

算定式は、現行の年間の最大使用予定数量/1日最大使用予定数量<91まで1日最大使用数量を連日使用する想定部分を、規則第30条の26第1項の規定に基づいて3月間の平均濃度を求めるものとする。

② 健政発第20号の排水口における排水濃度の算定式の中の $t_1$ （流入期間（＝貯留槽1基の貯水量/貯留槽への1日の流入量）は、現行の（年間の最大使用予定数量/1日に最大使用予定数量）の値が、貯留槽1基の満水日数を超えるまで1日最大使用予定数量の連日使用を想定する部分についても、（1）と同様に3月間の平均濃度を求めるものとする。

上記について、健政発第20号の放射性同位元素の濃度算定と比較検討する。

## 2) 空気中の放射性同位元素の算定について

1日最大使用予定数量を用いるため、検討から除外するが、放射線防護上の観点から、放射線治療病室における診療放射線従事者の滞在係数を導入することが合理的と考える。

## 3) 排気口における排気及び空気中の濃度算定について

健政発第20号と3月間平均濃度を考慮した算定法を比較検討する。

### (1) 健政発第20号による算定

$$= (1日最大使用予定数量 \times (\text{飛散率}) \times (\text{透過率}) \times 91^{(注1)}) / 1日の総排気量 \times 91 \quad \dots\dots (1)$$

(注1) = (年間最大使用予定数量 / (1日最大使用予定数量) が91未満となる場合は、その数値とする。

従って、式(1)中の $91^{(注1)}$ は、表1から39を用いて、次の式に改変される。

$$= (1日最大使用数量 \times (\text{飛散率}) \times (\text{透過率}) \times 39) / 1日の総排気量 \times 91$$

### (2) 3月間の平均濃度による算定

(1)式の1日最大使用予定数量 $\times 91^{(注1)}$ を3月間最大使用予定数量に代えた算定式を示す。

3月間の平均排気濃度

$$= (3月間最大使用予定数量 \times (\text{飛散率}) \times (\text{透過率})) / 1日の総排気量 \times 91 \quad (2)$$

3月間の最大使用予定数量は、表1から1日最大使用予定数量 $\times 13$ を用いる。

$= (1日最大予定数量 \times (\text{飛散率}) \times (\text{透過率}) \times 13) / 1日の総排気量 \times 91$   
両者を単純に比較すると、(1)/(2) = 3となる。このように、健政発第20号と「3月間平均濃度」の算定値を比較すると、前者が3倍強化されることを示すものである。また、この排気口における排気中の放射性同位元素濃度の算定は、放射線障害防止法で既に運用され定着している。以上により、排気口における排気中の診療用放射性同位元素の濃度算定については、後者の3月間最大使用数量を考慮した算定法を提案する。

## 3) 排水濃度の算定について

排水濃度についても、排気濃度の算定と同様、規則第28条に「診療用放射性同位元素の3月間最大使用予定数量」を規定することによって、規則第30条の26第1項の規定の適用できる。ここでは健政発第20号と3月間平均排水濃度の算定について比較検討する。

### (1) 排水設備の計算上のモデル

排水設備の排水口における排水又は排液の濃度算定の検討に当たっては、表1の診療用放射性同位元素の使用形態に加えて、次に示す排水設備のモデルを1例として用いる。

- ① 排水設備：貯留槽（1基の容積：3トン）  
×2基
- ② 使用施設から貯留槽へ流出する水量：  
200リットル/日（貯留槽1基の満水日数；15日）

(2) 健政発第20号の算定式による排水又は排液中の放射性同位元素濃度の算定について健政発第20号の排水濃度の算定法に従って（診療用放射性同位元素の使用が貯留槽1基の満水日数（15日）まで1日最大使用予定数量の連日使用）計算した結果を表2に示す。

**表2 健政発第20号の算定式による排水濃度の算定**

表2に示すように、この10倍希釈によっても濃度限度比3.43で、1を大きく超える。

(3) 3月間平均濃度による算定法の検討

3月間平均濃度は、3月間で使用した放射エネルギーを3月間の流入量で除して求められる。貯留槽の容積の大小、つまり満水日数の違いにも適用する算定を考慮し、診療用放射性同位元素の極端な使用例について検討する。

① 1日最大使用量を貯留槽が満水になるまで連日使用すると仮定した場合の3月間排水中平均濃度の算定法

ここでは、貯留槽1基が満水になるまで1日最大使用予定数量の1.3回(3月間最大使用予定数量(表1参照))連日使用すると仮定する。この例は、貯留槽1基の満水日数(1.5日間)で3月間最大使用予定数量を使い果たすことになる。従って、3月間の満水回数(3月間における貯留回数は91日/1.5日≒6(6.07)回)のうち5回は放射性同位元素で汚染されない液が貯留槽に流入することになる。排水中放射性同位元素の3月間平均濃度を計算した結果を表3-1に示す。

**表3-1 3月間における排水中の平均濃度**

10倍希釈後の濃度限度比は3.12となり、1を超える。しかしながら、3月間平均濃度は、 $3.12/6=0.52$ となる。このケースでは、後述のように3月間平均濃度を求めた三つのケースの中で最も低い濃度限度比となる。これは、貯留中の核種の減衰が大きく寄与している。一方、排水の不特定回数の中で1回たりとも濃度比が1を超えた場合に、排水不可とする現行の基準に対して馴染まないと思われる。

② 貯留槽1基の満水期間で使用する診療用放

射性同位元素の1日最大使用予定数量の平均使用回数を適用する算定について

ここでは、貯留槽1基の満水当たりの使用放射エネルギーとして、3月間最大使用予定数量の範囲で1日最大使用予定数量の回数を割り振るものである。つまり、3月間における貯留槽1基の満水回数当たりに3月間における1日最大使用予定数量を均等に使用すると仮定している(=  $t_1$ )。この  $t_1$  を健政発第20号の算定式に代入する((4)式)。

$$t_1 = ((3月間の最大使用予定数量) / (1日最大使用予定数量)) \times (貯留槽1基の満水日数/91) \dots\dots\dots (4)$$

貯留槽1基の満水時における1日最大使用予定数量の回数は次のとおりに計算される。

$$t_1 = 1.3回 \times (1.5日/91日) \\ = 1.3 \times 0.165 = 2.15回$$

この値(2.15)は、3月間における満水時の平均的な計算上の総放射エネルギーを意味する。

**表3-2 3月間における排水中の平均濃度**

2.14を(3)式の  $t_1$  に代入して排水濃度を求めると、10倍希釈後の濃度限度比は、表3-2に示すように0.66と計算される。一方、満水時における1日最大使用量の2.15回を放射エネルギーの根拠にすることは、運用上受け入れ難い部分が予想される。

③ 貯留槽1基の満水期間における1日最大使用予定数量の回数( $t_1$ 値)の少数点以下を切り上げた値を用いた算定

②で算定された  $t_1$  の小数点を含む値を使用放射エネルギーとすることについては、1日最大使用予定数量の解釈において受け入れがたい面が考えられる。そこで、小数点以下の値を切り上げた  $t_1$  値を用いて計算する。

$$t_1 = 1.3回 \times (1.5日/91日) \\ = 1.3 \times 0.165 \approx 3回 (小数点以下切り上げた値)$$

表3-3 3月間における排水中の平均濃度

②と同様、上に示した $t_{1/2}$ 値の3を(3)式に代入して排水濃度を求める。10倍希釈後の濃度限度比は、表3-3に示すように、0.90と計算された。この場合は、 $t_{1/2}$ 値の小数点以下の数値を切り上げているため、安全側の評価となり、3月間平均濃度の算定で最も大きな値になった。しかしこの場合でも、健政発第20号の算定法に比べて3.8倍(3.43/0.9=3.8)緩和されることを意味しており、使用の実態と安全側の両面を考慮すると、現実的な算定法と考える。

(4) 算定式による排水濃度比のまとめ

これまで検討した排水中の算定法の濃度限度比をまとめて表4に示す。

表4 算定方式の違いによる排水濃度の算定比較

表4は、放射性同位元素の使用核種の種類、1日最大使用予定数量、3月間最大使用予定数量及び年間最大使用予定数量並びに排水設備の規模が同じであっても、算定式の違いによって算定される排水中の放射性同位元素の濃度限度比が、それぞれで異なった値が求められることを示している。すなわち、健政発第20号に基づいて求めた濃度限度比は3.43と算定された。一方、3月間平均濃度を基本とした算定法により求めた①、②及び③の10倍希釈後の濃度限度値は、0.52、0.66及び0.90で何れも1以下となった。最も低い値と算定された①は、貯留期間における核種の減衰が大きく寄与されている。続いて②<③の順序となるが、この違いは、算定式中 $t_{1/2}$ の小数点以下の数値の扱いの差に起因している。②は、少数を含む $t_{1/2}$ 値を用いており、一方、③での $t_{1/2}$ は、少数点以下を切り上げた値を用いている。前者は、使用の実際を

考慮すると、1日最大使用予定数量の小数点を含む回数を適用することは、1日最大使用予定数量の考え方に馴染まないものとする。一方、③の算定法は、小数点以下の値を切り上げているため安全側の評価になっている。安全側に傾斜した算定評価であっても、健政発第20号に比べて3倍強緩和されることを示した。以上のことから、本検討における排水中の放射性同位元素の濃度算定法として③を提案する。

C 結論

医療法施行規則第28条の改正並びに健政発第20号の排水・排気濃度の算定について検討した。この検討において改正或いは改善されるべきことを提案した。それらについて次に要約する。

1) 医療法施行規則の改正に関する提案

放射線審議会の意見具申に伴い管理区域等の管理期間が3月間に変更されること、放射線障害防止法との整合性を図るため、医療法施行規則第28条(診療用放射性同位元素の届出)第1項第3号の「ベクレル単位をもって表わした診療用放射性同位元素の種類ごとの最大貯蔵数量及び1日最大使用予定数量」から「ベクレル単位をもって表わした診療用放射性同位元素の種類ごとの最大貯蔵数量、1日最大使用予定数量及び3月間の最大使用予定数量」に改正することを提案する。

2) 空気中の診療用放射性同位元素濃度の算定に関する提案

空気中の診療用放射性同位元素の濃度の算定に当たっては、従来のおりの8時間平均濃度を求めるものとするが、被ばく防止等の安全性に配慮して8時間当たりの診療放射線従事者等の放射線治療病室における最大滞在時間を考慮した算定を提案する。

(8時間平均濃度)

$$= (1日最大使用予定数量) \times (飛散率)^{(注1)} \times (滞在係数)^{(注2)} / (8時間当たりの排気量)$$

(注1) 飛散率は原則として健政発第20号の通りとする。ただし、合理的な理由があ

る場合には、これ以外の飛散率を用いても良い。

**(注2) 滞在係数は、放射線診療従事者が放射線治療病室に滞在する8時間当たりの時間の比とする。**

### 3) 診療用放射性同位元素の排気濃度算定に関する提案

放射線障害防止法及び医療法施行規則第30条の26の規定に準拠した排気口における排気又は空気中の濃度を、以下に示す3月間平均濃度の算定法を次のとおり提案する。

◎ 排気に係る放射性同位元素の濃度の算定に当たっては、次式により、核種ごとに3月間の平均濃度を求め、次式に当該平均濃度を規則別表第3の第4欄に示す濃度<sup>(注1)</sup>で除して核種ごとの割合を求め、これらの割合の和を算出すること。

(排気口における3月間平均濃度の算定)

$$\text{3月間平均濃度} = \frac{\text{3月間最大使用予定数量} \times \text{飛散率}^{(注2)} \times \text{透過率}^{(注2)}}{\text{3月間の総排気量}^{(注3)}}$$

(注1) 規則別表第3で1つの核種につき複数の化学形が示されている場合は、最も厳しい値となる濃度限度を用いる。

(注2) 飛散率及び透過率は原則として健政発第20号のとおりとする。ただし、合理的な理由がある場合には、これ以外の飛散率及び透過率を用いても良い。

**(注3) 3月間の総排気量は、排気設備の実稼働時間を考慮したものとする。**

### 4) 診療用放射性同位元素排水濃度の算定に関する提案

診療用放射性同位元素の排水濃度の算定法については、1)で提案した3月間の最大使用数量の規定を設けたことによる使用実態と、医療法施行規則第30条の26の規定の整合性を図るため、排水濃度の算定法を以下のとおりに提案する。

◎ 排水に係る放射性同位元素の濃度の算定に

当たっては、次式により、核種ごとの排水中の放射性同位元素の濃度を求め、次に当該濃度を規則別表第3の3欄に示す濃度限度<sup>(注1)</sup>で除し核種ごとの割合を求めて、これらの割合の和を算出すること。

なお、この割合の和が1を超える場合にあっては、希釈槽の希釈能力を考慮しつつ、最高10倍の希釈を行うこととして最終的な割合の和を算出して差し支えない。

(排水中の放射性同位元素の濃度)

$$\begin{aligned} \text{排水中の放射性同位元素の濃度} &= (\text{排水時の貯留槽中の放射能}) / (\text{貯留槽1基の貯水量}) \\ &= (1\text{日最大使用予定数量}) \times (\text{混入率})^{(注2)} \\ &\quad \times [(1 - \exp(-\lambda t_1)) / \lambda] \times \exp(-\lambda t_2) \\ &\quad / (\text{貯留槽1基の貯水量}) \end{aligned}$$

$\lambda$  : 核種の崩壊定数 (/日) (= 0.693/T)

T : 核種の物理的半減期 (日)

**$t_1$  : 流入期間 (= 貯留槽1基の満水期間における1日最大使用予定数量の使用回数)は、次式により求めるものとする。**

$$t_1 = \frac{\text{3月間の最大使用予定数量}}{(1\text{日最大使用予定数量}) \times (\text{貯留槽1基の満水日数 (日)} / 91 \text{ (日)})}$$

**ただし、 $t_1$ の少数点以下の数値は、切り上げるものとする。**

$t_2$  : 放置期間 (日)

(注1) 規則別表第3で1つの核種につき複数の化学形が示されている場合は、最も厳しい値となる濃度限度を用いる。

(注2) 混入率については、原則として $10^{-2}$ とする。ただし、合理的な理由がある場合には、これ以外の数値を用いても差し支えない。

### 5) 管理区域の境界における線量に伴う留意点について

3月間の最大使用予定数量、核種の実効線量率定数及び遮へい体の減衰率を用いて、管理区域の境界における3月間の線量について測定等により評価すること (1.3ミリシーベルト/3月間)。

6) 排水・排気の濃度に関する算定法(案)を適

### 用する場合の留意点

3月間の最大使用予定数量に基づき、医療法施行規則第30条の26を適用する場合、病院又は診療所で守るべき放射線管理上の留意点を次に示す。ただし、この留意点を遵守できない場合には規制強化であっても、従来方式が課せられるものとする。

(1) 病院又は診療所において、診療用放射性同位元素の備えを変更しようとするときは、医療法施行規則第29条によりあらかじめ変更等の届出を行うこと。なお、3月間についての平均濃度をもって算定する場合の届出事項については、次のとおりとする。

① 変更の届出等について診療用放射性同位元素の種類ごとの最大貯蔵予定数量、1年間の最大使用予定数量及び1日最大使用予定数量に加えて、3月間の最大使用予定数量を付記すること。

② 排水・排気濃度の算定に加えて、管理区域及び病院等の境界における線量についても再評価すること。

(2) 放射線管理の徹底を図るため、次に示す事項について遵守するものとする。

① 1日最大使用予定数量、3月間の最大使用予定数量及び1年間の最大使用数量の使用状況に関し記録し、その記録を保存すること。

② 1日最大使用予定数量等の予定数量とは、構造設備等の基準算定の根拠となるべき数量であることを念頭におき、徹底されるべき数量とする。ただし、国民の生命と健康を守る特殊性を考慮して、予定数量を超えた場合の事項及び事由、その際講じた放射線の障害に防止に関する予防措置について記録して保存すること。

③ 排水・排気ごとの放射能濃度の測定結果並びにモニタリングの測定に関する記録を保存すること。なお、測定することが著しく困難な場合には、先の算出式を用いて算定して、その記録を保存すること。

④ 3月間における排水及び排気の濃度を算定し、記録すること。記録は保存すること。

⑤ 3月間の管理においては、毎年4月1日を始期とする3月間管理とすること。

⑥ 上記のブロック管理において、貯留槽の満水期間のある場合、3月間をまたがる時期が考えられる。その時期に3月間最大使用予定数量×2回の使用を厳禁とする。

(3) 医薬安第70号「放射性医薬品を投与された患者の退出に関する基準」の取扱については、患者に放射性医薬品を投与した放射線量及び投与された患者の体内残留放射線量が、基準に示す放射線量以下であれば、直ちに退出可能としている。従って、この場合の患者の排泄物については、放射線施設の貯留槽への流入は考慮しなくても差し支えないものとする。

(4) 退出基準を超える核種の投与は、当面は甲状腺癌の治療に用いられるヨウ素<sup>131</sup>Iに限定されるものと思われる。この患者が診療用放射線治療病室に滞在する場合は、滞在期間の患者の排泄物の貯留槽への流入を考慮した算定を行うこと。

### D 考察

放射線の利用は、現代医療にとって重要な役割を果たしている。そのために、放射線の防護においては、医療の特殊性、医療施設の特質等を考慮して独自の規定を設けている。今回の検討で医療法施行規則の診療用放射性同位元素に基づく規制が放射線障害防止法に比べて強化されている部分と、医療法施行規則の規定と通知の内容が必ずしも整合性が取れていない部分を指摘し、改善のための提案を行った。まず第一に、医療法施行規則に「3月間最大予定使用数量」を追加するための改正。第二に、「3月間最大予定数量」の使用形態を基点として、核医学施設から排出される排水・排気中濃度等の算定と放射性同位元素の使用実態との整合性を図る方向で具体的な提案を行った。これらは、概ね現行に比べて緩和に傾斜するものとなった。裏を返せば、現行が使用実態等に乖離した安全側に過大な評価を意味しているものと考えられる。

ICRPは、勧告において放射線の過大防護を戒め、人類の便益と損害のバランスに立って判断されるべきことを繰り返し強調している。我が国においては、放射線防護を優先する余りに、安全側に過大な指導が行われている。これが、我が国における先端的な放射線診断・治療等の開発や、欧米で実施されている安全性の高い有効な医療技術の導入の足枷になっていることも否定できない。今回の提案が核医学等の診療技術を発展させ、生命と健康を守る一助になることを期待するものである。一方、医療関係者は、患者の疾病等を癒すのみならず、人類の生命と安全を守る意識も必要である。提案した排水・排気等の濃度算定法の適用に当たっては、使用放射性同位元素の使用等における慎重な管理の重要性についても指摘しておきたい。平成11年9月の核燃料施設の臨界事故に端を発し、放射線の安全性が国民の大きな社会的関心事になっている。JCO事故を放射線の日常の安全管理に生かす教訓として、放射線防護・管理を徹底する指導と、医療現場での慎重な取り組みを改めて強調しておきたい。

表1 排水・排気濃度の算定における診療用放射性同位元素の使用モデル

核種（物理的半減期）	1日最大使用 予定数量（MBq）	3月間の最大使用 予定数量（MBq）	年間最大使用予 定数量（MBq）
Ga-67（半減期；3.261日）	370	370×13	370×39
I-131（半減期；8.02日）	74	74×13	74×39
Sr-89（半減期；50.53日）	148	148×13	148×39

表2 健政発第20号の算定式による排水濃度の算定

核種	半減期 （日）	1日最大使用数 量（MBq）	満水までの 使用回数	満水時の濃度 （Bq/ml）	放置後の濃度 （Bq/ml）	濃度限度 （Bq/ml）	濃度比
Ga-67	3.261	370	15	5.55	0.23	4.4	0.05
I-131	8.02	74	15	2.07	0.57	0.035	16.18
Sr-89	50.53	148	15	6.68	5.43	0.3	18.11
濃度比の合計							34.34
10倍希釈後の濃度比							3.43

表3-1 3月間における排水中の平均濃度

核種	半減期 （日）	1日最大使用数 量（MBq）	満水までの 使用回数	満水時の濃度 （Bq/ml）	放置後の濃度 （Bq/ml）	濃度限度 （Bq/ml）	濃度比
Ga-67	3.261	370	13	5.43	0.22	4.4	0.05
I-131	8.02	74	13	1.92	0.53	0.035	15.03
Sr-89	50.53	148	13	5.94	4.84	0.3	16.12
濃度比の合計							31.20
10倍希釈後の濃度比							3.12
3月間平均濃度比							0.52

表3-2 3月間における排水中の平均濃度

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	満水までの 使用回数	満水時の濃度 (Bq/ml)	放置後の濃度 (Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Ga-67	3.261	370	2.15	2.64	0.09	4.4	0.02
I-131	8.02	74	2.15	0.53	0.13	0.035	3.76
Sr-89	50.53	148	2.15	1.065	0.85	0.3	2.86
$t_1 = 13 \times (15/91) \div 2.15$						濃度比の合計	6.60
						10倍希釈後の濃度比	0.66

表3-3 3月間における排水中の平均濃度

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	満水までの 使用回数	満水時の濃度 (Bq/ml)	放置後の濃度 (Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Ga-67	3.261	370	3	2.73	0.11	4.4	0.03
I-131	8.02	74	3	0.65	0.18	0.035	5.08
Sr-89	50.53	148	3	1.45	1.18	0.3	3.93
$t_1 = 13 \times (15/91) \div 2.15$ 切り上げた値...3						濃度比の合計	9.04
						10倍希釈後の濃度比	0.90

表4 算定方式の違いによる排水濃度の比較

算定方式	濃度限度比
健政発第20号に基づく算定方式	3.43
3月間平均濃度に基づく算定方式	
① 1日最大使用予定数量を毎日使用する場合	0.52
② $t_1$ の値をそのまま用いた場合	0.66
③ $t_1$ の値を切り上げた場合	0.90



## 診療用放射性同位元素の排水濃度算定に関する資料

### 1) 診療用放射性同位元素の使用量等

核種	半減期 (日)	1日最大使用数量 (MBq)	3月間の最大使用数量 (MBq)	排水濃度限度 (Bq/ml)	排気濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
Cr-51	27.20	3.7	11.1	22	0.0032
Fe-59	44.50	1.85	9.25	0.4	0.000034
Ga-67	3.261	740	18,500	4.4	0.00052
Sr-89	50.53	148	888	0.3	0.00016
Tc-99m	0.25	7,400	370,000	39	0.006
In-111	2.805	222	2,886	2.9	0.00025
I-123	0.553	740	18,500	3.5	0.0014
I-125	59.41	3.7	48.1	0.06	0.000023
I-131	8.02	74	518	0.035	0.000014
Tl-201	3.04	740	18,500	9.1	0.0026

上に示す仮想的な使用例を用い、放射性医薬品の使用核種と貯留槽サイズとの関係について、検討した算定評価法と現行法を比較することにする。

ただし、排水及び排気の濃度限度は、ICRP 90年勧告の受入後に予想される値を用いた。

### 2) 計算方式

排水濃度（病院又は診療所で貯留槽2基を用いるものとする。なお、1基のサイズとして、2トン、3トン、4トン及び5トン为例として示す。）についての算定結果の計算例を示す。なお、計算方式は次の通りである。

(1) 健政発第20号（現行の求め方）

(2) 5.3)(2)④

3) 結果

◎ 貯留槽1基の容量：2トン（満水日数；10日）×2基

(1) 健政発第20号に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	3	0.053	0.042	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	5	0.044	0.038	0.4	0.09
Ga-67	3.261	740	18500	10	15.300	1.827	4.4	0.42
Tc-99m	0.25	7400	370000	10	13.342	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	10	4.104	0.347	2.9	0.12
I-123	0.55	740	18500	10	2.946	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	10	0.174	0.155	0.06	2.58
I-131	8.02	74	518	7	1.939	0.817	0.035	23.35
Tl-201	3.04	740	18500	10	14.859	1.485	9.1	0.16
Sr-89	50.53	148	888	6	4.253	3.708	0.3	12.36
							濃度比の合計	39.09
							10倍希釈後の濃度比	3.91

(2)  $t_1$ を、5.3)(2)④に基づく算定

(満水日数における1日最大使用予定数量の回数の求め方)

$$t_1 = (3\text{月間最大使用数量 (MBq)} / 1\text{日最大使用数量 (MBq)}) \times (\text{貯留槽1基の満水日数(日)} / 91(\text{日}))$$

$$\text{Cr-51 } t_1 = (11.1 \text{ (MBq)} / 3.7 \text{ (MBq)}) \times (10(\text{日}) / 91(\text{日})) = 3 \times 0.11 = 0.3$$

切り上げた値 1

$$\text{Fe-56 } t_1 = (9.25 \text{ (MBq)} / 1.85 \text{ (MBq)}) \times (10(\text{日}) / 91(\text{日})) = 5 \times 0.11 = 0.6$$

切り上げた値 1

$$\text{Ga-67 } t_1 = (740 \text{ (MBq)} / 18500 \text{ (MBq)}) \times (10(\text{日}) / 91(\text{日})) = 25 \times 0.11 = 2.7$$

切り上げた値 3

$$\text{Tc-99m } t_1 = (7400 \text{ (MBq)} / 370000 \text{ (MBq)}) \times (10(\text{日}) / 91(\text{日})) = 50 \times 0.11 = 5.5$$

切り上げた値 6

$$\text{In-111 } t_1 = (222 \text{ (MBq)} / 2886 \text{ (MBq)}) \times (10(\text{日}) / 91(\text{日})) = 13 \times 0.11 = 1.4$$

切り上げた値 2

$$\text{I-123 } t_1 = (740 \text{ (MBq)} / 18500 \text{ (MBq)}) \times (10(\text{日}) / 91(\text{日})) = 25 \times 0.11 = 2.7$$

切り上げた値 3

$$I-125 \quad t_1 = (3.7 \text{ (MBq)} / 48.1 \text{ (MBq)}) \times (10 \text{ (日)} / 91 \text{ (日)}) = 13 \times 0.11 = 1.4$$

切り上げた値 2

以下同様にして求める。

◎ 排水濃度の算定

$$\text{排気口における濃度} = 1 \text{ 日最大使用数量} \times \text{混入率} \times ((1 - \exp(-\lambda t_1)) / \lambda) \\ \times \exp(-\lambda t_2) \div \text{貯留槽 1 基の満水量}$$

$$\text{濃度限度比} = \text{排気口における濃度} \div \text{濃度限度}$$

(Ga-67 の例)

$$\text{排水口における濃度} = 740 \text{ (MBq)} \times 1\text{E}+06 \text{ (Bq/MBq)} \times 0.01 \times ((1 - \exp(-0.693/3.261 \times 3)) \\ \times 3.261/0.693) \times \exp(-0.693/3.261 \times 10) \div 2 \times 1\text{E}+06 \text{ (m}^3\text{/ml)} = 0.978 \text{ (Bq/ml)}$$

$$\text{濃度限度比} = 0.978 \text{ (Bq/ml)} \div 4.4 \text{ (Bq/ml)} = 0.22$$

(I-131 の例)

$$\text{排水口における濃度} = 74 \text{ (MBq)} \times 1\text{E}+06 \text{ (Bq/MBq)} \times 0.01 \times ((1 - \exp(-0.693/8.02 \times 1)) \\ \times 8.02/0.693) \times \exp(-0.693/8.02 \times 10) \div 2 \times 1\text{E}+06 \text{ (m}^3\text{/ml)} = 0.149 \text{ (Bq/ml)}$$

$$\text{濃度限度比} = 0.149 \text{ (Bq/ml)} \div 0.035 \text{ (Bq/ml)} = 4.26$$

他の核種については、同様を求める。

核種	半減期 (日)	1日最大使用数 量(MBq) (A)	3月間最大使用 数量(MBq)	満水日数にお ける A の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度 比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	1	0.018	0.014	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	1	0.009	0.008	0.4	0.02
Ga-67	3.261	740	18500	3	8.190	0.978	4.4	0.22
Tc-99m	0.25	7400	370000	6	13.342	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	2	1.748	0.148	2.9	0.05
I-123	0.55	740	18500	3	2.877	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	2	0.036	0.032	0.06	0.54
I-131	8.02	74	518	1	0.354	0.149	0.035	4.26
Tl-201	3.04	740	18500	3	8.022	0.820	9.1	0.09
Sr-89	50.53	148	888	1	0.733	0.639	0.3	2.13
濃度比の合計								7.32
10倍希釈後の濃度比								0.73

◎ 貯留槽1基の容量：3トン（満水日数；15日）×2基

(1) 健政発第20号に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	3	0.036	0.024	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	5	0.030	0.023	0.4	0.06
Ga-67	3.261	740	18500	15	11.105	0.458	4.4	0.10
Tc-99m	0.25	7400	370000	15	8.895	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	13	2.869	0.071	2.9	0.02
I-123	0.55	740	18500	15	1.964	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	13	0.148	0.125	0.06	2.08
I-131	8.02	74	518	7	1.293	0.354	0.035	10.11
Tl-201	3.04	740	18500	15	10.438	0.341	9.1	0.04
Sr-89	50.53	148	888	6	2.836	2.308	0.3	7.69
							濃度比の合計	20.10
							10倍希釈後の濃度比	2.01

(2) t<sub>1</sub>を、5.3)(2)④に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	1	0.012	0.008	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	1	0.006	0.005	0.4	0.01
Ga-67	3.261	740	18500	5	7.580	0.313	4.4	0.07
Tc-99m	0.25	7400	370000	9	8.895	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	3	1.565	0.038	2.9	0.01
I-123	0.55	740	18500	5	1.960	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	3	0.036	0.030	0.06	0.51
I-131	8.02	74	518	2	0.452	0.124	0.035	3.53
Tl-201	3.04	740	18500	5	7.342	0.240	9.1	0.03
Sr-89	50.53	148	888	1	0.489	0.398	0.3	1.33
							濃度比の合計	5.49
							10倍希釈後の濃度比	0.55

◎ 貯留槽1基の容量：4トン（満水日数；20日）×2基

(1) 健政発第20号に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	3	0.016	0.016	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	5	0.022	0.016	0.4	0.04
Ga-67	3.261	740	18500	20	8.563	0.122	4.4	0.03
Tc-99m	0.25	7400	370000	20	6.671	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	13	2.151	0.015	2.9	0.01
I-123	0.55	740	18500	20	1.473	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	13	0.111	0.088	0.06	1.47
I-131	8.02	74	518	7	0.970	0.172	0.035	4.92
Tl-201	3.04	740	18500	20	8.009	0.084	9.1	0.01
Sr-89	50.53	148	888	6	2.127	1.617	0.3	5.39
							濃度比の合計	11.86
							10倍希釈後の濃度比	1.19

(2)  $t_1$ を、5.3)(2)④に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	1	0.009	0.006	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	2	0.009	0.007	0.4	0.02
Ga-67	3.261	740	18500	7	6.725	0.096	4.4	0.02
Tc-99m	0.25	7400	370000	13	6.671	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	4	1.407	0.010	2.9	0.00
I-123	0.55	740	18500	7	1.473	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	4	0.036	0.029	0.06	0.48
I-131	8.02	74	518	2	0.339	0.060	0.035	1.72
Tl-201	3.04	740	18500	7	6.454	0.064	9.1	0.01
Sr-89	50.53	148	888	2	0.728	0.554	0.3	1.85
							濃度比の合計	4.09
							10倍希釈後の濃度比	0.41

◎ 貯留槽1基の容量：5トン（満水日数；25日）×2基

(1) 健政発第20号に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	3	0.021	0.011	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	5	0.018	0.012	0.4	0.03
Ga-67	3.261	740	18500	25	6.916	0.034	4.4	0.01
Tc-99m	0.25	7400	370000	25	5.337	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	13	1.721	0.004	2.9	0.00
I-123	0.55	740	18500	25	1.178	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	13	0.111	0.088	0.06	1.11
I-131	8.02	74	518	7	0.089	0.067	0.035	2.56
Tl-201	3.04	740	18500	25	6.453	0.022	9.1	0.00
Sr-89	50.53	148	888	6	1.701	1.208	0.3	4.03
							濃度比の合計	7.73
							10倍希釈後の濃度比	0.77

(2) t<sub>1</sub>を、5.3)(2)④に基づく算定

核種	半減期 (日)	1日最大使用 数量(MBq)	3月間の最大使 用数量(MBq)	満水まで の回数	満水時の濃 度(Bq/ml)	放置後の濃 度(Bq/ml)	濃度限度 (Bq/ml)	濃度比
Cr-51	27.70	3.7	11.1	1	0.007	0.004	22	0.00
Fe-56	44.50	1.85	9.25	2	0.007	0.005	0.4	0.01
Ga-67	3.261	740	18500	9	5.923	0.029	4.4	0.01
Tc-99m	0.25	7400	370000	17	5.337	0.000	39	0.00
In-111	2.81	222	2886	5	1.272	0.003	2.9	0.00
I-123	0.55	740	18500	9	1.178	0.000	3.5	0.00
I-125	59.41	3.7	48.1	5	0.036	0.027	0.06	0.45
I-131	8.02	74	518	3	0.390	0.045	0.035	1.29
Tl-201	3.04	740	18500	9	5.643	0.019	9.1	0.00
Sr-89	50.53	148	888	2	0.583	0.414	0.3	1.38
							濃度比の合計	3.13
							10倍希釈後の濃度比	0.31

平成 11 年度厚生科学研究補助金（医薬安全総合研究事業）

分担研究報告

「医療機関の放射線管理の適正化に関する研究」

「放射性医薬品の適正な利用とガイダンスレベルの研究」

（2）漏えいエックス線の線量算定に関する検討

分担研究者 池淵秀治 国立医薬品食品衛生研究所機能生化学部室長

研究概要 放射線審議会の意見具申において、従来の線量の基準が実効線量当量及び組織線量当量から実効線量及び等価線量に変更されたことに伴い、漏えいエックス線の算定法について、健政発第 383 号の遮へい体の厚さを求める算定法に代えて漏えい線量を求める算定法について検討した。近年の診療用エックス線装置の利用の高度化・多様化に対応可能な算定法を構築した。この研究成果は、医療機関の放射線管理の適正化に寄与することが期待される。

研究協力者

草間経二 (社) 日本アイソトープ協会総務部  
山村光太郎 東京都医療計画部  
並木宣雄 日本放射性医薬品協会  
加藤二久 東京都保健科学大学診療放射線科  
廣瀬一男 東芝メディカル(株)  
萩原一男 (社) 日本アイソトープ協会医薬品部  
岩波 茂 北里大学医療衛生学部  
多田順一郎 高輝度光科学研究センター安全管理室  
斉藤正弘 日本画像医療システム工業会  
村上文男 日本画像医療システム工業会

A 研究目的

I CRP 1990年勧告の国内法令への取り入れが放射線審議会で検討された。放射線審議会の意見具申では、放射線防護の基準を定める量については、「実効線量」および「等価線量」を用いるのが適当であるとしている。従来用いられてきた実効線量当量に代わって、管理区域に係る基準線量、遮へい物に係る限度等、使用施設等に係る基準を定める量は、「実効線量」となる。

X線診療室などの診療施設に係る放射線防護量の評価についても、実効線量当量に代わって、「実効線量」で表す計算式やデータの提示が求められている。また、最近のX線診療設備の高度化、多様化に対応した機種ごとの評価方法や、同一室内に異なる機種が複数台設置されている施設でのそれらの複合評価も求められている。このような背景のもと本報告書では、健政発第383号（平成元年7月17日）に示されている必要な遮へい厚を求める計算式に代わり、画壁などの遮へい体の透過率より管理区域境

界などの評価点での実効線量を計算するのに必要な式およびデータを示し、適正な漏えいエックス線の算定評価法を提案することを目的とする。

## B 研究方法

本研究においては、漏えいエックス線線量の適正な算定方法を確認するため、エックス線の防護に関して世界的に評価の高い ICRP Publ.33、NCRP No.49 及び No.102、Shimpkin 及び Archer ら等の文献調査を行い、さらに、下記の事項を考慮した上で、我が国の医療機関への導入について検討した。

## C 研究結果

### 1. エクセン装置の適用範囲

提案する定格管電圧の範囲は40kVから200kVまでとする。また、ここに示す計算方法は新たにX線診療設備を備えようとするときの施設設計に資するものであり、既存の施設の線量評価に用いるものではない。既存施設の線量評価は、集積型の線量計やサーベータによる実測が望ましい。

### 2. 鉛当量の標準値

健政発第383号（平成元年7月17日）に示されている鉛当量の標準値は、ICRP Publ.33の第96項および第102項に示されているものを参考にして定められている。X線診療設備に関する基準は大きな変更がないので、従来から示されている鉛当量を記載する。また、X線診療室の画壁等の遮へいを追加する。

#### 1) 透視用X線装置の蛍光板及びX線蛍光板及びX線蛍光増倍管

次に掲げる鉛当量とする。

表1 透視用X線装置の蛍光板及びX線蛍光板及びX線蛍光増倍管の鉛当量

管電圧	70kV以下	70kVを超え 100kV以下	100kVを超える場合
鉛当量	1.5mm	2.0mm	2.0mm + (当該管電圧 - 100) × 0.01mm

#### 2) 透視用X線装置の蛍光板の枠及び被照射体の周囲の適当な設備

0.5mm

散乱X線から透視者とその助手を防護するための遮へいである。

#### 3) 画壁等の遮へい

各医療施設の使用状況により、必要な画壁等に用いる遮へい厚さは異なる。ここではどのような施設でも必要な鉛当量の参考値を示す。

スタンド等の使用により画壁等の遮へいを補うことができる。

表2 画壁等の遮へい

装置の種類など	最低必要な鉛当量
一般撮影・透視	1.5mm
CT装置	1.5mm
血管撮影	1.5mm
歯科撮影	0.5mm



## 1. X線診療室の画壁等の実効線量評価方法

X線診療室の遮へいは

- (1) 一次X線の遮へい
- (2) 散乱X線の遮へい
- (3) X線管容器からの漏えいX線の遮へい

について考慮する。

また、X線診療室は通常、鉛、コンクリートなど複数の遮へい体を使用されており、鉛を透過後さらにコンクリート遮へい体を透過するなどの様な複合遮へいの場合の注意点を記載する。

それぞれの計算式を次に述べるが、必要な値やその適用にあたっての注意は次節「計算のためのデータおよび計算式中の各項目の設定について」で述べる。

### (1) 一次X線の遮へい計算

一次X線による利用線錐方向の漏えい実効線量は次の式により計算する。

$$H_p = \frac{\dot{X} \times D_t \times W \times (E/K_a) \times U \times T}{d_1^2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで

- $H_p$  : 漏えい実効線量 ( $\mu\text{Sv}/3\text{月間}$ )
- $\dot{X}$  : X線装置のX線管焦点から利用線錐方向に1m離れた地点での空気カーマ ( $\mu\text{Gy}/(\text{mA} \cdot \text{s})$ )
- $D_t$  : 厚さ  $t$  (cm) の遮へい体による空気カーマ透過率
- $W$  : 3月間の実効稼働負荷 ( $(\text{mA} \cdot \text{s})/3\text{月間}$ )
- $(E/K_a)$  : 空気カーマから実効線量への換算係数 ( $\text{Sv}/\text{Gy}$ )
- $U$  : 使用係数
- $T$  : 居住係数
- $d_1$  : X線装置のX線管焦点から画壁外側などの利用線錐方向の評価点までの距離 (m)

### (2) 散乱X線の遮へい計算

被写体などによる散乱X線による漏えい実効線量は次の式による。

$$H_s = \frac{\dot{X} \times D_t \times W \times (E/K_a) \times U \times T}{d_2^2 \times d_3^2} \times \frac{a \times F}{400} \dots \dots \dots (2)$$

ここで

- $H_s$  : 漏えい実効線量 ( $\mu\text{Sv}/3\text{月間}$ )
- $\dot{X}$  : X線装置のX線管焦点から利用線錐方向に1m離れた地点での空気カーマ ( $\mu\text{Gy}/(\text{mA} \cdot \text{s})$ )
- $D_t$  : 厚さ  $t$  (cm) の遮へい体による空気カーマ透過率
- $W$  : 3月間の実効稼働負荷 ( $(\text{mA} \cdot \text{s})/3\text{月間}$ )
- $(E/K_a)$  : 空気カーマから実効線量への換算係数 ( $\text{Sv}/\text{Gy}$ )
- $U$  : 使用係数

- T : 居住係数
- $d_2$  : 被写体から遮へい壁の外側などの評価点までの距離 (m)
- $d_3$  : X線管焦点から被写体までの距離 (m)
- a : 照射野  $400\text{cm}^2$  の組織類似ファントムから 1 m の距離の空気カーマ率の 100 分率
- F : 照射野の大きさ ( $\text{cm}^2$ )

(3) X線管容器からの漏えいX線の遮へい計算

X線管容器から漏えいしている放射線は容器で十分遮へいされた後であるので、画壁での遮へい効果を計算するときは大幅に減衰したX線の広いビームに対する半価層や1/10価層を用いて計算できる。

半価層を用いる計算式

$$H_L = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \times \frac{\dot{X}_L \times t_w \times (E/K_a) \times U \times T}{d_4^2} \dots \dots \dots (3)$$

1/10 価層を用いる計算式

$$H_L = \left(\frac{1}{10}\right)^{t/t_{1/10}} \times \frac{\dot{X}_L \times t_w \times (E/K_a) \times U \times T}{d_4^2} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、

- $H_L$  : 漏えい実効線量 ( $\mu\text{Sv}/3\text{月間}$ )
- $\dot{X}_L$  : X線装置からの漏えい線量。X線管焦点から 1 m 離れた地点での空気カーマ ( $\mu\text{Gy}/\text{時間}$ )
- $t_w$  : 3月間の実効稼働負荷 ((mA · s) / 3月間) ÷ 定格電流 (mA) ÷ 3600(s/h)
- ( $E/K_a$ ) : 空気カーマから実効線量への換算係数 ( $\text{Sv}/\text{Gy}$ )
- U : 使用係数
- T : 居住係数
- $d_4$  : X線装置のX線管焦点から遮へい壁の外側などの評価点までの距離 (m)
- $t_{1/10}$  : 遮へい体の大幅に減衰したX線の広いビームに対する 1/10 価層 (mm または cm)
- $t_{1/2}$  : 遮へい体の大幅に減衰したX線の広いビームに対する半価層の値 (mm または cm)
- t : 遮へい体の厚さ (mm または cm)

(4) 複合遮へい体の遮へい計算にあたっての注意点

一次X線による利用線錐方向の遮へいは対向板に鉛が用いられ、その後コンクリートで遮へいされている。このように複合遮へいの場合は、それぞれの透過率を掛け合わせる乗積法で行うと安全側の評価とはならないので、半価層や 1/10 価層を用いた方法で計算する。たとえば、一次X線の遮へい計算は次式で表せる。

$$H_p = \frac{\dot{X} \times D_t \times W \times (E / K_a) \times U \times T}{d_1^2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{t' / t'_{1/2}} \dots (5)$$

ここで、

$H_p$  : 漏えい実効線量 ( $\mu S v / 3$ 月間)

$\dot{X}$  : X線装置のX線管焦点から利用線錐方向に1 m離れた地点での空気カーマ  
( $\mu G y / (mA \cdot s)$ )

$D_t$  : 厚さ  $t$  (cm) の最初の遮へい体による空気カーマ透過率

$W$  : 3月間の実効稼働負荷 ( $(mA \cdot s) / 3$ 月間)

( $E / K_a$ ): 空気カーマから実効線量への換算係数 ( $S v / G y$ )

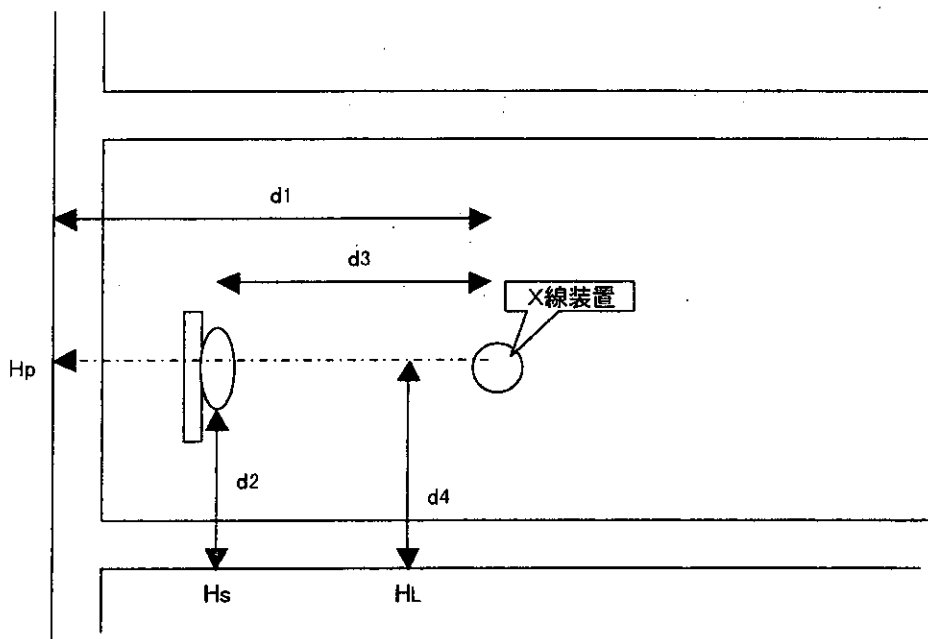
$U$  : 使用係数

$T$  : 居住係数

$d_1$  : X線装置のX線管焦点から画壁外側などの利用線錐方向の評価点までの距離 (m)

$t'_{1/2}$  : 2番目の遮へい体の大幅に減衰したX線の広いビームに対する半価層の値 (mm または cm)

$t'$  : 2番目の遮へい体の厚さ (mm または cm)



## 2. 計算のためのデータおよび計算式中の各項目の設定について

本報告書では、NCRP REPORT No.49, No.102, ICRP Publ.33, Publ.74 を基にデータを作成しているが、他に適切な公表されているものがある場合にはそれを用いることもできる。

(1) X線装置から利用線錐方向に1 m離れた地点での空気カーマ  $\dot{X}$

X線装置から利用線錐方向へ1 m離れた地点での空気カーマは表1より求めることができる。

該当する値がないときは内挿法により求める。また、他に適切な値があるときは、それを用いる。

(2) 空気カーマから実効線量への換算係数  $E / K_a$

ICRP Publ.74 表17 第1欄、第2欄より引用

表3 定格管電圧と1mの地点での空気カーマ

定格管電圧 (kV)	空気カーマ ( $\mu\text{Gy}/(\text{mA}\cdot\text{s})$ )
40	16 ( 9)
50	30 ( 18)
60	46 ( 27)
70	62 ( 36)
80	80 ( 47)
90	100 ( 59)
100	110 ( 65)
110	130 ( 76)
120	160 ( 94)
130	190 ( 85)
140	210 (110)
150	230 (140)

表4 空気カーマから実効線量への換算係数

光子エネルギー (keV)	換算係数 ( $E/K_a$ )
10	0.00653
15	0.0402
20	0.122
30	0.416
40	0.788
50	1.106
60	1.308
70	1.407
80	1.433
100	1.394
150	1.256
200	1.173

NCRP REPORT No.102 Table B.3 より引用

装置には Al 2.5mm 等価のフィルターが付されている  
空気カーマの欄、左は三相全波整流回路の値、  
右括弧内は单相半波整流回路の値である。

吸収、散乱後のX線のエネルギースペクトル  
は初期のものと異なっており、その変化を考  
慮して最大の値となる換算係数を選択する。

- (3) 実効換算係数を考慮したX線装置から1m離れた地点での実効線量  $\dot{X} \times (E/K_a) >$   
遮へい体透過後のエネルギースペクトルを考慮した換算係数を用いるべきであるが、ここで  
は便宜的にそのエネルギー範囲で最大となる換算計数を用いた  $\dot{X} \times (E/K_a)$  の値を計算  
しておく。

表5 実効換算係数を考慮したX線装置から1m離れた地点での実効線量

定格管電圧 (kV)	$\dot{X} \times (E/K_a)$ 実効線量 ( $\mu\text{Sv}/(\text{mA}\cdot\text{s})$ )
40	13 ( 7)
50	33 ( 20)
60	60 ( 35)
70	87 ( 51)
80	115 ( 67)
90	143 ( 85)
100	158 ( 93)
110	186 (109)
120	229 (135)
130	272 (122)
140	301 (158)
150	330 (201)

該当する値がないときは内挿法により求める