

目 次

課題 6-1 エックス線診療施設の遮へい評価法に関する調査研究	
研究要旨	1
1. 緒言	2
2. 方法	2
3. 結果・考察	2
4. 結論	5
6. 参考文献	6
医薬発第188号通知改正案	7
課題 6-2 放射線治療装置に係る職員研修マニュアル作成に関する調査研究	
研究要旨	3 1
1. 緒言	3 1
2. 方法	3 2
3. 結果及び考察	3 4
4. 結論	3 9
参考文献	4 0
付録1	放射線治療プログラムに関するガイドライン「Setting up a radiotherapy programme: clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects」(IAEA, 2008)の仮訳 (別冊掲載)
付録2	米国医学物理学会(AAPM)から示される放射線治療プログラムに関するガイドライン「COMPREHENSIVE QA FOR RADIATION ONCOLOGY, Report of Task Group No. 40, 1994」 ³⁾ の目次 4 2
付録3	米国医学物理学会(AAPM)から示される診療用高エネルギー放射線発生装置に関する安全事項ガイドライン「Medical Accelerator Safety Considerations, Report of Task Group No. 35, 1996」 ²⁾ の安全プログラム例 4 3
付録4-1	添付文書(医療用リニアック)の例 4 6
付録4-2	添付文書(放射線照射装置)の例 4 9
付録5	使用マニュアルの例 5 2
付録6	放射線治療業務の安全管理対策の例 6 0
付録7	業務マニュアルの例 6 2
付録8	不具合発生時の対応チャート例 7 0
付録9	緊急時の対応マニュアル例 7 1
付録10	事故・トラブル等の緊急時における連絡方法の例 7 4
付録11	災害時点検チェックリストの例 7 7
付録12	〇〇病院△△部放射線部門医療機器安全管理委員会規則(例) 7 8
付録13	〇〇病院△△部放射線部門医療機器安全管理規定(例) 7 9
付録14	添付文書(陽子線治療装置)の例 1 0 3

付録15	粒子線治療における診療放射線技師の業務とその内容	107
付録16	粒子線治療における業務手順マニュアルの例	111
付録17	粒子線治療の機器管理業務マニュアルの例	116
付録18	日常点検（粒子線治療装置）のマニュアル例	119
付録19	定期点検（粒子線治療装置）のマニュアル例	120
付録20	陽子線・重イオン線治療のQAプログラムの例 ²³⁾	121

平成 21 年度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）
「医療放射線の安全確保に関する研究」（H19-医療-一般-003）
（主任研究者：細野 眞）

分担研究報告書

エックス線診療施設の遮へい評価法に関する調査研究

分担研究者 大場久照 弘前大学大学院保健学研究科

研究協力者

三田創吾	(社)日本画像医療システム工業会
浅沼 治	札幌医科大学附属病院
山口一郎	国立保健医療科学院
小高喜久雄	国立国際医療センター戸山病院
池淵秀治	(社)日本アイソトープ協会
中村伸貴	(社)日本アイソトープ協会

研究要旨

- 【目的】本研究の目的は、医薬発第 188 号通知（平成 13 年 3 月 12 日）におけるエックス線診療室の遮へい評価に関わる内容を改定し、188 号通知の改正案を作成することである。
- 【方法】JIRA の標準化部会サイト設備設計グループの協力を得て、平成 19-20 年度の研究成果に基づき 188 号通知「(六)線量等の算定等」についての検討を行い、改正通知案を作成した。
- 【結果】188 号通知に係る「(六)線量等の算定等」の主な改正内容は以下のとおりとなった。①NCRP Report No. 147 (2004) の評価法を取り入れた、②3 月間の実効稼働負荷値ができない場合の表を削除した、③エックス線装置の受像器等を一次エックス線の遮へい体として考慮できるとして遮へい体（鉛、コンクリートおよび鉄）等価厚を設定した、④遮へい材 6 種類に対する空気カーマ透過率を設定した（CT 除く）、⑤透視装置（消化器系・血管系）、乳房撮影装置、CT 装置および歯科用撮影装置については一次エックス線の評価をしなくてもよいとした、⑥二次エックス線の評価に散乱角 90 度における散乱係数を導入した、⑧CT 室の遮へい計算法を新たに設け、CT における鉛とコンクリートの空気カーマ透過率を設定した。
- 【結論】エックス線診療室の遮へい評価に関わる 188 号通知の改正案は、科学的根拠（NCRP Report No. 147）に基づいているとともに、昨今の放射医療技術に即した内容となっていることから、わが国の医療放射線防護の施策において有用であると示唆される。

1 緒言

わが国のエックス線診療施設の遮へい評価法は、厚生労働省医薬局長通知（平成13年3月12日付け医薬発第188号、以下「188号通知」という）において米国放射線防護測定審議会（以下、「NCRP」という）の Report No. 49（1976）[1]の考え方が取り入れられている。そのため、Report No. 49の改訂版である Report No. 147（2004）[2]の発刊に伴い、わが国においてもエックス線診療施設の遮へい評価法を見直す必要がある。平成19年度の厚生労働科学研究では、Report No. 147における放射線防護の目標と考え方を整理し、遮へい評価法の主要な改訂点をまとめ、わが国でのエックス線診療施設の遮へい評価法として適用できることを示した[3, 4]。また、平成20年度の厚生労働科学研究では、188号通知における遮へい評価法の問題点を抽出するとともに、東京都内の医療機関を対象に3ヶ月間あたりの実効稼働負荷値を調査し使用頻度別の実効稼働負荷値導入を提案したところである[5]。

本研究は、平成19・20年度の厚生労働科学研究成果に基づき、エックス線診療施設の遮へい評価法に係る188号通知の改正案の作成を目的とする。

2 方法

JIRAの標準化部会サイト設備設計グループの協力を得て、平成19-20年度の研究結果[3-5]に基づき188号通知「(六)線量等の算定等」について、エックス線診療施設の遮へい評価に係る計算式および関連パラメータの検討を行い、改正通知案を作成した。

3 結果・考察

エックス線診療室の遮へい評価法に係る188号通知の改正案を別紙1に示す。

3-1 NCRP Report No. 147の評価方法の取り入れ（188号通知(六)6）

平成19年度厚生労働科学研究細野班・分担研究報告書等において、NCRP Report No. 147での放射線防護の概念および線量限度はICRP1990年勧告に基づいていることが既に報告されており[3, 4]、わが国の放射線防護規制に導入することは妥当であると判断した。

3-2 3ヶ月間の実効稼働負荷値の廃止（188号通知(六)2(ア)②）

平成20年度厚生労働科学研究細野班・分担研究報告書[5]において、188号通知に示されている3ヶ月間の実効稼働負荷を設定できない場合での一律の3ヶ月間実効稼働負荷値では使用頻度の少ない医療機関で用いると過大評価となり過剰防護となる旨を報告したとともに、過大・過小評価にならないよう使用頻度の平均的な場合と使用頻度が多い場合の2種類の実効稼働負荷値を設定した。しかし、医療機関においてエックス線装置の実効稼働負荷値を設定できないということはエックス線検査の使用状況を把握・管理できていないということに繋がり、医療安全の観点から問題があると考えられる。そのため

改正通知案では3月間の実効稼働負荷を設定できない場合における検査別の3月間実効稼働負荷値の表を削除した。

3-3 一次エックス線防護障壁の等価厚の設定（188号通知(六)6(1)）

平成20年度厚生労働科学研究細野班・分担研究報告書[5]において、一般撮影用エックス線診療室における一次エックス線の遮へい評価にNCRP Report No. 147で用いられているプレ遮へい体導入の提案を報告した。そのため、改正案では平成20年度厚生労働科学研究の研究成果[5]に基づき、NCRP Report No. 147 Table 4.6のデータ（側面撮影に係るデータを除く）を一次エックス線防護障壁の鉛等の等価厚として設定した。Report No. 147のデータはフィルムスクリーン系のデータに基づいているため、わが国ではデジタル式エックス線撮影装置（コンピューテッド・ラジオグラフィ（CR）やフラットパネルディテクタ（FPD））が普及してきていることから、今後デジタル式エックス線撮影装置における一次エックス線防護障壁の等価厚を調査・検討する必要がある。

3-4 遮へい体6種類に対する空気カーマ透過率の設定（188号通知(六)6(2)）

NCRP Report No. 147に基づき、鉛（ $11.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）、コンクリート（ $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）、鉄（ $7.4\text{g}/\text{cm}^3$ ）、石膏（ $0.75\text{g}/\text{cm}^3$ ）、ガラス（ $2.56\text{g}/\text{cm}^3$ ）および木材（ $0.55\text{g}/\text{cm}^3$ ）の6種類に対する各厚さの空気カーマ透過率を設定した。なお、コンクリートの密度については、わが国では一般的に $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ とされていることから、コンクリート密度の違いによる補正を行う必要がある[6]。

3-5 一次エックス線による遮へい評価を除外できる装置の設定（新規）

透視装置（消化器系・血管系）、乳房撮影装置および歯科用撮影装置については、平成20年度厚生労働科学研究の研究成果[5]で報告したとおり、JIS T 0601-1-3 (2005) [7]で一次防護遮へい体の設置が要求されており一次エックス線が十分に減弱していると考えられることから、一次エックス線の評価を除外できる装置として設定した。また、CT装置についても、NCRP Report No. 147で一次エックス線はガントリ等で十分減弱されることから一次エックス線による遮へい評価を除外しており、NCRP Report No. 147に基づき一次エックス線の評価を除外できる装置として設定した。

3-6 散乱エックス線による遮へい計算方法（188号通知(六)6(2)②）

188号通知で示されている計算式中のパラメータaは、NCRP Report No. 49のデータに基づいていることから、NCRP Report No. 147に基づき安全側に評価した散乱角90度^(注)に対する散乱係数（ $10^{-6}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}^{-2}$ ）（ファントムに入射する一次エックス線の空気カーマ率に対する一次エックス線の単位照射野

(cm^2) あたりのファントムから 1 m の距離における空気カーマ率の比) として設定した。

注) NCRP Report No. 147 では、散乱角 90 度付近における散乱係数が小さい。これは、二次エックス線での散乱エックス線による寄与が小さく、管球からの漏えいエックス線による寄与が大きいことを示している。また、漏えいエックス線の線質は一次エックス線と同等としている。そのため散乱係数の小さい散乱角を選択することでより安全側の評価となる。

3-7 エックス線 CT 室における遮へい計算法の設定 (新規)

エックス線 CT 室の遮へい評価法については、多列検出器ヘリカル CT (MDCT) の普及に伴い、従来の遮へい評価法に加え、NCRP Report No. 147 に基づいた遮へい評価法も新たに追加設定した。NCRP Report No. 147 では、CT 装置の構造上一次エックス線が十分に減弱されているとし、一次エックス線の漏えいエックス線による遮へい評価を除外できる装置としているため、散乱エックス線による漏えいエックス線量のみを遮へい評価の対象とした。その考え方にに基づき以下の算出式を設定した。また、遮へい体の厚さにおける空気カーマ透過率は、NCRP Report No. 147 Fig. A.3 に基づき CT 装置における鉛とコンクリートの各厚さの空気カーマ透過率を設定した。

$$E_{\text{CT}} = \frac{K_{\text{CT}} \times P \times D_{\text{CT}} \times (E/K_a) \times U \times T}{d_{\text{CT}}^2}$$

E_{CT} : 漏えい実効線量 ($\mu\text{Sv}/3$ 月間)

K_{CT} : 回転中心から 1 m の距離における患者一人あたりの二次空気カーマ ($\text{mGy}/\text{人}$)

P : 3 月あたりの患者数 (人/3 月間)

D_{CT} : 遮へい体 (鉛、コンクリート) の厚さにおける空気カーマ透過率

E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy)

U : 使用係数

T : 居住係数

d_{CT} : 回転中心からしゃへい壁外側の評価点までの距離 (m)

ここで、 K_{CT} は以下の式を用いて算出すること。

$$K_{\text{CT}} = 1.2 \times \kappa \times \text{DLP}$$

κ : CT 散乱係数 $\kappa = 3.3 \times 10^{-4} (\text{cm}^{-1})$ (頭部・体幹部共通)

※管球からの漏えいエックス線も含まれる

ファントム表面下 1cm を基準として測定した値である

DLP (dose length product) : $\text{CTDI}_{\text{vol}} \times L$ で算出される

頭部：1960 mGy cm
胸部：700 mGy cm
腹部：625 mGy cm
骨盤：500 mGy cm

注1) $CTDI_{vol}$ は JIS Z 4751-2-44 (2008) でコンソール上に表示することとなっている。

注2) $CTDI_{vol}$ ：日本放射線技師会 (JART) が実施したCT線量のWeb調査 (2008) 結果に基づき各部位の $CTDI_{vol}$ を設定した。ただし、骨盤についてはNCRP Report No. 147 Table 5.2の値を採用した。

頭部：98mGy (JART、75パーセンタイル値)
胸部：20mGy (JART、75パーセンタイル値)
腹部：25mGy (JART、75パーセンタイル値)
骨盤：25mGy (Report No. 147 Table 5.2)

L：平均的なスキャン長 (cm)

頭部：20cm
胸部：35cm
腹部：25cm
骨盤：20cm (Report No. 147 Table 5.2)

CT散乱係数 κ 、DLPまたは $CTDI_{vol}$ およびスキャン長の値について、学会誌等 (海外誌を含む。) で公表されている適切な資料等を有している場合には、その値を用いても良いこととした。

4 結論

本研究では、エックス線診療室の遮へい評価に関わる188号通知の改正案を作成した。本改正案はNCRP Report No. 147 (2004)をベースとした科学的根拠に基づいているとともに、昨今の放射線医療技術に即した内容となっていることから、わが国の医療放射線防護の施策において有用であることが示唆される。

参考文献

1. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Structural shielding design and evaluation for medical use of x rays and gamma rays of energies up to 10 MeV. NCRP Report No. 49 (1976).
2. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities. NCRP Report No. 147 (2004).
3. 平成19年度厚生労働科学研究費補助金細野班・大場分担研究報告書. X線診療室の遮へい評価法に関する調査研究.
4. 大場久照、藤淵俊王、三田創吾、堀越亜希子、岩永哲雄、池淵秀治、細野眞. X線診療施設の遮へい評価法に関する調査研究. 日本放射線技術学会雑誌 2009; 65(1): 57-63.
5. 平成20年度厚生労働科学研究費補助金細野班・大場分担研究報告書. X線診療室の遮へい評価法に関する調査研究.
6. (財)原子力安全技術センター編. 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2007年版, 東京, 2007.
7. (財)日本規格協会 編. JISハンドブック2008年版 放射線(能). (財)日本規格協会, 東京, 2008: 490-516.

改正案

各都道府県知事 殿

厚生労働省医政局長

エックス線診療室等の構造設備に係るしゃへい算定等について

「医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について」（平成 13 年 3 月 12 日付け医薬発第 188 号、以下、「施行通知」という。）において、放射線取扱施設等及び管理区域の境界における線量等の算定方法やエックス線診療室等の構造設備に係るしゃへい算定に関する参考事項を示しているところである。

今般、近年のエックス線装置の技術的な向上に伴い、エックス線診療室等の構造設備に係るしゃへい算定方法の見直しを図るため、平成 19～21 年度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）による「医療放射線の安全確保に関する研究」（主任研究者：細野眞・近畿大学医学部放射線医学教室教授）において専門的な検討を行い中間報告書（別添）が取りまとめられたところである。

これを受け、下記のとおり施行通知を一部改正することとしたので、御了知されるとともに、管下政令指定都市、中核市、保健所設置市、関係団体等並びに管下医療機関に周知方願いする。

(六) 線量等の算定等

1 (省略)

2 放射線取扱施設等及び管理区域の境界における線量等の算定

(1) 線量の算定に当たっては、放射線診療装置等の使用状態に従い、使用時、保管時又は使用時及び保管時の合計の線量を計算すること。また、内部被ばくがある場合は、その数値を加算すること。新たに放射線診療装置等を備えようとする場合は、従前通り推定によること。なお、使用時及び保管時の線量の算定は以下のように行うこと。

(ア) 使用時における線量は、次のように算出すること。

① 省略

② 実効稼働負荷の設定に当たっては、エックス線装置ごとの3月間当たりの延べ実効稼働負荷を定めて届出する場合はその値を用い、その値を定めず届出する場合であって次表の左欄に掲げるエックス線装置の種類に応じて右欄に掲げる3月間の実効稼働負荷未満である場合は、この数値を用いて計算すること。とされていたが、エックス線装置の漏えい線量の算定評価が、殆どの医療機関において使用する、エックス線装置の3月間当たりに予定する実効稼働負荷により評価されている。従って、表に掲げる3月間の実効稼働負荷に関する数値は廃止すると共に、以下の通りに改正する。

「実効稼働負荷の設定に当たっては、エックス線装置ごとに届出された3月間の延べ実効稼働負荷を用いて評価すること。」

6 エックス線診療室等の構造設備に係るしゃへい算定に関する参考事項

エックス線診療室等の構造設備について、所定の線量以下とすることができるしゃへい算定方法に関する参考事項を次のとおり示すので参考にされたい。

(1) 鉛当量の標準値

(ア) エックス線診療室の画壁等の実効線量

エックス線診療室のしゃへいに係る漏えい線量の計算に用いられていたエックス線装置の管電圧とエックス線管焦点から利用線錐方向の1メートルの距離における空気カーマ(表1)、透過率(表2：鉛及び表3：コンクリート)、照射野400平方センチメートルの組織類似ファントムから1メートルの距離による空気カーマ率の百分率(表4)、しゃへい体の大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層又は1/10 価層(表6)については、NCRP Report No.49(1976)又は NCRP Report No.102(1989)の値を採用したところであるが、エックス線装置の技術革新に伴い修正が必要となり、2004年にNCRPから現在のエックス線装置からの漏えい線量評価に適合するため、Report No.49の改定版として

NCRP Report 147 が刊行された。

適合性について検討したところ、本邦におけるエックス線診療室の画壁等の実効線量の評価に取り入れることが適当とされたので次の通り改正する。

(イ) エックス線診療室の画壁等の実効線量

エックス線診療室のしゃへいは、次に掲げるエックス線のしゃへいについて考慮し、エックス線装置の範囲は、定格出力の管電圧が 200 キロボルト以下のものとする。

なお、しゃへい計算のための模式図を別図に示す。

- ① 一次エックス線のしゃへい
- ② 散乱エックス線のしゃへい
- ③ エックス線管容器からの漏えいエックス線のしゃへい
(一次線による漏えいエックス線量の計算)

$$E_p = \frac{X \times D_t \times W \times \left(\frac{E}{K_a} \right) \times U \times T}{d_1^2}$$

E_p : 漏えい実効線量 (マイクロシーベルト毎 3 月間)

X : エックス線管焦点から利用線錐方向の 1 メートルの距離における空気カーマ^{注 1)} (マイクログレイ毎ミリアンペア秒)

D_t : しゃへい体の厚さ t (センチメートル) における空気カーマ透過率^{注 1)}

W : 3 月間におけるエックス線装置の実効稼働負荷 (ミリアンペア秒毎 3 月間)

E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数 (シーベルト毎グレイ)^{注 2)}

U : 使用係数

T : 居住係数

d_1 : エックス線管焦点からしゃへい壁の外側までの距離 (メートル)

なお、透視可能なエックス線装置で、受像面を含む受像装置に着脱不可能な一次エックス線防護障壁がある場合はそれをしゃへい体として考慮することができる。

(散乱エックス線の漏えいエックス線量の計算)

$$E_s = \frac{X \times D_t \times W \times \left(\frac{E}{K_a} \right) \times U \times T}{d_2^2 \times d_3^2} \times \frac{a \times F}{400}$$

- E_s : 漏えい実効線量 (マイクロシーベルト毎 3 月間)
 X : エックス線焦点から利用線錐方向の 1メートルの距離における空気カーマ^{注 1)} (マイクログレイ毎ミリアンペア秒)
 D_t : しゃへい体の厚さにおける空気カーマ透過率^{注 1)}
 W : 3 月間におけるエックス線装置の実効稼働負荷 (ミリアンペア秒毎 3 月間)
 E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数^{注 2)} (シーベルト毎グレイ)
 U : 使用係数
 T : 居住係数
 d_2 : 被写体からしゃへい壁の外側までの距離 (メートル)
 d_3 : エックス線管焦点から被写体までの距離 (メートル)
 a : 散乱角 90 度における照射野 400cm² の類似ファントムから 1m の距離における空気カーマ百分率^{注 1)}
 F : 照射野の大きさ (平方センチメートル)

(エックス線管容器からの漏えいエックス線量の計算)

エックス線管容器から漏えいする放射線は、管容器で十分しゃへいされたのちであるので、画壁等でのしゃへい効果の計算に当たっては、大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層又は 1/10 価層を用いて計算すること。

・半価層を用いる計算式

$$E_L = \left[\frac{1}{2} \right]^{t_w / t_{1/2}} \times \frac{X_L \times t_w \times \left(\frac{E}{K_a} \right) \times U \times T}{d_4^2}$$

・1/10 価層を用いる計算式

$$E_L = \left[\frac{1}{10} \right]^{t_w / t_{1/10}} \times \frac{X_L \times t_w \times \left(\frac{E}{K_a} \right) \times U \times T}{d_4^2}$$

- E_L : 漏えい実効線量 (マイクロシーベルト毎 3 月間)
 X_L : エックス線装置からの漏えい線量。エックス線管容器から 1メートルの距離における空気カーマ^{注 3)} (マイクログレイ毎時)
 t_w : 3 月間における稼働時間。3 月間におけるエックス線装置の実効稼働負荷 (ミリアンペア秒毎 3 月間) ÷ 使用管電流 (ミリアンペア) ÷ 3600 (秒/時間)
 E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数 (シーベルト毎グレイ)^{注 2)}
 U : 使用係数

T : 居住係数

d_1 : エックス線装置のエックス線管焦点からしゃへい壁の外側等の評価点までの距離 (メートル)

$t_{1/2}$: しゃへい体の大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層^{注1)} (ミリメートル又はセンチメートル)

$t_{1/10}$: しゃへい体の大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する 1/10 価層^{注1)} (ミリメートル又はセンチメートル)

t : しゃへい体の厚さ (ミリメートル又はセンチメートル)
半価層又は 1/10 価層は、表 9 を用いて使用管電圧に対応するしゃへい体の $t_{1/2}$ 又は $t_{1/10}$ 価層の値を求められるが、該当する数字がない場合は補間法により求める。

(複合のしゃへい体からの漏えいエックス線量の計算)

一次エックス線による利用線錐方向は対向板に鉛が用いられ、その後コンクリートでしゃへいされるような複合しゃへいの場合、一次しゃへいで大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する放射線量と半価層又は 1/10 価層を乗じて計算することができる。

$$E_p = \frac{X \times D_1 \times W \times \left(\frac{E}{K_a} \right) \times U \times T}{d_1^2} \times \left[\frac{1}{2} \right]^{t/t_{1/2}}$$

E_p : 漏えい実効線量 (マイクロシーベルト毎 3 月間)

X : エックス線装置のエックス線管焦点から利用線錐方向に 1 メートルの距離における空気カーマ^{注1)} (マイクログレイ毎ミリアンペア秒)

D_1 : 厚さ t (センチメートル) の最初のしゃへい体による透過率

W : 3 月間の実効稼働負荷 (ミリアンペア毎秒 3 月間)

E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数 (シーベルト毎グレイ)^{注2)}

U : 使用係数

T : 居住係数

d_1 : エックス線装置のエックス線管焦点から画壁外側等の利用線錐方向の評価点までの距離 (メートル)

$t_{1/2}$: 2 番目のしゃへい体の大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層^{注1)} (ミリメートル又はセンチメートル)

t : 2 番目のしゃへい体の厚さ^{注1)} (ミリメートル又はセンチメートル)

(漏えいエックス線量の複合計算)

対向板に所定の鉛当量が確保されている場合、 E_p (別図を参照)の漏えいエックス線量は、複合計算しなくても差し支えないが、 E_s と E_L の位置での漏えいエックス線量は、それぞれに算定した漏えいエックス線量の和をもって表すものとする。

注 1) エックス線管焦点から利用線錐方向に 1メートルの距離における空気カーマ (表 1)、管電圧ごとのしゃへい体の厚さにおける空気カーマ透過率 (表 2 (鉛)、表 3 (コンクリート)、表 4 (鉄)、表 5 (石膏)、表 6 (ガラス)、表 7 (木材))、散乱角 90 度に対する散乱係数 (表 8) 及びしゃへい体の大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層又は 1/10 価層 (表 9) は、原則としてそれぞれに示した表の値を用いることとする。

ただし、学会誌等 (海外誌を含む。) で公表されている適切な資料等を有している場合には、その値を用いても良いこととする。

注 2) 表 10 の値は、原則として、告示第 398 号別表第 1 の光子エネルギーに対する実効線量への換算係数を採用する。

この場合において、エックス線装置の管電圧 (キロボルト) によるエックス線のエネルギーは、吸収又は散乱後のエックス線のスペクトルは発生時のものと異なっているが、換算係数の選択に当たっては、光子エネルギー (keV) = 管電圧 (kV) と見なし、対応する換算係数の値を用いるものとする。

なお、定格管電圧が 80 キロボルトを超えるエックス線装置の換算係数は、最大値 1.433 を用いるものとする。

注 3) エックス線管の容器及び照射筒の利用線錐方向以外の 1 時間当たりの漏えいエックス線量は、原則として第 30 条第 1 項第 1 号に規定する各エックス線装置の空気カーマ率を用いることとする。

ただし、適切な方法により測定されたエックス線管容器等の漏えいエックス線量に関する根拠資料等を有している場合には、その値を用いてもよい。

表1 エックス線装置の管電圧とエックス線管焦点から1メートルの距離における空気カーマ

管電圧 (kV)	空気カーマ (μ Gy/mAs)
25	23.5
30	43.6
35	67.3
50	17.5
55	21.3
60	25.7
65	30.6
70	36.0
75	41.9
80	48.3
85	55.0
90	62.1
95	69.4
100	77.1
105	85.0
110	93.1
115	101
120	110
125	118
130	127
135	135
140	143
145	152
150	160

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。

25～35kV の空気カーマはモリブデン陽極とモリブデンフィルタを有する乳房撮影用エックス線装置に対するものである。

表2 鉛におけるエックス線の空気カーマ透過率

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。
なお、コンクリートの密度は、11.35 g/cm³である。
NCRP Report No. 147 (2004) では一次エックス線と二次エックス線の透過率は同等であることを示している。

表3 コンクリートにおけるエックス線の空気カーマ透過率

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。
なお、コンクリートの密度は、2.35 g/cm³である。

表4 鉄におけるエックス線の空気カーマ透過率

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。
なお、鉄の密度は、7.4 g/cm³である。

表5 石膏におけるエックス線の空気カーマ透過率

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。
なお、石膏の密度は、0.75 g/cm³である。

表6 ガラスにおけるエックス線の空気カーマ透過率

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。
なお、ガラスの密度は、2.56 g/cm³である。

表7 木材におけるエックス線の空気カーマ透過率

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。
なお、木材の密度は、0.55 g/cm³である。

表8 散乱角90度における照射野400cm²の類似ファントムから1mの距離における空気カーマ百分率

管電圧 (kV)	空気カーマの 百分率
25	0.14
30	0.15
35	0.15
50	0.16
55	0.16
60	0.17
65	0.17
70	0.17

75	0.18
80	0.18
85	0.18
90	0.18
95	0.19
100	0.19
105	0.19
110	0.20
115	0.20
120	0.20
125	0.21
130	0.21
135	0.21
140	0.22
145	0.22
150	0.22

この数値は、NCRP Report No. 147 Table 4.7 と Fig. C.1. に基づいている。

なお、25kV～35kV はモリブデン陽極とモリブデンフィルタを有する乳房撮影用エックス線装置に対する散乱係数である。

表9 大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層 ($t_{1/2}$) 及び 1/10 価層 ($t_{1/10}$)

管電圧 (kV)	鉛 (mm)		コンクリート(mm)		鉄 (mm)		石膏 (mm)		ガラス(mm)		木材 (mm)	
	$t_{1/2}$	$t_{1/10}$	$t_{1/2}$	$t_{1/10}$	$t_{1/2}$	$t_{1/10}$	$t_{1/2}$	$t_{1/10}$	$t_{1/2}$	$t_{1/10}$	$t_{1/2}$	$t_{1/10}$
25	0.0115	0.0397	1.36	4.74	0.0613	0.212	3.53	12.2	1.44	5.00	23.8	81.8
30	0.0153	0.0526	1.86	6.41	0.0829	0.284	4.84	16.7	1.96	6.74	28.5	96.8
35	0.0208	0.0711	2.53	8.59	0.113	0.383	6.87	23.6	2.68	9.09	34.5	116
50	0.0665	0.228	6.36	21.8	0.361	1.22	17.6	58.6	7.01	23.4	64.4	214
55	0.0792	0.269	7.66	26.3	0.442	1.49	20.0	66.8	7.99	26.7	68.5	228
60	0.0936	0.316	9.25	31.7	0.560	1.88	23.1	76.8	9.18	30.6	72.9	242
65	0.110	0.367	11.0	37.5	0.727	2.44	26.4	88.0	10.5	35.1	77.1	256
70	0.127	0.424	12.6	42.6	0.940	3.15	30.0	100	11.9	39.6	81.1	269
75	0.147	0.491	13.8	46.4	1.17	3.92	33.5	111	13.0	43.4	84.5	281
80	0.171	0.568	14.7	49.2	1.39	4.63	36.7	122	13.9	46.4	87.7	291
85	0.197	0.655	15.3	51.4	1.58	5.25	39.7	132	14.7	48.7	90.2	300
90	0.225	0.749	15.9	53.3	1.73	5.77	42.4	141	15.2	50.6	92.3	307
95	0.253	0.841	16.5	55.2	1.87	6.23	44.9	149	15.7	52.2	94.4	313
100	0.276	0.919	17.0	57.1	2.02	6.72	47.3	157	16.2	53.8	95.9	318
105	0.292	0.971	17.7	59.1	2.20	7.33	49.6	165	16.7	55.6	98.3	327
110	0.300	1.00	18.3	61.0	2.42	8.06	51.9	172	17.3	57.4	100	333
115	0.303	1.01	18.8	62.8	2.68	8.91	54.0	179	17.9	59.4	101	335
120	0.304	1.02	19.3	64.3	2.96	9.84	56.1	186	18.4	61.3	103	342
125	0.306	1.02	19.7	65.6	3.24	10.8	58.1	193	19.0	63.0	105	350
130	0.310	1.04	20.1	66.8	3.51	11.7	60.0	199	19.5	64.7	107	356
135	0.316	1.06	20.4	67.8	3.76	12.5	61.8	205	19.9	66.1	110	365
140	0.324	1.09	20.7	68.8	4.01	13.3	63.7	212	20.3	67.6	112	372
145	0.334	1.13	21.0	69.9	4.28	14.2	65.6	218	20.8	69.0	113	377
150	0.345	1.18	21.4	71.0	4.61	15.3	67.3	224	21.2	70.5	115	382

この数値は、NCRP Report No. 147 (2004) に基づく。

なお、コンクリートの密度は、2.35 g/cm³である。

表 1 0 空気カーマから実効線量への換算係数 (E/K_a)

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 (1.433) 注4)
150	1.256 (1.433) 注4)
200	1.173 (1.433) 注4)

エックス線装置の管電圧 (kV) によるエックス線のエネルギーは、吸収又は散乱後のエックス線のスペクトルは、発生時のものと異なっているが、換算係数の選択に当たって、光子エネルギー (keV) = 管電圧 (kV) とし、対応する換算係数の値を用いるものとする。

なお、該当する値がない場合には、補間法により求めることができる。

注4) 管電圧が80キロボルトを超える場合には、換算係数の最大値1.433を用いること。

表2 鉛におけるエックス線の空気カーマ透過率
しゃへい厚

(mm)	管電圧(kV)														
	25	30	35	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
0.0	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
0.1	7.08E-05	2.94E-04	9.60E-04	6.75E-02	8.60E-02	1.07E-01	1.31E-01	1.55E-01	1.79E-01	2.03E-01	2.27E-01	2.51E-01	2.76E-01	3.01E-01	3.27E-01
0.2	3.01E-07	3.55E-06	2.86E-05	1.10E-02	1.72E-02	2.60E-02	3.76E-02	5.13E-02	6.65E-02	8.24E-02	9.85E-02	1.15E-01	1.31E-01	1.47E-01	1.63E-01
0.3	1.92E-09	6.48E-08	1.28E-06	2.54E-03	4.75E-03	8.47E-03	1.41E-02	2.18E-02	3.11E-02	4.15E-02	5.25E-02	6.37E-02	7.48E-02	8.53E-02	9.55E-02
0.4	1.33E-11	1.30E-09	6.37E-08	7.16E-04	1.56E-03	3.21E-03	6.08E-03	1.04E-02	1.62E-02	2.31E-02	3.09E-02	3.89E-02	4.69E-02	5.44E-02	6.12E-02
0.5	9.33E-14	2.66E-11	3.27E-09	2.27E-04	5.68E-04	1.33E-03	2.82E-03	5.34E-03	9.00E-03	1.37E-02	1.92E-02	2.52E-02	3.11E-02	3.66E-02	4.14E-02
0.6	6.59E-16	5.48E-13	1.70E-10	7.73E-05	2.21E-04	5.82E-04	1.38E-03	2.85E-03	5.19E-03	8.41E-03	1.24E-02	1.69E-02	2.14E-02	2.55E-02	2.91E-02
0.7	4.65E-18	1.13E-14	8.82E-12	2.78E-05	8.97E-05	2.65E-04	6.92E-04	1.57E-03	3.07E-03	5.29E-03	8.20E-03	1.16E-02	1.51E-02	1.83E-02	2.09E-02
0.8	3.29E-20	2.33E-16	4.59E-13	1.04E-05	3.76E-05	1.24E-04	3.55E-04	8.76E-04	1.84E-03	3.39E-03	5.51E-03	8.08E-03	1.08E-02	1.33E-02	1.54E-02
0.9	2.33E-22	4.82E-18	2.39E-14	3.97E-06	1.61E-05	5.87E-05	1.85E-04	4.96E-04	1.12E-03	2.19E-03	3.75E-03	5.71E-03	7.86E-03	9.85E-03	1.14E-02
1.0	1.64E-24	9.95E-20	1.24E-15	1.55E-06	7.02E-06	2.83E-05	9.77E-05	2.83E-04	6.89E-04	1.43E-03	2.57E-03	4.08E-03	5.77E-03	7.36E-03	8.60E-03
1.1	1.16E-26	2.05E-21	6.48E-17	6.14E-07	3.09E-06	1.37E-05	5.19E-05	1.63E-04	4.25E-04	9.39E-04	1.78E-03	2.93E-03	4.27E-03	5.54E-03	6.53E-03
1.2	8.22E-29	4.24E-23	3.38E-18	2.46E-07	1.38E-06	6.73E-06	2.77E-05	9.41E-05	2.64E-04	6.19E-04	1.23E-03	2.12E-03	3.17E-03	4.20E-03	5.00E-03
1.3	5.81E-31	8.76E-25	1.76E-19	9.93E-08	6.15E-07	3.31E-06	1.48E-05	5.45E-05	1.64E-04	4.09E-04	8.59E-04	1.54E-03	2.37E-03	3.20E-03	3.84E-03
1.4	4.11E-33	1.81E-26	9.16E-21	4.04E-08	2.77E-07	1.63E-06	7.98E-06	3.17E-05	1.02E-04	2.71E-04	6.00E-04	1.12E-03	1.78E-03	2.45E-03	2.97E-03
1.5	2.90E-35	3.74E-28	4.77E-22	1.65E-08	1.25E-07	8.08E-07	4.30E-06	1.84E-05	6.38E-05	1.80E-04	4.20E-04	8.15E-04	1.34E-03	1.88E-03	2.30E-03
1.6	2.05E-37	7.72E-30	2.48E-23	6.75E-09	5.66E-08	4.01E-07	2.32E-06	1.07E-05	3.99E-05	1.20E-04	2.94E-04	5.96E-04	1.01E-03	1.45E-03	1.79E-03
1.7	1.45E-39	1.59E-31	1.29E-24	2.78E-09	2.57E-08	1.99E-07	1.25E-06	6.27E-06	2.50E-05	7.98E-05	2.06E-04	4.36E-04	7.62E-04	1.11E-03	1.39E-03
1.8	1.03E-41	3.29E-33	6.74E-26	1.14E-09	1.17E-08	9.91E-08	6.77E-07	3.66E-06	1.56E-05	5.32E-05	1.45E-04	3.19E-04	5.77E-04	8.61E-04	1.09E-03
1.9	7.25E-44	6.80E-35	3.51E-27	4.72E-10	5.30E-09	4.93E-08	3.66E-07	2.13E-06	9.79E-06	3.55E-05	1.02E-04	2.34E-04	4.37E-04	6.66E-04	8.53E-04
2.0	5.13E-46	1.40E-36	1.83E-28	1.95E-10	2.41E-09	2.46E-08	1.98E-07	1.25E-06	6.13E-06	2.36E-05	7.16E-05	1.72E-04	3.31E-04	5.16E-04	6.68E-04
2.1	3.62E-48	2.90E-38	9.52E-30	8.05E-11	1.10E-09	1.22E-08	1.07E-07	7.28E-07	3.84E-06	1.58E-05	5.04E-05	1.26E-04	2.51E-04	4.00E-04	5.24E-04
2.2	2.56E-50	5.99E-40	4.96E-31	3.33E-11	5.01E-10	6.10E-09	5.80E-08	4.25E-07	2.41E-06	1.05E-05	3.55E-05	9.28E-05	1.91E-04	3.10E-04	4.12E-04
2.3	1.81E-52	1.24E-41	2.58E-32	1.38E-11	2.29E-10	3.04E-09	3.14E-08	2.49E-07	1.51E-06	7.02E-06	2.50E-05	6.82E-05	1.45E-04	2.41E-04	3.24E-04
2.4	1.28E-54	2.55E-43	1.34E-33	5.71E-12	1.04E-10	1.52E-09	1.70E-08	1.45E-07	9.47E-07	4.69E-06	1.76E-05	5.01E-05	1.10E-04	1.87E-04	2.55E-04
2.5	9.05E-57	5.27E-45	7.00E-35	2.37E-12	4.76E-11	7.57E-10	9.21E-09	8.49E-08	5.94E-07	3.13E-06	1.24E-05	3.68E-05	8.36E-05	1.45E-04	2.00E-04
2.6	6.40E-59	1.09E-46	3.65E-36	9.80E-13	2.17E-11	3.78E-10	4.99E-09	4.96E-08	3.72E-07	2.09E-06	8.71E-06	2.71E-05	6.35E-05	1.13E-04	1.58E-04
2.7	4.52E-61	2.25E-48	1.90E-37	4.06E-13	9.91E-12	1.88E-10	2.70E-09	2.90E-08	2.33E-07	1.39E-06	6.14E-06	1.99E-05	4.83E-05	8.79E-05	1.24E-04
2.8	3.20E-63	4.64E-50	9.89E-39	1.68E-13	4.53E-12	9.40E-11	1.46E-09	1.70E-08	1.46E-07	9.30E-07	4.32E-06	1.47E-05	3.67E-05	6.84E-05	9.79E-05
2.9	2.26E-65	9.59E-52	5.15E-40	6.98E-14	2.07E-12	4.69E-11	7.93E-10	9.91E-09	9.18E-08	6.21E-07	3.04E-06	1.08E-05	2.79E-05	5.32E-05	7.72E-05
3.0	1.60E-67	1.98E-53	2.68E-41	2.89E-14	2.89E-14	9.43E-13	2.34E-11	4.30E-10	5.79E-09	4.15E-07	2.14E-06	7.93E-06	2.13E-05	4.14E-05	6.09E-05
3.5	2.82E-78	7.43E-62	1.03E-47	3.55E-16	1.87E-14	7.24E-13	2.00E-11	3.95E-10	5.58E-09	5.50E-08	3.72E-07	1.71E-06	5.42E-06	1.18E-05	1.86E-05
4.0	4.98E-89	2.79E-70	3.94E-54	4.35E-18	3.72E-16	2.24E-14	9.35E-13	2.70E-11	5.42E-10	7.30E-09	6.44E-08	3.69E-07	1.38E-06	3.39E-06	5.69E-06