

研究要旨

放射化物は、法令上、その扱いが必ずしも明示的ではない。また、比較的エネルギーが低い領域の加速器を用いる医療機関で生成する放射化物については十分な知見が得られていない。

そこで、医療機関に保管されているターゲットを計測し、放射化核種を同定した。

放射化物の扱いが課題になるのは、主として、廃棄の際である。このため、法令整備が課題とされている。廃棄物の扱いはクリアランスの議論とも密接に関係する。クリアランスの議論では検認のあり方が論点の一つである。従って、課題を解決するには、医療機関での持ち出し時の測定の方策を決める必要がある。また、持ち出し時の測定だけでなく、事前の計算評価、あるいは持ち出し後の第三者評価のあり方も課題になる。文部科学省の検討会ではWGの中間報告がまとめられ、一定の方向性が示された。今後、放射化物の管理の解決法として、よい管理が実施されている医療機関での現行の管理ルールを一般化して法令に取り入れていくことが現実的であると考えられる。

A. 研究目的

放射化物は、法令上、その扱いが必ずしも明示的ではない。しかし、放射化物は現状では安全に保管されていると考えられる。

一方、原子力分野では、既に原子力安全委員会からクリアランスレベルが提示され、炉規法が改正され、新しい規制に沿った既申請例があるⁱ。

比較的エネルギーが低い領域の加速器を用いる医療では、放射化物の課題は相対的には意義が小さいために、どのような種類の放射化物が生成するかについても十分な知見が得られていない現状にある。

そこで、医療機関に保管されているターゲットを計測し、放射化核種を同定した。

B. 研究方法

B.1 放射化核種の同定

B1.1 測定試料

医療機関に保管されている3つのターゲットを用い放射化核種を同定した。

(1) ターゲット A

2004年11月29日に交換した電子加速器のターゲット

公称加速エネルギーは定格で10MVである。

交換時の表面付近の線量率はH(10)で29[Sv/h]であったとされている。また、2005.1.14には医療機関の測定では有意な放射線は全く検出されなくなった。ターゲットやターゲット周囲の元素組成は、企業秘密であるとの理由で開示されなかった。

(2) ターゲット B

公称加速エネルギーは定格で20MVである。交換してからは相当期間経過しており、医療機関の測定では有意な放射線は

検出されないとしていた。ターゲットや	Co-57
ターゲット周囲の元素組成は、企業秘密	Co-60
であるとの理由で開示されなかった。	Au-198
(3) ターゲット C	
公称加速エネルギーは定格で 20MV であ	C1. 2 ターゲット B
る。交換してからは相当期間経過してお	以下の核種が検出された。
り、医療機関の測定では有意な放射線は	Mn-54
検出されないとしていた。ターゲットや	Co-57
ターゲット周囲の元素組成は、企業秘密	Co-58
であるとの理由で開示されなかった。	Fe-59
B1. 2 測定方法	Co-60
Ge 半導体検出器を用いスペクトロメト	Zn-65
リーを行った。	
B. 2 照射前後のコリメータ周囲の空間線	C1. 3 ターゲット C
量率の測定	以下の核種が検出された。
NaI 測定器を用い、照射前後のコリメー	Mn-54
タ周囲の空間線量率を測定した。	Co-57
	Co-58
	Zr-59
B. 3 現場担当者からの要望ヒアリング	Co-60
問い合わせのあった現場担当者にター	Zn-65
ゲットの処理で困っている点を聴取した。	Ag-108m
	Ag-110m
C. 研究結果	
C. 1 放射化核種の同定	C. 2 照射前後のコリメータ周囲の空間線
いずれのターゲットからも放射性核種	量率の測定
が容易に同定された。また、安全側に見	線量率測定結果 (nSv/h)
積もっても規制免除レベルを超える核種	照射前加速器ターゲット周囲
はなかった。	150
C1. 1 ターゲット A	184
以下の核種が検出された。	146
Cr-51	167
Mn-54	176

照射後加速器加速器ターゲット周囲

225

241

237

211

表 1 照射前後でのターゲット周囲の線量率 (nSv/h)

	標本数	平均
照射前 加速器	5	165
照射後 加速器	4	229

照射直後には線量率は 1.4 倍程度増加していた。

C.3 現場担当者の意見の例

- ・ 解体現場は放射化した解体部品が多数あるため、個々に計測できる状況ではありません。
- ・ 放射化していないのであれば可能な限り持ち出し、廃棄したいのが現場の意見です。
- ・ 不要な廃棄物を治療室内で保管しておくのは空間的な無駄だと感じられます。
- ・ 搬出を最低限の回数で行わないと解体業者へのコストが膨らむので工夫が必要です。
- ・ 午前に治療を行って午後から解体と

なれば、ガントリ内の多くの部品が著しく放射化されており、また、放射化した部品の数が多くなり、測定にも解体にも非常に手間が掛かります。このため、解体前にはクーリング期間を設けるべきだと思います。また、ルールを設けるのであれば、解体の当日に運転しないように指導していただきたいです。

- ・ 経験的な感想だけで具体的なデータはありませんが、1日間をおけば随分と放射化物からの線量は軽減されます。
- ・ 放射線治療も含め現場の人間はシミュレーションに弱く、事前評価は困難です。
- ・ 外部で計算してもらえば、結果が正しいかどうかを測定して確認することはできると思います。
- ・ 測定不可能なガントリ内のような箇所は、工場にしかデータはないのではないのでしょうか。
- ・ あまり詳しくは知らないのですが、ボラス等についても照射直後は、かなり高いようですが2週間ぐらいでほとんど検出できなくなるそうです。もちろんその後も保管されていますが装置により差があるのかもしれませんが。
- ・ PET で使用しているサイクロトロンへのデコミは、将来病院経営に大きなリスクをもたらすかもしれません。何故なら、サイクロトロン本体及び建屋内壁の放射化の度合とクリアランスレベルにより放射性廃棄物量が大きく変動し、

これが直接廃棄物処分コストにつながるためであるからです。

- ・ 今後、サイクロトロン、自己遮へい体及び建屋内壁の放射化状況をサンプル分析などで定期的にモニターすることを考えたいと思います。
- ・ 文部科学省「放射線発生装置使用施設における放射化物の取扱いに係るガイドライン」は見たことがありません。医療現場が不勉強なのではなく、周知の仕方に問題があるのではないのでしょうか。
- ・ 汚染の有無については3シグマを判定基準としました。
- ・ 放射化物の取扱いについて、新しいガイドラインの提示を望んでいます。

D. 考察

D.1 ターゲットで生成される放射化物

ターゲットで生成される放射化物は、よりエネルギーが高い領域の加速器でも想定される範囲内であった。ただし、ターゲット C ではベースラインがあがっており、より高エネルギーの光子を放出する核種の存在が疑われた。

交換後、約1年でも Au-198 が検出されたターゲットがあった。交換直後には、相当量の核種が生成されていると考えられ、放射線防護上の扱いを慎重にする必要があると考えられた。

交換放置後に検出される核種は長半減期が主体で、減衰保管による放射能の低減は効率的ではないと考えられた。

生成過程は、 (n, γ) 以外も考えられる。

ターゲットの組成がわかるとあらかじめ生成核種が予想できるはずである。しかし、ターゲットやその周辺の情報、高度な企業秘密であるために、それを利用するのは現実的でなく、何らかの工夫が必要であると考えられた。企業秘密の保持は健全な競争に必要であり、安全性確保との関係で解決を模索するしかないと思われる。このような課題は、エックス線CTでの患者線量評価のためのフィルタやコリメータの情報の利用と同様の問題をはらんでいる。

ターゲットの放射化核種は Ge 半導体検出器を用いると少なくとも γ 線放出核種は容易に検出できると考えられる。Ge 半導体検出器は、環境放射能測定のために、各自治体にあり、文部科学省の予算で稼働している。予算面での折り合いがつけばリソースとして活用できるかもしれない。

D.2 これまでの報告

小高らの報告ⁱⁱは、専門業者が支援して作成されている。しかし、この報告では核種の同定に至らず、ピークのエネルギーを調べたのみであった。核種を同定しないと適切な管理はできないことから、核種の同定支援が課題であると考えられた。

D.3 放射化生成物低減化の工夫

低放射化コンクリートが開発され、利用できるようになっているⁱⁱⁱ。このよう

な素材を活用すべきかどうかも課題であると考えられた。

D.4 計算評価の課題

放射化物生成量の評価では、照射履歴の設定が重要であり、ビーム時間を正確に把握することが求められる。ビーム時間を十分に把握しておかないと計算評価より実測の方が大きな値になることもありえる^{iv}。

また、計算評価ではターゲットなどの組成情報が必要である。放射性医薬品に由来した汚染物の処理の合理化では、原料の品質管理による廃棄物処理の合理化が検討されている。すなわち、日本放射性医薬品協会のわたしたちのビジョン(2005年10月)では、原料ラジオアイソトープの品質基準を工夫することも、廃棄物の合理化に資するとされている^v。この考え方も取り入れクリアランス制度の利用にあたり事業所の負担軽減を図るのも一つの方策であると考えられる。

D.5 汚染の有無の評価

現場からは、汚染の有無を3シグマで判定基準としているとの意見が寄せられた。3シグマを有意水準にするということは、観測値が正規分布とするとし、かつ、サンプルに有意な放射能がないとして、1,000回サンプリング繰り返した場合に、誤って有意な放射能があると判定するサンプルを1つ程度に抑えられるということを意味する。従って、この判断基準では、汚染がないにもかかわらず汚染有りと誤って判定するエラーは制御でき

る(タイプ1エラーの制御)。しかし、このような管理基準で重要なのは、汚染を見逃さないエラーの制御である(タイプ2エラーの制御)。

このように、誤ってノイズをピークと見誤る確率を制御しようとする思想は、この測定には適切でない。

D.6 医療用の電子直線加速装置やマイクロトンでの放射化物の扱い

文部科学省の検討会中間報告書では、電子直線加速器の標的は、「クリアランスの対象とはならない」とされている。医療機関では、これらのごくわずかな放射化物についても、部品の交換などの作業時に十分に配慮されている。このような放射化物をクリアランスせず放射性廃棄物として扱うか、あるいは、放射性廃棄物としての規制をそもそも適用させないようにすべきかどうかは課題になると思われる。

少量の放射化物は、これまでのクリアランス制度には馴染まない。このような少量の放射化物の合理的な扱いをどのように可能とするかが課題である^{vi}。

D.7 規制の整備の方策

低エネルギー領域の加速器から生成される放射化物の放射線管理の規制整備は、まず、クリアランスについて十分整理する必要がある。

現時点では、平成10年に出された「放射線発生装置使用施設における放射化物の取扱いに係るガイドライン」を参考に、各医療機関では対応することになる。

文部科学省の通知では、使用室等から持ち出す際に、それが放射化物かどうかを判定することとし、判定の基準は、表面密度と表面から10cmの線量率で与えている。装置内部の冷却水中にトリチウムが生成されるなど内部にベータ線やアルファ線放出核種が存在していても、この定義では、放射化物に該当しないことがあるが、管理上、適切に扱う必要があることは言うまでもない。放射化物の扱いが課題になるのは、主として、廃棄の際である。このため、法令整備が課題とされている。この課題は、廃棄物の扱いはクリアランスの議論とも密接に関係する。クリアランスの議論では検認のあり方が論点の一つである。従って、課題を解決するには、医療機関での持ち出し時の測定の方策を決める必要がある。また、持ち出し時の測定だけでなく、事前の計算評価、あるいは持ち出し後の第三者評価のあり方も課題になる。文部科学省の検討会ではWGの中間報告がまとめ、一定の方向性が示された。検討会WGでの検討では、医療関係の電子直線加速器やマイクロトロンでは発生する放射化物そのものがほとんど発生しないか、発生しても少量でクリアランスの対象には馴染まないという整理がなされている。

確かに、医療関係は、電子直線加速器での空気の放射化(GSIは毎時7回の換気を求めるガイドラインに従っている)や放射化シエルの扱いは、そのリスクが小さいことから、あまり重要な課題ではな

いと思われる。ただし、現場できちんと対応され放射線防護上の問題がないだけでなく現行の規定と現状の齟齬はないことの説明は必要となろう。

一方、医療用の加速器は台数が多く、適切な指針がないために、混乱を防止するには、今後の対応が求められる。医療でもサイクロトロン廃止については現場での経験が集約されつつあり^{viiiviiiix}、サイクロトロンの導入時には、廃止時までを考えた全体計画が検討されている。また、経営への影響は病院の納入時にきちんと評価されているとともに、経営破綻時にも破産管財人が対応する仕組みが整えられ万全が期されている。

また、ボラスは治療のたびに製作されるため、治療を続けている限り半永久的に増え続けるとの意見も寄せられた。このため、現場に混乱をもたらさないような医療機関向けのガイドライン整備を進めるべきであると考えられた。また、放射化物の管理の解決法としては、よい管理が実施されている医療機関での現行の管理ルールをオーソライズし一般化することが現実的であると考えられた。

D.8 規制の整備の基本的な方針

以下の①～⑦の小佐古の整理が、課題解決に役立つと考えられる。^{xi}

①クリアランス対象物：議論の主題は大量な解体廃棄物、運転廃棄物が対象。病院、研究所等における中規模な施設におけるクリアランスの考え方をどのようにするのか。

②免除の概念との区分け：クリアランスは大物量に対して考えているが、小物量に対して定義される免除との区分けをどうするか。環境放出された放射性物質が公衆に到達しうるパスの多様性や極端例の可能性からクリアランスでは濃度は低く設定せざるを得ない。これに対して小物量ベースのモデルにより決められて免除レベルは同一核種であってもインベントリーが小さく、緩めの設定となる。同じく規制対象から外れるのに別の数値を運用せざるを得ないが医療の特性を考えた整理が必要か否か。

③放射性核種の評価単位や濃度分布の偏在：クリアランスにおいて大物量を扱うとなると、評価単位や偏在の検討が必要になる。

④放射性核種の代表的な組成、放射化分布（この件では関係なし）、2次汚染等の扱い：過去履歴、計算評価、サンプリング測定などの組み合わせにより、クリアランスされるものの実像を把握する（実態をよく考慮して考える）。

⑤「放射性廃棄物でない廃棄物」と「放射性廃棄物として扱う必要がないもの」の区分けと運用：両者は時として連続的に続いている場合も多い。その扱いをどうするか。

⑥クリアランスされたものの扱い：医療法からクリアランスされても、廃棄物規制法関係の整備がなされていなければ受け取りができないことになる。法律から法律にわたる際の接続性にも十分な配慮

が必要である。また、産業廃棄物管理票（マニフェスト）制度による追跡可能性（トレーサビリティ）などの検討も必要となろう。

⑦クリアランスの社会的受容性：クリアランスの意義は、安全性の確認を前提とし、適切かつ合理的な再使用、再生利用、適正処分を行い、資源の有効利用と環境への負荷低減を図り、21世紀の循環型社会形成促進を目指すわが国の方針にのっとり、クリアランス制度により、放射性物質として扱う必要のない物を適切かつ合理的の処理・処分することは、国民経済にとっても好ましいものである。これらの趣旨の理解促進を図り、クリアランスの社会的受容を図る。

このように、放射線障害防止法でのクリアランス制度の位置づけの整理のためになされている検討に沿って、医療でも対応するのがよいのではないかと考えられた。

D.9 その他の課題

標的がヒトであるのも医療の特徴である。患者を放射線源として考えなくてもよいことや放射化物による線量も放射線治療では織り込み済みなことや照射直後の照射室に従事者は入室しないこととされているが患者の安全確保上は問題ないことなどの整理が混乱の防止に資するのではないかと考えられた。

また、持ち出しの基準としての表面汚染密度限度は、放射化物の管理には馴染

まないと考えられるため、指標そのものの見直しも必要ではないかと考えられた。

一方、医療では高額医療機器のリース利用が導入されつつある。まだ、事例は存在しないが、放射化する医療機器のリースのあり方についても、今後、情勢を見つつ整理する必要があることも考えられた。

E. 結論

10MeV を超える加速器ではターゲット周囲に放射化物が生成されていた。この

ような放射化物の放射線安全の指針を策定する必要があると考えられる。

F. 研究発表

なし

G. 知的所有権の取得状況

なし

謝辞

本調査研究の実施にあたりご協力頂きました関係各位に謝意を表する。

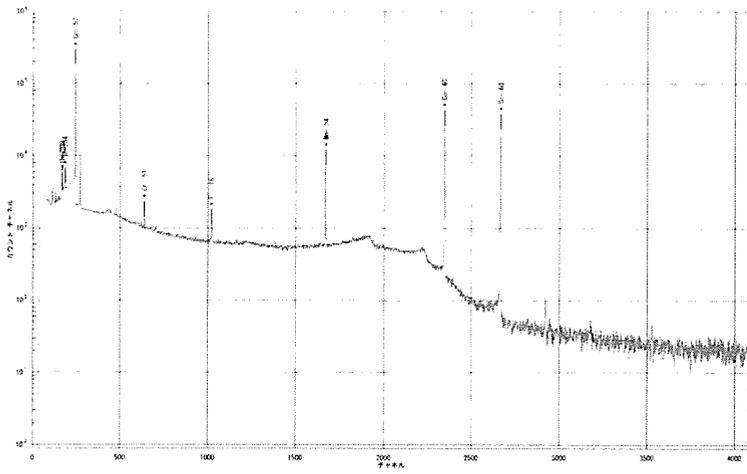


図1 ターゲット A

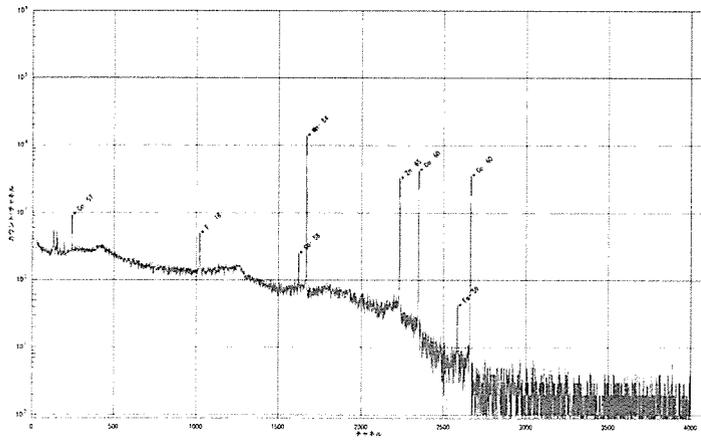


図2 ターゲット B

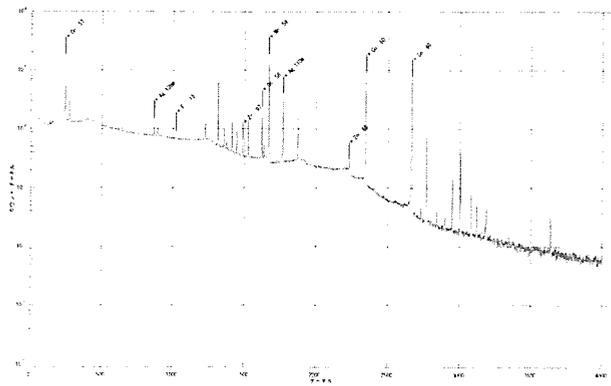


図3 ターゲット C

文献

-
- ⁱ <http://www.japc.co.jp/news/bn/h18/180602-1.pdf>
- ⁱⁱ 小高喜久雄, 池田恢, 加賀美芳和, 角美奈子, 村山重之, 伊藤芳紀, 根本幸一, 堀口弘, 高森健治, 秋葉裕子, 島根宏明, 井上卓. 高エネルギー発生装置放射化に対する問題 装置の廃棄に伴う処置と報告(国立がんセンター中央病院にて). INNERVISION.18 巻 8 号,92-99,2003
- ⁱⁱⁱ http://www.kumagaigumi.co.jp/n_pr000/pr_051109.html
- ^{iv} http://www.nucmext.jp/news/siryoku/ri21/20060629_01c.pdf
- ^v http://www.houyakkyou.org/img/katudo_img/vision_p1_p23.pdf
- ^{vi} NCRP Report No. 143: Management Techniques for Laboratories and Other Small Institutional Generators to Minimize Off-Site Disposal of Low-Level Radioactive Waste.
<http://www.ncrponline.org/rpt143.html>
- ^{vii} 石本剛, 久保田晴元, 森哲也, 寺川仁人, 谷邦治, 石井一成 医用小型サイクロトロンの放射化評価と廃止作業について. Radioisotopes.54 巻 6 号 Page185-192(2005.06)
- ^{viii} 石本剛. 放射線施設の廃止と検認測定法 医療用サイクロトロンの廃止について. 日本放射線安全管理学会誌. 3 巻 2 号 Page67-68(2004.11)
- ^{ix} 森哲也, 石井一成, 久保田晴元, 石本剛. PET 用院内サイクロロン廃止時における放射線管理 兵庫県立姫路循環器病センターでの経験. 核医学. 40 巻 3 号 Page388(2003.08)
- ^x 石本剛, 久保田晴元, 寺川仁人, 谷邦治. 医用小型サイクロトロンの放射化についての検討. 日本放射線技術学会雑誌. 59 巻 9 号 Page1084(2003.09)
- ^{xi} 小佐古敏荘. クリアランスレベルの法令取り入れについて (免除・除外・クリアランスとの関連において) <http://homepage3.nifty.com/anshin-kagaku/sub041223kosako2.htm>

平成 18 年度厚生労働科学研究費補助金（医療安全・医療技術評価総合研究事業）
「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」

主任研究者 油野 民雄 旭川医科大学放射線医学 教授

～複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を搭載するエックス線装置による
新しい放射線の利用形態における安全使用にかかる環境整備に関する研究～
（中間報告書）

分担研究者

山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 主任研究官

研究協力者

天野 昌治 (株) 島津製作所 医用技術部 (日本画像医療システム工業会)
池淵 秀治 社団法人日本アイソトープ協会医療情報室
岩永 哲雄 社団法人日本アイソトープ協会医療情報室
大山 昇次 全国保健所技師会 会長 (東京都台東保健所)
小林 一三 国立国際医療センター 技師長
迫 義知 大阪府健康福祉部医務・福祉指導室
高橋 美保子 社団法人日本アイソトープ協会医療情報室
成田 浩人 東京慈恵会医科大学附属病院放射線部 技師長補佐
中澤 敦 東京都福祉保健局医療政策部 医療安全課 指導係
諸澄 邦彦 埼玉県立循環器・呼吸器病センター放射線技術部 副技師長

A. 研究目的

現行の「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について」(平成 13 年 3 月 12 日医薬発第 188 号) (以後「医薬発第 188 号通知」という。) では、エックス線診療室で 2 台以上のエックス線装置を備えた場合でも、複数のエックス線装置から患者に対して同時にエックス線照射を行うことは認められていない。当該通知が意図するところは、ICRP Pub. 33 (1981) 第 84 項「同一室内で 2 人以上の患者を同時に検査することは、職員と患者の双方に対して、不必要でかつ容易には制御することができない危険をもたらすことになるかもしれない。」とする勧告に基づいているとされ、患者の医療安全及び放射線診療従事者の放射線防護を確保するための具体的対応策として規定されたものである。

近年、複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を一式とした装置により、複数方向からエックス線照射を行って、診断精度の向上、放射線治療時の組織・臓器の動きに対応する迅速追尾など、より質の高い医療情報の提供を意図した医療機器が開発されている。本検討課題は、これらの新しい医療技術を用いたエックス線装置の診療への適用に係る妥当性について、放射線防護及び医療安全の確保の面から検討することを目的とする。

B. 研究方法

医薬発第 188 号通知に係る医療放射線の防護基準についての研究・検討を行い、複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を持つエックス線装置を適用した、新しい医療技術を用いたエックス線装置の利用に際しての、放射線防護及び医療安全の面から検討した。なお、複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を搭載する装置を医療に導入するにあたってのエックス線装置の使用や届出手続き、エックス線による放射線障害防止の構造設備及び予防措置の概要として、複数のエックス線管と高電圧発生装置を持つエックス線装置の遮へい評価モデルもあわせて検討した（付録 1、付録 2、付録 3-1、付録 3-2）。

C. 研究結果及び考察

複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を持つエックス線装置の使用に関して、医薬発第 188 号通知におけるエックス線装置の台数と、関連する同時照射の防止に関する事項について検討を行ったところ、次に示す医療の安全を確保するために必要な要件の遵守が求められる。

【複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を搭載したエックス線装置を使用し、患者に対して同時にエックス線照射を行う際に、備える条件】

複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を持つエックス線装置の使用に関して、放射線防護及び医療安全の確保における必要となる条件を列挙する。

- 1) 共通した 1 つのエックス線制御装置を使用し、かつ同時に 2 人以上の患者の診療に用いられない構造であること。
- 2) 当該エックス線装置の制御系は単一に統合されて、操作者は操作卓でのみ各エックス線管を任意にコントロールできるシステムになっていること。
- 3) 制御系などの装置は、操作手順及びマニュアルに従って始業点検を行うこと。また、キャリブレーション等の保守点検は、定期的に行うこと。
- 4) 検査患者以外で同行する必要のない者を、当該エックス線診療室へ入れないこと。
- 5) 当該エックス線装置を用いて検査する者は、検査患者、検査事項及び検査内容の確認を必ず実施し、確認した事項を記録すること。
- 6) 当該エックス装置を操作する者は、CT モードあるいは照射モードについても必ず確認すること。また、操作中は、操作卓から決して離れないこと。
- 7) 電圧等のパラメータ入力に際して、複数の従事者によるダブルチェックを履行し、チェック内容について記録すること。
- 8) 当該エックス線装置を操作する者は、安全使用に際して技術の習熟が必要と思われるため、当該機器に関する放射線防護及び医療安全の確保に必要な研修を年 2 回程度、定期的に行い、その実施内容について記録すること。

これらの条件を満たす事を前提とし、このような新たな医療技術を用いたエックス線装置を設けた場合であっても、1 つのエックス線管と 1 つの高電圧発生装置からなるエックス線装置と同様の防護措置により患者及び医療従事者の安全が保たれ、ICRP Pub. 33 (84 項) の放射線防護の考え方と医療の安全を確保する上で支障を来すものではないことが思量される。

なお、複数のエックス線管と複数の高電圧発生装置を持つエックス線装置を使用し、患者に対して同時にエックス線照射を行う際にも当然ながら患者への被ばくは診療にとって適切な線量である

ことが求められることから、IAEA（国際原子力機関）やWHO（世界保健機構）などの国際機関が協同で作成した「国際基本安全基準」（BSS）（1996年）など^{2)～4)}のガイダンスレベル（参考1）を目標値とするのが適当と考えられた。

D. 参考文献

1. ICRP, Protection Against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine, Publication 33, ICRP (1982)
2. IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
3. IAEA, Radiation Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation, Safety Standards Series No. RS-G-1.5, IAEA, Vienna (2002).
4. IAEA, Radiation Safety in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures Using X Rays, Safety Reports Series No. 39, IAEA, Vienna (2006).

付録1 エックス線診療室しゃへい計算

施設名		国立〇〇病院	
エックス線診療室名		CT撮影室	
装置名		×××装置	(第2管球)
撮影方法		撮影	撮影
透視条件	管電圧 (kV)		
	管電流 (mA)		
	透視時間 (分/1人)		
	1週間の延透視時間 (s/週)		
撮影条件	管電圧 (kV)	120	120
	管電流 (mA)	600	600
	撮影時間 (秒/1回)	0.50	0.50
	1週間の延撮影時間 (s/週)	1950.0	1950.0
その他の条件	X: 空気カーマ ($\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$)	160	160
	W: 3月間の実効稼働負荷 ($\text{mA}\cdot\text{s}/3\text{月間}$)	30,420,000	
	(E/Ka): 換算係数 (Sv/Gy)	1.433	
	U: 使用係数	1	
	T: 居住係数	1	
	a: 照射野40cm ² 空気吸収線量率の百分率	0.0015	
	F: 照射野の大きさ (cm ²)	818.00	
	Xl: 管球からの線量 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	1000	
	t _w : 3月間の稼働時間 (h/3月間)	7.04	
	コンクリートの密度 (g/cm^3)	2.10	

エックス線診療室名		CT撮影室		装置名		×××装置		撮影方法		撮影		計算点までの距離				漏えい線量
計算点	方向	対向遮へい物		遮へい壁等						計算点までの距離				$\mu\text{Sv}/3\text{月間}$		
		鉛		鉛			コンクリート			d 1 (m)	d 2 (m)	d 3 (m)	d 4 (m)			
		(mm)	透過率	(mm)	透過率	半価層による透過率	(cm)	透過率	半価層による透過率							
A	利用線維	2.5	1.47E-04	0.5		2.90E-01	20		1.58E-03	3.10					48.88	
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		2.50	0.595			504.16	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				1.90		1.28	
B	利用線維															
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		2.00	0.595			787.75	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				2.00		1.16	
C	利用線維	2.5	1.47E-04	0.5		2.90E-01	20		1.58E-03	3.30					43.14	
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		2.70	0.595			432.23	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				2.10		1.05	
D	利用線維															
	散乱線			2.5	1.47E-04						3.90	0.595			584.07	
	管容器			2.5		2.05E-03							3.90		1.36	
E	利用線維	2.5	1.47E-04	0.5		2.90E-01	20		1.58E-03	3.45					39.47	
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		2.87	0.595			382.55	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				2.27		0.90	
F	利用線維															
	散乱線															
	管容器															
病室	利用線維															
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		30.00	0.595			3.50	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				30.00		5.00E-03	
居住区域境界	利用線維	2.5	1.47E-04	0.5		2.90E-01	20		1.58E-03	74.00					0.09	
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		74.00	0.595			0.58	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				74.00		8.00E-04	
病院敷地境界	利用線維															
	散乱線			0.5	3.30E-02		20		1.58E-03		70.00	0.595			0.64	
	管容器			0.5		2.90E-01	20		1.58E-03				70.00		9.00E-04	

エックス線診療室名		CT撮影室						漏えい線量 合計	実効線量限度
装置名		×××装置							
撮影方法		撮影							
計算点	方向	漏えい線量 μSv/3月間							
A	利用線錐	48.88						554.32	1300
	散乱線	504.16							
	管容器	1.28							
B	利用線錐							788.91	1300
	散乱線	787.75							
	管容器	1.16							
C	利用線錐	43.14						476.42	1300
	散乱線	432.23							
	管容器	1.05							
D	利用線錐							585.43	1300
	散乱線	584.07							
	管容器	1.36							
E	利用線錐	39.47						422.91	1300
	散乱線	382.55							
	管容器	0.90							
F	利用線錐								1300
	散乱線								
	管容器								
病室	利用線錐							3.51	1300
	散乱線	3.50							
	管容器	5.00E-03							
居住区域境界	利用線錐	0.09						0.66	250
	散乱線	0.58							
	管容器	8.00E-04							
病院敷地境界	利用線錐							0.64	250
	散乱線	0.64							
	管容器	9.00E-04							

付録2 CT撮影室しゃへいに係る算定評価書

しゃへい計算は、医薬発第188号、厚生労働省医薬局通知（平成13年3月12日）による。

使用条件

- 1) 2管球が同時に照射されるマルチスライスCT装置を1日、30名、週5日使用するときの管理区域、病室、居住区域境界及び病院敷地境界における漏えい線量の計算を行う。
- 2) 撮像条件

第1管球	120 kV	300 mAs / 1回転	26回転 / 1人
第2管球	120 kV	300 mAs / 1回転	26回転 / 1人
- 3) コンクリートの密度 2.10 g/cm²
- 4) 対向しゃへい物 (X線検出器後面) 2.5 mmPb

(1) 管理区域について

1) 利用線維方向の漏えい線量

評価方向 : A

A方向の(E_p)は、対向しゃへい物、鉛壁及びコンクリートの複合しゃへい体を用いられているので次式より求める。

$$\begin{aligned}
 E_p &= \frac{X_p \times W \times D t \times (E/K a) \times U \times T}{d_1^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(t/2)} \\
 &= \frac{160 \times 30,420,000 \times 1.47 \times 10^{-4} \times 1.433 \times 1 \times 1}{3.1^2} \times 2.9 \times 10^{-1} \times 1.58 \times 10^{-3} \\
 &= 48.88 \text{ (}\mu\text{Sv/3月間)}
 \end{aligned}$$

- X_p (表1) : 160 (μGy/mA·s)
- W : 13w/3月間×5d/w×30人/d×300mAs×26回転
+13w/3月間×5d/w×30人/d×300mAs×26回転
= 30,420,000 (mA·s/3月間)
- (E/K a) (表5) : 1.433 (Sv/Gy)
- D t : 鉛2.5mm (対向しゃへい物) の透過率 (表2)
= 1.47×10⁻⁴
- 半価層 (鉛厚0.5mm) の透過率 (表6) を求める。
= 2.9×10⁻¹
- 半価層 (コンクリート厚20cm) の透過率 (表6) を求める。
= 1.58×10⁻³
- U = 1
- T = 1
- d₁ = (A:3.10m) (C:3.3m) (E:3.45m)

C、E方向について同様に計算を行った。

2) 散乱線の漏えい線量

評価方向 : A、B、C、D、E、

A方向の (E_s) は、次式より求める。

$$E_s = \frac{X_s \times W \times D_t \times (E/Ka) \times U \times T}{d_2^2 \times d_3^2} \times \frac{a \times F}{400}$$

$$= \frac{160 \times 30,420,000 \times 3.30 \times 10^{-2} \times 1.433 \times 1 \times 1}{2.5^2 \times 0.595^2} \times 1.58 \times 10^{-3} \times \frac{0.0015 \times 818}{400}$$

$$= 504.16 \text{ (}\mu\text{Sv/3月間)}$$

- X_s (表1) : 160 ($\mu\text{Gy/mA}\cdot\text{s}$)
- W : 13w/3月間 \times 5 d/w \times 30人/d \times 300mAs \times 26回転
 $+13\text{w/3月間} \times 5\text{ d/w} \times 30\text{人/d} \times 300\text{mAs} \times 26\text{回転}$
 $= 30,420,000 \text{ (mA}\cdot\text{s/3月間)}$
- (E/Ka) (表5) : 1.433 (Sv/Gy)
- D_t : 鉛厚 (表2) の透過率を求める。
 $= 3.30 \times 10^{-2}$
- 半価層 (コンクリート厚20cm) の透過率 (表6) を求める。
 $= 1.58 \times 10^{-3}$
- a (表4) : $0.15/100 = 0.0015$
- F : 818 (cm^2)
- $U = 1$
- $T = 1$
- d_2 : (A:2.5m) (B:2.00m) (C:2.7m) (D:3.9m) (E:2.87m)
 d_3 : (A:0.595m) (B:0.595m) (C:0.595m) (D:0.595m) (E:0.595m)

B、C、D、E方向について同様に計算を行った。

3) 管容器からの漏えい線量

評価方向 : A、B、C、D、E

A方向の (E_l) は、次式より求める。

$$E_l = \frac{X_l \times t_w \times (E/Ka) \times U \times T}{d_4^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(t/t_{1/2})}$$

$$= \frac{1000 \times 7.04 \times 1.433 \times 1 \times 1}{1.9^2} \times 2.9 \times 10^{-1} \times 1.58 \times 10^{-3}$$

$$= 1.28 \text{ (}\mu\text{Sv/3月間)}$$

- X_l (第30条第1号二) 管球からの線量率 : $1\text{mGy} \times 1000 \mu\text{Gy/mGy}$
 $= 1000 \text{ (}\mu\text{Gy/h)}$
- (E/Ka) (表5) : 1.433 (Sv/Gy)
- 半価層 (鉛厚0.5mm) の透過率 (表6) を求める。

$$= 2.9 \times 10^{-1}$$

- ・ 半価層（コンクリート厚20cm）の透過率（表6）を求める。

$$= 1.58 \times 10^{-3}$$

- ・ t_w : $30,420,000 \text{ mA} \cdot \text{s} / 3\text{月間} / 600\text{mA} / 3600\text{s/h} / 2 = 7.04 \text{ (h/3月間)}$ (1管球として計算する。)

- ・ d_4 : (A:1.9m) (B:2.0m) (C:2.1m) (D:3.9m) (E:2.27m)

B、C、D、E方向について同様に計算を行った。

(2) 病室について

1) 散乱線の漏えい線量

評価方向 : B'

B' 方向の (E_s) は、次式より求める。

$$E_s = \frac{X_s \times W \times D t \times (E/K a) \times U \times T}{d_2^2 \times d_3^2} \times \frac{a \times F}{400}$$

$$= \frac{160 \times 30,420,000 \times 3.30 \times 10^{-2} \times 1.433 \times 1 \times 1}{30^2 \times 0.595^2} \times 1.58 \times 10^{-3} \times \frac{0.0015 \times 818}{400}$$

$$= 3.50 \text{ (}\mu\text{Sv/3月間)}$$

3) 管容器からの漏えい線量

評価方向 : B'

B' 方向の (E_L) は、次式より求める。

$$E_L = \frac{X_L \times t_w \times (E/K a) \times U \times T}{d_4^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(1/t^{1/2})}$$

$$= \frac{1000 \times 7.04 \times 1.433 \times 1 \times 1}{30.0^2} \times 2.9 \times 10^{-1} \times 1.58 \times 10^{-3}$$

$$= 0.005 \text{ (}\mu\text{Sv/3月間)}$$

(3) 居住区域境界について

1) 利用線錐方向の漏えい線量

評価方向 : A'

A' 方向の (E_p) は、対向しゃへい物、鉛壁及びコンクリートの複合しゃへい体が用いられているので次式より求める。

$$E_p = \frac{X_p \times W \times D t \times (E/K a) \times U \times T}{d_1^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(1/t^{1/2})}$$

$$= \frac{160 \times 30,420,000 \times 1.47 \times 10^{-1} \times 1.433 \times 1 \times 1}{74^2} \times 2.9 \times 10^{-1} \times 1.58 \times 10^{-3}$$

$$= 0.09 (\mu\text{Sv}/3\text{月間})$$

2) 散乱線の漏えい線量

評価方向 : A'

A' 方向の (E_s) は、次式より求める。

$$E_s = \frac{X_s \times W \times D t \times (E/K a) \times U \times T}{d_2^2 \times d_3^2} \times \frac{a \times F}{400}$$

$$= \frac{160 \times 30,420,000 \times 3.30 \times 10^{-3} \times 1.433 \times 1 \times 1}{74^2 \times 0.595^2} \times 1.58 \times 10^{-3} \times \frac{0.0015 \times 818}{400}$$

$$= 0.58 (\mu\text{Sv}/3\text{月間})$$

3) 管容器からの漏えい線量

評価方向 : A'

A' 方向の (E_l) は、次式より求める。

$$E_l = \frac{X_l \times t w \times (E/K a) \times U \times T}{d_4^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(t/t_1/2)}$$

$$= \frac{1000 \times 7.04 \times 1.433 \times 1 \times 1}{74^2} \times 2.9 \times 10^{-1} \times 1.58 \times 10^{-3}$$

$$= 0.0008 \mu\text{Sv}/3\text{月間}$$

(4) 病院敷地境界

1) 散乱線の漏えい線量

評価方向 : B''

B'' 方向の (E_s) は、次式より求める。

$$E_s = \frac{X_s \times W \times D t \times (E/K a) \times U \times T}{d_2^2 \times d_3^2} \times \frac{a \times F}{400}$$

$$= \frac{160 \times 30,420,000 \times 3.30 \times 10^{-2} \times 1.433 \times 1 \times 1}{70^2 \times 0.595^2} \times 1.58 \times 10^{-3} \times \frac{0.0015 \times 818}{400}$$

$$= 0.64 (\mu\text{Sv}/3\text{月間})$$

2) 管容器からの漏えい線量

評価方向 : B''

B' ' 方向の (E_t) は、次式より求める。

$$\begin{aligned} E_t &= \frac{X_l \times t w \times (E/K a) \times U \times T}{d_4^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(1/t^{1/2})} \\ &= \frac{1000 \times 7.04 \times 1.433 \times 1 \times 1}{70^2} \times 2.9 \times 10^{-1} \times 1.58 \times 10^{-3} \\ &= 0.0009 \text{ (}\mu\text{Sv/3月間)} \end{aligned}$$

II. 結果

以上の計算の結果付録1の表を得た。