

(4) 低エネルギーX線の 放射線安全管理

○藤淵 俊王¹⁾、秋吉 優史²⁾、小林 育夫³⁾、
多田 順一郎、谷口 和史⁴⁾、山口 一郎⁵⁾

1) 九大医 2) 大阪府大放センター 3) 長瀬ランダウア
4) 千代田テクノル 5) 国立保健医療科学院

背景

- クルックス管の使用により、印加電圧に応じて数十keV程度のX線が発生する。
- 装置によっては実験時に放射線を受けることで被ばくする可能性があるが、被ばくの評価、放射線管理のために、線量の把握が必要となる。
- 被ばく評価の指標として、法令では**実効線量**および**皮膚線量**(日本では、労働者に対してのみ)等の線量限度が設定されている。

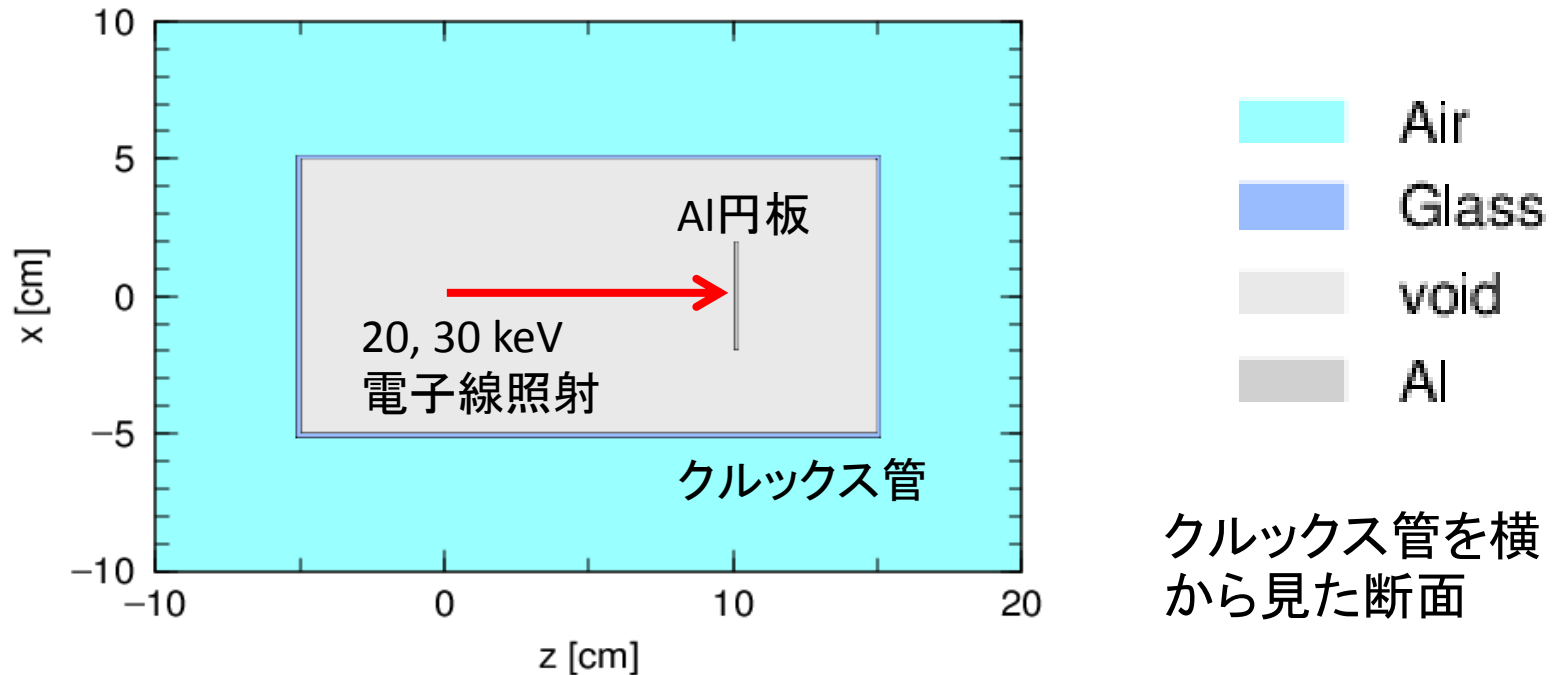
- 実効線量の実用量として1cm線量当量が用いられるが、低エネルギーの場合、両者の乖離が大きくなる。

目的

シミュレーションにより、異なる印加電圧でクルックス管から発生するX線のエネルギースペクトルや空間線量分布、線量指標の違いを相対的に明らかにし、放射線安全管理上の適切な線量指標と、安全管理の在り方について報告する。

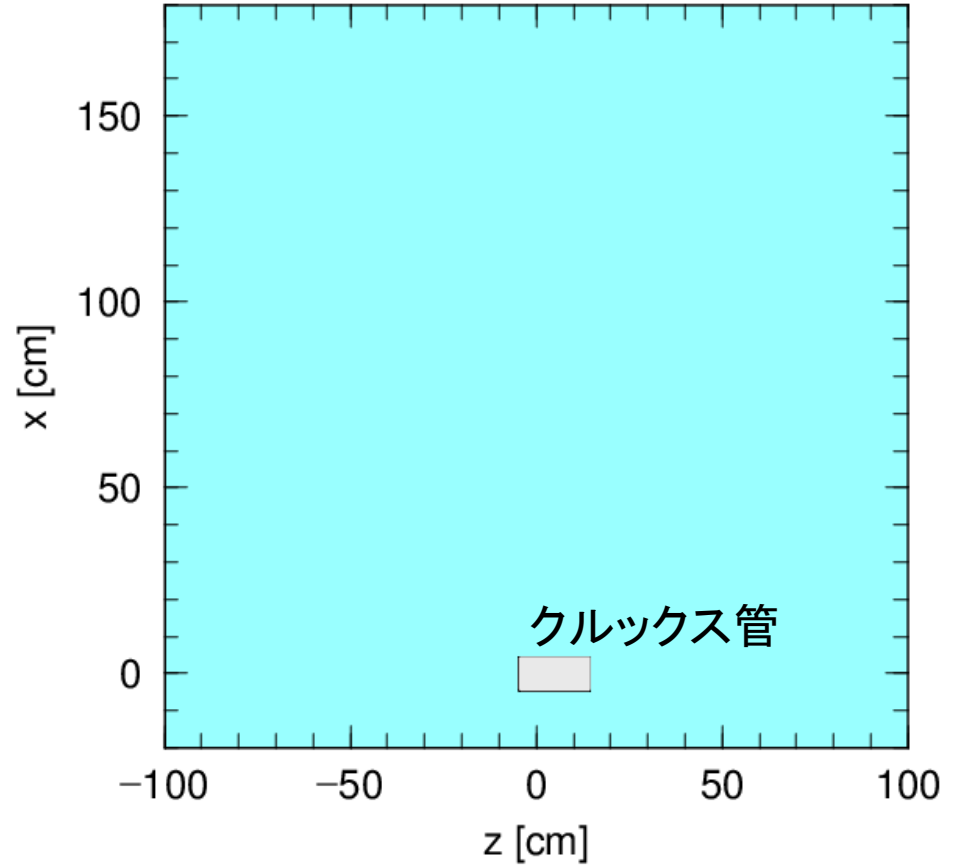
クルックス管から放出されるX線のシミュレーションの体系

- モンテカルロコード: PHITS v3.05
- 半径5 cm、長さ20 cm、厚さ1.5 mmの円筒型のガラス管 (内部は真空)
- ガラスの組成は SiO_2 、密度 2.5 g/cm^3
- 原点座標から20, 30 keVの電子を照射(線源)
- 線源から10 cmの位置に厚さ2 mmのアルミニウムの円板を配置



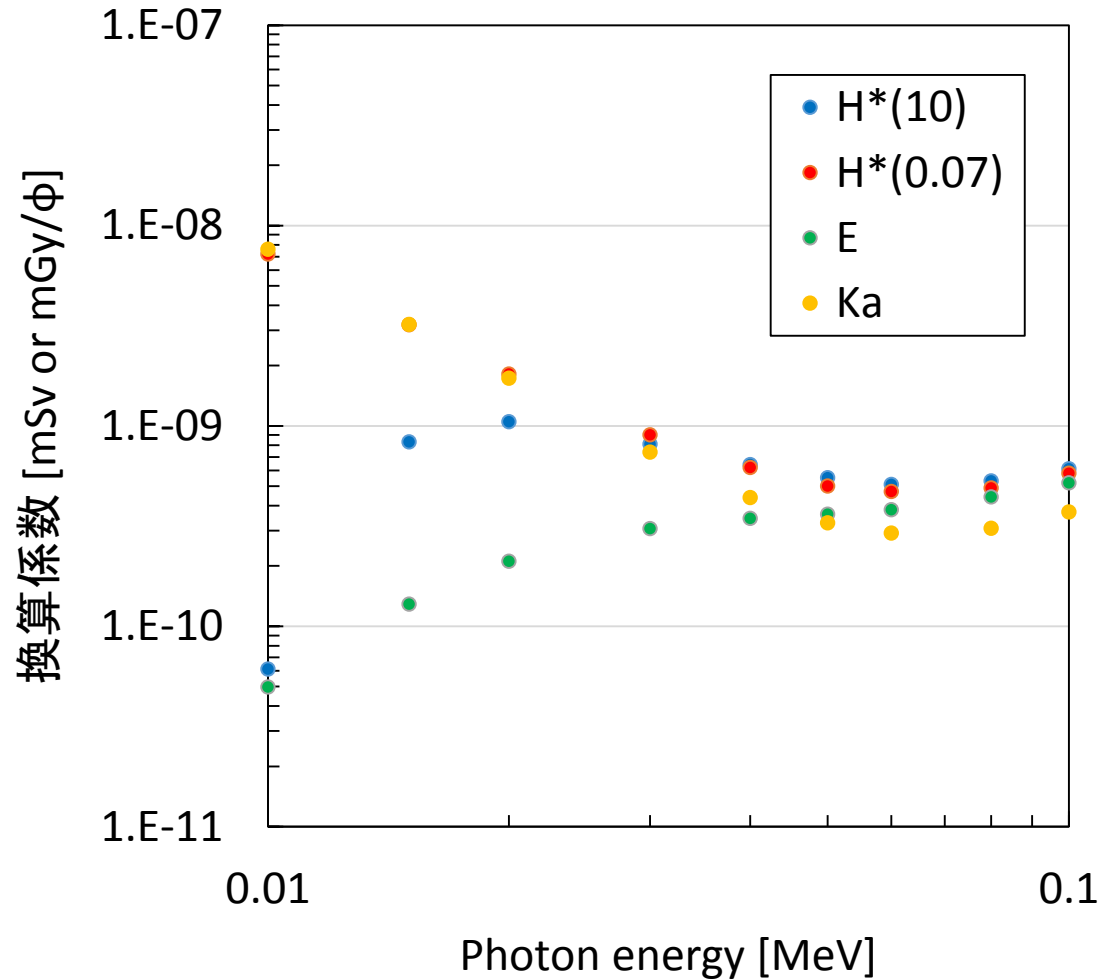
線量分布、エネルギーの評価

- 室内2 m四方の空間の線量分布
 - 1cm線量当量 $H^*(10)$
 - 70 μm 線量当量 $H^*(0.07)$
 - 実効線量(AP方向)
 - 空気カーマ
- X、Z軸の線量プロファイル
- クルックス管付近のX線のエネルギースペクトルを算出



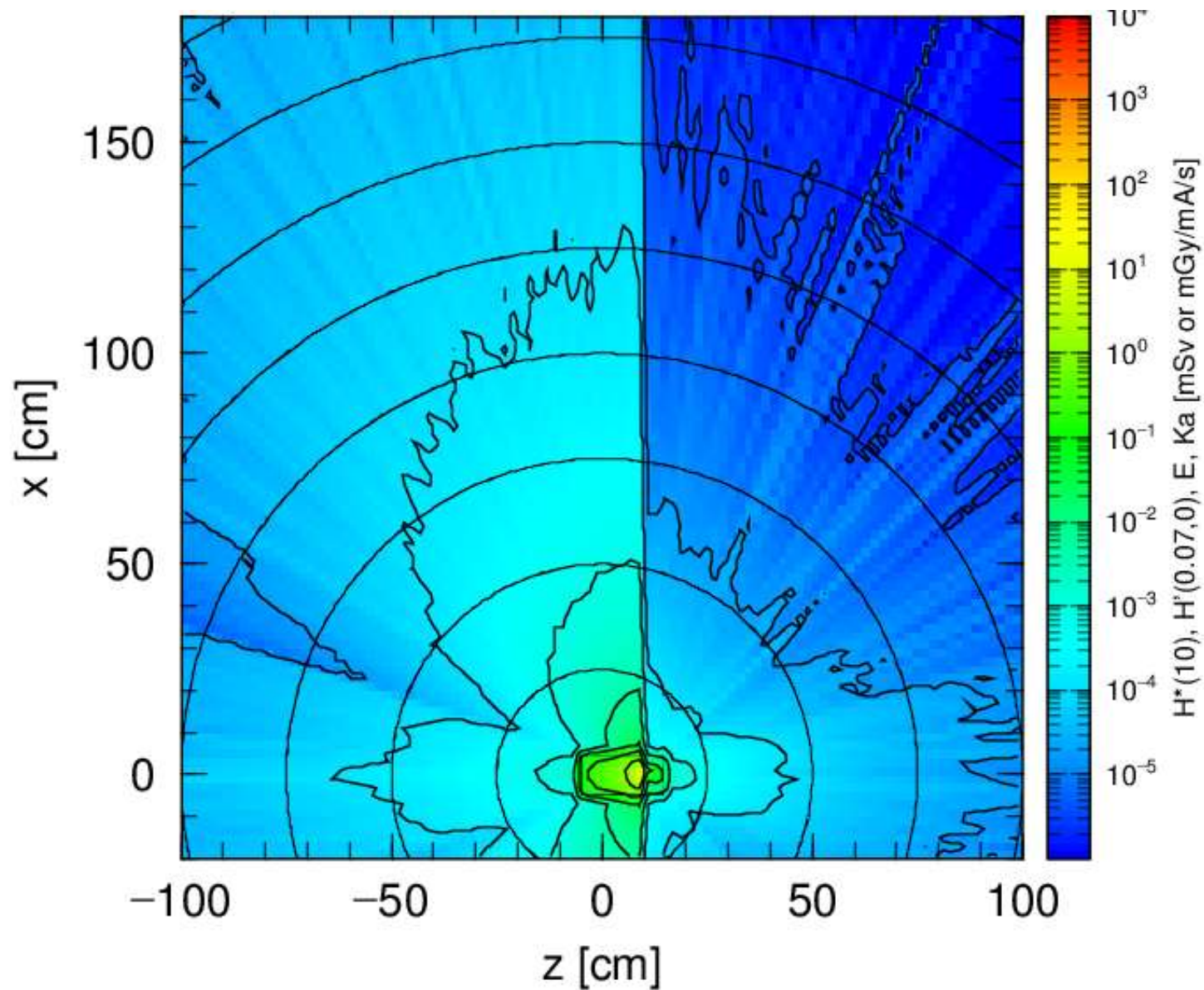
線量計算、評価手法

- ICRP74に記載されている光子フルエンス
— $H^*(10)$ 、 $H^*(0.07)$ 、 $E(AP)$ 、 Ka 換算係数に、
電子を 6.25×10^{15} 個照射した際の光子フルエンスをかけて、1 mA照射時の各線量率を算出
[mSv or mGy/mA/s]

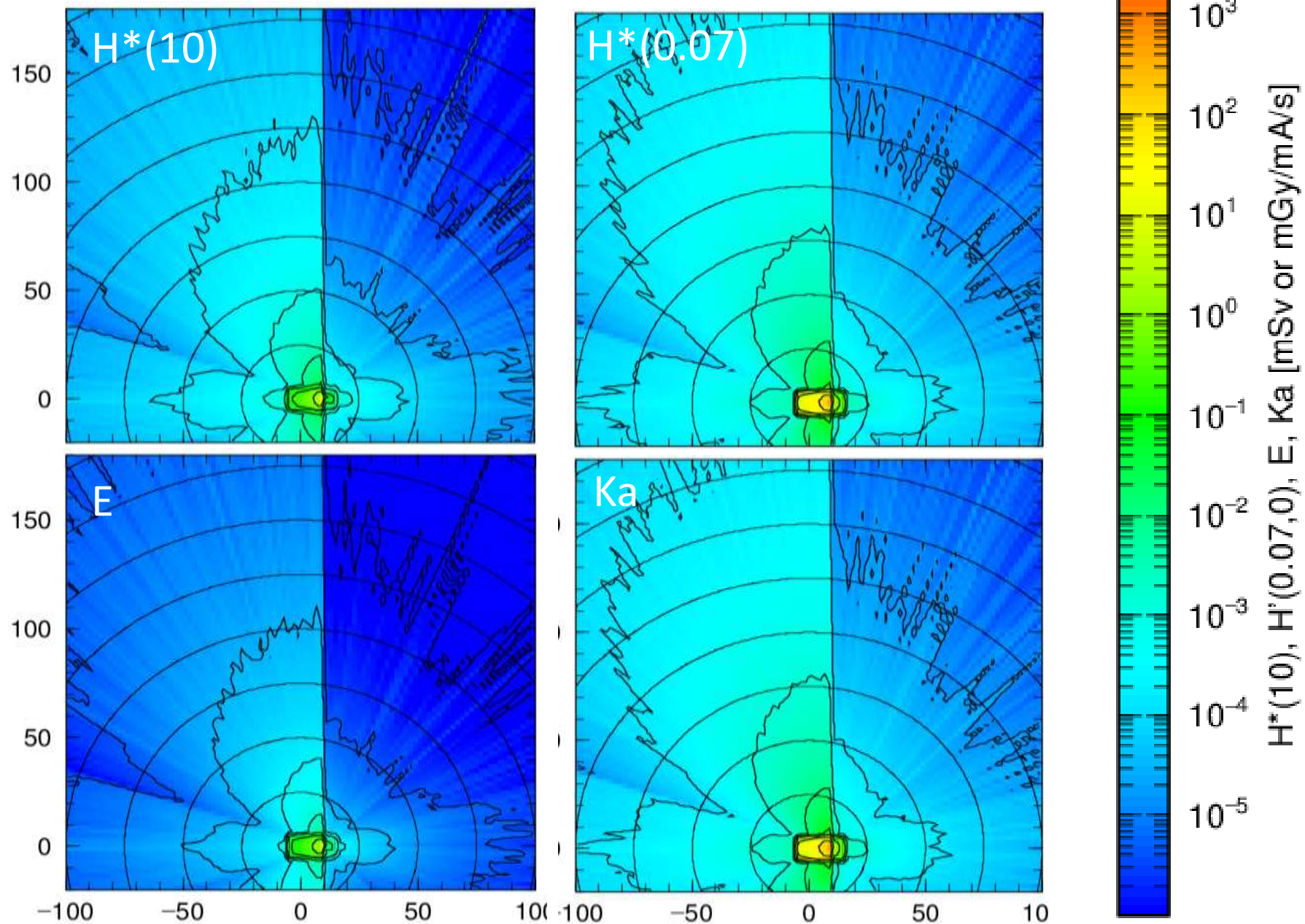


ICRP74のフルエンス—線量換算係数

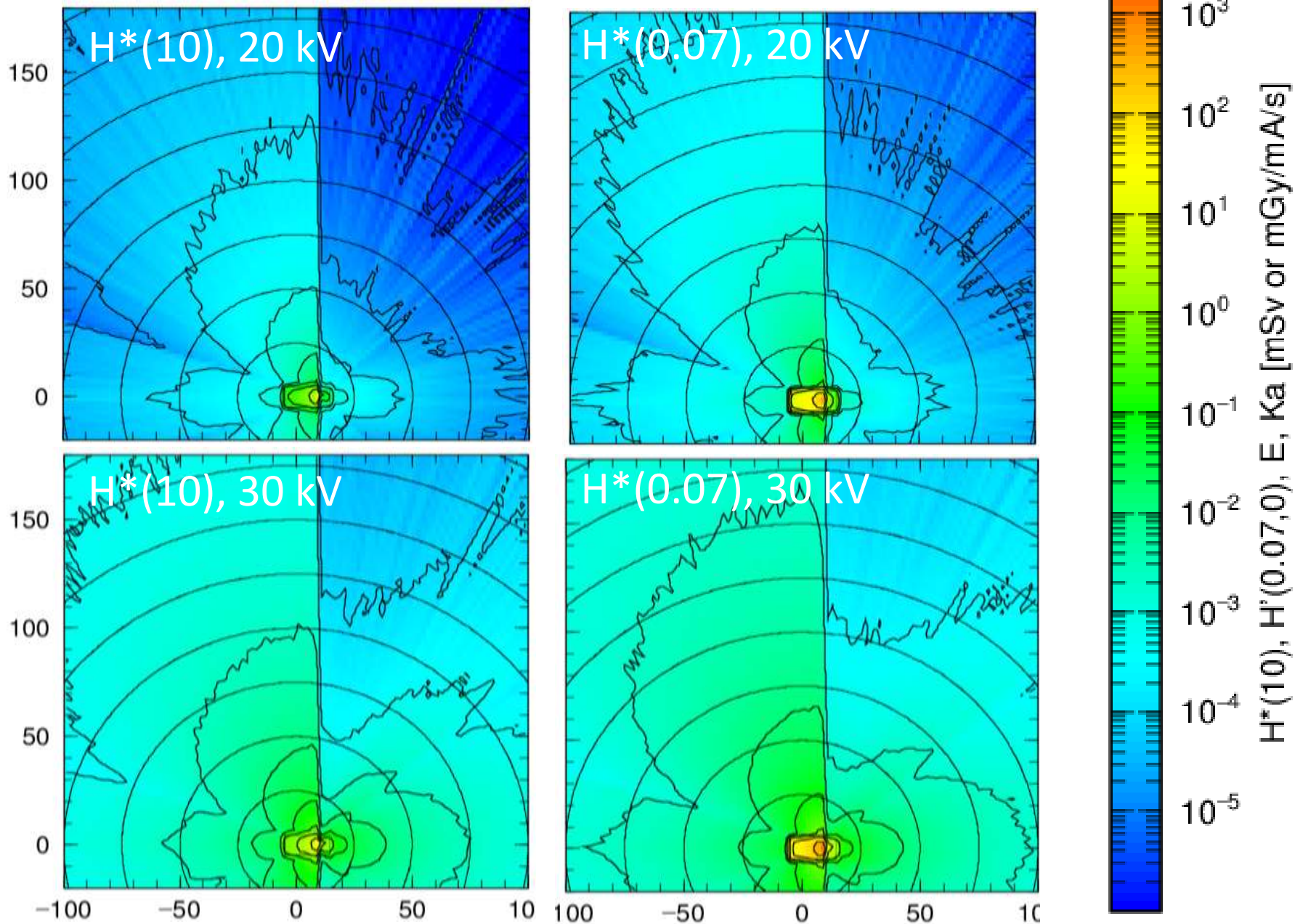
結果 20 kVでの1cm線量当量率分布



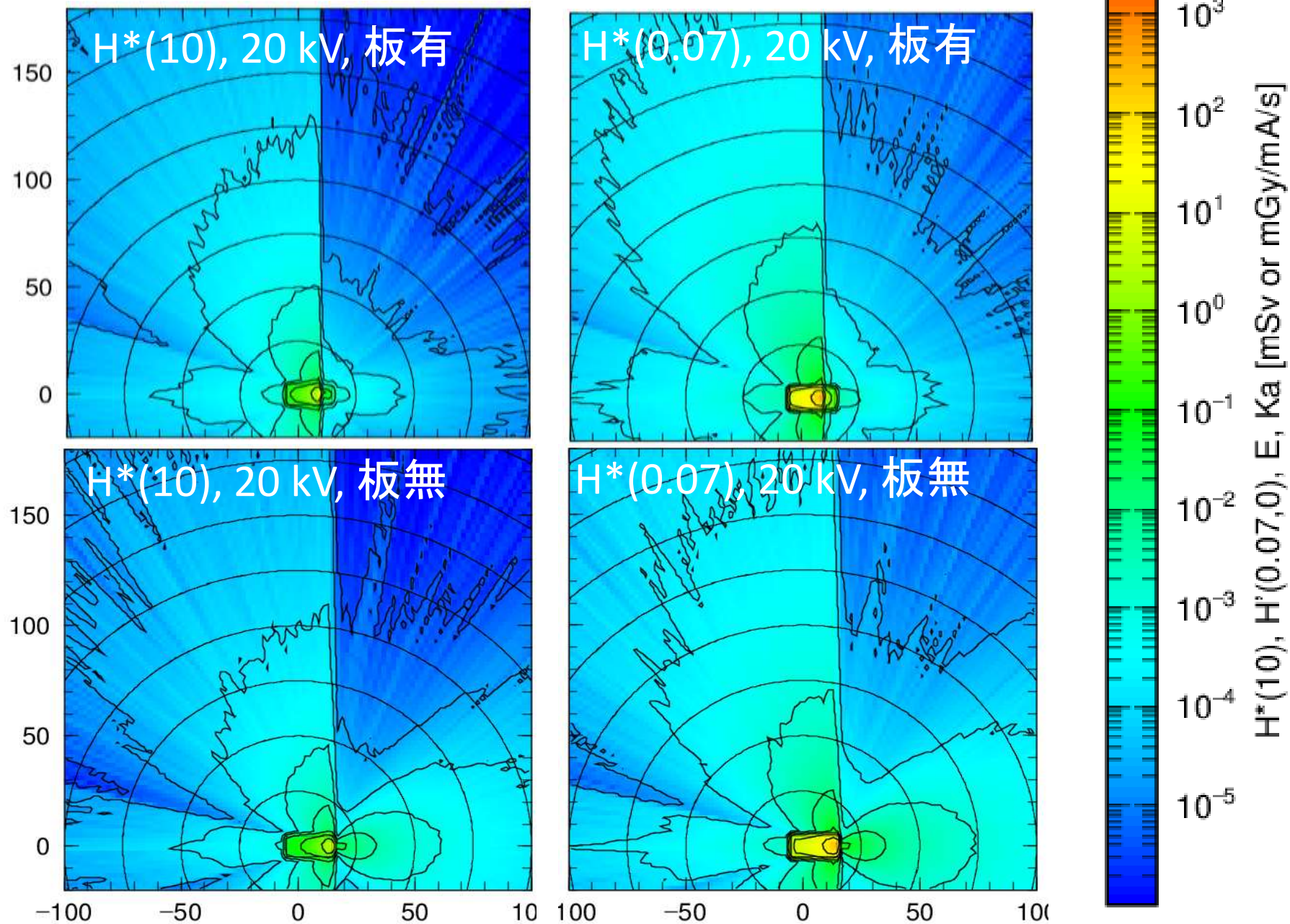
20 kVでの各線量率分布



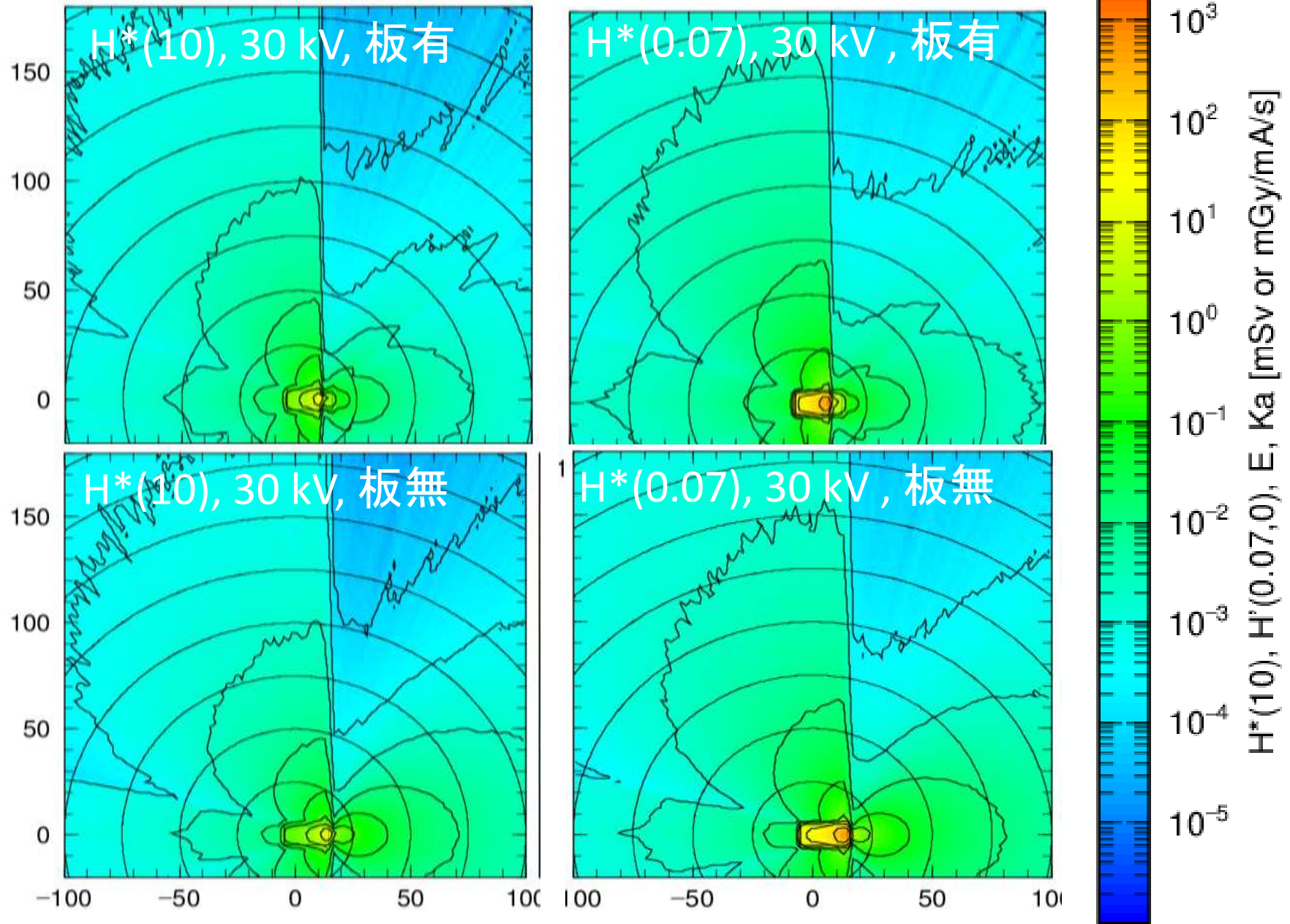
20 kVと30 kVでの線量率分布の違い



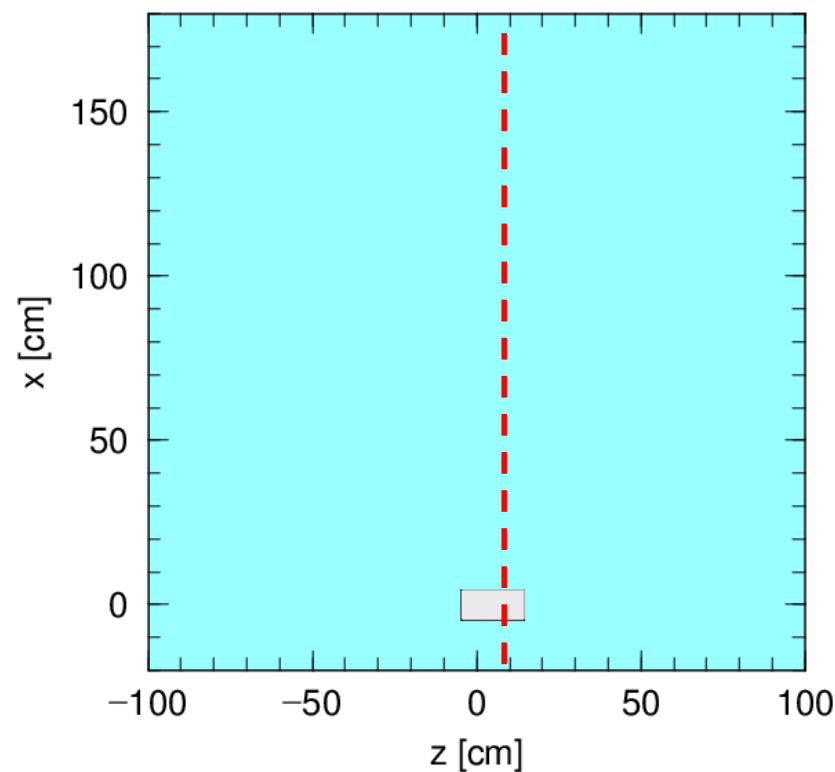
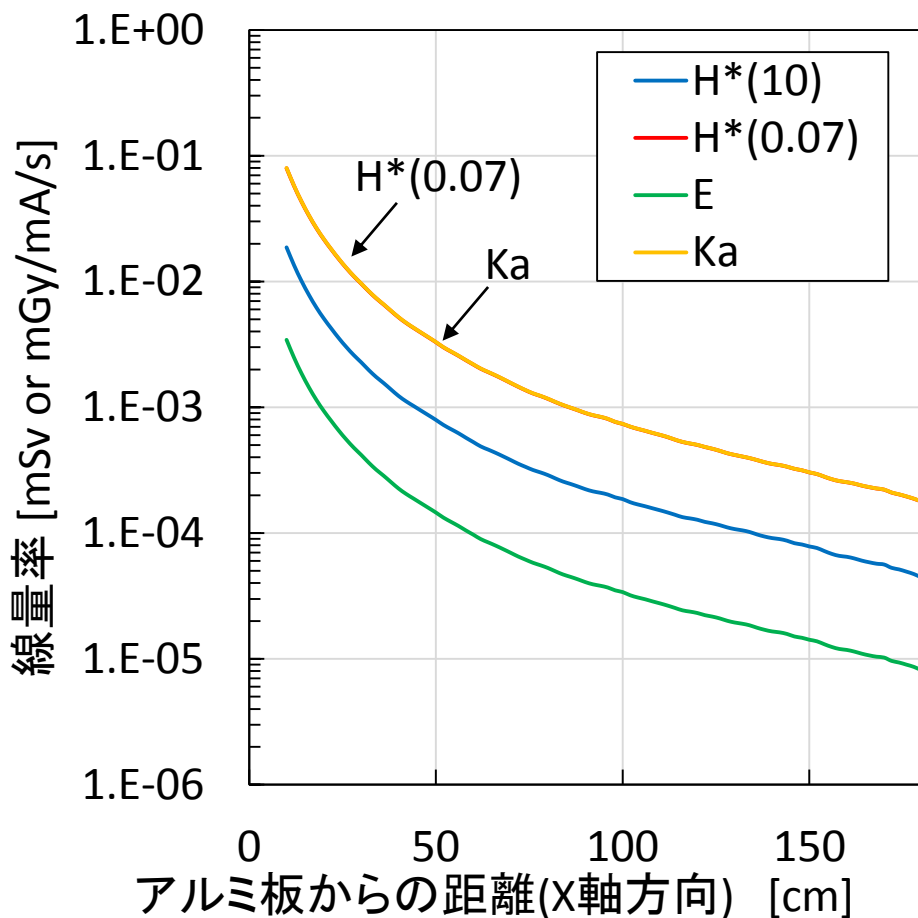
20 kV, アルミ板の有無による違い



30 kV, アルミ板の有無の違い

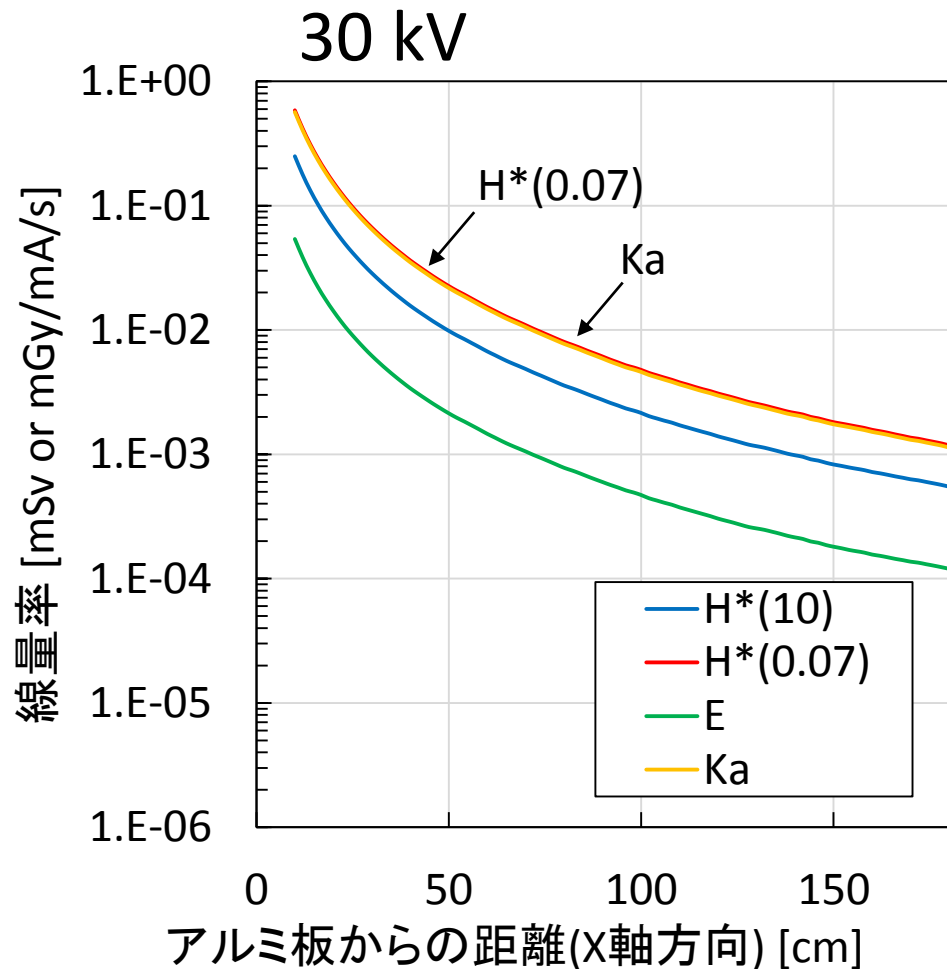
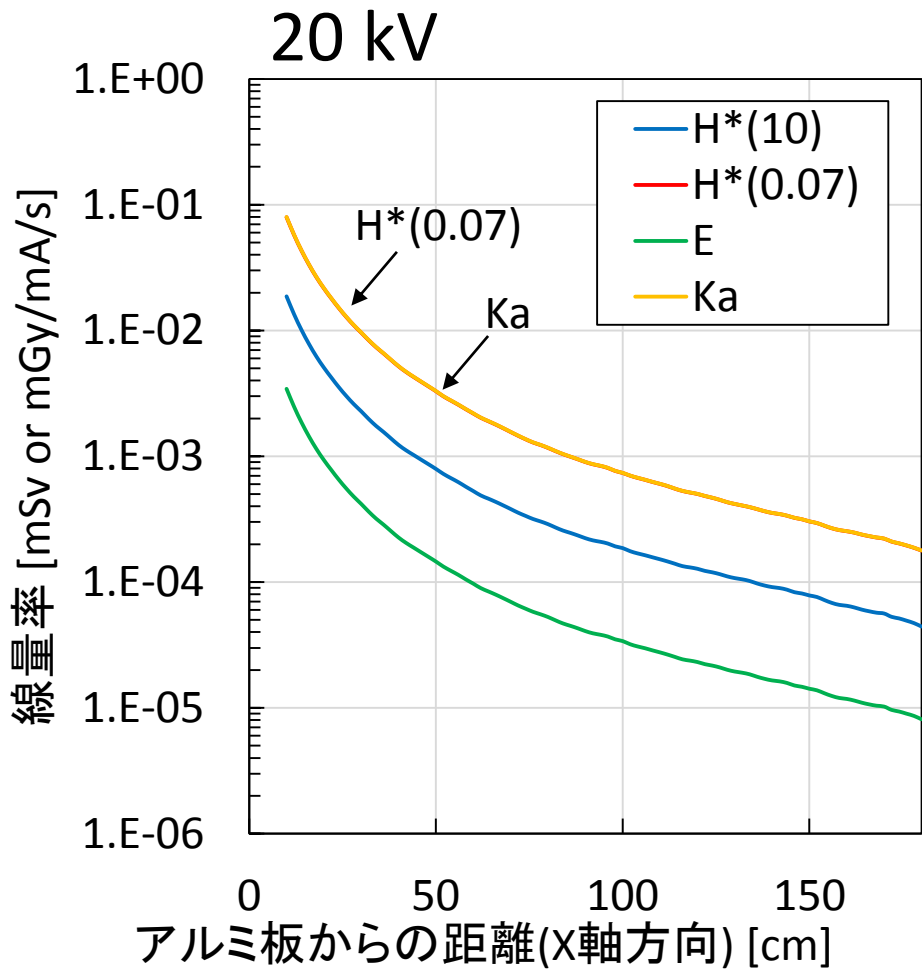


20 kVでのX軸方向の線量プロフィール

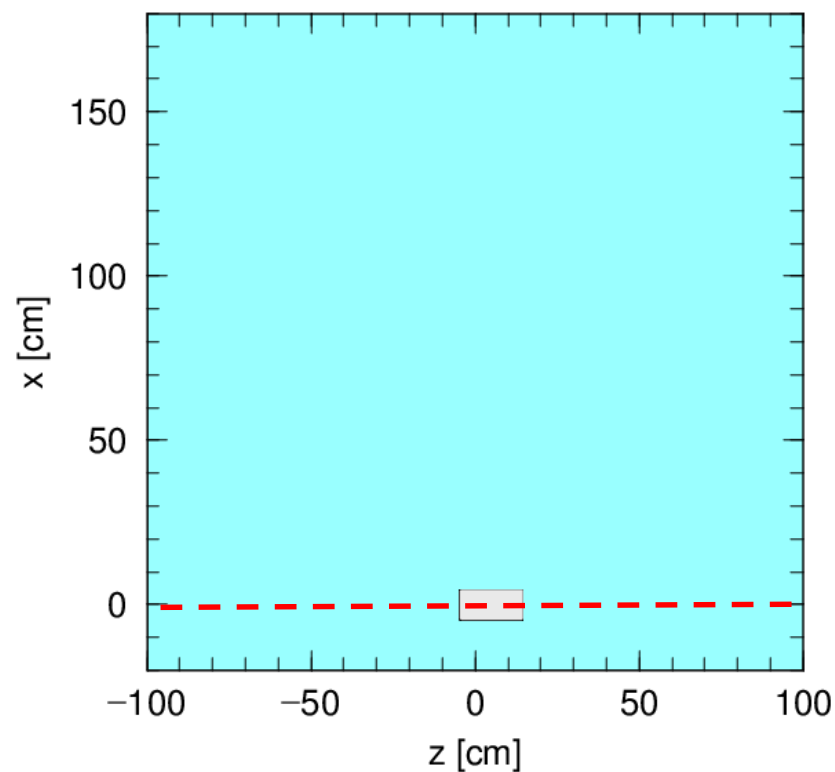
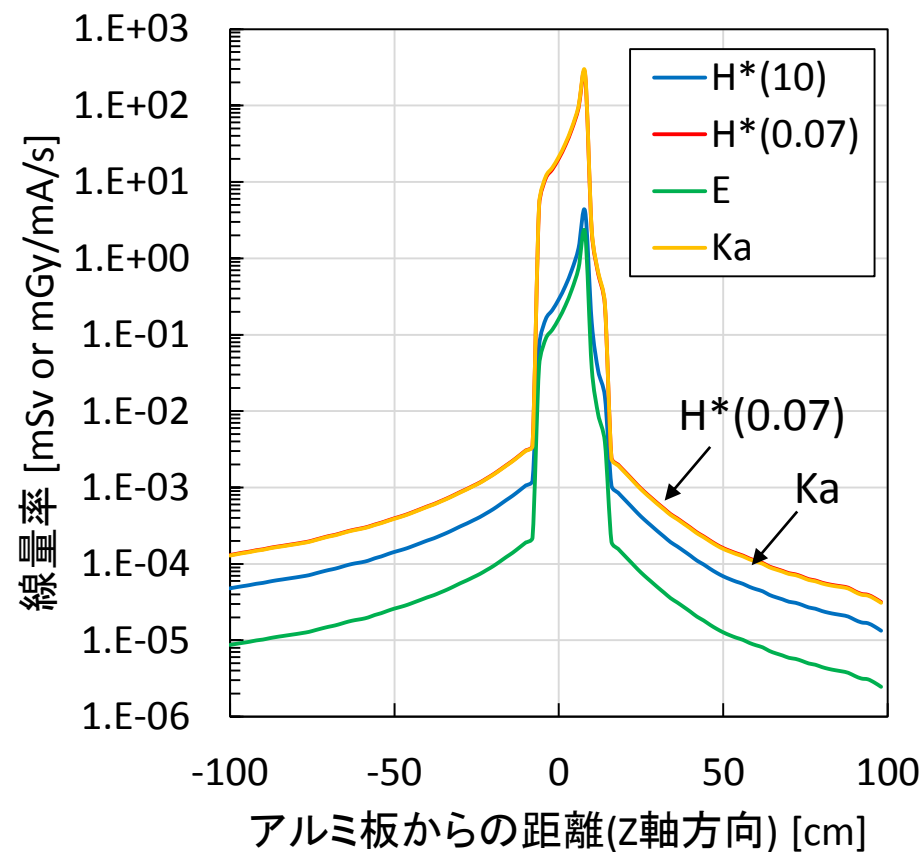


クルックス管アルミ板上
の電流に対して垂直方向
の線量プロフィール

20, 30 kV X軸方向の線量プロファイルの比較



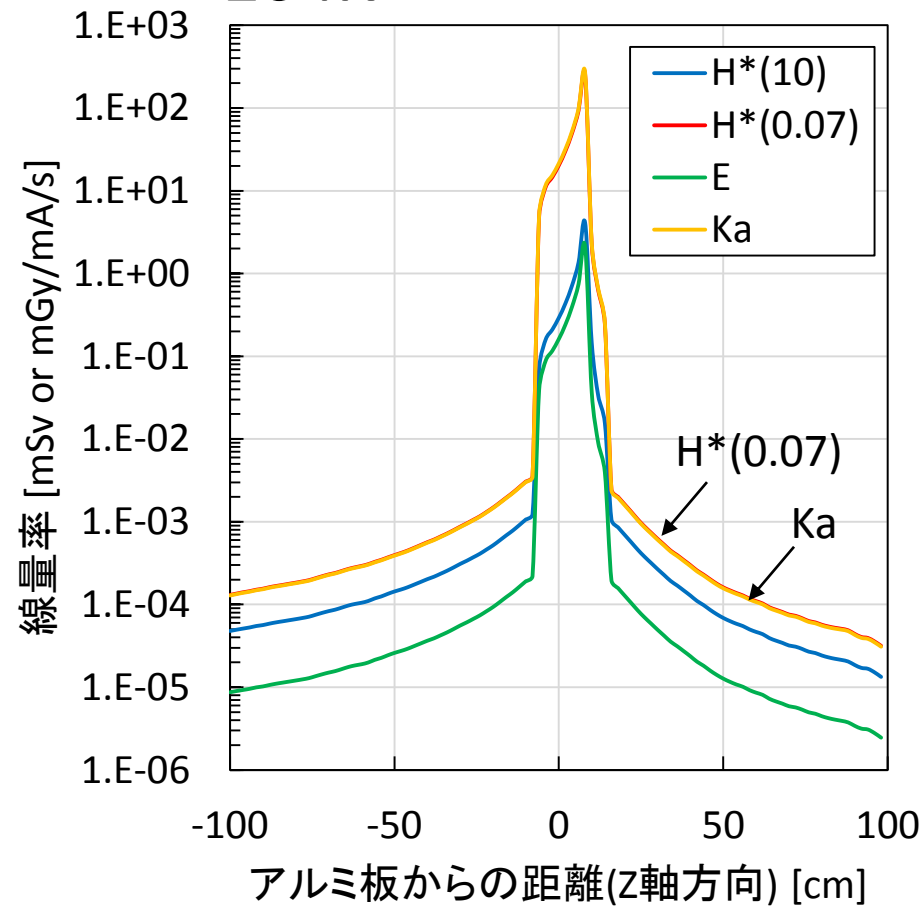
20 kVでのZ軸方向の線量プロファイル



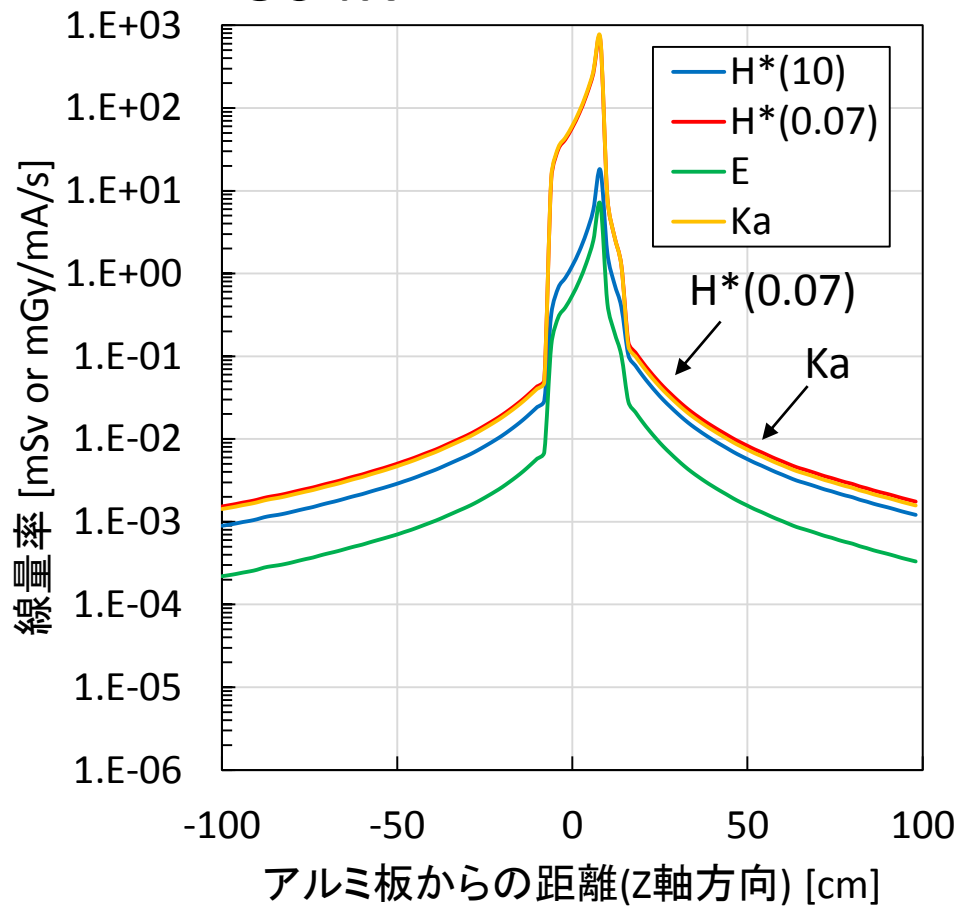
クルックス管長軸中心上
電流に対して水平方向
の線量プロファイル

20, 30 kVでのZ軸方向の線量プロファイル

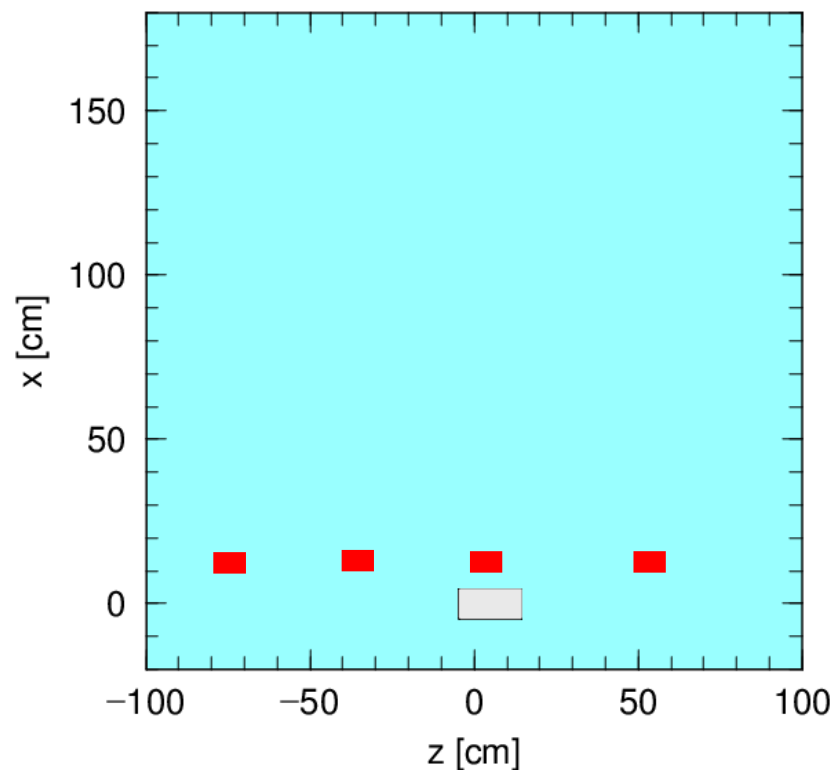
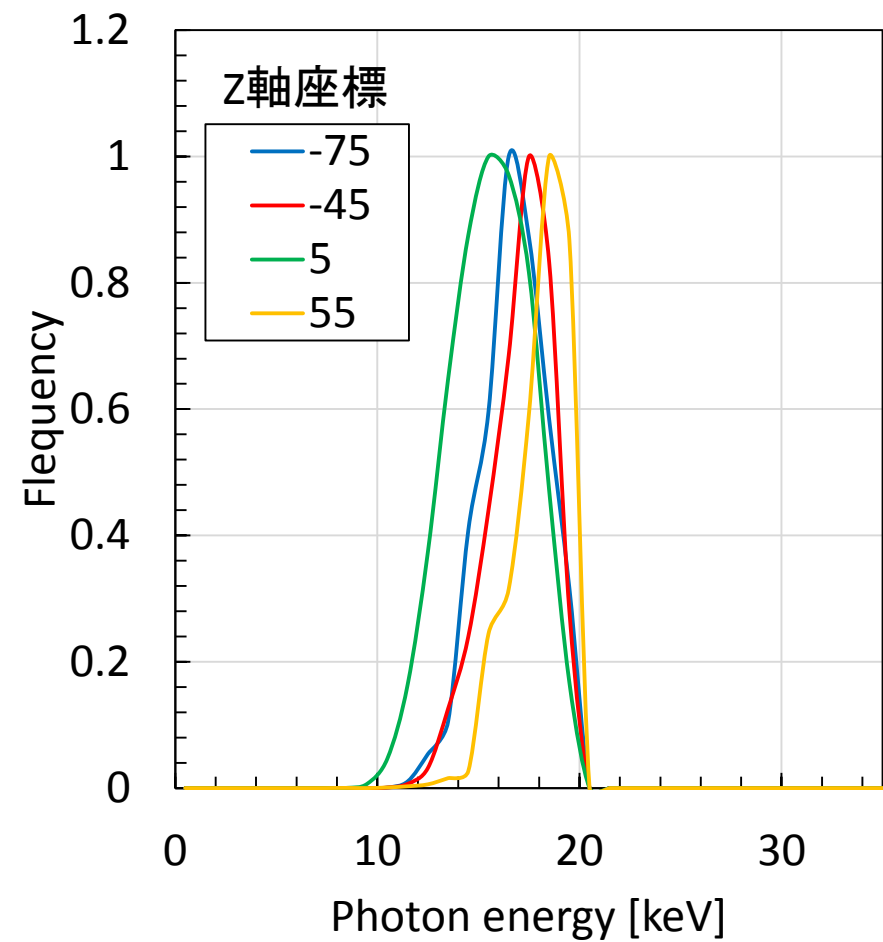
20 kV



30 kV



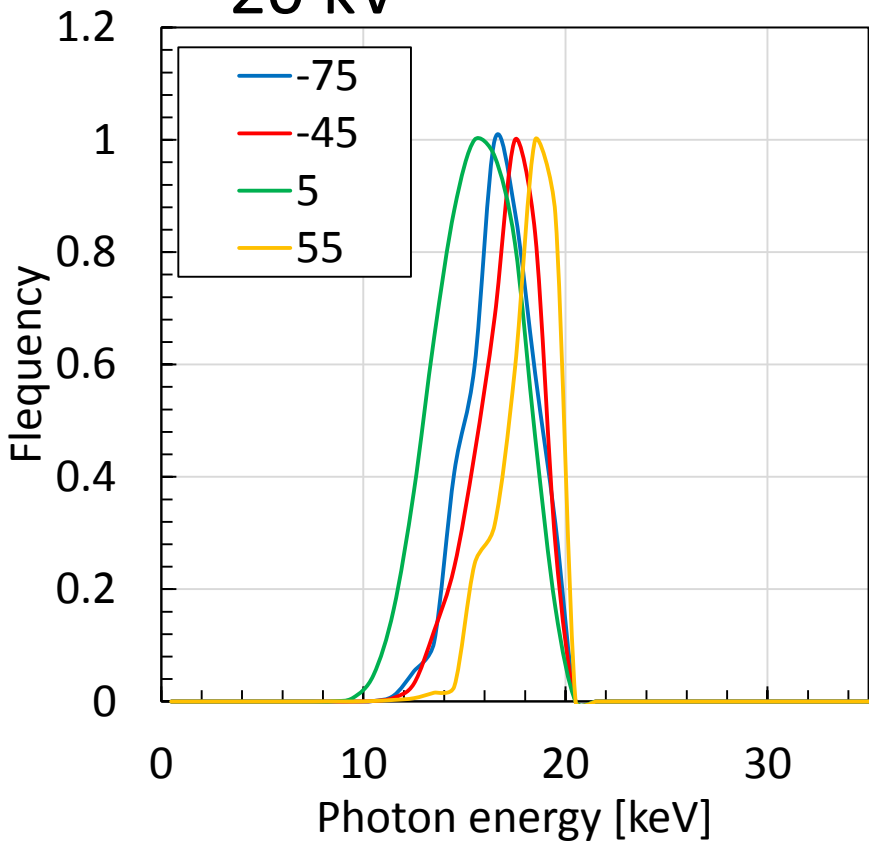
20 kVでのエネルギースペクトル



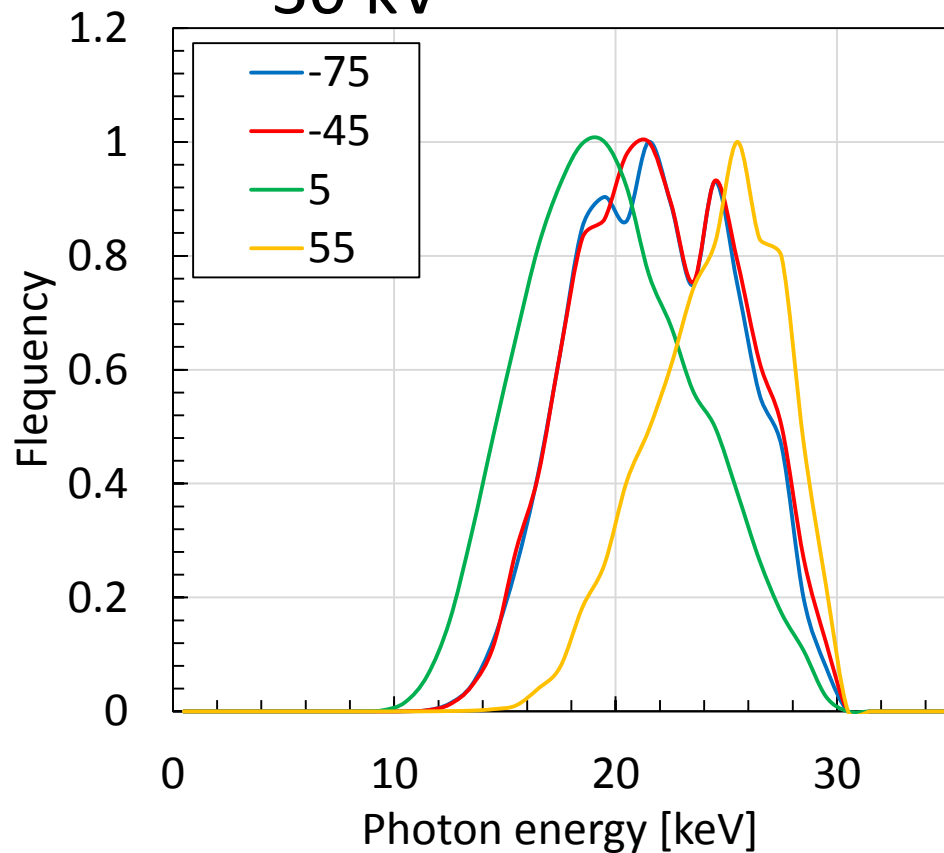
赤印: 評価点

20, 30 kVでのエネルギースペクトルの比較

20 kV



30 kV



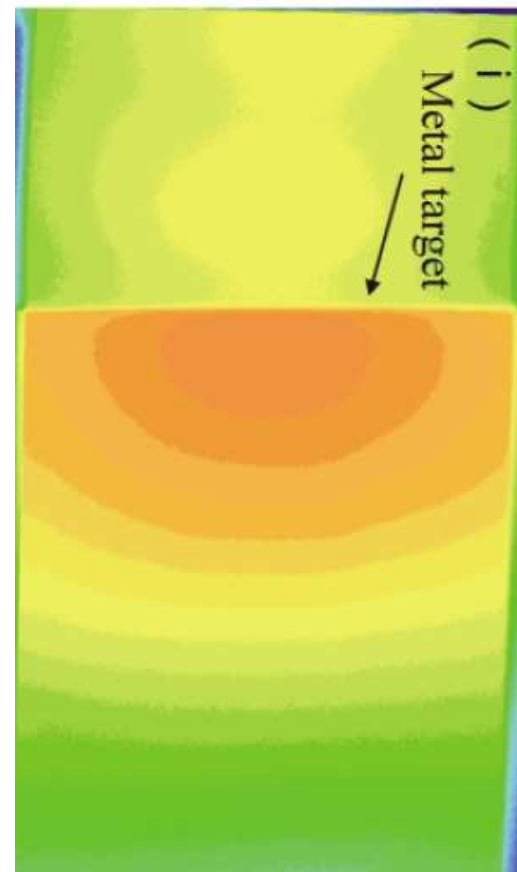
	-75	-45	5	55
Al半価層 [mm]	0.40	0.43	0.31	0.52
実効エネルギー [keV]	16.0	16.5	14.5	17.6

	-75	-45	5	55
Al半価層 [mm]	0.75	0.76	0.51	1.17
実効エネルギー [keV]	20.0	20.0	17.6	22.6

評価結果の妥当性(分布)



本研究
*クルックス管長軸を縦に配置



藤淵 他, イメージングプレートを用いたクルックス管からの漏洩線量分布測定、日本放射線安全管理学会雑誌, 2011

評価結果の妥当性 (線量率)

文献	評価線量	評価点 [cm] (電流方向)	線量率 [mSv/h]	評価法	備考
本研究	H*(10)	15, 50, 85	2.9, 0.53, 0.17	Monte Carlo	30 kV, 40 μ A
藤淵 他 ¹	H*(10)	近傍	6.8, -, -	ICS-315	
秋吉 他 ²	H*(10)	15, 50	5.3, 0.47, -	Hitachi ICS-1323	40 μ A
宇藤 ³	?	100	-, -, 0.02	GM 管	
大森 ⁴	H*(10)	15	94, -, -		15.6 keV
本研究	H*(0.07)	30	8.1		30 kV, 200 μ A
秋吉 他	H*(0.07)	30	2.4		20 keV, 200 μ A

1. 藤淵 他, イメージングプレートを用いたクルックス管からの漏洩線量分布測定、日本放射線安全管理学会雑誌, 2011
2. 秋吉 他, クルックス管からの低エネルギーX線評価手法の開発、放射線化学, 106, 2018
3. 宇藤, 教育現場における冷陰極管の漏洩X線について、福岡教育大学紀要, 66, 2017
4. 大森, クルックス管から漏洩するX線の実態とその対策物理教育, 4, 1995

考察

- 印加電圧20 kV に対して30 kVでは、線量が10倍近く高くなる
 - 施設で所持する装置により値は大きく異なる。
 - 方向依存性も大きい
- 低エネルギーX線では、線量評価指標により10倍以上の値の差
 - 何の指標で評価すべきか
 - 何を知りたいか(がんのリスク、皮膚障害のリスク)
 - 対象者の被ばくの不均一性
- シミュレーションの限界
 - ガラス管の厚さ、真空度、装置の劣化、電源装置の安定性

結語

- クルックス管により発生するX線は低エネルギーであり、線量は、印加電圧と電流に大きく依存する。
- 空間線量分布の把握から、防護の三原則(時間、距離、遮蔽)を意識して利用することが安全管理につながる。
- 評価指標により数値が大きく変わることから、何を評価したいか、値の解釈も含め理解を促す準備をする必要がある。