

神奈川県放射線管理士部会
平成28年度 放射線管理講習会
(2016.10) 発表資料

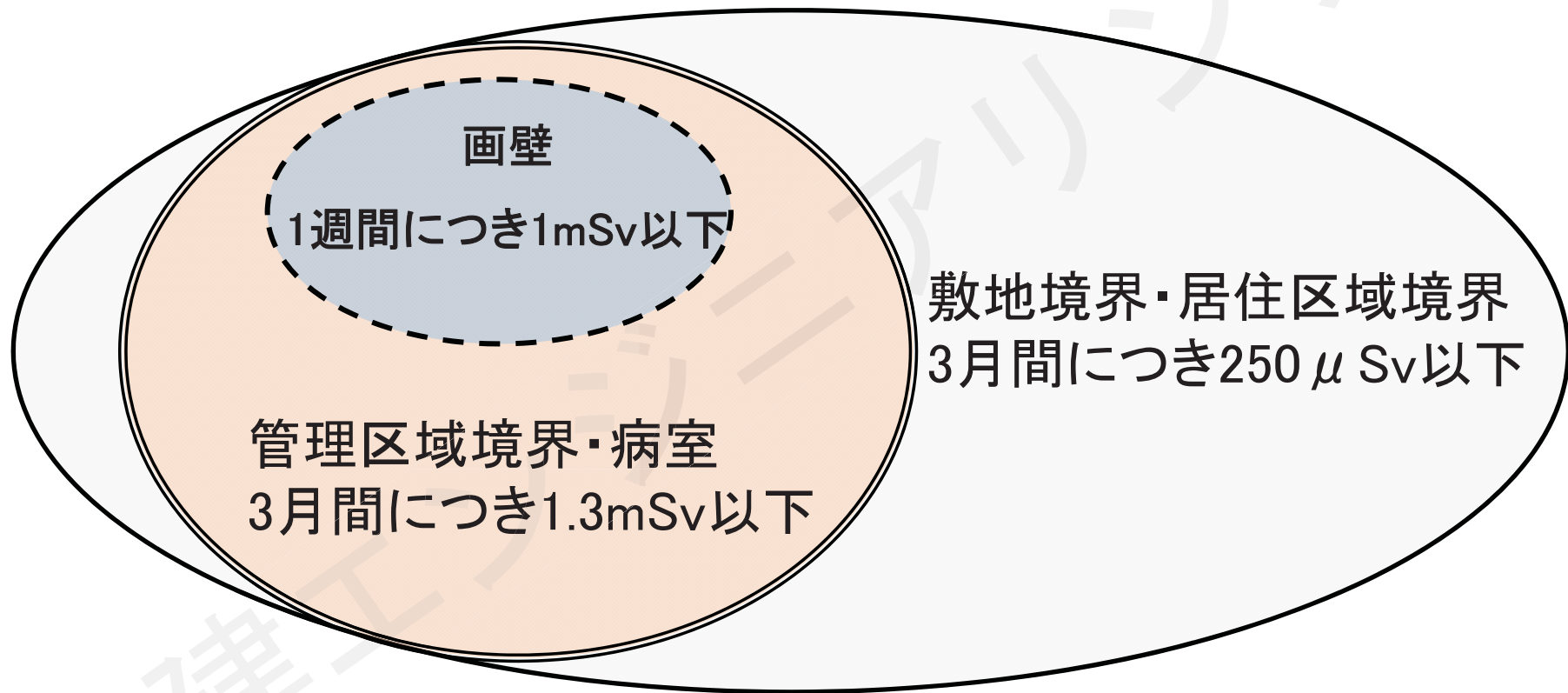
神奈川県放射線管理士部会
平成28年度 放射線管理講習会

しゃへい計算による エックス線診療室の放射線管理

医建エンジニアリング株式会社
リークテック営業部
細沼 宏安

エックス線診療室

医療法施行規則・電離放射線障害防止規則等



エックス線診療室はこれら線量限度を満たすことが必要

内容

I

しゃへい計算の考え方と使い方
～しゃへい計算例も含めて～

II

しゃへい計算結果の妥当性
～実測と計算の比較実験～

I

しゃへい計算の考え方と使い方 ～しゃへい計算例を含めて～

しゃへい計算

エックス線診療室の管理区域境界、病室、
敷地内居住区域及び敷地境界において、
理論計算により3月間当たりの漏えい実効線量
を求める手法

厚生労働省医薬局長通知『医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について』

医薬発第188号通知(平成13年3月12日)

厚生労働省医政局長通知『医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について』の一部改正について

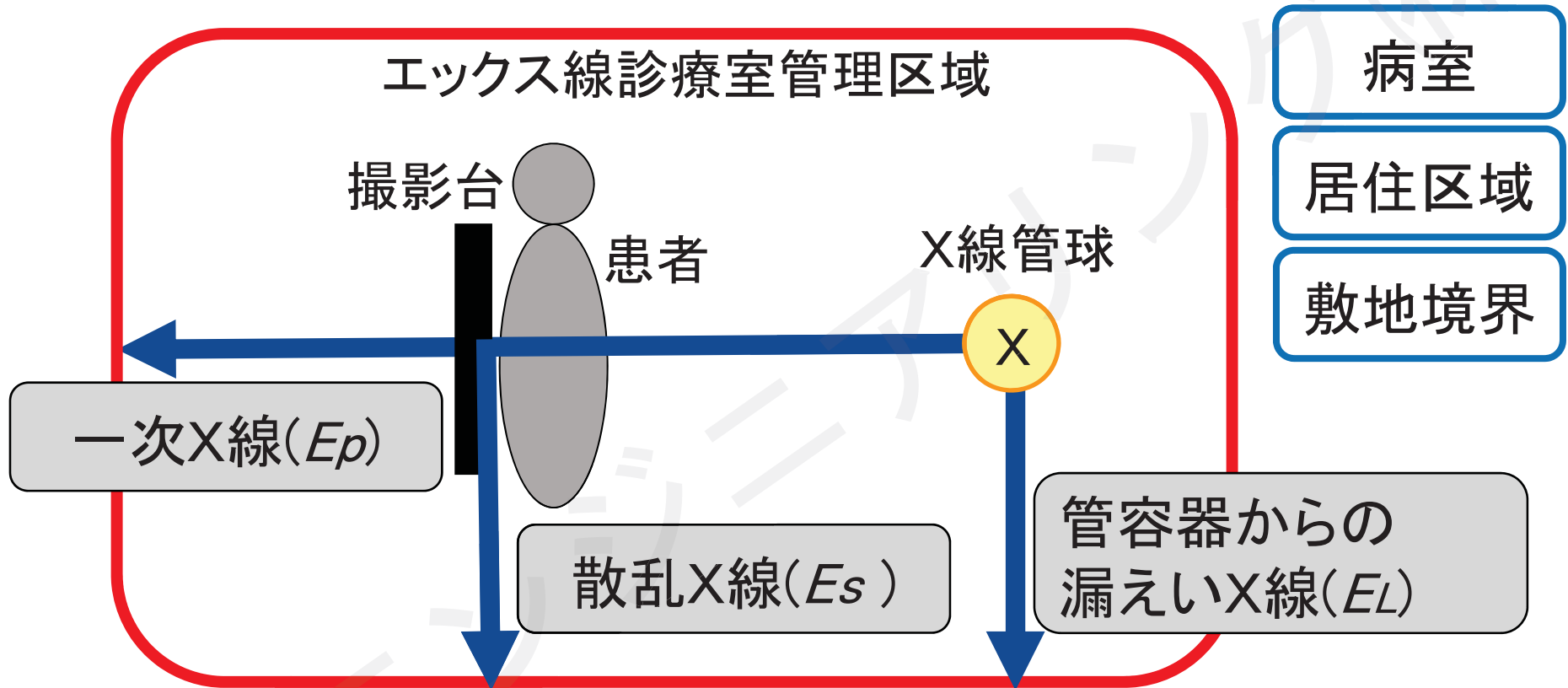
医政発0331第16号(平成26年3月31日)

しゃへい計算

しゃへい計算を用いて、

- エックス線診療室の設計段階で適切なしゃへい厚を求める。
- エックス線装置更新時に、既存のエックス線診療室のしゃへい厚で、規定される線量限度を担保できるか確認できる。
- 既存装置の稼働状況が変わった際に、エックス線診療室が、規定される線量限度を満たしているか確認できる。

しゃへい計算の考え方



各しゃへい計算点につき、一次X線(E_p)、散乱X線(E_s)、管容器からの漏えいX線(E_L)の合算線量で評価する

しゃへい計算

医薬発第188号通知の一部改正



医政発0331第16号(平成26年3月31日)

厚生労働省医政局長通知『医療法施行規則の一部を改正する省令の施行について』の一部改正について

しゃへい計算 通知改正のポイント

◎しゃへい計算に用いるパラメータのデータの更新

→鉛、コンクリート等しゃへい材の透過率データ等

◎実効稼働負荷(3月間あたりのmAs値)の下限値の削除

一般撮影⇒40,000mAs/3月

CT撮影 ⇒5,000,000mAs/3月

消化器系透視⇒300,000mAs/3月 等

しゃへい計算 通知改正のポイント

◎表現の明確化

例1) d2について

旧) 被写体からしゃへい壁の外側までの距離

新) 撮影天板面での利用線錐中心からしゃへい壁の外側までの距離

例2) 照射野の大きさについて

旧) 照射野の大きさ

新) 受像面における照射野の大きさ

しゃへい計算 通知改正のポイント

◎鉛、コンクリート以外のしゃへい材のデータも追加

旧) 鉛、コンクリートのみ

新) 鉛、コンクリート、鉄、石膏、ガラス、木材

しゃへい計算式(一次エックス線(E_p))

対向遮へい物がない場合

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

X:エックス線管焦点から利用線錐方向の1メートルにおける空気カーマ(mGy/mAs)

Dt:しゃへい体の厚さtにおける空気カーマ透過率

W:3月間における実効稼働負荷(mAs/3月間)

E/Ka:空気カーマから実効線量への換算係数

U:使用係数

T:居住係数

d1:エックス線管焦点から隔壁外側までの距離(m)

t:しゃへい体の厚さ

しゃへい計算式(一次エックス線(E_p))

対向遮へい物がある場合

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

X: エックス線管焦点から利用線錐方向の1メートルにおける空気カーマ(mGy/mAs)

Dt: しゃへい体の厚さtにおける空気カーマ透過率

W: 3月間における実効稼働負荷(mAs/3月間)

E/Ka: 空気カーマから実効線量への換算係数

U: 使用係数

T: 居住係数

d1: エックス線管焦点から隔壁外側までの距離(m)

t: しゃへい体の厚さ(mm)

t1/2: 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(mm)

しゃへい計算式(散乱エックス線(E_s))

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

X: エックス線管焦点から利用線錐方向の1メートルにおける空気カーマ(mGy/mAs)

Dt: しゃへい体の厚さtにおける空気カーマ透過率

W: 3月間における実効稼働負荷(mAs/3月間)

E/Ka: 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

d2: 撮影天板面での利用線錐中心からしゃへい壁外側までの距離(m)

d3: エックス線管焦点から撮影天板面までの距離(m)

a: 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メートルの距離における空気カーマ率のXに対する百分率

F: 受像面における照射野の大きさ(cm²)

しゃへい計算式(管容器からの漏えいエックス線(E_L))

$$E_L = \frac{X_L \times t_W \times W \times (E / K_a) \times U \times T}{d_4^2} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{t/t_{1/2}}$$

X_L : 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(μ Gy/h)

t_W : 3月間における稼働時間(h/3月間)

E/K_a : 空気カーマから実効線量への換算係数

U : 使用係数

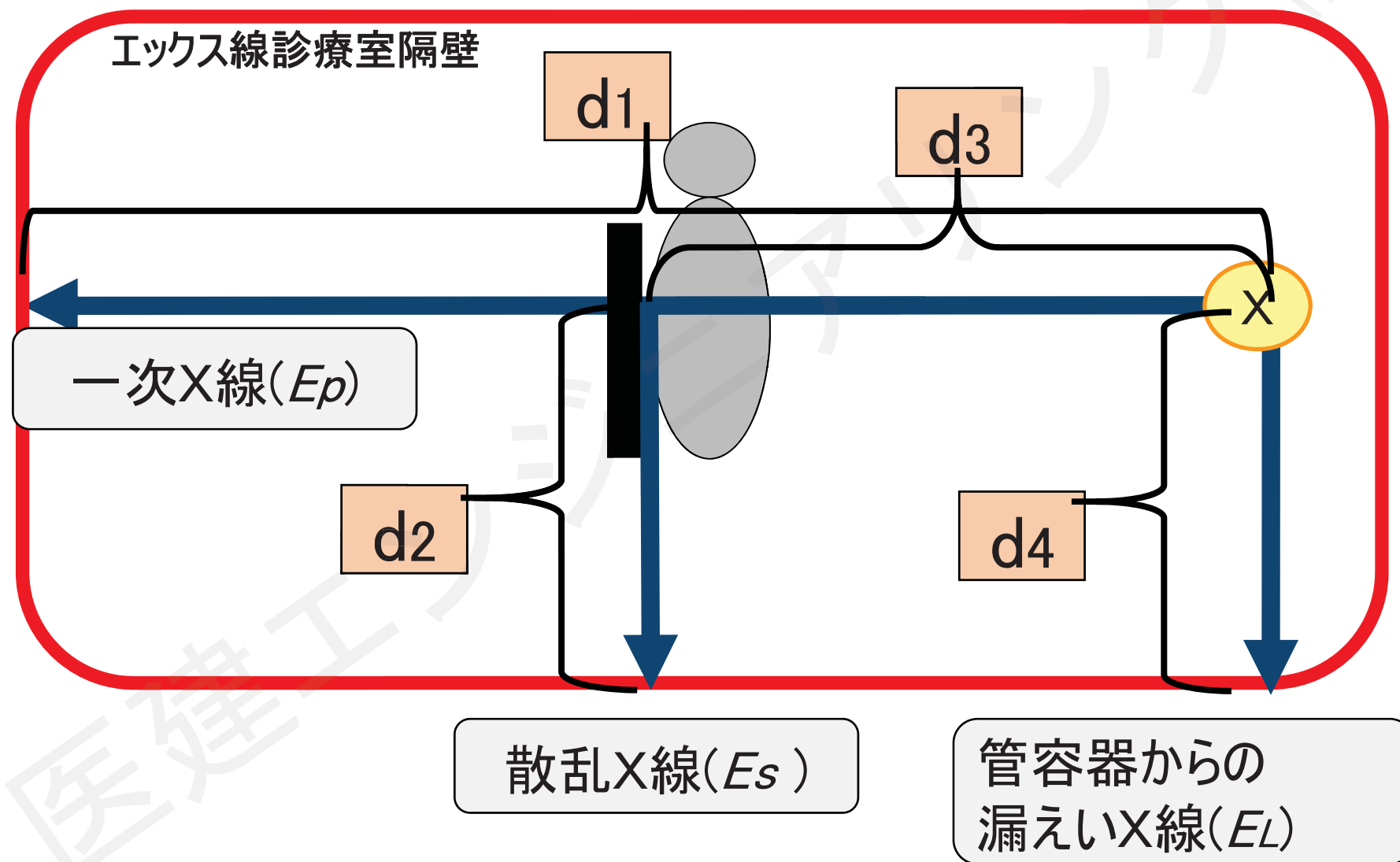
T : 居住係数

d_4 : エックス線装置のエックス線管焦点からしゃへい壁外側等の評価点までの距離(m)

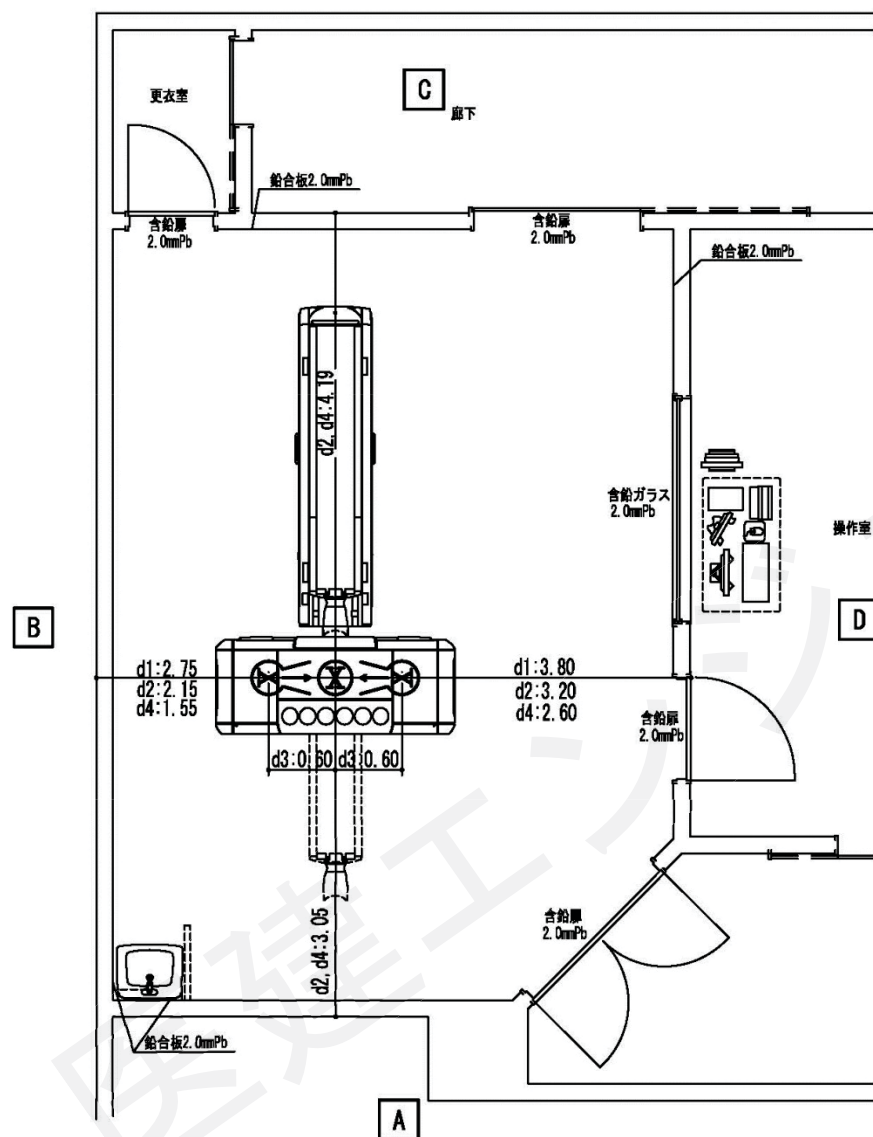
t : しゃへい体の厚さ(mm)

$t_{1/2}$: 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(mm)

しゃへい計算式に用いる距離について

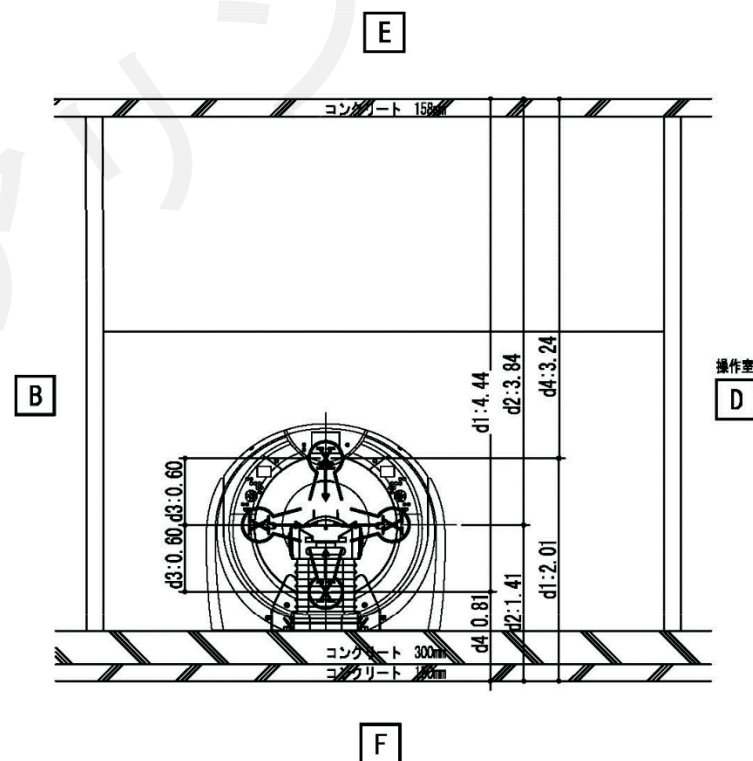


しゃへい計算例



平面图

壁面：鉛2.0mm
上階面：コンクリート158mm
床面：コンクリート450mm



断面図

例1) CT撮影装置のしゃへい計算(装置更新検討時)

部屋名 : 救急CT室
 装置 : CT撮影装置
 条件 : 120kV 300mA 0.5秒 26回転
 対向しゃへい物 : 2.4mmPb
 照射野 : 659cm²
 稼働日数 : 7日/週
 検査人数 : 40人/日
実効線量限度 1300 μ Sv/3月間

<壁面:A面>

防護/計算人数	40人/日	単位
鉛2.0mmPb	1789.21	μ Sv/3月間
鉛0.5mmPb + 鉛2.0mmPb	555.00	μ Sv/3月間

<壁面:B面>

防護/計算人数	40人/日	単位
鉛2.0mmPb	4615.78	μ Sv/3月間
鉛0.5mmPb + 鉛2.0mmPb	1440.78	μ Sv/3月間
鉛1.0mmPb + 鉛2.0mmPb	457.40	μ Sv/3月間

<壁面:C面>

防護/計算人数	40人/日	単位
鉛2.0mmPb	948.06	μ Sv/3月間

<壁面:D面>

防護/計算人数	40人/日	単位
鉛2.0mmPb	2146.27	μ Sv/3月間
鉛0.5mmPb + 鉛2.0mmPb	670.37	

<上面:E面>

防護/計算人数	40人/日	単位
コンクリート158mm	1818.53	μ Sv/3月間
鉛0.5mmPb + コンクリート158mm	531.43	μ Sv/3月間

<下面:F面>

防護/計算人数	40人/日	単位
コンクリート450mm	1.62	μ Sv/3月間

※赤文字は線量限度を超えています。

断面図



例2) X線TV装置のしゃへい計算(設計段階(施工予定しゃへい厚による))

エックス線診療室しゃへい計算表 (1)

施 設 名		B 病院
エ ッ ク ス 線 診 療 室 名		X線TV室
装 置 名		X線TV装置
撮 影 方 法		透視・撮影
透視条件	稼働日数 (日/週)	6
	透視人数 (人/日)	30
	管電圧 (kV)	90
	管電流 (mA)	2
	透視時間 (分/1人)	5
	1週間の延透視時間 (s/週)	54,000
撮影条件	稼働日数 (日/週)	6
	撮影人数 (人/日)	30
	管電圧 (kV)	90
	管電流 (mA)	200
	撮影時間 (秒/1回)	0.032
	撮影回数 (回/人)	20
	1週間の延撮影時間 (s/週)	115.2
その他の条件	X: 空気カーマ ($\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$)	62.1
	W: 3月間の実効稼働負荷 ($\text{mA}\cdot\text{s}/3\text{月間}$)	1,703,520
	(E/Ka): 換算係数 (Sv/Gy)	1.433
	U: 使用係数	1
	T: 居住係数	1
	a: 空気カーマの百分率	0.0018
	F: 照射野の大きさ (cm^2)	1,132
	XL: 管球からの線量 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	1,000
tw: 3月間の稼働時間 (h/3月間)		195.42

例2) X線TV装置のしゃへい計算(設計段階(施工予定しゃへい厚による))

エックス線診療室しゃへい計算表 (2)

集計 2-1

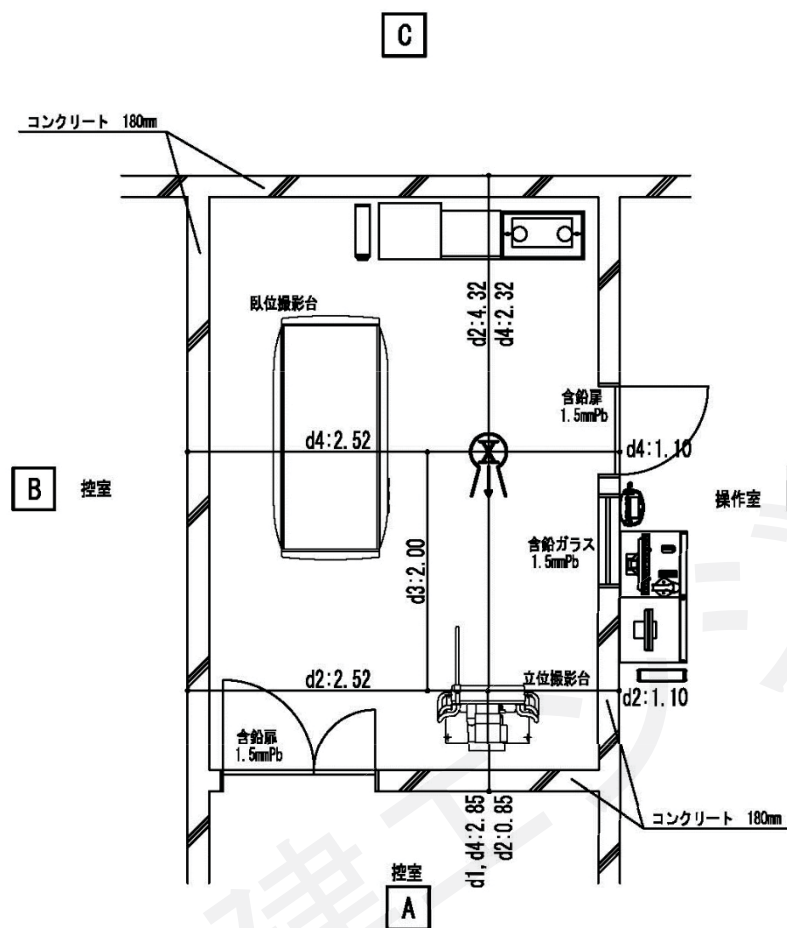
エックス線診療室名		X線TV室												
装 置 名		X線TV装置												
撮 影 方 法		透視・撮影												
評価方向	エックス線種別	対向しゃへい物		しゃへい壁等						計算方向までの距離				漏えい線量 (μ S v / 3月間)
		鉛:11.35 (g/cm ³)		鉛:11.35 (g/cm ³)			コンクリート:2.1 (g/cm ³)							
		(mm)	透過率	(mm)	透過率	半価層による透過率	(mm)	透過率	半価層による透過率	d 1 (m)	d 2 (m)	d 3 (m)	d 4 (m)	
A	一次線	2.2	9.28E-05	1.5		9.84E-03				5.00				5.54
	散乱線			1.5	8.15E-04						3.73	1.00		45.24
	管容器			1.5		9.84E-03							3.73	198.06
B	一次線													
	散乱線			1.5	8.15E-04						2.13	1.00		138.72
	管容器			1.5		9.84E-03							2.13	607.37
C	一次線													
	散乱線			1.5	8.15E-04						2.56	1.00		96.03
	管容器			1.5		9.84E-03							1.56	1132.30
D	一次線													
	散乱線			1.5	8.15E-04						2.41	1.00		108.36
	管容器			1.5		9.84E-03							2.45	459.07
E	一次線													
	散乱線						200	3.42E-05			2.80	1.00		3.37
	管容器						200		4.13E-04				2.14	25.25
F	一次線	2.2	9.28E-05				400		1.71E-07	2.26				0.0005
	散乱線						400	2.02E-08			1.26	1.00		0.01
	管容器						400		1.71E-07				1.60	0.02

例2) X線TV装置のしゃへい計算(設計段階(施工予定しゃへい厚による))

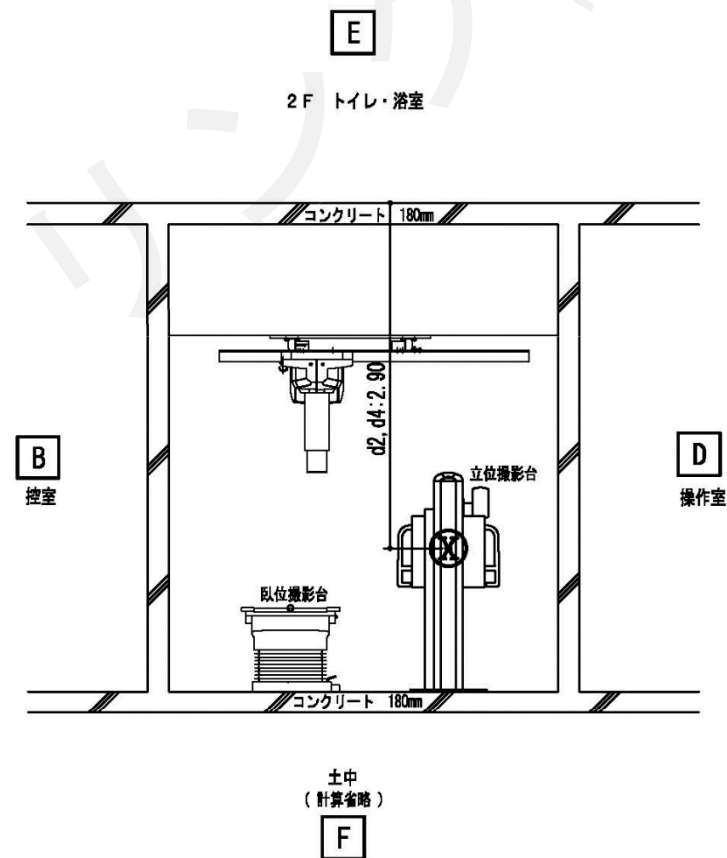
エックス線診療室しゃへい計算表 (3) 集計結果

エックス線 診療室名		X線TV室	漏えい線量 合 計	実効線量限度
装 置 名		X線TV装置		
撮 影 方 法		透視・撮影		
評価方向	エックス線 種別	漏えい線量 ($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)	($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)	($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)
A	一次線	5.54	248.84	1300
	散乱線	45.24		
	管容器	198.06		
B	一次線		746.09	1300
	散乱線	138.72		
	管容器	607.37		
C	一次線		1228.33	1300
	散乱線	96.03		
	管容器	1132.30		
D	一次線		567.43	1300
	散乱線	108.36		
	管容器	459.07		
E	一次線		28.62	1300
	散乱線	3.37		
	管容器	25.25		
F	一次線	0.0005	0.03	1300
	散乱線	0.01		
	管容器	0.02		

例3) 一般撮影装置のしゃへい計算(労基署提出用の事前しゃへい計算)



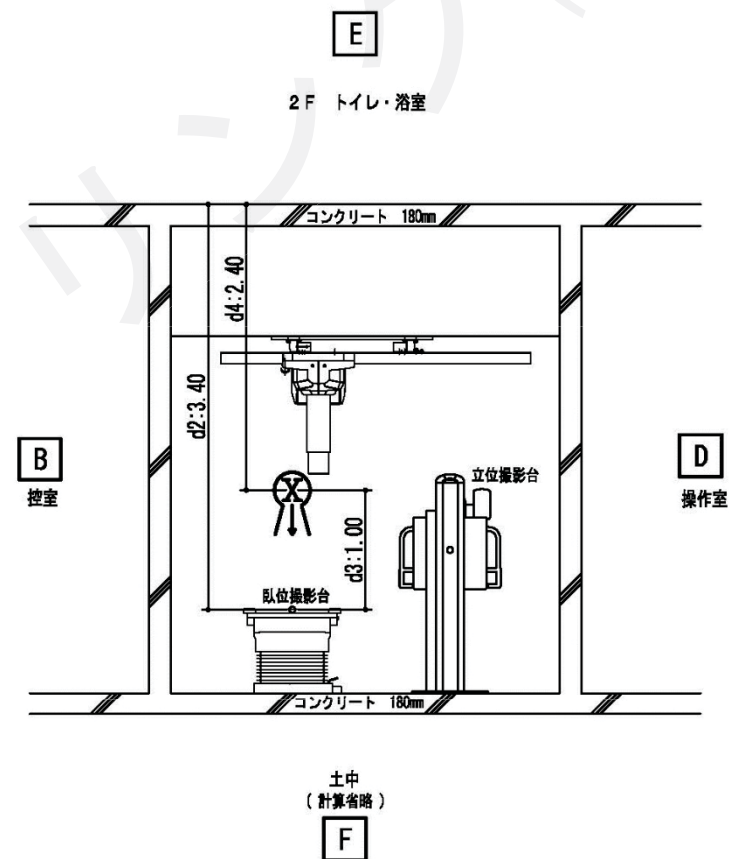
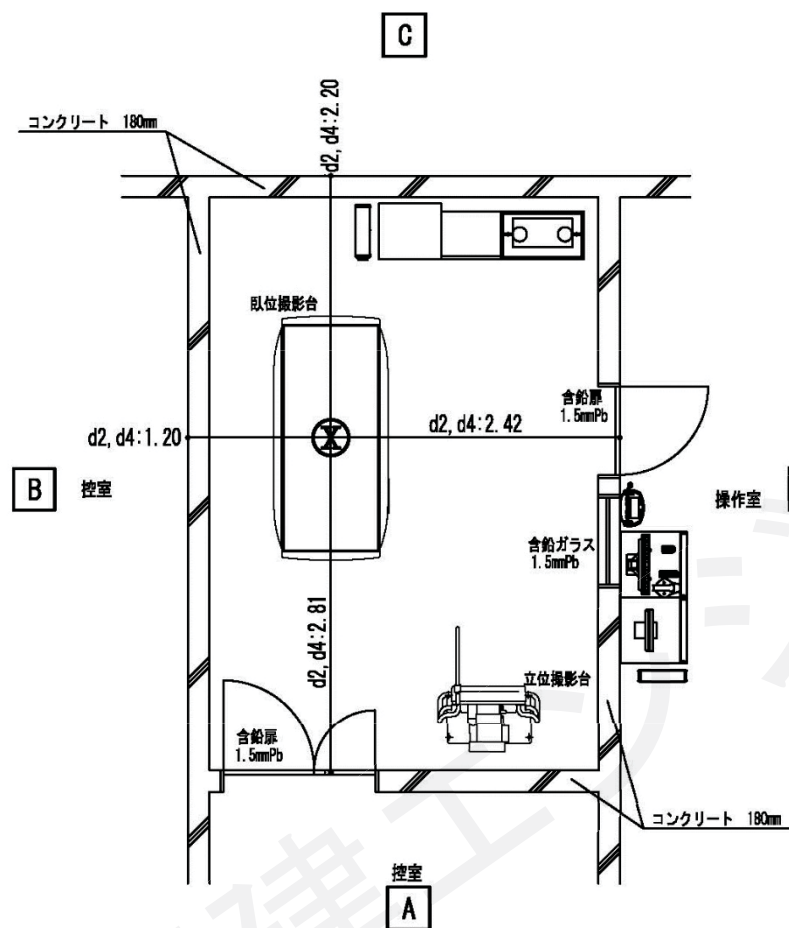
平面図



土中
(計算省略)

断面図

例3) 一般撮影装置のしゃへい計算(労基署提出用の事前しゃへい計算))



例3) 一般撮影装置のしゃへい計算(労基署提出用の事前しゃへい計算)

エックス線診療室しゃへい計算表(1)

施設名		C病院	
エックス線診療室名		一般撮影室	
装置名		一般撮影装置	一般撮影装置
撮影方法		立位撮影	臥位撮影
透視条件	稼動日数 (日/週)		
	透視人数 (人/日)		
	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	稼動日数 (日/週)	5	5
	撮影人数 (人/日)	120	30
	管電圧 (kV)	125	95
	管電流 (mA)	250	320
	撮影時間 (秒/1回)	0.02	0.04
	撮影回数 (回/人)	2	2
	1週間の延撮影時間 (s/週)	24	12
その他の条件	X: 空気カーマ ($\mu\text{Gy}/\text{mA}\cdot\text{s}$)	118.0	69.4
	W: 3月間の実効稼動負荷 ($\text{mA}\cdot\text{s}/3\text{月間}$)	78,000	49,920
	(E/Ka): 換算係数 (Sv/Gy)	1.433	1.433
	U: 使用係数	1	1
	T: 居住係数	1	1
	a: 空気カーマの百分率	0.0021	0.0019
	F: 照射野の大きさ (cm^2)	1,865	1,865
	XL: 管球からの線量 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	1,000	1,000
	t _w : 3月間の稼働時間 (h/3月間)	0.09	0.04

例3) 一般撮影装置のしゃへい計算(労基署提出用の事前しゃへい計算)

エックス線診療室しゃへい計算表(2)

集計 2-1

[illegible]

例3) 一般撮影装置のしゃへい計算(労基署提出用の事前しゃへい計算)

エックス線診療室しゃへい計算表(2)

集計 2-2

[illegible]

例3) 一般撮影装置のしゃへい計算(労基署提出用の事前しゃへい計算)

エックス線診療室しゃへい計算表(3) 集計結果

エックス線 診療室名		一般撮影室		漏えい線量 合 計	実効線量限度
装 置 名		一般撮影装置	一般撮影装置		
撮 影 方 法		立位撮影	臥位撮影		
評価方向	エックス線 種別	漏えい線量 ($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)	漏えい線量 ($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)	($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)	($\mu\text{Sv}/3\text{月間}$)
A	一次線	1212.98			1300
	散乱線	33.38	7.46	1254.00	
	管容器	0.06	0.12		
B	一次線				1300
	散乱線	3.80	3.05	6.97	
	管容器	0.07	0.05		
C	一次線				1300
	散乱線	1.29	0.91	2.29	
	管容器	0.08	0.01		
D	一次線				1300
	散乱線	19.93	10.06	33.71	
	管容器	3.56	0.16		
E	一次線				1300
	散乱線	2.87	0.38	3.31	
	管容器	0.05	0.01		
F	一次線				
	散乱線	土中につき、計算を省略する。			
	管容器				

しゃへい計算

- エックス線診療室の設計段階
- 装置更新の検討段階
- 既存装置の稼働状況が変わった際



しゃへい計算を用いることで、エックス線診療室
の放射線量管理、安全性確認を行うことができる

しゃへい計算についての留意点

～しゃへい計算業務を行っていて～

- ①しゃへい計算に必要な情報
- ②ビル内の診療所について
- ③装置種により、しゃへい計算で留意する点

①しゃへい計算に必要な情報

○当該エックス線診療室の構造

- 部屋寸法、形状が正確で、壁厚、壁面のしゃへい厚、扉、ガラスのしゃへい厚がわかり、かつ、エックス線装置の配置位置がわかる図面等の資料
- フロア高(階高)、上階面、床面のしゃへい厚がわかる資料
- 当該エックス線診療室から最も近い病室、居住区域(看護師宿舎等)、敷地境界までの距離と方向がわかる資料

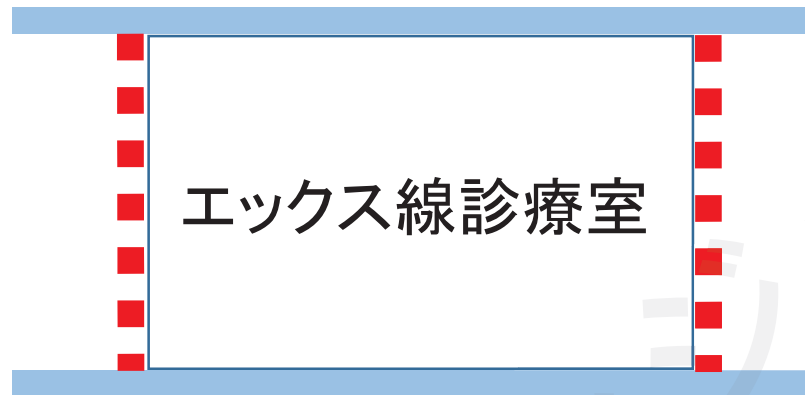
○エックス線装置の使用状況

- 稼働日数、撮影件数、1件あたりの透視時間、撮影回数、撮影条件(管電圧、管電流、秒数、焦点受像器(天板表面)間距離)、照射野面積、等

②ビル内の診療所について

○上下階が別テナント、エックス線診療室の周囲隔壁に別テナントがかかっている場合

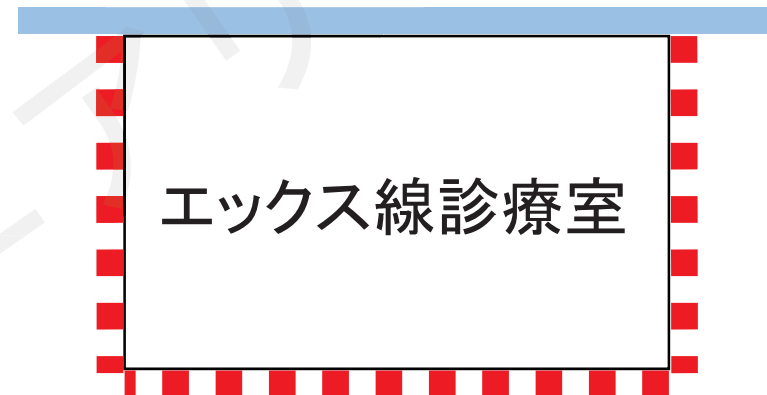
上階 別テナント



下階 別テナント

敷地境界の線量限度
($250 \mu\text{Sv}/3\text{月間}$)として評価

隣接 別テナント



診療所内

管理区域境界の線量限度
($1.3\text{mSv}/3\text{月間}$)として評価

③装置により、しゃへい計算で留意する点

○CT撮影装置

医薬発第188号通知の一部改正

→医政発0331第16号(平成26年3月31日)

しゃへい計算式中に用いる照射野の大きさについて
「照射野の大きさ」→「受像面における照射野の大きさ」
と文言が変更された。

→アイソセンタにおける照射野面積の3倍以上

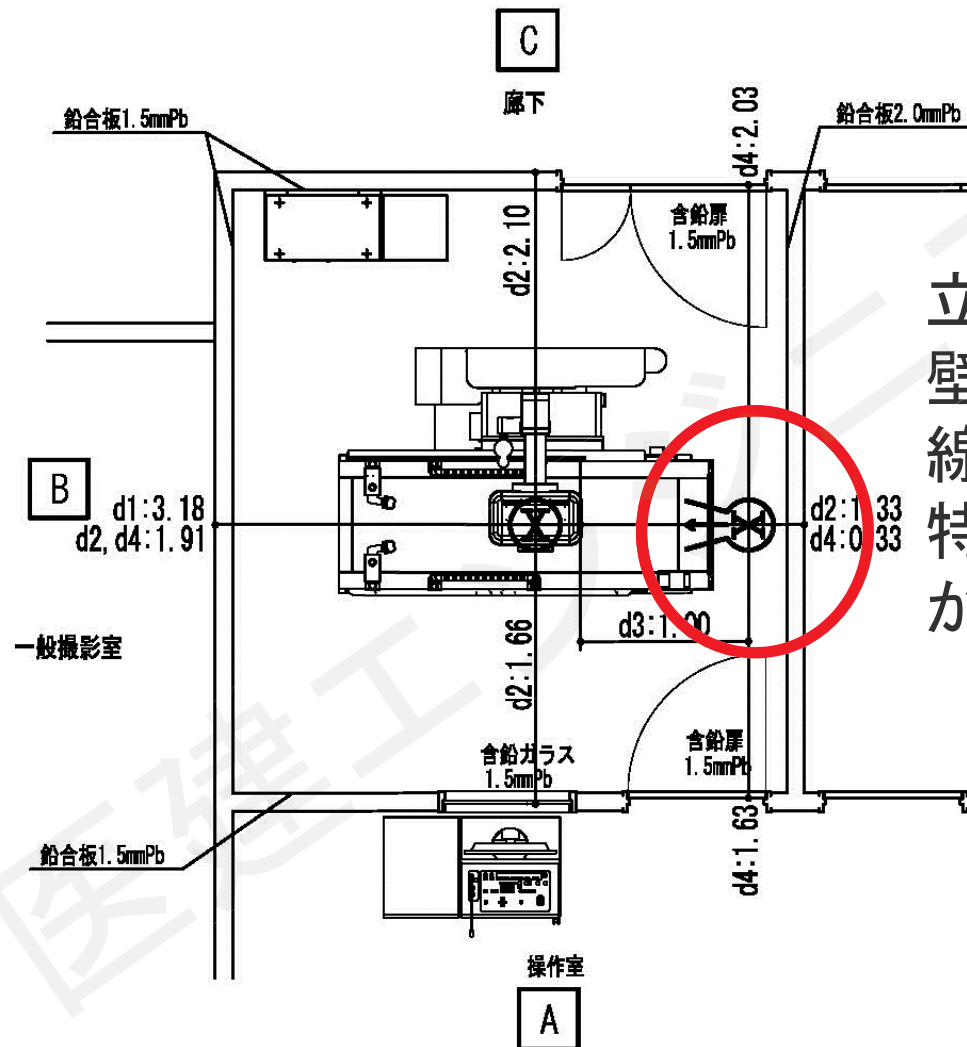
→しゃへい計算による散乱線量についてアイソセンタ
における照射野面積を用いた計算値の3倍以上に算定
される。

→既存のエックス線診療室のしゃへい厚では足りない
可能性も??

③装置により、しゃへい計算で留意する点

○X線TV撮影装置

エックス線管球から近い壁面に注意。



立位時のエックス線管球から壁面までの距離が近い場合、線量限度を超えることがある。特に健診車で問題になることが多い。

Ⅱ

しゃへい計算結果の妥当性 ～実測と計算の比較実験～

エックス線診療室の漏えい線量の算定方法

- ①漏えい線量測定(実測)による算定(装置設置後)
X線装置設置後に放射線測定器を用いて実測し、
実効線量を算定する方法
- ②しゃへい計算による算定(装置設置前・後)
エックス線診療室の管理区域等の実効線量を
理論計算により算定する方法

エックス線診療室の設計段階、 装置更新検討段階でのしゃへい計算

装置設置後だけではなく、エックス線診療室の設計段階や装置更新検討段階でしゃへい計算を行うことにより、エックス線診療室の推定される漏えい線量を算定できる。

- エックス線診療室に必要な鉛、コンクリート等のしゃへい厚を検討、決定することができる。
- しゃへい厚の検討段階においては、しゃへい計算結果の妥当性が重要となる。

エックス線診療室の設計段階における しゃへい計算結果の妥当性は？

その端緒として今回、一般撮影(胸部撮影)を想定し

①実測によるエックス線量の算定

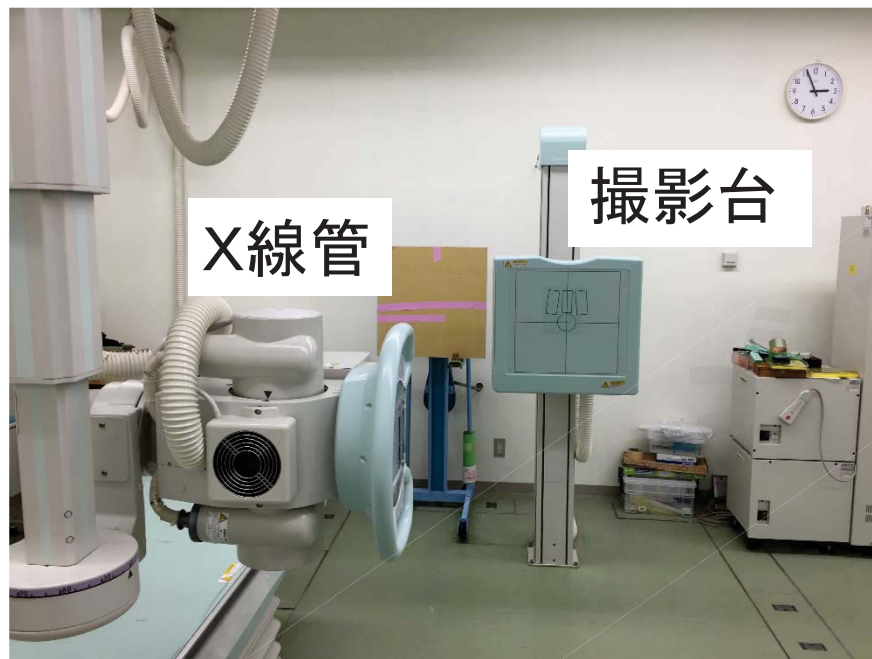
②しゃへい計算によるエックス線量の算定

について比較を行った。

実験協力：首都大学東京

健康福祉学部 放射線学科 加藤 洋 教授

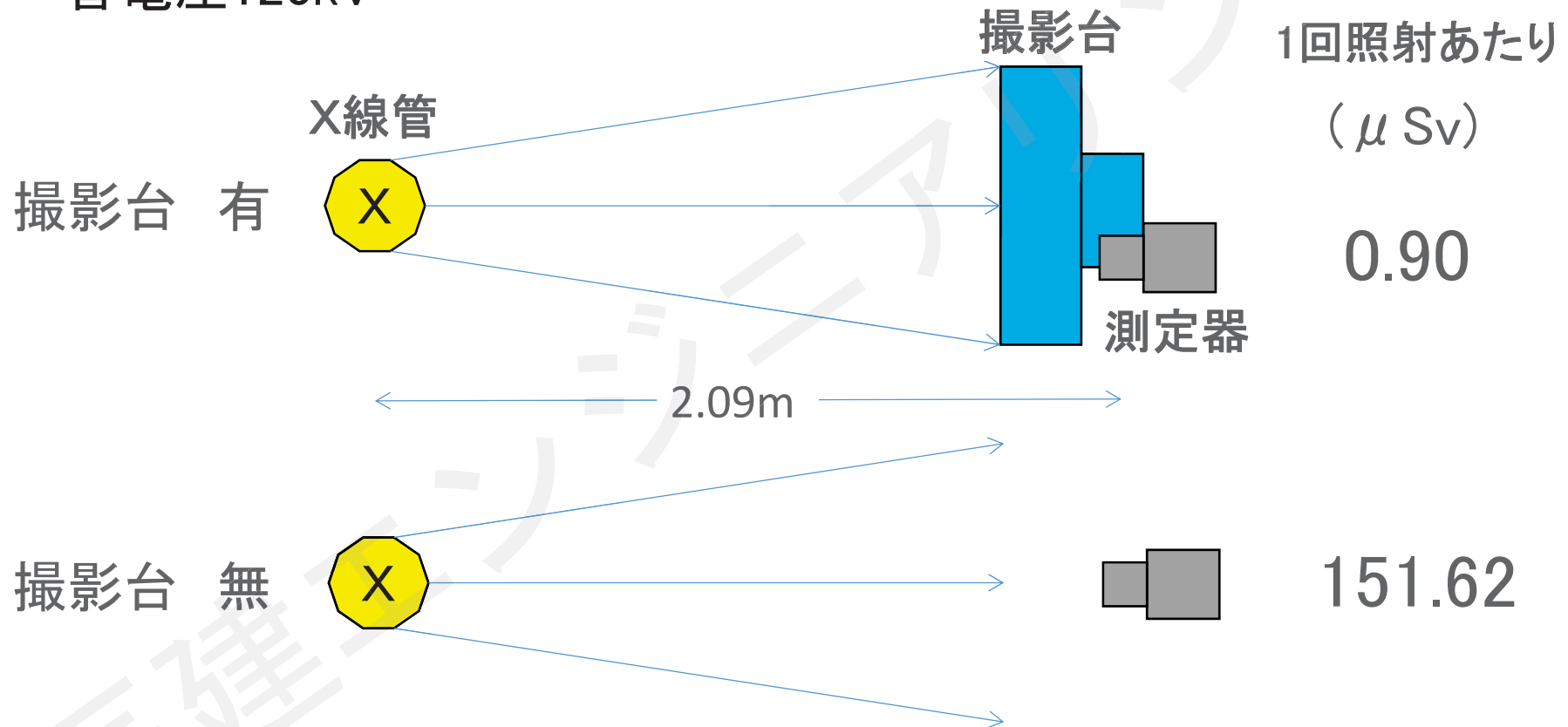
実験風景①



①実測によるエックス線量の測定

①-1 実測によるエックス線量の測定

管電圧120kV



①実測によるエックス線量の測定

実験風景②

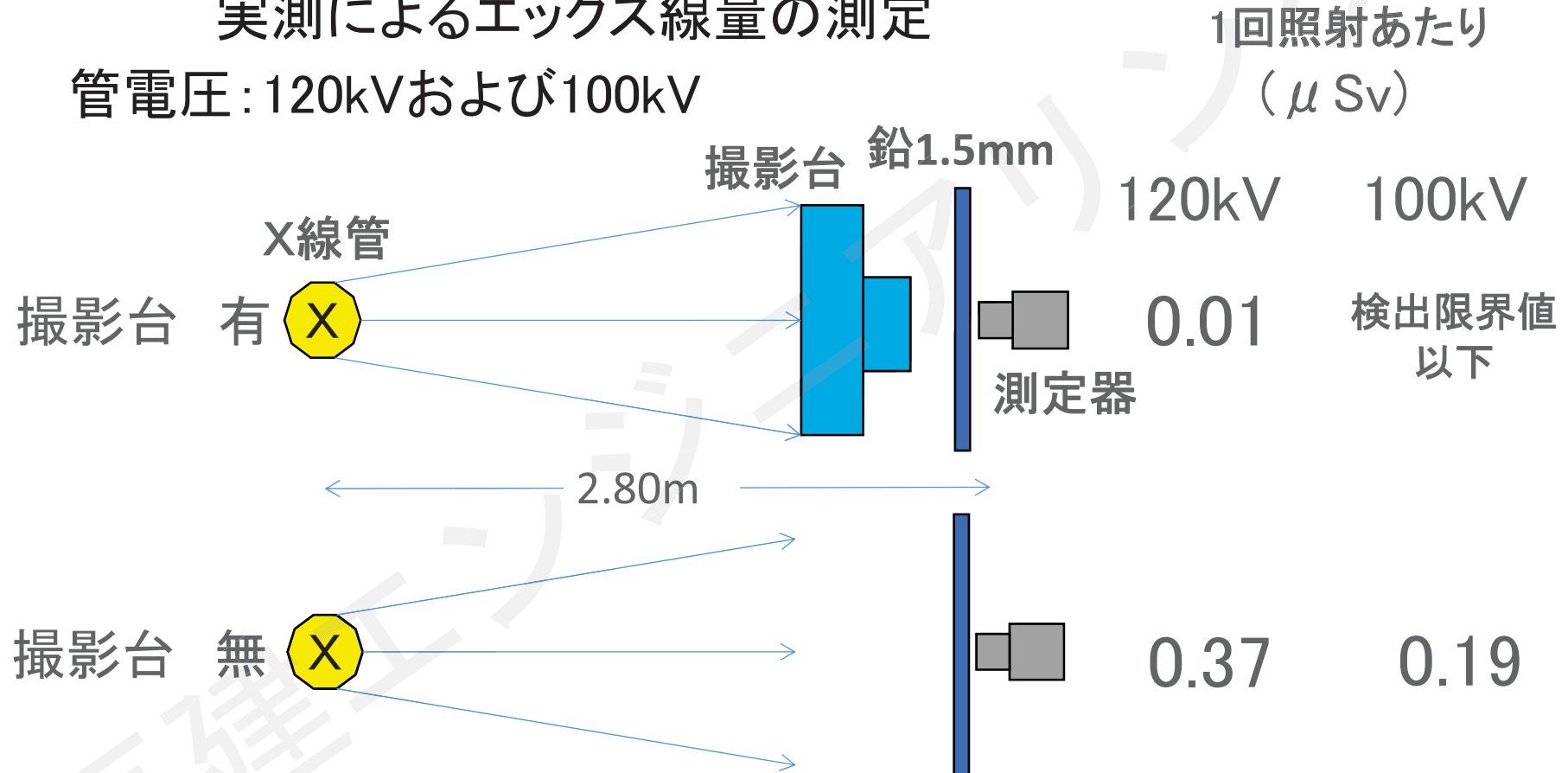


①実測によるエックス線量の測定

①-2 実際のエックス線室を想定した(鉛通過)

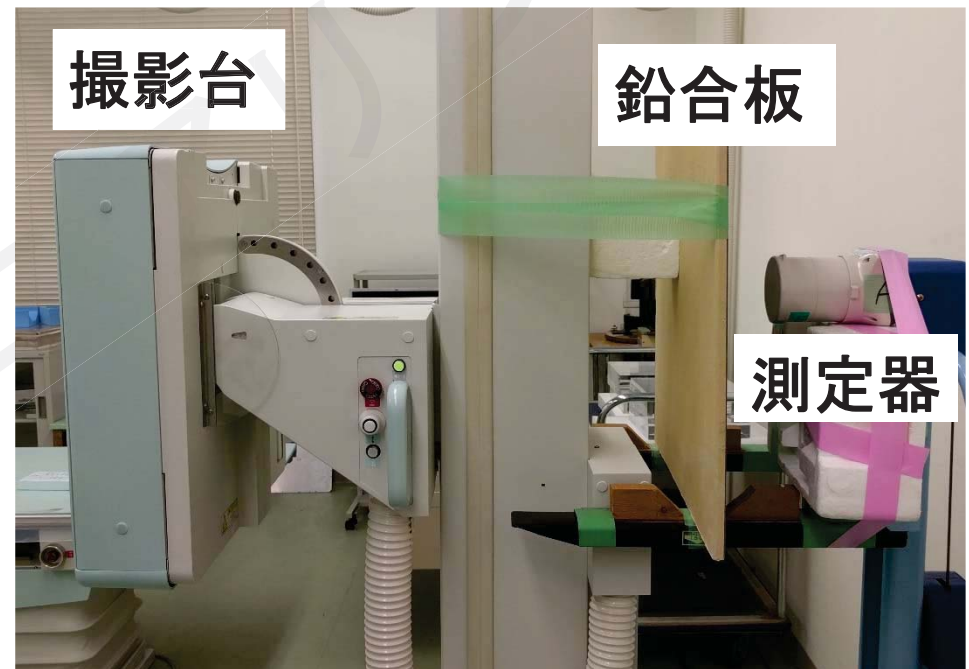
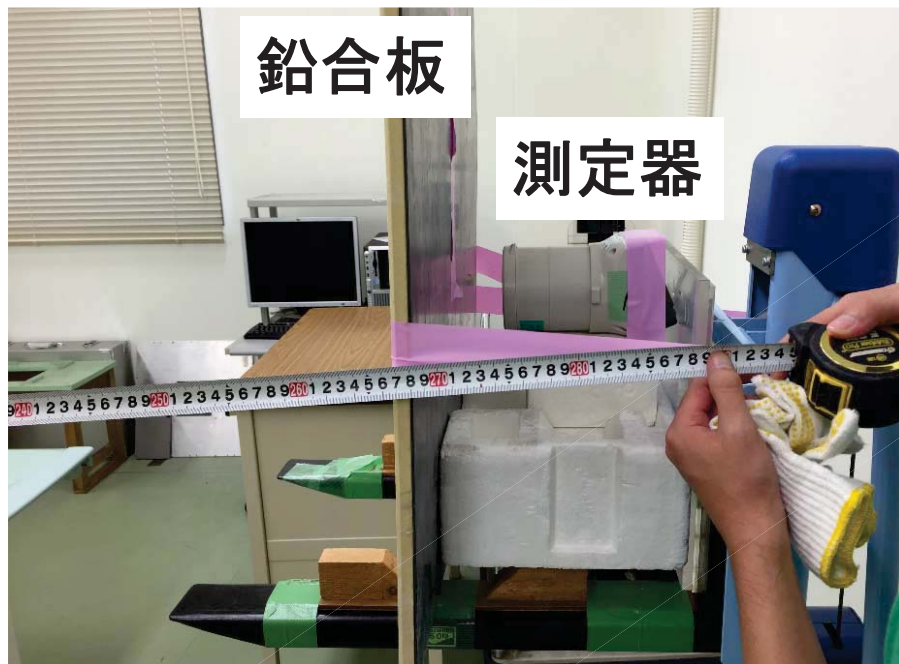
実測によるエックス線量の測定

管電圧：120kVおよび100kV



①実測によるエックス線量の測定

実験風景③



①実測によるエックス線量の測定

まとめ

		X線量	鉛1.5mmを通過したX線量	
撮影台	管電圧	120kV	120kV	100kV
	撮影台 有	0.90	0.017(0.01)※	検出限界値以下
撮影台	無	151.62	0.37	0.19

単位：μSv/3月間

※測定器の仕様の最少測定値より低値で正確ではないことが予想されたため、エックス線量を撮影台有の測定結果と医薬発第188号通知(医政発0331第16号)に示されている数値及び距離換算により推定した値。

【考察】

管電圧120kVの撮影台が有る場合の鉛後方でのエックス線量は、
管電圧100kVの撮影台がない場合のエックス線量よりも小さな値となった。

→漏えい線量は撮影台のしゃへい能力が大きく寄与する。

②しゃへい計算によるエックス線量の算定

②-1 撮影台のしゃへい能力(鉛当量)の算定

①-1の実測による撮影台の有無によるエックス線量の測定結果から今回の撮影台のしゃへい能力(鉛当量)を算定した。

		X線量	鉛1.5mmを通過したX線量	
撮影台	管電圧	120kV	120kV	100kV
	撮影台 有	0.90	0.017(0.01)※	検出限界値以下
	撮影台 無	151.62	0.37	0.19

単位: $\mu\text{Sv}/3\text{月間}$

※測定器の仕様の最少測定値より低値で正確ではないことが予想されたため、エックス線量を撮影台有の測定結果と医薬発第188号通知(医政発0331第16号)に示されている数値及び距離換算により推定した値。

鉛当量は $1.2\text{mm}^{\ast}$ 相当

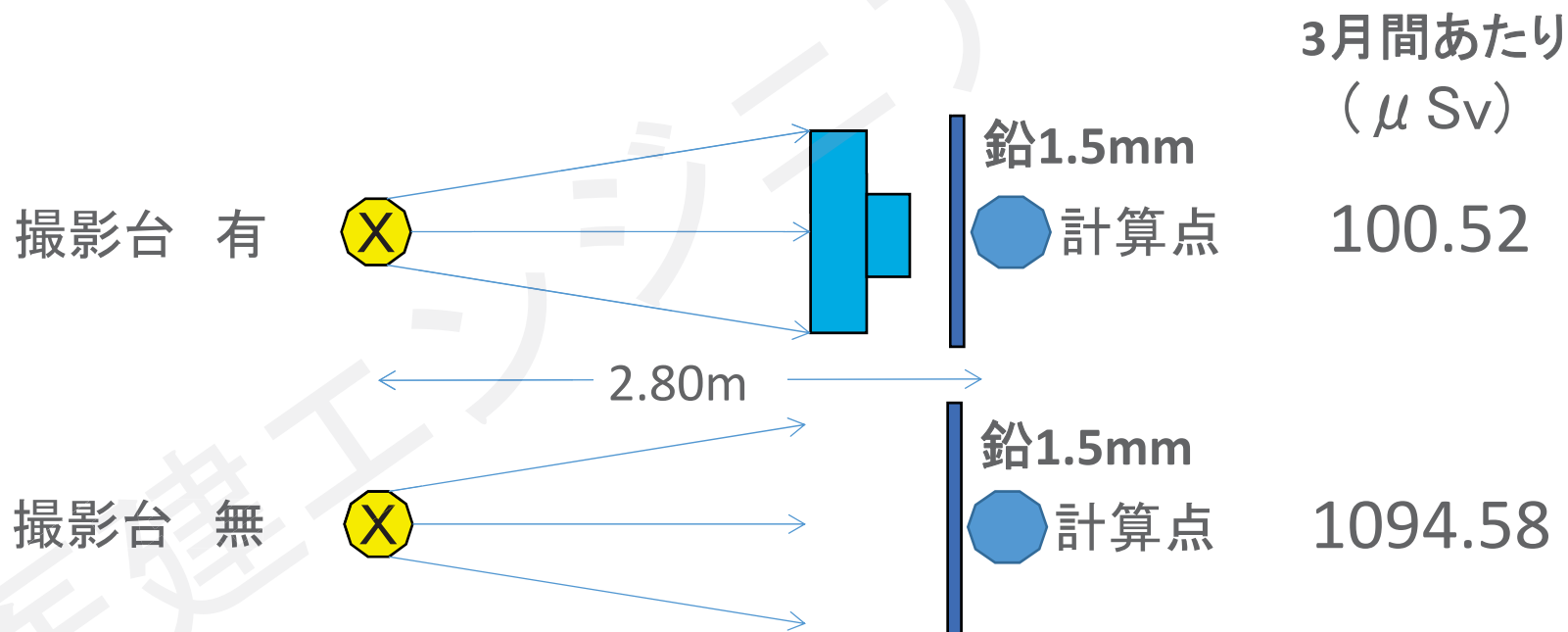
※ 医薬発第188号通知(医政発0331第16号)のデータより算出

②しゃへい計算によるエックス線量の算定

②-2 実際のエックス線診療室を想定した(鉛通過)

しゃへい計算によるエックス線量の算定

- ・管電圧:120kV ・撮影台の遮へい能力:鉛当量1.2mm
- ・60照射／日 ・5日稼働／週 を想定
- ・装置の幾何学的配置及びエックス線量算定点は①の実測時と同様



③実測としゃへい計算によるエックス線量の算定値の比較

まとめ

		実測による X線量	しゃへい計算による X線量
撮影台	管電圧	120kV	120kV
撮影台	有	66.0※	100.52
撮影台	無	1443.0※	1094.58

※①の結果より、3月間あたりのエックス線量を算定した。

単位：μSv/3月間

【結果】

撮影台が有る場合：しゃへい計算／実測→1.52倍

撮影台が無い場合：しゃへい計算／実測→0.76倍

まとめ

しゃへい計算による、エックス線診療室のしゃへい厚の決定や既存のエックス線診療室のエックス線量の確認、管理によって、エックス線診療に対する安全性の担保につながると考えられる。



正確な(精度の高い)しゃへい計算を実践することが重要。



しゃへい計算によるエックス線量の算定値と、実測によるエックス線量の算定値に大きなかい離が生じることがないように、本発表内のような実験データの蓄積や、しゃへい計算手法、データの継続的な考察、妥当性の確認が必要であると考えられる。

日本放射線技術学会と厚生労働省のご協力のもと、日本画像医療システム工業会(JIRA)では「しゃへい計算マニュアル」の作成を企図している。