

# 眼の水晶体等価線量評価に用いる 線量計の試験校正手法の開発

産業技術総合研究所  
放射線標準研究グループ  
加藤昌弘

2011年に国際放射線防護委員会(ICRP)は、水晶体の職業被ばくの等価線量限度値を引き下げる声明を出した。国内規制に取り入れるための検討が急務である。

信頼性の高い水晶体等価線量の管理を行うには  
国内の線量計の試験・校正システムの確立が欠かせない。

X線及びβ線の標準場を開発することにより、  
国内の水晶体被ばく線量評価に用いる  
線量計の試験・校正システムの確立に寄与



水晶体被ばく線量評価用線量計による測定信頼性の向上



複数の線量計で測定された水晶体被ばくに関する研究・調査データの斉一性を担保

放射線作業従事者の安心と安全

水晶体の被ばくの恐れのある作業



放射線で位置を確認しながら治療

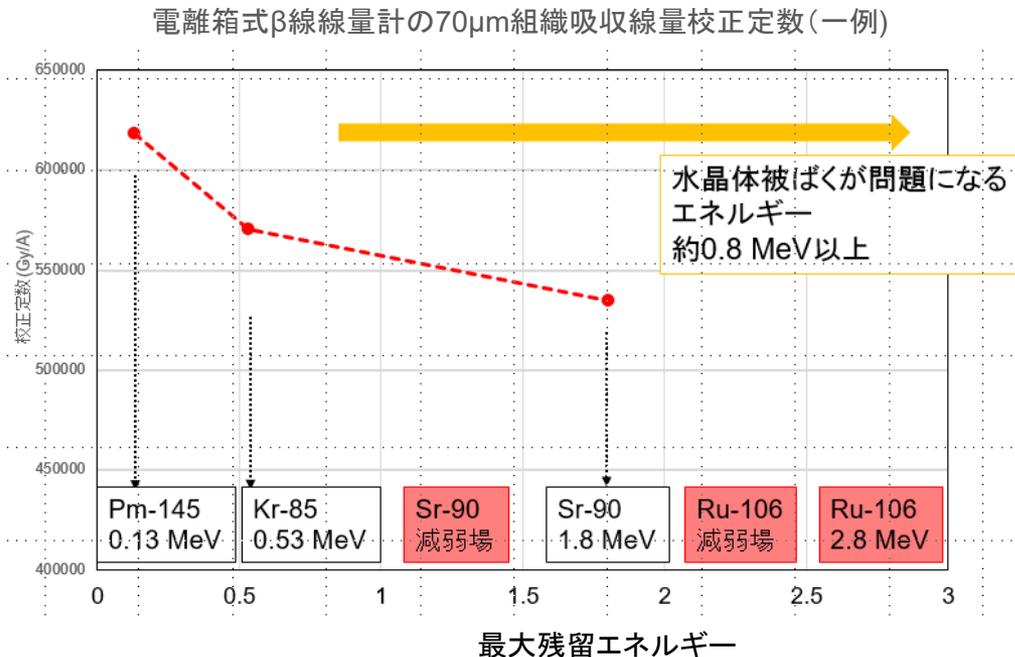


放射線施設での作業

## ◎ β線のエネルギー拡大

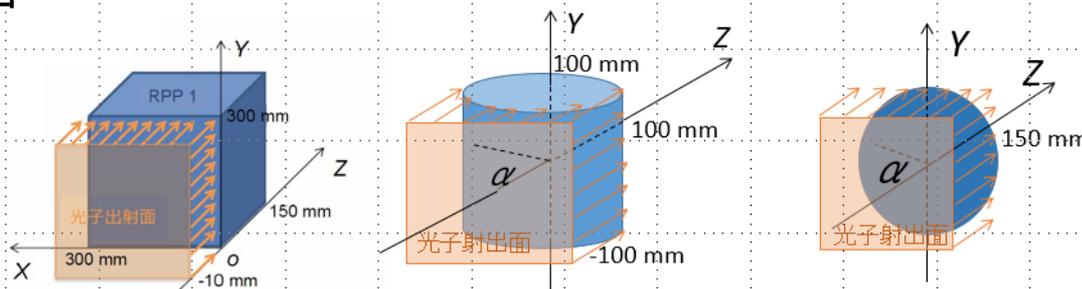
現状では1点のエネルギー  
でしか評価できない

新規にβ線源を導入し、アクリル板との組み合わせにより  
最大残留エネルギー0.8MeV  
～2.8MeVの場を生成する



## ◎3mm線量当量換算係数の導出

X線・β線の標準場について、  
3種類ファントムに対する  
3mm線量当量換算係数を求める



## ◎設定した標準場において3mm線量当量測定器の試験・校正を行う

実施項目	担当者* (所属機関)	平成29年度				平成30年度			
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
目標:									
β線のエネルギーの拡大	加藤昌弘 (産総研)	当初計画	線源の選定		線源発注		納入場の設定		
		実際	←→		←→		←→		←→
3mm線量当量換算係数の導出	加藤昌弘 黒澤忠弘 (産総研)	当初計画	換算係数の計算						
		実際	←→						
設定した場における線量計の試験・校正	加藤・黒澤・山口 (産総研)	当初計画	X線場における実施						
		実際	←→						
			β線場における実施						
			←→						

**H29年度**には主にX線の線量当量換算係数を求めた。

→産総研におけるX線標準場(ISO規格のNシリーズ校正場、JIS規格のQI線質場、IEC規格のRQR線質)において、3mm線量当量の単位での試験・校正が可能となった。

**H30年度**はβ線場のエネルギー拡大、β線場の換算係数の計算、線量計の校正を行った。

## ①β線エネルギーの拡大

H29:  
既存の線源(Sr-90:460MBq)  
を用いて予備実験を実施。



H30:  
新規導入線源(Sr-90:3.7GBq),Ru-106:74MBq)を  
用いた場を設定。  
組織吸収線量率( $D(0.07)$ と $D(3)$ )を測定。

## ②3mm換算係数の計算

H29:  
X線標準場(ISO Nシリーズ等)  
における換算係数を導出。



H30:  
設定したβ線場における換算係数を導出。

## ③設定した場における線量計の試験・校正

H29:  
線量計の選定。一部照射試験  
を実施。



H30:  
設定したβ線場において線量計の校正定数を測定。



導入した線源



外挿電離箱による測定



校正定数を測定した電離箱

# ①β線エネルギーの拡大

- ・Sr-90線源(3.7GBq)とRu-106線源(74MBq)を導入。アクリルフィルタでベータ線エネルギーを低減する場を生成。
- ・外挿電離箱による、ゼロ点外挿電流勾配、散乱吸収特性、再結合特性、線量率分布の測定結果から設定した場における組織吸収線量率を決定。
- ・70 $\mu$ m組織吸収線量率については6種類、3mm組織吸収線量率については5種類のβ線場を設定した。

線源核種	PMMA フィルタ	最大残留 エネルギー (MeV)	70 $\mu$ m 組織吸収線量率 $\dot{D}$ (0.07)(mGy/h)	3mm 組織吸収線量率 $\dot{D}$ (3) (mGy/h)	$\dot{D}$ (3) / $\dot{D}$ (0.07)	備考
Sr-90/Y-90(既存)	BFF*	1.8	30.0	12.9	0.43	従来設定済み
Sr-90/Y-90(新規)	5mm	1.0	41.1	1.81	0.044	本研究による
Sr-90/Y-90(既存)	4mm	1.3	11.7	-	-	本研究による
Sr-90/Y-90(新規)	4mm	1.3	111	11.5	0.104	本研究による
Sr-90/Y-90(既存)	3mm	1.5	26.3	3.55	0.135	本研究による
Sr-90/Y-90(新規)	3mm	1.5	233	44.0	0.189	本研究による
Ru-106/Rh-106	なし	2.9	14.8	10.4	0.70	本研究による



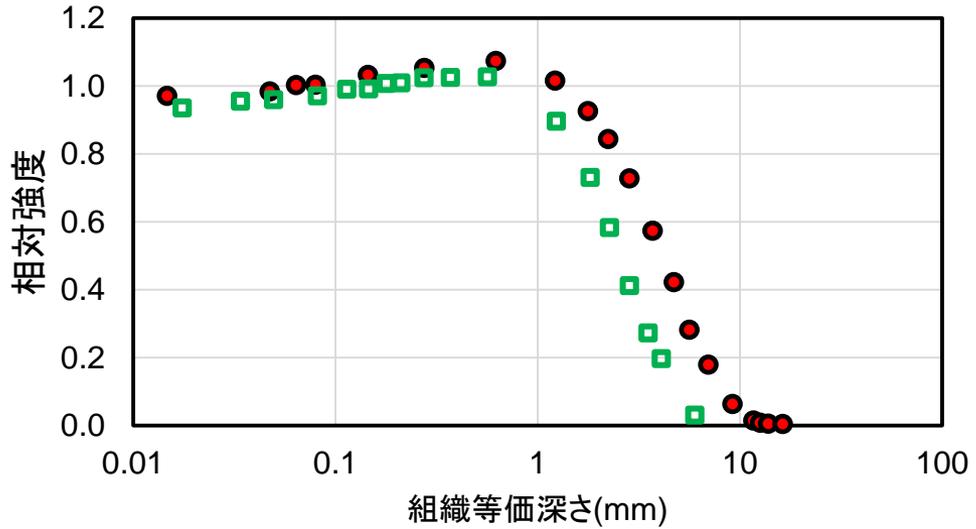
外挿電離箱による組織吸収線量率の測定



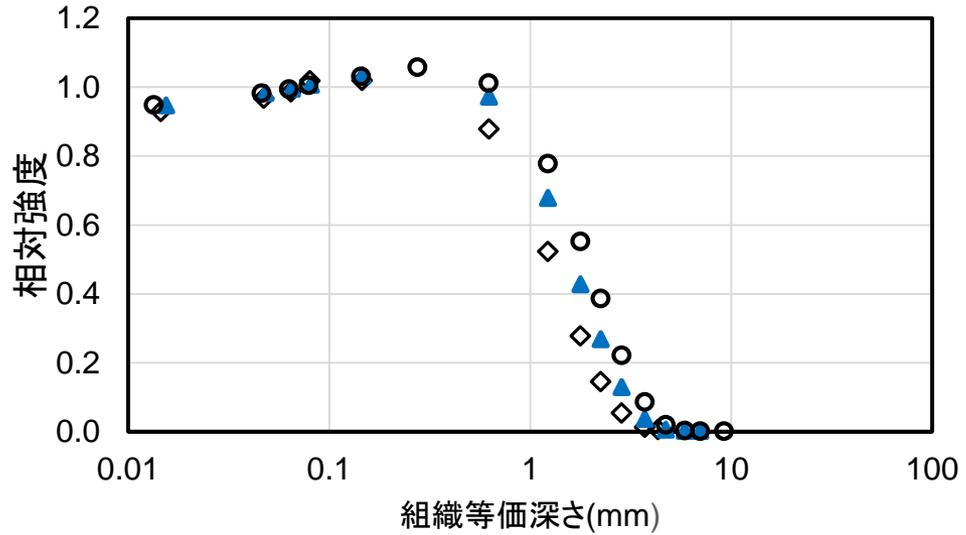
製作したアクリルフィルタ

\*BFFはビームフラッタニングフィルタを示す。

## β線場の散乱吸収特性

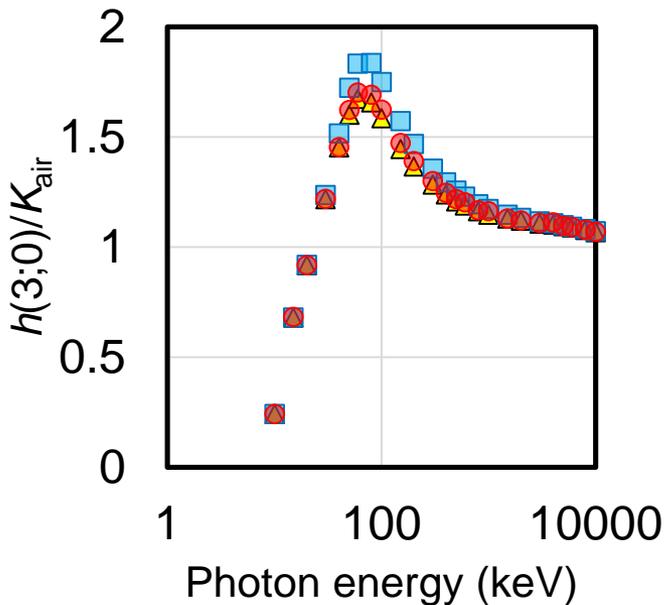


- ・空気密度の影響の補正
- ・70μm吸収線量と3mm吸収線量の比を求めるために測定



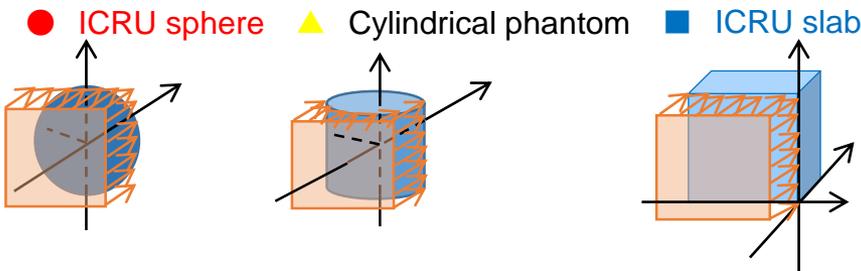
- : Ru-106
- : 既存のSr-90とビームフラッタニングフィルタ
- : 新規のSr-90とアクリル3mm厚
- ▲ : 新規のSr-90とアクリル4mm厚
- ◇ : 新規のSr-90とアクリル5mm厚

## 単色X線についての線量当量換算係数, $h(3) = H(3) / K_{air}$

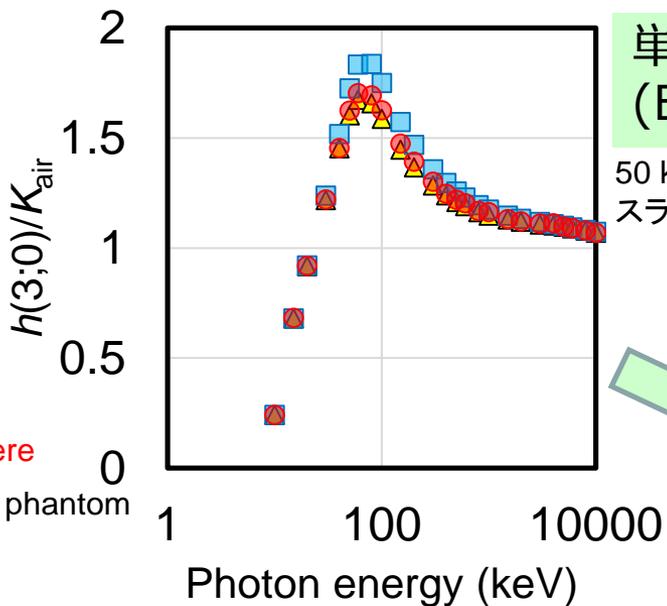


50 keV-200 keVにおいて7% - 11% の違いがある。散乱光によるものと考えられる。スラブに対する値と円柱ファントムに対する値が存在するので注意が必要。

- EGS5 code
- 入射光子エネルギー: 10keV-10MeV
- カットオフエネルギー:  
電子10MeV、光子 1keV  
→カーマ近似の条件に対応
- 反応が起きた位置における吸収エネルギーをスコア
- History number:  $10^{10} - 10^{13}$



# ②3mm線量当量換算係数の計算



単色光子の空気カーマ-3mm線量当量換算係数 (EGS5コードのシミュレーションによる)

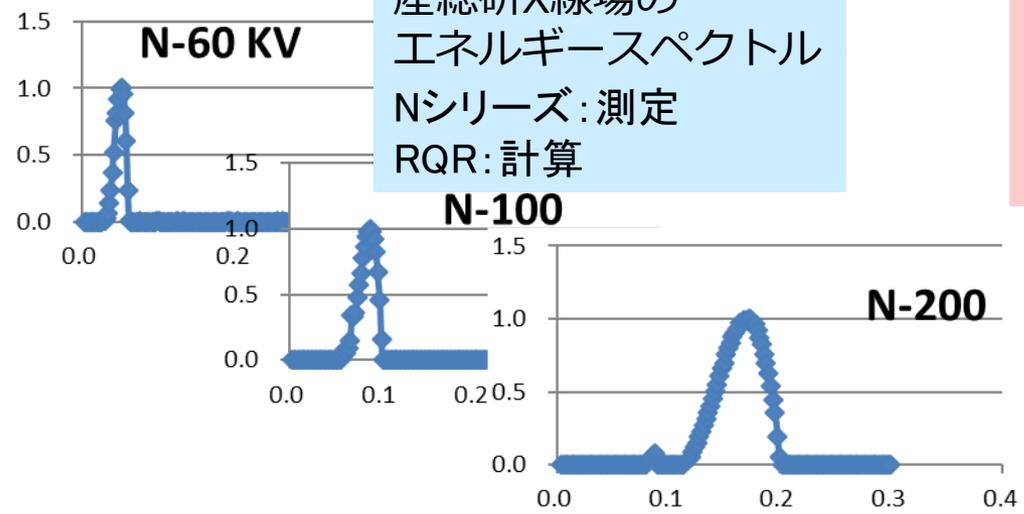
50 keV-200 keVにおいて散乱光による違いがみられた。スラブに対する値と円柱ファントムに対する値が存在するので注意が必要

下記の産総研X線場における換算係数を導出した。

ISO4037 N-300, N-250, N-200  
 N-150, N-120, N-100  
 N-80, N-60, N-40, N-30

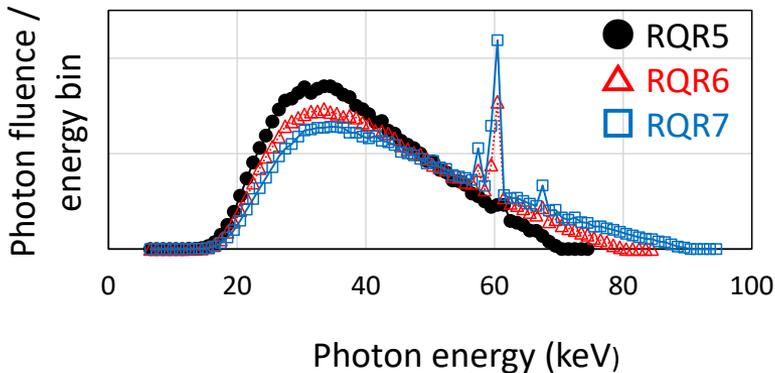
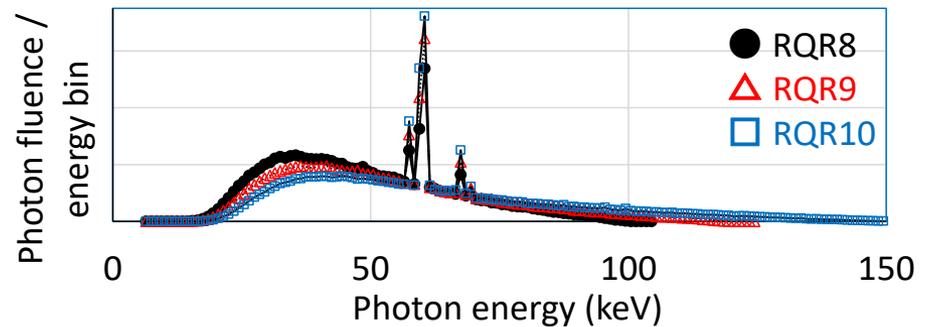
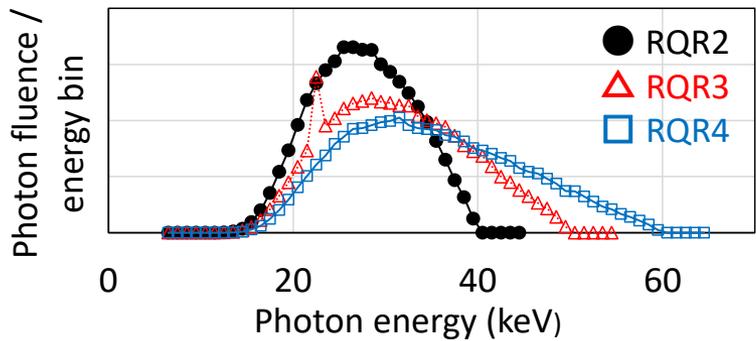
IEC61267 RQR2, RQR3, RQR4  
 RQR5, RQR6, RQR7  
 RQR8, RQR9, RQR10

産総研X線場のエネルギースペクトル  
 Nシリーズ: 測定  
 RQR: 計算



## RQR場のフルエンス分布

RQRシリーズの場合 IEC61267:2005で規定される。診断用装置からのX線場の特徴を表す。産総研場のフルエンス分布をMCNPコードにより計算した。



	Tube voltage (kV)	Thickness of filter (mmAl)		
		This work	ORAMED [a]	UPC [b]
RQR10	150	4.62	-	-
RQR9	120	3.84	3.39	3.5
RQR8	100	3.40	-	3
RQR7	90	3.22	3.0	3
RQR6	80	3.00	-	3
RQR5	70	2.88	-	2.5
RQR4	60	2.67	2.72	2.5
RQR3	50	2.48	-	2.5
RQR2	40	2.47	-	2.5

[a] F. Vanhavere *et al*, ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff, ERADOS report 2012-02 (2012)

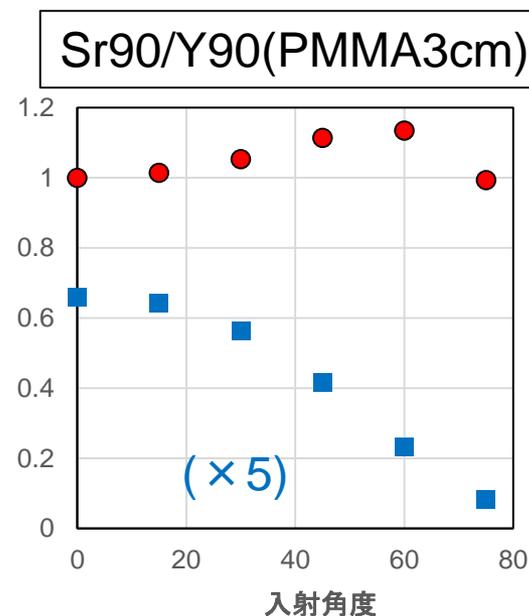
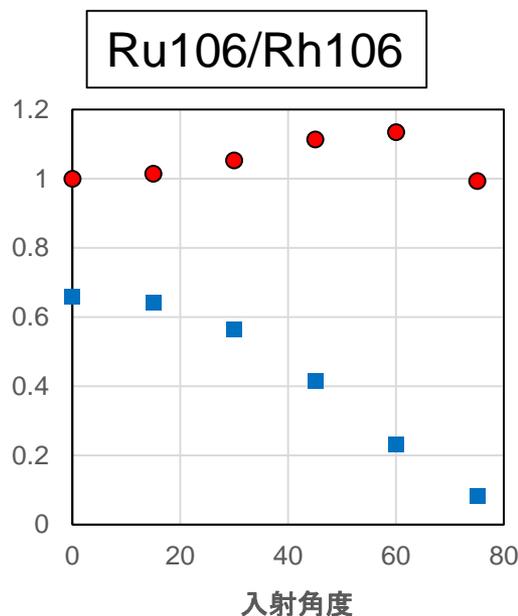
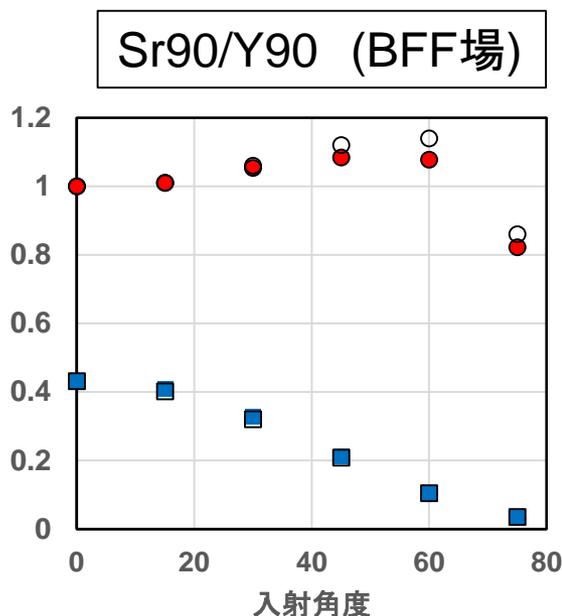
[b] S. Principi *et al*, *Radiation Protection Dosimetry* **170**, 45-48 (2016)

## β線場の3mm線量当量換算係数の計算

設定した場における70μm組織吸収線量率と3mm組織吸収線量率について、線量当量換算係数を計算により求めた。

→**角度特性の試験が可能に**

線量当量換算係数の入射角度特性



●  $h'(0.07)$  ■  $h'(3)$  EGS5(本研究による)、

○  $h'(0.07)$  □  $h'(3)$  EGSnc (Behrens (2015) JINST 10 P03014)

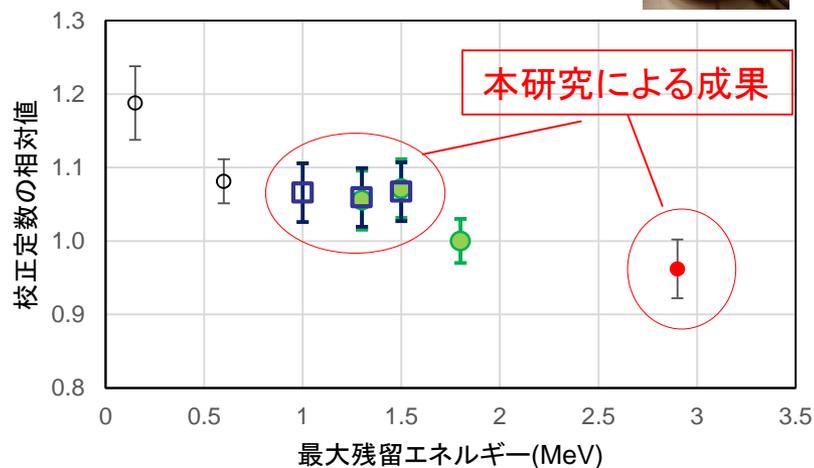
※ビームフラッタニングフィルタ(BFF)場は既存の校正場であり、他の研究報告との比較を示す。

## 70μm組織吸収線量率校正定数の測定結果

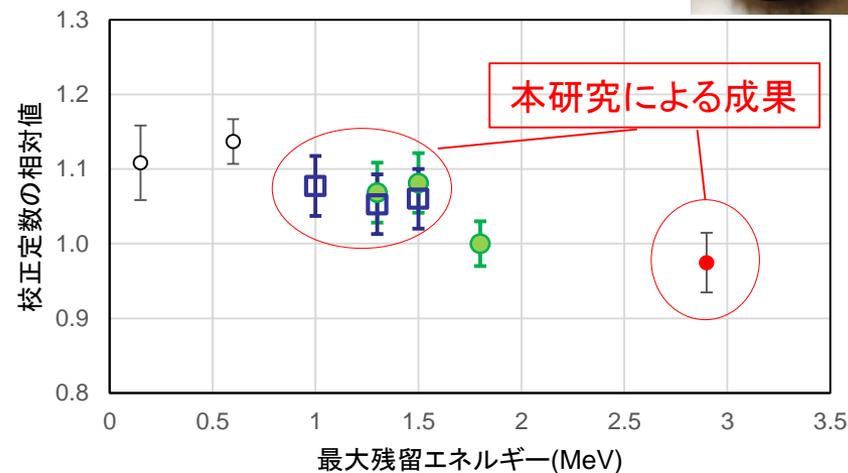
※各電離箱には、組織70μm厚さに相当するPET50μm厚のフィルムを装着



CE-60電離箱(PET50μm装着時)



CE-08電離箱(PET50μm装着時)

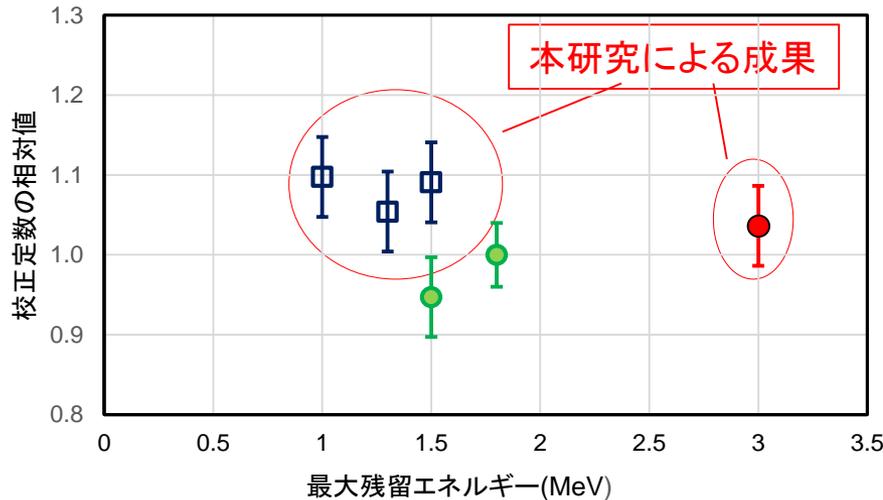


- : 本研究で導入したRu-106による校正場(本研究で開発)
- : 新規Sr90による校正場(本研究で開発)
- : 既存のSr90による校正場(1.8MeVは従来より整備、1.3MeVと1.5MeVは本研究で開発)
- : Pm147およびKr85による校正場(従来より整備)

- ・最大残留エネルギー1.3MeVと1.5MeVでは新旧の線源で結果は良く一致した
- ・従来の3点のみのエネルギーに比べ、校正定数のエネルギー特性を詳細に理解できる

## 3mm組織吸収線量率校正定数の測定結果

CE-60電離箱(PMMA2.5mm装着時)



※電離箱には、2.5mm厚のアクリルフィルタを装着  
(アクリルの3mm組織等価厚さは約2.6mm)

→3mm線量当量測定用電離箱として利用

- : 本研究で導入したRu-106による校正場(本研究で開発)
- : 新規Sr90による校正場(本研究で開発)
- : 既存のSr90による校正場(1.8MeVは従来より整備、1.5MeVは本研究で開発)

- ・2.5mmのアクリルフィルタを装着した場合の薄膜電離箱の校正定数を測定した。
- ・校正定数は±10%以内で一定。
- ・従来は測定可能なエネルギーが1点のみであったが、1 MeV – 3 MeVの領域で校正定数のエネルギー特性が検証可能となった。

# 成果発表

- AOCR5P-5 (メルボルン、2018/5/20-23)  
”Dose equivalent conversion coefficients of the x-ray reference fields in NMIJ”
- 日本保健物理学会第51回研究発表会 (2018/6/29-30)  
「β線3mm 吸収線量に対する薄膜電離箱とサーベイメータの校正」
- JASIS2018 第4回分析計測標準研究部門シンポジウム(2018/9/7)  
「水晶体被ばく線量測定に用いる線量当量換算係数の決定と実用」
- 原子力学会2019年春の年会(2019/3/20-22)  
「水晶体被ばく線量測定における1MeV以上のβ線校正場の開発」

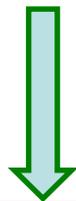
# 評価委員会による評価結果のコメントへの対応

コメント	対応
<p>β線標準場を確立したことは大きな成果である。今後の校正システムとしての整備を期待する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力学会の講演など、外部関係者との意見交換する機会においてβ線標準場を利用できることをアナウンスしている。</li> <li>・ISO TC85 SC2会議(2019年岡山)において、β線場の取入れの提案を行った。</li> </ul>

X線およびβ線校正場において  
3mm線量当量換算係数を導出した

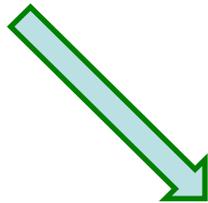


**3mm線量当量の単位での  
校正・照射試験が可能に**



**管理方法を提言するために  
実施する3mm線量当量  
計測の保証**

3mm線量当量測定器の校  
正・試験に活用。



**個人線量モニタリングの  
品質保証**

将来的にH(10)と同様の品  
質保証が必要になれば、技能  
試験などで活用できる。

エネルギーを拡大したβ線校正場において  
電離箱の校正定数を測定した



**β線用电離箱の3mm線量当量及び  
70μm線量当量について、  
校正定数のエネルギー特性を測定する  
ことができることを実証した**



**工業規格化**

β線標準場をISOやJISに取り  
込んでH(3)線量計の校正  
に用いる場として国際的に活  
用する。