

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）

「新たな治療手法に対応する医療放射線防護に関する研究」

（H28-医療一般-014）（研究代表者：細野 眞）

平成 30 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 大山 正哉 独立行政法人国立病院機構 東京医療センター  
小高喜久雄 公益財団法人原子力安全技術センター  
坂下 恵治 地方独立行政法人りんくう総合医療センター  
谷垣 実 京都大学複合原子力科学研究所 粒子線基礎物性研究部門  
成田 浩人 東京慈恵会医科大学附属病院  
藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門

#### 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) ハイブリッド手術室など新しい形態の放射線診療での放射線安全対策、(2) X線CT装置の遮へい評価法、(3) 管理測定の適正化、(4) Ra-223の放射線管理、(5) その他の課題項目である。

##### 【結果及び考察】

(1) 放射線診療で用いる室を多目的に使うことを想定した場合の放射線防護の考え方を整理し、このうちハイブリッド手術室に関するものは現場に支持されていると考えられた。救急診療でのハイブリッドER(emergency room)システムではIVR-CTが組み合わされているが、診療の特性から迅速な対応が必要であり、それに救急の特性を考慮した放射線安全が現場で試みられており、その共有化を図る必要がある。また、診療用粒子線照射装置使用室での移動型X線CT装置の利用も可能とするように措置すべきと考えられた。(2) 米国NCRP Report No. 147を参考にし、日本での実測値を基にして作成したガイドライン案を更新し、エネルギースペクトルの硬化も考慮した修正を行った。(3) 遮へい壁外側での管理測定の頻

度に関し検討し、近年、遮へい壁劣化の事例が報告されていない一方で施工時の問題が発生し得ることから、施工の際の確認を確実に行うことで、今後、管理測定の高頻度に関して段階的な管理を取り入れてもよいのではないかと考えられた。(4) 医療機関での放射線管理のデータを解析し、Rn-219以下の放射性核種が室内空気中から検出できることを確認し、従事者の線量推計を試みた。(5) 介助が必要な患者の検査時の医療安全上の配慮から室内操作を認めるかどうかを検討し、現行規制上も近接での撮影が必要な場合との整理で可能とし得るが、散乱体周辺の線量分布を考慮すると眼の水晶体の等価線量限度の引き下げが予定されており、単純撮影の介助でも放射線防護に配慮が必要であると考えられた。

#### 【結論】

医療現場での放射線管理の課題に対して、関係者の理解が得られる具体的な規制整備の方向性や管理手法を提示した。

### 1. 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ことを目的とした。

### 2. 方法

本研究では、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おける課題を明らかにするために、新しい医療技術の取り入れなどに伴い法令適用のあり方に関して行政機関に相談される事例を中心に検討対象課題を抽出し(表 1)、これまでにを行った調査結果に基づき、その解決策を文献的な検討も踏まえ提示した。この結果を質問紙法により確認するとともに先進的な試みを行っている医療機関への訪問調査も日本救急撮影技師認定機構及び救急医学分野でのHybrid Emergency Room System (HERS) 研究会の協力を得て行った。質問紙調査では、これまでに整理された論点や

意見について、同意できるところと同意できないところを確認した。質問紙調査は、日本診療放射線技師会平成30年度 第2回放射線被ばく相談員講習会及び日本放射線公衆安全学会第28回講習会の参加者及びスタッフを対象に行った。また、訪問調査では、協力者に対してインタビューの目的が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ための現状把握であると説明し、先進的な事例での行政の対応などに関して率直なご意見を伺った。

本研究のうち質問紙法及び訪問調査は、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# 12139)。

表 1 検討対象課題

1. X線装置の利用の多様化等への対応
2. X線CT装置の遮へい評価法
3. 管理測定の適正化
4. Ra-223の放射線管理
5. その他

### 3. 結果及び考察

#### 1) X線装置の利用の多様化等への対応

##### a) 質問紙調査の対象者

質問紙調査の対象とした日本診療放射線技師会平成30年度 第2回 放射線被ばく相談員講習会及び日本放射線公衆安全学会第28回講習会の参加者及びスタッフは全部で70名であり、このうち62名から回答が得られた（回収割合89%）。これらの集団は放射線管理や放射線防護に関して関心が高いと考えられる。

##### b) 訪問調査の対象者

日本救急撮影技師認定機構及び救急医学分野でのHybrid Emergency Room System (HERS) 研究会の協力を得て、大阪府泉州救命救急センター、兵庫県災害医療センター、大阪急性期・総合医療センターをそれぞれ訪問した。また、Hybrid Emergency Room System (HERS) 研究会からもご意見を伺った。

#### (ア) 手術室に透視用のX線装置を設置したハイブリッド手術室での放射線防護

##### (ハイブリッド手術室設置の必要性)

手術室で大動脈のステントグラフトを行うために手術室に据え置き型X線装置を設置し、ハイブリッド手術室とする例が増えている。経カテーテル大動脈弁留置術 (TAVI, transcatheter aortic valve-implantation) あるいは経カテーテル大動脈弁置換術 (TAVR, transcatheter aortic valve replacement) は、2013年7月18日に保険適用に向けた通知が発出され、「経カテーテル的大動脈弁置換術実施施設基準」が示されたが、ハイブリッド手術室を設置することを事実上義務づけている。

アンギオ装置を設置した手術室の利用は多様化しており、特定の診療科が専用で用いる例や、利用の形態が多様化し、他の診療科が用いる例もある。

このシステムの利点としては、透視下手技から手術への切り替えが容易であるとされているが、新しい試みであることから放射線防護のガイドラインの整備が課題であると考えられる。

(ハイブリッド手術室設置の法令適用上の課題)

これまでの研究で課題として示してきたように、日本では放射線診療を専用の室で行うこととされているために、多目的に手術室を用いることが法令上、想定されていない現状にある。ハイブリッド手術室は、必ずしも、放射線診療以外の多目的利用が想定されているものでもなく放射線診療専用としている例があるが、これまでの研究で、放射線診療室としているハイブリッド手術室を多目的に使うように法令整備を望む意見があることが確認されていることから、ハイブリッド手術室を多目的に用いることを想定した場合の放射線防護の考え方を整理し、この整理した考え方が現場で受け入れられるかどうかの検証を試みた。

- ハイブリッド手術室では、遮へい計算や作業環境モニタリングや個人線量モニタリングは血管造影室での放射線管理方法を適用させる。
- 従って、放射線診療室として扱うが、放射線診療を行わない時間帯には、放射線管理を不要とする。
- その際には、放射線が誤って照射されないような措置を講ずる。

(ハイブリッド手術室設置の法令適用上の課題への解決策への態度)

この考え方は、質問紙調査において回答が得られた62名中、賛成が65%、どちらかと言えば賛成が32%であり、どちらかと言えば反対が2%であった(図1)。昨年度は、賛成が79%、どちらかと言えば賛成が15%であり、反対する意見は皆無であったことから、この考え方の現場での受け入れに大きな問題がないのではないかと考えられた。

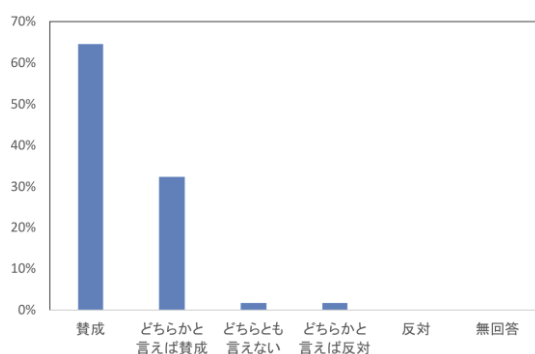


図1 ハイブリッド手術室の放射線管理に関して提示した考え方への態度(添付資料1)

(誤照射の防止で求められる対策)

誤照射などの対応としては電源の制御と曝射スイッチの制御を示す意見があり、曝射スイッチの制御として、使用しない時には曝射スイッチが作動しないようにするアイデアや寝台との組み合わせで照射を意図しない限りは曝射スイッチが作動しないようにするアイデアが提示された。

訪問調査では、現場での工夫として、ペダル式の曝射スイッチをグループ化し、スタッフが誤って作動させないように、装置を使わない場合には無効化するアイデアの実践例が紹介された。透視下手技では、フットスイッチの踏み間違えが起り得ることから、対策として提示されたようにフットスイッチのカテゴリー管理を行い、踏み間違えが起りやすいフットスイッチをそれが不要な手技では場所を移動させたり、機能させなくしている例もあった。このような取り組みも共有していくことが望まれる。

また、電源の制御に関して、立ち上げ時間がかかることから、救急の現場では常に対応が必要なので常時電源をオンにすべきとの意見があった。

(放射線防護上求められる対策)

従事する職員が受ける放射線の量は、診療放射線技師の取り組み方により施設間で大きな格差が生じていると思われる<sup>1</sup>。また、施設の放射線防護の取り組みを進めることで、職員の意識が向上し、看護部からの問い合わせを切っ掛けに、看護師の室外待機を2018年度から原則とした施設もあった<sup>2</sup>。このように職員間での率直なコミュニケーションで放射線防護の最適化を図っていく必要がある。

(イ) IVR-CT装置を用いた救急診療での初療室での放射線防護

(ハイブリッド ER とは)

<sup>1</sup> Snow TM, Ludman P, Banya W, DeBelder M, MacCarthy PM, Davies SW, Di Mario C, Moat NE. Management of concomitant coronary artery disease in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: the United Kingdom TAVI Registry. *Int J Cardiol.* 2015 Nov 15;199:253-60. doi: 10.1016/j.ijcard.2015.06.166.

<sup>2</sup> 上江 孝典ら. ECPR 施行時において X 線防護具を用いた被ばく低減効果について. *Complex Cardiovascular Therapeutics (CCT)* 2018. 2018

2011年に救急領域では世界で初めて、大阪急性期・総合医療センターの初療室にIVR-CTが導入された<sup>3</sup>。このシステムは、初期治療、CT検査、動脈塞栓術、ダメージコントロール手術が一つの室で可能とすることから、ハイブリッドERシステム（HERS）と呼ばれている。

このシステムは血管造影装置と同じ寝台でCT検査も行え、より高精度な手技を短時間で安全・確実に行い、患者が医療機関に到着し、診療開始後3分（動脈血液ガス採取と並行して）でCT検査が開始され10分間で検査が終了することが可能となっており、極めて迅速な対応がなされている特徴がある。ハイブリッドERの有用性は客観的なデータでも既に示されているが、その運用法はそれぞれのセンターの特性に基づきさらに模索が続いている状態である。（IVR-CTの分離によるX線CT装置の単独利用）

HERSの運用法の一つにIVR-CTのX線CT装置を切り離し別室（パーティションで区画された別のエリア）でX線CT検査を行うアイデアがある（図2<sup>4</sup>）。

ここでX線CT装置は二つのエリアをまたがって移動させるが、現行規制では天井や床のレールを伝わって移動させる装置は、移動型ではなく据え置き型装置の扱いとなっている。

現行の医療法施行規則においては、1つのエックス線診療室において複数のエックス線装置を使用することは可能である一方で、据え置き型エックス線装置を複数のエックス線診療室で使用することは想定していないことから、その法令整備が課題となっている。

解決の方向性のアイデアとしては、以下の二つが考えられる。

- I. 装置を分割して、それぞれ同時に検査するのであれば、2つのエックス線診療室として手続きし、CT-血管造影を行う場合は不要な同時曝射を何らかの方法で防止する。
- II. 間仕切りを開けて放射線診療を行う際には操作室のない側の扉から不用意に患者等が入らないようにする。  
(ア) 間仕切りを閉めて放射線を照射する想定ではインターロックを設ける。

この考え方に対して、質問紙調査において回答が得られた62名中、賛成が50%、どちらかと言えば賛成が39%であり、反対は0%であった（図3）。

このシステムの運用に関して懸念する意見としては、施設設計の重要性が上げられており、死角が生じないように操作室の場所や監視カメラを設ける必要があるなど工夫の必要があるかもしれない。

<sup>3</sup> <http://hers.kenkyuukai.jp/special/?id=28639>

<sup>4</sup> <https://www.mhlw.go.jp/content/10801000/000486146.pdf>

配置1： 可動壁で隔てられた2つの室にそれぞれエックス線装置を設置し、それぞれの室で異なる患者の診療を行う。



配置2： 必要に応じて可動壁を開放し1つの室のエックス線装置を他の室に移動させ、1つの室において複数のエックス線装置を使用して1人の患者の診療を行う。



図2 複数のエックス線診療室にまたがって使用するエックス線装置の使用について 第8回医療放射線の適正管理に関する検討会資料2 医療法施行規則の改正に伴うその他の留意事項等について

また、この診療が緊急時を想定していることから、X線CT検査を単独で行っているときに、緊急でハイブリッドERとして運用する際の迅速さへの懸念も示されたが、本システムは既に実用化されており、その運営状況が症例研究会<sup>5</sup>などで率直に情報共有されている。さらに経験を踏まえてよりよい方向に整理されることが期待される。

その際には、何らかのインターロックを設けることも緊急時の対応の妨げになるのではないかとの懸念がHERS研究会所属医療機関から寄せられており、各施設の実情に応じて放射線安全の確保とトレードオフ関係にある別のリスクの管理も考慮したバランスの取れた対策を行う必要があると考えられた。

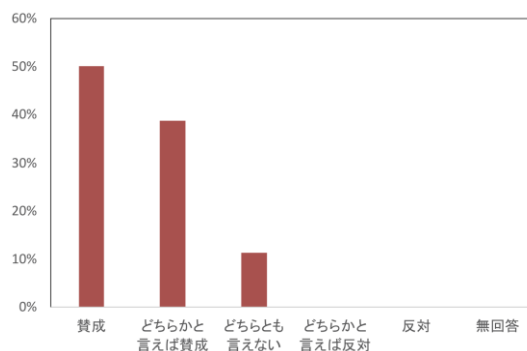


図3 複数のエックス線診療室にまたがって使用するエックス線装置の放射線防護の考え方への態度 (添付資料2)

(ウ) 救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用と放射線防護

搬入早期の救急診療は、重傷なほど画像診断の適応は制限され、多数の部位に対して撮影する必要はないとも考えられ、外傷の場合、次の診療に移行する際の重要な項目は全脊椎・脊髄損傷のクリアランスとなる。ここで、患者の体型によってはポータブル装置では十分な画質が得られにくいため、据え置き型エックス線装置を用いている例がある。

一方、X線透視装置が設置されている放

<sup>5</sup> [http://hers.kenkyuukai.jp/event/event\\_detail.asp?id=30716](http://hers.kenkyuukai.jp/event/event_detail.asp?id=30716)

放射線診療室は無影灯もなく、救命手術を実施できないことから、救命処置室に外科用イメージを運び込む例がある。他方、その必要はないとしている医療機関もあり、依然として多様性があると考えられる。

法令上の課題としては、日本では、原則として、放射線診療は放射線診療のために設けられた専用の室で行う必要があるとされている。初療室での放射線診療は、特別な場合にポータブル撮影装置を使うことが認められているのみで、外科用イメージは持ち込めないこととなっている。

そこで、法令整備の必要性を探るために、救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用の必要性の認知を調査した。

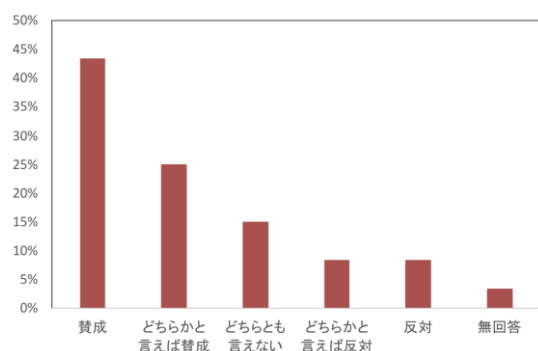


図 4 救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用の必要性の認知（添付資料 3）

救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用の必要性は、質問紙調査において回答が得られた62名中、賛成が43%、どちらかと言えれば賛成が25%であり、反対はどちらかと言えれば反対も含め17%であった（図4）。昨年度の調査では、回答が得られた36名中、賛成が42%、どちらかと言えれば賛成が18%であり半数を上回ったものの、どちらか

と言えれば反対が21%、反対が3%であり、どちらとも言えないが15%であったので、やや賛成に傾いてはいるが、ほぼ同様の結果であり、これまでの調査と同様に、現場での診療形態や施設設計の多様性もあり医療現場で意見が統一されていないことが示唆された。これまでの調査では、初療室でのエックス線透視の使用の必要性が認識されていないことが示唆されていたが、近年の傾向としては、救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用を否定する方向には進んでおられず、関係者間での議論が必要だと考えられた。

また、2019年3月1日には、茨城県において、医療機関に勤務する診療放射線技師に対して放射線管理を適切に行わなかったとして土浦労働基準監督署が労働安全衛生法違反の疑いで茨城県つくば市の医療法人の理事長を書類送検した事例が発生した。本事例は、測定、放射線防護、健康診断の問題が指摘されており、現場での放射線防護文化の醸成も課題であると考えられる。

#### （エ） 血管造影室等での放射性医薬品の使用と放射線安全

血管造影室などエックス線診療室や診療用放射性同位元素使用室以外での診療用放射性同位元素の投与が想定されている例として、以下のような手技が実施されている。

- ・  $^{90}\text{Y}$  などを用いた選択的内部放射線療法（SIRT）
- ・ 頸動脈遮断試験時の局所脳血流の評価
- ・ 早期胃癌に対する腹腔鏡下センチネルノードナビゲーション手術

法令上の問題として、放射性医薬品の使

用は核医学室が原則とされ、例外として、手術室、ICU、CCU での一時的な使用が認められているのみであり、血管造影室等で放射性医薬品を投与することは認められていないため、日本では実施できないことになっている。

この課題の解決に向けて、取り得る診療スタイルについて調査を行ったところ、核医学部門に設置した血管造影室でこれらの診療を行うことに対して賛成が 39%、どちらかと言えば賛成が 32%であり、反対はどちらかと言えば反対も含め 13%であった。その一方、一般の血管造影室でこれらの診療を行うことに対して賛成が 29%、どちらかと言えば賛成が 24%であり、反対はどちらかと言えば反対も含め 26%であった（図 5）。

この治療手技を日本でも行うためには、核医学部門での血管造影室の設置を目指すことがより現場に受け入れられやすいことが示唆された<sup>6</sup>（ $p=0.06$ ）。

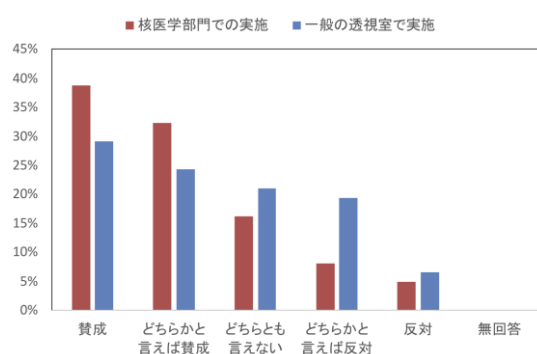


図 5 血管造影室等での放射性医薬品の使用への態度（添付資料 4）

(オ) 0-15の排気中濃度限度の事前安全評価法

ある時刻の排気濃度の測定値から、評価期間に排気された濃度を推計する場合、実際は使用開始時に一気に放出されたにもかかわらず、継続して放出していたと仮定すると、それは不適切な減衰補正によるために、排気された放射性物質の量を過小評価する。また、濃度の算定で減衰した後の夜間や休日の排気された空気中の濃度を用いて安全評価を行うことは、本来、濃度算出のための空気量は使用時の換気量などに基づく必要があるにも関わらず曝露低減に寄与しない対策を考慮することであり不適切である。

このように減衰後の希積を見込む不適切な例があったために、原子力規制庁の平成 29 年度放射線対策委託費（短半減期核種の合理的な規制に向けた調査）事業「短半減期核種の合理的な規制に向けた調査」事業調査報告書で検討された結果、より合理的と考えられる方法が示されており、これを用いるのが有益だと考えられる。

適切に排気中濃度を評価するためには、以下のことが求められる。

- ・「漏洩時の濃度を過小評価」しないように恣意的に減衰補正しない。
- ・「三月間の平均濃度」を評価するために、減衰補正を科学的に適用する。
- ・分母になる空気の量を適切に設定し、汚染した空気の吸入時間も適切に設定する。

また、濃度推定した値が安全側であることを説明するためには以下のような工夫が求められるだろう。

- ・濃度限度を超える場合にはアラームが作動する仕組みが導入されている。

<sup>6</sup> `x <- matrix(c(44,33,18,29), ncol=2, byrow=T)` `fisher.test(x)`  
 $p\text{-value} = 0.06363$



・濃度のトレンドを測定する仕組みが導入されている。

なお、放射性物質の単位であるBqは単位時間あたりの壊変数であるので、連続的に供給する短半減期核種では、使用数量の概念で供給時間も考慮して、評価期間中の壊変数を適切に評価できるようにする必要がある。

この考え方の妥当性を問うたところ、賛成が30%、どちらかと言えば賛成が40%であり、大半からの賛同は得られ、反対はどちらかと言えば反対が1%のみであったが、28%は、どちらとも言えないと回答しており(図6)、考え方の理解を得ることも課題として考えられた。

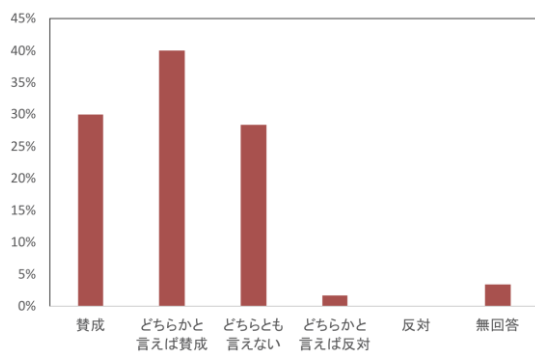


図6 0-15の排気中濃度限度の事前安全評価法で平均存在数量を用いることへの賛否(添付資料5)

(カ) 診療用粒子線照射装置使用室での移動型X線CT装置の利用

粒子線治療などの放射線治療では、腫瘍の部位の把握が重要である。治療中に患者の腫瘍が縮小するので、腫瘍部位を経時的に把握する必要がある。ここで腫瘍の部位

を正確に把握することを考えると治療を受ける環境と腫瘍の位置を計測する環境の違いが計測の質に影響を与えることになる。このため、実際の治療台の上で、腫瘍の範囲を把握することなどに移動型X線CT装置を使用したいとのニーズが生じる。

先進医療Bにおける中リスク前立腺がんに対する多施設共同研究において、共通治療プロトコールにターゲットアイソセンター(前立腺)中心に対する位置決め精度は5mmと記載されている。このため、前立腺の位置確認を条件とした多施設共同研究の治療プロトコールを満たすための手立てが求められている。また、位置決め精度を向上させることでより有効なプロトコールを利用できるようになる。より有効なプロトコールは、治療期間の短縮が期待できることから、患者負担の軽減になる。

前立腺に対する位置決めを可能にする装置として、移動型のX線CT装置が利用可能であると考えられる。このような装置は想定される利用場面の多様化を反映した開発が進められており、本目的にも利用可能であると考えられる。

撮影後は粒子線照射時に発生する中性子の電子部品への影響を考慮し、また、CT装置を機器更新などで搬出する際に、放射化の有無の判定等が必要とならないよう、治療中は装置を移動させ、治療室内の迷路部分などまで退避させることが想定されている。

この事例では、X線CT装置が移動式の場合であり、現行通知<sup>7</sup>では、このようなことが想定されていない。

<sup>7</sup> 医薬安第26号 平成12年2月10日厚生省医薬安全局安全対策課長 移動型CT装置の取扱いについて

このため通知の改正が必要となる現行の通知では、移動型透視用エックス線装置及び移動型エックス線 CT 装置はその他の移動型エックス線装置より高線量であることから、放射線防護上の考慮を求めている、診療用粒子線照射装置使用室の場合には、遮へいが十分なされているが、現場での運用で、操作する場所をトレードオフ分析で決定するなど臨床上の工夫もなされていることから、一般的な措置として、X線装置の利用に関して X線診療室と同様の放射線安全の担保を求めることが適切であると考えられる。

## 2) X線CT装置の遮へい評価法

### (ア) 検討の経緯

平成26年3月31日にX線装置の遮へい計算も含めて改正通知が発出された。これまで日本でのX線施設の遮へい計算の指針は、米国のNational Council of Radiation Protection and Measurements（米国放射線防護審議会（民間団体））の刊行物を参考にして作成されてきた経緯がある。この改正通知でもX線装置の遮へい計算に関してNCRP Report No. 147に準拠した方法を示していた。NCRPは、放射線の防護及び放射線の測定方法についての調査、研究開発等を行い、その成果は、NCRP Reportにまとめられ連邦政府や社会に提供されている。NCRP Report No. 147以前に、NCRPによるX線装置の遮へい計算指針で日本の規制の参考とされてきたのは、1976年に発行されたReport No. 49 Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma The Rays Energies up to 10 MeVである。その後、2004年に

No. 49を改訂してNo. 147を発行している。日本では、2001年にNo. 49を取り入れた。この際には管電流に照射時間を乗じた実効稼働負荷[mAs]が照射する放射線量を決定するパラメータの一つとされた。その後、2014年にNo. 147を取り入れたが、X線CT装置に関して、DLP（Dose length product）法を取り入れなかった。

NCRP Report No. 147は、X線CT装置に関する遮へい計算モデルも線源のパラメータとしてDLPを用いる方法として示しているが、体格差などに由来すると考えられる散乱係数の過小評価の懸念があったために、当時、X線CT装置に関する遮へい計算モデルの採用が見送られた経緯がある。このようにX線CT装置の特性の考慮が現場で課題になっていることから、2017年度に日本放射線技術学会とも連携し、DLPを用いた実測に基づき再評価した散乱係数を適用した放射線事前安全評価のガイドラインのドラフトを作成した。この取り組みは、日本画像医療システム工業会（以下、JIRAと略す。）でのX線診療室のしゃへい計算マニュアルの作成とも連携したものであり、医療機関で必要に応じてより合理的な評価が行えるような方策を提案することを目指して検討が進められてきた成果である。

### (イ) 今年度に加えた変更

今年度は、このドラフトを日本放射線技術学会のウェブページで公開し、さらなる検討を加えた。課題として考えられたのは、ビームの硬化への考慮である。また、ガントリによる減衰とビーム硬化による遮へい体外側での線量評価がトレードオフ関

係になることへの考慮も必要であると考えられた。

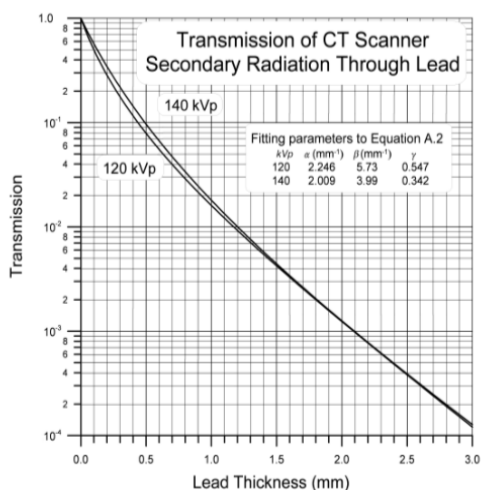


Fig. A.2. Transmission through lead of secondary radiation from CT scanners [data of Simpkin (1991) fitted to Equation A.2].

図 7 NCRP Report No. 147 での X 線 CT 装置に対する鉛の透過割合

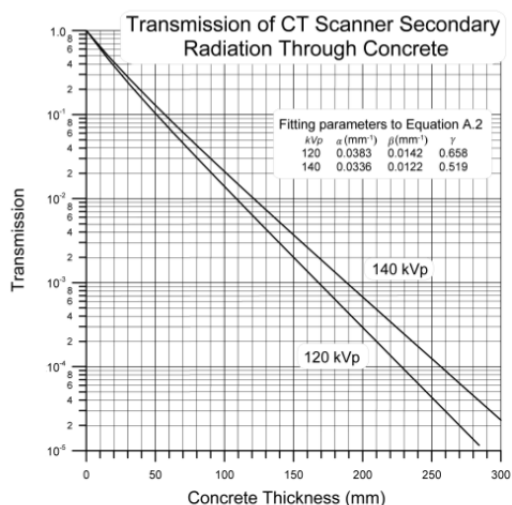


Fig. A.3. Transmission through concrete of secondary radiation from CT scanners [data of Simpkin (1991) fitted to Equation A.2].

図 8 NCRP Report No. 147 での X 線 CT 装置に対するコンクリートの透過割合

その結果、非保守的にならないことを徹底するために、ガントリ方向ではビームの

硬化の効果を考慮し、一次遮へい体に関しても硬くなったスペクトルを考慮した透過係数を用いる方法に変更した。作成したマニュアルを添付資料6として示す。

NCRP Report No. 147では、X線CT装置に関してフィルタがより厚めであることからビームのフィルタでの硬化により遮へい体の透過に関して、より安全側となる考え方を適用している（図 7、図 8）。

DLP法がより合理的になっているのは、一次ビームのろ過に使われるフィルタの厚みが増したことでの単位実効稼働負荷あたりの空気カーマが減弱したことに従来法が対応していないこととの差異によると考えられる。一方、フィルタの厚みが増したことは透過率を増加させることになる。この考え方を現行の日本の通知で使われている透過率データと比較すると、硬くないビームデータを使うと半分以下の透過となり非安全側、硬くなったビームと仮定すると日本の方が倍程度、保守的な評価となっている。このため、ガントリによるビームの硬化に関して、現行の通知での硬くなったビームを仮定した透過率を用いることで十分に安全側になると考えられた。遮へい体の透過率は光子のエネルギーに依存するが、フィルタが厚くなると、線質は硬くなる。それに伴い散乱線のエネルギーもより透過性が増すことになる。このため、今後、よりフィルタが厚い装置が使われるようになる場合には、安全側になっているか、検証が求められることになる。また、この際に透過率の評価として鉛当量を用いると、鉛は蛍光X線を発生させるためにエネルギーに対して透過力が単調には変化しないことにも注意が求められる。

残った課題はガントリでの遮へいが期待できない方向での一次遮へいでの透過率の設定である。NCRPの報告書では、X線CT装置に対して現行の通知より透過割合を安全側に設定しており、X線CT装置に対して、よりX線が硬くなっていると想定するかどうかは課題として残った。より安全側に評価するには、一次遮へいに対して、NCRPの報告書で示されている透過割合を用いることが考えられる。

残った課題をガントリ方向とそうではない方向に分けて表 2、表 3にそれぞれに示す。

**表 2 ガントリ方向の放射線の扱いの課題**

ガントリ透過後の放射線成分も含まれているとして扱う
<ul style="list-style-type: none"> <li>安全側に考えて一次遮へいでも硬くなったスペクトルを仮定（本研究）</li> </ul>
ガントリ透過成分は無視できると考え、散乱線成分のみとして扱う
<ul style="list-style-type: none"> <li>このままとする（第一版）</li> <li>CTでのフィルタ増加によるビーム硬化効果を反映させたNCRP 147の透過割合データを使う</li> </ul>

**表 3 ガントリ以外方向の放射線の扱いの課題**

<ul style="list-style-type: none"> <li>このままとする（第一版）</li> <li>CTでのフィルタ増加によるビーム硬化効果を反映させたNCRP 147の透過割合データを使う</li> </ul>
---

(ウ) 散乱面積と散乱体に入射する放射線量の設定の課題

この他の課題として、従前「最大照射野」とされていたものを「最大受像面」としたことを文字通りに受け取った場合、散乱体に入射する放射線の量と散乱面積の関係が保守的になりすぎることの解決を求める意見があった（図 9）。

改正前の188号通知の図ではX線管焦点から被写体中心までの距離をd3としていた。この設定は、元の文献と違いがあった。また、被写体中心の定義が明確ではないという現場の方々のご意見が研修会などで寄せられていた。このため、照射野のサイズを受像面で与えることが明示された（もっともここでの計算はあくまでも参考例だと考えられる）。

平成26年3月31日に改正された通知では、参考例において、照射野を与える位置を明確にするために、NCRP Report No. 147に添い、受像面上の照射野と表現している。放射線防護上の照射野サイズの扱いを考えると平成28年度の報告書にも記したとおり、散乱線の評価における照射野の大きさの設定は、線源から散乱体への距離の設定とセットで考えることができる。安全側の設定としては、エックス線管焦点から回転中心（被写体中心）までの距離をd3として、受像面における照射野を用いて計算すると安全側になるが、X線CT装置では4倍に値を増加させるので計算上の余裕がない施設ではその対応が課題になり得るとの指摘があった。

ここで、改めて経緯を確認してみると、元のNCRP Report No. 49では、エックス線管から1mの距離での照射野の大きさとされ

ている（固定した条件で散乱係数などを定義しているため）。一方、NCRP Report No. 147では、イメージレセプターの位置でパラメータを与えるともある(4.1.7.2)。また、このNCRP Report No. 147の元の論文では、照射野のサイズは患者入射面で規定しているが（NCRP Report No. 49でも）、フィールドサイズが得られた線源からの距離もパラメータとすればどこでもよいとし、診断領域ではイメージレセプターの大きさを採用するのが簡便としている。

照射野のサイズを受像面で与えることを明示したことは、放射線が受像面で主に散乱しているということの意味するものではなく、安全評価における計算モデル上の整理であると考えられる（面積線量計などでの散乱が多く、オーバーテーブルでの使用で術者が受ける線量として、そこからの寄与が大きい場合には、作業環境管理上は、その評価も望まれる）。

なお、照射野の大きさとして、スライス厚×FOVでも求めることができる。スライス厚 (slice width) は、撮影領域の中心位置における一つのスライスの厚さ方向の長さを示す。FOV は、撮像野 (Field of view) の長さを示す。

#### (エ) 評価法の違いによる線量評価値の比較

評価法の違いによる線量評価値の比較として、従来法 (JC法) とNCRP-DLP法の違いをそれぞれの実測値の比の比較として表 4 に示す。方向は床面に平行な面での角度を示し、この表において枠で囲まれた90度と

270度がガントリ方向となっている。従来法では特にガントリ方向での過大評価の程度が大きくなっている。NCR-DLP法はより合理的な評価法となっており、他の角度と比較したガントリ方向での過大評価の程度は従来法と変わらない範囲となっており、特に一次線の考慮がなされなくても、ガントリ方向に対しても十分に安全側の設定となっていた。また、新しく提案する方法 (J-DLP法) とNCRP法の違いをそれぞれの実測値の比の比較として表 5 に示す。新たに提案する方法も全ての方向付いて安全側となっており、実測値との比のバラツキが小さくより安定的な評価がなされていた。

それぞれの方法で計算された必要な鉛厚を比較した結果を表 6 に示す。従来法に比べて必要な鉛の厚さが半分程度に減らされていた。

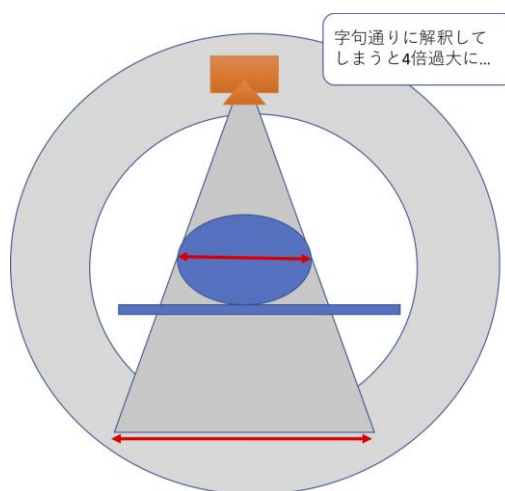


図 9 「最大照射野」と「最大受像面」の関係

表 4 従来法 (JC 法) と NCRP 法の違い

方向 [°]	NCRP-DLP 法		JC 法		JC 法 / NCRP-DLP 法
	Mean	SD	Mean	SD	
0	3.2	0.8	21	16	6.5
45	4.3	4.1	25	15	5.8
90	55	24	404	340	7.4
135	1.7	0.6	11	8.7	6.9
180	6.5	2.0	43	37	6.6
225	1.9	0.6	12	8.3	6.4
270	42	23	270	195	6.4
315	4.6	4.3	26	16	5.5
All	15	21	102	150	6.4

表 5 新しく提案する方法 (J-DLP 法) と NCRP 法の違い

方向 (°)	Japanese-DLP 法		NCRP-DLP 法		NCRP-DLP 法 / Japanese-DLP 法
	Mean	SD	Mean	SD	
0	6.4	1.6	3.2	0.8	0.5
45	8.5	8.2	4.3	4.1	0.5
90	11	4.8	55	24	5.0
135	3.3	1.1	1.7	0.6	0.5
180	5.2	1.6	6.5	2.0	1.3
225	3.8	1.2	1.9	0.6	0.5
270	8.4	4.5	42	23	5.0
315	9.3	8.6	4.6	4.3	0.5
All	7.0	2.8	15	21	2.1

表 6 それぞれの評価法の違い (必要とする鉛厚で示す)

CT装置	方向 (°)	遮蔽厚 (Pb, mm)				JC-測定値
		NCRP-DLP	JC	J-DLP	測定値	
CT-13	0	1.3	2.5	1.6	0.9	1.6
	45	1.2	2.4	1.5	1.0	1.4
	90	1.5	2.7	0.9	0.2	2.5
	135	1.1	2.3	1.4	0.9	1.4
	180	1.0	2.1	0.9	0.4	1.7
	225	0.9	2.1	1.2	0.7	1.4
	270	1.3	2.4	0.7	0.2	2.2
	315	1.2	2.4	1.5	1.0	1.4
Mean		1.2	2.4	1.2	0.7	1.7
SD		0.2	0.2	0.3	0.3	0.4

### 3) 放射線管理測定 of 適正化

(ア) 測定頻度を減らしても放射線防護上の問題が生じないか?

医療放射線の適正管理に関する検討会で JIRA から提示された意見に対して検討した。JIRA から提示された意見は以下のとおりである。

① 『産業界で JIS 規格を策定しております。このたび、管理区域の漏えい線量の JIS 規格を一緒になって策定して、先日、告示されたところでございます。そういう線量の測り方を規定しているのですけれども、実際には、医療現場では年数回の測定をされていると思うのですけれども、その回数とかやり方等ですね。建物なども、技術の進歩があつて、堅牢性が上がつていたりとかしているでしょうし、その逆もあろうかと思ひます。ですので、その回数だったり、やり方だつたりの現状の妥当性とか適正性といひますか、そのようなものを一度御審議をされてはどうかと。』<sup>8</sup>

(イ) これまでの管理測定の結果の解析

JIRA で把握している 5 年間で継続して測定されていた 115 施設のデータを調べた結果では、経過中に全ての施設で新たな漏えいは確認できていなかったとされていた。鉛ガラスの外側では照射中の放射線漏えいの検出は本来可能であると考えられるが<sup>9</sup>、JIRA で把握しているデータでは、漏えいが確認できた事例がそもそもなかった。原子力発電所事故後、線量計が普及し、検

<sup>8</sup> [https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000209711\\_00002.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000209711_00002.html)

<sup>9</sup> X 線 CT 装置を更新したところ、鉛当量 2mm の鉛ガラスの外側で照射時に 14  $\mu$  Sv/h の放射線の漏洩を観測した例がある。ビル診療所を想定して、この評価点が敷地境界だと仮定すると、線量限度を超えることになり、事前評価の重要性を示していると考えられる。

診車からの放射線漏えいも容易に確認される事態となっている。このため、装置の実効稼働負荷の増加に伴うなどして、本来、検出されるべき新たな放射線の漏えいが放射線管理測定で見逃され、検出できなかった例はないかどうかの検証が求められると考えられた。

また、直近5年間の施工での通常使用での不具合事例も記録としては残されてはならず、通常使用ではない場合の災害時での想定外の不具合事例も記録されてはいなかった。ただし、現場からの情報提供として、付加する遮へい体の設置位置の問題により追加遮へいが必要となった事例が確認された。また、遮へい体の比重が足りず光子の遮へいが不十分となり遮へいを追加した事例、光核反応の制御が不十分で想定外の中性子漏えいが観測された事例、ビームロスにより中性子漏えいが観測された事例、排水管内での放射性物質の滞留により周辺の線量率が増加していた事例がそれぞれ確認されている。このうち、排水管内での放射性物質の滞留による周囲の空間線量率の増加は日内や週内で特徴的な経時的なパターンとなり、核種も分かっているので、ログ機能やスペクトル解析を備えた測定器の利用で実情が精度よく把握できる。いずれにしても、リスクに基づく段階的なアプローチや設置時の測定の実質の確保が定

期的な放射線管理測定の合理化のためにも必要であると考えられた。

(ウ) 測定の手順書の想定の妥当性検証

『X線防護工事 標準化マニュアル (JESRA TR-0037)』では、近年増加している救急でのハイブリッド利用（血管造影装置とX線CT装置の組み合わせでX線CT装置が移動）などの新しい技術が反映されていなかった。少なくとも現在、取り入れられているものでは網羅的に扱う必要があると思われるので、その対応が望まれる。

また、「JIS Z 4716 X線診療室の漏えいX線量の測定方法」では、測定等の不確かさ評価でISOの考え方<sup>10</sup>が反映されておらず、ドイツで既に導入されているように<sup>11、12</sup>、新しい国際的な考え方に沿ったものとする必要があると考えられた。

(エ) 国際機関の文書での規定

① IAEA GSR Part3

作業環境のモニタリングに関して、以下のように規定されている。

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.

<sup>10</sup> ISO 11929:2010 Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation — Fundamentals and application

<sup>11</sup> Method to account for measurement uncertainties when performing metrological tests within the scope of the German X-ray Ordinance (RoeV) and the German Radiation Protection Ordinance (StrlSchV)

<sup>12</sup> Development of decommissioning standards in Germany, integration at EU level

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.

このようにどのような種類の放射線管理計測をどの程度の頻度で行うかは段階的なアプローチを用いることが示されている。The application of the requirements of these Standards in planned exposure situations shall be commensurate with the characteristics of the practice or the source within a practice, and with the likelihood and magnitude of exposures.

想定されている段階的アプローチは以下のようなものである。

3.6. The application of the requirements of these Standards shall be in accordance with the graded approach and shall also conform to any requirements specified by the regulatory body. Not all the

requirements of these Standards are relevant for every practice or source, or for all the actions specified in para. 3.5.

② IAEA GSG-7

作業前に事前に行う放射線安全評価に関して、作業場のモニタリングも含め以下のように規定されている。

3.56. The assessment of exposures in the prior radiological evaluation may be made by one or more of the following methods:

(a) Use of workplace monitoring. This method can give a good assessment of the doses that workers will receive, provided that the radiological conditions in the workplace are reasonably predictable over a long period (at least for several months). Workplace monitoring should be repeated at appropriate intervals, and certainly when the working conditions change significantly.

(b) Use of data from the scientific literature and information from comparable facilities. Some dose values are given in the literature for various workplace situations. These can, in principle, be used to judge whether monitoring is needed.

(c) Use of simulations. Numerical simulations can be powerful and can provide information instantly on the parameters that influence doses that would be received in given exposure



situations. The results of simulations should be verified by measurement.

(d) Use of confirmatory measurements. Performing confirmatory measurements with personal dosimeters can help to determine whether individual monitoring is needed.

### ③ IAEA SSG-46

医療分野の特性も考慮し、作業場でのモニタリングの役割として線量が低いと考えられる作業に従事する労働者での個人線量の代替となる役割も記述されている。

Paragraphs 3.96-3.98 of GSR Part 3 [3] establish the requirements and responsibilities for workplace monitoring.

Workplace monitoring comprises measurements made in the working environment and the interpretation of the results.

Workplace monitoring serves several purposes, including routine monitoring, special monitoring for specific occasions, activities or tasks, and confirmatory monitoring to check assumptions made about exposure conditions.

Workplace monitoring can be used to verify the occupational doses of personnel whose work involves exposure to predictable low levels of radiation.

It is particularly important for staff members who are not individually monitored. Further general guidance on

workplace monitoring is given in GSG-7 [23].

また、建屋の状況が変わった場合には作業場のモニタリングを必要としている。

3.101. Workplace monitoring in areas around each item of medical radiological equipment in the radiology facility, when it is being operated, should be carried out when:

(a) The room and shielding construction has been completed, regardless of whether it is a new construction or a renovation, and before the room is first used clinically;

(b) New or substantially refurbished equipment is commissioned (both direct and indirect radiation such as leakage and scatter radiation should be measured);

(c) New software for the medical radiological equipment is installed or there is a significant upgrade;

(d) New techniques are introduced;

(e) Servicing of the medical radiological equipment has been performed, which could have an impact on the radiation delivered.

### ④ NCRP Report No. 147

以下のように施工時の確認の重要性が強調され、線源を使うアイデアも提示されている。

Voids in the barriers of the completed facility should be located by the use of a suitable x- or gamma-ray source

and a sensitive radiation detector such as a Geiger-Mueller (GM) tube, scintillation detector or another radiation detection instrument with a fast response. The use of an audible indicator with a meter will save time in finding areas of unexpectedly high transmission. X-ray film may also be used to find defects. Searching for voids is difficult using a radiographic source since exposure time is limited to a few seconds. Alternatively, the fluoroscopic source in an R&F room or a portable C-arm fluoroscopic unit that allows continuous operation at low mA can be used with a scattering phantom. A radionuclide source may also be used, however, regulatory or licensing issues related to this specific use for these sources may have to be addressed. If a radionuclide is to be used, a low-energy gamma-ray source such as  $^{99m}\text{Tc}$  is desirable. If the facility has a nuclear medicine department, the surveyor may be able to obtain a sample of  $^{99m}\text{Tc}$  to test the shielding. If not, a radioactive materials license that specifically permits the transport of the radionuclide to the facility and its subsequent disposal may be required.

#### 4) Ra-223の放射線管理

Ra-223の使用施設の中には使用室内の空气中濃度限度の計算での担保、排水中濃度

限度での測定での担保がそれぞれ課題となっている例がある（比較的濃度限度が小さいために）。また、他の核種と同様に廃棄物の扱いも課題であり、 $\alpha$ 核種に関しては廃棄物の中間保管の困難さもあり、自治体からの問い合わせに対して、今後の検討が求められている。医療放射線の適正管理に関する検討会でも、医療放射性廃棄物の管理の枠からの出口を確保するために、埋設処分やクリアランスの導入が検討されたが、減衰保管制度の導入も課題となっている。さらに、放射線管理測定で、患者からのRa-223やRn-219の環境放出が報告されており、実態に応じたリスク評価が求められると考えられる。

本研究では、患者の呼気からのRn-219の検出に関して、医療機関の放射線管理測定で気づかれた現象の解析を試みた。

医療現場での計測は、患者周囲の空気をビニール袋でサンプリングし、株式会社日立製作所製 TCS-232Bを用いて $\alpha$ 線と $\beta$ 線の計数率をそれぞれ計測されていた。

その計測結果を計算結果と比較した。計算は、Rn-219が1,000 Bq閉鎖系に存在すると仮定し、放射性核種の位置は壊変後も変わらず、計数効率 $\alpha$ 線：1/60、 $\beta$ 線：1とそれぞれ単純に設定し、エネルギー毎には変えなかった。 $\alpha$ 線と $\beta$ 線の放出数の経時的な推移を、壊変系列（図10）を考慮して計算した。

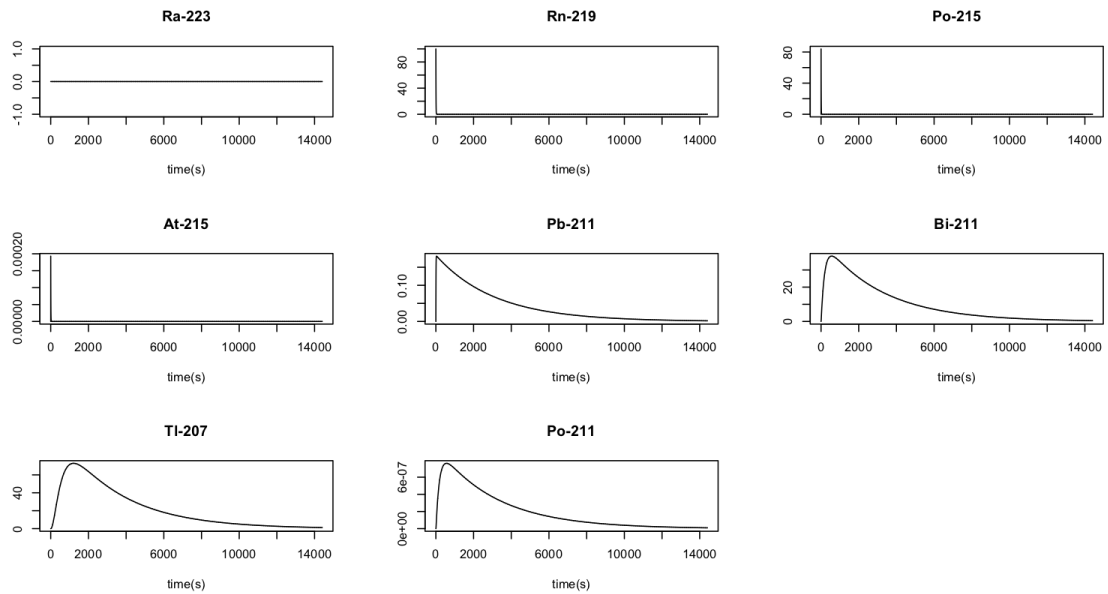


図 10 Ra-223 の壊変系列

比較結果のうち  $\alpha$  線を図 11 に  $\beta$  線を図 12 に示す。それぞれ縦軸が計数率で横軸が時間である。計数率の経時変化は測定と計算でよく一致した。

なお、この計測はビニール袋の外側から行われた。 $\alpha$  線は紙で止まるとよく言われることから、ビニール袋を介して測定が可能かどうかの疑問が寄せられた。このため、 $\alpha$  線がビニール袋を通過するかどうかを検証した。ビニール袋の厚みを  $20\mu\text{m}$  と  $50\mu\text{m}$  と変化させて検証した。 $\alpha$  線のエネルギーは、壊変系列のそれぞれの核種に関して考慮した。

$\alpha$  線が紙一枚で止まることはよく知られているが、エネルギーが高い  $\alpha$  線では  $50\mu\text{m}$  では突き抜けられないものの (図 13)、 $20\mu\text{m}$  と厚みが薄いと突き抜けることが計算でも確認できた (図 14)。

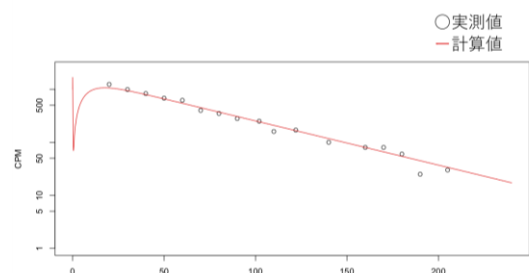


図 11  $\alpha$  線の計数率の測定と計算の比較

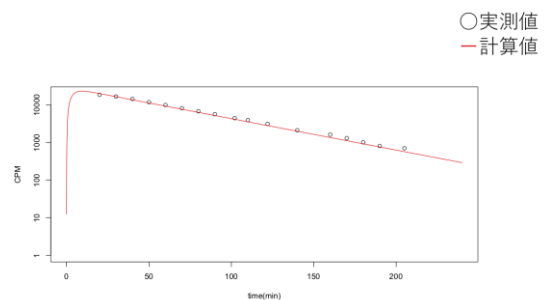


図 12  $\beta$  線の計数率の測定と計算の比較

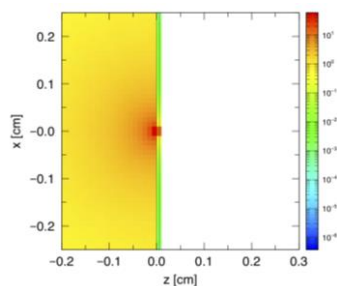


図 13 50  $\mu\text{m}$  のビニール袋に  $\alpha$  線を入射させたところ

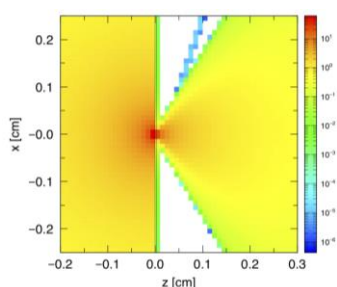


図 14 20  $\mu\text{m}$  のビニール袋に  $\alpha$  線を入射させたところ

医療機関で管理測定されていた患者のマスクに付着した Ra-223 の量から従事者の Rn-219 以下の子孫核種の吸入線量の推計を試みた。Rn-219 の呼気からの排出が肺の血管からの移行であると考えられることから Ra-223 を投与された患者での血液からの消失の半減期を 20 分と仮定したところ、1 週間での総摂取量は約 5.8 kBq と推定された。一週間での総吸入量による線量は約  $70 \mu\text{Sv}$  で、このうち最初の 60 分間で約  $60 \mu\text{Sv}$  の線量と推計された（血液中で定常状態を仮定すると  $140 \mu\text{Sv}$ ）。この推

計は、呼気中から放出される Rn-219 による線量を唾液から放出される Ra-223 の量から間接的に推計するもので、しかも、患者のマスクで体外に放出される Ra-223 の全量捕捉を仮定し、臓器分配後の血液への戻りを無視するとともに血液以外からの Rn-219 の発生を無視している限界があり、患者のマスクで補足された成分に由来する放射性核種を全量吸入するとの大幅な過大評価要因があるが、それでも限られた線量となっていた。

呼気での Rn-219 の検出例が報告されている。この推計結果は、他の研究結果<sup>13</sup>とも矛盾しなかった。

放射線管理測定の一環として行ったカーボンカートリッジを用いた空気中の放射性核種の捕集でも空気中の Rn-219 以下の子孫核種が検出できており、試料の形状に応じた計数効率も試算しており（図 16）、今後、さらにデータを積み重ねる予定である。

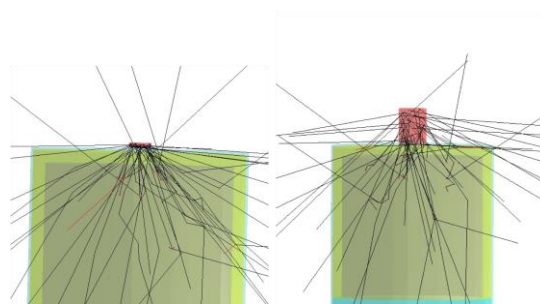


図 15 試料の形状の違いによる計数効率検討のための幾何学的な設定イメージ

<sup>13</sup> Seiichi Yamamoto, Katsuhiko Kato, Naotoshi Fujita, Masato Yamashita, Takuya Nishimoto, Hiroshi Kameyama, and Shinji Abe. Detection of alpha radionuclides in air from patients during Ra-223 alpha radionuclide therapy. Sci Rep. 2018; 8: 10976

5) その他

(ア) エックス線診療室内における撮影の実施での放射線安全の確保

本件は、第7回医療放射線の適正管理に関する検討会で日本診療放射線技師会から、「資料2-1 エックス線診療室内における操作装置の設置について～現状の問題点～（診療放射線技師会資料）」として提案があったものである。ここでは、『実態調査報告および転倒や転落事故が多くの医療施設での安全確保上の問題となっている現状に基づき、法令の解釈が示されている通知文（医薬発第188号）の除外個別事項に、「要介助者の近傍で撮影を行う場合」の追加を提案する。』とされており、第6回医療放射線の適正管理に関する検討会で以下のような提案があった。

『○小田構成員 小田です。医療被ばくの適正管理という観点から、特に一般撮影に関しまして、先ほどから出ておりましたように、エックス線の撮影等は、撮影室外からスイッチを押すことになっておりますけれども、特に高齢者の患者さんとか、認知症の患者さん、小児の照射に関して介助が必要になる場合がかなりふえております。そういった中で、室内で十分安全であると。撮影室も個別に閉じているという条件で、身近な家族の方であったり、看護師さん、介護の人が、患者さんの介護や固定をしているのが現状です。しかし、撮影のタイミングとなると、撮影する者がその場は介助しながら撮影したほうが患者さんを間近で見ながら固定しながら撮影ができ、非常にクオリティーも高い撮影ができ、患者さんの再撮影等を防ぐことと、撮影の介護者の被ばくがなくなるということで、フット

スイッチ等を使った撮影室内で照射スイッチを押すことも可能とする検討をさせていただきたいと考えております。』

日本診療放射線技師会では、「エックス線診療室内での撮影操作についての実態調査」を行い、その結果も踏まえて本提案がなされている。

現行の医療法施行規則では、第30条の4に「エックス線診療室の室内には、エックス線装置を操作する場所を設けないこと」とされており、それを免除する場合も「近接透視撮影を行うとき」等として規定されている。

「近接透視撮影を行うとき」等として、「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について(医薬発第188号)」では、以下のように規定されており、「近接透視撮影」の定義が明確ではないことから、介助が必要な場合の検査を、「近接透視撮影」に該当すると解釈するのが不適切かどうかはこれだけでは判然としないと考えられた。

◇医薬発第188号

(3) 第2号のただし書のうち、今回改正された「近接透視撮影を行うとき、若しくは乳房撮影を行う等の場合」とは、次に掲げる場合に限られること。

(ア) 乳房撮影又は近接透視撮影等で患者の近傍で撮影を行う場合。

(イ) 1週間につき1,000ミリアンペア秒以下で操作する口内法撮影用エックス線装置による撮影を行う場合。

(ウ) 使用時において機器から1メートル離れた場所における線量が、6マイクロシーベルト毎時以下となるような構造である骨塩定量分析エックス線装置を使用する場合。

(エ) 使用時において機器表面における線量が、6マイクロシーベルト毎時以下となるような構造である輸血用血液照射エックス線装置を使用する場合。

(オ) 組織内照射治療を行う場合。

なお、本号に掲げる「必要な防護物を設ける」とは、実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルト以下となるような画壁等を設ける等の措置を講ずることであること。

この場合であっても、(ア)から(ウ)については、必要に応じて防護衣等を着用すること等により、放射線診療従事者等の被ばく線量の低減に努めること。

このため、明確にエックス線診療室の室内に、エックス線装置を操作する場所を設けることを認めるのであれば、この通知の改正を行うことも考えられる。

放射線安全が確保できるのであり、室内での操作が医療安全などを向上させるのであれば、可能とすべきではないかと考えられる。

ただし、撮影であっても散乱体の近くに近接すると受ける線量が多くなる(図16)。このため、一般撮影でも患者の近傍での介助を繰り返すと眼の水晶体の等価線量限度に近づくことがあるかもしれない。例えば、障害者放射線診療での課題となるのではないかと考えられた。

従って、室内操作の有無にかかわらず、介助作業が多く発生している場合には、眼の水晶体の等価線量を少なくとも一度は確認しておく必要があると考えられた。

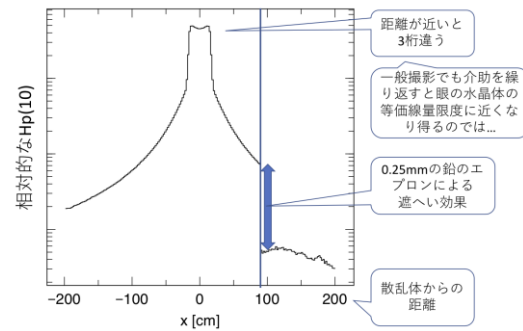


図 16 散乱体からの距離による相対的な線量

(イ) 照射装置使用室の自動表示

Cs-137の下限数量は10 kBq であるため、Cs-137の密封線源は100 MBqを超えると照射器具ではなく照射装置になる。このため、この線源を用いて刺入を行う使用室は器具使用室ではなく装置使用室になる。従って、照射時の自動表示が必要(医療法施行規則第30条の6第3号)となると考えられる。

この課題は、放射線照射装置の定義の見直しに関係する規定の整備に係るものである。

自動表示は、RI法施行規則でも規定されており、放射線審議会で審議されている。その結果、400 GBq未満の密封線源に用いる室では自動表示の義務を課さないような措置が講じられている。

この課題は吸収補正用線源での照射装置の使用(が可能なことは明示されている)でも同様の課題となり得ると考えられるが、既にRI法で措置がされており、密封線源に関して、自動表示を行うことは技術的な困難さが伴い、使用中の自動表示がなされなくても、医療機関内では一定のセキュリティ対策が講じられているので、医療法

もRI法と同様の規制とすべきであると考えられる。

さらに、本課題の構造として、医療安全も考慮した自動表示のあり方などの検討を行うかどうかも課題として考えられるが、IAEA SSG-46等では、RALSなどでの使用中の自動表示の義務について提示されていない。自動表示は遠隔照射などといった室内での作業が行われていない環境で誤って侵入しないようにする措置であり、インターロックと組み合わせて用いられているが、RALSでは外からの不用意な侵入に容易に気づくことができ、実効性のある対策を講じる観点からも国際的な動向との調和も求められると考えられる。

#### ◇医療法施行規則

(診療用放射線照射装置使用室)

第三十条の六 診療用放射線照射装置使用室の構造設備の基準は、次のとおりとする。

一 主要構造部等（主要構造部並びにその場所を区画する壁及び柱をいう。以下同じ。）は、耐火構造又は不燃材料を用いた構造とすること。

二 画壁等は、その外側における実効線量が一週間につき一ミリシーベルト以下になるようにしやへいすることができるものとする。ただし、その外側が、人が通行し、又は滞在することのない場所である画壁等については、この限りでない。

三 人が常時出入する出入口は、一箇所とし、当該出入口には、放射線発生時に自動的にその旨を表示する装置を設けること。

#### 4. 結論

医療現場での放射線管理の課題に対して、関係者の理解が得られる具体的な規制整備の方向性や管理手法を提示した。

- 1) 放射線診療で用いる室を多目的に使うことを想定した場合の放射線防護の考え方を整理し、このうちハイブリッド手術室に関するものは現場に支持されていると考えられた。救急診療でのハイブリッドER(emergency room)システムではIVR-CTが組み合わされているが、診療の特性から迅速な対応が必要であり、それに救急の特性を考慮した放射線安全が現場で試みられており、その共有化を図る必要がある。また、関連して診療用粒子線照射装置使用室での移動型X線CT装置の利用も可能とするように措置すべきと考えられた。
- 2) 米国NCRP Report No. 147を参考にし、日本での実測値を基にして作成したガイドライン案を更新し、エネルギースペクトルの硬化も考慮した修正を行った。
- 3) 遮へい壁外側での管理測定の高頻度に関し検討し、近年、遮へい壁劣化の事例が報告されていない一方で施工時の問題が発生し得ることから、施工の際の確認を確実に行うことで、今後、管理測定の高頻度に関して段階的な管理を取り入れてもよいのではないかと考えられた。
- 4) 医療機関での放射線管理のデータを解析し、Rn-219以下の放射性核種が室内空气中で検出することを確認し、従事者の線量推計を試みた。
- 5) 介助が必要な患者の엑스線検査時の医療安全上の配慮から室内操作を認めるかどうかを検討し、現行規制上も近接での撮影が必要な場合との整理で可能とし得るが、

散乱体周辺の線量分布を考慮すると眼の水晶体の等価線量限度の引き下げが予定されており、単純撮影の介助でも放射線防護に配慮が必要であると考えられた。

## 5. 文献

- 1) Snow TM, Ludman P, Banya W, DeBelder M, MacCarthy PM, Davies SW, Di Mario C, Moat NE. Management of concomitant coronary artery disease in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: the United Kingdom TAVI Registry. *Int J Cardiol.* 2015 Nov 15;199:253-60. doi: 10.1016/j.ijcard.2015.06.166.
- 2) 上江 孝典ら. ECPR 施行時において X 線防護具を用いた被ばく低減効果について. *Complex Cardiovascular Therapeutics (CCT)* 2018. 2018
- 3) 医薬安第 26 号 平成 12 年 2 月 10 日厚生省医薬安全局安全対策課長「移動型 CT 装置の取扱いについて」
- 4) ISO 11929:2010 Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application
- 5) Method to account for measurement uncertainties when performing metrological tests within the scope of the German X-ray Ordinance (RoeV) and the German Radiation Protection Ordinance

(StrlSchV)

- 6) Matthias Bothe. Development of decommissioning standards in Germany, integration at EU level [https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/development\\_of\\_decommissioning\\_standards\\_in\\_germany.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/development_of_decommissioning_standards_in_germany.pdf)
- 7) Seiichi Yamamoto, Katsuhiko Kato, Naotoshi Fujita, Masato Yamashita, Takuya Nishimoto, Hiroshi Kameyama, and Shinji Abe. Detection of alpha radionuclides in air from patients during Ra-223 alpha radionuclide therapy. *Sci Rep.* 2018; 8: 10976
- 8) IAEA. GSR Part3(2014)
- 9) IAEA. GSG-7(2018)
- 10) IAEA. SSG-46(2018)

## 謝辞

ご協力下さった各医療機関や医療機関のスタッフや行政機関の担当者に感謝致します。

エックス線 CT 装置の遮へい計算に関しては、日本放射線技術学会関係法令委員会及び日本画像医療システム工業会とも共同して検討しました。資料作成には金沢大学附属病院の能登公也氏に中心的な役割を担って頂きました。

国立保健医療科学院での医療放射線監視研修や医療放射線防護連絡協議会の医療放射線安全管理講習会、日本診療放射線技師会の講習会にご参加下さった参加者や日本救急撮影技師認定機構及び救急医学分野での Hybrid Emergency Room System (HERS) 研究会などの関係者にも感謝申し上げます。



## 添付資料 1

### ハイブリッド手術室の放射線防護

#### ハイブリッド手術室とは…

- ハイブリッド手術室とは、血管撮影装置が設置された手術室です。
- 血管造影などの放射線診療と外科手術を同じ室内で行うことができます。
- 血管撮影装置を用いた治療的手技の安全性を高めるだけでなく<sup>14</sup>、医療の質や安全性の向上に役立ちます。

#### 法令上の問題とは…

- 日本では、原則として、放射線診療は専用の室で行う必要があります。
  - 様々な目的で用いる手術室で放射線診療も行うことを想定せず。

#### 課題の解決に向けて…

- 遮へい計算、作業環境モニタリングや個人線量モニタリングは血管造影室での放射線管理方法を適用させる。
- 従って、放射線診療室として扱うが、放射線診療を行わない時間帯には、放射線管理を不要とする。
- その際には、放射線が誤って照射されないような措置を講ずる。

ここで示された考え方に対して近いものを一つ選んで下さい。

1. 賛成
2. どちらかと言えば賛成
3. どちらとも言えない
4. どちらかと言えば反対
5. 反対

自由なご意見をお願いします（よろしければ、『X線装置を用いない場合に、放射線が誤って照射されないような措置』に関してのご意見をお願いします）。例：フットスイッチをオフにする。高電圧発生装置をオフにする（ベッドは稼働可能にする。一方、救急の現場では常に対処が必要なので常時電源をオンにすべきとの意見も頂いています）。

<sup>14</sup>経カテーテル大動脈弁留置術は2013年7月18日に保険適用されていますが、ハイブリッド手術室を設置することを事実上義務づけています。

## 添付資料 2

### ハイブリッド型 CT 装置の放射線防護

#### ハイブリッド CT 装置の利用とは…

- 血管造影装置と同じ寝台でCT検査も行え、より高精度な手技を短時間で安全・確実に行えます<sup>15</sup>。
- CT単独検査が行えるよう2つのX線診療室で運用している例もあります。

#### 解決の方向性のアイデアは…

- 装置を分割して、それぞれ同時に検査するのであれば、2つのエックス線診療室として手続きし、CT-血管造影を行う場合は同時曝射を何らかの方法で防止する。
- 間仕切りを開けて放射線診療を行う際には操作室のない側の扉から不用意に患者等が入らないようにする。
- 間仕切りを閉めて放射線を照射する想定ではインターロックを設ける。

#### 課題の解決に向けて…

- 医療安全と放射線安全の双方から、望ましいと考えられるルールを整備したいと考えています。
- そのためにあなたの貢献を求めています。率直なご意見をお願いします。

ハイブリッド CT 装置の放射線防護に関して、上に示した解決の方向性に対してあなたのお考えに近いものを一つ選んで下さい。

1. 賛成
2. どちらかと言えば賛成
3. どちらとも言えない
4. どちらかと言えば反対
5. 反対

---

<sup>15</sup> Kinoshita T, Yamakawa K, Matsuda H, Yoshikawa Y, Wada D, Hamasaki T, Ono K, Nakamori Y, Fujimi S. The Survival Benefit of a Novel Trauma Workflow that Includes Immediate Whole-body Computed Tomography, Surgery, and Interventional Radiology, All in One Trauma Resuscitation Room: A Retrospective Historical Control Study. *Ann Surg.* 269(2):370–376, 2019. doi: 10.1097/SLA.0000000000002527.

### 添付資料 3

#### 救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用と放射線防護

##### 救命救急室での放射線診療の重要性とは…

- 搬入早期の救急診療は、重傷なほど画像診断の適応は制限され、多数の部位に対して撮影する必要はないと考えられます（異論があるかもしれません）。外傷の場合、次の診療に移行する際の重要な項目は全脊椎・脊髄損傷のクリアランスで、患者の体型によってはポータブル装置では十分な画質が得られにくいため、据え置き型エックス線装置を用いている例があります<sup>16</sup>。
- 一方、X線透視装置が設置されている放射線診療室は無影灯もなく、救命手術を実施できないことから、救命処置室に外科用イメージを運び込む例があります。他方、その必要はないとしている医療機関もあります。

##### 法令上の問題とは…

- 日本では、原則として、放射線診療は放射線診療のために設けられた専用の室で行う必要があるとされています。
  - 初療室での放射線診療は、特別な場合にポータブル撮影装置を使うことが認められているのみで、外科用イメージは持ち込めません。

##### 課題の解決に向けて…

- 医療安全と放射線安全の双方から、望ましいと考えられるルールを整備したいと考えています。
- そのためにあなたの貢献を求めています。率直なご意見をお願いします。

救命救急室での移動型透視用エックス線装置の利用に関して、あなたのお考えに近いものを一つ選んで下さい。

1. 賛成
2. どちらかと言えば賛成
3. どちらとも言えない
4. どちらかと言えば反対
5. 反対

<sup>16</sup> <http://trustrad.sixcore.jp/qa/?p=1954>

#### 添付資料 4

### 血管造影室での放射性医薬品の使用と放射線安全

#### 血管造影室などでの放射性医薬品の使用とは…

- 新しい手技で血管造影室等での放射性医薬品の投与が想定されています。
  - $^{90}\text{Y}$  などを用いた選択的内部放射線療法 (SIRT)
  - 頸動脈遮断試験時の局所脳血流の評価
  - 早期胃癌に対する腹腔鏡下センチネルノードナビゲーション手術

#### 法令上の問題とは…

- 血管造影室等で放射性医薬品を投与することは認められていません。
- 放射性医薬品の使用は核医学室が原則とされています。
- 例外として、以下の場所での一時的な使用が認められています。
  - 手術室、ICU、CCU

#### 課題の解決に向けて…

- 医療安全と放射線安全の双方から、望ましいと考えられるルールを整備したいと考えています。率直なご意見をお願いします。

あなたのお考えに近いものを一つ選んで下さい。

核医学部門に設置した血管造影室でこれらの診療を行うことに対して…

1. 賛成
2. どちらかと言えば賛成
3. どちらとも言えない
4. どちらかと言えば反対
5. 反対

一般の血管造影室でこれらの診療を行うことに対して…

1. 賛成
2. どちらかと言えば賛成
3. どちらとも言えない
4. どちらかと言えば反対
5. 反対

## 添付資料 5

### 0-15 の排気中濃度限度の事前安全評価での平均存在数量の扱い

平均存在量を用いる排気中濃度の評価が非安全側になる場合とは…

- ある時刻の排気濃度の測定値から、評価期間に排気された推計する場合、実際は使用開始時に一気に放出されたにもかかわらず、継続して放出していたと仮定すると、排気された放射性物質の量を過小評価します（不適切な減衰補正による）。
- 濃度の算定で減衰した後の夜間や休日の排気された空気中の濃度を用いて安全評価を行うことは不適切です（曝露低減に寄与しない対策なので）。

適切に排気中濃度を評価するために…

- 「漏洩時の濃度を過小評価」しないように恣意的に減衰補正しない。
- 「三月間の平均濃度」を評価するために、減衰補正を科学的に適用する。
- 分母になる空気の量を適切に設定し、汚染した空気の吸入時間も適切に設定する。

濃度推定した値が安全側であることを説明するためには…

- 濃度限度を超える場合にはアラームが作動する仕組みが導入されている。
- 濃度のトレンドを測定する仕組みが導入されている。

使用数量をどう考えるのがよいですか？

放射能は、単位時間あたりの壊変数で時刻によって変化し得る値です。「使用」はその時刻に評価対象空間に存在していることと考えられますので、安全評価では、その放射性物質がどのように供給されるのかなどを考え、評価時間中の積分量を考慮する必要がありますでしょう。

課題の解決に向けて…

- 望ましいと考えられるルールを整備したいと考えています。
- そのためにあなたの貢献を求めています。率直なご意見をお願いします。

ここで示された考え方に対して近いものを一つ選んで下さい。

1. 賛成
2. どちらかと言えば賛成
3. どちらとも言えない
4. どちらかと言えば反対
5. 反対

ここで示された考え方の問題の御指摘をお願いします。

添付資料 6

X線 CT 室の漏えい線量計算マニュアル

第 2 版 (案)

公益社団法人 日本放射線技術学会

関係法令委員会

2019 年 2 月

## 目次

序文 .....	1
1. 目的と適用範囲 .....	2
1.1 目的 .....	2
1.2 適用範囲 .....	2
1.3 X線診療室の線量限度 .....	2
2. DLP を用いたX線 CT 室の漏えい線量計算 .....	2
2.1 漏えい線量計算の考え方 .....	2
2.2 漏えい線量計算を行う際に取得すべき情報 .....	3
2.3 漏えい線量計算方法 .....	3
3. 計算例 .....	6
3.1 計算条件 .....	6
3.2 計算 .....	6
3.2.1 遮へい扉位置の計算 .....	6
3.2.2 遮へいガラス窓位置の計算 .....	7
3.2.3 ガントリ方向の計算 .....	8
3.2.4 その他位置の計算 .....	9
3.3 計算結果 .....	10
参考文献 .....	10
執筆者 .....	16



## 序文

医療施設の X 線診療室は、法規則により管理区域境界，病室，居住区域境界，敷地境界における線量限度が規定されている．新しく X 線装置を導入する際または機器更新を行う際の事前評価として，漏えい線量を計算により求め線量限度を満たしているかを確認することが求められる．

現在，X 線診療室の漏えい線量評価は，平成 26 年 3 月 31 日に厚生労働省医政局長通知として公表された医政発 0331 第 16 号「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について」の一部改正について（以下，通知 331 号）を基に行われている<sup>1)</sup>．この通知では，漏えい線量算定評価法の技術進歩に伴い各種数値が見直され，NCRP report No. 147（以下，NCRP147）のデータ<sup>2)</sup>が取り入れられ，現在主流の X 線装置に対応した漏えい線量評価が可能となっている．しかし，X 線 CT 室の漏えい線量評価においては 2 つの問題点が考えられる．一つ目は通知 331 号では漏えい線量評価に実効稼働負荷（mAs）を用いていることである．医療機関において X 線装置の実効稼働負荷を設定できないということは，X 線検査の使用状況を把握・管理できないということにつながり，医療安全の観点から実効稼働負荷を自施設で設定することが求められている．しかし，近年の X 線 CT 装置は被験者が受ける放射線量の最適化を図るため，スライス面内や体軸方向で管電流が変化する管電流変調機能が搭載されている．そのため 1 検査当たりの実効稼働負荷を求めることは容易ではない．また，検出器の多列化が進み，従来のように 1 スキャン〇〇 ms，管電流〇〇 mA，1 検査当たり〇〇スライス撮影するといった設定も困難な状況である．もう一つは散乱係数を決定するための照射野の設定である．散乱 X 線による漏えい X 線を計算する際，照射野サイズを決定する必要がある．このサイズは受像面における大きさと定義されている．X 線 CT の場合，被験者と受像面は離れているため受像面で照射野を定義してしまうと被験者に照射される照射野サイズよりも受像面でのサイズが大きくなるため，散乱係数を過大評価してしまう．例えば X 線焦点—受像器面間距離が 100 cm の X 線 CT 装置で，被験者が回転中心であるアイソセンター位置 50 cm にいると仮定すると，アイソセンター位置で定義する照射野に対し，受像器面位置で定義すると単純に面積が 4 倍になるため，散乱係数も 4 倍の過大評価となる<sup>1)</sup>．結果として漏えい線量は計算上 4 倍となってしまう．遮へい設計に余裕がない施設では，本来必要のない追加の防護措置を講じてしまう可能性がある．実際に通知 331 号改正後の遮へい計算において，線量限度を超える結果となり鉄板が床面に追加された事例も生じている．この例以外にも機器更新でこれまでと同様の検査数で漏洩線量も基準値を担保していることが想定されても計算上線量限度を超えてしまい追加遮へいが必要になる事例も生じている可能性がある．以上のことから，より X 線 CT 室に特化した計算法が必要である．

NCRP 147 では Dose Length Product (DLP) 法，Computed Tomography Dose Index (CTDI) 法，The Isodose Map（線量分布）法の 3 種類が提案されているが，DLP 法を推奨している<sup>2)</sup>．これは，DLP 値には管電流や照射範囲の情報が含まれていること，IEC60613<sup>3)</sup>で全ての装置において表示することを義務づけられていることから利用しやすいというメリットがあ

るからである。本邦も DLP 法を採用することが望ましいと考えられるが、NCRP 147 で推奨されている DLP 法（以下、NCRP-DLP 法）の散乱係数は過小評価する可能性が指摘<sup>4,5,6)</sup>されており、採用には十分な検討が必要であった。Watanabe らはそれらを考慮し、より新しい装置を導入した例も含め主要な装置をカバーする X 線 CT 室の散乱線量測定の実験共同試験を行い、NCRP-DLP 法での問題点を解決した散乱係数やガントリによる減弱を加味し Japanese-DLP 法を提唱した<sup>7)</sup>。Japanese-DLP 法は通知 331 号の問題点である過剰過ぎる計算（実測値に対して 11~400 倍）を改善し、実測値により近い結果（実測値に対して平均 7 倍）となりつつも安全側に評価しており合理的な評価方法と言えることから、本マニュアルで採用することとした。今回、通知 331 号の補足資料として本マニュアルを作成した。

## 1. 目的と適用範囲

### 1.1 目的

DLP 法を用いた新しい漏えい線量評価法を提案し、方法及び要点や計算例を提示することにより、X 線 CT 室の正確な漏えい計算方法についての指針を示す。

### 1.2 適用範囲

診断用 X 線 CT 装置が据え置かれる X 線診療室の漏えい計算を適用範囲とする。

### 1.3 X 線診療室の線量限度

医療法施行規則、電離放射線障害防止規則では、線量限度が以下のように定められている。

- ・ X 線診療室の天井、床及び周囲の隔壁外側：1 週間につき 1 mSv 以下
- ・ 管理区域境界：3 月間につき 1.3 mSv 以下
- ・ 病院、診療所の病室：3 月間につき 1.3 mSv 以下
- ・ 病院、診療所の寄宿舍等：3 月間につき 250  $\mu$ Sv 以下
- ・ 病院、診療所の敷地境界：3 月間につき 250  $\mu$ Sv 以下

## 2. DLP を用いた X 線 CT 室の漏えい線量計算

### 2.1 漏えい線量計算の考え方

NCRP-DLP 法は評価点位置における散乱線量（空気カーマ）を頭部と体幹部検査に分けて計算し、それぞれを合算した散乱線量から必要な遮へい体厚さを求める方法を採用している。本邦では画壁等の遮へい体を透過した後の線量を実効線量で評価する必要があるため、NCRP-DLP 法の基本構造はそのまま一部を修正する必要がある。さらに Watanabe らによる研究結果から、散乱係数を NCRP-DLP 法の 2 倍とする、ガントリ吸収による減弱 (0.1) を考慮することができるという報告があり、それらを補正項目として新たに加えた。計算方法としては頭部、体幹部それぞれの DLP 値から散乱係数、評価点までの距離、ガントリや人体の減弱を考慮しその位置での散乱線量（空気カーマ）の合算を求め、遮へい体の減弱を計算し、

実効線量へ変換する。

## 2.2 漏えい線量計算を行う際に取得すべき情報

### 1) X線 CT 装置の稼働状況及び撮影条件

頭部及び体幹部それぞれについての1検査あたりのDLP値、1日あたりの検査数、装置の稼働日数についての情報を取得する。

### 2) X線 CT 装置に関する事項

メーカーが提供する装置のアイソセンター位置やガントリ構造。

### 3) X線診療室の形状及びX線 CT 装置の設置位置が明確な図面

X線診療室の形状が正確で且つ装置の設置位置が明確で、アイソセンター位置から各計算点までの距離が明確な図面。

### 4) 遮へい材の材質や厚み情報

隔壁や扉、患者監視窓等の遮へい材の材質や厚みの情報。

## 2.3 漏えい線量計算方法

計算点位置での漏えい線量計算は次式より求める。

### 1) アイソセンターから1 mの距離における散乱線の量

#### (ア) 頭部

$$K_{sec}(\text{head}) = k_{\text{head}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \quad (1)$$

#### (イ) 体幹部

$$K_{sec}(\text{body}) = 1.2 \times k_{\text{body}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \quad (2)$$

### 2) 遮へい体外側の漏えい線量

#### (ア) ガントリ以外の方向の1番目の遮へい体の外側

$$E_S = \{K_{sec}(\text{head}) + K_{sec}(\text{body})\} \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T \quad (3)$$

#### (イ) ガントリ方向の1番目の遮へい体の外側

$$E_S = \{K_{sec}(\text{head}) + K_{sec}(\text{body})\} \times \left(\frac{1}{10}\right)^{t/t_{1/10}} \times (E/Ka) \times U \times T \quad (4)$$

$K_{sec}(\text{head})$ ,  $K_{sec}(\text{body})$ は計算点位置での空気カーマで表される散乱線量 (mGy) であり, secはsecondaryの意味で散乱線を指している。 $k_{\text{head}}$ ,  $k_{\text{body}}$ はアイソセンターから1 mの距離におけるビーム幅1 cm当たりの散乱係数 ( $\text{cm}^{-1}$ ), であり, 以下の値とする。

$$k_{\text{head}} = 1.8 \times 10^{-4} \quad (5)$$

$$k_{\text{body}} = 6.0 \times 10^{-4} \quad (6)$$

$k_{\text{head}}$ ,  $k_{\text{body}}$ の値はX線CT室の水平方向, 垂直方向の両方向に対しても適用することができる。

る。NCRP 147 は  $k_{head}$ ,  $k_{body}$  の値は管電圧 120 kV で定義している<sup>2)</sup>。Watanabe ら<sup>7)</sup> の調査では全ての施設で管電圧は 120 kV であった。管電圧が 120 kV より大きくなると散乱線量が増加する可能性はあるが、Wallace ら<sup>6)</sup> は 135 kV から 140 kV の散乱係数は 120 kV に対して平均 1.03 程度の増加であり、本係数は NCRP 147 の散乱係数に対して 2 倍の値とすることから管電圧が 120 kV より大きい値であっても過小評価とはならず適用可能と考えられるが、今後も検討が必要である。 $f$  は吸収体補正係数であり、ガントリ方向の計算時は 0.1、その他の方向では 1.0 とする。Wallace ら<sup>6)</sup> はガントリの範囲内で遮へい効果があり、その範囲を決定するアイソセンター位置が重要であると報告している。ガントリ構造はメーカーや機種により異なるため、 $f=0.1$  の適用範囲を定義することは現時点では困難である。したがってガントリ方向の  $f$  の適用は装置の最大照射野サイズとし、メーカーが提供する装置のアイソセンター位置やガントリ構造を参考にして決定する。Watanabe ら<sup>7)</sup> は被検者が乗るカウチ方向については、人体による X 線吸収による減弱効果があるため、 $f$  を 0.4 にすることができると報告している。しかし、適用範囲は人体サイズが影響するため定義することは困難であることから、本マニュアルでは採用しなかった。カウチ方向の  $f$  については今後の課題であり、エビデンスが得られれば採用できる補正係数である。DLP は 3 月間当たりの総 DLP 値 (mGy・cm) であり、頭部は直径 16 cm、体幹部は直径 32 cm の円柱アクリルファントムでの値である。総 DLP 値は、頭部および体幹部検査を一日何件行うかを想定し、1 検査当たりの DLP 値から 1 日当たり、営業日をふまえて 1 週間当たり、そして 3 月間当たりの値を求める。特に注意すべき点は 1 検査当たりの DLP 値は造影検査も含めた値であることである。造影検査を行う場合は撮影する回数により DLP は異なる。例えば、単純と造影 1 相検査の場合、DLP 値は単純の時の 2 倍となり、ダイナミック検査で多相撮影を行う場合はその分だけ増加することとなる。自施設で予定される造影検査量に応じて 1 検査当たりの DLP 値を想定する必要がある。また、装置導入後の品質管理用の照射、検査技術的進歩等により使用量が増加する可能性がある場合は、3 月間当たりの使用量を見積もるときには十分に余裕を持たせておく必要がある。 $d$  はアイソセンターから計算点までの距離 (m) である。 $E_s$  は 3 月間当たりの室外への散乱線による漏えい実効線量 (mSv/3 月間)、 $D_t$  は遮へい体の透過率であり、331 号通知の表 2~7 から求める。 $E/Ka$  は空気カーマから実効線量への変換係数であり、331 号通知の表 10 から求める。 $U$  は使用係数、 $T$  は居住係数である。 $E_s$  の計算は、ガントリ方向以外では (3) 式、ガントリ方向では (4) 式を使用する。DLP 法は医政発 331 号通知のような 3 つの漏えい (一次 X 線、X 線管容器から漏えい、人体からの散乱) での評価とは全く異なった概念である。NCRP147 では一次 X 線は X 線検出器やガントリハードウェアによって減弱し、散乱線レベルとなるため、散乱線のみを考慮している<sup>2)</sup>。従来の方でもガントリ方向はガントリによる一定の遮へい効果を見込んでおり、一次線よりも散乱線の成分が大きくなるのが通常である。しかし、遮へい厚が増すと一次遮へいでビームが硬くなる効果がより顕著となり現時点では一次 X 線の寄与がこのことを考慮して小さいと証明する根拠がない。また、NCRP147 では X 線 CT に関してフィルタが厚くなることから線質が硬くな

ることを考慮している<sup>2)</sup>。このため、第2版からガントリ方向の透過率については安全側に評価するために、医政発 331 号通知の表 9 の値を採用することとした。ガントリ構造については今後の技術開発により変化することが予想されるため、(4)式の適用には注意が必要である。また、X線CTでは線質が硬くなると考えられることから、計算値が線量限度に近い場所には測定での慎重な確認を推奨する。評価点はアイソセンターから隔壁までの距離が最短位置や鉛ガラス、扉等の位置について行い、各面において複数点設定することが望ましい。ガントリによる遮へい効果が減少し(4)式の適用から外れる位置で隔壁までの距離が短い場合はその位置の評価を行うことを推奨する。

X線CTを初めて導入する施設で1検査あたりのDLP値の想定が困難な施設においては、メーカー仕様書もしくは装置マニュアルに記載されているCTDI<sub>100</sub> (mGy) から推定することができる。以下にその計算式を示す。

$$CTDI_w = \frac{1}{3} \times CTDI_{100,center} + \frac{2}{3} \times CTDI_{100,peripheral} \quad (7)$$

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{pitch} \quad (8)$$

$$DLP = CTDI_{vol} \times L \quad (9)$$

CTDI<sub>100,center</sub>, CTDI<sub>100,peripheral</sub> は頭部用・体幹部用ファントムにおける中心および周辺のCTDI<sub>100</sub> (mGy) であり、CTDI<sub>100,peripheral</sub> は周囲4点の値のみ与えられている場合はその平均値とし、CTDI<sub>w</sub> (mGy) を求める。使用するピッチファクターからCTDI<sub>vol</sub> (mGy) に変換し、撮影する範囲L (cm) を掛けることでDLP値を求める。また、メーカーから平均的なDLP値の情報が得られた場合はそれを使用することも可能である。

X線診療室の隔壁が複合遮へい体の場合は331号通知と同様、第2遮へい体以降については半価層または1/10価層と示されているX線スペクトルが硬くなることを考えた透過率を用いて計算すべきである(ただしガントリ方向では上述のように第1遮へい体でもX線スペクトルが硬くなると考え安全側に計算する)。以下に複合遮へい体の場合の第2遮へい体以降における計算式を示す。

$$E_S = \{K_{sec}(head) + K_{sec}(body)\} \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T \times \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \quad (10)$$

$$E_S = \{K_{sec}(head) + K_{sec}(body)\} \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T \times \left(\frac{1}{10}\right)^{t/t_{1/10}} \quad (11)$$

D<sub>t</sub>は1番目の遮へい体のX線透過率、tは2番目の遮へい体の厚さ(mm)、t<sub>1/2</sub>, t<sub>1/10</sub>は2番目の遮へい体の大幅に減衰したX線に対する半価層および1/10価層(mm)であり、該当する値を331号通知の表9から求める。

X線CTと同室他装置との複合計算を行う場合は線量合算を行う。近年、Interventional Radiology (IVR) の件数増加によりX線透視装置とX線CT装置が一体化したIVR-CT装置

が普及しつつある。この場合 X 線透視装置の漏えい線量評価は 331 号通知に準じて行い、X 線 CT 装置については本法による評価を行う。漏えい線量は安全側に評価するために各面で複数点計算したもののうち最大値を代表値とし、その面の X 線透視装置の値と合算する。ガントリ自走式 X 線 CT 装置は撮影中にアイソセンター位置が移動するため、漏えい線量計算では撮影可能範囲内でアイソセンターと隔壁間距離が最短となる位置で計算することを推奨する。

### 3. 計算例

#### 3.1 計算条件

1) X 線 CT 撮影装置で、1 日当たり頭部検査 15 件、体幹部検査 50 件を行う時の管理区域境界、病室、敷地内居住区域および敷地境界における漏えい線量の計算を行う。X 線 CT 室の図面を Fig. 1 に示した。

#### 2) 使用条件

管電圧 . . . 120 kV

1 検査当たりの平均 DLP . . . 頭部 890 mGy・cm

体幹部 750 mGy・cm

検査件数 . . . 頭部 15 件/1 日

体幹部 50 件/1 日

稼働日数 . . . 5 日/週

3) 遮へい壁等 . . . 遮へいガラス窓 (2.0 mmPb)

. . . 遮へい扉 (2.0 mmPb)

. . . コンクリート 20 cm (密度 2.10 g/cm<sup>3</sup>)

#### 3.2 計算

##### 3.2.1 遮へい扉位置の計算

評価面 A 計算点①, 評価面 C 計算点⑩位置における漏えい線量計算は次式より求める。

(1) 式より

$$\begin{aligned} K_{sec}(\text{head}) &= k_{\text{head}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \\ &= 1.8 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 867750 \times \left(\frac{1}{3.8}\right)^2 \\ &= 10.8 \text{ (mGy/3 月間)} \end{aligned}$$

(2) 式より

$$K_{sec}(\text{body}) = 1.2 \times k_{\text{body}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2$$

$$= 1.2 \times 6.0 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 2437500 \times \left(\frac{1}{3.8}\right)^2$$

$$= 121.5(\text{mGy}/3 \text{ 月間})$$

(3) 式より

$$E_S = \{K_{sec}(\text{head}) + K_{sec}(\text{body})\} \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T$$

$$= (10.8 + 121.5) \times 8.03 \times 10^{-4} \times 1.433 \times 1.0 \times 1.0$$

$$\cong 1.5E + 2(\mu\text{Sv}/3 \text{ 月間})$$

$$k_{\text{head}} : 1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$k_{\text{body}} : 6.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$f : 1.0 \quad (\text{ガントリ方向およびカウチ方向ではないその他の方向})$$

$$DLP : \text{ 頭部 } ; 867750 \text{ mGy} \cdot \text{cm}/3 \text{ 月間 (1 日 15 件, 週 5 日, 13 週)}$$

$$\text{ 体幹部 } ; 2437500 \text{ mGy} \cdot \text{cm}/3 \text{ 月間 (1 日 50 件, 週 5 日, 13 週)}$$

$$d : \textcircled{1}; 3.8 \text{ m}, \textcircled{10}; 3.8 \text{ m}$$

$$D_t : \text{ 遮へい扉 (鉛 2.0 mm) の透過率} = 8.03 \times 10^{-4}*$$

$$E/Ka : 1.433$$

$$U : 1.0$$

$$T : 1.0$$

\* 鉛の透過率は医政発 331 号通知の表 2 の値を使用した。

### 3.2.2 遮へいガラス窓位置の計算

評価面 A 計算点②位置における漏えい線量計算は次式より求める。

(1) 式より

$$K_{sec}(\text{head}) = k_{\text{head}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2$$

$$= 1.8 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 867750 \times \left(\frac{1}{2.8}\right)^2$$

$$= 19.9(\text{mGy}/3 \text{ 月間})$$

(2) 式より

$$K_{sec}(\text{body}) = 1.2 \times k_{\text{body}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2$$

$$= 1.2 \times 6.0 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 2437500 \times \left(\frac{1}{2.8}\right)^2$$

$$= 223.9(\text{mGy}/3 \text{ 月間})$$

(3) 式より

$$E_S = \{K_{sec}(\text{head}) + K_{sec}(\text{body})\} \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T$$

$$= (19.9 + 223.9) \times 8.03 \times 10^{-4} \times 1.433 \times 1.0 \times 1.0$$

$$\cong 2.8E + 2(\mu\text{Sv}/3 \text{ 月間})$$

$$k_{\text{head}} : 1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$k_{\text{body}} : 6.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$f : 1.0 \quad (\text{ガントリ方向およびカウチ方向ではないその他の方向})$$

$$DLP : \text{ 頭部 } ; 867750 \text{ mGy} \cdot \text{cm}/3 \text{ 月間 (1 日 15 件, 週 5 日, 13 週)}$$

$$\text{ 体幹部 } ; 2437500 \text{ mGy} \cdot \text{cm}/3 \text{ 月間 (1 日 50 件, 週 5 日, 13 週)}$$

$$d : \text{ ②}; 2.8 \text{ m}$$

$$D_t : \text{ 遮へいガラス窓 (鉛 2.0 mm) の透過率} = 8.03 \times 10^{-4}$$

$$E/Ka : 1.433$$

$$U : 1.0$$

$$T : 1.0$$

### 3.2.3 ガントリ方向の計算

評価面 A, C, E, F 計算点③, ⑨, ⑮, ⑱位置 (ガントリ方向) における漏えい線量計算は次式より求める.

(1) 式より

$$\begin{aligned} K_{\text{sec}}(\text{head}) &= k_{\text{head}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \\ &= 1.8 \times 10^{-4} \times 0.1 \times 867750 \times \left(\frac{1}{2.5}\right)^2 \\ &= 2.5 \text{ (mGy}/3 \text{ 月間)} \end{aligned}$$

(2) 式より

$$\begin{aligned} K_{\text{sec}}(\text{body}) &= 1.2 \times k_{\text{body}} \times f \times DLP \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \\ &= 1.2 \times 6.0 \times 10^{-4} \times 0.1 \times 2437500 \times \left(\frac{1}{2.5}\right)^2 \\ &= 28.1 \text{ (mGy}/3 \text{ 月間)} \end{aligned}$$

(4) 式より

$$\begin{aligned} E_S &= \{K_{\text{sec}}(\text{head}) + K_{\text{sec}}(\text{body})\} \times \left(\frac{1}{10}\right)^{t/t_{1/10}} \times (E/Ka) \times U \times T \\ &= (2.5 + 28.1) \times 2.27 \times 10^{-3} \times 1.433 \times 1.0 \times 1.0 \\ &\cong 1.0E + 2(\mu\text{Sv}/3 \text{ 月間}) \end{aligned}$$

$$k_{\text{head}} : 1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$k_{\text{body}} : 6.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$f : 0.1 \quad (\text{ガントリによる吸収補正})$$

$$DLP : \text{ 頭部 } ; 867750 \text{ mGy} \cdot \text{cm}/3 \text{ 月間 (1 日 15 件, 週 5 日, 13 週)}$$



体幹部 ; 2437500 mGy・cm/3月間 (1日50件, 週5日, 13週)

$d$  : ③; 2.5 m ⑨; 2.5 m ⑮; 4.5 m, ⑱; 1.2 m

$t_{1/10}$  : 管電圧 120 kVにおけるコンクリートの1/10 価層 = 64.3 mm\*

$t$  : コンクリートの等価厚さ 170 mm\*\*

$E/Ka$  : 1.433

$U$  : 1.0

$T$  : 1.0

計算点⑨, ⑮, ⑱についても同様に計算を行った.

\* コンクリートの1/10 価層は医政発 331 号通知の表 9 の値を使用した.

\*\* コンクリートの密度補正

医政発 331 号通知の表 3 のコンクリートの透過率データは密度が 2.35 g/cm<sup>3</sup> である. 当施設のコンクリートの密度は 2.10 g/cm<sup>3</sup> であるため, 密度比例計算により等価厚さを求める. 詳細は, 331 号通知もしくは放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2007<sup>8)</sup> を参照されたい.

$$\text{コンクリートの等価厚さ} = \left( \frac{2.10}{2.35} \right) \times 20 \approx 17.8 \text{ (cm)}$$

安全側に評価し, 医政発 331 号通知の表 3 の管電圧 120 kV, 厚さ 17 cm の透過率データを採用した. X線CT装置ではフィルタが厚くなりよりビームが硬くなっていることを考慮し, さらに安全側にするには NCRP Report No. 147 の図 A. 2 や図 A. 3 に示されている透過率データを用いることも考えられる.

### 3.2.4 その他位置の計算

その他の計算点位置④における漏えい線量計算は次式より求める.

(1) 式より

$$\begin{aligned} K_{sec}(\text{head}) &= k_{\text{head}} \times f \times DLP \times \left( \frac{1}{d} \right)^2 \\ &= 1.8 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 867750 \times \left( \frac{1}{3.5} \right)^2 \\ &= 12.8 \text{ (mGy/3月間)} \end{aligned}$$

(2) 式より

$$\begin{aligned} K_{sec}(\text{body}) &= 1.2 \times k_{\text{body}} \times f \times DLP \times \left( \frac{1}{d} \right)^2 \\ &= 1.2 \times 6.0 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 2437500 \times \left( \frac{1}{3.5} \right)^2 \end{aligned}$$

$$= 143.3(\text{mGy}/3 \text{ 月間})$$

(3) 式より

$$\begin{aligned} E_S &= \{K_{sec}(\text{head}) + K_{sec}(\text{body})\} \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T \\ &= (12.8 + 143.3) \times 3.94 \times 10^{-4} \times 1.433 \times 1.0 \times 1.0 \\ &\cong 8.8E + 1(\mu\text{Sv}/3 \text{ 月間}) \end{aligned}$$

$$k_{\text{head}} : 1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$k_{\text{body}} : 6.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$f$  : 1.0 (ガントリ方向およびカウチ方向ではないその他の方向)

$DLP$  : 頭部 ; 867750 mGy · cm/3 月間 (1 日 15 件, 週 5 日, 13 週)

体幹部 ; 2437500 mGy · cm/3 月間 (1 日 50 件, 週 5 日, 13 週)

$d$  : ④; 3.5 m ⑤; 4.0 m ⑦; 4.0 m ⑧; 3.5 m ⑪; 4.2 m ⑬; 4.2 m  
⑭; 6.0 m ⑯; 6.0 m ⑰; 1.8 m ⑲; 1.8 m ⑳; 10.0 m ㉑; 10.0 m  
㉒; 100.0 m

$D_t$  : コンクリート 17 cm の透過率 =  $3.94 \times 10^{-4}$

$E/Ka$  : 1.433

$U$  : 1.0

$T$  : 1.0

計算点⑤, ⑦, ⑧, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭, ⑯, ⑰, ⑲, ⑳病室, ㉑居住区域, ㉒病院敷地境界についても同様に計算を行った。

### 3.3 計算結果

今回計算に使用した各種パラメータを Table 1 に示した。また、各評価点における計算結果を Table 2 に示した。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省医政局長。「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について」の一部改正について。平成 26 年 3 月 31 日付け医政発 0331 第 16 号。
- 2) National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and medical x-ray imaging facilities, MD: NCRP; NCRP Report No. 147. 2004.
- 3) International Electrotechnical Commission 60613, Edition 3.0. Electrical an loading characteristics of X-ray tube assemblies for medical diagnosis, 3rd ed. IEC International Standard 60613: IEC; Switzerland, 2010.
- 4) Cole JA, Platten DJ. A comparison of shielding calculation methods for multi-slice computed tomography (CT) systems. J Radiol Prot. 2008; 28:511-23.
- 5) 大場久照, 藤淵俊王, 三田創吾, 他. X 線診療室の遮へい評価法に関する調査研究. 日

放技学誌. 2009; 65 (1):57-63.

6) Wallace H, Martin CJ, Sutton DG, Peet D, Williams JR. Establishment of scatter factors for use in shielding calculations and risk assessment for computed tomography facilities. J Radiol Prot. 2012; 32:39-50.

7) Hiroshi Watanabe, Kimiya Noto, Tomokazu Shohji, et.al. A new shielding calculation method for X-ray computed tomography regarding scattered radiation. Radiol Phys Technol. 2017;10 (2): 213-226.

8) 財団法人原子力安全技術センター. 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2007. 双文社. 2007.

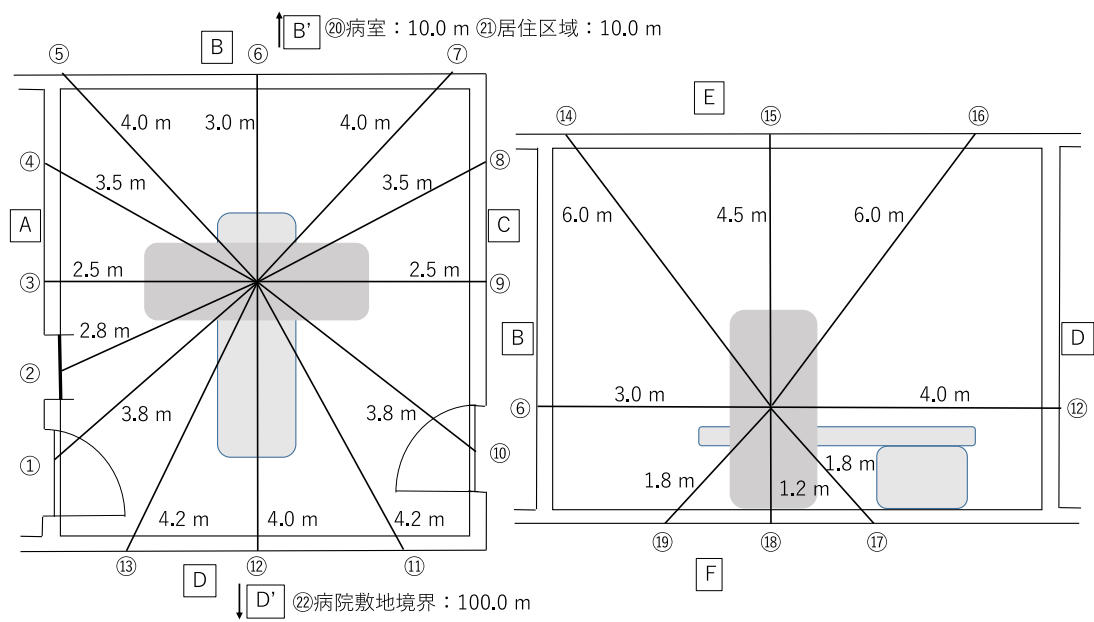


Fig. 1. X線CT装置の遮へい計算

Table 1 エックス線診療室しゃへい計算表①

施設名		〇〇病院		
エックス線診療室名		第●CT室		
装置名		△△社製□□		
撮影方法		CT撮影		
撮影条件	管電圧 (kV)	120		
	1検査当たりの平均DLP (mGy・cm)	頭部	890	
		体幹部	750	
その他の条件	3月間の検査件数	頭部	975	
		体幹部	3250	
	3月間の総DLP (mGy・cm/3月間)	頭部	867750	
		体幹部	2437500	
	散乱係数 (cm <sup>-1</sup> )	k <sub>head</sub>	1.8 × 10 <sup>-4</sup>	
		k <sub>body</sub>	6.0 × 10 <sup>-4</sup>	
	f : 吸収体補正係数	ガントリ	0.1	
		その他	1.0	
	E/Ka : 換算係数 (Sv/Gy)		1.433	
	U : 使用係数		1.0	
	T : 居住係数		1.0	
	コンクリートの密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.1	

Table 2 エックス線診療室しゃへい計算表②

エックス線診療室名		第●CT室 △△社製□□ CT撮影														
装置名																
撮影方法																
評価面	計算点	遮へい壁等			散乱係数		吸収体補正係数	3月間の総DLP		計算点までの距離	E/Ka	計算点散乱線量		計算点漏えい線量	実効線量限度	
		鉛	透過率	コンクリート	$k_{head}$	$k_{body}$		mGy・cm/3月間	体幹部			$K_{sec}(head)$	$K_{sec}(body)$			$\mu Sv/3月間$
		(mm)		(cm)	( $cm^{-1}$ )	( $cm^{-1}$ )	f	頭部	体幹部	d (m)	(Sv/Gy)	(mGy)	(mGy)	$\mu Sv/3月間$	$\mu Sv/3月間$	
A	1	2	8.03E-04		1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	3.8	1.433	10.8	121.5	152.3	1300	
	2	2	8.03E-04		1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	2.8	1.433	19.9	223.9	280.5	1300	
	3			17	2.27E-03	1.8E-04	6.0E-04	0.1	867750	2437500	2.5	1.433	2.5	28.1	99.5	1300
	4			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	3.5	1.433	12.8	143.3	88.1	1300
B	5			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	4.0	1.433	9.8	109.7	67.4	1300
	6			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	3.0	1.433	17.4	195.0	119.9	1300
	7			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	4.0	1.433	9.8	109.7	67.4	1300
	8			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	3.5	1.433	12.8	143.3	88.1	1300
C	9			17	2.27E-03	1.8E-04	6.0E-04	0.1	867750	2437500	2.5	1.433	2.5	28.1	99.5	1300
	10	2	8.03E-04		1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	3.8	1.433	10.8	121.5	152.3	1300	
	11			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	4.2	1.433	8.9	99.5	61.2	1300
	12			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	4.0	1.433	9.8	109.7	67.4	1300
D	13			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	4.2	1.433	8.9	99.5	61.2	1300
	14			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	6.0	1.433	4.3	48.8	30.0	1300
	15			17	2.27E-03	1.8E-04	6.0E-04	0.1	867750	2437500	4.5	1.433	0.8	8.7	30.7	1300
	16			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	6.0	1.433	4.3	48.8	30.0	1300
E	17			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	1.8	1.433	48.2	541.7	333.0	1300
	18			17	2.27E-03	1.8E-04	6.0E-04	0.1	867750	2437500	1.2	1.433	10.8	121.9	431.7	1300
	19			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	1.8	1.433	48.2	541.7	333.0	1300
	20			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	10.0	1.433	1.6	17.6	10.8	1300
居室区域 B'	21			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	10.0	1.433	1.6	17.6	10.8	250
病院敷地境界 D'	22			17	3.94E-04	1.8E-04	6.0E-04	1.0	867750	2437500	100.0	1.433	0.0	0.2	0.1	250