

11

07 実施計画

[改善提案の検討時期とスケジュール]



12

10

参考資料

医療機関への立入検査と保健所機能に関する現状と課題

- ・日本公衆衛生雑誌 2003;3:244-255
- ・佐藤牧人,森泉茂樹,長屋薫,他

保健所による立入検査を医療機関はどう受け止めているか

- ・日本公衆衛生雑誌 2005;2:158-168
- ・佐藤牧人,森泉茂樹,桜山豊夫,他

医療機関立入検査必携

- ・日本公衆衛生協会
- ・古屋好美（編集）

17

11

※参考 茨城県医療機関情報集約システムの構築



（方法）
kintoneを用いて、各種アプリケーションを自社開発し、各アプリケーションを連携する。



（目標）
本庁各課、各保健所に散らばっている情報を一元管理。
・業務において、即時対応が可能
・所属間の照会、回答業務を不要とする
・類似事例が検索可能となり、業務効率化

令和7年度業務改善計画に盛り込めないか検討中

18

ご静聴ありがとうございました。

19

国際原子力機関から提供されている放射線事故の分析

目次

A. 目的.....	2
B. 方法.....	2
C. 結果.....	2
事例 1 : Exposure from a Medical Treatment Source	3
事例 2 : Worker Overexposure.....	4
事例 3 : Worker Exceeded Annual Dose Limit	5
D. 考察.....	5
事例 1 : Exposure from a Medical Treatment Source	5
事例 2 : Worker Overexposure.....	6
事例 3 : Worker Exceeded Annual Dose Limit	6
これらの事例の教訓	8
事故の教訓から学ぶことの限界.....	9
医療分野での放射線管理の改善.....	9
労働衛生マネジメントシステム.....	10
E. 結論.....	11

A. 目的

国際原子力機関（IAEA）は加盟国から報告された事故事例をウェブページで公開しているⁱ。

この事故事例を用いて 2022 年から 2024 年に報告された医療関係での事故の情報を確認し、事故後の対応のあり方を明らかにする。



B. 方法

IAEA の HP から提供されている事故事例を確認した。

C. 結果

このページから直接リンクされている事例は 2024 年 12 月 31 日時点で 21 件でありⁱⁱ、医

ⁱ <https://www-news.iaea.org/Default.aspx>

ⁱⁱ リンクされている期間は 2 年間である。

療分野は 21 件中 3 件であった。

表 1 IAEA から情報提供されている事故の分野別の件数

分野	件数
原子力	5
自然	1
非破壊検査	12
医療	3
合計	21

医療分野の 3 件について概要を示す。

事例 1 : Exposure from a Medical Treatment Sourceⁱⁱⁱ

MIBG (Metaiodobenzylguanidine) を用いた治療のために既に I-131 を 7,400 MBq 投与された患者に、患者の取り違いにより誤って、I-131 を追加で 5,550 MBq 投与した事例であり、甲状腺の追加吸収線量は 15.6 Gy から 24.4 Gy の間にとどまったとされている。

標準代謝モデルを用いると膀胱壁: 4.18 Sv、胃の粘膜: 1.65 Sv、胸郭外の呼吸気道: 0.825 Sv、胸腺: 0.825 Sv、その他の臓器: 0.66 Sv となり、実効線量は 121 Sv と推定される。

ⁱⁱⁱ <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=70828884-6328-4bd1-98b3-77196257dabd>

患者の取り違えの事例は放射線治療でも報告例があり、対策が進められている。取り違えに対しては DX（デジタルトランスフォーメーション）化による対策例もある[1]。

患者の取り違えと例示した例では、数値の誤認例が知られている。シリンジに吸った ^{99m}Tc をドーズキャリブレーションで測定したところ、計測値は 0.6 GBq と表示されていた。それを 60 MBq であると誤認し、その量を DMSA キットと混合して調剤したため、予定投与量の 10 倍の放射線性医薬品を誤投与することとなった事例が報告されている。この事例では、投与前の注射器の γ カメラによるカウント測定を失念して行っていなかったことが重なっている。ただし、その点を放射線技師に指摘され、投与前のシリンジカウント再現のため、同量の ^{99m}Tc をシリンジに吸ってカウント測定を行おうとし、その際、他の放射線科医からシリンジに吸う量が多いことを指摘され、過剰投与の可能性が指摘されている。結局、投与後シリンジに残った放射線量が 17 MBq と通常より多いことから、過剰投与であることが分かったという事例である。このようにこの事例では、手順逸脱に関する同僚からの指摘が問題の気づきに寄与している。

なお、放射性医薬品の取り扱いでも、これまで関係者間での協議が続けられてきた経緯がある。放射性医薬品取り扱いガイドラインでは、これまで様々な標準化の取り組みがあったことを踏まえた上で、「わが国における放射性医薬品の安全な取扱を推進していくには、チーム医療として共通の指針が必要なことは論を待ちません。そこで、本学会、日本核医学会、日本放射線技師会ならびに日本病院薬剤師会の 4 団体によるワーキンググループを編成し、標記ガイドラインの作成に向けて検討を続けてまいりました。」とし、平成 23 年 6 月 10 日付で、ガイドラインが策定され、4 団体のホームページ上での公開に至っている。

この放射性医薬品取り扱いガイドライン第 3.2 版では、「この検査に使用される放射性医薬品は、医薬品医療機器等法（医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律）に定められた医薬品であるため、その調製は薬剤師が行う必要がある。」としており、薬剤師の関与を求めている。

事例 2： Worker Overexposure^{iv}

米国の放射性医薬品の製造工場で 2022 年 9 月から 12 月の間に装置の不具合があり、それが引き金となって F-18 が充填されたシリンジが遮へい容器に収まらずに床に落下した事例である。この期間は手順が変更され、マニュアルでシリンジを遮へい容器に収納する手順となっていたが、この手順の変更は radiation safety officer によって確認されていなかった。作業員の実効線量は 0.08 Sv で米国の実効線量限度（0.05 Sv）を超えたが、手指の線量は等

^{iv} <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=70f05a3b-0fe4-40bb-bfc5-f347ef81eace>

価線量限度を超えなかったとされている。

事例 3 : Worker Exceeded Annual Dose Limit^v

自動合成装置内の窓を開けたところ、装置内の圧力が増加していたことにより F-18 が飛散し、上半身が汚染された事例である。汚染後 3 分から 5 分以内に除染を試みたものの、皮膚の基底細胞層への線量当量は 0.9 Sv と推定された。米国の事例であるが、米国でも皮膚の等価線量限度は 0.5 Sv であるので法令逸脱事例となっている。

D. 考察

まずそれぞれの事例の分析を示す。

事例 1 : Exposure from a Medical Treatment Source

報告ではもっとも放射線に曝露したと考えられる臓器の線量を示したと考えられる。ヨウ素が遊離したと仮定し、標準代謝モデルを用いると膀胱壁: 4.18 Sv、胃の粘膜: 1.65 Sv、胸郭外の呼吸気道: 0.825 Sv、胸腺: 0.825 Sv、その他の臓器: 0.66 Sv となり、実効線量は 121 Sv と推定される。

患者の取り違えの事例は放射線治療でも報告例があり、対策が進められている。取り違えに対しては DX 化による対策例もある[1]。

患者の取り違えと類似した例では、数値の誤認例が知られている。シリンジに吸った ^{99m}Tc をドーズキャリブレーションで測定したところ、計測値は 0.6 GBq と表示されていた。それを 60 MBq であると誤認し、その量を DMSA キットと混合して調剤したため、予定投与量の 10 倍の放射性医薬品^{vi}を誤投与することとなった事例が報告されている^{vii}。この事例では、投与前の注射器の γ カメラによるカウント測定を失念して行っていなかったことが重なっている。ただし、その点を放射線技師に指摘され、投与前のシリンジカウント再現のため、同量の ^{99m}Tc をシリンジに吸ってカウント測定を行おうとし、その際、他の放射線科医からシリンジに吸う量が多いことを指摘され、過剰投与の可能性が指摘されている。結局、投与後シリンジに残った放射線量が 17 MBq と通常より多いことから、過剰投与であることが

^v <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=fd9d0e41-e7b1-49a5-a461-709ecd014138>

^{vi} 元の出典では「放射線医薬品」となっていた。法令では、「放射性医薬品」が用いられている。

^{vii} <https://www.mhlw.go.jp/content/11120000/000495934.pdf>

分かったという事例である。このようにこの事例では、手順逸脱に関する同僚からの指摘が問題の気づきに寄与している。

なお、放射性医薬品取り扱いでも、これまで関係者間での協議が続けられてきた経緯がある。放射性医薬品取り扱いガイドラインでは、これまで様々な標準化の取り組みがあったことを踏まえた上で、「わが国における放射性医薬品の安全な取扱を推進していくには、チーム医療として共通の指針が必要なことは論を待ちません。そこで、本学会（注：日本核医学技術学会）、日本核医学会、日本放射線技師会ならびに日本病院薬剤師会の4団体によるワーキンググループを編成し、標記ガイドラインの作成に向けて検討を続けてまいりました。」とし、平成23年6月10日付で、ガイドラインが策定され、4団体のホームページ上での公開に至っている。

この放射性医薬品取り扱いガイドライン第3.2版では、「この検査に使用される放射性医薬品は、医薬品医療機器等法に定められた医薬品であるため、その調製は薬剤師が行う必要がある。」としており、薬剤師の関与を求めている。

事例2：Worker Overexposure

放射性医薬品が入った容器が落下した事例^{viii}は日本でも報告されている。事業所内の機器のトラブル時に代替措置を講じた際、その代替措置の安全性の不十分さが露呈した事例も報告が相次いでいるので、そのような状況の構造的な脆弱性への対応が課題となる。

事例3：Worker Exceeded Annual Dose Limit

自動合成装置でのトラブルは、日本でも過去に報告されている^{ix}。ただし、当時の文部科学

^{viii} 一般総合病院において作業員1名が、PET 薬剤を生成中に放射性同位元素(炭素 11)の入った小瓶を落下させ、当該放射性同位元素が室内に漏れ出し、0.05 mSv の被ばくが発生した（2020年12月（宮崎県））。

^{ix}

http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/4019756/www.mext.go.jp/a_menu/anzenkakuho/news/trouble/1268575.htm

http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/4019756/www.mext.go.jp/a_menu/anzenkakuho/news/trouble/1268551.htm

http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/4019756/www.mext.go.jp/a_menu/anzenkakuho/news/trouble/1268541.htm

省の原子力安全課長通知[2]では、以下に抜粋したとおり事業所のモニタリングを確認するとあるが、事故の根本原因に踏み込んだものとはなっていない[3]。

『今後実施する法第 12 条の 10 に基づく定期確認においては、排気監視設備による測定及び監視を行うことにより排気に係る放射性同位元素の 3 月間平均濃度が法令で定める濃度限度を超えていないこと及び排気監視設備の校正等に関する記録を確認することとします。』

なお、前述の「排気監視設備の校正等に関する記録を確認する」とは、排気設備において排気中の放射性同位元素の濃度を測定することが技術的に困難であることを示しているとも考えられる。運用の困難さからは、安全側の設定とし、タイプ 2 エラーをある程度容認せざるを得ないとも考えられる。この観点は、加速器施設での中性子曝露による異常表示の誤作動とも同様の構造にある。

また、気体の放射性物質の取扱いでは、『塩化ラジウム (Ra-223) 注射液を用いる内用療法の適正使用マニュアル』での Rn-219 の空気中への飛散で課題が露呈した経緯がある。マニュアルでは「Rn-219 ガスは、注射液中に完全に溶解していると結論される」とあるが、これはある条件下では、液体の中でも存在しうることを示すに過ぎず、例えばラドン温泉では水中ラドンから液面までの距離が短いとラドンは気体へ変化し、室内に移行するような例もある[4]。事実、Ra-223 の使用を開始した医療機関では、放射線管理測定で Rn-219 以下の子孫核種を確認することになり、結果として電子添文（電子化された添付文書）での患者の肺の吸収線量の改訂などに至っている（肺の吸収線量の平均値は改訂前：0.0323 mGy/MBq、改訂後：1.17 mGy/MBq、肺の変動係数は改訂前：18、改訂後：-）。本件は、当初から懸念する意見があったが、患者周辺での空気中濃度が計測されており[5]、初期の実証実験の条件が適切でなかったことも課題として指摘できるだろう。なお、その後 At-211 でも検証実験がなされている[6]。

法令適用上は、等価線量の定義の問題も指摘できるだろう。等価線量は、定義上、注目する組織や臓器の平均吸収線量に基づいている。しかし、ここでは組織反応も課題となり、ある程度の領域内に限定した吸収線量も意味を持つ。このため、米国政府は、等価線量ではなく、（弱透過性を考慮した）線量当量を用いている。この姿勢は妥当であるが、同様に、皮膚の局所の吸収線量が課題となった事例での IAEA への報告では、「The exposure assessment due to this event is still being examined by experts, and no final assessment has been made at this time. We will report as soon as the evaluation is finalized.」となったままである^x。その後、第 50 回日本集中治療医学会学術集会において関係者からの皮膚の吸収線

^x <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mid=fb4ba5bc-9926-4b7b-af1f-91bd61a85d7f>

量の推計値が提示されていたが、政府機関からの公表時には皮膚に関して、吸収線量も等価線量も示されてはいない^{xi}。

なお、この事例では、当初の政府機関での報告では、労働者の線量がより保守的に 16,293 mSv と推計されていた^{xii}。当初は粗く安全側に推計し、より情報が収集された段階で現実的な推計に切り替えるのは望ましいことである。ただし、この事例では粗く見積もっているにも関わらず端数を処理していない値を示している等、初期の有効数字の示し方に課題があると考えられる。

この事例では、装置内の圧力異常が生じていたが、圧力勾配の異常は日常の放射線管理でも気づかれることがある。第 12 回日本放射線安全管理学会学術大会で発表された内容に対して、以下のようにまとめられている^{xiii}。

『日常の放射線管理から生まれた“発見”もあった。土居亮介氏（久留米大学）は定期的な作業環境測定中に管理区域全体に ^{18}F -FDG 合成に起因した ^{18}F の空気中濃度が上昇していることに気づいた。調査の結果屋上排気口から吸気口への再流入が原因であることが判明した。大学当局により排気口の向き等を変える等の対策が講じられた。定期的な測定の重要性を再認識するものであった。』（岡山大学自然生命科学研究支援センター 小野俊朗）

サイクロトロン施設では排気設備の管理でも様々な事象への対応が必要であり、トレンドデータ解析を踏まえたトラブル対応事例の共有が有用だろう。

これらの事例の教訓

事例 1 は患者の取り違いによるが、このような構造の事故は日本でも相次いでいる。日本で類似事例では、同僚からの指摘で、逸脱に気づかれている。このことは、チームワークにおける率直なコミュニケーションの重要性を物語っている。また、チームワークを機能させるためには、その業務に相応しい職種も関わることが求められる。

事例 2 は何らかの問題が生じた場合の対応の課題を提示している。手順を変更した場合の確認を促進するには、変更手続きに対する過度な負荷を下げ、見直しを推奨する必要がある。このためには、変更手続きにおける関係者の負担を軽減するような情報科学の活用も考え

^{xi} <https://www.mhlw.go.jp/content/11201250/001212204.pdf>

^{xii} <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2024/20240122en.html>

^{xiii} https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm/13/1/13_15/_pdf/-char/ja

られる。

事例3は同一製造会社で事例が相次いだもので、消耗品の管理に見直しで、その後は発生しておらず、消耗品の劣化の管理に課題があったと推察される。このことは劣化を察知するトレンド観察の重要性を示唆しているが、急激な劣化に対してはそれも無力である。ダメージを軽減するためには、通常と異なる挙動を示す際に、それを率直にアピールできることが必要となる。

これらは放射線安全に特有のものではなく医療全体においても当てはまるものであり、医療安全の原則の重要性を物語っている。つまり、「安全な医療を提供するための10の要点」^{xiv}の教訓を示している。この観点からも、医療機関内での放射線管理部門と医療安全分野の連携が求められる。

事故の教訓から学ぶことの限界

事故の教訓から学ぶとの考え方は、失敗には原因があるという発想に基づくが、事故の原因はいつも単純であるとは言えない。複雑な要因がある際は、失敗に至った手順・要素を漏れなく重複無く分解することによって真因を分析し、再発防止の対策を考える必要がある。一方で異なる観点として異なる観点として、成功事例から学びを深めることも重要であり、この考え方と類似したものとしてレジリエンス・エンジニアリングの考え方の普及も重要となる。事故の予測は困難を伴うが、過去の事例は、事象発生時の対応の訓練にも役立てることができる。

医療分野での放射線管理の改善

医療分野の放射線管理は改善しつつある。眼の水晶体の線量限度超過レベルは2021年度から2023年度の三年間で眼の水晶体用線量計使用者の9.5%から3.1%に低下した(図1)。

^{xiv} <https://www.mhlw.go.jp/topics/2001/0110/tp1030-1f.html>

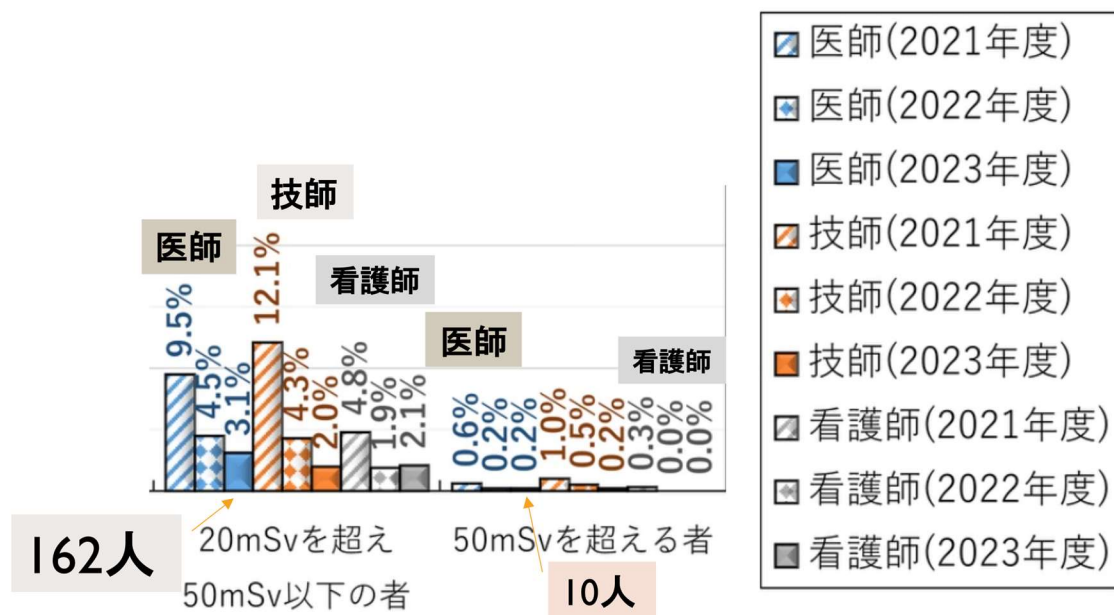


図 1 2021 年度から 2023 年度の眼の水晶体の推移

ただし、実効線量が 50 mSv を超過する労働者も確認されており（表 2）、課題として残っている。

表 2 2023 年度の一般医療での実効線量

2023 年度の実効線量	一般医療
20 mSv – 25 mSv	52 人
25 mSv – 50 mSv	65 人
50 mSv 超	11 人

労働衛生マネジメントシステム

これまでの事故事例を見ると、再発を防ぐためには業務に従事する個人の努力だけでは不十分であることがわかる。放射線を利用する医療機関が組織として放射線リスクマネジメントを展開していくことが重要となる。つまり、適切なマネジメントシステムを放射線管理

でも実装していく必要があり、例えば労働衛生マネジメントを利用することが考えられる^{xv}。

E. 結論

国際原子力機関（IAEA）では加盟国から報告された医療関係での放射線事故事例を分析した。これらの事例は事故後の対応のあり方も含めて「安全な医療を提供するための 10 の要点」の重要性を示しており、放射線管理部門と医療安全部門の連携が推奨される。事故による被害を抑制するには、コミュニケーションを保ち、労働衛生マネジメントシステム等を機能させるのが有益だと考えられる。過去の事例は、事象発生時の対応の訓練にも役立てることができる。

参考文献

1. 佐藤充, 星野洋満, 清水正挙, 大崎洋充, 小倉敏裕, 市川翔太, et al. 複合現実装置を用いた患者への放射性医薬品誤投与防止のための患者-放射性医薬品照合システムの開発—複合現実装置搭載カメラで取得した映像を基にした深層学習モデルの開発—. *Radioisotopes*. 2025;74:25–37.
2. 文部科学省. 陽電子断層撮影法に用いられる放射性同位元素を製造する放射線発生装置及び合成装置に係る安全管理の徹底に関する通知の発出について [Internet]. 2008 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/2611605/www.mext.go.jp/a_menu/anzenkakuho/news/boushihou/1269687.htm
3. 榎本 和義. 最近の事故事例から学ぶ放射線安全管理『第 7 回 日本放射線安全管理学会 (2008 年) 企画セッション 2』. 日本放射線安全管理学会誌. 2009;8:37–8.
4. Yasouka Y, Ishikawa T, Tokonami S, Takahashi H, Narazaki Y, Sinogi M. A case study on the effect of water from groundwater sources on indoor radon levels. *J Radioanal Nucl Chem*. 2008;275:165–72.
5. Yamamoto S, Kato K, Fujita N, Yamashita M, Nishimoto T, Kameyama H, et al. Detection of alpha radionuclides in air from patients during Ra-223 alpha radionuclide therapy. *Sci Rep*. 2018;8:10976.
6. TOYOSHIMA A, NAGATA K, OOE K, ZHANG Z, IKEDA T, ICHIMURA S, et al.

^{xv} <https://www.rad-ms.mhlw.go.jp>

Dispersal rates of astatine-211 from aqueous solutions and chloroform. Radiation Safety Management. 2019;18:16–22.

α 線放出核種による生体内での中性子生成

目次

1. はじめに	1
2. 方法	2
ア) 核種	2
イ) 生体の幾何学的条件	3
ウ) 生体を構成する同位体	3
3. 結果	4
4. 考察	5
5. 結論	6

1. はじめに

核医学治療において α 線放出核種の利用の増加が見込まれている。 α 線は原子核との相互作用で中性子を発生する。 (α, n) 反応で発生する中性子の量について国内の資料では明示的に扱われていない。そこで、 α 線放出核種を用いた核医学治療で、体内で生成する中性子の量を見積もった。

2. 方法

α 線放出核種を用いた核医学治療のうち Ac-225 を想定し、粒子・重イオン輸送計算コードである PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) の ver3.34[1]を用いて、生体内で発生する中性子の量を求めた。追跡のカットオフエネルギーを中性子では 1.0×10^{-10} MeV、光子と電子では 10 keV とした。

ア) 核種

Ac-225 は壊変時に 5.830 MeV の α 線を放出する。壊変系列中では Po-213 からの壊変時に 8.377 MeV の α 線も放出する。これらの壊変列中において Bi-209 からの壊変時を除く α 線が生体を構成する原子の原子核に入射されることを想定した。

Ac-225 の壊変時に放出される放射線のエネルギーを図 1 に示す。Ac-225 の半減期として 10 半減期が経過した際に、Ac-225 以下の壊変系列の放射性核種からの壊変時に放出される放射線を図 2 に示す。経過後で Ac-225 の壊変による減少を補正しており、Ac-225 以下の子孫核種が放射平衡になっている。これらの図は 1 MBq の Ac-225 と放射平衡にある子孫核種があった場合の 1 秒間の観察に相当する。

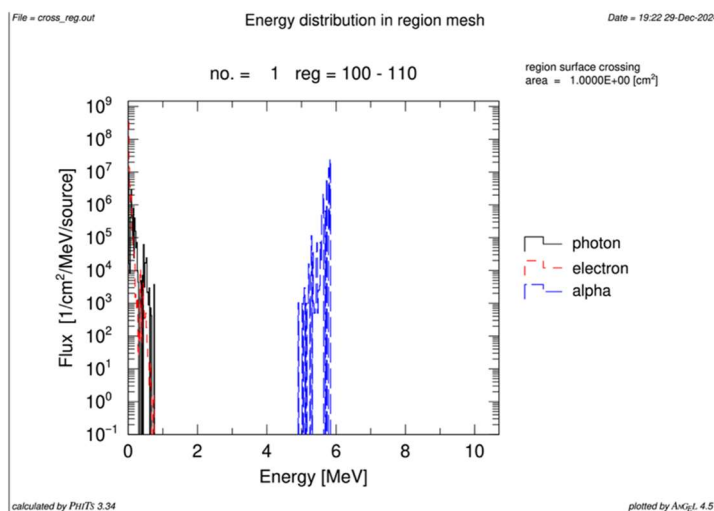


図 1 Ac-225 から放出される放射線

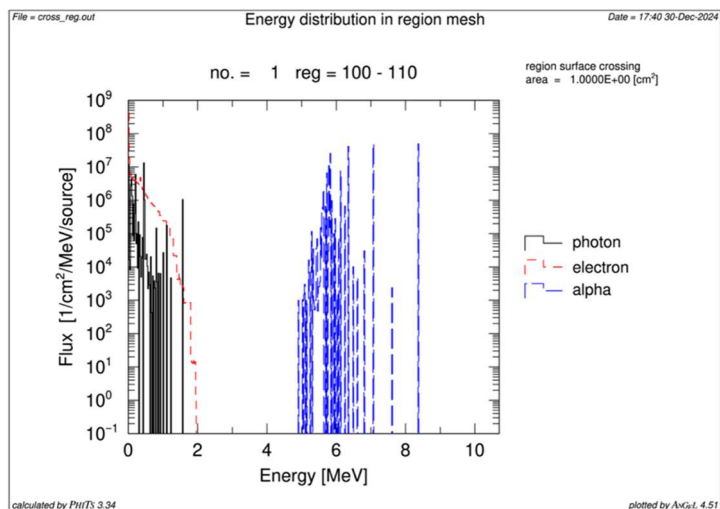


図 2 10 半減期経過時における Ac-225 壊変系列から放出される放射線（Ac-225 の壊変による減少は考慮していない）

イ) 生体の幾何学的条件

半径 5cm で高さ 10cm の水でできた円柱を人体と見なした。Ac-225 をこの円柱に均一に分布させた。その周囲を半径 210 cm の空気で覆った。

ウ) 生体を構成する同位体

以下の元素が数値で示される質量比で存在するとした¹。各元素の同位体は天然存在比で存在するとした（表 1）。

表 1 計算で仮定した生体を構成する元素の質量比

元素	質量比
H	10
O	61
C	23

¹ https://atomica.jaea.go.jp/data/fig/fig_pict_09-01-01-07-01.html

N	2.6
Ca	1.4
S	0.2
P	1.1
Mg	0.027
Na	0.14
K	0.2
Cl	0.12
B	4.2e-05
F	0.00252

吸収線量の計算

人体を模擬した円柱（半径 5cm で高さ 10cm の水）とその中心である原点から距離 1m の空気の領域のそれぞれで吸収線量を求めた。空気の吸収線量の計算領域は半径 99 cm と半径 101 cm の球の間とした。

3. 結果

人体（半径 5cm で高さ 10cm の水でできた円柱）の吸収線量と人体の中心から距離 1m での空気の吸収線量を表 2 に示す。

人体内での中性子の吸収線量は全体の吸収線量の 3×10^{-8} であった。一方で人体の中心から距離 1m での空気中では、全体の吸収線量の 9×10^{-7} であった。

表 2 人体の吸収線量と人体の中心から距離 1m での空気吸収線量の人体の吸収線量に対する比（人体の吸収線量を 1 としている）

	全て	中性子	β 線・電子	α 線
人体	1 ± 0	$2.9 \times 10^{-8} \pm 1 \times 10^{-9}$	$2.4 \times 10^{-2} \pm 0$	$9.7 \times 10^{-1} \pm 0$
人体の中心から距離 1m の空気	$9.1 \times 10^{-6} \pm 7 \times 10^{-9}$	$7.9 \times 10^{-12} \pm 3 \times 10^{-13}$	$9.1 \times 10^{-6} \pm 7 \times 10^{-9}$	0 ± 0

人体から放出される放射線のエネルギー分布を図 3 に示す。高速な中性子も放出されるがフルエンスが光子に比べると小さい。

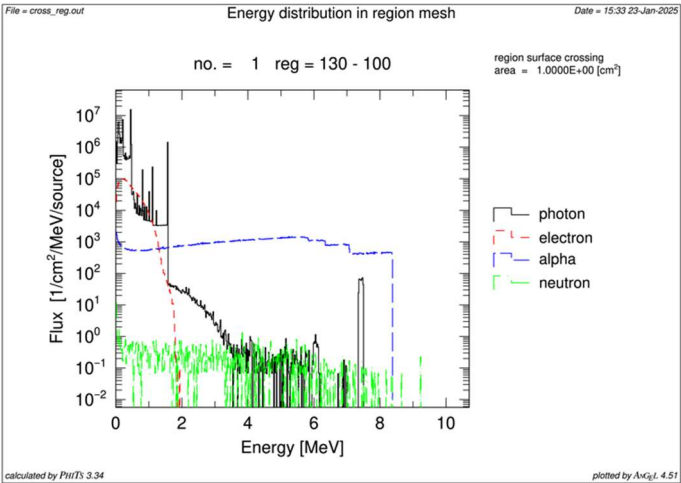


図 3 人体から放出される放射線のエネルギー分布

4. 考察

Ac-225 を用いた核医学治療では、人体を構成する元素と α 線の相互作用により生体内で中性子が生成される [2]。この事実は、日本核医学会により 2024/11/6 に承認された「アクチニウム-225 標識 PSMA-617 注射液を用いる核医学治療の治験適正使用マニュアル」には記載がない。また、他の α 線放出核

種でも、同様に中性子が生じ得るがこれまで明示的には議論されてこなかった。その理由は中性子による人体への影響が明らかに小さいと考えられたからである。

ここでの計算により人体及び人体の中心から距離 1m の空気の中性子の吸収線量は、生体内や周辺の空気中で十分に小さく、確かに放射線防護上は無視できると考えられた。

今後、より中性子の生成量が多いと考えられる元素を含む物質を人体内に挿入するような場合（何らかの医療機器機等として使用するなど）や中性子に対して感受性が特段に高い部品を用いた医療機器を人体内に挿入する場合にはこのような方法で事前にリスクを推計できる。

5. 結論

Ac-225 を用いた核医学治療では、生体内で中性子が生成されるが、その量は十分に小さく放射線防護上は無視できると考えられる。そのため、Ac-225 を使用した核医学治療の放射線防護について検討をする際には中性子による影響を考慮する必要はないと思われる。

参考文献

1. Sato T, Iwamoto Y, Hashimoto S, Ogawa T, Furuta T, Abe S-I, et al. Recent improvements of the particle and heavy ion transport code system - PHITS version 3.33. J Nucl Sci Technol. 2024;61:127-35.
2. Murata T, Shibata K. Evaluation of The (α , n) Reaction Nuclear Data for Light Nuclei. J Nucl Sci Technol. 2002;39:76-9.