

医療診断領域における線量管理用面積線量計の校正

一般財団法人 日本品質保証機構（JQA）計量計測センター

高島 誠

1. 医療診断領域の線量管理
2. 面積線量計
3. 面積線量計の校正方法
4. 不確かさ評価
5. まとめ

1. 医療診断領域の線量管理

- 医療分野における放射線の利用

放射線治療

ガンマナイフ

中性子線

陽子線

重粒子線

放射線診断

X線撮影（胸部等）

X線造影（胃部等）

CT(Computed Tomography)

IVR

IVR : interventional radiology(画像下治療)

1. 医療診断領域の線量管理

- 医療診断領域における放射線測定器の種類

診断領域における
放射線測定器の利用



線量管理

- 高精度線量計
- 面積線量計



漏洩線量測定

- サーベイメータ



個人被ばく線量管理

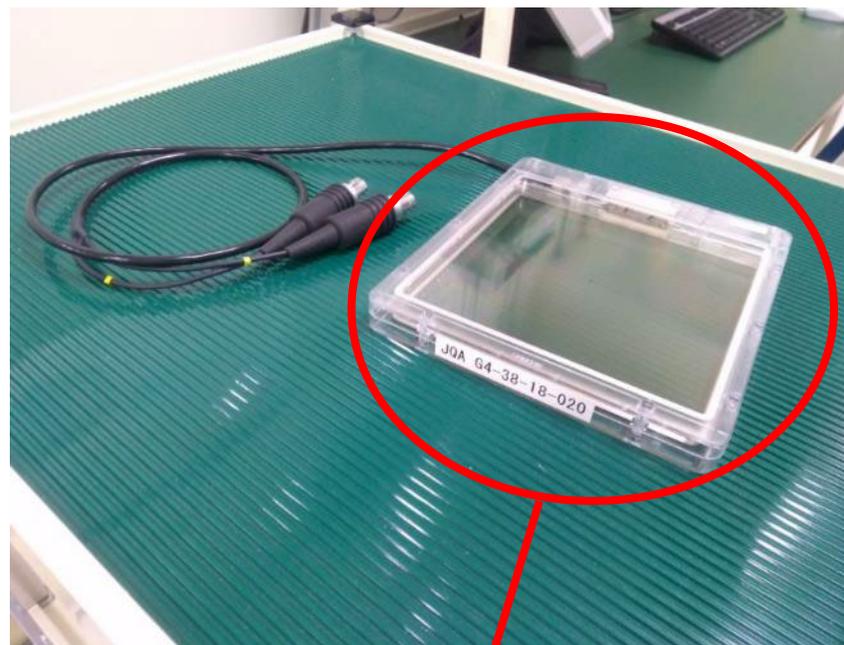
- 個人線量計

1. 医療診断領域の線量管理

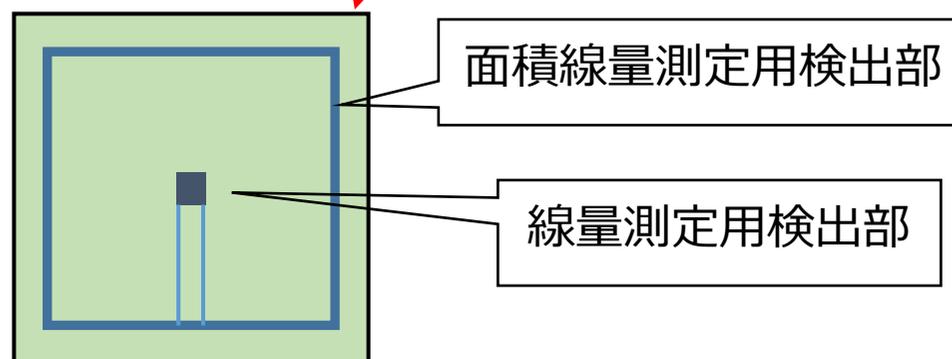
- 面積線量計



表示部



検出部



1. 医療診断領域の線量管理

- 取り付け例

トーレック株式会社HPより



面積線量計

X線照射口に装着(後付けタイプも有)

1. 医療診断領域の線量管理

- 放射線被ばくの方

公衆被ばく

可能な限り低く

線量限度の設定

医療被ばく

正当化

小

被ばくによるリスク

大

患者の受けるメリット



最適化が必要

1. 医療診断領域の線量管理

- 診断参考レベル： Diagnostic Reference Level

近年、医療被ばくを最適化することが注目され、診断参考レベル(DRL)の考えが用いられるようになってきた ※赤字は日本での動向

近年の世界的なDRLの動向

1997年	欧州にて面積線量計が導入
2013年	EU加盟国にて放射線検査等にDRLを導入し、定期的に評価することを義務付け（評価に用いる測定器は面積線量計）
2015年	日本で最初のDRLが医療被ばく研究情報ネットワーク(Japan Network for Research and Information on Medical Exposure : J-RIME)より発表
2016年	ECR（欧州放射線会議）にてDRLは計算ではなく直接計測されなければならないと発表 これに伴い、ロシアやアメリカ、アジア諸国においても、面積線量計による測定が必須条件となる
2020年 7月	日本の診断参考レベル（2020年版）発行

1. 医療診断領域の線量管理

* 透視撮影技粋

日本の診断参考レベル (2020年版)

National diagnostic reference levels in Japan (2020)

- Japan DRLs 2020-

令和2年7月3日

医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)	日本小児心臓 CT アライアンス
医療放射線防護連絡協議会	日本小児放射線学会
日本医学物理学会	日本診療放射線技師会
日本医学物理士会	日本乳がん検診精度管理中央機構
日本医学放射線学会	日本脳神経血管内治療学会
日本インターベンショナルラジオロジー学会	日本放射線影響学会
日本核医学会	日本放射線技術学会
日本核医学技術学会	日本放射線腫瘍学会
日本歯科放射線学会	日本保健物理学会

協力

日本画像医療システム工業会
量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門 放射線医学総合研究所

2020.8.31 一部修正

2.3. 結果と考察(DRL 設定の根拠、limitation)

原則として、調査結果の 75 パーセンタイルを有効数字 2 桁とし、かつ小数点以下四捨五入した値を DRL として設定した。以下に各 DRL 量の 75 パーセンタイルおよび括弧書きで中央値を示す。

※ 下段は(有効装置数/総症例数)

	K_{AR} [mGy]	P_{KA} [Gy·cm ²]	透視時間 [min]	撮影回数 [回]
嚥下造影	30.0 (17.8) (17/301)	17.2 (8.9) (21/351)	5 (4) (43/646)	5 (1) (43/646)
食道・胃・十二指腸造影	110 (40.9) (14/110)	45.2 (19.5) (12/102)	5.5 (4) (28/282)	26.8 (15) (28/282)
食道・胃・十二指腸造影(精検)	231.1 (95.5) (24/593)	61.1 (24.7) (18/441)	12.6 (8.0) (39/787)	45 (29) (40/791)
食道・胃・十二指腸造影(検診)	88.5 (64.9) (38/8035)	29.1 (19.5) (36/8207)	6 (4.4) (51/8584)	21 (17.5) (52/9664)
イレウス管挿入	152.0 (109.0) (28/182)	46.7(26.7) (24/125)	28.3 (18.2) (46/232)	6 (4) (46/303)
大腸(注腸)造影	134.0 (82.5) (17/189)	46.2 (22.7) (14/162)	10.8 (6.8) (30/346)	27.3 (20) (30/346)
逆行性膵管胆管造影:ERCP(診断)	92.6(33.0) (11/141)	25.8 (14.5) (9/74)	13.6 (6.8) (20/362)	11.5 (8) (21/365)
逆行性膵管胆管造影:ERCP(治療)	167.1 (99.5) (35/1150)	35.6 (17.9) (31/1082)	16.8 (11.2) (65/1037)	12.5 (9) (65/1787)
気管支鏡検査	38.1 (16.5) (21/388)	7.8 (4.9) (21/383)	7.5 (4.9) (48/872)	1 (1) (48/872)
中心静脈栄養用カテーテル挿入術 (CVカテ・ポート挿入)	8.0 (5.0) (31/770)	3.3 (1.9) (29/377)	3.0 (2.0) (46/941)	2 (1) (46/941)
腰椎神経根ブロック	48.7 (19.1) (25/304)	9.4 (4.2) (26/337)	3.0 (2.0) (47/535)	2 (1) (47/535)
腰椎脊髓腔造影(ミエロ)	68.7 (42.0) (23/270)	25.9 (12.9) (23/246)	3.9 (2.8) (42/638)	11 (9) (42/638)

1. 医療診断領域の線量管理

• 装置の精度管理について

3. DRL 運用に関する注意など

* 透視撮影抜粋

透視装置の現状として、線量表示が行える装置は 40 %程度ではあるが、今後装置の更新が行われることによって、線量表示が可能となることを前提に、線量での DRL を設定した。

今回設定した面積空気カーマ積算値の単位は、 $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ であるが、各メーカー、装置によって線量単位に違いがあるため、留意されたい。

気管支鏡検査の撮影回数の DRL 値が 1 となっているが、40 %の施設では撮影を行っていなかった。

表示線量での線量管理は容易に行うことができる一方、装置(面積線量計含む)の精度管理(保守点検等)が十分に行われていないと誤差の主な要因となり、また患者の被ばく線量把握においても、過小評価につながってしまう。

今後透視検査についても線量管理と記録を行うにあたり、装置の精度管理と共に各施設での医療情報システム(病院情報システム(HIS:Hospital Information System)、放射線科情報システム(RIS:Radiology Information System)、線量管理システム等)が十分に活用されることに期待したい。

1. 医療診断領域の線量管理

- 面積線量計の校正について

- 放射線診断における被ばく線量の大部分は、一般公衆で定められている線量限度以下



厳しい線量管理の意識はあまり高くなかった

- 従来、日本国内では校正機関が無く、海外の製造メーカーに依頼する必要がある

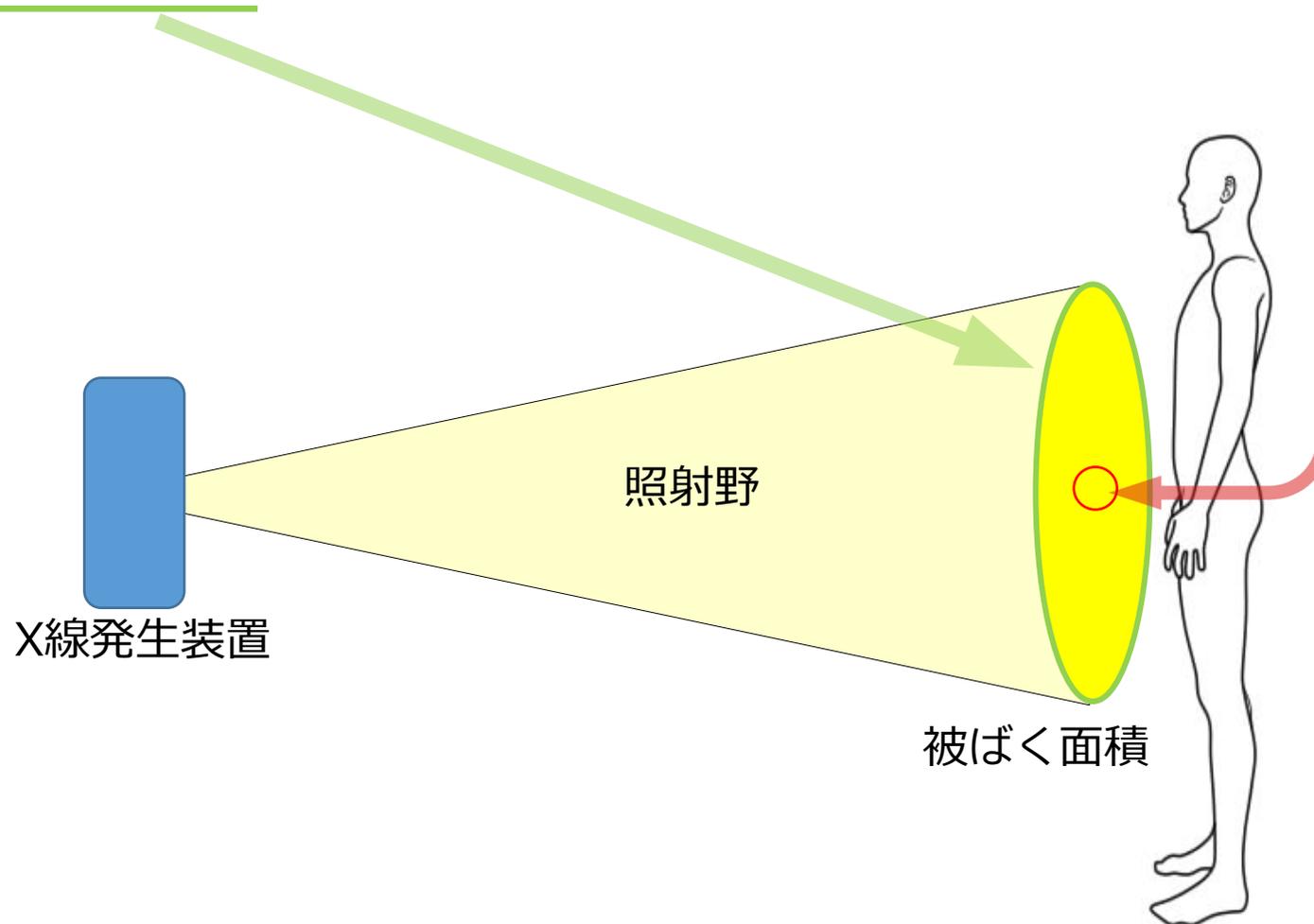


納期(1ヶ月以上)・校正料金(15万円以上)の点からも、定期的な校正は困難

2. 面積線量計

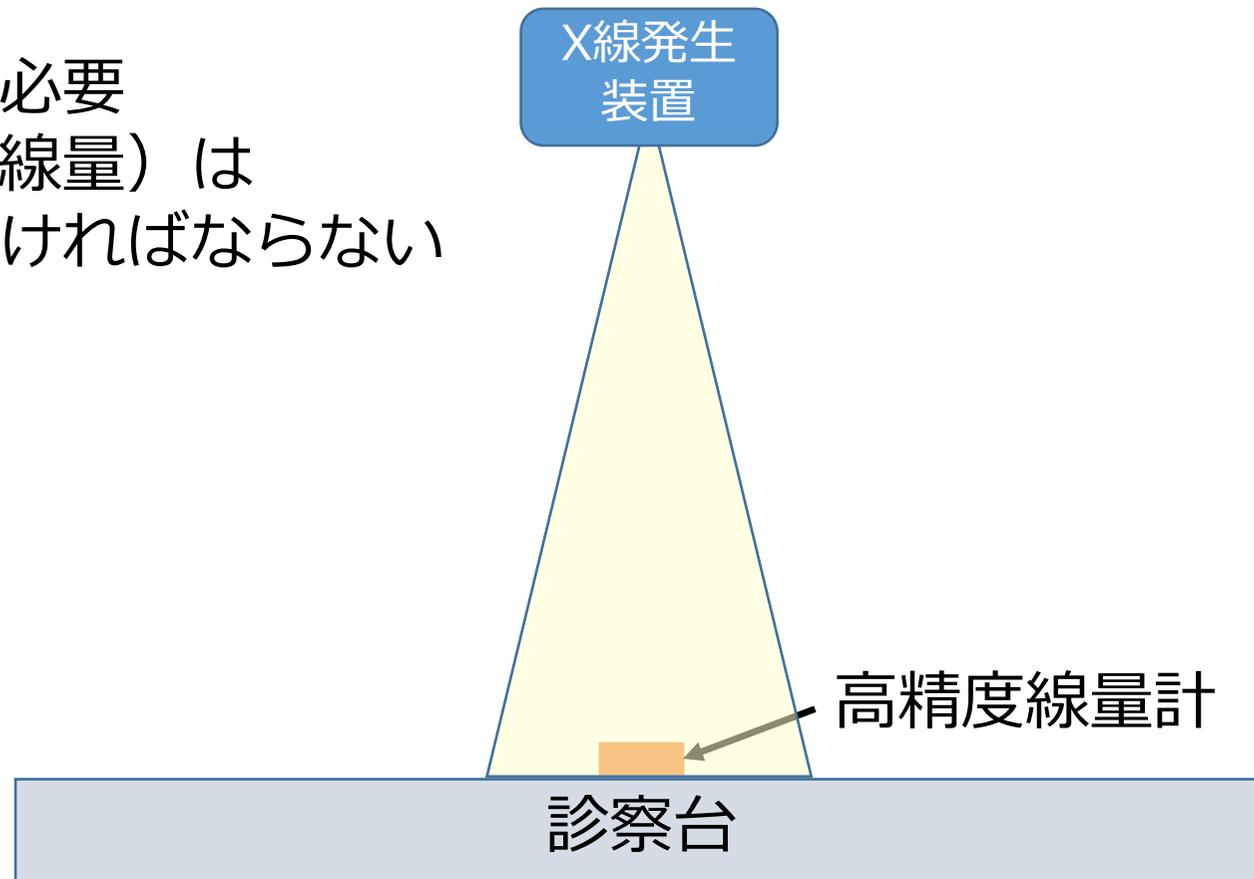
- 面積線量について

従来の高精度線量計は照射されたあるポイントでの線量のみを測定していたが、面積線量計では実際に照射された面積を考慮した線量（面積線量）が測定できる。



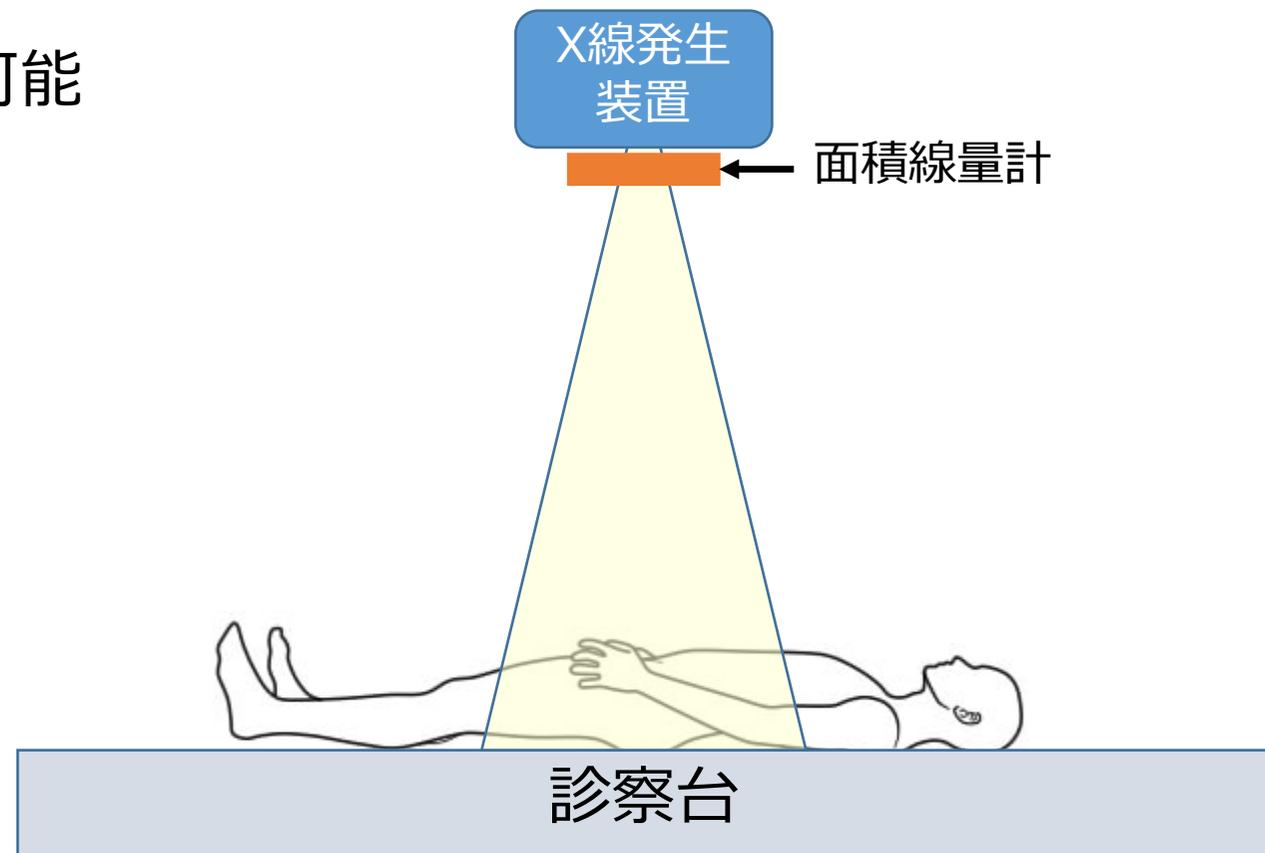
2. 面積線量計

- 高精度線量計での測定
 - 患者さんがいない時に測る必要がある
 - 照射面積の測定が必要
 - 被ばく線量（面積線量）は計算により求めなければならない



2. 面積線量計

- 面積線量計での測定
 - リアルタイムで測定が可能
 - ダイレクトに面積線量が測定可能



2. 面積線量計

• 面積線量計の原理

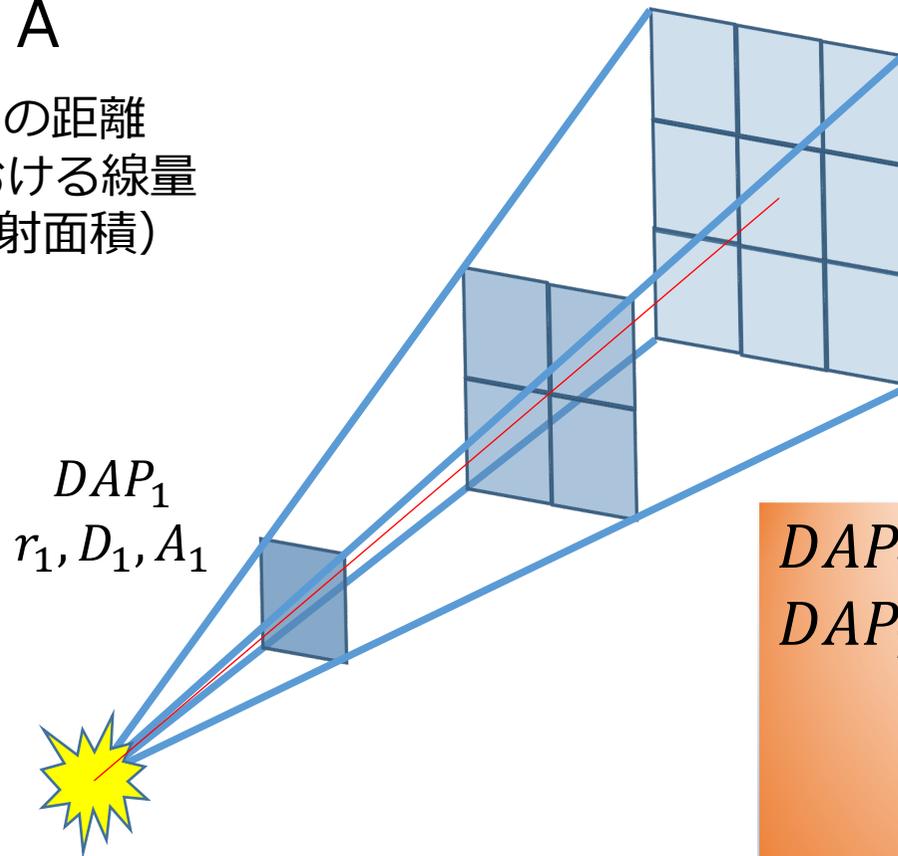
Dose **A**rea **P**roduct : 面積線量

$$DAP = D \times A$$

r : 発生器からの距離

D : 距離 r における線量

A : 照射野 (照射面積)



DAP_1
 r_1, D_1, A_1

$$DAP_2$$

$$r_2 = 3r_1$$

$$D_2 = D_1 / 9$$

$$A_2 = 9A_1$$

$$DAP_1 = D_1 \times A_1$$

$$DAP_2 = D_2 \times A_2$$

$$= D_1 / 9 \times 9A_1$$

$$= D_1 \times A_1$$

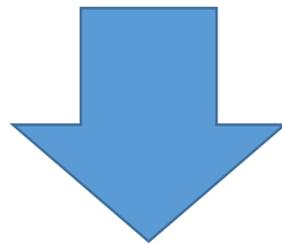
$$= DAP_1$$

3. 面積線量計の校正方法

- 規格

JIS Z 4511:2018

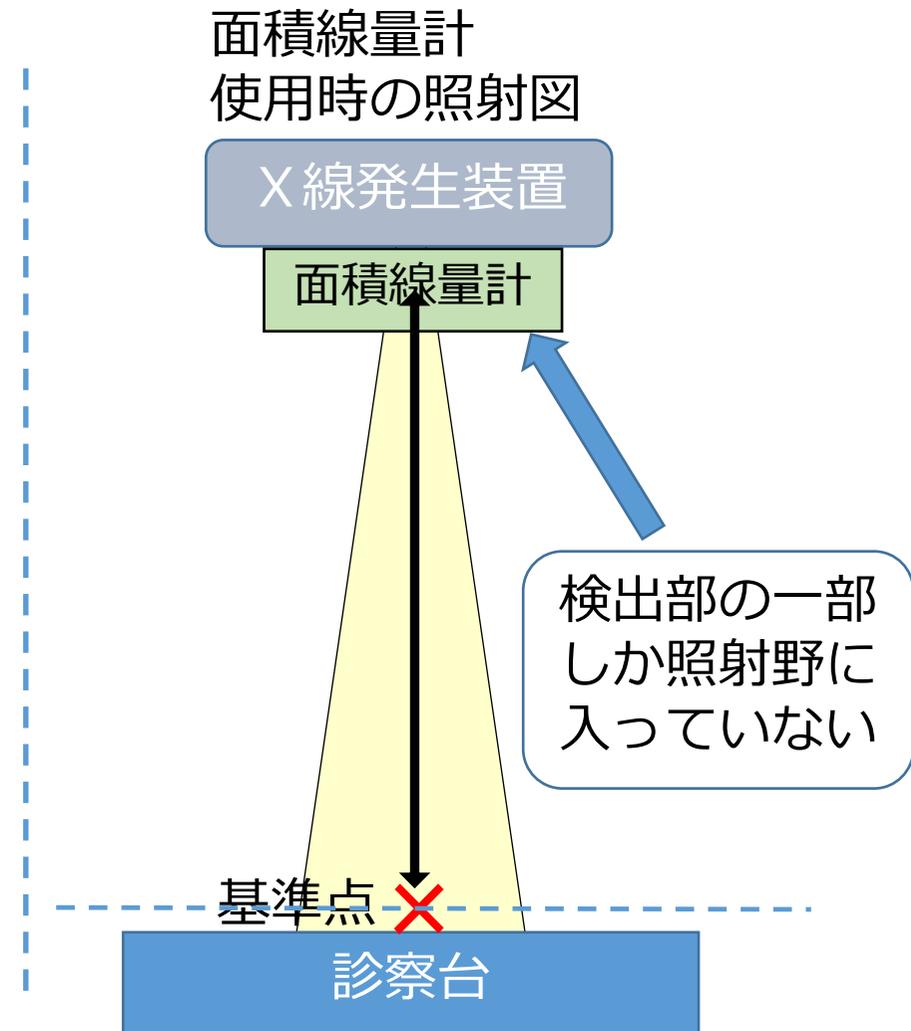
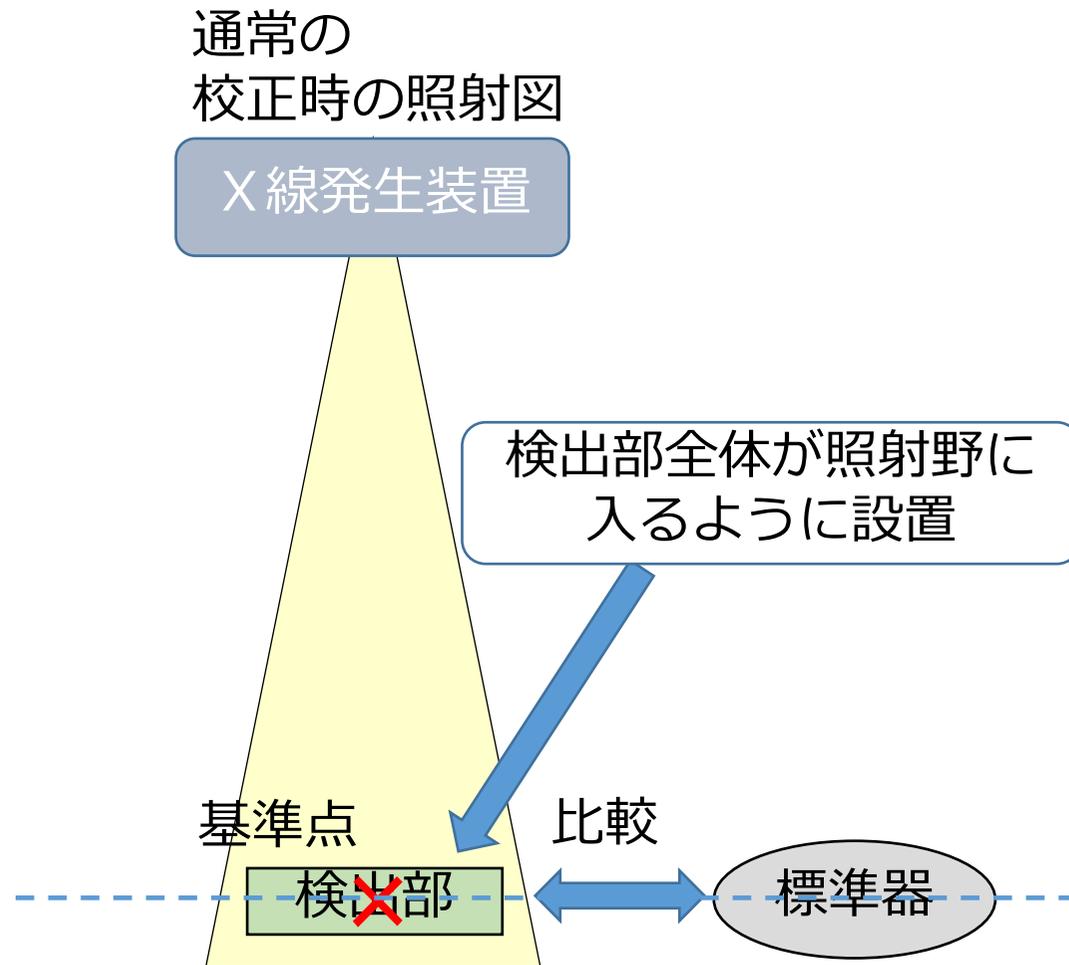
X線及び γ 線用線量（率）測定器の校正方法



適用可能か検討

3. 面積線量計の校正方法

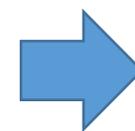
- 校正方法の違い



3. 面積線量計の校正方法

- コリメータ照射
通常照射

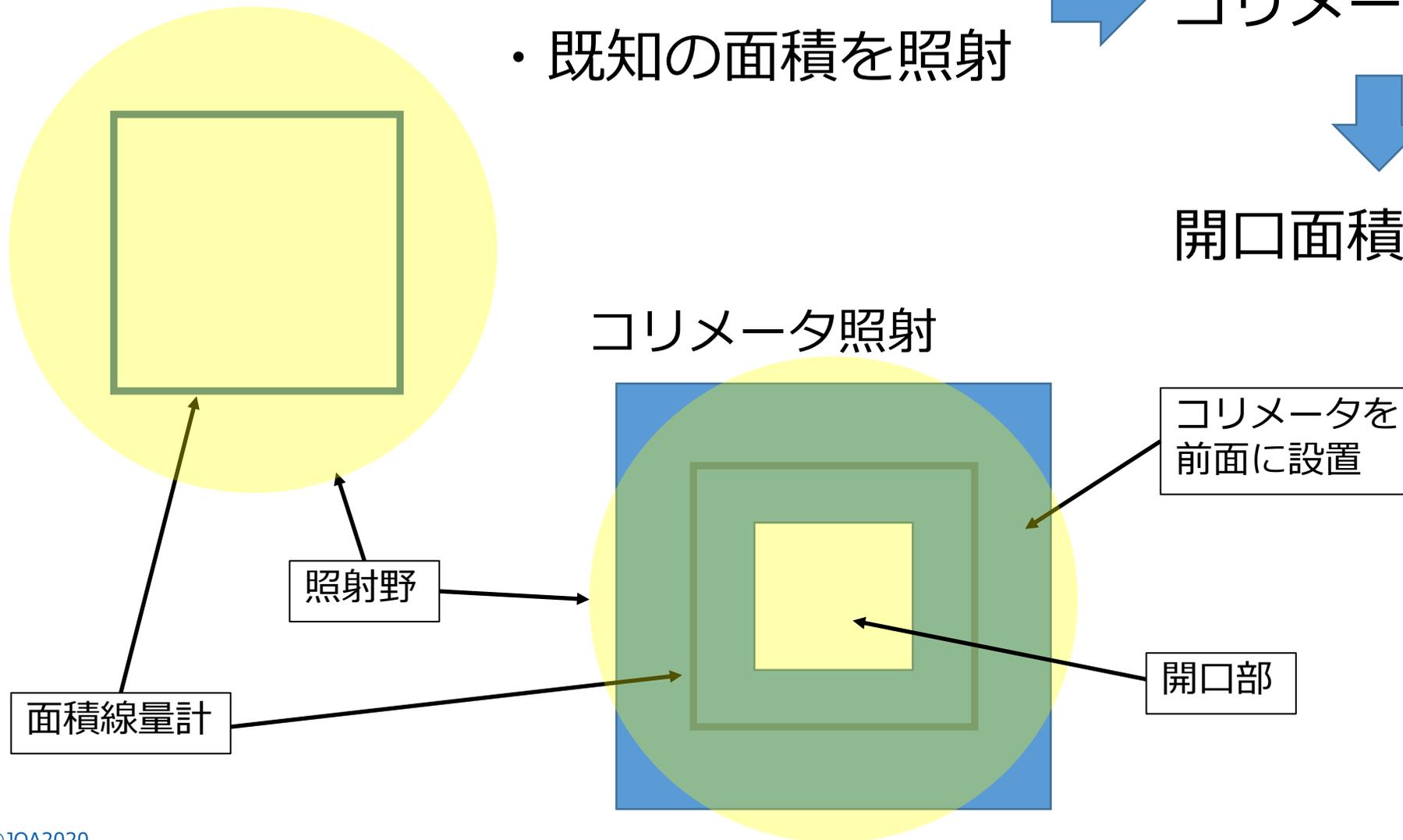
- 不要なX線を遮蔽
- 既知の面積を照射



コリメータ作成

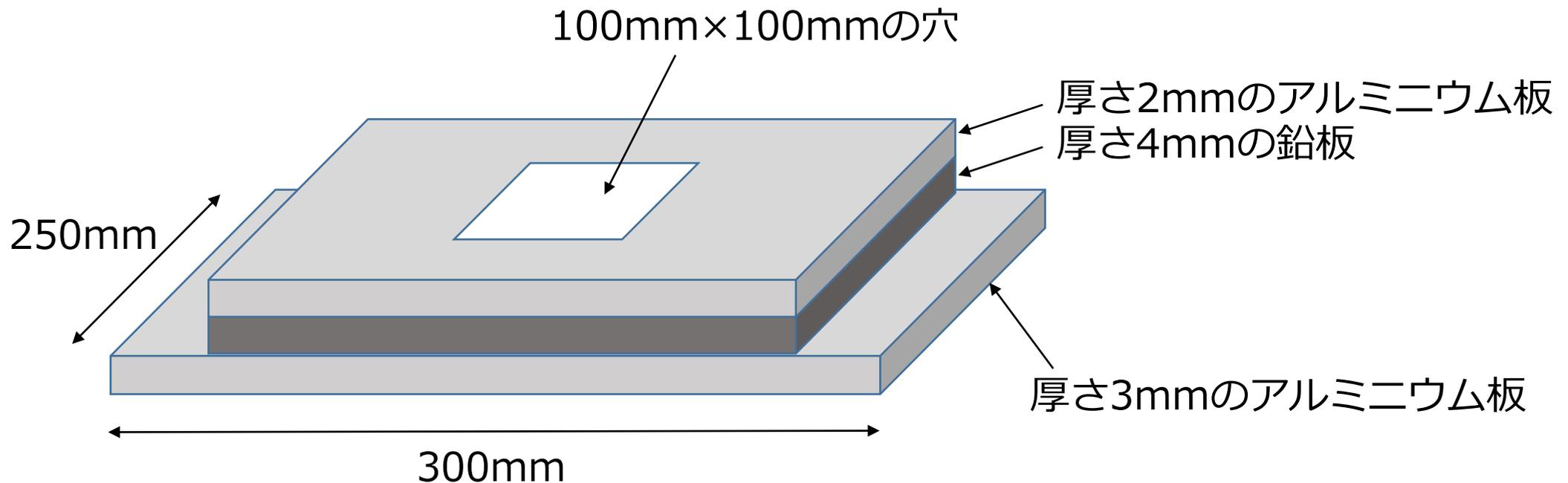


開口面積を校正



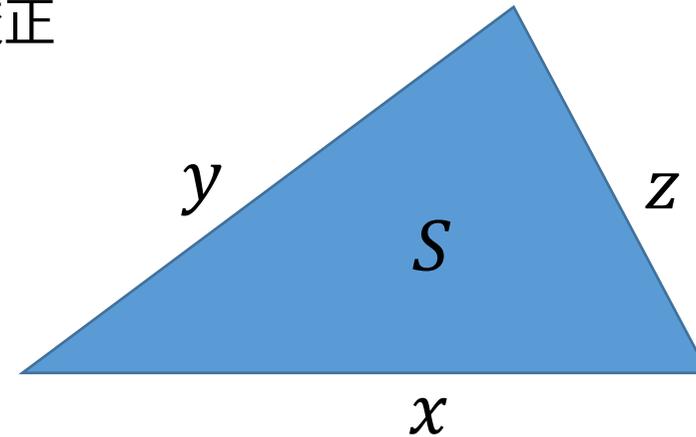
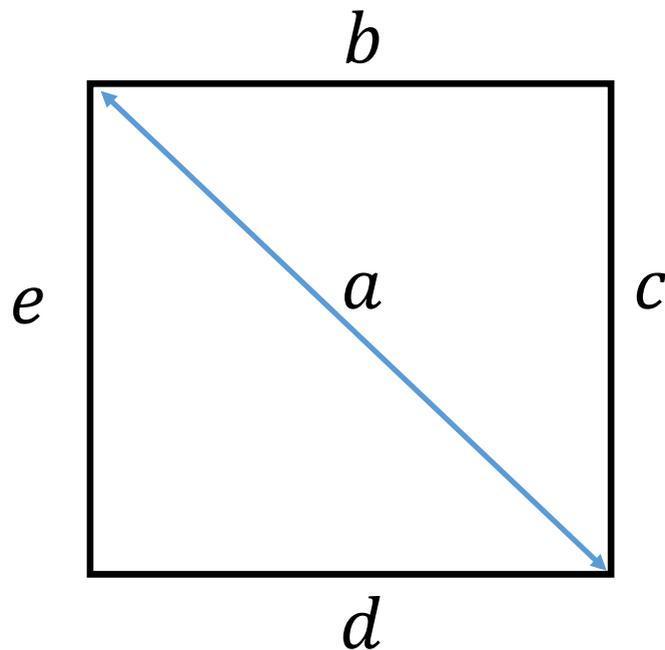
3. 面積線量計の校正方法

- コリメータの作成
 - 開口部以外はX線をバックグラウンドレベルまで遮蔽
 - 遮へい材として4 mmの鉛を採用
 - 柔らかい鉛をアルミでサンドし強度を上げた



3. 面積線量計の校正方法

- 開口面積の校正
 - JQA内部にて開口部の対角線(a)と4辺(b, c, d, e)の長さを校正
 - ヘロンの公式より面積を算出



ヘロンの公式

$$\text{面積 } S = \sqrt{s(s-x)(s-y)(s-z)}$$

ただし、

$$s = \frac{x+y+z}{2}$$

校正結果 表面: 10043.1 mm²,裏面: 9995.6 mm²

4. 不確かさ評価

- 通常のX線測定器校正における不確かさの主要因
 - 標準器校正の不確かさ
 - 温度・気圧補正
 - 位置設定
 - 照射野の均一性
 - 測定値のばらつき
- 今回新たに検討する主な不確かさの要因
 - コリメータの開口面積
 - コリメータからの散乱線

4. 不確かさ評価

- コリメータの開口面積(JQA内部にて校正)
 - 表面: 10043.1 mm²
 - 裏面: 9995.6 mm²

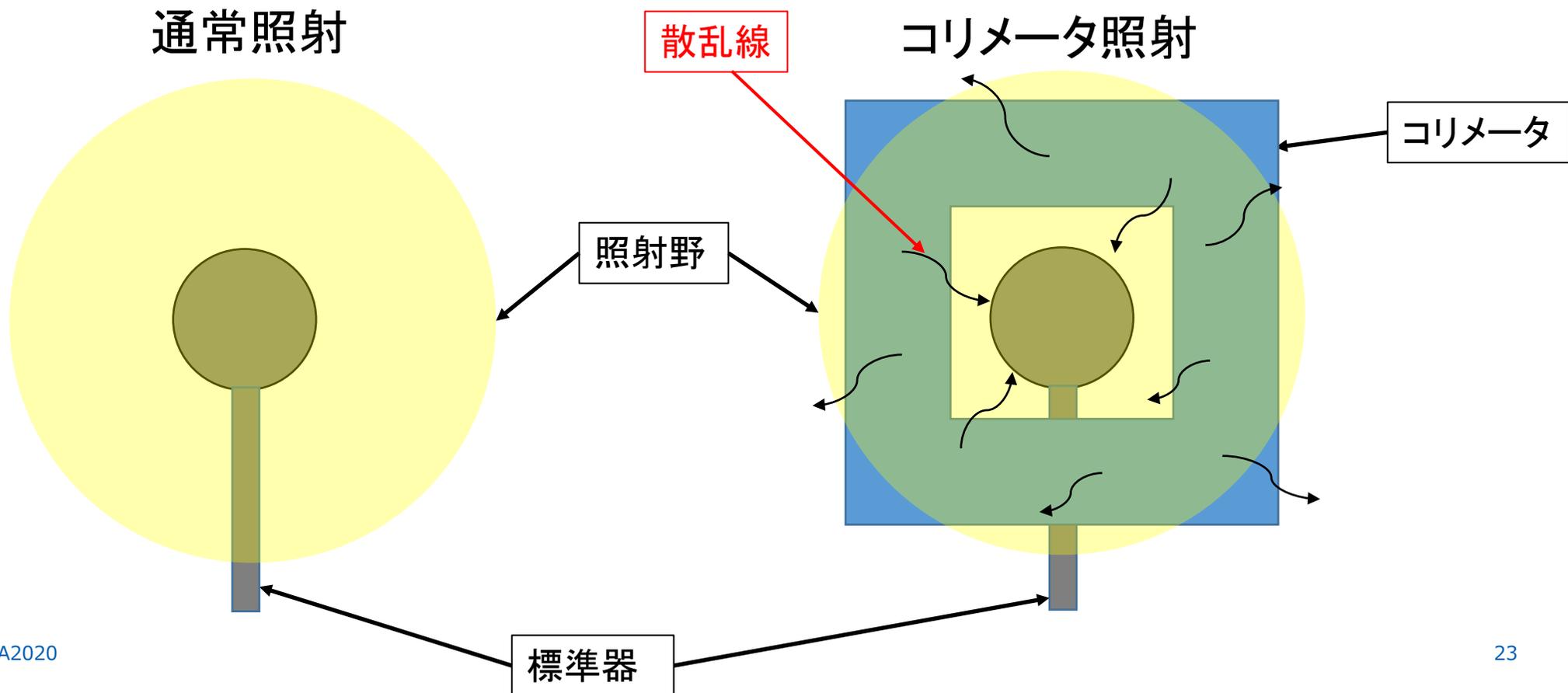
開口面積は表面と裏面の平均値を採用
平均値との差を不確かさとして見積る

平均値 : 10019.4 mm² 差 : 23.8 mm²
→開口面積の不確かさ : 0.3 %

4. 不確かさ評価

- 散乱線の影響
 - コリメータを面積線量計の前方に設置
 - コリメータからの散乱線の影響を測定する

最大0.22%
変化



4. 不確かさ評価

・ バジエットシート

面積線量(空気カーマ、照射線量)										
要 因		実測値 , 仕様書等	不確かさ のタイプ	確率分布	除数	標準不確かさ	感度係数	相対標準 不確かさ	自由度	$\sum u_i^2(Ku) / v_i$
① WSによる照射場設定における不確かさ										
1) WSの校正定数に対する不確かさ	<i>Us</i> ①	0.95%	B	1 σ		0.95%	1	0.95%		
2) 温度補正	<i>Us</i> ②	$\pm 1^\circ\text{C}$	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.58 $^\circ\text{C}$	1/295	0.20%		
3) 気圧補正	<i>Us</i> ③	$\pm 2\text{hPa}$	B	矩形	$\sqrt{3}$	1.15hPa	1/1013.25	0.11%		
4) 照射野の均一性	<i>Us</i> ④	2%	B	矩形	$\sqrt{3}$	1.15%	1	1.15%		
5) 支持具の散乱寄与	<i>Us</i> ⑤	1.2%	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.69%	1	0.69%		
6) 測定位置の設定	<i>Us</i> ⑥	$\pm 1\text{mm}$	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.58mm	2/1200	0.10%		
7) X線装置出力の安定性	<i>Us</i> ⑦	0.83%	B	1 σ		0.83%	1	0.83%		
8) コリメータ開口面積	<i>Us</i> ⑧	0.3%	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.17%	1	0.17%		
9) 指示値の読みとり	(n=5) <i>Us</i> ⑨	1.00%	A	正規	$\sqrt{5}$	0.45%	1	0.45%	4	1.00E-10
② 仲介器の校正における不確かさ										
1) 温度補正	<i>Udut</i> ①	$\pm 1^\circ\text{C}$	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.58 $^\circ\text{C}$	1/295	0.20%		
2) 気圧補正	<i>Udut</i> ②	$\pm 2\text{hPa}$	B	矩形	$\sqrt{3}$	1.15hPa	1/1013.25	0.11%		
3) 照射時間	<i>Udut</i> ③	0.10%	B	矩形	$2\sqrt{3}$	0.03%	1	0.03%		
4) コリメータの散乱寄与	<i>Udut</i> ④	0.22%	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.13%	1	0.13%		
5) 測定位置の設定	<i>Udut</i> ⑤	$\pm 1\text{mm}$	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.58mm	2/1200	0.10%		
6) 指示値の読みとり	(n=3) <i>Udut</i> ⑥	1.20%	A	正規	$\sqrt{3}$	0.69%	1	0.69%	2	1.15E-09
Aタイプの不確かさ	U_{CA}							0.82%		
Bタイプの不確かさ	U_{CB}							1.89%		
相対合成標準不確かさ	U_C							2.06%		
有効自由度	ν_{eff}								144	144
包含係数	k								1.98	
相対拡張不確かさ	$U (k=2)$						5%	(4.13%)		

4. 不確かさ評価

総数2頁の2頁
証明書番号 1800-00000



総数2頁の1頁
証明書番号 1800-00000

校正証明書

依頼者 一般財団法人 日本品質保証機構 計量計測センター
計量計測部 光・放射計測課

住所 東京都八王子市南大沢四丁目4番地4

品名 面積線量計
型式 検出部 TV34044, 指示部 MK4-KDK
製造番号 検出部 1811732, 指示部 001466
管理番号 検出部 B02-02-055-4, 指示部 B02-02-056-4
製造者 PTW FREIBURG

校正項目 空気カーマ, 面積線量
校正方法 JQA校正要領書による (文書番号 E314366)
環境条件 温度22°C±1°C, 湿度15%～65%, 気圧1000 hPa±30 hPa
校正年月日 2020年12月25日
校正実施場所 東京都八王子市南大沢四丁目4番地4
一般財団法人 日本品質保証機構
計量計測センター 光・放射計測課校正室

校正結果は次頁以降のとおりであることを証明します。

2020年12月25日

東京都八王子市南大沢四丁目4番地4
一般財団法人 日本品質保証機構
計量計測センター

所長 片桐 拓朗



この証明書は、国家標準にトレーサブルな標準器により校正した結果を示すものです。書面による承認なしに、この証明書のカラーコピー及び一部分のみを複製して使用することを禁じます。

校正結果

空気カーマ

線質	空気カーマ	表示値	校正定数	校正の不確かさ
RQR5	10.0 mGy	10.0 mGy	1.00	5%
RQR5	1.00 mGy	1.01 mGy	0.99	5%

校正の条件

- 1) 校正の基準点: 電離箱の中心
- 2) 照射方向: 電離箱の表面に対して垂直
- 3) コリメータ開口面積: 100 cm² (10 cm×10 cm)
- 4) Chamber-patient distance: 000 cm
- 5) 校正結果は温度22°C、気圧1013 hPaの状態に換算して求めた。

備考 線質は「JIS T 61267: 2014 表1」による。

面積線量(空気カーマ)

線質	面積線量	表示値	校正定数	校正の不確かさ
RQR5	100 cGy·cm ²	100 cGy·cm ²	1.00	5%
RQR5	10.0 cGy·cm ²	10.0 cGy·cm ²	1.00	5%

校正の条件

- 1) 校正の基準点: 電離箱の中心
- 2) 照射方向: 電離箱の表面に対して垂直
- 3) コリメータ開口面積: 100 cm² (10 cm×10 cm)
- 4) Chamber-patient distance: 000 cm
- 5) 校正結果は温度22°C、気圧1013 hPaの状態に換算して求めた。

備考 線質は「JIS T 61267: 2014 表1」による。

校正の不確かさ

校正の不確かさは、拡張不確かさであり、包含係数 $k=2$ から決定され、約95%の信頼の水準をもつと推定される区間を定める。

使用した標準器等

品名	型式	製造番号	製造者
中硬X線用電離箱	A5	235	Exradin
コリメータ	Pb100	0001	JQA

特記事項 校正品の受領後、ゼロ調整を除き修理及び調整を行わず校正を実施した。

5.まとめ

- 医療診断領域においても線量管理の最適化の意識が高まっている
- 診断参考レベル(DRL)による線量管理を行う際には、面積線量計による測定が推奨されている
- 面積線量計の測定精度維持には定期的な校正が不可欠

ご清聴ありがとうございました