

ページ	新	旧																														
p. 25 最終行	電離箱線量計が表示する値と水吸収線量標準	電離箱線量計が表示する値と水吸収標準																														
p. 44 式 3.7	$D(d_{\max}, A) = \frac{D(d_c, A)}{TMR(d_c, A)}$	$D(d_{\max}, A) = 100 \times \frac{D(d_c, A)}{TMR(d_c, A)}$																														
p. 44 最終行	ステップ 1 は、日本の線量標準機関においてユーザのリファレンス線量計に与えられる $N_{D,w}$ の不確かさである。	ステップ 1 は、標準校正機関におけるユーザの基準電離箱線量計の $N_{D,w}$ 校正の不確かさである。																														
p. 45 表 3	以下の通り修正されました。(印刷して、旧版の上に貼り付けてください。)																															
	<p>表 3.4. <math>^{60}\text{Co}</math> <math>\gamma</math> 線で校正された電離箱線量計による高エネルギー光子線の校正深における水吸収線量 <math>D_{w,Q}</math> 計測値の相対標準不確かさの見積もり</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>物理量または手順</th> <th>相対標準不確かさ (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">ステップ 1: 線量標準機関</td> </tr> <tr> <td>特定二次標準器の校正定数 <math>N_{D,w}</math></td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>特定二次標準器による基準 <math>\gamma</math> 線場の決定</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>二次線量標準機関におけるユーザ電離箱線量計の測定値</td> <td>0.27</td> </tr> <tr> <td>ステップ 1 の合成不確かさ</td> <td>0.52</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ステップ 2: ユーザが使用する高エネルギー光子線</td> </tr> <tr> <td>ユーザ電離箱線量計の長期安定性</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>基準条件の設定</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>モニタ設定値に対する表示値 <math>M_{\text{raw}}</math></td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>補正係数 <math>k_i</math></td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>線質変換係数 <math>k_Q</math> (計算値)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>ステップ 2 の合成不確かさ</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td><math>D_{w,Q}</math> の相対合成標準不確かさ (ステップ 1+2)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>相対拡張標準不確かさ (包含係数 <math>k=2</math>)</td> <td>2.9</td> </tr> </tbody> </table>		物理量または手順	相対標準不確かさ (%)	ステップ 1: 線量標準機関		特定二次標準器の校正定数 $N_{D,w}$	0.40	特定二次標準器による基準 $\gamma$ 線場の決定	0.18	二次線量標準機関におけるユーザ電離箱線量計の測定値	0.27	ステップ 1 の合成不確かさ	0.52	ステップ 2: ユーザが使用する高エネルギー光子線		ユーザ電離箱線量計の長期安定性	0.3	基準条件の設定	0.4	モニタ設定値に対する表示値 $M_{\text{raw}}$	0.6	補正係数 $k_i$	0.4	線質変換係数 $k_Q$ (計算値)	1.0	ステップ 2 の合成不確かさ	1.4	$D_{w,Q}$ の相対合成標準不確かさ (ステップ 1+2)	1.5	相対拡張標準不確かさ (包含係数 $k=2$ )	2.9
物理量または手順	相対標準不確かさ (%)																															
ステップ 1: 線量標準機関																																
特定二次標準器の校正定数 $N_{D,w}$	0.40																															
特定二次標準器による基準 $\gamma$ 線場の決定	0.18																															
二次線量標準機関におけるユーザ電離箱線量計の測定値	0.27																															
ステップ 1 の合成不確かさ	0.52																															
ステップ 2: ユーザが使用する高エネルギー光子線																																
ユーザ電離箱線量計の長期安定性	0.3																															
基準条件の設定	0.4																															
モニタ設定値に対する表示値 $M_{\text{raw}}$	0.6																															
補正係数 $k_i$	0.4																															
線質変換係数 $k_Q$ (計算値)	1.0																															
ステップ 2 の合成不確かさ	1.4																															
$D_{w,Q}$ の相対合成標準不確かさ (ステップ 1+2)	1.5																															
相対拡張標準不確かさ (包含係数 $k=2$ )	2.9																															
p. 45 表の下	高エネルギー光子線の校正における不確かさの評価を表 3.4 に示す。基準電離箱線量計の校正が二次線量標準機関の $^{60}\text{Co}$ で行われた	高エネルギー光子線の校正における不確かさの評価を表 3.4 に示す。基準電離箱線量計の校正が二次標準機関の $^{60}\text{Co}$ で行われたとき、																														

とき、 $D_{w,Q}$ の標準不確かさは1.4%と見積もられる。リファレンス電離箱線量計の校正が一次線量標準機関で行われたとしても、計算による $k_Q$ の不確かさが優位なので $D_{w,Q}$ の全不確かさの見積りは1.4%で変わらない。

~~$D_{w,Q}$ の標準不確かさは、計算による $k_Q$ の不確かさを合成して約1.5%と評価される。もし、基準電離箱線量計の校正が一次線量標準機関で行われたとしても、計算による $k_Q$ の不確かさが優位なので $D_{w,Q}$ の全不確かさの減少は期待できない。もし、ユーザビームにおける $k_Q$ が一次線量標準機関で測定されるなら、 $k_Q$ の不確かさは約1.2%に減少できる。~~

p. 62 表 4.4

以下の通り修正されました。(印刷して、旧版の上に貼り付けてください。)

表 4.4  $^{60}\text{Co}\gamma$  線で校正された電離箱線量計による高エネルギー電子線の校正深における水吸収線量  $D_{w,Q}$  計測値の相対標準不確かさの見積もり

物理量または手順	相対標準不確かさ (%)	
	ファーマ形	平行平板形
	$R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}$	$R_{50} \geq 1 \text{ g cm}^{-2}$
ステップ 1: 線量標準機関		
特定二次標準器の校正定数 $N_{D,w}$	0.40	0.40
特定二次標準器による基準 $\gamma$ 線場の決定	0.18	0.18
二次線量標準機関におけるユーザ電離箱線量計の測定値	0.27	0.27
ステップ 1 の合成不確かさ	0.52	0.52
ステップ 2: ユーザが使用する高エネルギー電子線		
ユーザ電離箱線量計の長期安定性	0.3	0.4
基準条件の設定	0.4	0.6
モニタ設定値に対する表示値 $M_{\text{raw}}$	0.6	0.6
補正係数 $k_f$	0.4	0.5
線質変換係数 $k_Q$ (計算値)	1.0	1.2
ステップ 2 の合成不確かさ	1.4	1.6
$D_{w,Q}$ の相対合成標準不確かさ (ステップ 1+2)	1.5	1.7
相対拡張標準不確かさ (包含係数 $k=2$ )	2.9	3.4

p. 62 表下から 3 行目	<p>表 4.4 に基準線質を <math>^{60}\text{Co}</math> <math>\gamma</math> 線とした場合の校正深での水吸収線量評価の標準不確かさを示す。この表は、円筒形電離箱および平行平板形電離箱について、それぞれ <math>R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}</math> および <math>R_{50} \geq 1 \text{ g cm}^{-2}</math> のエネルギーに対する値である。固体ファントムを使用した場合はこれより大きくなる。</p> <p>ユーザビーム <math>Q_{\text{cross}}</math> による相互校正で平行平板形電離箱の水吸収線量校正定数 <math>N_{D,w,Q_{\text{cross}}}</math> を決定した場合、最終的な校正深水吸収線量の合成標準不確かさは 1.7% から 1.4% に縮小する。詳しくは第 7 章「フィールド線量計の相互校正」を参照されたい。</p>	<p>表 4.4 に基準線質を <math>^{60}\text{Co}</math> <math>\gamma</math> 線とした場合の校正深での水吸収線量評価の標準不確かさを示す。この表は、円筒形電離箱および平行平板形電離箱について、それぞれ <math>R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}</math> および <math>R_{50} \geq 1 \text{ g cm}^{-2}</math> のエネルギーに対する値である。固体ファントムを使用した場合はこれより大きくなる。<del>なお、ここでは一次線量標準機関における二次標準器の水吸収線量校正定数値付けの不確かさを 0.39%、二次線量標準機関における水吸収線量校正定数値付けの不確かさを 0.4% とした。</del></p> <p><del>線質変換係数を計算ではなく実測により値付けた場合、水吸収線量の合成標準不確かさは小さくなると考えられる。仮に測定で値付けされた線質変換係数の標準不確かさが 0.8% であった場合、電子線の水吸収線量の校正標準不確かさは 2.1% から 1.5% に縮小することとなる。</del></p> <p>ユーザビーム <math>Q_{\text{cross}}</math> による相互校正で平行平板形電離箱の水吸収線量校正定数 <math>N_{D,w,Q_{\text{cross}}}</math> を求めた場合、最終的な校正深水吸収線量の合成標準不確かさは 2.1% から 1.4% に縮小する。詳しくは第 7 章「フィールド線量計の相互校正」を参照されたい。</p>
p. 70 8 行目	IBA PPC40	Exradin P11
p. 77 下から 4 行目	前壁厚 $0.104 \text{ g cm}^{-2}$ を校正深に含め、SW ファントムの厚さを $1.24 \text{ cm}$ とする。	前壁厚は $0.00104 \text{ g cm}^{-2}$ であるため、その壁厚は無視できるものとする。
p. 79 下から 4 行目	NACP-02	Exradin A10
p. 80 枠下 1 行目	線量最大深 $d_{\text{max}}$ は、PDD より $1.32 \text{ cm}$ である。	線量最大深 $d_{\text{max}}$ は、PDD より $2.1 \text{ cm}$ である。
p. 80 枠下 2 行目	校正深 $d_c = 1.32 \text{ cm}$ における	校正深 $d_c = 2.1 \text{ cm}$ における
p. 92 表 5.4	以下の通り修正されました。(印刷して、旧版の上に貼り付けてください。)	

表 5.4  $^{60}\text{Co}\gamma$  線で校正された電離箱線量計による治療用陽子線の基準点水吸収線量  $D_{w,Q}$  計測値の相対標準不確かさの見積もり

物理量または手順	相対標準不確かさ (%)	
	ファーマ形	平行平板形
ステップ 1 : 標準校正機関		
特定二次標準器の校正定数 $N_{D,w}$	0.40	0.40
特定二次標準器による基準 $\gamma$ 線場の決定	0.18	0.18
二次線量標準機関におけるユーザ電離箱線量計の測定値	0.27	0.27
ステップ 1 の合成不確かさ	0.52	0.52
ステップ 2 : ユーザ施設の陽子線		
ユーザ電離箱線量計の長期安定性	0.3	0.4
基準条件の設定	0.4	0.4
モニタ設定値に対する表示値 $M_{\text{raw}}$	0.6	0.6
補正係数 $k_i$	0.4	0.5
線質変換係数 $k_Q$ (計算値)	1.7	2.1
ステップ 2 の合成不確かさ	1.9	2.4
$D_{w,Q}$ の相対合成標準不確かさ (ステップ 1+2)	2.0	2.4
相対拡張標準不確かさ (包含係数 $k=2$ )	4.0	4.8

p. 92 表から上へ  
2 行目

円筒形電離箱を用いた場合は 2.0 %，平行平板形電離箱の場合は 2.4 %である。線質変換係数  $k_Q$  の計算に関する物理量の不確かさの詳細は付録 3 で述べる。

円筒形電離箱を用いた場合は 2.0 %，平行平板形電離箱の場合は 2.3 %である。線質変換係数  $k_Q$  の計算に関する物理量の不確かさの詳細は付録 3 で述べる。

p. 103 表 6.3

以下の通り修正されました。(印刷して、旧版の上に貼り付けてください。)

表 6.3 <sup>60</sup>Coγ 線で校正された電離箱線量計による治療用炭素線の校正点における水吸収線量  $D_{w,Q}$  計測値の相対標準不確かさの見積もり

物理量または手順	相対標準不確かさ (%)	
	ファーマ形	平行平板形
ステップ 1: 標準校正機関		
特定二次標準器の校正定数 $N_{D,w}$	0.40	0.40
特定二次標準器による基準 $\gamma$ 線場の決定	0.18	0.18
二次線量標準機関におけるユーザ電離箱線量計の測定値	0.27	0.27
ステップ 1 の合成不確かさ	0.52	0.52
ステップ 2: ユーザ施設の炭素線		
ユーザ電離箱線量計の長期安定性	0.3	0.4
基準条件の設定	0.4	0.6
モニタ設定値に対する表示値 $M_{raw}$	0.6	0.6
補正係数 $k_f$	0.4	0.5
線質変換係数 $k_Q$ (計算値)	2.8	3.2
ステップ 2 の合成不確かさ	3.0	3.4
$D_{w,Q}$ の相対合成標準不確かさ (ステップ 1+2)	3.0	3.5
相対拡張標準不確かさ (包含係数 $k=2$ )	6.0	6.9

p. 109 18 行目	線質変換係数であり, 表 4.3 から得られる	線質変換係数であり, 表 3.3 から得られる。
p. 1125 行目から 7 行目	削除	<del>媒介変数 <math>Q_{int}</math> を基準とした.....(続く 3 行) 円筒形電離箱では同様の線質変換係数 <math>k_{Q,Q_{int}}</math> とする。</del>
p. 115 最下行の式	$N_{D,w,Q_{cross}}^{field} = \frac{M_{Q_{cross}}^{ref} N_{D,w,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}}{M_{Q_{cross}}^{field}} = \frac{0.966}{12.60} = 7.667 \times 10^{-2}$	$N_{D,w,Q_{cross}}^{field} = \frac{M_{Q_{cross}}^{ref} N_{D,w,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}}{M_{Q_{cross}}^{field}} = \frac{0.966}{12.60} = 7.667 \times 10^{-2}$
p. 116	以下の通り追加されました。(印刷して、116 ページの空欄に貼り付けてください。)	

### 7.3.3 相互校正されたフィールド線量計による水吸収線量計測

例  $R_{50}=2.5$  cm, 電位計の表示値  $M$  が 24.85 nC である場合の校正深水吸収線量  $D(d_c, A_0)$

#### 1. 相互校正の線質 $Q_{\text{cross}}$ に対する線質 $Q$ での線質変換係数 $k_{Q,Q_{\text{cross}}}^{\text{field}}$ の算出

Roos 電離箱の相互校正線質 ( $Q_{\text{cross}}$ )  $R_{50}=8.23$  cm に対する  $k_{Q_{\text{cross}},Q_{\text{int}}}^{\text{field}}$  は, 前後の線質  $R_{50}=8.0$  および  $R_{50}=10.0$  g cm<sup>-2</sup> に対する  $k_{Q,Q_{\text{int}}}$  を表 7.1 から読み取り, 以下のように直線内挿により求める。

$$\begin{aligned} k_{Q_{\text{cross}}(8.23),Q_{\text{int}}}^{\text{field}} &= (k_{Q(10.0),Q_{\text{int}}} - k_{Q(8.0),Q_{\text{int}}}) \times \frac{8.23-8.0}{10.0-8.0} + k_{Q(8.0),Q_{\text{int}}} \\ &= (0.987-0.997) \times \frac{0.23}{2.0} + 0.997 = 0.996 \end{aligned}$$

さらに, Roos 電離箱の  $R_{50}=2.5$  cm に対する  $k_{Q,Q_{\text{int}}}$  を表 7.1 から 1.051 と読み取り, 式 (7.8) によって  $k_{Q,Q_{\text{cross}}}^{\text{field}}$  を算出する。

$$k_{Q,Q_{\text{cross}}}^{\text{field}} = \frac{k_{Q,Q_{\text{int}}}^{\text{field}}}{k_{Q_{\text{cross}},Q_{\text{int}}}^{\text{field}}} = \frac{1.051}{0.996} = 1.055$$

#### 2. フィールド線量計による水吸収線量 $D(d_c, A_0)$ の算出

フィールド線量計の補正後の表示値  $M_Q^{\text{field}}$  が 24.85 nC であるので, 相互校正で与えられた水吸収線量校正定数と  $R_{50}=2.5$  cm に対する線質変換係数  $k_{Q,Q_{\text{cross}}}^{\text{field}}$  から, 式 (7.9) により校正深水吸収線量  $D(d_c, A_0)$  を算出する。

$$D(d_c, A_0) = M_Q^{\text{field}} N_{D,w,Q_{\text{cross}}}^{\text{field}} k_{Q,Q_{\text{cross}}}^{\text{field}} = 24.85 \times 7.667 \times 10^{-2} \times 1.055 = 2.010$$

#### 参 考 文 献

- 1) Andreo P, Burns DT, Hohlfeld K, et al. (IAEA): Absorbed dose determination in external beam radiotherapy : An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water, TRS-398, 2000, IAEA, Vienna

[荒木, 小口]

p. 130 右 3 行目	<p>3. おわりに</p> <p>本付録では産総研の<sup>60</sup>Co γ線場での水吸収線量率一次標準の測定と不確かさについて紹介した<sup>4)</sup>。この水吸収線量標準については、国際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures; BIPM)との二機関比較、アジア太平洋計量計画(Asia Pacific Metrology Program; APMP)域内での多国間比較を行なっている。これらの結果については<a href="http://www.bipm.org/en/cipm-mra/">http://www.bipm.org/en/cipm-mra/</a>で確認できるので、更に詳細な情報が必要な場合にはご参照いただきたい<sup>5)</sup>。</p>	<p>3. おわりに</p> <p>本付録では産総研の<sup>60</sup>Co γ線場での水吸収線量率一次標準の測定と不確かさについて紹介した。この水吸収線量標準については、国際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures; BIPM)との二機関比較、アジア太平洋計量計画(Asia Pacific Metrology Program; APMP)域内での多国間比較を行なっている。これらの結果については<a href="http://www.bipm.org/en/cipm-mra/">http://www.bipm.org/en/cipm-mra/</a>で確認できるので、更に詳細な情報が必要な場合にはご参照いただきたい。</p>
p. 131 左 参考文献に	<p>4) Morishita Y, Kato M, Takata N, et al.: A standard for absorbed dose rate to water in a <sup>60</sup>Co field using a graphite calorimeter at the national metrology institute of Japan, Radiat. Prot. Dosimetry doi:10.1093/rpd/ncs235, 2012</p> <p>5) Kessler C, Allisy-Roberts PJ, Morishita Y, et al.: Comparison of the standards for absorbed dose to water of the NMIJ and the BIPM for <sup>60</sup>Co γ-ray beams, Metrologia 48, Tech. Suppl. 06008, 2011</p> <p>を追加。</p>	
p. 142 右 3 行目	水吸収線量校正定数は電子線での相互校正	線質変換係数は高エネルギー電子線での相互校正
p. 143 左下から 8 行目	大野	小野
p. 149 左 6 行目	削除	[河内, 齋藤, 福村, 金井, 都丸]
p. 188 左 23 行目	RTQA <del>2</del> 、EBT2 および EBT3 は	RTQA、EBT2 および EBT3 は
p. 244 左下から 10 行目	水吸収線量は電離空洞内に生じた	<del>有限の大きさの</del> 電離空洞内に生じた
p. 245 左 14 行目	しかし、小型の電離箱線量計は	しかし、小型の電離箱線量計 <del>は</del>
p. 245 左 16 行目	照射野サイズに依存するノイズの影響を強く受けるため、	照射野サイズに依存 <del>してノイズが変化するため、</del>
p. 245 右下から 7 行目	これによる電離箱の感度、つまり線質変換係数の変化は	これによる電離箱の感度 <del>すなわち、</del> 線質変換係数の変化は

p. 246 左本文に続けて	また表 A19.1 に示されるように、半導体検出器は 1 cm×1 cm 以下の極小照射野で応答が過大となる場合があるため注意が必要である。 を挿入	
p. 248 左下から 11、9、6 行目文末	句点「.」を「。」に修正 (3 か所)	
p. 248 右下から 5 行目	$^{CK}TPR_{20,10}=0.64$ と通常のリニアックの $TPR_{20,10}=0.68$ の線質は、それぞれの基準条件における電離箱計測でほぼ等価な線質とみなすことができる。さらに、 $0.62 \leq ^{CK}TPR_{20,10} \leq 0.66$ であれば $k_{Q,Q_0}$ $k_{Q_{msr},Q}^{f_{msr},f_{ref}}$ は $\pm 0.3\%$ 以内の変化である <sup>2,3,4</sup> 。	通常のリニアックで $TPR_{20,10}=0.68$ である線質は、CyberKnife の $^{CK}TPR_{20,10}=0.64$ の線質とほぼ等価であり、 $0.62 \leq ^{CK}TPR_{20,10} \leq 0.66$ であれば $k_{Q,Q_0}$ $k_{Q_{msr},Q}^{f_{msr},f_{ref}}$ は $\pm 0.3\%$ 以内の変化である <sup>2,3,4</sup> 。
p. 249 左下から 13 行目	検出器の設置位置に細心の注意を払う必要がある。	検出器の設置位置 <del>精度</del> に細心の注意を払う必要がある。
p. 250 表 A20.4 および A20.5	次の通り修正されました。(印刷して、旧版の上に貼り付けてください。)	

表 A 20.4 TomoTherapy の照射野 10 cm×10 cm ( $f_{ref}$ ) を基準とした線質変換係数

$f_{msr}$	$k_{Q_{msr}, Q}^{f_{msr}, f_{ref}^{(6)}}$	$f_{pcsr}$	$k_{Q_{pcsr}, Q}^{f_{pcsr}, f_{ref}^{(10,1)}}$
10 cm × 5 cm	0.997	Helical, 5 cm	1.000
10 cm × 2 cm	0.993	Helical, 2.5 cm	1.000
2 cm × 2 cm	0.990	Helical, 1 cm	0.997

※  $k_{Q_{msr}, Q}^{f_{msr}, f_{ref}}$  はグラファイト壁のファーマ形電離箱モデルについて計算された数値であり、体積平均効果を含まない。また、 $k_{Q_{pcsr}, Q}^{f_{pcsr}, f_{ref}}$  は NE2611 電離箱について計算され、体軸方向のコリメータ開度をそれぞれ 5 cm, 2.5 cm および 1 cm とした値である。

表 A 20.5 CyberKnife および TomoTherapy の  $f_{msr}$  での標準計測の例

	CyberKnife	TomoTherapy
電離箱	TM31010 (PTW)	Exradin A1SL (Standard imaging)
電位計	UNIDOS weblin (PTW)	Tomo Electrometer (Standard imaging)
$N_{D,w}$	$3.024 \times 10^{-1} \text{ Gy nC}^{-1}$	$5.740 \times 10^{-1} \text{ Gy nC}^{-1}$
$CK(HT)TPR_{20,10}$	0.639	0.614
$TPR_{20,10}$	0.680	0.631 (= $1.027 \times^{HT} TPR_{20,10}$ )
$k_{Q,Q_0}$	-	1.001
$k_{Q,Q_0}^{f_{msr}, f_{ref}}$	0.989	1.001 × 1.000
$M_{Q_{msr}}^{f_{msr}}$	4.855 nC	8.785 nC/min
$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}} (d_c = 10 \text{ cm})$	1.452 Gy / 200MU	5.048 Gy/min
$TMR / PDD$	0.728 (TMR)	59.1 (PDD)
$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}} (d_r)$	1.995 Gy / 200MU ( $d_r=1.5 \text{ cm}$ )	8.541 Gy/min ( $d_r=1.2 \text{ cm}$ )