

(4) 遮へい体による透過率 $<D_t>$

各定格管電圧ごとの鉛、普通コンクリートによる透過率

NCRP REPORT No.49 fig.1,より読みとった。

表6 鉛中におけるX線の空気カーマ透過率

鉛厚(mm)	定格管電圧(kVp)					
	50	70	100	125	150	200
0	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
0.1	2.7E-02	5.3E-02	2.1E-01	2.7E-01	2.4E-01	7.1E-01
0.2	2.9E-03	1.5E-02	7.6E-02	1.4E-01	1.4E-01	5.0E-01
0.3	7.1E-04	6.1E-03	4.1E-02	8.5E-02	8.6E-02	3.6E-01
0.4	1.9E-04	2.8E-03	2.6E-02	5.5E-02	5.6E-02	2.5E-01
0.5	5.3E-05	1.4E-03	1.7E-02	3.7E-02	3.7E-02	1.8E-01
0.6	1.4E-05	7.8E-04	1.2E-02	2.6E-02	2.6E-02	1.3E-01
0.7	3.9E-06	4.6E-04	8.5E-03	1.9E-02	1.9E-02	9.5E-02
0.8	1.1E-06	2.8E-04	6.2E-03	1.4E-02	1.4E-02	6.9E-02
0.9	2.9E-07	1.7E-04	4.5E-03	1.0E-02	1.0E-02	5.0E-02
1	7.9E-08	1.1E-04	3.4E-03	7.5E-03	7.8E-03	3.7E-02
1.2	5.9E-09	4.3E-05	1.9E-03	4.4E-03	4.6E-03	2.1E-02
1.4		1.8E-05	1.1E-03	2.6E-03	2.8E-03	1.2E-02
1.5		1.1E-05	8.1E-04	2.0E-03	2.2E-03	9.3E-03
1.6		7.1E-06	6.2E-04	1.5E-03	1.7E-03	7.2E-03
1.8		2.9E-06	3.5E-04	9.3E-04	1.1E-03	4.5E-03
2		1.2E-06	2.0E-04	5.6E-04	6.5E-04	2.9E-03
2.2		4.7E-07	1.2E-04	3.4E-04	4.0E-04	1.9E-03
2.4		1.9E-07	6.7E-05	2.1E-04	2.5E-04	1.3E-03
2.6		7.7E-08	3.8E-05	1.3E-04	1.5E-04	9.0E-04
2.8		3.1E-08	2.2E-05	7.6E-05	9.6E-05	6.3E-04
3		1.3E-08	1.3E-05	4.6E-05	5.9E-05	4.4E-04
3.2		5.1E-09	7.3E-06	2.8E-05	3.7E-05	3.1E-04
3.4		2.1E-09	4.2E-06	1.7E-05	2.3E-05	2.2E-04
3.6			2.4E-06	1.0E-05	1.4E-05	1.6E-04
3.8			1.4E-06	6.2E-06	8.7E-06	1.1E-04
4			8.0E-07	3.7E-06	5.4E-06	8.2E-05

表7 コンクリート中におけるX線の透過率

コンクリート厚 (cm)	定格管電圧					
	50	70	100	125	150	200
0	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
1	4.6E-02	2.5E-01	2.5E-01	5.0E-01	5.7E-01	6.9E-01
2	6.0E-03	9.2E-02	1.5E-01	2.9E-01	3.5E-01	4.8E-01
3	1.2E-03	3.9E-02	9.6E-02	1.8E-01	2.2E-01	3.4E-01
4	3.0E-04	1.8E-02	6.3E-02	1.1E-01	1.4E-01	2.4E-01
5	7.5E-05	9.2E-03	4.1E-02	7.5E-02	9.7E-02	1.7E-01
6	1.9E-05	4.7E-03	2.7E-02	5.0E-02	6.7E-02	1.2E-01
7	5.0E-06	2.5E-03	1.8E-02	3.4E-02	4.7E-02	9.0E-02
8	1.3E-06	1.3E-03	1.2E-02	2.4E-02	3.4E-02	6.7E-02
9	3.3E-07	7.2E-04	7.7E-03	1.6E-02	2.4E-02	4.9E-02
10	8.5E-08	3.9E-04	5.1E-03	1.1E-02	1.8E-02	3.7E-02
12	5.6E-09	1.1E-04	2.2E-03	5.5E-03	9.3E-03	2.1E-02
14	3.7E-10	3.3E-05	9.5E-04	2.7E-03	5.0E-03	1.2E-02
16	2.5E-11	9.7E-06	4.1E-04	1.4E-03	2.7E-03	7.0E-03
18	1.7E-12	2.8E-06	1.8E-04	6.8E-04	1.4E-03	4.1E-03
20	1.1E-13	8.4E-07	7.7E-05	3.4E-04	7.8E-04	2.4E-03
22			3.3E-05	1.7E-04	4.2E-04	1.4E-03
24			1.4E-05	8.5E-05	2.3E-04	8.4E-04
26			6.2E-06	4.3E-05	1.2E-04	5.0E-04
28			2.7E-06	2.1E-05	6.6E-05	3.0E-04
30			1.2E-06	1.1E-05	3.6E-05	1.8E-04
32				5.3E-06	1.9E-05	1.0E-04
34				2.7E-06	1.0E-05	6.2E-05
36				1.3E-06	5.6E-06	3.7E-05
38				6.7E-07	3.0E-06	2.2E-05
40				3.4E-07	1.6E-06	1.3E-05

ここに示したデータはコンクリートの密度が $2.35 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ の値であるので、実際に施工するコンクリートの密度にあわせて補正する必要がある。

(5) 3月間の実効稼働負荷 $\langle W \rangle$

診療の状況を考慮し、3月間実効稼働負荷を定める。

単位は $(\text{mA} \cdot \text{s}) / 3\text{月間}$ である。

ただし、X線診療室の設計に当たっては3月間最低実効稼働負荷を参考面壁等の遮へいを考慮する。

表8 各装置の3月間最低実効稼働負荷

装置の種類等	3月間最低実効稼働負荷 (mA・s)
一般撮影・透視	3×10^4
CT装置	2×10^6
血管撮影	6×10^4
歯科撮影	6×10^3

(6) 照射野 400cm^2 の組織類似ファントムから 1m の距離の空気カーマ率の100分率 $\langle a \rangle$

表9 照射野 400cm^2 の組織類似ファントムから 1m の距離の空気カーマ率の100分率 $\langle a \rangle$

定格管電圧

	50kV	70kV	100kV	125kV	150kV	200kV
90度	0.035	0.05	0.13	0.15	0.16	0.19

NCRP REPORT No.49 Table B.2 より抜粋

(7) 照射野の大きさ $\langle F \rangle$

各装置の使用実態にあった照射野 (cm^2) を用いる

(8) X線装置からの漏えい線量 $\langle X_L \rangle$

機器から 1m 離れた地点での漏えい空気カーマ率である。

医療法施行規則第30条に示されている値を基に計算するのが合理的である。

機器メーカーからの機器構造に関する資料、漏えい線量に関する資料や他の施設での実測値などで表に示した値以外の値が示されている場合はそれを用いてもよい

表10 X線装置からの漏えい線量

機器の種類	空気カーマ率 (mGy/h)
治療用X線装置 ($\leq 50\text{kV}$)	1.0
治療用X線装置 ($> 50\text{kV}$)	(接触可能表面から 5cm)
口内撮影用X線装置 ($\leq 125\text{kV}$)	1.0
上記以外の診療用X線装置	0.25
	1.0

空気カーマから実効線量への換算係数 $\langle E/K_a \rangle$ の値は表4よりそのX線エネルギーを考慮して最大となる換算係数を選択する。

参考までに一般撮影用X線装置についての換算係数を掛け合わせた実効線量率を示す。

表 1 1 一般撮影用 X 線装置からの漏えい線量率

定格管電圧 (kV)	実効線量率 (mSv/h)
40	0.788
50	1.106
60	1.308
70	1.407
80	1.433
100	1.433
150	1.433
200	1.433

(8) 十分減衰した後の半価層 $t_{1/2}$ および 1/10 価層 $t_{1/10}$ 各遮へい体の半価層を示す。

表 1 2 十分減衰した後の半価層 $t_{1/2}$ および 1/10 価層 $t_{1/10}$

遮へい体 管電圧 (kV)	鉛 (mm)		普通コンクリート (cm)	
	半価層	1/10 価層	半価層	1/10 価層
50	0.06	0.17	0.43	1.5
70	0.17	0.52	0.84	2.8
100	0.27	0.88	1.6	5.3
125	0.28	0.93	2.0	6.6
150	0.30	0.99	2.24	7.4
200	0.52	1.7	2.5	8.4

該当する値がないときは、内挿法により求める。

鉛の半価層は NCRP REPORT No.49 による。

(10) 使用係数 U

使用係数 U は 1 とする。

(11) 居住係数 T

居住係数 T は 1 を原則とする。

計算評価点が廊下、X線装置操作室、病室などとなり、その居住状況は様々であるため、合理的な理由があれば 1 以外の値を用いることができる。

3. 計算例

次の図に示す室において透視用 X 線装置を用いて次の条件で使用する時の管理区域における 3 月間での線量当量の計算例

($d_1 = 2\text{m}$ 、 $d_2 = d_4 = 1.5\text{m}$ 、 $d_3 = 1\text{m}$ とした場合)

1 人当たりの照射条件を次の様に設定する。

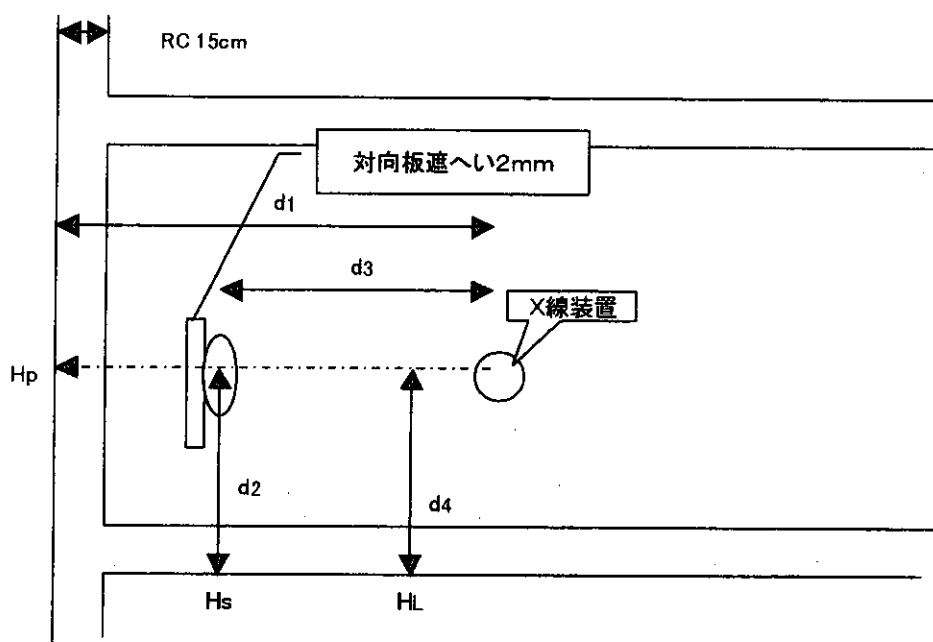
透視条件 100kV 0.5mA 5分/人

撮影条件 100kV 10mA・s/1撮影 10回撮影/人

3 月間実効稼働負荷は、

透視条件 100kV 1.2E05 (mA・s)

撮影条件 100kV 7.8E04 (mA・s) となる。



(1) 利用線錐方向の画壁等

式(1)を用いて計算するのが基本であるが、複合遮へいであるので、式(5)を用いる。

$$\dot{X} \times (E/K_a) = 158 \text{ (}\mu\text{Sv / (mA} \cdot \text{s))}$$

$$D_t \text{ (鉛)} = 2.0 \times 10^{-4}$$

$$D_t \text{ (コンクリート)} = 1.5 \times 10^{-3}$$

$$W = 2.0 \times 10^5 \text{ (透視、撮影条件の実効稼働負荷をたしあわせて繰り上げた)}$$

$$U = 1$$

$$T = 1$$

$$d_1 = 2 \text{ (m)}$$

$$\text{式(5)に代入すると、} H_p = 2.4 \text{ (}\mu\text{Sv / 3月間)}$$

(2) 散乱線による寄与

式(2)を用いて計算する。

$$\dot{X} \times (E/K_a) = 158 \text{ (}\mu\text{Sv / (mA} \cdot \text{s))}$$

$$D_t \text{ (コンクリート)} = 6.8 \times 10^{-4}$$

$$W = 2.0 \times 10^5 \text{ (透視、撮影条件の実効稼働負荷をたしあわせて繰り上げた)}$$

$$a = 760 \text{ (cm}^2\text{) 四つ切りの大きさ}$$

$$F = 0.0013$$

$$d_2 = 1.5 \text{ (m)}$$

$$d_3 = 1.0 \text{ (m)}$$

$$U = 1$$

$$T = 1$$

$$\text{式(2)に代入数とすると、} H_s = 24 \text{ (}\mu\text{Sv / 3月間)}$$

(3) X線管容器からの漏えい線量による寄与

式(3)を用いて計算する

$$\dot{X}_L \times (E/K_a) = 1433 (\mu\text{Sv/h})$$

$t = 15 \text{ cm}$ であるので、コンクリートの透過率 $= 1.5 \times 10^{-3}$

定格電流が 100 mA であるので、 $t_w = 2.0 \times 10^5 / 100 = 2000 \text{ (s)} = 0.56 \text{ (h)}$

$$U = 1$$

$$T = 1$$

$$d_4 = 1.5 \text{ (m)}$$

式(3)に代入すると、 $H_L = 0.6 (\mu\text{Sv}/3\text{月間})$

散乱線による寄与とX線管容器からの漏えい線量による寄与を合算すると、 $25 (\mu\text{Sv}/3\text{月間})$ となる。なお、計算結果は切り上げてある。

D 結論

現在の漏えいエックス線線量の算定は、健政発第383号が用いられている。この算定法は、エックス線診療室等の一室一装置を前提に、線量限度を担保するに必要な遮へい体厚を求める方法である。近年エックス線装置の利用が高度化・多様化したことにより、他の装置や放射性医薬品に由来する放射線との複合的な算定評価が求められている。本研究においては、医療放射線の安全を確保するため、最近の放射線医療に対応する算定法の確立を目的としている。

この検討において、第一に遮へい体の厚さを求める算定から、漏えい線量の複合的算定を可能とする算定式に改めることを提案した。また、この算定法は、エックス線CT装置等の線量算定も可能にしている。第二点は、健政発第20号で示された一週間の使用延べ時間の480秒を見直して、エックス線の装置ごとに3月間の最低実稼働負荷量を $\text{mA}\cdot\text{s}$ をもって提案した。第三に、エックス線透過率と半価層及び $1/10$ 価層を線量算定に適用する原理を具体的に提示した。以上の検討結果は、医療機関における線量評価をより安易したこと、また、エックス線管球から発生するエックス線のエネルギー分布等を考慮していることから、医療機関における放射線の安全管理の徹底に大きく寄与するものと考えられる。

E 参考文献

- Archer, B. R., Fewell, T. R., Conway, B. J. & Quinn, P. W. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. *Med. Phys.* 21:1499-1507 (1994)
- Archer, B. R. & Thorny, J. I. Diagnostic x-ray shielding design on an empirical model of photon attenuation. *Health Phys.* 44: 507-517 (1983)
- International Commission on Radiological Protection. Protection against ionizing radiation from external sources used in medicine. Oxford. Pergamon Press; ICRP Publication 33; *Ann. ICRP*; 9:1-69 (1982)
- International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Oxford. Pergamon Press; ICRP Publication 74; *Ann. ICRP*; 26 No.3/4 (1996)
- National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for medical x-rays and gamma rays of energies up to 10 MeV. Bethesda, MD; NCRP; NCRP Report No. 49 (1976)

- National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical x-ray, electron beam and gamma-rays protection for energies up to 50 MeV. Bethesda, MD; NCRP; NCRP Report No. 102 (1989)
- Shimpkin, D. J. A general solution to the shielding of medical x and gamma rays by the NCRP Report No. 49 methods. Health Phys. 52: 431-436 (1987)
- Shimpkin, D. J. Shielding a spectrum of workloads in diagnostic radiology. Health Phys. 61: 259-261 (1991)
- Shimpkin, D. J. Transmission data for shielding diagnostic x-ray facilities. Health Phys. 68: 704-709 (1995)
- Shimpkin, D. j. & Dixon, R. L. Secondary shielding barriers for diagnostic x-ray facilities; Scatter and leakage revisited. Health Phys. 74: 350-365 (1998)
- Trout, E. D. & Kelly, J. P. Scattered radiation from a tissue-equivalent phantom for x-rays from 50 to 300 kVp. Radiology 104: 161-169 (1972)
- 医療放射線の届出と実際、厚生省放射線技師会編 平成9年3月初版発行

資料

報告書の参考となる資料

・ ICRP Publ. 33 D. X線診断 より

・ 医療法施行規則 第30条

・ 鉛当量の標準値について

対向板遮へい、周囲の遮へいの適正さについて

・ 照射野 400cm^2 の組織類似ファントムから 1m の距離の空気カーマ率の 100 分率 $< a$
>

・ 大幅に減衰した X 線の広いビームの半価層、 $1/10$ 価層

・ 最低実効稼働負荷と健政発第 20 号で示されている最低使用時間との関連

・ シンプキンが提案する遮へい計算方法について

・ 内挿法について

・ ICRP Publ. 33 D. X線診断 より

蛍光板または蛍光増倍管による透視法

(96) 透視用蛍光板は、次の鉛当量以上の防護ガラスで覆われていなければならない。:

最高管電圧 70 kV以下の装置 1.5 mm

最高管電圧 70 kVを超え 100kV以下の装置 2.0 mm

100 kVを超える場合 kVあたり 0.01 mmを追加

(102) 患者からの散乱線、および線源と患者との間にある散乱体からの散乱線に対して透視者とその助手を防護するために十分な手段を、透視台とスタンドのすべてに講じなければならない。“ブッキー間隙”のようなすき間を覆うため、0.5 mmを下回らない鉛当量の遮蔽を設けなければならない。触診が楽にできるように、ふちが重ね合わせになっている“エプロン”または“垂れ布”で透視者を防護しなければならない。エプロンは、その鉛当量が0.5 mmを下回らず、操作者を防護するのに十分な大きさをもっていなければならない。エプロンは、蛍光板ホルダーが垂直のときはその下縁に、蛍光板が水平のときは操作者にもっとも近い縁にとりつけるべきである。

(103) すべての型の透視検査の間、補助者はできるかぎり防護スクリーンか遮へい体の後ろにいないなければならない。もしこれができなければ、少なくとも 0.25mm 鉛当量の防護エプロンを着用しなければならない。

(104) どのような透視検査でも、手を利用線錐の中または近くに置く可能性があるときには、0.25mm 鉛当量以上の防護用手袋または防護用袖を着用すべきである。その手袋または袖をつけるさいには、手の甲、掌、指、手首のすべてを覆っていなければならない。たとえ防護手袋を着用していても、患者によって減衰されていないかぎり、線錐の中に手を置くべきでない。蛍光増倍管が撮影台の下、X線管が上にある装置を使って透視を行うときには、触診は機械装置のみによって行わなければならない。

(105) 透視のさいに患者の入射面で測られる空気カーマ率は、実施しうるかぎり小さくすべきであり、毎分 50mGy を超えないようにすべきである。もしも、特別の理由のために毎分 50mGy を超える高い線量率が使われるときには、透視者にこの高線量率についてはっきりと知らせるべきである。

・ 医療法施行規則 第30条

X線装置は、次に掲げる障害防止の方法を講じたものでなければならない。

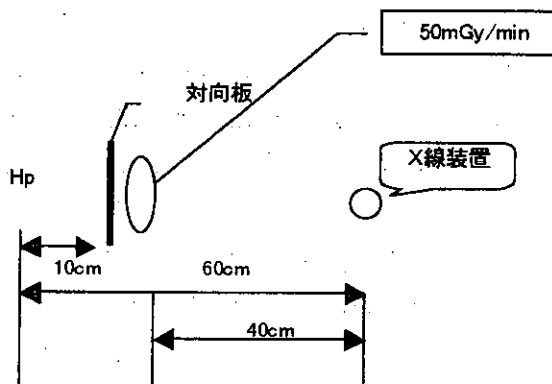
(1) X線管の容器及び照射筒は、利用線錐以外のX線の空気中の空気カーマが、定格管電圧が50 kV以下の治療用X線装置にあっては、X線装置の接触可能表面から5 cmの距離において、1.0 mGy/h以下、定格管電圧が50 kVを超える治療用X線装置にあっては、X線管焦点から1 mの距離において、1.0 mGy/h以下、かつX線装置の接触可能表面から5 cmの距離において、300 mGy・h以下、定格管電圧が125 kV以下の口内法撮影用X線装置にあっては、X線管焦点から1 mの距離において、0.25 mGy/h以下、その他のX線装置にあっては、X線管焦点から1 mの距離において、1.0 mGy/h以下になるようしゃへいすること。

コンデンサ式X線高電圧装置の充電状態において、照射時以外にX線源装置から漏れるX線の空気中の空気カーマは、接触可能表面から5 cmの距離において20 μ Gy/h以下のこと。

- (2) X線装置の総濾過は、定格管電圧が70 kV以下の口内法撮影用X線装置にあつてはAl当量1.5 mm以上、定格管電圧が50 kV以下の乳房撮影用X線装置にあつてはAl当量0.5 mm以上又はMo当量0.03 mm以上、血液X線照射装置及び治療用X線装置を除く上記以外のX線装置にあつてはAl当量2.5 mm以上のこと。
- 2 透視用X線装置は、前項に規定するもののほか、次に掲げる障害防止の方法を講じたものでなければならない。
- (1) 透視中の患者への入射線量は、患者の入射面の利用線錐の中心における空気中の空気カーマ率が、50 mGy/min以下になるようにすること。ただし、操作者の連続した手動操作のみで作動し、作動中連続した警告音等を発するようにした高線量率透視制御を備えた装置にあつては、125 mGy/min以下になるようにすること。
 - (2) 透視時のX線管焦点皮膚間距離が40 cm以上になるような構造とするか、規定値未満のX線管焦点皮膚間距離での透視X線照射を防止するインターロックを設けること。ただし、手術中に使用するX線装置のX線管焦点皮膚間距離については20 cm以上になるようにすること。
 - (3) 利用するX線管焦点受像器間距離において、受像面を超えないようにX線照射野を絞る機構を備えること。ただし、受像面が円形でX線照射野が矩形の場合にあつては、受像面に外接する大きさまでX線照射野を許容するものとする。
 - (4) 利用線錐中の蛍光板又はイメージインテンシファイア等の受像器を通過したX線の空気中の空気カーマが、利用線錐中の蛍光板又はイメージインテンシファイア等の受像器の接触可能表面から10 cmの距離で測定したとき、150 μ Gy/h以下になるようにすること。
 - (5) 透視時の最大照射野を超える3.0 cmの部分透過したX線の空気中の空気カーマが、当該部分の接触可能表面から10 cmの距離で測定したとき、150 μ Gy/h以下になるようにすること。
- また、被照射体の周囲には、利用線錐以外のX線を有効にしゃへいするための適当な手段を備えること。
- 3 撮影用X線装置（胸部集検用間接撮影X線装置を除く。）は、第1項に規定するもののほか、次に掲げる障害防止の方法を講じたものでなければならない。
- (1) 利用するX線管焦点受像器間距離において、受像面を超えないようにX線照射野を絞る機構を備えること。ただし、受像面が円形でX線照射野が矩形の場合にあつては、受像面に外接する大きさまでのX線照射野とし、口内法撮影用X線装置にあつては、照射筒の端における照射野の直径は6.0 cm以下になるようにすること。
 - (2) X線管焦点皮膚間距離は、定格管電圧が70 kV以下の口内法撮影用X線装置にあつては15 cm以上、定格管電圧が70 kVを超える口内法撮影用X線装置にあつては20 cm以上、歯科用パノラマ断層撮影装置にあつては15 cm以上、移動型及び携帯型X線装置にあつては20 cm以上、その他のX線装置にあつては45 cm以上のこと。ただし、拡大撮影を行う場合にあつてはこの限りでない。
 - (3) 移動型及び携帯型X線装置及び手術中に使用するX線装置にあつては、X線管焦点及び患者から2 m以上離れた位置でX線照射の操作が可能な構造のものとする。
- 4 胸部集検用間接撮影X線装置は、第1項に規定するもののほか、次に掲げる障害防止の方法を講じたものでなければならない。

- (1) 利用線錐が角錐型となり、かつ、利用するX線管焦点受像器間距離において、受像面を超えないようにX線照射野を絞る機構を備えること。
 - (2) 蛍光箱の一次防護しゃへい体は、装置の接触可能表面から10cmの距離における空気中の空気カーマが、1ばく射につき、1.0μGy以下になるようにしゃへいすること。
 - (3) 被照射体の周囲には、箱状のしゃへい物を設けることとし、そのしゃへい物から10cmの距離における空気中の空気カーマが、1ばく射につき1.0μGy以下になるようにすること。ただし、X線装置の操作その他の業務に従事する者が照射時に室外へ容易に退避できる場合にあつては、この限りではない。
- 5 治療用X線装置（近接照射治療装置を除く。）は、第1項に規定する障害防止の方法を講ずるほか、濾過板が引き抜かれたときインターロックが作動する濾過板保持装置を設けたものでなければならない。

鉛当量の標準値について



透視装置では上記の条件で、対向板から10cm離れた地点での空気カーマ H_p を計算する。

$$H_p = 50(mGy/min) \times D_t \times (40cm)^2 \div (60cm)^2$$

ここで、 D_t は対向板の透過率

以下の計算では、 H_p は $\mu Gy/h$ で表す。

定格管電圧	鉛当量	透過率	空気カーマ ($\mu Gy/h$)	150 $\mu Gy/h$ との比
70 kV	1.5mm	1.1E-6	1.4	0.01
100 kV	2.0mm	2.0E-4	266	1.77
150 kV	2.5mm	2E-4	266	1.77
200 kV	3.0mm	4.4E-4	532	3.55

ICRP Publ.33 に示されてるように、対向遮へいに患者によるX線の減弱を考慮に入れなければ、基準を満たすこととなる。

・画壁等の遮へいについて

画壁等の遮へいについては、鉛当量で 1.0mm、1.5mmの遮へいを施すこととなっているが、コンクリートで遮へいする場合の適正な値を示す。

半価層、1/10 価層を基に計算する。

本方法による計算

定格管電圧 (kV)	鉛の半価層 (mm)	鉛の 1/10 価層 (mm)	コンクリートの厚さ (鉛 1mm 当量) (cm)	
			半価層より	1/10 価層より
50	0.06	0.17	7.17	8.8
70	0.17	0.52	4.9	5.4
100	0.27	0.88	5.9	6.0
125	0.28	0.93	7.1	7.1
150	0.30	0.99	7.5	7.5
200	0.52	1.7	4.8	4.9

シンプキンらの方法による計算

定格管電圧 (kV)	鉛の半価層 (mm)	鉛の 1/10 価層 (mm)	コンクリートの厚さ (鉛 1mm 当量) (cm)	
			半価層より	1/10 価層より
50	0.07	0.23	9.14	9.48
70	0.13	0.42	9.69	10.1
100	0.28	0.92	6.07	6.21
125	0.31	1.02	7.04	6.43
150	0.34	1.18	6.29	6.02

以上より、鉛当量 1mmの遮へいは、コンクリート約10cm

鉛当量 1.5mmの遮へいは、コンクリート約15cm

となる。

・照射野 400cm² の組織類似ファントムから 1m の距離の空気カーマ率の 100 分率 <a>

NCRP REPORT No.49 Table B.2 より引用

管電圧 (kV)	照射方向中心からの散乱角					
	30	45	60	90	120	135
50	0.0005	0.0002	0.00025	0.00035	0.0008	0.0010
70	0.00065	0.00035	0.00035	0.0005	0.0010	0.0013
100	0.0015	0.0012	0.0012	0.0013	0.0020	0.0022
125	0.0018	0.0015	0.0015	0.0015	0.0023	0.0025
150	0.0020	0.0016	0.0016	0.0016	0.0024	0.0026
200	0.0024	0.0020	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028

被写体は様々な方向に散乱する。そのため、計算評価点ごとにくa>を求め計算する必要がある。

しかし、それは実用的ではないので90度方向の値を用いる

・大幅に減衰したX線の広いビームの半価層、1/10 価層

NCRP REPPORT No.49 Table.27 より引用

公称管電圧 (kV)	遮へい体の種類			
	鉛 (mm)		コンクリート (cm)	
	半価層	1/10 価層	半価層	1/10 価層
50	0.06	0.17	0.43	1.5
70	0.17	0.52	0.84	2.8
100	0.27	0.88	1.6	5.3
125	0.28	0.93	2.0	6.6
150	0.30	0.99	2.24	7.4
200	0.52	1.7	2.5	8.4

・最低実効稼働負荷と健政発第20号で示されている最低使用時間との関連

健政発第20号 (六) 線量当量の算定等では1週間あたりの延べ使用時間を480秒以上とすることとされている。

1回あたりの撮影は、0.05~0.2秒であるので、1週間当たり2400~9600枚の撮影を行うという前提で遮へい計算することとなる。

病院、診療所での使用状況が様々であるので、より実体に近いものが求められる。

使用時間ではなく、実効負荷<mA・sまたはmA・min>で表すのが適切である。

「診療放射線の届出と実際」医療領域の放射線しゃへい計算 厚生省放射線技師会編 厚生省健康制作局指導課監修 に掲載されている事例を整理すると、

装置の種類	管電圧 (kV)	管電流 (mA)	撮影時間 (s/1回)	回数 (回/週)	撮影時間 (s/週)	実効稼働負荷 (mA・分/週)	実効稼働負荷 (mA・s/3月)
2管球方式X 線装置及び骨 塩定量測定装 置	80	200	0.2	100	20	67	5.2E04
	80	200	0.2	400	80	267	2.1E05
	55	0.3	120	5	600	3	2.3E03
2管球方式X 線装置及び乳 房撮影装置	80	200	0.2	200	40	133	1.04E05
	80	200	0.1	200	20	67	5.2E04
	30	170	0.05	100	5	14.2	1.1E4
2管球方式X 線装置及び断 層撮影装置	120	100	0.1	100	10	17	1.3E04
	80	200	0.2	400	80	133	2.1E05
	100	80	1	120	120	160	1.2E05
撮影装置付き 泌尿器撮影装 置	100	0.5	300	5	1500	12.5	9.8E03
	80	200	0.2	125	25	83	6.5E04
診断用X線C T装置	120	200	1	1500	1500	5000	3.9E06

心血管造影装置でのシネ撮影	90	3	600	25	15000	750	5.9E05
	75	500	1.25	200	250	2083	1.6E06

3月間実効稼働負荷は1週間の実効稼働負荷を1.3倍した値である。

撮影条件により実効稼働負荷が異なるが、3月間について設定する事により、より実際の使用条件に近いものが設定できる。

・シンプキンらが提案する遮へい計算について

Health Phys.68(5):704-709;1995 Health Phys.74(3):350-365;1998 にシンプキンらはX線装置の遮へい計算に関して遮へいのデータや計算方法を提案している

一次X線の空気カーマ、透過率表、半価層、1/10 価層などが計算されている。

計算例

本方法による計算とシンプキンのデータに基づく計算の比較

透視用X線装置を用いて次の条件で1日10名、週6日間使用するときの管理区域を所定の週間線量当量率限度以下にするための計算例 ($d_1=2\text{m}$ 、 $d_2=1.5\text{m}$ 、 $d_3=1\text{m}$ とした場合)

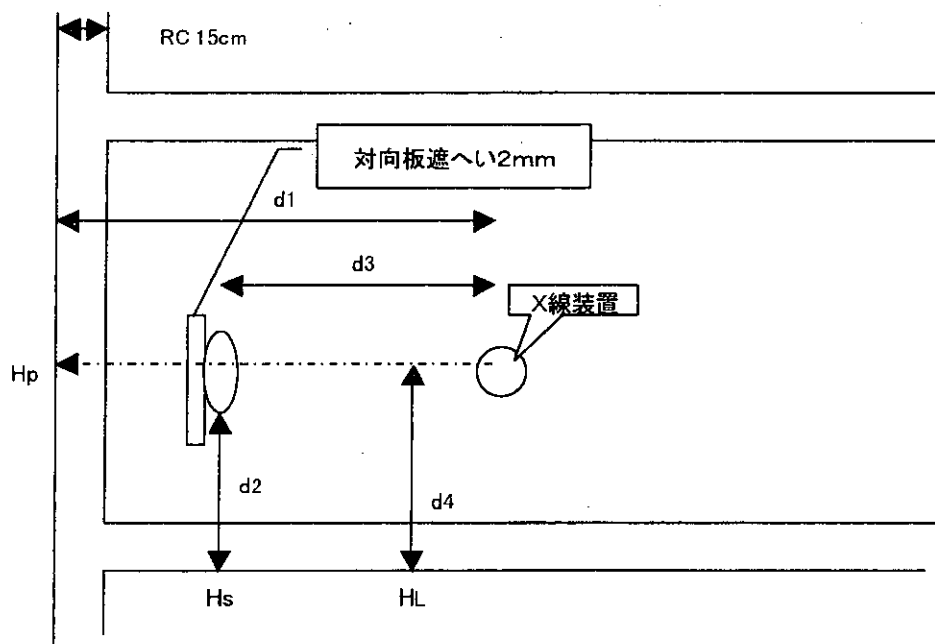
透視条件 100kV 0.5mA 5分/人

撮影条件 100kV 10mA・s/1撮影 10回撮影/人

これを3月間に変換すると

透視条件 100kV 1.2E05 (mA・s)

撮影条件 100kV 7.8E04 (mA・s)



(1) 利用線錐の方向の隔壁等

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

項目名	X × (E/K _a)	D _i (鉛)	D _i (コンクリート)	実効稼働負荷	H _p (μSv/3月)
本方法	158	2.0E-04	1.5E-03	2.0E05	2.4
シンプキン	109	5.2E-04	2.2E-03	2.0E05	6.2

コンクリートの透過率は半価層より計算した

(2) 散乱線による寄与

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

項目名	X × (E/K _a)	D _i (コンクリート)	a	F	実効稼働負荷	H _s (μSv/3月)
本方法	158	6.8E-04	1600	0.0013	2.0E05	50
シンプキン	109	2.1E-04	1600	0.0012	2.0E05	9.8

(3) X線管容器からの漏えい線量による寄与

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

ここで、d₄ = d₂とする

また、使用時間は、実効稼働負荷 <2.0E05(mA · s)>、定格電流 <100mA> であるので、2000(s) = 0.56 時間となる。

項目名	X × (E/K _a)	コンクリート遮へい	使用時間	H _L (μSv/3月)
本方法	1433	1.5E-03	0.56	0.6
シンプキン	1433	2.2E-03	0.56	0.7

散乱線とX線管球からの漏洩線量を合計すると

本方法 51μSv

シンプキン 11μSv

となる。

計算結果は切り上げてある。

・内挿法について

内挿を行うには、グラフに描く方法、補間法、関数近似により計算する方法がある。

1) グラフを描き、それにより目的とする値を読む方法

グラフ用紙を用意し、与えられたデータをプロットし、自在定規などでそれらの点をなめらかに結ぶ。

目的とするデータをグラフより読みとる。

透過率の表などは、片対数グラフを用いるとよい。

2) 補間法による計算

補間法は与えられた数個の点とその関数値から求めようとする点の関数値を計算するものである。あるいは、離散的な数値列から近似関数を求めることでもある。

補間法には次のようなものがある。ラグランジュの補間法、エルミートの補間法、ニュートンの補間法、スプライン関数による補間、アキマの方法、逐次補間法などがある。

3) 関数近似

関数近似はある一つの関数を別の関数で置き換えることあるいは離散的な数値から近似式を得ることなどに用いられている。

ある与えられたデータとこの近似値の差の2乗の総和を最小にする最小2乗法が用いられている。