

## (6) シミュレーションによる 線量評価の試み

○藤淵 俊王1)、秋吉 優史2)、松本 亮2)、  
山口 一郎3)、古田 琢哉4)

1) 九大医 2) 大阪府大放センター 3)保健医療科学院、4)JAEA

# 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。**

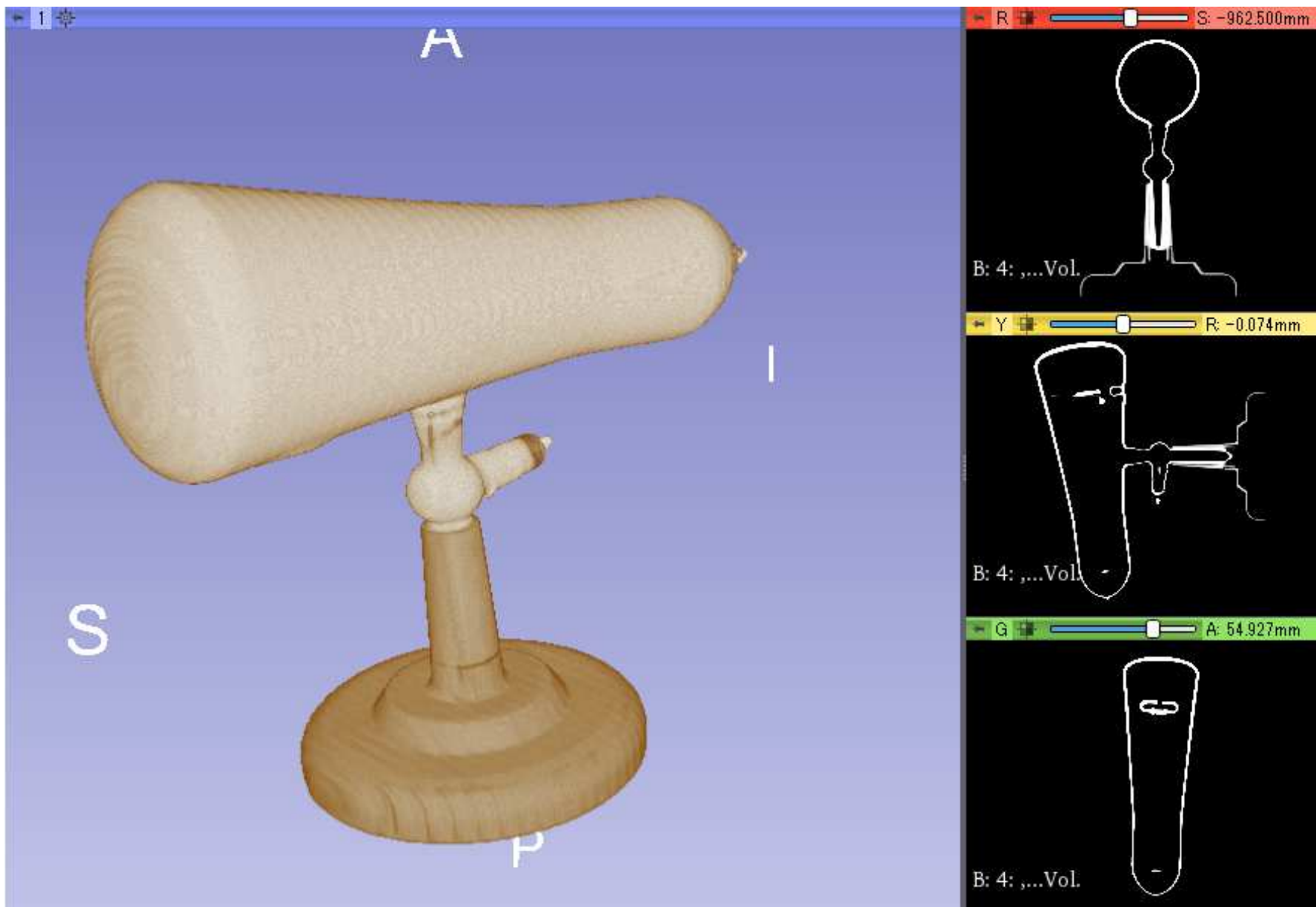
## **目的**

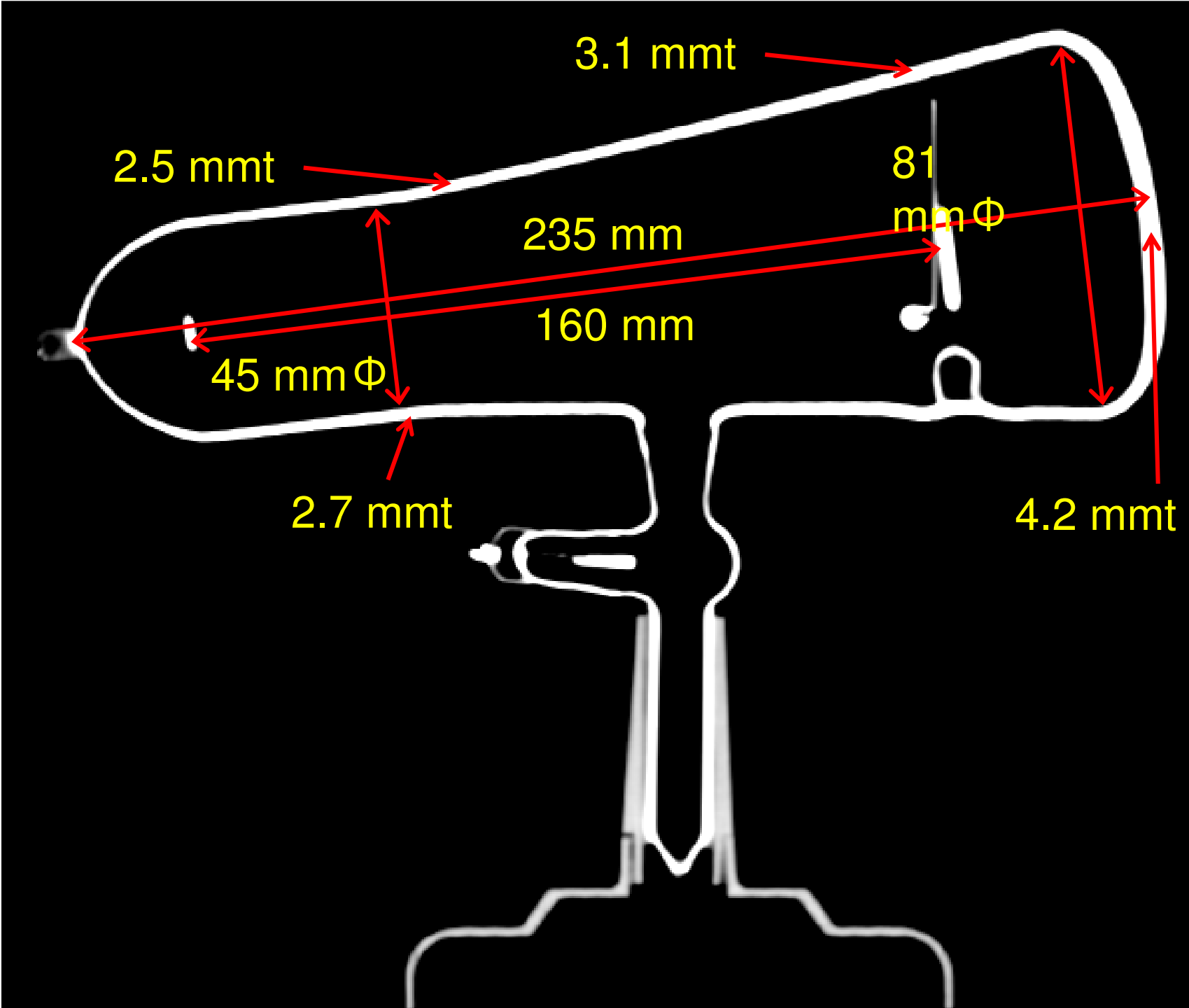
**シミュレーションにより、異なる印加電圧でクルックス管から発生するX線の空間線量分布、線量指標の違いを相対的に明らかにし、放射線安全管理上の適切な線量指標と、安全管理の在り方について報告する。**

# 方法

- **クルックス管の構造の解析**
  - ✓ X線CT撮影によるガラス厚の評価
- **シミュレーションによるクルックス管周囲の線量分布の評価**
  - ✓ 線源の電子エネルギースペクトルをガウス分布（中心値20 keV、半値全幅16 keV、最大値42 keV）で計算  
（2018年度は単色電子 20, 30 keV）
  - ✓ ガラスの厚さの違い（1.5 mmと0.45 mm）
  - ✓ クルックス管周辺の線量分布の可視化

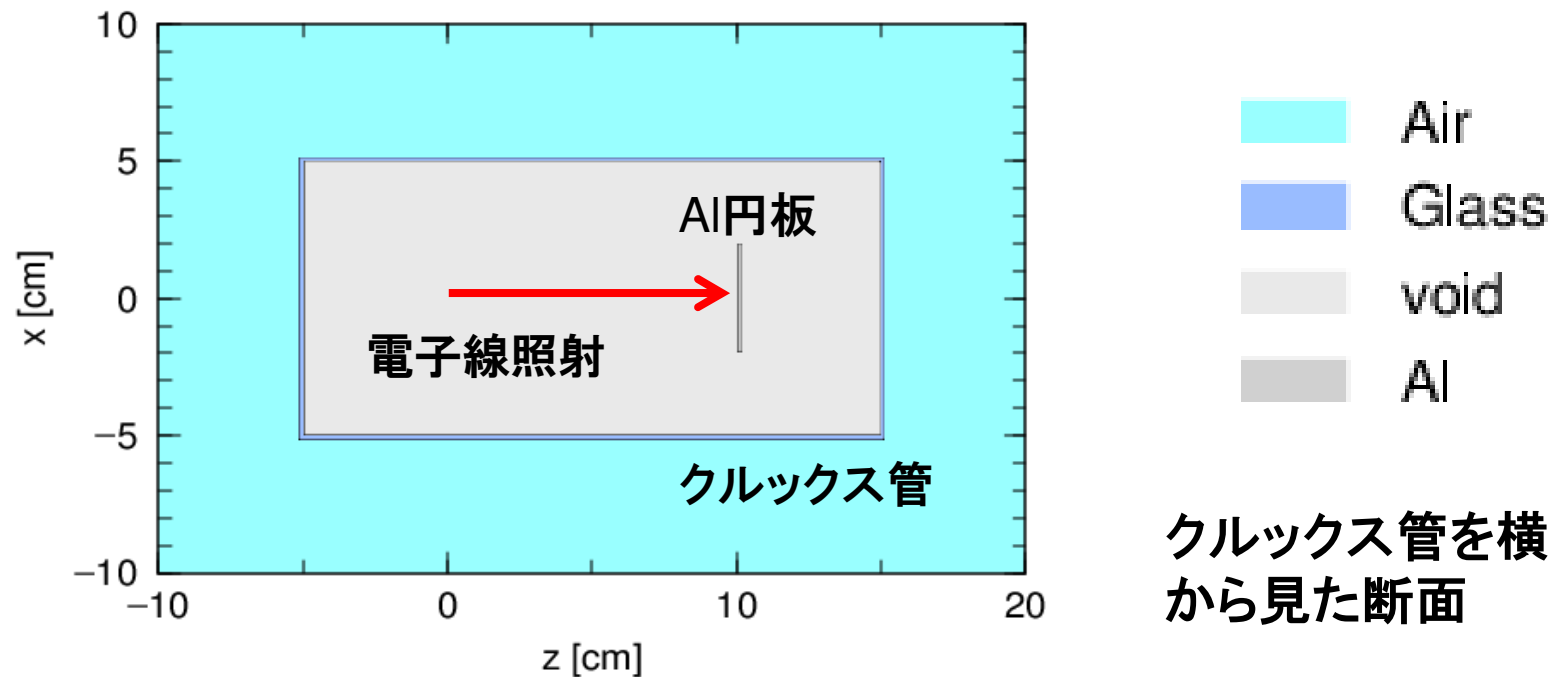
# CT撮影によるクルックス管の構造の解析





# 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 v3.17
- 直径10 cm、長さ20 cm
- 厚さ1.5 mm(両端は3 mm)および0.45 mm円筒型のガラス管
- ガラスの組成は $\text{SiO}_2$ 、密度 $2.5 \text{ g/cm}^3$
- 線源: 中心値20 keV、半値全幅: 16 keV、最大値42 keVの連続エネルギースペクトル電子を照射
- 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



# 線源の電子エネルギースペクトル

ガウス分布

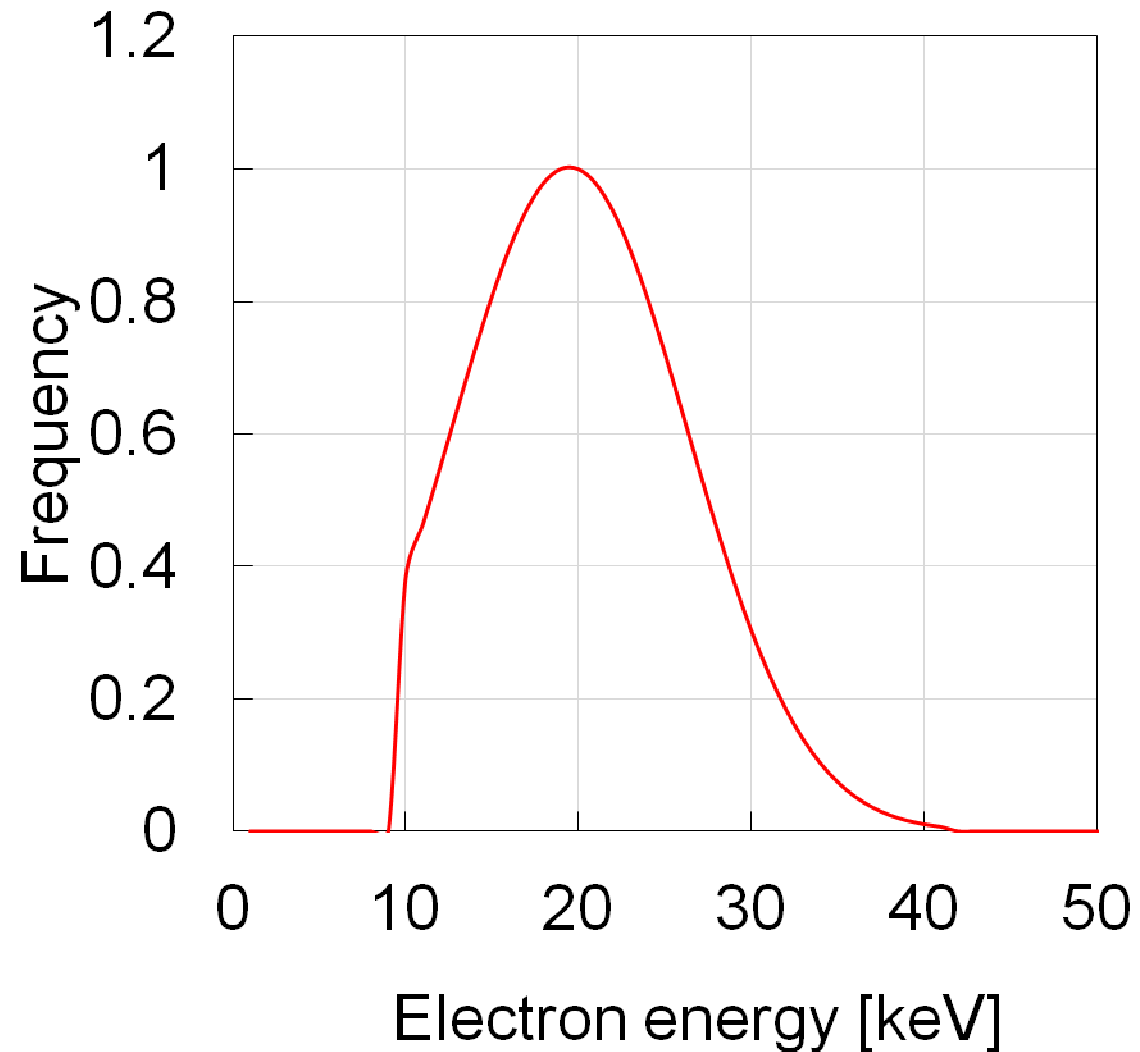
中心値: 20 keV

半値全幅: 16 keV

最大値: 42 keV

最小値: 10 keV

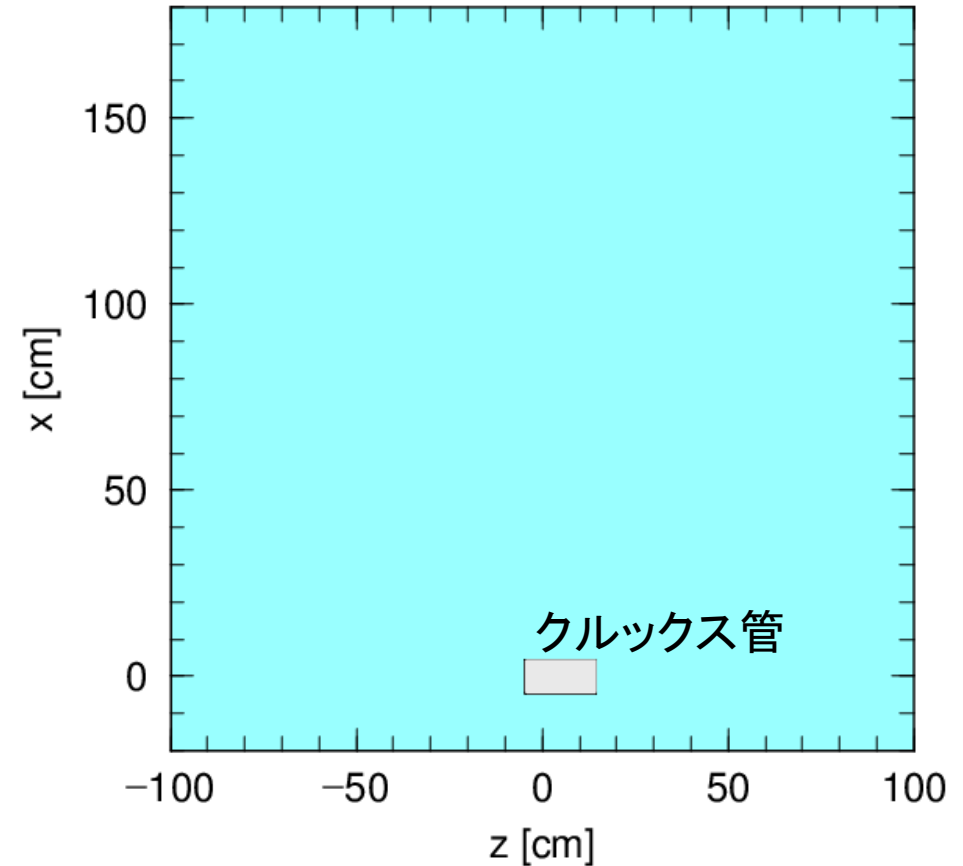
単色20,30 keVで  
の計算と比較





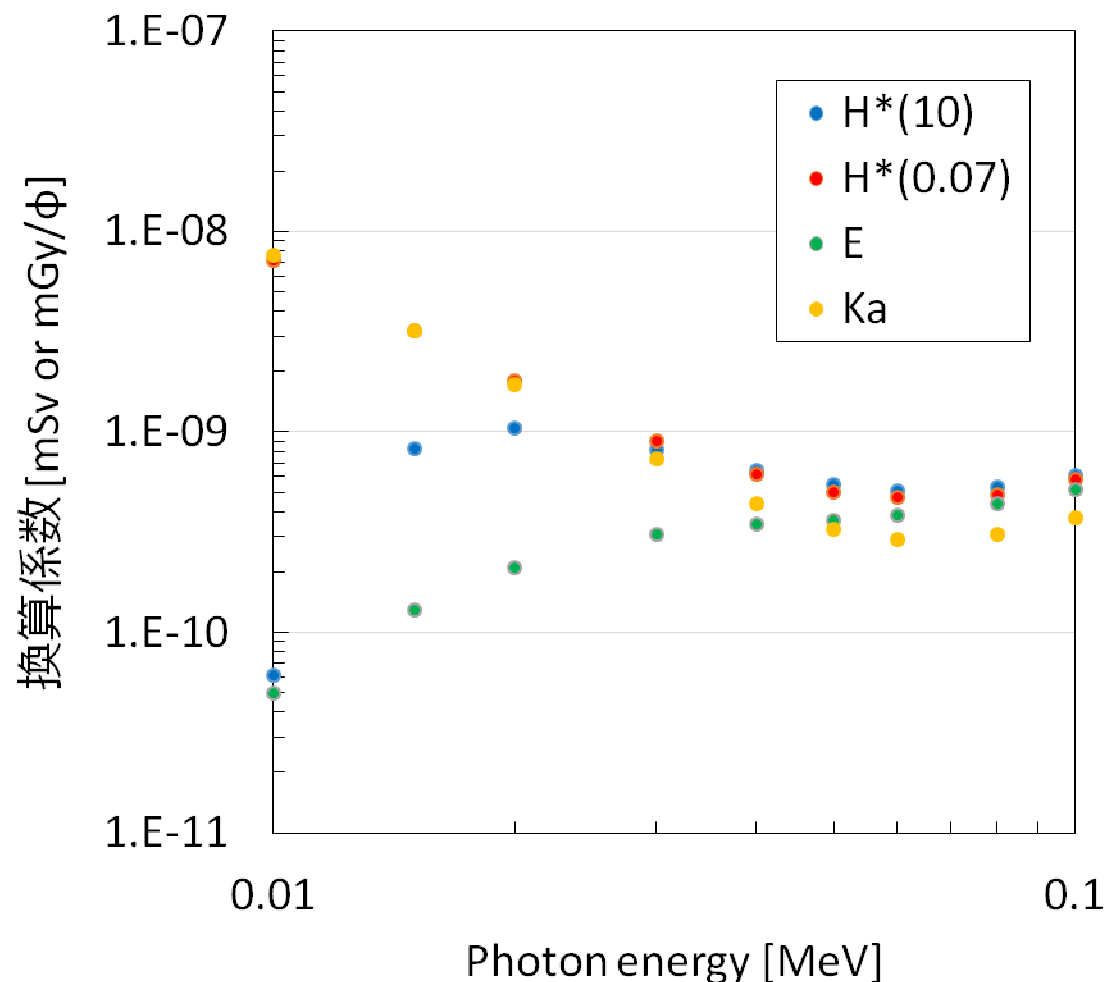
# 線量分布、エネルギーの評価

- 室内2 m立方の空間の線量分布
  - 1cm線量当量 $H^*(10)$
  - 70  $\mu$  m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
- 等線量曲線を算出



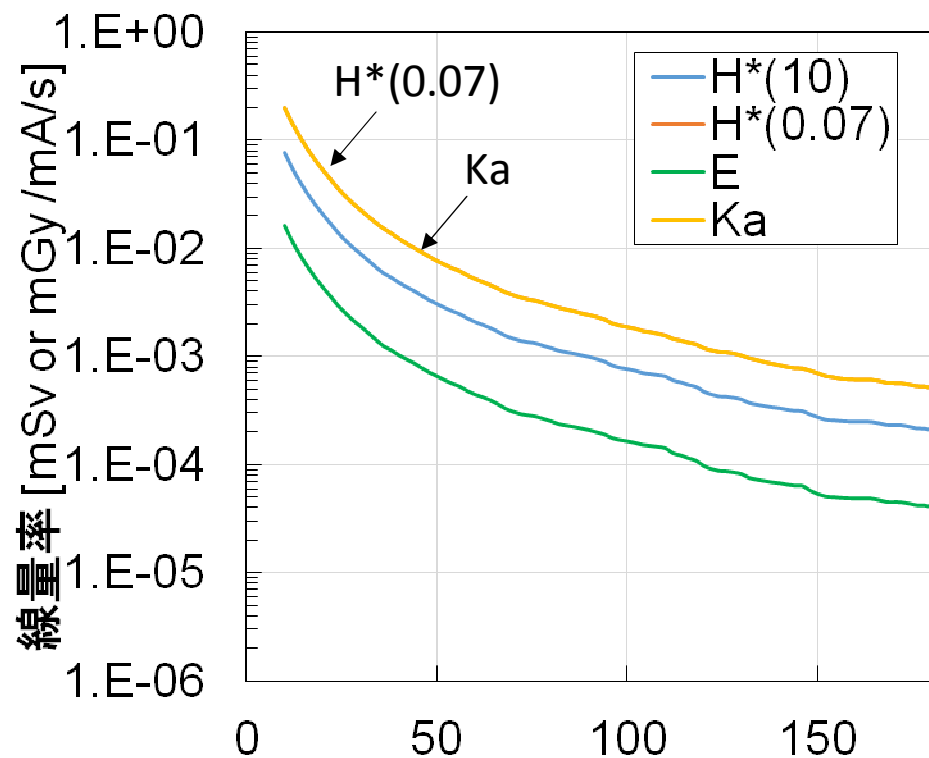
# 線量計算、評価手法

- 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 $6.25 \times 10^{15}$ 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

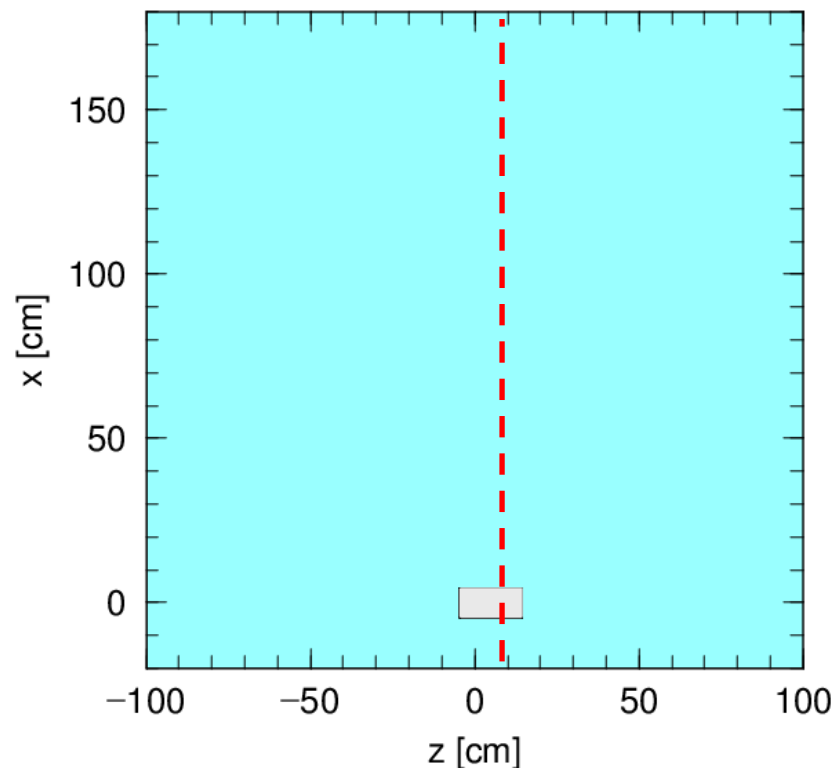
# X軸方向の線量プロファイル



アルミ板からの距離(X軸方向) [cm]

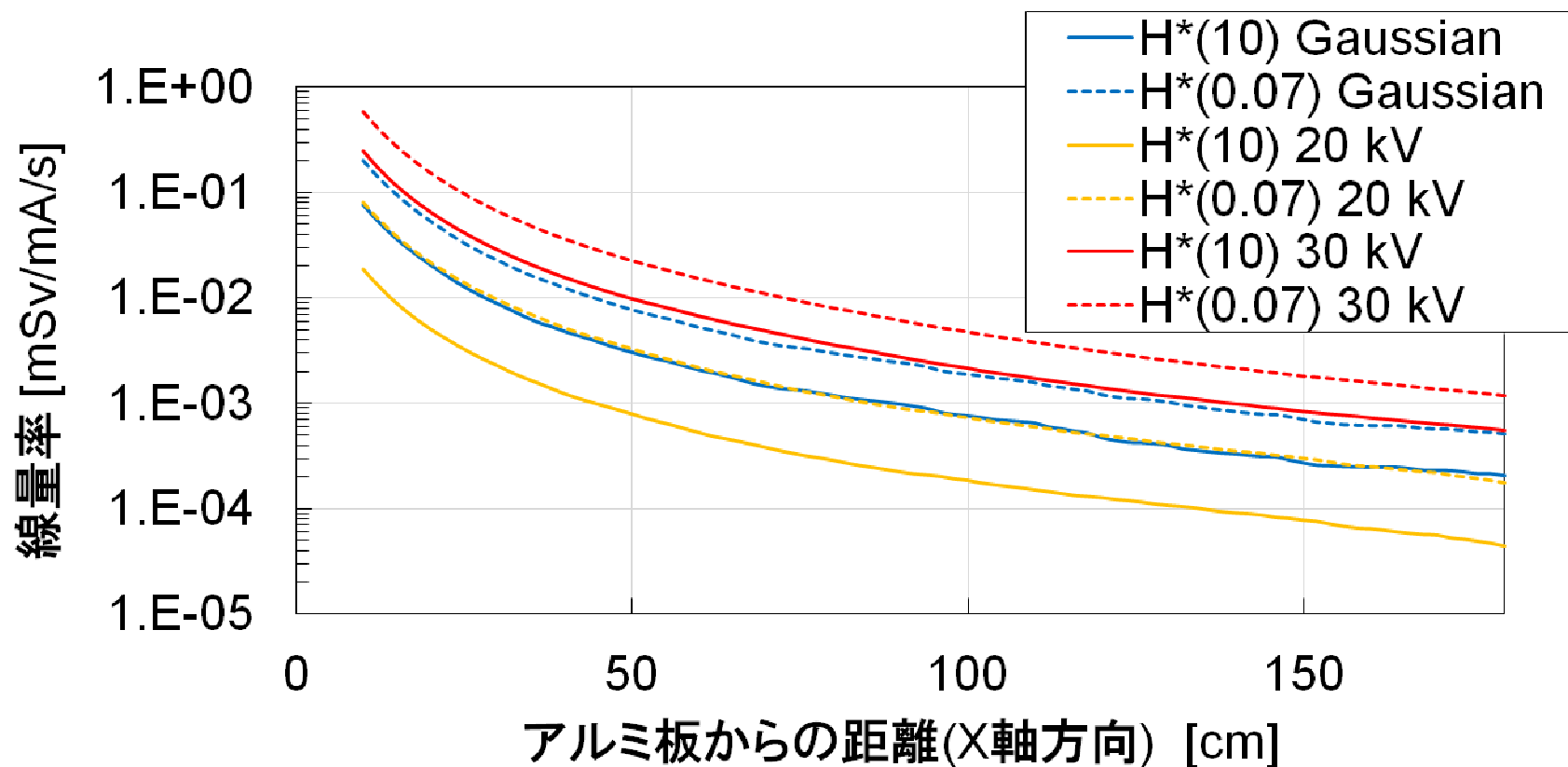
表面での線量に対して、

- 50 cmで5%
- 100 cmで1.3%
- 150 cmで0.5% **に減弱**



クルックス管アルミ板上  
の電流に対して垂直方向  
の線量プロファイル

# ガウス分布と(先行研究) 20, 30 keV の線量プロファイルの比較



1 m、100  $\mu$ A、10分での1cm、70 $\mu$ m線量当量 [ $\mu$  Sv]

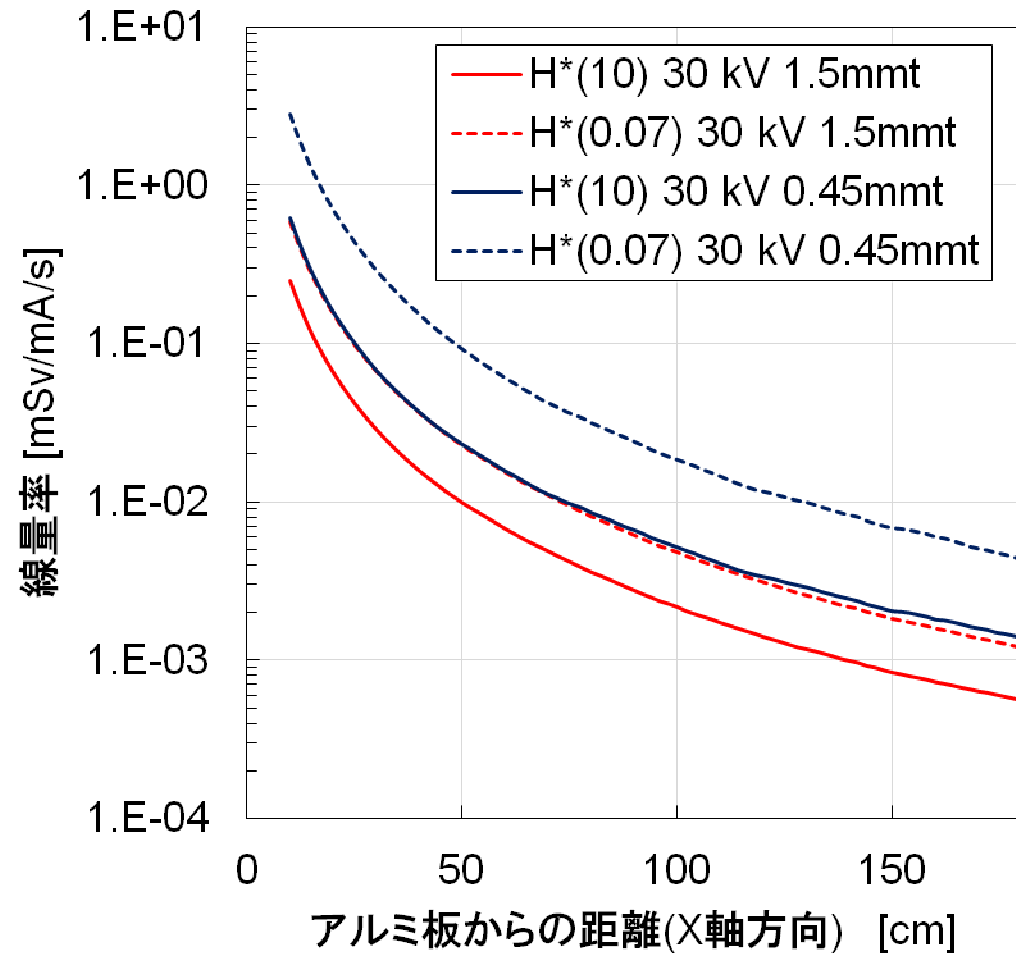
H*(10) Gaussian	H*(10) 20 keV	H*(10) 30 keV
46.0	11.2	129.0
H*(0.07) Gaussian	H*(0.07) 20 keV	H*(0.07) 30 keV
114.4	44.2	286.6

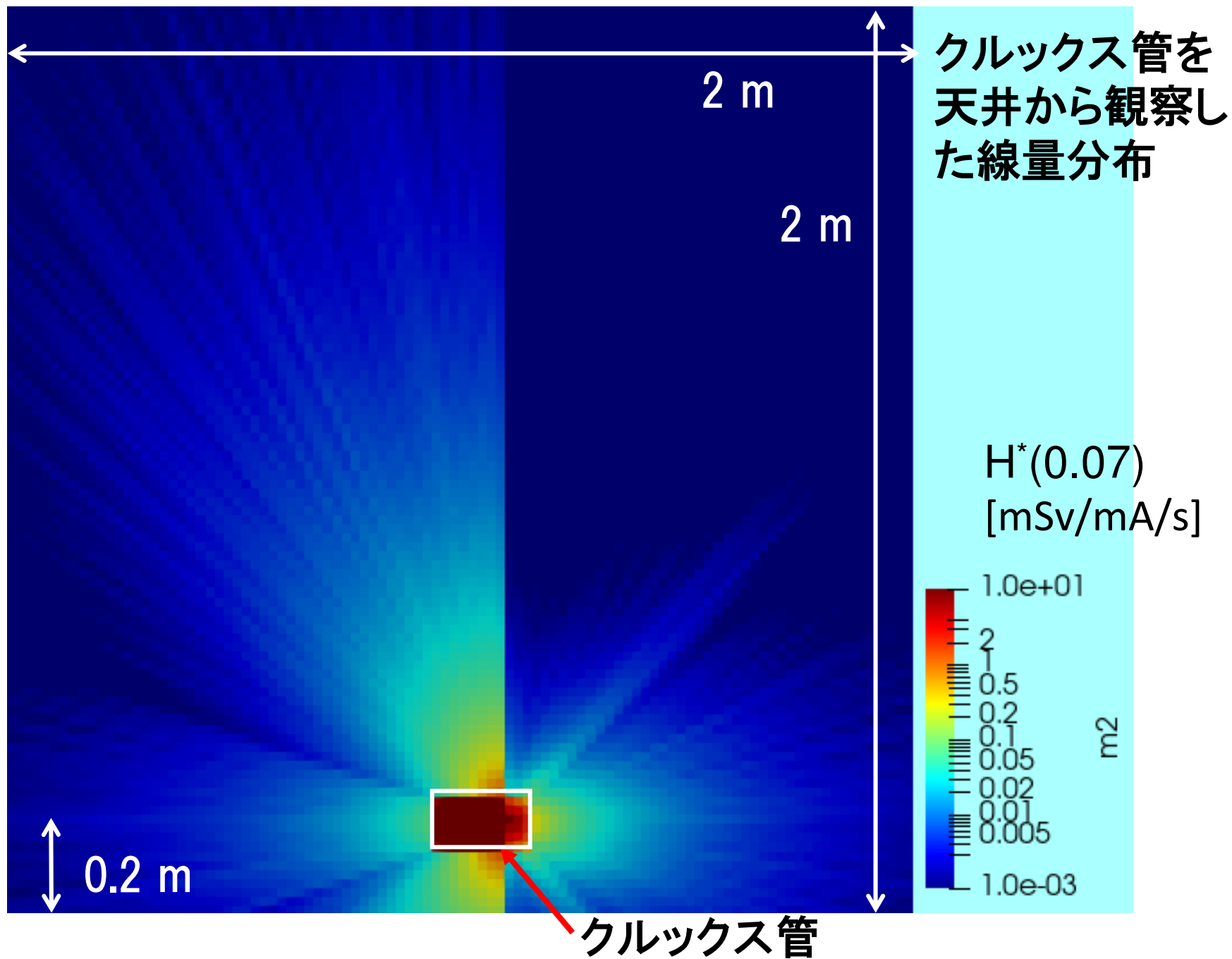
# ガラス厚による周辺線量当量の違い(1.5mm、0.45mm)

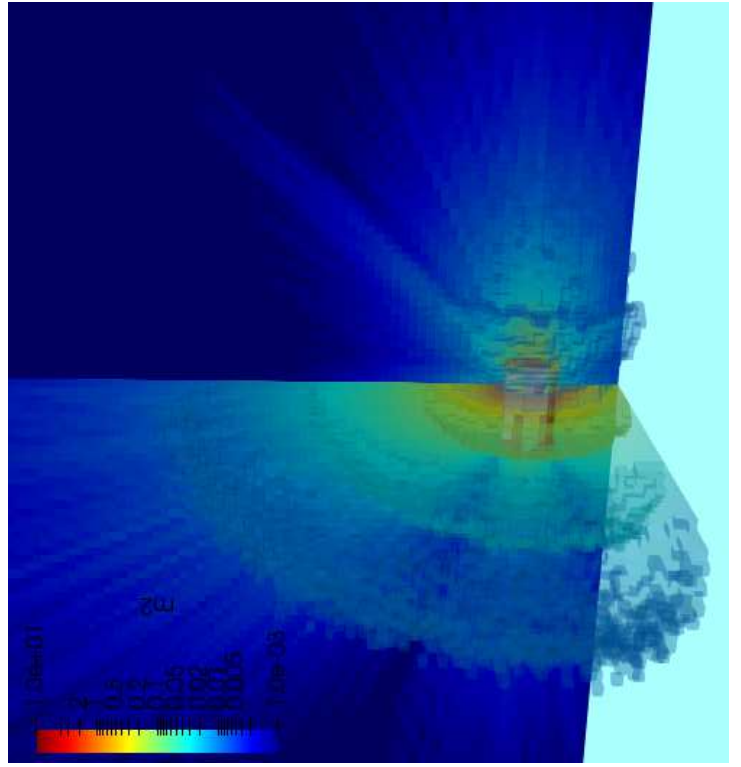
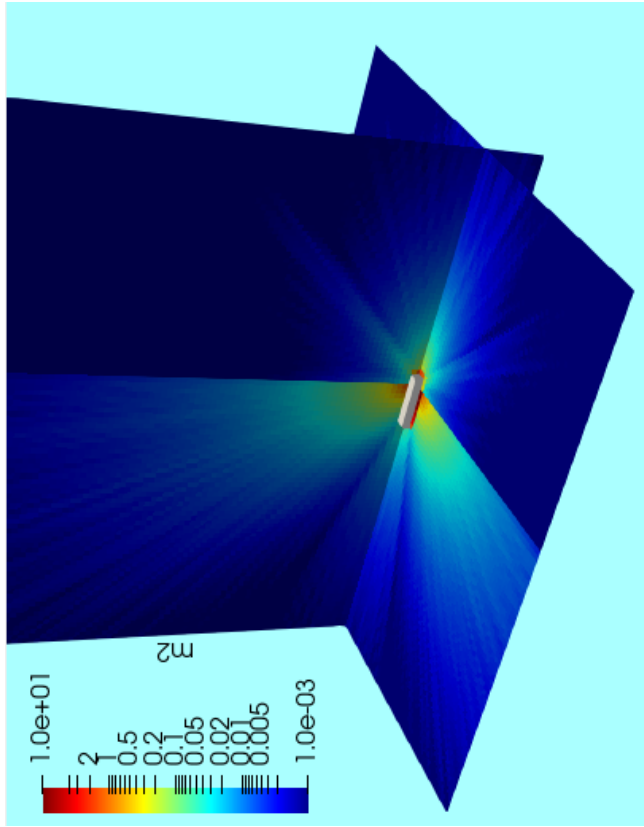
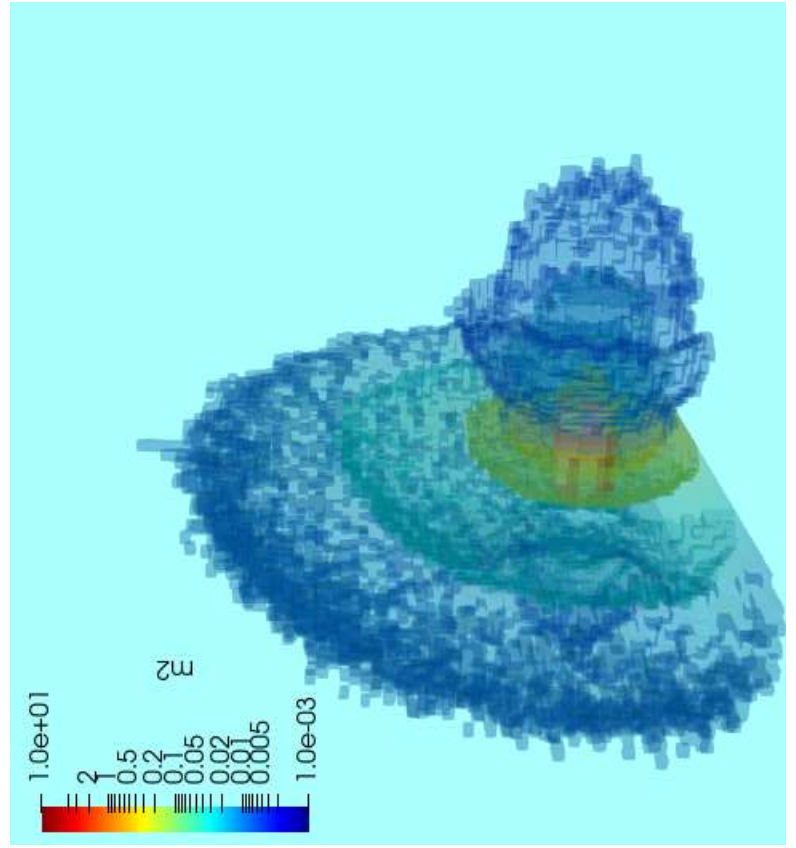
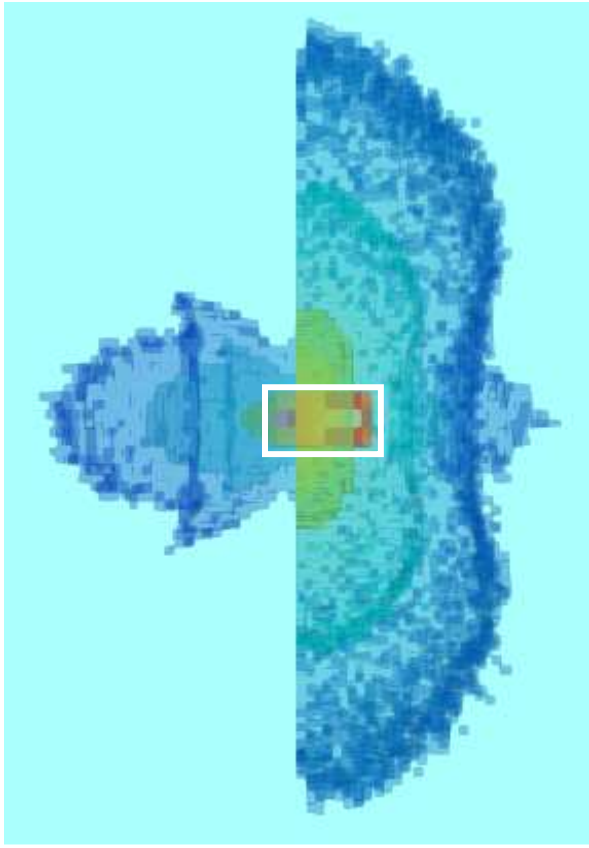
厚さが1/3になると

• $H^*(10)$ で2.5倍

• $H^*(0.07)$ で4.8倍







Pipeline Browser

- builtin:
- H-XZoom.vtk
- Tube**
- 0.1TH
- Xplane
- Yplane
- Slice 1
- 0.01TH
- 0.001TH

Properties Information

Apply Reset Delete

Search \_ (use Esc to clear text)

Scalars region

Minimum 1

Maximum 108

All Scalars

Use Continuous Cell Range

Invert

**Display (Unstructured)**

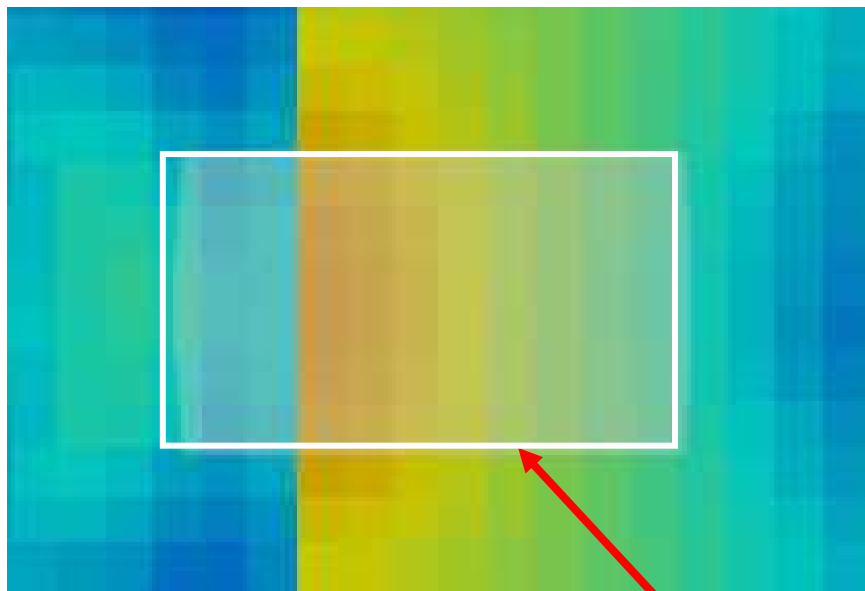
Representation Surface

Layout #1 X +

RenderView1



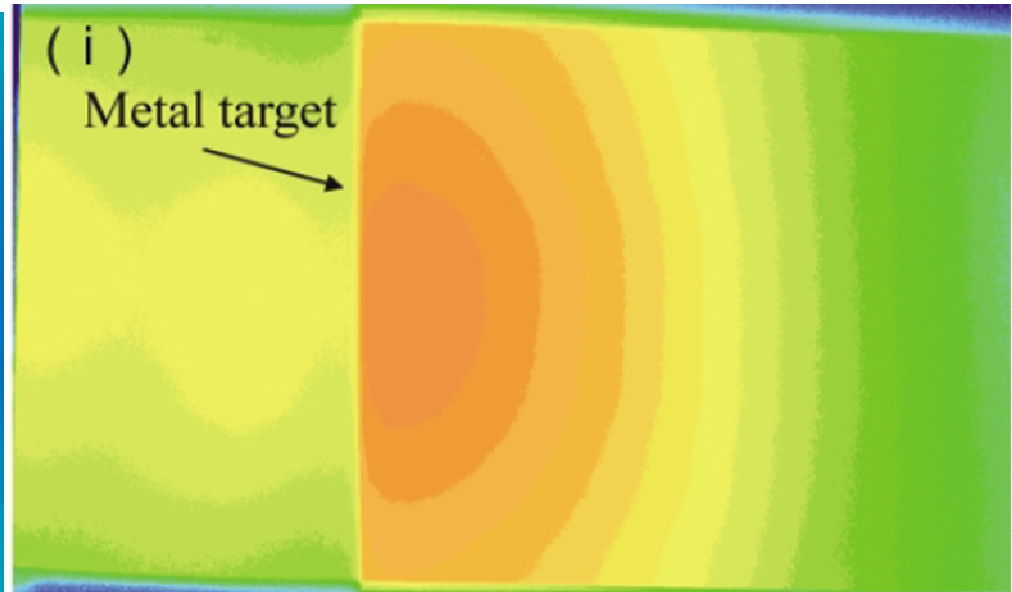
# 評価結果の妥当性(分布)



クルックス管

本研究

\*クルックス管長軸を横に配置



(i)  
Metal target  
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

# 考察

- 印加電圧、ガラスの厚さで周辺線量は大きく異なる
  - 20 kV に対して30 kVでは、10倍近く高くなる。
  - ガラスの厚さに反比例
  - 電流に正比例
- 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、印加電圧とガラス厚に大きく依存する。
- 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。

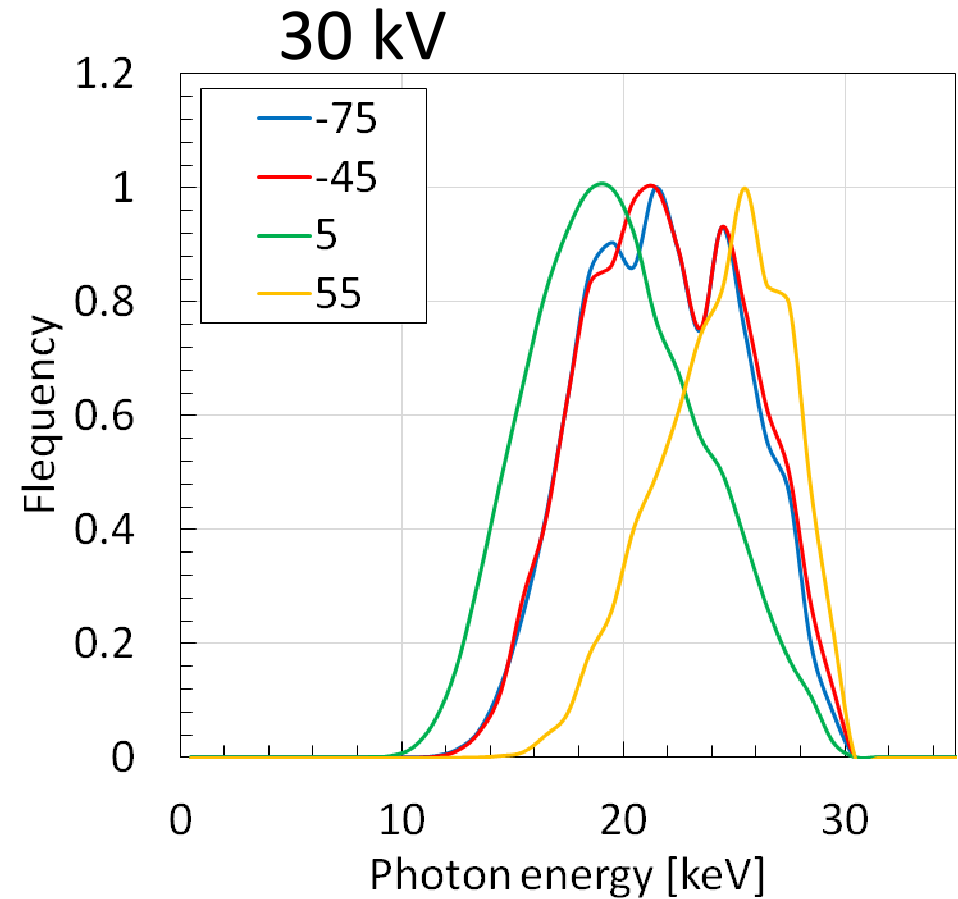
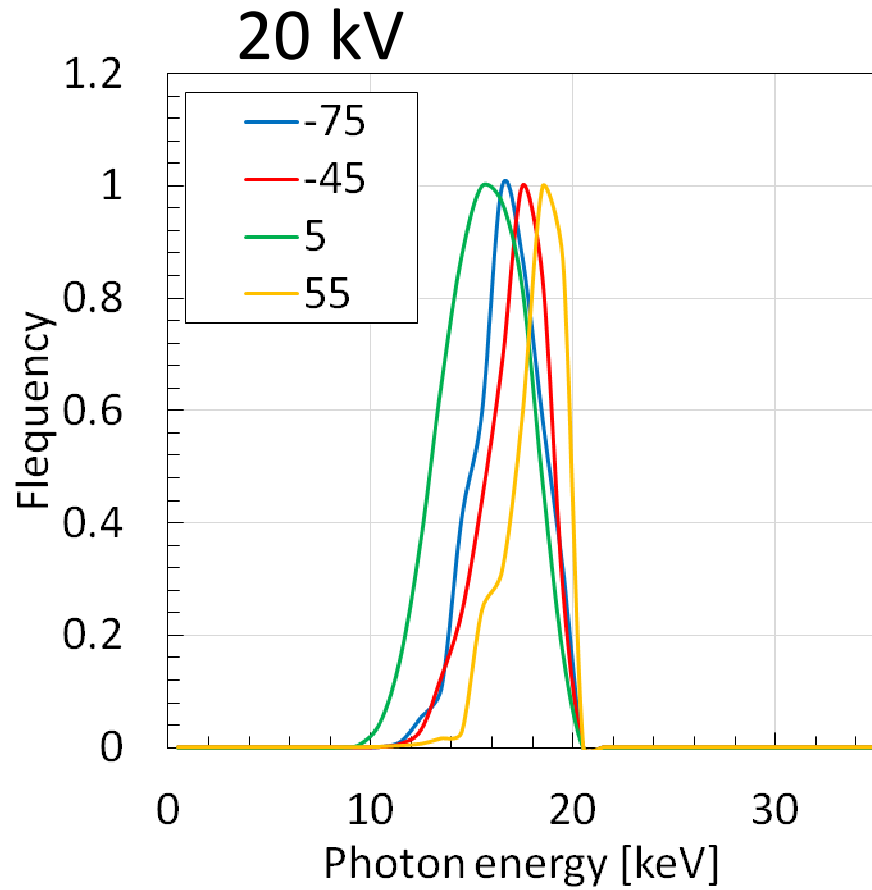


# 評価結果の妥当性 (線量率)

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 $\mu$ A
藤淵 他 <sup>1</sup>	H*(10)	近傍	6.8, -, -	ICS-315	
秋吉 他 <sup>2</sup>	H*(10)	15, 50	5.3, 0.47, -	Hitachi ICS-1323	40 $\mu$ A
宇藤 <sup>3</sup>	?	100	-, -, 0.02	GM 管	
大森 <sup>4</sup>	H*(10)	15	94, -, -		15.6 keV
本研究	H*(0.07)	30	8.1		30 kV, 200 $\mu$ A
秋吉 他	H*(0.07)	30	2.4		20 keV, 200 $\mu$ 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

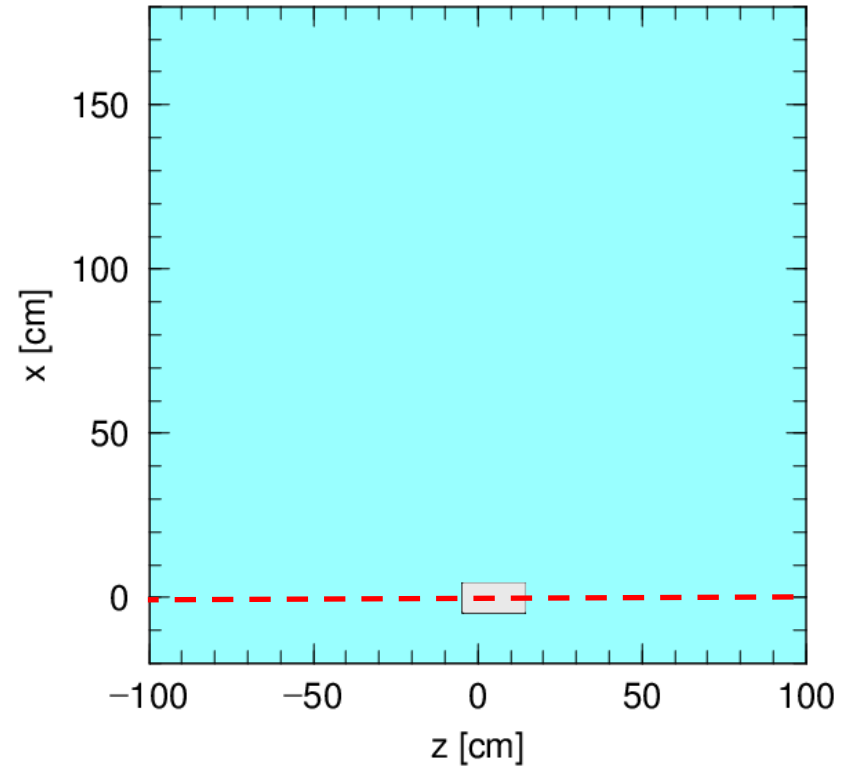
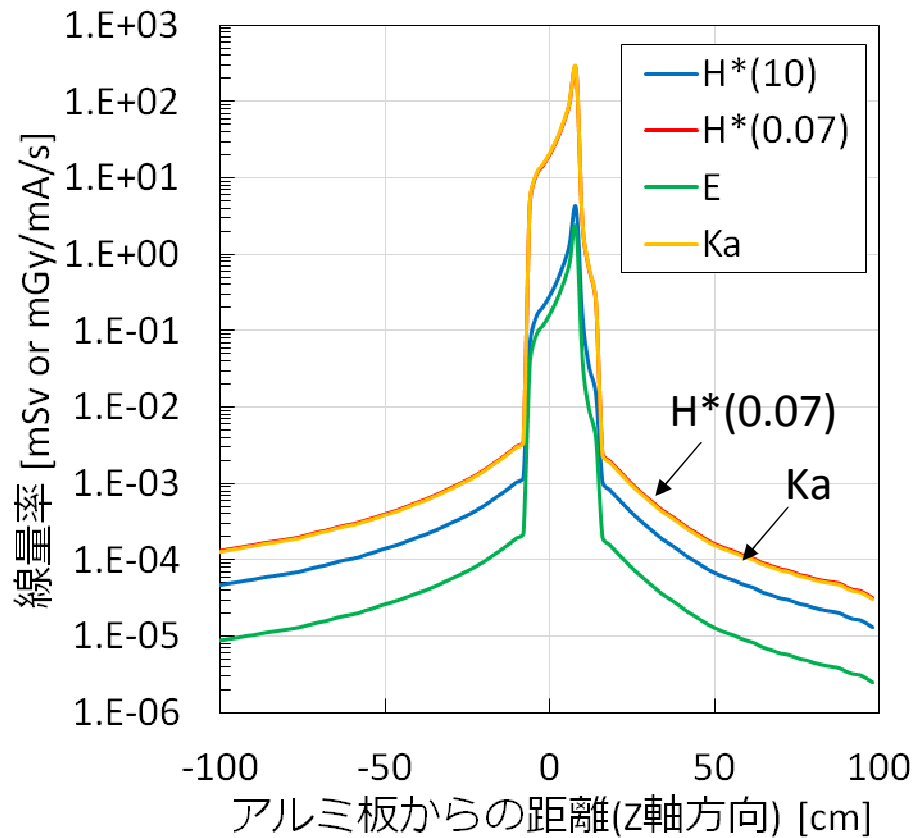
# 20, 30 kVでのエネルギースペクトルの比較



	-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

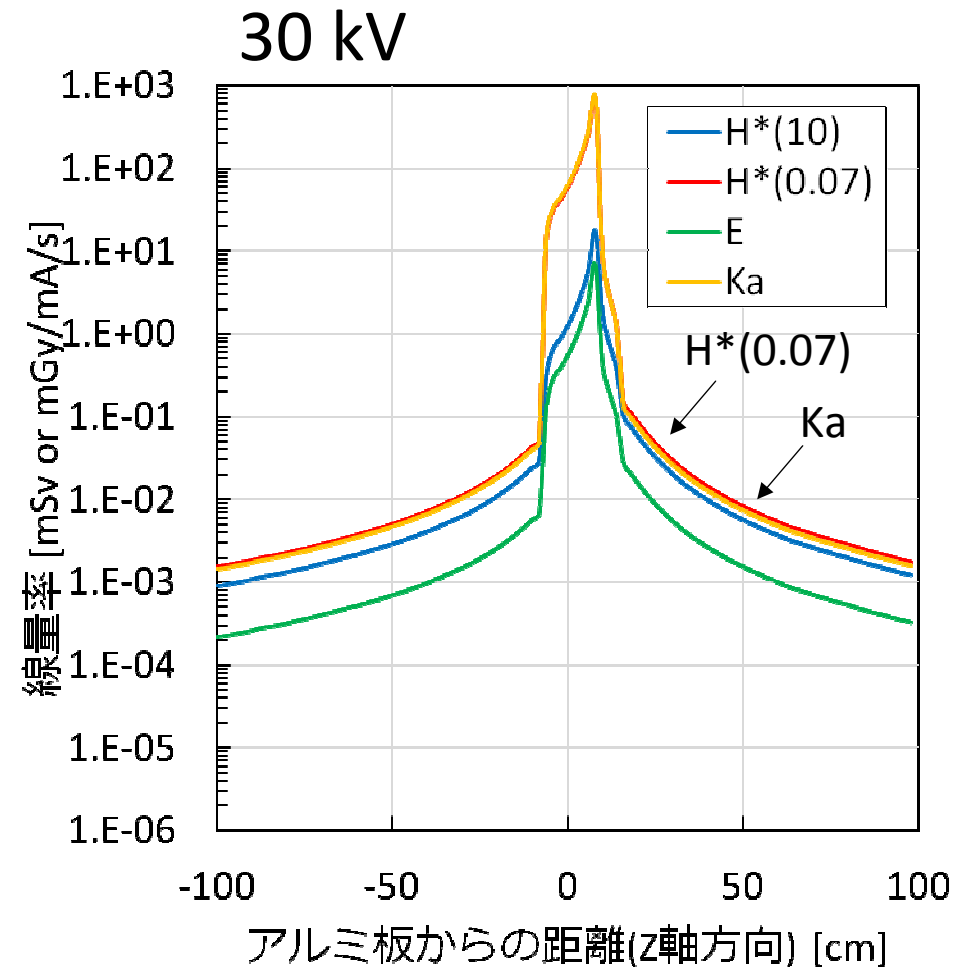
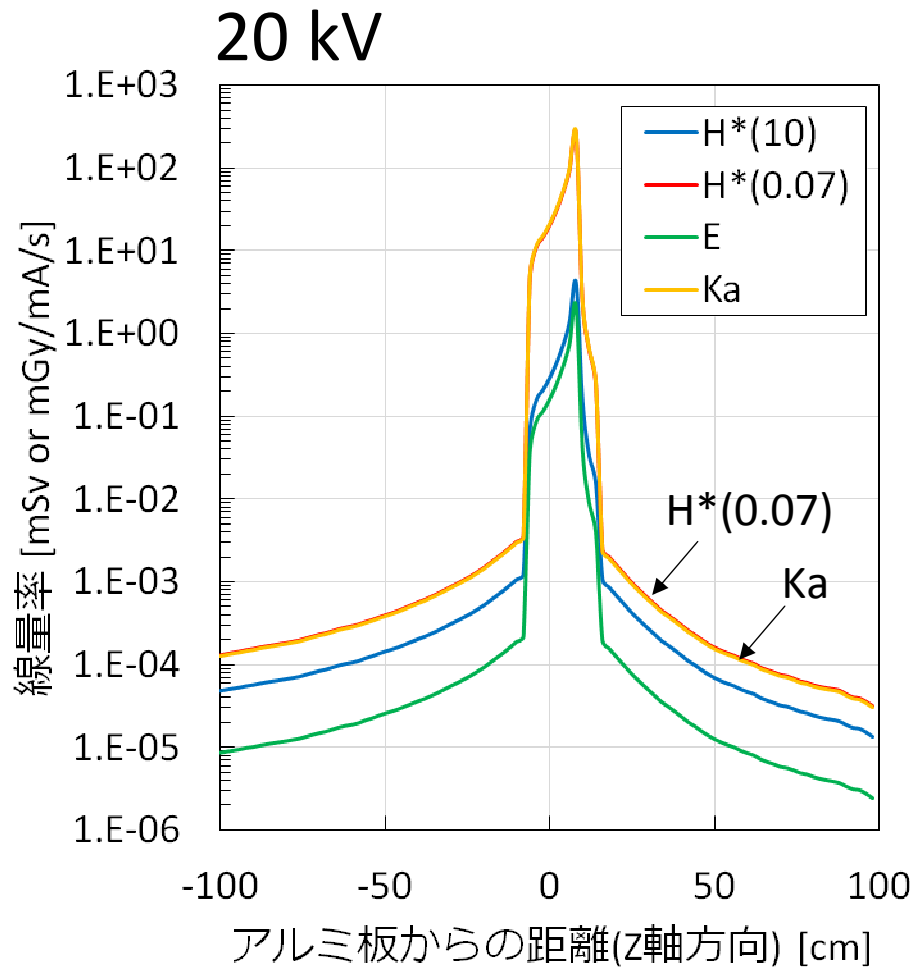
	-75	-45	5	55
Al半価層 [mm]	0.75	0.76	0.51	1.17
実効エネルギー [keV]	20.0	20.0	17.6	22.6

# 20 kVでのZ軸方向の線量プロファイル



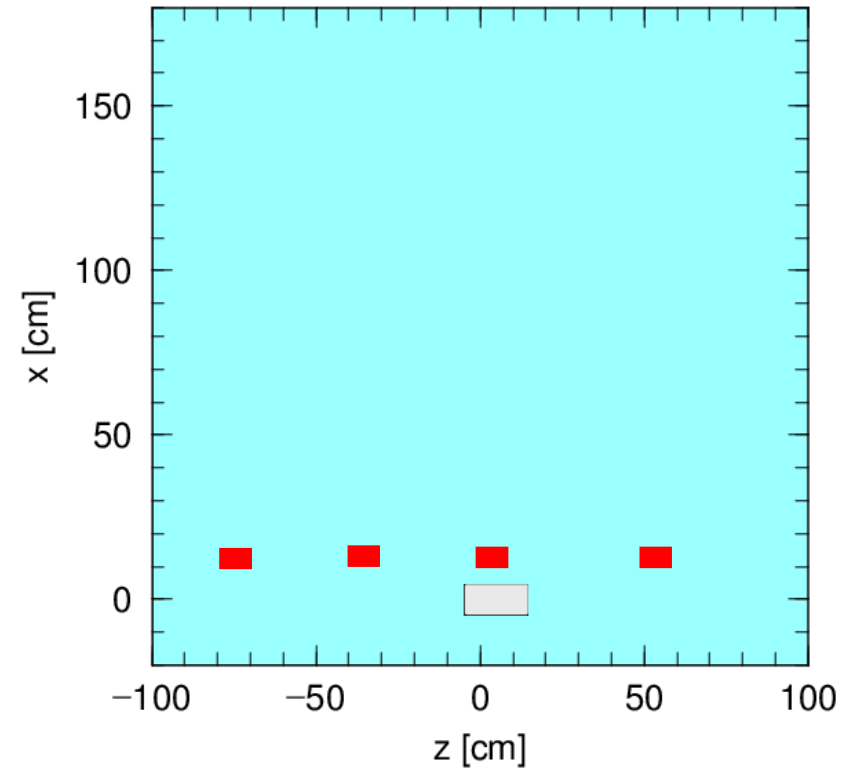
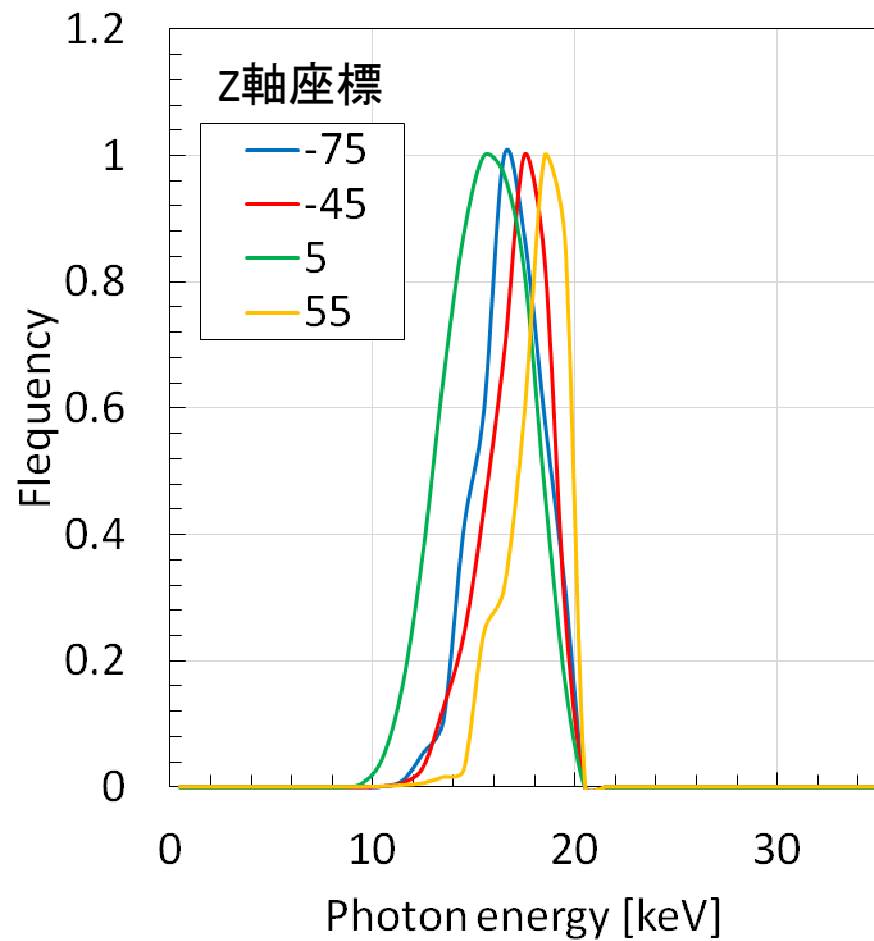
クルックス管長軸中心上  
電流に対して水平方向  
の線量プロファイル

# 20, 30 kVでのZ軸方向の線量プロファイル



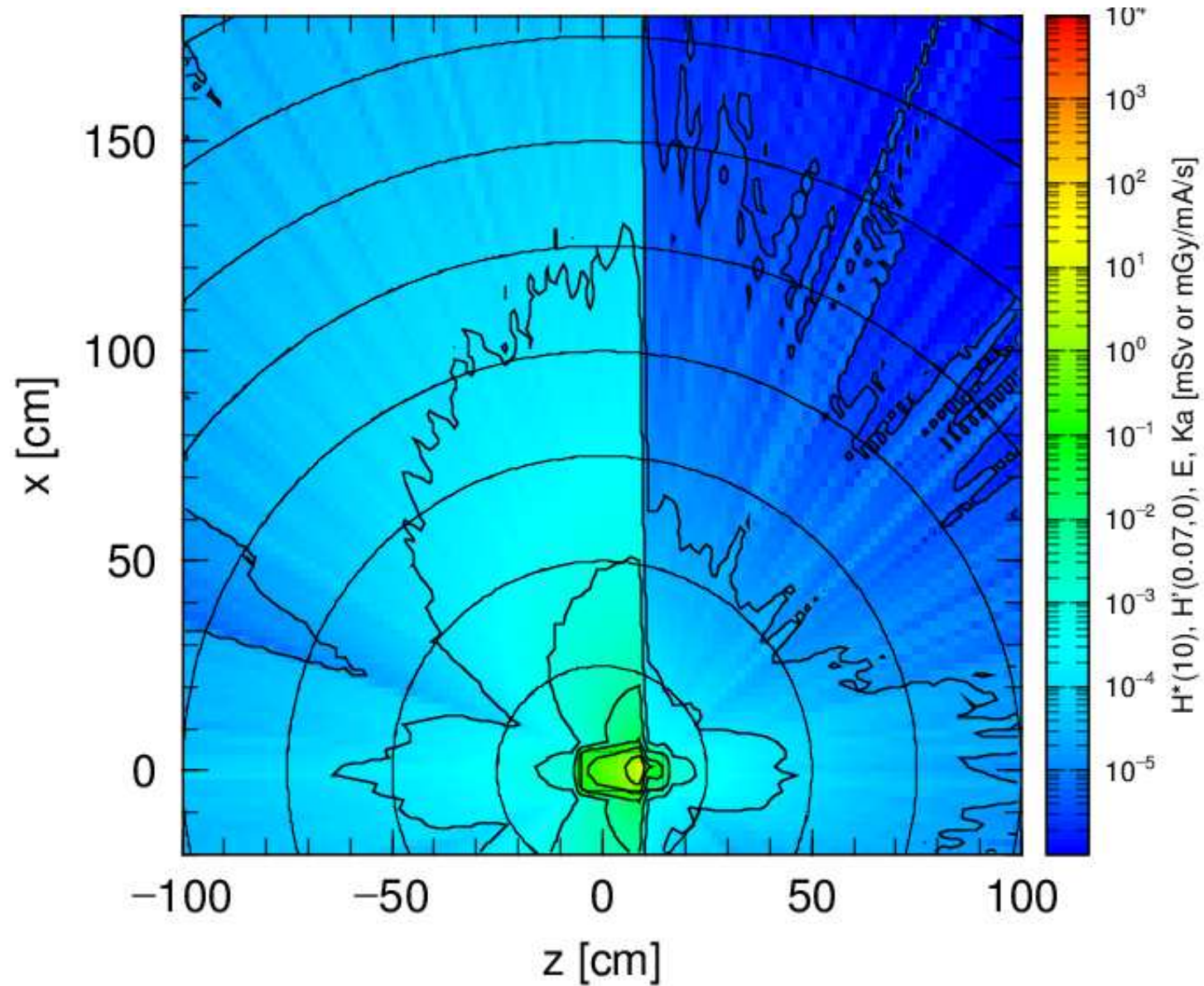


# 20 kVでのエネルギースペクトル

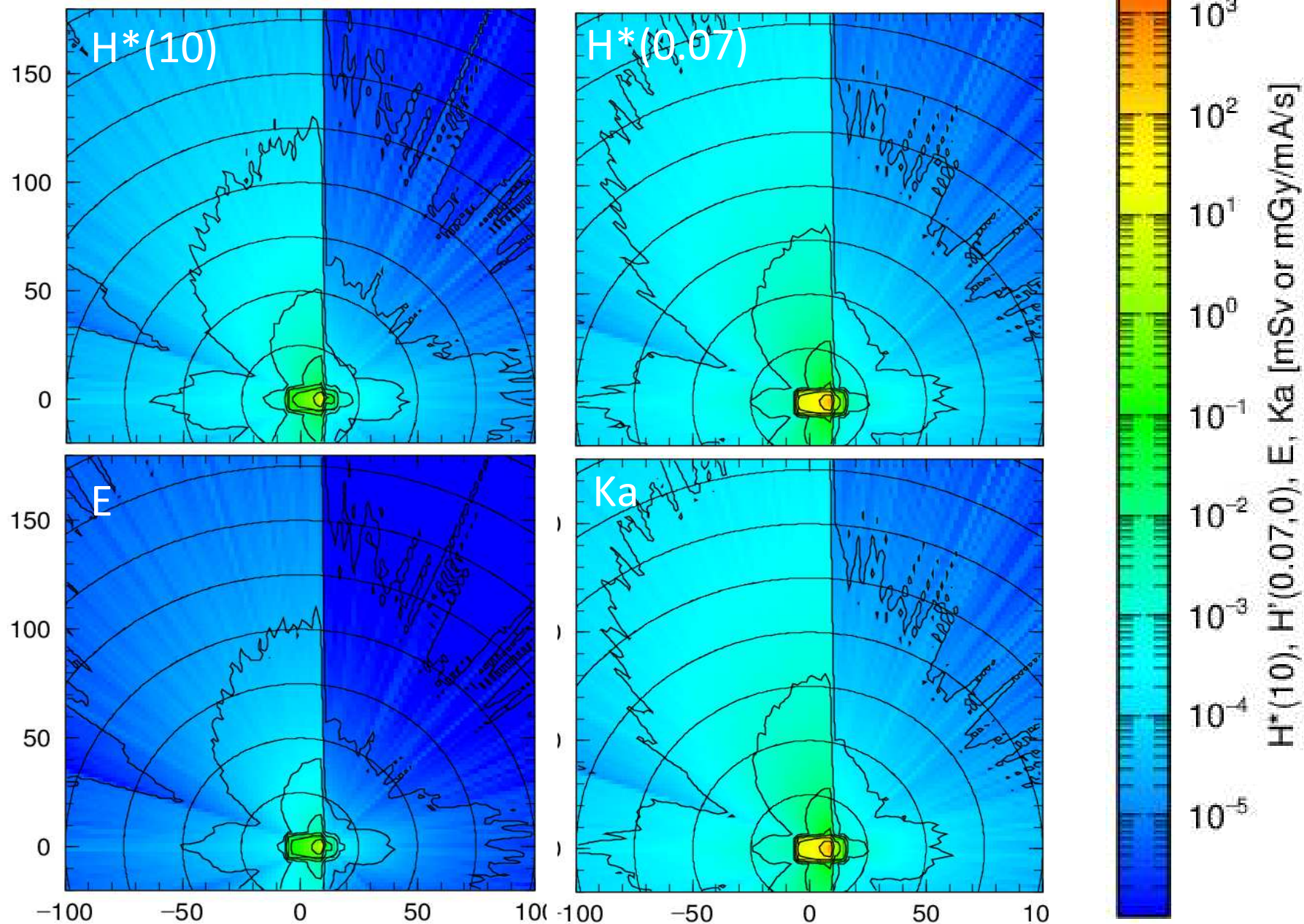


赤印: 評価点

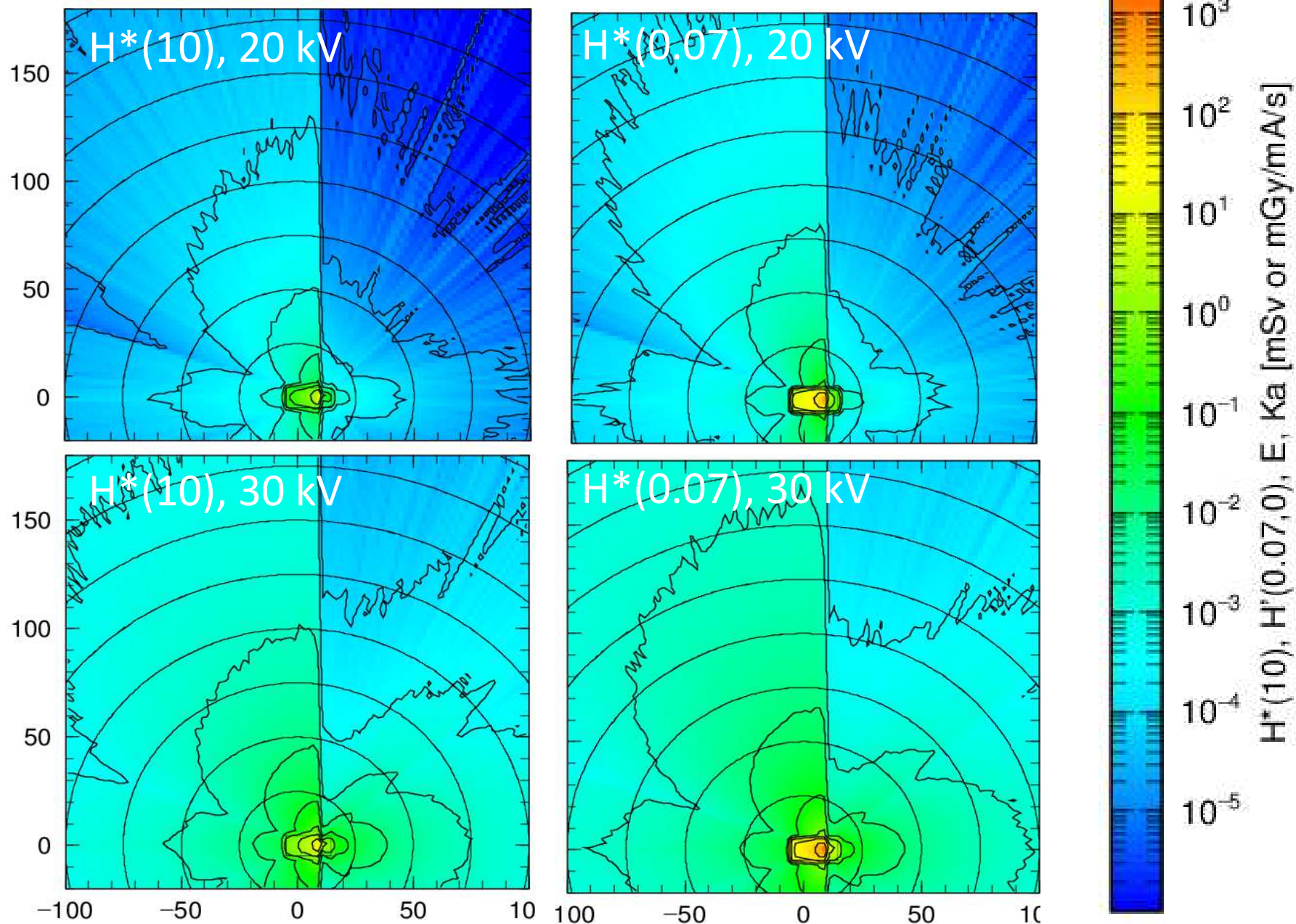
# 結果 20 kVでの1cm線量当量率分布



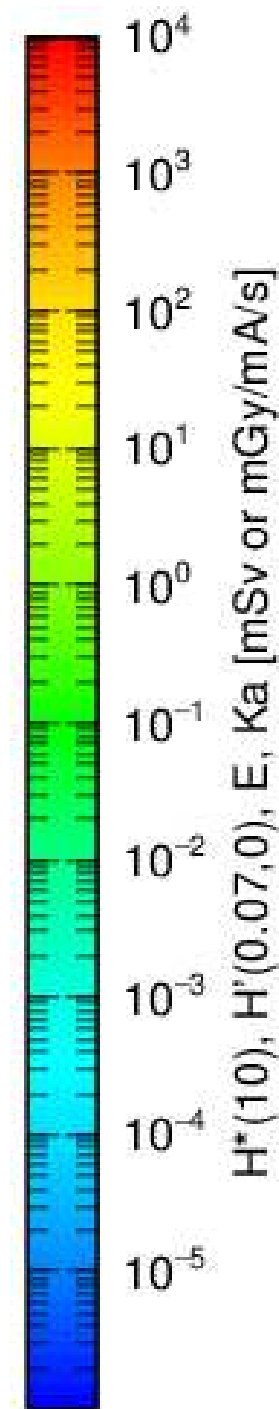
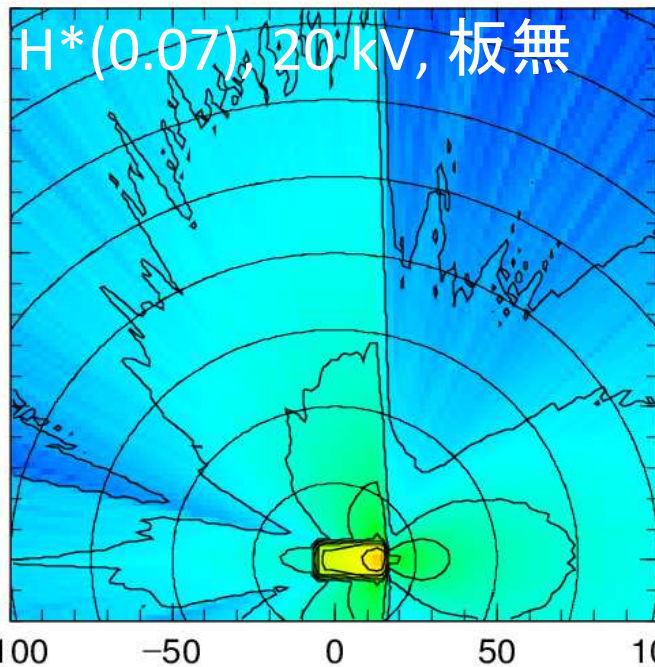
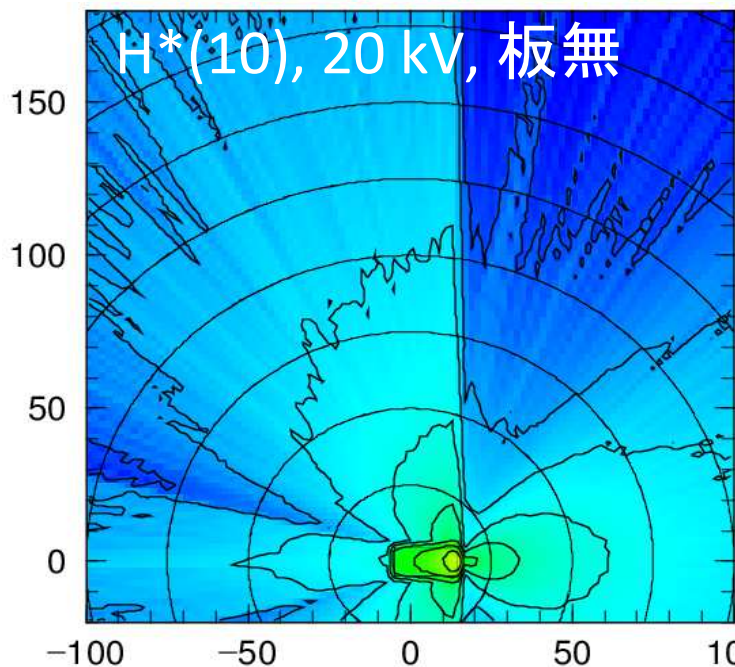
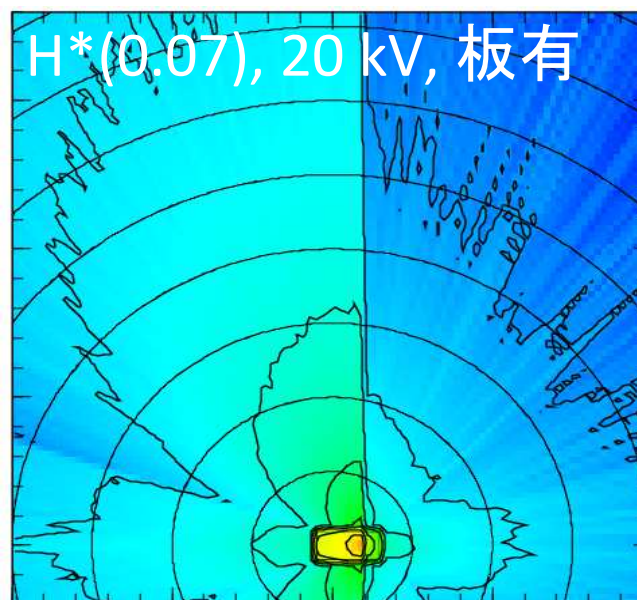
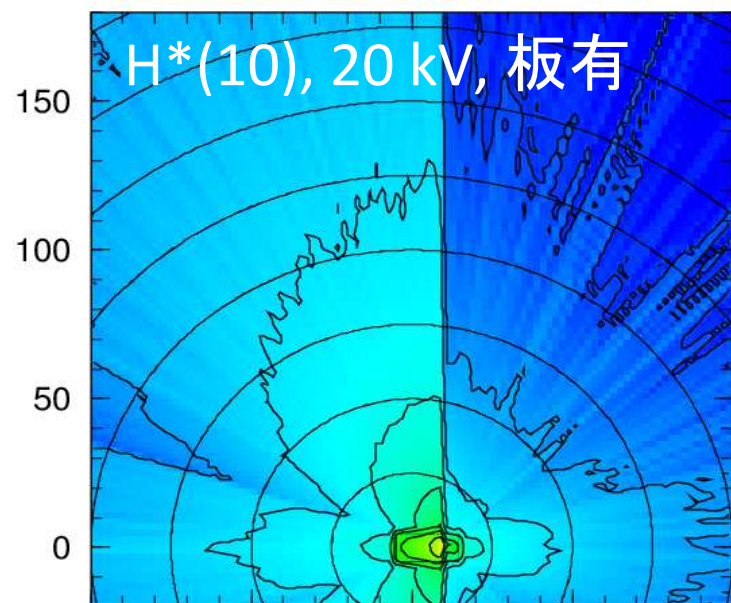
# 20 kVでの各線量率分布



# 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

