



放射線治療あすなる会

Radiation Therapy Asunaro Meeting

～放射線治療スタッフによる知識・技術の連携～

## 計測部会報告

# X線校正に関するアンケート調査 (基礎的な係数調査)

青森市民病院 医療技術局 診療放射線部

大湯めぐみ

# 放射線治療あすなる会 計測部会

放射線計測学の視点から、

東北及び新潟地域のより安全な放射線治療の提供を目指す

部会長	岡 善隆	(福島県立医科大学附属病院)
青森	大湯めぐみ	(青森市民病院)
	村上 翔	(弘前大学医学部附属病院)
岩手	朝岡亮哉	(岩手県立中央病院)
	中村文哉	(岩手医科大学附属病院)
宮城	小川千尋	(東北大学病院)
秋田	齊藤 仁	(JA秋田厚生連 秋田厚生医療センター)
	菅原康紘	(JA秋田厚生連 由利組合総合病院)
山形	佐藤公彦	(日本海総合病院)
福島	小森慎也	(南東北BNCT研究センター)
	星 佑樹	(福島県立医科大学附属病院)
新潟	山田 巧	(新潟大学医歯学総合病院)

# 2021～2022年 活動内容

X線校正に関する各係数などのアンケート調査  
(実施施設の出力線量の再確認および装置・機器の情報共有)

第1回計測部会(Web)	2021年11月18日(木)	キックオフミーティング
第2回	2022年01月11日(火)	2021年度活動内容決定
第3回	01月31日(月)	アンケート準備
第4回	02月08日(火)	//
第5回	03月08日(火)	//
第6回	04月18日(火)	アンケート集計
第7回	05月09日(月)	//
第8回	06月20日(月)	//
第9回	07月14日(木)	抄録作成
第10回	09月20日(火)	結果報告の内容確認

# アンケート調査をおこなった背景

\* 2021年、国内で過誤照射事故の報告

- ・ リニアックを使用した治療施設
- ・ 出力線量計測、モニタ線量計調整の場面
- ・ 電位計操作に起因する事故

\* 日本放射線腫瘍学会 「出力線量の再確認」 を通知

\* 計測部会 「第三者評価による出力線量評価」

- ・ X線校正に関するアンケート調査
- ・ ガラス線量計を用いた外部線量評価

# アンケート調査の方法

東北及び新潟地域の放射線治療実施施設へアンケートを送付

調査シート(Excel)

集計対象 : 汎用型リニアック

実施期間 : 2022年2月~2022年3月

※ 2SDを超えた場合は再確認を依頼

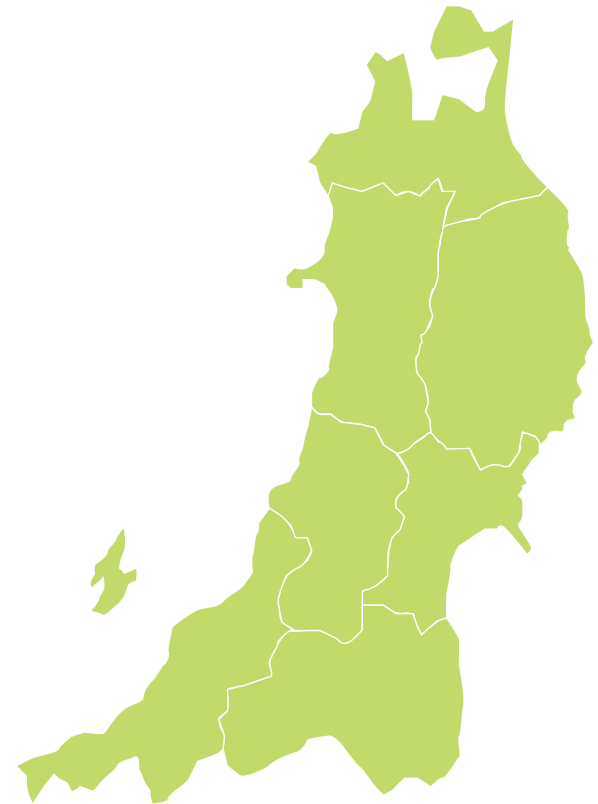
## 《アンケート項目》

1. 基本情報 (施設情報)
2. 測定機器情報 (電位計・電離箱)
3. 治療計画装置 (アルゴリズムなど)
4. 照射係数情報 ( $k_Q$ ,  $k_{pol}$ ,  $k_s$ など)
5. X線校正計算シート

# ご協力ありがとうございました

回答施設数 汎用リニアック台数

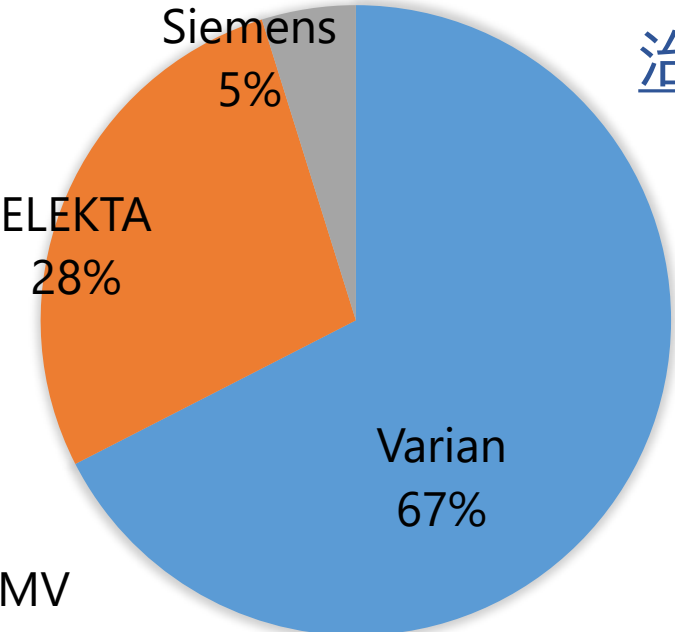
青森	7	8
岩手	11	13
秋田	8	9
宮城	12	17
山形	7	8
福島	9	12
新潟	16	17
	70	84



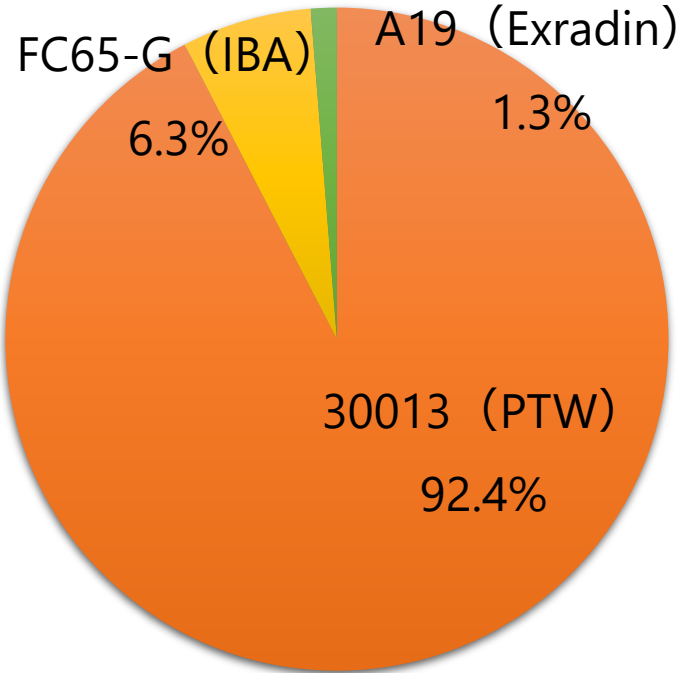
## 《アンケートの結果報告》

第12回東北放射線医療技術学術大会 : 佐藤 公彦 (日本海総合病院)  
第6回放射線治療あすなる会 : 大湯 めぐみ (青森市民病院)  
アンケート結果報告 (各県) : 各県所属の計測部会員から

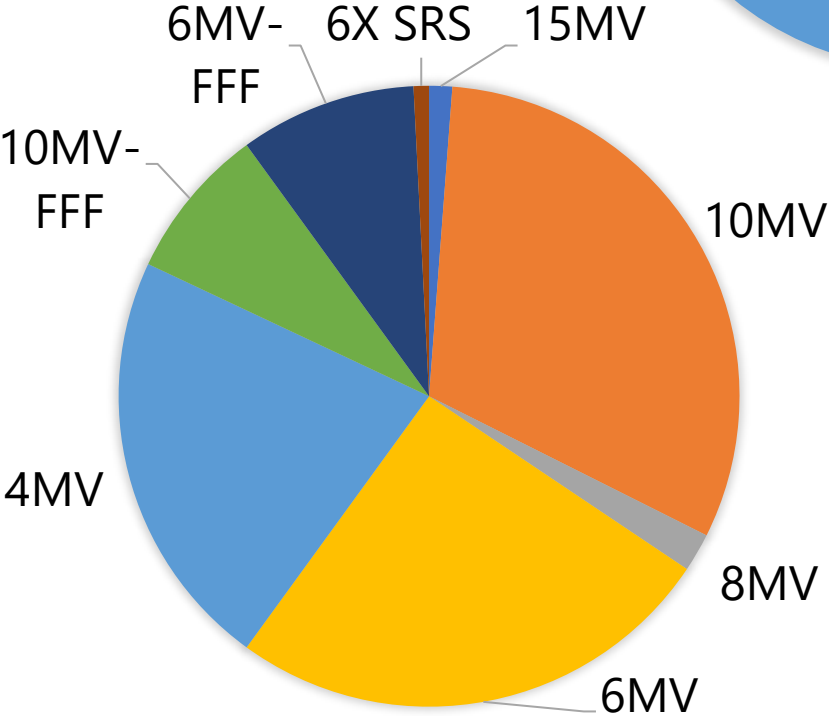
治療装置



電離箱



エネルギー



# 標準計測法12における吸収線量計測

《校正深  $d_c$  における吸収線量》

$$D(d_c, A) = M_Q N_{D,W} k_Q$$

補正後の表示値

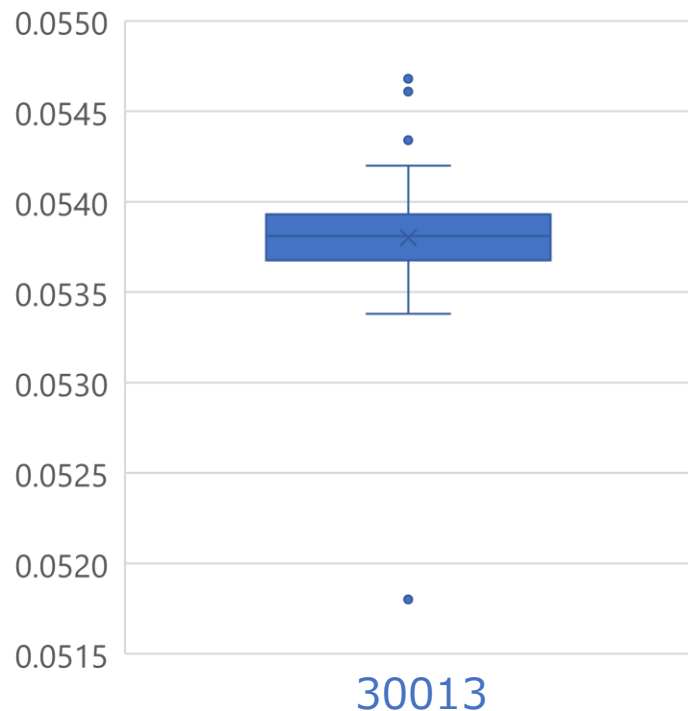
$$M_Q = M_{\text{raw}} k_{\text{TP}} k_{\text{elec}} k_S k_{\text{pol}}$$

《線量最大深  $d_{\text{max}}$  における吸収線量》

$$D(d_{\text{max}}, A) = \frac{D(d_c, A)}{TMR(d_c, A)}$$

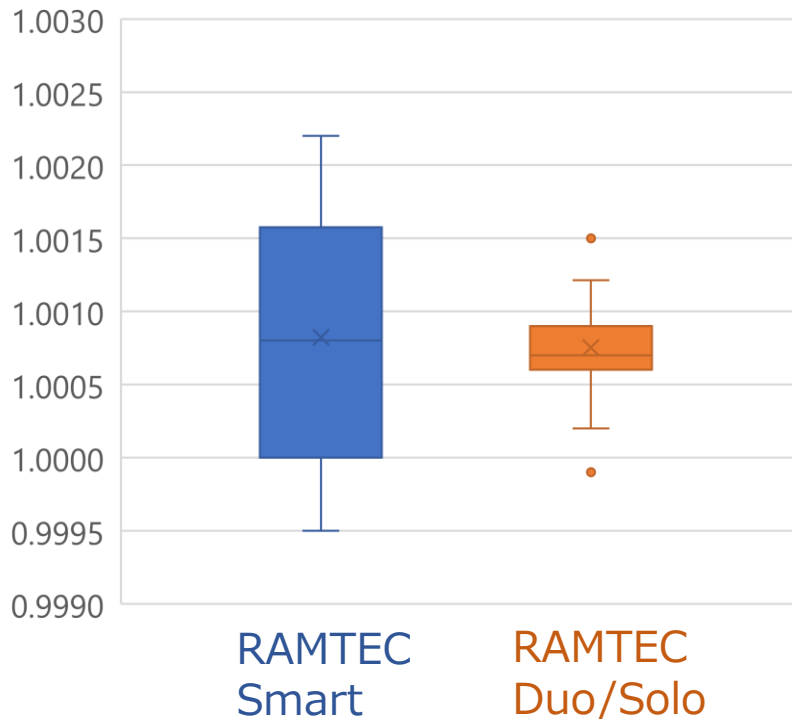
校正深における  $TMR$



$N_{D,W}$  (水吸収線量校正定数)

	平均値 ± SD (n=データ数)
30013 (PTW)	0.05380 ± 0.0003 (n=73)
FC65-G (IBA)	0.04814 ± 0.0001 (n=5)
A19 (Exradin)	0.04960 (n=1)

- 電離箱によって平均値に違い
- 値のばらつきは小さい
- 2SDから外れる → 毎年の $N_{D,W}$ の値に変動はない

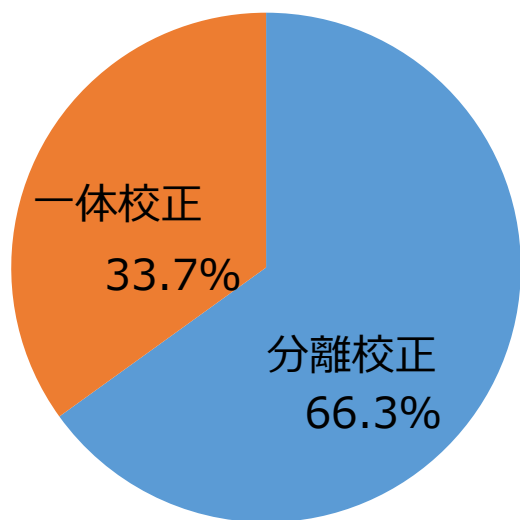
$k_{\text{elec}}$  (電位計校正定数) 分離校正のみ

RAMTEC Smart (東洋メディック)	$1.0008 \pm 0.0008$ (n=31)
RAMTEC Duo / Solo (東洋メディック)	$1.0008 \pm 0.0004$ (n=19)
UNIDOS weblin (PTW)	$0.9997 \pm 0.0005$ (n=4)
FLUKE35040 (Fluke Biomedical)	0.9998 (n=1)

- ・ メーカーによって平均値に違いがある
- ・ それぞれの値のばらつきは小さい

# 分離校正における注意点

- 校正定数の取り扱いに注意  
(電位計と電離箱の組み合わせの幅が広がる)
- 電位計の印加方式を再確認  
(校正申込時、**収集電荷の極性を記載**)



校正方法の割合(集計結果)  
※2022年3月時点

## 表示電圧と収集電荷の極性

### RAMTEC Smart

表示 -300 V 集電極に +300 V印加 **-電荷**を収集

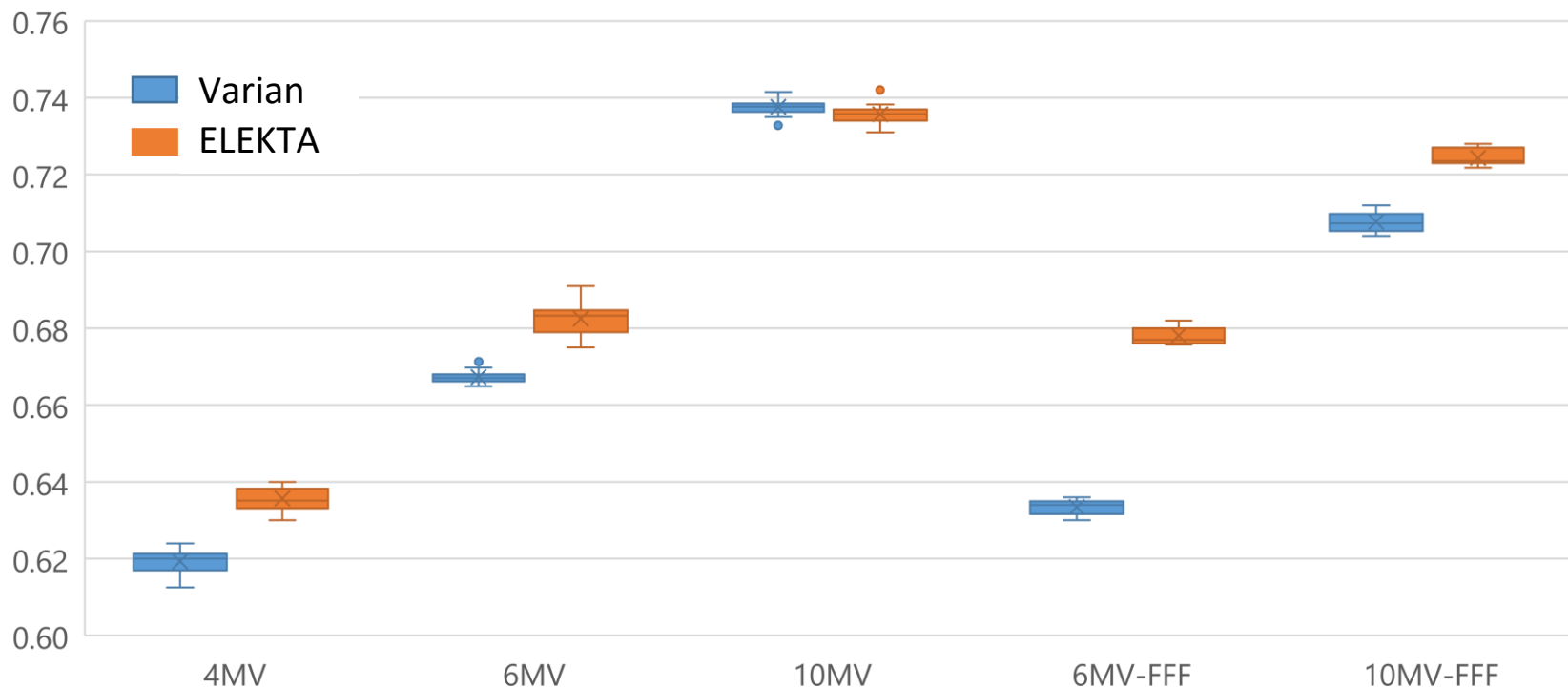
### RAMTEC Duo/Solo

表示 -300 V 集電極に -300 V印加 **+電荷**を収集

### UNIDOS Webline

表示 -300 V 集電極に +300 V印加 **-電荷**を収集

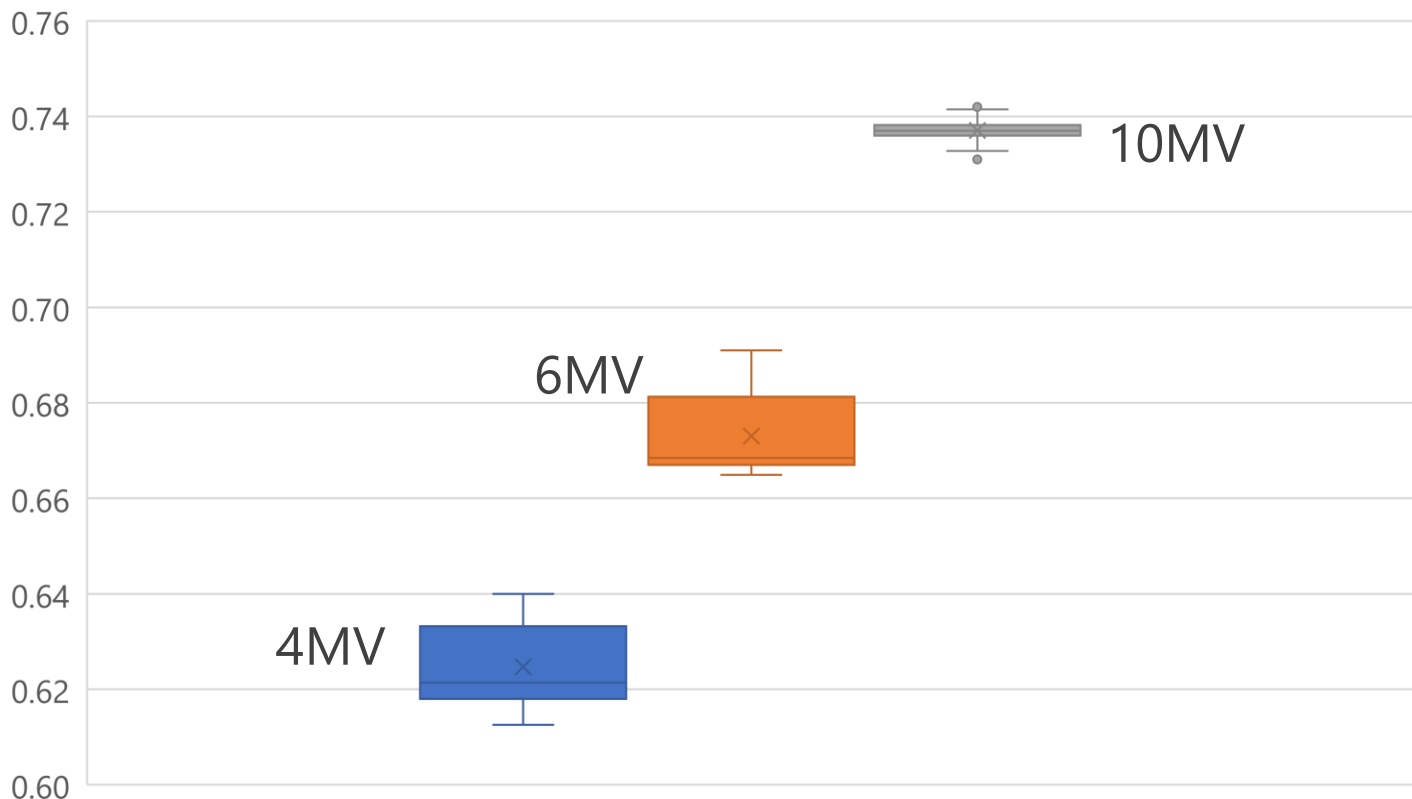
# $TPR_{20,10}$ (線質指標)



	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF
Varian	$0.619 \pm 0.003$ (n=36)	$0.667 \pm 0.001$ (n=38)	$0.738 \pm 0.002$ (n=53)	$0.633 \pm 0.002$ (n=15)	$0.708 \pm 0.003$ (n=12)
ELEKTA	$0.635 \pm 0.003$ (n=17)	$0.682 \pm 0.004$ (n=21)	$0.736 \pm 0.002$ (n=21)	$0.677 \pm 0.002$ (n=6)	$0.724 \pm 0.002$ (n=6)
Siemens	0.625 (n=1)	0.674 (n=2)	0.742 (n=2)		

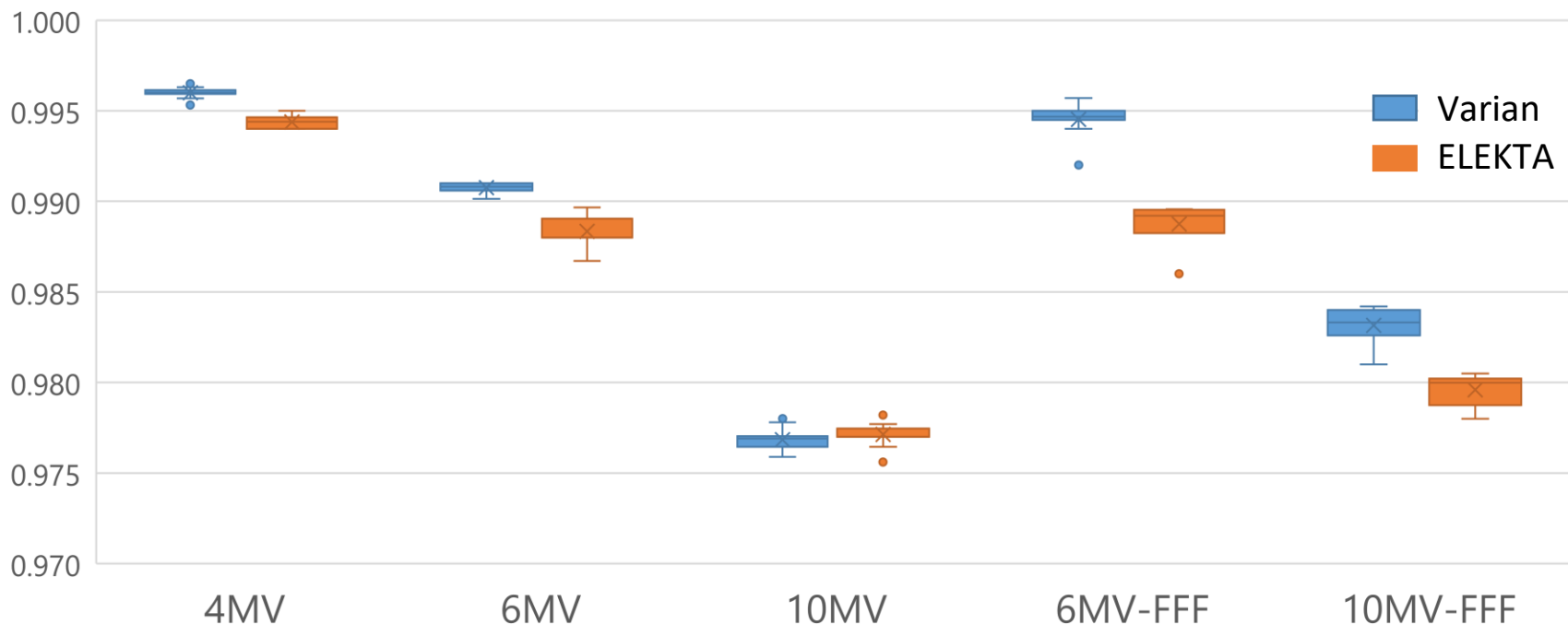
- ・ エネルギーが高いほど、値は大きい
- ・ それぞれの値のばらつきは小さい

# $TPR_{20,10}$ 施設間での違い



・高エネルギーほど、ばらつきが小さい

# $k_Q$ (線質変換係数) @PTW30013



	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF
Varian	$0.996 \pm 0.0002$ (n=33)	$0.991 \pm 0.0002$ (n=35)	$0.977 \pm 0.0005$ (n=50)	$0.995 \pm 0.0009$ (n=12)	$0.983 \pm 0.0011$ (n=11)
ELEKTA	$0.994 \pm 0.0003$ (n=17)	$0.988 \pm 0.0007$ (n=21)	$0.977 \pm 0.0006$ (n=21)	$0.989 \pm 0.012$ (n=6)	$0.980 \pm 0.0008$ (n=6)
Siemens	0.996 (n=1)	0.990 (n=2)	0.976 (n=2)		

・ エネルギーが高いほど、値は小さい ・ それぞれの値のばらつきは小さい



# 光子線に対する $k_Q$ の計算

$$k_Q = \frac{N_{D,W,Q} \quad (\text{ユーザー線質 : Q})}{N_{D,W} \quad (\text{基準線質 : } ^{60}\text{Co}\gamma\text{線})}$$

$$= \frac{[(\bar{L}/\rho)_{W,\text{air}} P_{\text{wall}} P_{\text{cav}} P_{\text{dis}} P_{\text{cel}}]_Q}{[(\bar{L}/\rho)_{W,\text{air}} P_{\text{wall}} P_{\text{cav}} P_{\text{dis}} P_{\text{cel}}]^{60\text{Co}}}$$

↑  
水/空気の  
平均制限質量衝突阻止能比  
 $TPR_{20,10}$ の関数

↑  
擾乱補正  
Bragg-Grayの空洞理論が  
成立するための条件が満たされない  
ことに対する補正



# ユーザーにおける $k_Q$ 決定の実際

- $k_Q$ の表から電離箱型式と線質指標 $TPR_{20,10}$ の交点を読み取る
- $TPR_{20,10}$ が中間の値の場合、内挿によって求める

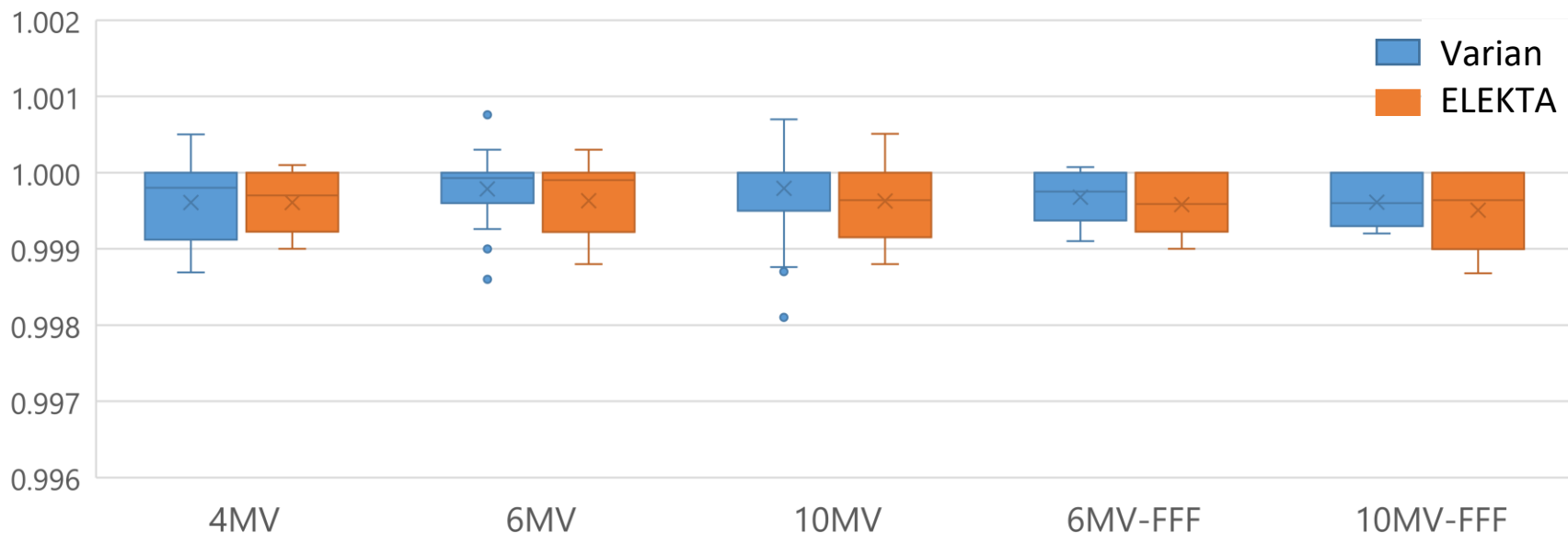
光子線に対する線質変換係数 $k_Q$  (標準計測法12 記載)

電離箱	$TPR_{20,10}$										
	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80
Exradin(A19)	1.002	1.001	1.000	0.999	0.996	0.993	0.989	0.984	0.978	0.971	0.963
IBA(FC65-G)	1.002	1.001	0.999	0.997	0.994	0.991	0.987	0.983	0.977	0.971	0.964
PTW(30013)	0.999	0.998	0.996	0.993	0.989	0.985	0.981	0.976	0.971	0.964	0.957

## 《 $k_Q$ 決定過程で気を付けること》

- 補間計算のミス
- 表からの読み取り間違い
- $TPR_{20,10}$ の測定誤差の影響はわずか

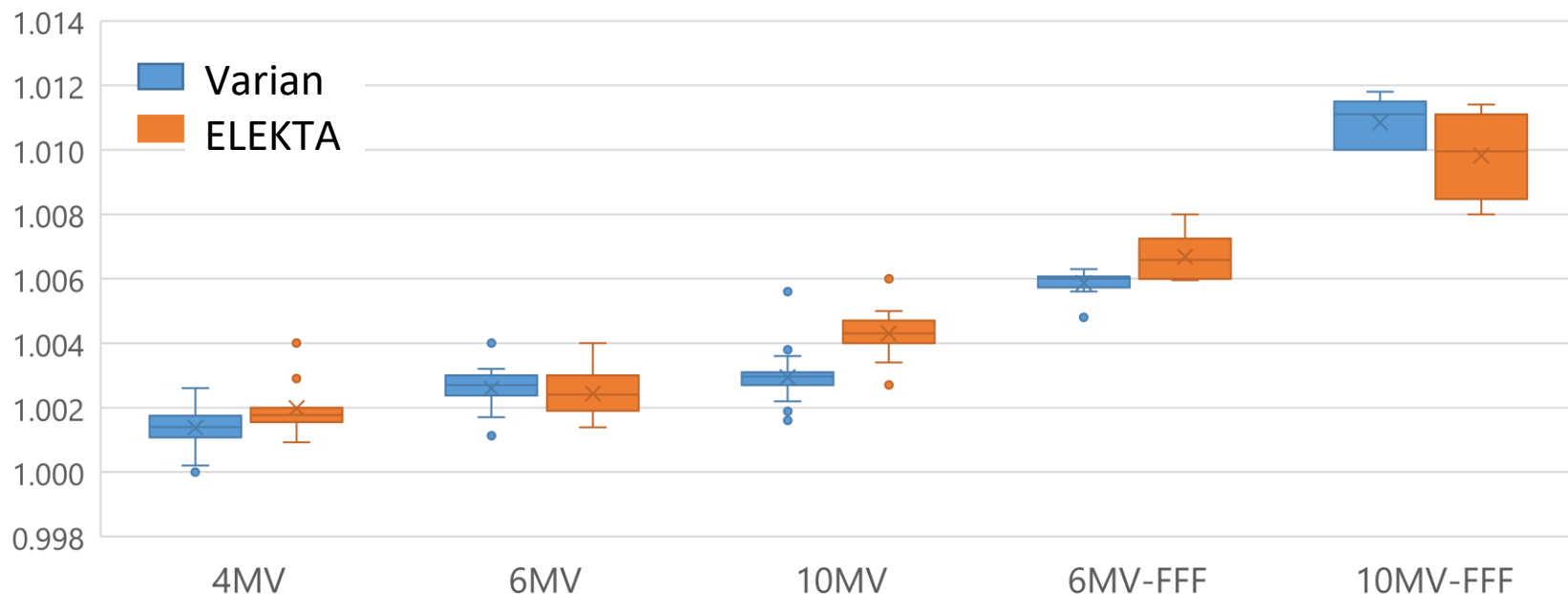
# $k_{\text{pol}}$ (極性効果補正係数)@PTW30013



Varian	1.000 ± 0.0004 (n=33)	1.000 ± 0.0004 (n=35)	1.000 ± 0.0005 (n=50)	1.000 ± 0.0003 (n=12)	1.000 ± 0.0003 (n=11)
ELEKTA	1.000 ± 0.0004 (n=17)	1.000 ± 0.0005 (n=21)	1.000 ± 0.0005 (n=21)	1.000 ± 0.0004 (n=6)	1.000 ± 0.0005 (n=6)
Siemens	1.000 (n=1)	1.000 (n=2)	1.000 (n=2)		

- 全メーカー、エネルギーで平均値は1.000
- それぞれの値のばらつきは小さい

# $k_s$ (イオン再結合補正係数)@PTW30013

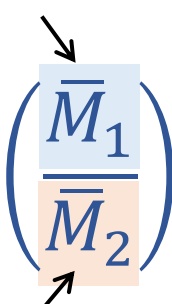


Varian	$1.001 \pm 0.0006$ (n=33)	$1.003 \pm 0.0007$ (n=35)	$1.003 \pm 0.0006$ (n=50)	$1.006 \pm 0.0004$ (n=12)	$1.011 \pm 0.0007$ (n=11)
ELEKTA	$1.002 \pm 0.0008$ (n=17)	$1.002 \pm 0.0007$ (n=21)	$1.004 \pm 0.0007$ (n=21)	$1.007 \pm 0.0007$ (n=6)	$1.010 \pm 0.0013$ (n=6)
Siemens	1.002 (n=1)	1.003 (n=2)	1.004 (n=2)		

- ・ エネルギーが高いほど値は大きい
- ・ それぞれの値のばらつきは小さい

## 2点電圧法による $k_S$ 測定 (パルス放射線の場合)

$$k_S = \alpha_0 + \alpha_1 \left( \frac{\bar{M}_1}{\bar{M}_2} \right) + \alpha_2 \left( \frac{\bar{M}_1}{\bar{M}_2} \right)^2$$

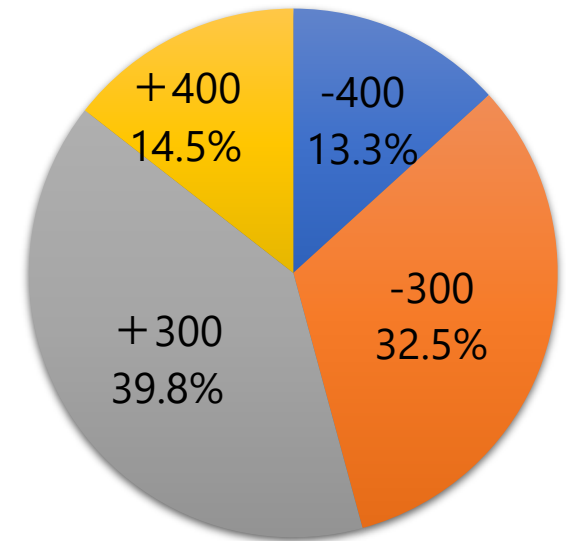
$V_1$ での測定値  
  
 $V_2$ での測定値

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$  :  $V_1/V_2$ より表から抜粋した値

$V_1/V_2$	パルス放射線			パルススキャン放射線		
	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
2.0	2.337	-3.636	2.299	4.711	-8.242	4.533
2.5	1.474	-1.587	1.114	2.719	-3.977	2.261
3.0	1.198	-0.875	0.677	2.001	-2.402	1.404
3.5	1.080	-0.542	0.463	1.665	-1.647	0.984
4.0	1.022	-0.363	0.341	1.468	-1.200	0.734
5.0	0.975	-0.188	0.214	1.279	-0.750	0.474

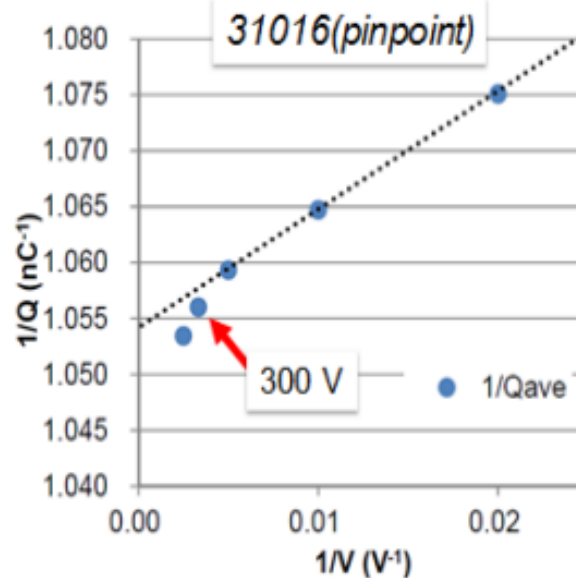
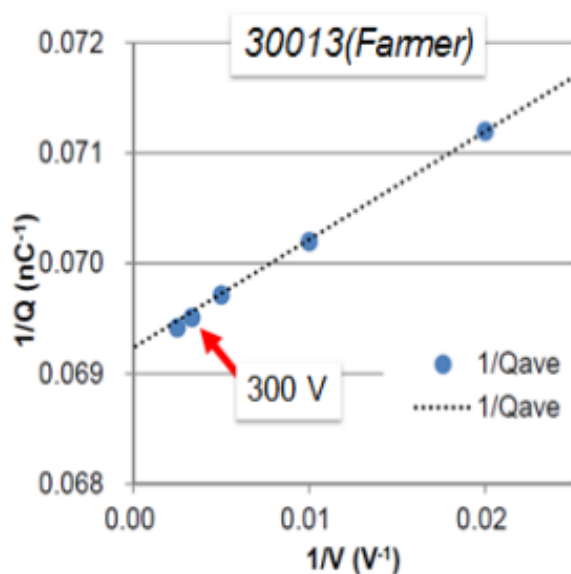
# 2点電圧法による $k_s$ 測定の注意点

- i)  $V_1/V_2$ は2以上（できれば3以上）
- ii) 印加電圧変更時、表示値が安定するまで待つ
  - ・  $k_s < 1$ という異常な値を得る可能性
- iii)  $M_1$ 、 $M_2$ で極性効果補正する
- iv) 定格電圧以上にすることは避ける
  - ・ Boagの理論から逸脱  
（ $1/Q$ と $1/V$ の比例関係が崩れる）
  - ・ 電離イオンによる二次電離(ガス増幅)

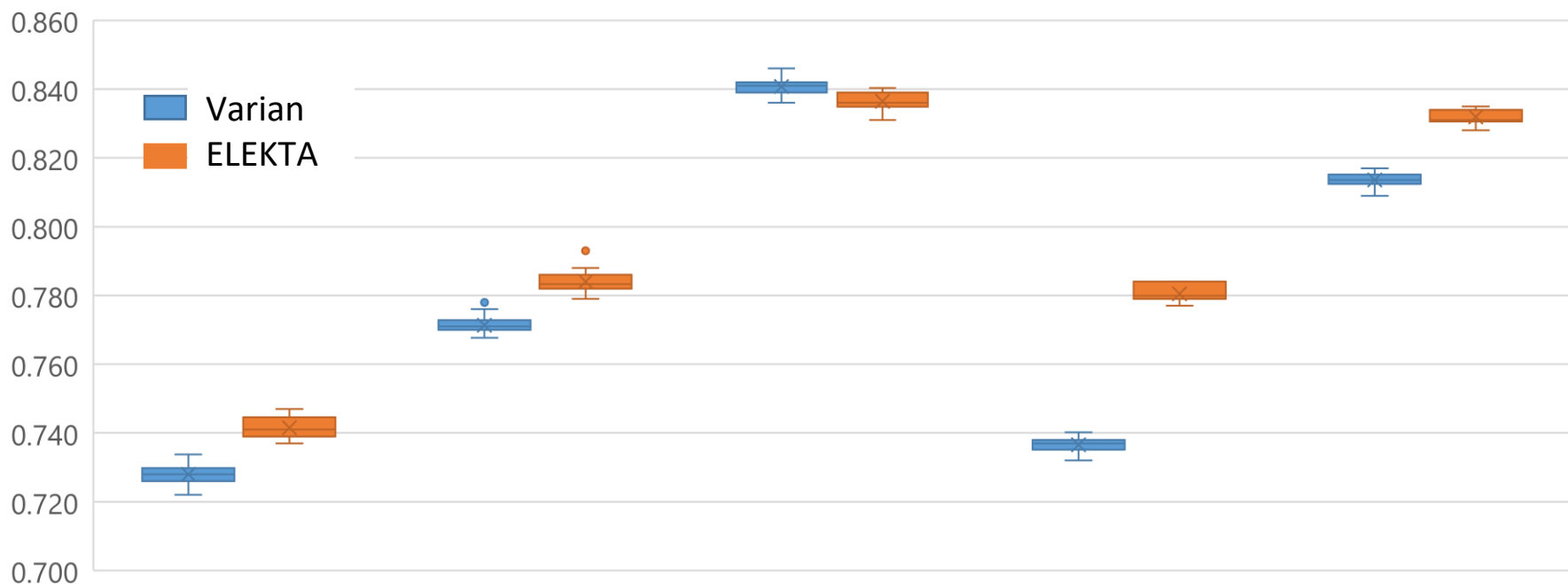


印加電圧（集計結果より）

# 電離箱線量計によるJaffe plotの違い



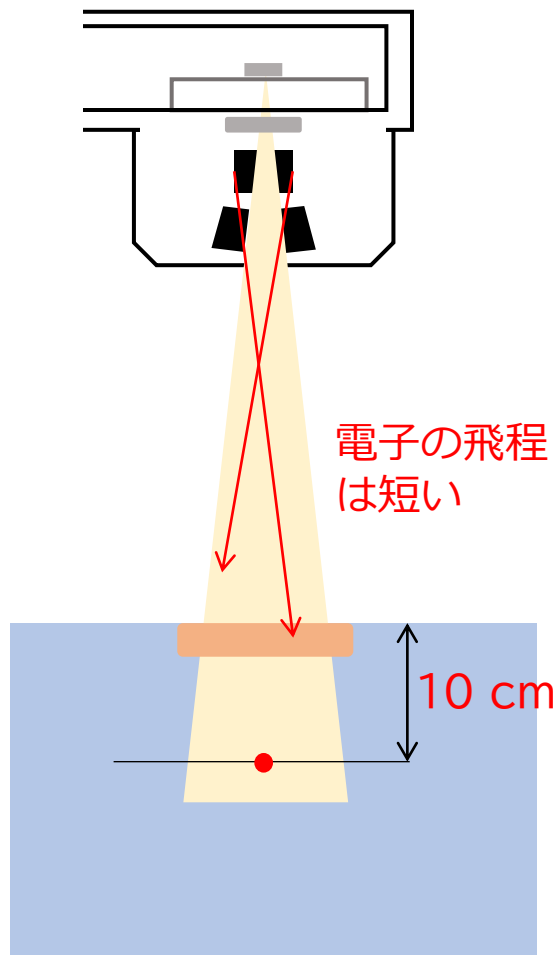
- 印加電圧は $1/Q$ と $1/V$ が直線関係にある電圧を選択する
- 円筒型電離箱は上限300 V推奨(TG-51 Addendum)

$TMR(10 \times 10, 10)$ 

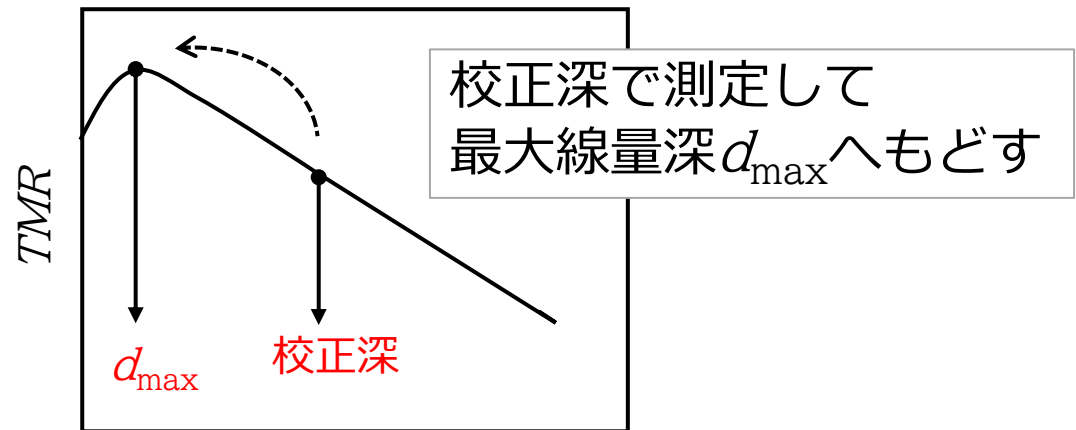
	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF
Varian	$0.728 \pm 0.003$ (n=36)	$0.771 \pm 0.002$ (n=38)	$0.841 \pm 0.002$ (n=53)	$0.737 \pm 0.002$ (n=16)	$0.814 \pm 0.002$ (n=13)
ELEKTA	$0.742 \pm 0.003$ (n=18)	$0.784 \pm 0.003$ (n=23)	$0.836 \pm 0.002$ (n=23)	$0.781 \pm 0.002$ (n=7)	$0.832 \pm 0.002$ (n=7)
Siemens	0.733 (n=1)	0.776 (n=3)	0.847 (n=2)		

・エネルギーが高いほど、値は大きい    ・それぞれの値のばらつきは小さい

# なぜ校正深(10 cm)で計測するのか



- ヘッド内で発生する散乱電子(混入電子)の影響をおさえる  
→ 純粋なX線線質で評価
- ビルドアップ領域の影響を受けない  
→ 過渡電子平衡の成立





# アンケート調査を終えて

- X線校正に用いる各係数の“ばらつき”は僅かだった
- 入力ミスは散見されたものの、線量校正の算出方法に問題はなかった
- あらためて線量校正を考えるきっかけになった
- 施設間のコミュニティが構築でき、意見交流がしやすくなった

# アンケート結果の詳細はあすなる会HPに掲載予定です



## 放射線治療あすなる会 Radiation Therapy Asunaro Meeting

～放射線治療スタッフによる知識・技術の連携～

ホーム

あすなる会について

会則

組織編成

各種部会

掲示板

お問い合わせ

協賛各社

青森

秋田

宮城

岩手

山形

福島

新潟

日本放射線治療専門技師認定機構

(過去のNews→)

### News

#### 放射線治療あすなる会 第6回総合学術セミナー (Web開催)

開催日：2022年10月22日(土) 12:00～17:45頃 開催方法：Zoom 参加費：無料

※ 詳細は以下、開催案内を参照してください。

※放射線治療品質管理機構は、0.2単位となりました。(今回開催分(第6回)から2024年10月開催分まで)

安全管理部会

特殊放射線治療部会

Web会議利用申請

総合学術セミナー (実施済み)

# 謝辞

アンケートにご協力いただきました  
ご施設の皆様に深く御礼申し上げます