

厚生科学研究費補助金（医薬安全総合研究事業）

平成 10 年度報告書

放射線医療施設の管理における評価基準の指標に関する研究  
（H10-医薬-013）

澤田純一 国立医薬品食品衛生研究所

厚生科学研究費補助金（医薬安全総合研究事業）

平成 10 年度報告書

放射線医療施設の管理における

評価基準の指標に関する研究

（H10-医薬-013）

主任研究者 澤田純一 国立医薬品食品衛生研究所機能生化学部長

分担研究者：

古賀佑彦 藤田保健衛生大学医学部放射線医学教授

菊地 透 自治医科大学RIセンター管理主任

平成 10 年度厚生科学研究補助金（医薬安全総合研究事業）

## 総括研究報告書

### 放射線医療施設の評価基準の指標に関する研究

主任研究者 澤田純一 国立医薬品食品衛生研究所 機能生化学部長

研究要旨 エックス線漏えい線量の評価法として、平成元年通知の健政発第 383 号を抜本的に見直し、エックス線発生装置の新しい利用技術及び ICRP 1990 年 (Pub.60) 勧告の国内放射線規制法令にも対応可能な算定法を構築した。

#### 分担研究者

古賀 佑彦 藤田衛生大学医学部教授  
菊地 透 自治医科大学 R I センター管理責任者

#### 研究協力者

加藤 二久 東京都立保健科学大学教授  
広瀬 一男 東芝テクノル  
池淵 秀治 国立医薬品食品衛生研究所室長  
手島 玲子 国立医薬品食品衛生研究所主任研究官  
岩波 茂 北里大学医療衛生学部教授  
多田 順一郎 高輝度光科学研究センター室長  
大野 和子 愛知医科大学医学部助教授

とする。

#### B. 研究方法

エックス線撮像装置からの漏えい線量が理論的算定法で合理的に評価されているかを検証するため、装置の実効稼働負荷と室内外の積算線量を測定するための実態調査を実施した。一方、エックス線撮像装置を設置する施設内外の新しい線量評価法の検討として、管電圧と出力線量率、利用線と散乱エネルギー、散乱比及び管電圧における遮へい体（鉛、コンクリート、ステンレススチール）による透過率の関係、エックス線管球の漏えい線量を求める検討を行い、新規の線量算定法を構築した。

#### A. 研究目的

新しいエックス線撮像装置の利用法と ICRP 1990 年勧告 (Pub. 60) の国内法の取り入れに対応可能な漏えい線量の評価法として、平成元年通知 健政発第 383 号の算定法式を見直し、新しい線量算定法を構築することにより、医療現場における放射線の安全管理に貢献することを目的

#### C. 研究結果

1 週間当たりの実効稼働負荷 (mA・min./week) は、一般撮影室で 235、CT 室で 16,125、血管造影室で 259、TV 室で 625 であった。一方、一般撮影室、CT 室、血管造影室及び TV 室において、一次線方向の週当たりの平均線量 ( $\mu\text{Sv}/\text{week}$ ) は、

それぞれ 98、275、28、119 であり、散乱線方向では、173、3、394、154、265 の値を示し、一次線方向の遮へい効果があることを示す結果を得た。Cranley らの管電圧と出力線量率、利用線と散乱エネルギー及び散乱比を、また、Shimpkin らの管電圧における遮へい体による透過率を比較検討し、医療現場に適用可能なそれぞれの値を求めた。さらに、算定法の電子化を考慮し、透過率の関数式を提起した。線量算定方法として、ICRP Pub.33 を踏襲している健政発第 383 号を見直し、一次線方向、散乱線方向並びに管球からの漏えい線量と、他の発生装置から由来する放射線も合算を可能とする算出式を提案し、併せて十分に検討されていないエックス線 CT の線量評価も試みた。

#### D. 考察

エックス線発生装置による線量評価を合理的に評価することは、診療所又は病院などにおいて常置されるものであるため、医療現場における放射線の安全管理において重要度が高い。現状は、とかく理論的算定法が実測値を乖離している指摘が多い。この理由として、エックス線発生装置の管電圧と一次線と散乱線を含めたエックス線のエネルギー、遮へい物の遮へい効果、人体影響を考慮した吸収線量の評価因子などのエックス線の物理的、生物的效果に由来する因子の問題と、健政発第 383 号に用いられているエックス線の稼働電圧と稼働時間、居住係数及び使用係数などの因子の問題がある。本研究においては前者の物理的因子を見直し、健政発第 383 号を改変して、新しいエックス線の線量算定法の提

案を試みた。すなわち、健政発第 383 号は、現行の管理区域の線量当量限度値 300  $\mu\text{Sv}/\text{週}$  を担保するために必要な遮へい体の厚さを求める算定式である。従って、発生源が複数台、又はエックス線と他の放射線源の同時曝しなどによる線量を合理的に算定することは困難である。本研究においては、前述の物理的因子の基礎的検討によって得られた、管電圧とエックス線のエネルギー及び遮へい体の透過率を明らかにし、このパラメータを用いて、一定の遮へい体における一次線方向、散乱線方向及び管球に由来する漏えい線量のそれぞれを算定し、エックス線に対する新規の線量算定法を提案した。この算定方式によって、複数の発生源の放射線量を合理的に評価され、放射線施設等の安全管理に大きく貢献するものである。なお、今後は、実際の使用状況を踏まえた評価を行うため、換算係数及び居住係数等の検討も必要と考える。

#### E. 結論

本研究においては、管電圧と出力線量率、散乱線エネルギー、散乱比及び遮へい体の透過率を明らかにしたうえで線量算定法を下記の通りに提案した。なお、エックス線 CT 装置による線量算定も検討試みた。

##### 1) 一次線方向の線量

実効稼働負荷線量 / (距離)<sup>2</sup> × 透過率 × 換算係数 × 方向利用率 = 線量 ( $\mu\text{Sv}/\text{週}$ )

##### 2) 散乱線方向の線量

実効稼働負荷線量 / (距離)<sup>2</sup> × 散乱比 × 照射野サイズ / (400) × 換算係数 = 線量 ( $\mu\text{Sv}/\text{週}$ )

##### 3) 管球管のからの漏えい線量

管球の漏えい線量 / (距離)<sup>2</sup> ×  
使用エックス線量 × 換算係数 =  
線量 (μSv/週)

4) 合算の線量

一次線方向の線量 + 散乱線方向の線量  
+ 管球の漏えい線量 = 線量 (μSv/週)

平成10年度厚生科学研究補助金（医薬安全総合研究事業）

分担研究報告書

エックス線種の解析と最適パラメータの設定に関する研究

主任研究者 澤田純一 国立医薬品食品衛生研究所 機能生化学部長

研究概要 エックス線から漏えいする線量評価法として、平成元年に通知された健政発第383号を抜本的に見直し、放射線の新技术への対応とICRP 1990年勧告（Pub. 60）にも対応可能なエックス線の線量算定法を構築し提案した。得られた成果は、今後の医療放射線の施設などの安全管理を徹底するために貢献されるものとする。

研究協力者

池淵秀治 国立医薬品食品衛生研究所室長

手島玲子 国立医薬品食品衛生研究所主任  
研究官

加藤二久 東京都立保健科学大学教授

広瀬一男 東芝メディカル株式会社部長

多田順一郎 光輝度光科学研究センター安  
全管理室長

岩波 茂 北里大学医療衛生学部教授

勧告の国内法令への取り込みにも対応可能な、複数放射線源を合理的に線量算定する方法を確立することが目的である。

B 研究方法

エックス線発生装置からの漏えい線量と遮へいに関する算定方式は、当研究班の菊地分担研究者の方法を適用し、放射線測定器を用いて測定した線量と Cranley ら<sup>1)</sup>及び Shimpkin ら<sup>2)</sup>のデータと比較検討した。

C 研究結果

1. 出力線量率、散乱線エネルギー及び散乱比

一次線方向のエックス線の線量評価は、照射方向における出力線量率（ $\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$  at 1 m）が基本になる。管球から1メートルの距離における線量率を表1に示す。ろ過板としてアルミニウム厚2.5 mmと2 mmを併記したが、医療法施行規則第の改正により、2.5 mmが適用されるため、前者が利用できると考える。

A 研究目的

エックス線撮像は、胸部・腹部などの診断目的に利用されるばかりでなく、血管内に照射器具の挿入、診療用高エネルギー発生装置による治療部の位置決めにも利用されるなどの新しい放射線医療技術が開発されつつある現状において、放射線の安全管理の観点で放射線線量の合理的な評価法が必要となっている。現在のエックス線撮像室等における放射線量の評価は、現在健政発第383号の通知が適用されている。この算定法は、エックス線発生装置の1台のみを評価することが前提になっている。

本研究においては、健政発第383号を抜本的に見直して、ICRP 1990年

利用線のエネルギーと散乱線エネルギー

との関係を表2、管電圧と散乱比の関係を表3にそれぞれに示す。

## 2. 管電圧と用いる遮蔽体における透過率

管電圧と鉛遮蔽体の厚さ (mm) における透過率の関係を表4に、また、コンクリート (cm) を用いて場合の透過率を表5に示す。

## 3. 測定された透過率と理論的モデルとの検証

鉛、コンクリート及びステンレス鋼の厚さと透過率の関係について、理論的モデルとを比較した結果を図1から図3に示した。図1及び図2の鉛とコンクリートに関しては、極めて良い類似性を示したが、ステンレス鋼では120kVのみ大きく外れる結果となった。これについては現在検討中である。ただし、エックス線発生装置の遮蔽物と室の壁面は主にコンクリートが用いられているので、当面の実用的には弊害はないと考える。

## 4. エックス線管からの漏えい線量

例として、X線TV用 (DRX-4545) が適用される。

IEC Pub.601-1-3、JIS Z 4704 を満足する漏えい線量測定条件：150kV 4mA

150kV 4 mA の時の測定値が 1mGy  
at 1m

150kV 240mA (4mA × 60 分) で  
1mGy/h at 1m より 4.17 μ Gy/mA・分 at  
1m が求められる。

## 5. 透過率を求める近似式の検討

放射線の線量評価は、一般の病院又は診療所ではかなりやっかいな作業となっている。そこで、前述したエックス線発生装置の管電圧、稼働時間、発生装置からの距離が明らかであれば透過率を数式化するこ

とによって、簡単なパーソナルコンピュータを用いて線量算定が容易になると考える。その一例として、管電圧における鉛厚と透過率を表す近似式について検討した。

鉛厚 = X mm としたときのエックス線透過率の近似式は、

管電圧

$$100\text{kV} = 0.864 \times e^{-(0.693/0.067 \times X)} + 0.136 \times e^{-(0.693/0.2323 \times X)} \quad (1)$$

$$120\text{kV} = 0.836 \times e^{-(0.693/0.081 \times X)} + 0.164 \times e^{-(0.693/0.265 \times X)} \quad (2)$$

$$140\text{kV} = 0.773 \times e^{-(0.693/0.077 \times X)} + 0.227 \times e^{-(0.693/0.245 \times X)} \quad (3)$$

この近似式で求めた透過率を表6に、また、鉛厚と透過率の曲線を図4にそれぞれ示している。表6の管電圧と透過率との関係を表4と比較するとかなり近似した。

## 6. 線量算定式について

線量算定式は次に示す利用線の線量、散乱線の線量と管球からの漏えい線量を合算して求められる。

### 1) 利用線の線量

$$\text{実効稼働負荷線量}/(\text{距離})^2 \times \text{透過率} \times \text{換算係数} \times \text{方向利用率} = \text{線量} (\mu \text{ Sv}/\text{週})$$

### 2) 散乱線の線量を求める式

$$\text{実効稼働負荷線量}/(\text{距離})^2 \times \text{散乱比} \times \text{照射野サイズ}/400 \times \text{換算係数} = \text{線量} (\mu \text{ Sv}/\text{週})$$

### 3) 管球からの漏えい線量を求める式

$$\text{管球の漏えい線量}/(\text{距離})^2 \times \text{使用エックス線量} \times \text{換算係数} = \text{線量} (\mu \text{ Sv}/\text{週})$$

### 4) 漏えい線量の合算

$$\text{漏えい線量の合算} = (\text{利用線の線量} + \text{管球からの漏えい線量}) \times \text{遮へい体の透過率} + \text{散乱線の線量} \times \text{遮へい体の線量}$$

## 7. 線量計算の例

前述で得られた、出力線量率、散乱線エネルギー、散乱比及び透過率を用いてエ

ックス線の漏洩線量の算出例を次に示す。

1) エックス線TV室における漏洩線量

エックス線発生装置使用室の図5に示す配置図のA点における漏えい線量を次の通り計算される。

使用上のモデルとして、

透視 出力 100kV 0.5mA で 5分/1人

撮影 出力 100kV10mAs/1回撮影

10回撮影/人 10人/日 6日/週

使用すると仮定し、また、グレイからシーベルトの換算係数を現行の1.74を用いる。

$$\begin{aligned} \cdot \text{使用エックス線量} &: (0.5\text{mA} \times 5 \text{分} \times \\ &10\text{mAs} \times 10/60) \times 10 \text{人} \times 6 \text{日} \\ &= 250\text{m(A分/週)} \end{aligned}$$

ここで、管電圧 100kV で濾過板のアルミニウム 2.5mm を用いた場合の出力線量率 ( $\mu \text{Gy}/\text{mA} \cdot \text{s at 1m}$ ) は表1により、145.13 が用いられる。従って、このときの線量は、

$$\begin{aligned} \cdot 145.13 (\mu \text{Gy}/\text{mA} \cdot \text{sec at 1m}) \times 250 \\ (\text{mA} \cdot \text{min}/\text{週}) \times 60 (\text{sec}/\text{min}) \\ = 2.18 \times 10^6 (\mu \text{Gy}/\text{週 at 1m}) \end{aligned}$$

(1) 利用線の線量

対向遮へいをII等鉛2mmと仮定し、透過率  $3.4 \times 10^{-4}$  として計算すると、

$$\begin{aligned} 2.18 \times 10^6 (\mu \text{Gy}/\text{週 at 1m}) / (2.5)^2 \times \\ 3.4 \times 10^{-4} \times 1.74 \times 0.5 \\ = 119.3 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

管理区域の画壁がコンクリートと仮定し、画壁の外側の線量は、

$$\begin{aligned} 10\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 4.1 \times 10^{-3}) \\ \text{線量 } 119.3 \times 4.1 \times 10^{-3} \\ = 4.8 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

$$14\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 6.5 \times 10^{-4})$$

$$\begin{aligned} \text{線量 } 119.3 \times 6.5 \times 10^{-4} \\ = 0.75 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 20\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 4.2 \times 10^{-5}) \\ \text{線量 } 119.3 \times 4.2 \times 10^{-5} \\ = 0.05 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

(2) 90度散乱線 (散乱面積: 照射野サイズ  $400\text{cm}^2$ )

100kVの散乱比は表3から0.0015、散乱エネルギーは85kVとして求める。

$$\begin{aligned} 2.18 \times 10^6 (\mu \text{Gy}/\text{週 at 1m}) / (1^2 \times \\ 1.5^2) \times 0.0015 \times 400/400 \times 1.74 \\ = 2.53 \times 10^3 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、画壁の外側の線量は、

$$\begin{aligned} 10\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 1.6 \times 10^{-3}) \\ \text{線量 } 2.5 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-3} \\ = 4.0 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 14\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 2.0 \times 10^{-4}) \\ \text{線量 } 2.5 \times 10^3 \times 2.0 \times 10^{-4} \\ = 0.5 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 20\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 8.9 \times 10^{-6}) \\ \text{線量 } 2.5 \times 10^3 \times 8.9 \times 10^{-6} \\ = 0.02 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

(3) 管球からの漏えい線量

管球の漏えい線量:  $4.17 (\mu \text{Gy}/\text{mA} \cdot \text{分 at 1m}(150\text{kV}))$

$$4.17 \times (\mu \text{Gy}/\text{mA at 1m}) / (1.5^2) \times 250$$

(mA分/週)  $\times 1.74 = 806.2 (\mu \text{Sv}/\text{週})$

管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、画壁の外側の線量は、

$$\begin{aligned} 10\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 4.1 \times 10^{-3}) \\ \text{線量 } 806.2 \times 4.1 \times 10^{-3} = 3.3 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 14\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 6.5 \times 10^{-4}) \\ \text{線量 } 806.2 \times 6.5 \times 10^{-4} = 0.5 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 20\text{cm(コンクリート)} (\text{透過率}; 4.2 \times 10^{-5}) \\ \text{線量 } 806.2 \times 4.2 \times 10^{-5} \\ = 0.03 (\mu \text{Sv}/\text{週}) \end{aligned}$$

(4) 漏えい線量の合算

コンクリート画壁の外側に漏えいす

る線量は次のとおりに計算される。

$$10\text{cm(コンクリート厚)} \quad 4.8(\text{利用線}) + 4.0(\text{散乱線}) + 3.3(\text{管球}) = 12.1(\mu\text{ Sv/週})$$

$$14\text{cm(コンクリート厚)} \quad 0.75 + 0.5 + 0.5 \\ = 1.75(\mu\text{ Sv/週})$$

$$20\text{cm(コンクリート厚)} \quad 0.05 + 0.02 + 0.03 \\ = 0.1(\mu\text{ Sv/週})$$

なお、B点についても同様に計算される。

## 2) エックス線CT室(図6)

装置の性能 : 120kV 400mA

最大照射野 : 500mm × 10mm

1スキャン当たりの時間: 最大 100秒

FCD: 60cm と仮定する。

稼働条件: 120kV、400mA、50秒(50

スライス)/人、30人/日、6日/週

使用エックス線線量 = 400(mA) ×

$$(50/60)(\text{分}) \times 30(\text{人/日}) \times 6(\text{日/週})$$

$$= 60,000(\text{mA/週})$$

表1より 120kV の出力線量率: 194.06

( $\mu\text{ Gy/mA}\cdot\text{sec at 1m}$ )

$$194.6(\mu\text{ Gy/mA}\cdot\text{sec at 1m}) \times 60000$$

$$(\text{mA}\cdot\text{min/週}) \times 60(\text{sec/min})$$

$$= 7 \times 10^8(\mu\text{ Gy/週 at 1m})$$

### (1) 利用線の線量

対向遮へいを鉛 2.5mm と仮定し、透過率  $2.5 \times 10^{-5}$  として計算すると、

なお、方向利用率 0.25 とする。

$$7 \times 10^8(\mu\text{ Gy/週 at 1m}) / (2.0 + 0.6)^2$$

$$\times 2.5 \times 10^{-5} \times 1.74 \times 0.25$$

$$= 1.13 \times 10^3(\mu\text{ Sv/週})$$

管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、120kV の装置の場合、画壁の外側の線量は、

$$10\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 9.2 \times 10^{-3})$$

$$\text{線量 } 1.13 \times 10^3 \times 9.2 \times 10^{-3}$$

$$= 10.4(\mu\text{ Sv/週})$$

$$14\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 1.9 \times 10^{-3})$$

$$\text{線量 } 1.13 \times 10^3 \times 1.9 \times 10^{-3}$$

$$= 2.15(\mu\text{ Sv/週})$$

$$20\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 1.9 \times 10^{-4})$$

$$\text{線量 } 1.13 \times 10^3 \times 1.9 \times 10^{-4}$$

$$= 0.22(\mu\text{ Sv/週})$$

### (2) 度散乱線(散乱面積: 照射野サ

$$\text{イズ } 50 \times 1\text{cm}^2)$$

120kV の散乱比は表3から 0.0017、散乱エネルギーは 100kV として求める。

$$7 \times 10^8(\mu\text{ Gy/週 at 1m}) / (0.6^2 \times 2.0^2)$$

$$\times 0.0017 \times (50 \times 1) / 400 \times 1.74$$

$$= 3.2 \times 10^5(\mu\text{ Sv/週})$$

管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、画壁の外側の線量

$$10\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 4.0 \times 10^{-3})$$

$$\text{線量 } 3.2 \times 10^5 \times 4.0 \times 10^{-3}$$

$$= 1280(\mu\text{ Sv/週})$$

$$14\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 6.5 \times 10^{-4})$$

$$\text{線量 } 3.2 \times 10^5 \times 6.5 \times 10^{-4}$$

$$= 208(\mu\text{ Sv/週})$$

$$20\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 4.2 \times 10^{-6})$$

$$\text{線量 } 3.2 \times 10^5 \times 4.2 \times 10^{-6}$$

$$= 1.34(\mu\text{ Sv/週})$$

### (3) 管球からの漏えい線量

管球の漏えい線量: 0.83( $\mu\text{ Gy/mA}\cdot\text{分 at 1m(120kV)}$ )

360度回転ため、中心がアイソセンターで全負荷を計算した。

$$0.83 \times (\mu\text{ Gy/mA at 1m}) / 2^2$$

$$\times 60000(\text{mA分/週}) \times 1.74$$

$$= 2.17 \times 10^4(\mu\text{ Sv/週})$$

120kV 管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、画壁の外側の線量は、

$$10\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 9.2 \times 10^{-3})$$

$$\text{線量 } 2.17 \times 10^4 \times 9.2 \times 10^{-3}$$

$$= 200(\mu\text{ Sv/週})$$

$$14\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 1.9 \times 10^{-4})$$

$$\text{線量 } 2.17 \times 10^4 \times 1.9 \times 10^{-4}$$

$$= 4.1(\mu\text{ Sv/週})$$

$$20\text{cm(コンクリート厚)}(\text{透過率}; 1.9 \times 10^{-5})$$

$$\begin{aligned} \text{線量 } & 2.17 \times 10^4 \times 1.9 \times 10^{-5} \\ & = 0.41 (\mu \text{ Sv/週}) \end{aligned}$$

(4) 漏えい線量の合算

コンクリート画壁の外側C点の線量は次のとおりに計算される。

10cm(コンクリート厚)

$$10.4 + 1280 + 200 = 1490 (\mu \text{ Sv/週})$$

14cm(コンクリート厚)

$$2.15 + 208 + 4.1 = 214 (\mu \text{ Sv/週})$$

20cm(コンクリート厚)

$$0.22 + 1.34 + 0.41 = 2.0 (\mu \text{ Sv/週})$$

なお、D点についても同様に計算される。

3) エックス線単純撮影(胸部)室(図7)

使用上のモデルとして(E点の線量評価として)を、

撮影 出力 80kV、30mAs/1回撮影、  
10人/日、6日/週

・使用エックス線量：30mAs × 10人 ×  
6日/60 = 30mA分/週

・99.51 ( $\mu \text{ Gy/mA}\cdot\text{sec at 1m}$  :  
2.5mmAl) × 30(mA·min/週)  
× 60(sec/min)

$$= 1.8 \times 10^6 (\mu \text{ Gy/週 at 1m})$$

(1) 90度散乱線(散乱面積：照射野サイズ1600cm<sup>2</sup>)

なお、80kVの散乱比は表3から0.001、  
管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、画壁の外側の線量  
 $1.8 \times 10^6 (\mu \text{ Gy/週 at 1m}) \times (1^2 \times 2^2)$   
 $\times 0.001 \times 1600/400 \times 1.74$

$$= 3.13 \times 10^2 (\mu \text{ Sv/週})$$

80kVの散乱線エネルギーは、70kVとし、  
コンクリート画壁の外側に漏えい線量は、

$$10\text{cm (透過率; } 3.4 \times 10^{-4}) \text{ 線量 } 3.13 \times 10^2 \times 3.4 \times 10^{-4} = 0.1 (\mu \text{ Sv/週})$$

$$14\text{cm (透過率; } 2.4 \times 10^{-5})$$

$$\text{線量 } 3.13 \times 10^2 \times 2.4 \times 10^{-5} = 0.0075 (\mu \text{ Sv/週})$$

(2) 管球からの漏えい線量

管球の漏えい線量はTVと同じと仮定：  
4.17 ( $\mu \text{ Gy/mA}\cdot\text{分 at 1m(150kV)}$ )

$$4.17 \times (\mu \text{ Gy/mA at 1m}) / 1.0^2 \times 30$$

$$(\text{mA分/週}) \times 1.74 = 217.7 (\mu \text{ Sv/週})$$

管理区域をコンクリートの画壁が設けられているとすると、画壁の外側の線量、  
10cm(コンクリート厚)(透過率;  $1.0 \times 10^{-3}$ )

$$\text{線量 } 217.7 \times 1.0 \times 10^{-3}$$

$$= 0.22 (\mu \text{ Sv/週})$$

14cm (透過率;  $1.0 \times 10^{-4}$ )

$$\text{線量 } 217.7 \times 1.0 \times 10^{-4}$$

$$= 0.022 (\mu \text{ Sv/週})$$

(3) 漏えい線量の合算

コンクリート画壁の外側に漏えいする線量は次のとおりに計算される。

10cm(コンクリート厚)

$$0.1 + 0.22 = 0.32 (\mu \text{ Sv/週})$$

14cm(コンクリート厚)

$$0.0075 + 0.022 = 0.03 (\mu \text{ Sv/週})$$

なお、F点についても同様に計算される。

E 考察

1メガボルト以下のエックス線発生装置は、医療法において規制管理されており、人の健康と生命を守るための病院又は診療所の医療現場で必置されている装置である。エックス線断層撮影装置も非侵襲的に体内疾病部位を検出するために有用な診断法となっている。近年の放射線医療技術の発展により、エックス線装置は、胸部・腹部等の診断のほか、血管内疾患部の放射線治療法として、疾患部に放射線照射器具を装着する場合や腫瘍等の疾患部を診療用高エネルギー発生装置で照射治療する治療部位を決定するために利用されるようになってきた。このように、エックス線発生装置

と他の放射線装置と併用する治療法が用いられる現状においては、放射線の安全管理のうえでも、複数台に由来する放射線量を合理的に評価する必要がある。現在のエックス線の線量評価法は、平成元年に通知された健政発第383号に従って算定されているが、エックス線発生装置1台のみに限定している。そのため、先に述べた複数台、或いはエックス線発生装置と他の放射線発生装置と併用した場合の総合的な線量算定を困難にしている。また、エックス線発生装置は、出力管の性能が著しく向上しているため、出力電圧と線量との関係も再評価する必要がある。さらに、ICRP 1990年勧告(Pub.60)を我が国の放射線を規制する関連法令に受け入れが間近に迫っている。この勧告を受け入れによって、放射線作業者の線量限度が、実質的に従来よりも2.5倍の強化となり、さらに管理区域の境界における線量限度が3倍も強化されることになる。これを適用されると放射線医療にとって大きな局面にさしかかっていると考える。規制強化と現行の評価方式では、現状の医療サービスの停滞のみならず、放射線の新技术の導入と進歩に大きな弊害となること必至と考えられる。現行の算定法は、実測値とかけ離れた安全評価を取っている。このことは、放射線量の算定評価に現実離れたパラメータを適用されていることがその理由であることに異論を挟む者はないと考える。

本研究は、これまで述べた複合的放射線の評価法の確立のみならず、算定パラメータについても検討した。エックス線の出力電圧と発生するエックス線エネルギーとの関係を明確にした。第2には、算出式を大幅に見直し、滞在時間(使用時間)×放射線の強度×遮蔽体の透過率を距離の二乗で割るといった、放射線の常法を基礎とする算出方式に変えることを提案した。この算

定法式によって、これまで検討が十分でないエックス線断層撮影装置の評価が可能となり、実例をあげて提案した。この研究で得られた成果は、実際に沿った放射線の管理を可能としたものであり、放射線の安全管理に役立てることが期待できると考える。

## F. 結論

本研究において、管電圧と出力線量率、散乱エネルギー、散乱比及び透過率を用い、漏えい線量を次の算定式を提案した。

### 1) 利用線の線量

$$\text{実効稼働負荷線量}/(\text{距離})^2 \times \text{透過率} \times \text{換算係数} \times \text{方向利用率} = \text{線量} (\mu \text{ Sv/週})$$

### 2) 散乱線の線量を求める式

$$\text{実効稼働負荷線量}/(\text{距離})^2 \times \text{散乱比} \times \text{照射野サイズ}/400 \times \text{換算係数} \\ = \text{線量} (\mu \text{ Sv/週})$$

### 3) 管球からの漏えい線量を求める式

$$\text{管球の漏えい線量}/(\text{距離})^2 \times \text{使用エックス線量} \times \text{換算係数} = \text{線量} (\mu \text{ Sv/週})$$

### 4) 漏えい線量の合算

$$\text{漏えい線量の合算} = (\text{利用線の線量} + \text{管球からの漏えい線量}) \times \text{遮へい体の透過率} + \text{散乱線の線量} \times \text{遮へい体の線量}$$

## 文献

- 1) Cranley et al., Catalogue of Diagnostic X-ray Spectra and Other Data ; IPEM Report No.78, 1997.
- 2) Spimpkin D.J., Shielding Requirements for Constant-Potential Diagnostic Beams Determined by a Monte Carlo Calculation ; Health Physics, 56: 151-164, 1989.

表. 1 管球から1メートルの距離における出力線量率

管電圧 (kV)	2.5 mA1	2.0 mA1
	(μGy/mA·s at 1m)	
50	39.77	51.24
60	58.89	73.52
70	78.47	95.63
80	99.51	118.80
90	121.84	142.93
100	145.13	167.79
110	169.26	---
120	194.06	---
140	245.98	---

表2. 利用線と散乱線のエネルギーとの関係

$$h\nu_{(散乱)} = 12.4 \div \left[ (12.4 / h\nu_{(利用)}) + 0.0242 \right]$$

利用線 (kV)	散乱線 (kV)	計算に用いる値
50	45.55	50
60	53.71	55
70	61.59	65
80	69.20	70
90	76.55	80
100	83.67	85
110	90.56	90
120	97.23	100
130	103.69	105
140	109.96	110
150	116.03	120

表 3. 管電圧と散乱比との関係

管電圧	百分率 (%) <sup>注</sup>	計算に用いる値
50 kV		
70 kV	0.071	0.0007
80 kV	0.10	0.001
100 kV	0.141	0.0015
120 kV	0.168	0.0017
140 kV	0.186	0.0019
150 kV	0.192	0.00195

注 : 水に対する照射面積  $400\text{cm}^2$  あたりのカーマ百分率 : 散乱中心より 1 m

表4. 管電圧と鉛の透過率との関係

鉛(mm)	50kV	60kV	70kV	80kV	90kV	100kV	120kV	140kV
0.4	2.3E-3	7.1E-3	1.6E-2	2.7E-2	4.0E-2	5.5E-2	8.0E-2	9.2E-2
0.6	3.1E-4	1.7E-3	4.8E-3	1.0E-2	1.8E-2	2.6E-2	4.0E-2	4.6E-2
0.8	4.5E-5	4.0E-4	1.7E-3	4.2E-3	8.0E-3	1.3E-2	2.2E-2	2.5E-2
1.0	6.6E-6	1.0E-4	5.7E-4	1.8E-3	3.9E-3	6.7E-3	1.3E-2	1.4E-2
1.2	9.7E-7	2.6E-5	2.0E-4	7.8E-4	2.0E-3	3.7E-3	7.1E-3	7.5E-3
1.4	1.4E-7	6.5E-6	7.2E-5	3.5E-4	1.0E-3	2.0E-3	4.2E-3	4.3E-3
1.6	2.1E-8	1.7E-6	2.6E-5	1.6E-4	5.0E-4	1.1E-3	2.5E-3	2.4E-3
1.8	3.1E-9	4.3E-7	9.2E-6	6.8E-5	2.6E-4	6.1E-4	1.5E-3	1.4E-3
2.0	4.6E-10	1.1E-7	3.3E-6	3.0E-5	1.3E-4	3.4E-4	8.6E-4	7.8E-4
2.2		2.8E-8	1.2E-6	1.4E-5	6.6E-5	1.9E-4	5.1E-4	4.4E-4
2.4		7.0E-9	4.3E-7	6.0E-6	3.4E-5	1.1E-4	3.1E-4	2.6E-4
2.6		1.8E-9	1.6E-7	2.7E-6	1.7E-5	5.8E-5	1.8E-4	1.5E-4
2.8		4.6E-10	5.5E-8	1.2E-6	8.7E-6	3.2E-5	1.1E-4	8.2E-5
3.0			2.0E-8	5.3E-7	4.5E-6	1.8E-5	6.4E-5	4.7E-5

表5. 管電圧とコンクリートの透過率との関係

Conc(cm)	50kV	60kV	70kV	80kV	90kV	100kV	120kV	140kV
4	2.9E-3	9.4E-3	2.0E-2	3.4E-2	5.0E-2	6.7E-2	1.0E-1	1.4E-1
6	3.5E-4	1.8E-3	5.0E-3	1.0E-2	1.7E-2	2.5E-2	4.5E-2	6.4E-2
8	4.4E-5	3.5E-4	1.3E-3	3.2E-3	6.2E-3	1.0E-2	2.0E-2	3.2E-2
10	5.5E-6	7.0E-5	3.4E-4	1.0E-3	2.2E-3	4.0E-3	9.2E-3	1.6E-2
12	7.0E-7	1.4E-5	9.0E-5	3.2E-4	8.1E-4	1.6E-3	4.2E-3	7.9E-3
14	8.8E-8	2.7E-6	2.4E-5	1.0E-4	2.9E-4	6.5E-4	1.9E-3	4.0E-3
16	1.1E-8	5.4E-7	6.2E-6	3.3E-5	1.1E-4	2.6E-4	8.9E-4	2.0E-3
18	1.4E-9	1.1E-7	1.6E-6	1.0E-5	3.9E-5	1.0E-4	4.1E-4	1.0E-3
20	1.8E-10	2.1E-8	4.3E-7	3.3E-6	1.4E-5	4.2E-5	1.9E-4	5.0E-4
22		4.3E-9	1.1E-7	1.0E-6	5.1E-6	1.7E-5	8.7E-5	2.5E-4
24		8.5E-10	3.0E-8	3.3E-7	1.9E-6	6.8E-6	4.0E-5	1.3E-4
26		1.7E-10	7.6E-9	1.1E-7	6.8E-7	2.7E-6	1.8E-5	6.4E-5
28		3.3E-11	2.1E-9	3.4E-8	2.5E-7	1.1E-6	8.5E-6	3.2E-5
30		6.6E-12	5.4E-10	1.1E-8	9.0E-8	4.4E-7	3.9E-6	1.6E-5

ただし、コンクリートの密度を2.35 g/cm<sup>3</sup>として求めた。

表6. 遮へいの近似式で求めた透過率

鉛(mm)	100kV	120kV	140kV
0	1	1	1
0.1	0.40804	0.4816	0.485
0.2	0.18406	0.2482	0.257
0.25	0.12960	0.1838	0.193
0.3	0.09438	0.1390	0.149
0.4	0.05503	0.0849	0.094
0.5	0.03550	0.0560	0.0638
0.6	0.02445	0.0391	0.0451
0.7	0.01747	0.0284	0.0328
0.8	0.01272	0.0211	0.0242
1	0.00691	0.0122	0.0135
1.2	0.00380	0.0071	0.0076
1.4	0.00209	0.0042	0.0043
1.6	0.00115	0.0025	0.0025
1.8	0.00063	0.0015	0.0014
2	0.00035	0.0009	0.0008
2.2	0.00019	0.0005	0.0005
2.4	0.00011	0.0003	0.0003
2.5	7.84E-05	0.0002	0.0002
2.6	5.82E-05	0.0002	0.0002
2.8	3.20E-05	0.0001	8.25E-05
3	1.77E-05	6.42E-05	4.69E-05

ただし、管電圧における透過率は下の式で求めた。

$$100 \text{ kV} = 0.864 \times e^{(-0.693/0.067 \times X)} + 0.136 \times e^{(-0.693/0.2323 \times X)}$$

$$120 \text{ kV} = 0.836 \times e^{(-0.693/0.081 \times X)} + 0.164 \times e^{(-0.693/0.265 \times X)}$$

$$140 \text{ kV} = 0.773 \times e^{(-0.693/0.077 \times X)} + 0.227 \times e^{(-0.693/0.245 \times X)}$$

Xは遮へい体の厚さ (この表においては、mmPb)

# Pb Attenuation

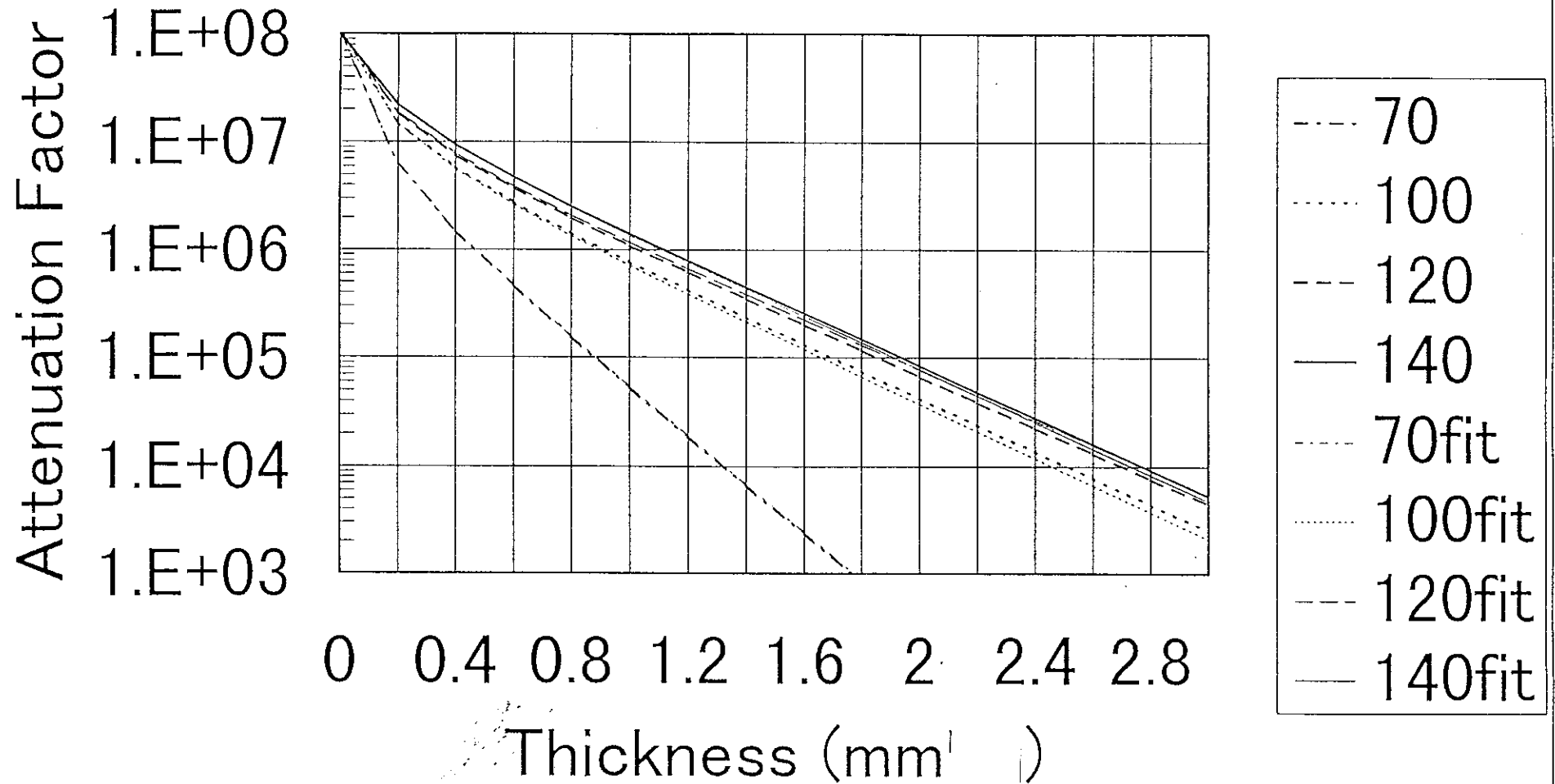


図1. 鉛遮へいにおける透過率のフィッティング

# Concrete Attenuation

$$\alpha = \exp(8.31788 - 4.00207p + 0.33122p^2)$$

$$\beta = \exp(4.5228 - 1.2974p - 0.048264p^2)$$

$$\gamma = \exp(-8.33345 + 3.30821p - 0.321357p^2)$$

$$p = \log_e(\frac{E}{eV})$$

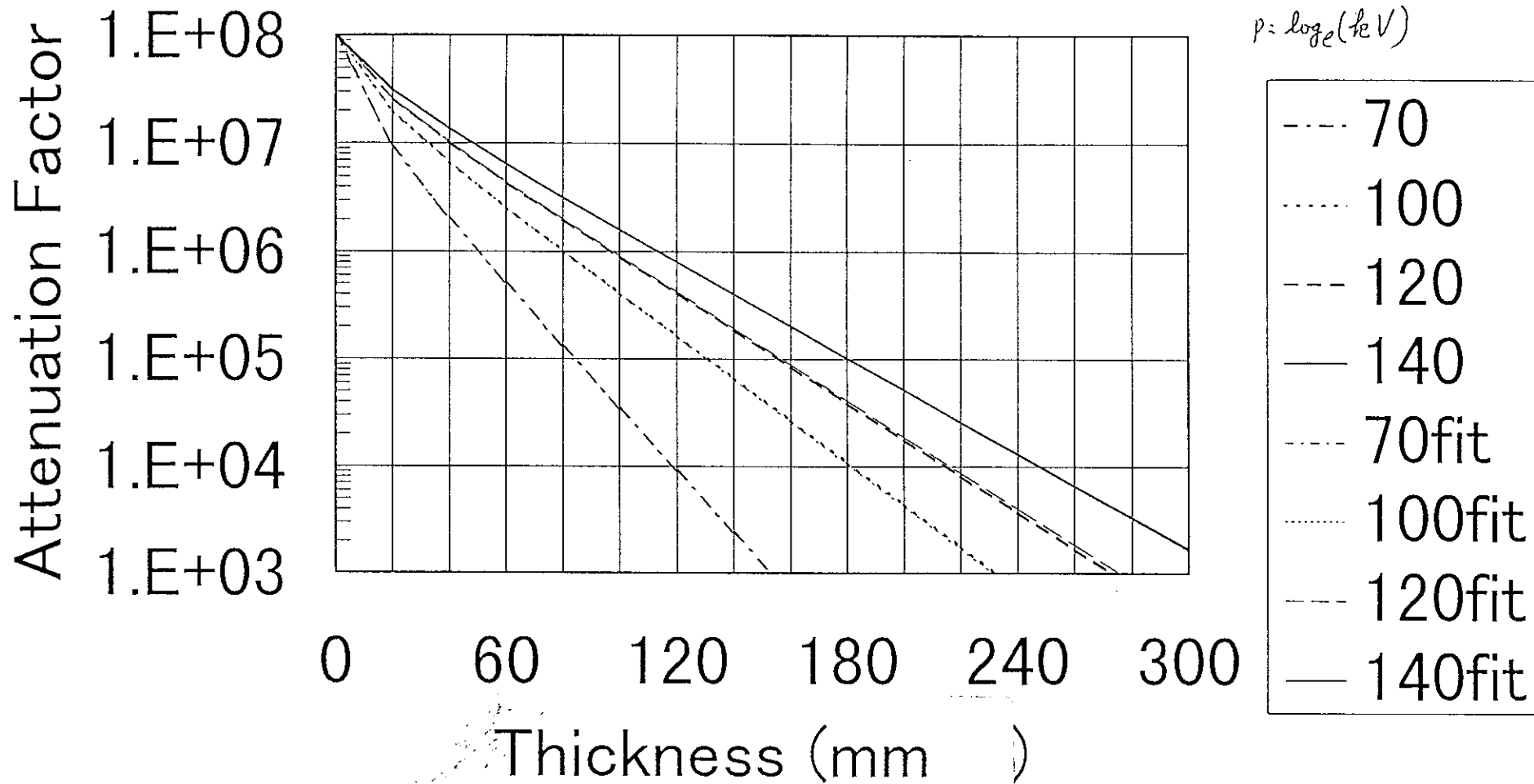


図2. コンクリートにおける透過率のフィッティング

# Steel Attenuation

~~17.922~~  
 $\alpha = \exp(17.922 - 6.1647p + 0.44843p^2)$   
 $\beta = \exp(41.414 - 16.434p + 1.6587p^2)$   
 $\gamma = \exp(21.507 - 10.168p + 1.18716p^2)$

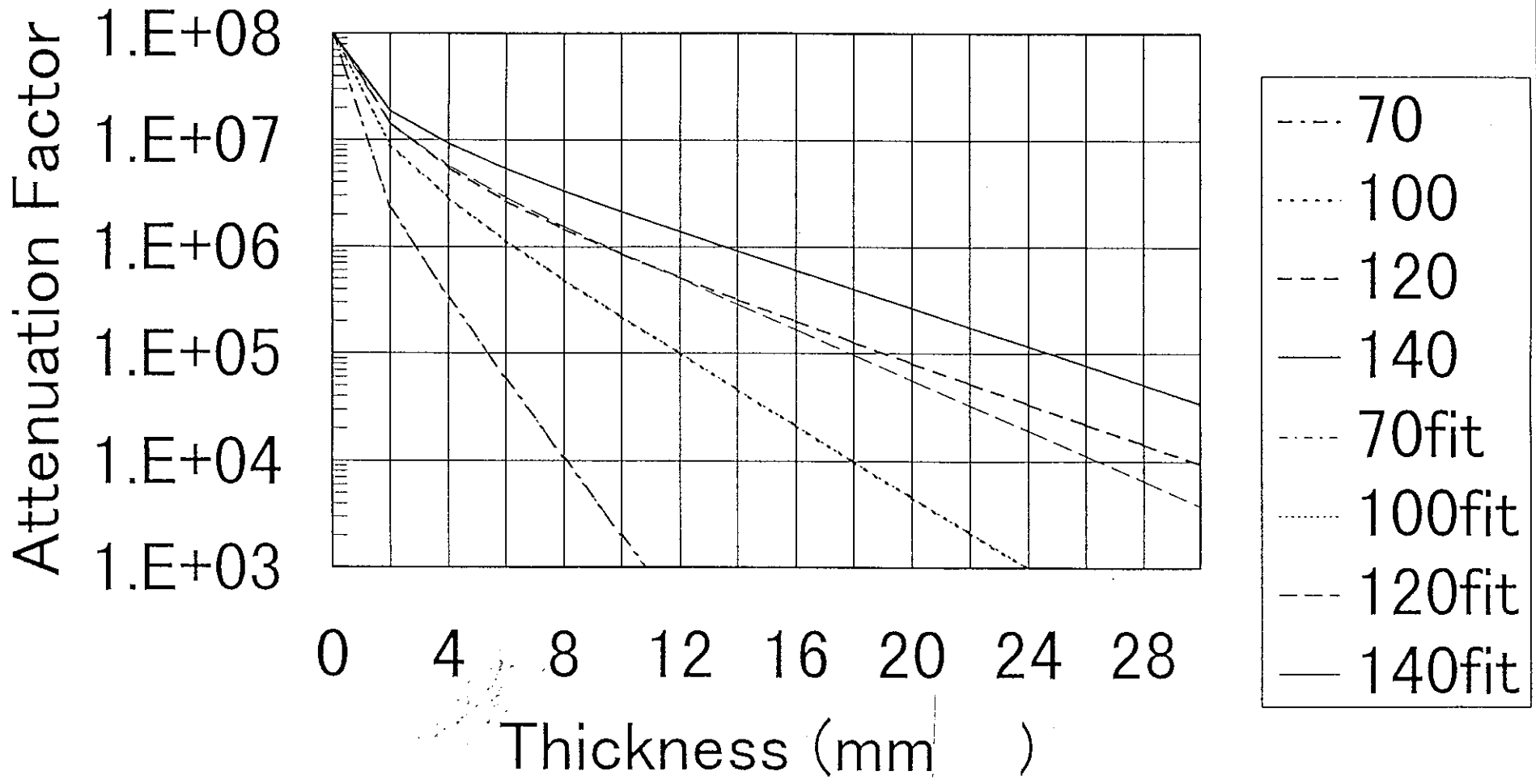
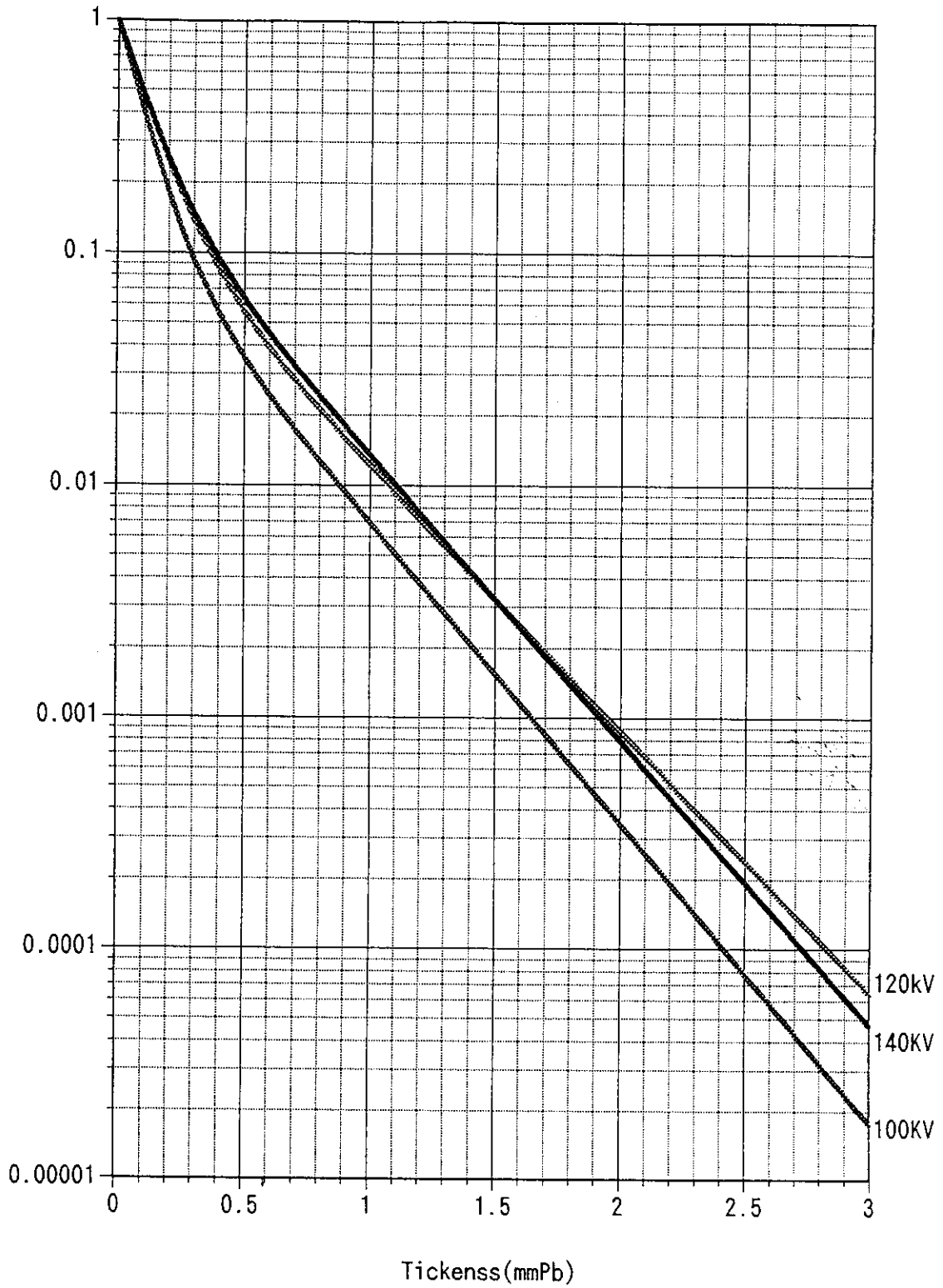


図3. ステンレススチールにおける透過率のフィッティング

図4. 遮へいの近似式で求めた鉛の透過率曲線



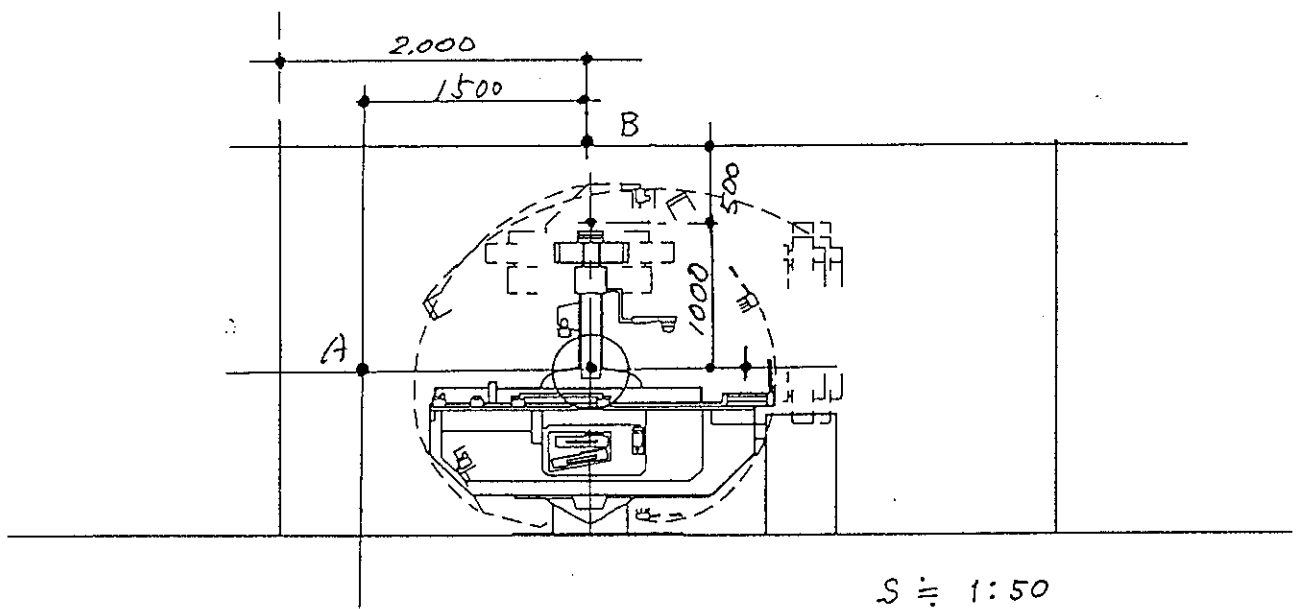


図5 エックス線TV室の漏えい線量算定に用いた平面図