

**2021年 1月 28日**

**日本保健物理学会 企画シンポジウム @ Online**

**「教育現場における低エネルギーX線を対象とした  
放射線安全管理に関する専門研究会」報告**

**主査: 秋吉 優史 (大阪府大)**

**座長: 橋本 周 (JAEA)**

**背景, 測定技術 25分: 秋吉 優史 (大阪府大)**

**実態調査結果、運用上の注意点 15分: 伊藤 照生 (国際医療福祉大学)**

**国際的規制状況 10分: 山口 一郎 (保健医療科学院)**

**教育現場で測定可能な クルックス管からの漏洩X線線量率の測定法**

**10分: 森 千鶴夫 (名大名誉教授)**

秋吉 優史: [akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp](mailto:akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp)

<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.htm>



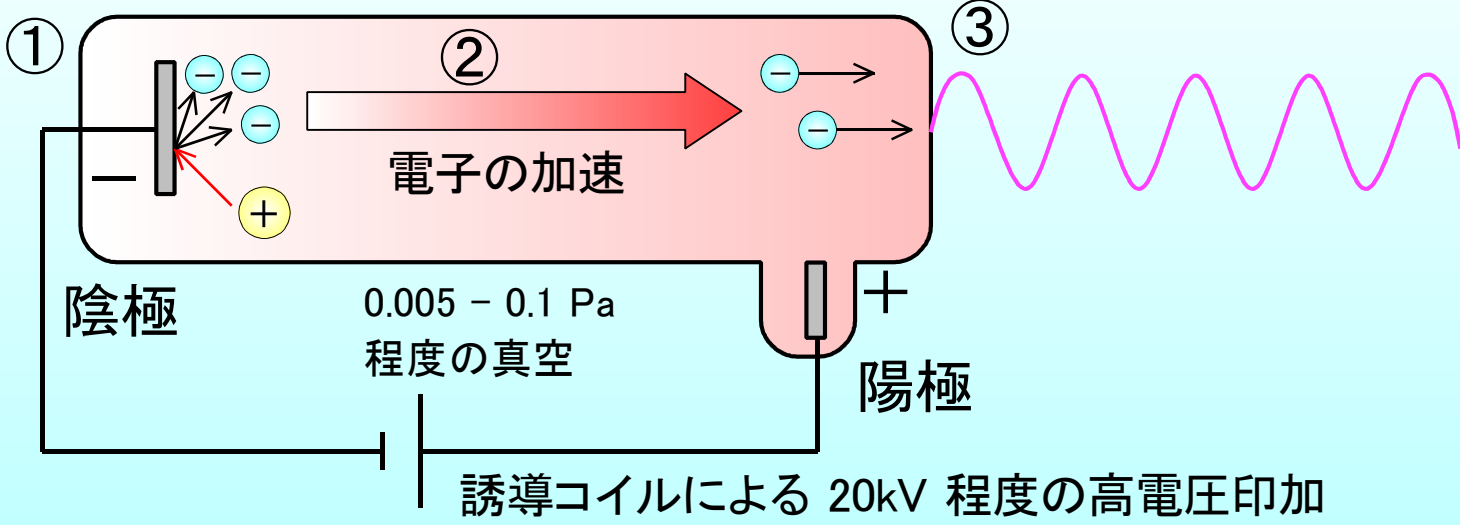
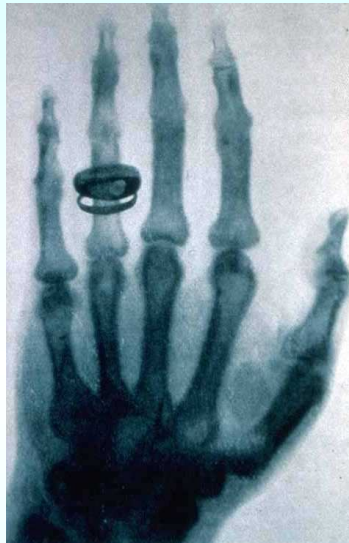
# クルックス管とは？

Wilhelm Konrad Rontgen  
1895, 真空放電管の研究中にX線を発見  
1901, 第一回ノーベル物理学賞を受賞

その後の放射線研究の先駆けとなった歴史的に極めて重要な装置



William Crookes



- ① 管内の気体が電離されて出来た + のイオンが一極に引きつけられて電子を叩き出す (二次電子放出)
- ② 印加電圧に従ったエネルギーに加速される
- ③ ガラス管壁に電子がぶつかり制動放射X線を放出する。20keV程度の電子はガラス管を透過できず、特性X線もエネルギーが低いので遮蔽される。

# 放射線教育を行う上での大転換点

2017年3月に改正告示が公示された新・中学校学習指導要領

p65 (3) 電流とその利用 ア(ア)電流 ○エ 静電気と電流

「異なる物質同士をこすり合わせると静電気が起こり、帯電した物体間では空間を隔てて力が働くこと及び静電気と電流には関係があることを見いだして理解すること。」

↓「内容の取扱」

p71 アの(ア)の ○エ については、電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また、**真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること。**

2019年度 教科書検定  
2021年度 全面実施

2017年6月に告示された中学校学習指導要領解説 理科編

雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ、高電圧発生装置（誘導コイルなど）の放電や**クルックス管などの真空放電の観察**から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流に関係していることを理解させる。

その際、真空放電と関連させて**X線にも触れる**とともに、**X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。**

放射線に関する記述は2008年3月に公布された旧・中学校学習指導要領には記載がなかった。

クルックス管自体に関しては2008年版の学習指導要領解説にも記載されていた。

放射線の利用、応用が広く認知されると期待される

# 現行の中学理科教科書に於けるクルックス管の取扱

出版社	啓林館	東京書籍	大日本図書	学校図書	教育出版
教科書					
クルックス管自体の取扱い	○	○	○	○	○
クルックス管に関連させた放射線に関する記述	2年	2年	3年	3年	×
指導書					
放射線に関する注意	○	○	○	×	未確認

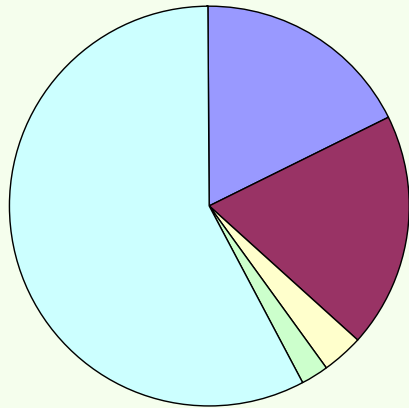
## 指導書

- ・啓林館: 放射線に関する注意あり。2012年版では、放電管から1mも離れれば漏洩X線の影響はほとんどないとしているが、2016年版では「X線の影響に配慮し、**演示は行わず**、教科書の写真や図のみでの説明にとどめる」と保守的。
- ・東京書籍: 放射線に関する注意あり。誘導コイルの設定(電極間隔は4cm以下)、1m以上はなれた場所から観察をする、観察時間は10秒以下にするなど、**具体的な運用方針が記載**されている。
- ・大日本図書: 放射線に関する注意あり。生徒を1m以内に近づけない。
- ・学校図書: 放射線に関する記述なし(誘導コイルの説明は非常に詳細)
- ・教育出版: 未確認

# 現在の学生に対する授業の実態調査

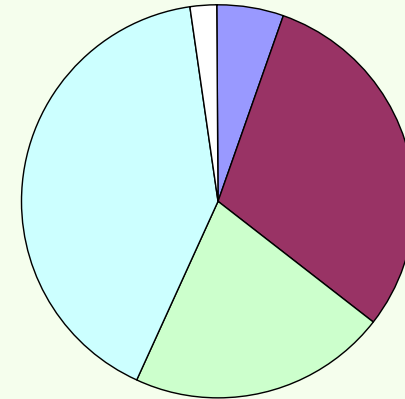
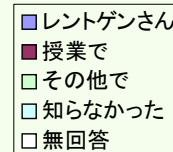
2019年11月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。  
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 90。

あなたは今までにクルックス管の実演を見たことがありますか？



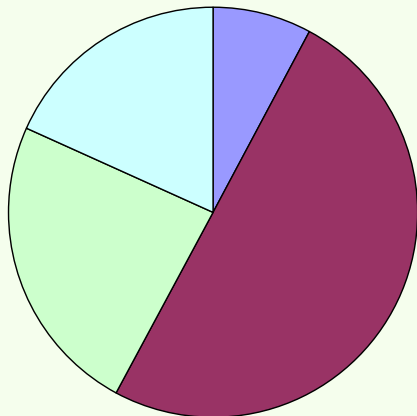
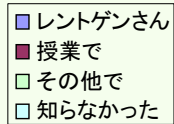
中学 16  
高校 17  
中学+高校 3  
その他 2  
なし 52

クルックス管から X線が出ると言うことは知っていましたか？



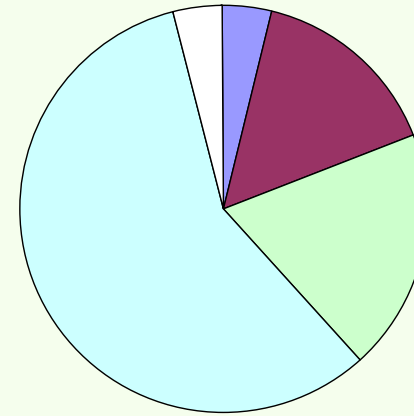
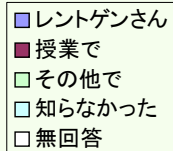
レントゲンさん 3  
授業で 19  
その他で 9  
知らなかった 7

クルックス管を見たことがある見たことがある38人の中で  
クルックス管から X線が出ると言うことは知っていましたか？



レントゲンさん 3  
授業で 19  
その他で 9  
知らなかった 7

クルックス管を見たことがある見たことがない52人の中で  
クルックス管から X線が出ると言うことは知っていましたか？



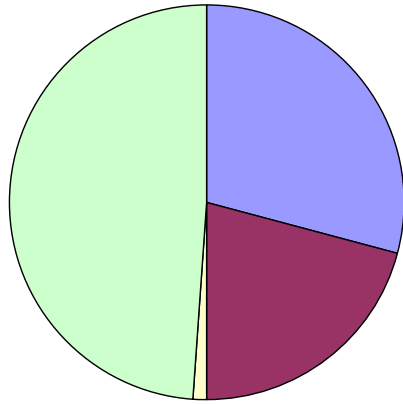
レントゲンさん 2  
授業で 8  
その他で 10  
知らなかった 30  
無回答 2

# 現在の学生に対する授業の実態調査

2020年12月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。  
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 82。

あなたは今までにクルックス管の実演を見たことがありますか？

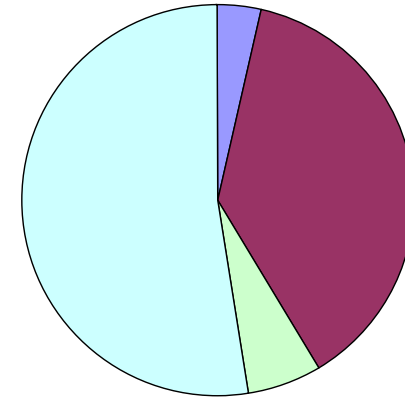
- 中学
- 高校
- その他
- なし



中学 24  
高校 17  
その他 1  
なし 40

クルックス管から X線が出るということは知っていましたか？

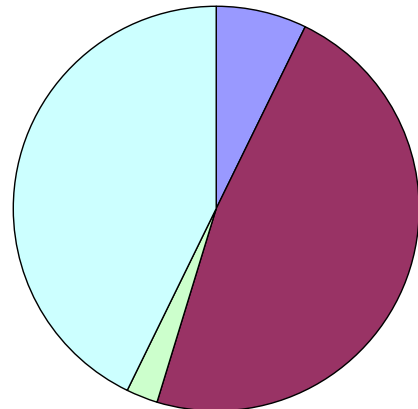
- レントゲンさん
- 授業で
- その他で
- 知らなかった



レントゲンさん 3  
授業で 31  
その他で 5  
知らなかった 43

クルックス管を見たことがある見たことがある42人の中で  
クルックス管から X線が出るということは知っていましたか？

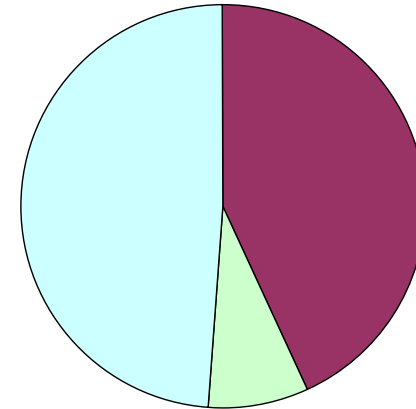
- レントゲンさん
- 授業で
- その他で
- 知らなかった



レントゲンさん 3  
授業で 20  
その他で 1  
知らなかった 18

クルックス管を見たことがない見たことがない40人の中で  
クルックス管から X線が出るということは知っていましたか？

- レントゲンさん
- 授業で
- その他で
- 知らなかった



レントゲンさん 0  
授業で 22  
その他で 4  
知らなかった 25



# クルックス管を安全に使用出来ないか？

クルックス管は現在既に理科教育現場で用いられているが、場合によっては 5cmの距離では、 $70\mu\text{m}$ 線量当量率が  $200\text{mSv/h}$  にも達する低エネルギーのX線が放出される。しかし、放射線が出ていることを知らずに使用している教員も居る。

熱陰極を用いた数100V程度で駆動される装置や、冷陰極を用いても5kV程度の低電圧で動作し、外部には一切X線の漏洩のないクルックス管が本体 22,000円、電源も18,000円と手軽な金額で発売されている。



5kV で動作中のクルックス管



9V電池駆動の  
5kV CW高圧電源

**中高の教育現場には、  
買い換える資金がない！**

## Basic Plan

5kV程度の低電圧駆動クルックス管を用いることで、X線の放出は全く考慮せずに済み、学習指導要領の要求を満たす安全な実験体系を極めて簡単に構築可能。

ここで話は完結する

## Advanced Plan

- 1) 経済的理由により古い装置を用いざるを得ない
  - 2) 放出されるX線を活用した発展的な実習を実施
- いずれの場合も最低限度のX線量に抑えて、安全に実験を行える実験体系を構築する必要がある。

**本研究の目的**

# クルックス管からのX線評価に於ける問題点

## 20keV 程度とエネルギーが低い

一般向けに普及している半導体素子を用いた簡易サーベイメータはおろか、放射線計測で信頼されている NaI シンチレーション式サーベイメータもエネルギーが低すぎて実態とかけ離れた値が測定される。

## パルス状に放出されている

Be窓を用いた低エネルギーX線用 NaI シンチレーション式サーベイメータなども販売されているが、パルス場であるためパイルアップしてしまい非常に小さい値しか示さない。Be窓のGe検出器や、CdTe(CZT)検出器での測定も、非常に小さなコリメーターを使いカウントレートを落とす必要がある。

## 電源装置（誘導コイル）が不安定である

同じ装置を同じ設定で動作させても測定結果が大きく異なる事がある。機械的な動作を含む誘導コイルはその日、その時の状況で出力電圧が変動するため、系統的な比較を行うには何らかの方法でモニタしながらの測定が必要。



# クルックス管からのX線管理に於ける問題点

## 一般公衆に対する線量限度が法体系に取込まれていない

ICRP 1990/2007年勧告での一般公衆に対する線量限度は我が国の法体系に取込まれておらず、実効線量 1mSv/年という値も事業所境界での線量限度から導かれた値。

## X線装置の定義が明確ではない

厚労省 全国規模での規制改革要望に対する見解の確認  
<http://www8.cao.go.jp/kisei/siryo/030919/09-2.pdf>

RI法では1MeV以下のX線は対象外であり、定義されている放射線発生装置にも該当しない。電離則においては特定X線装置の定義からは外れるが、「X線装置」の免除レベルが規定されておらず、放射線安全を確保するための法令根拠が明確ではない。

## 不均等被ばくであり実効線量評価が困難

20keV X線 は水での半価層が 1cm程度であるため、体表からの深さによって線量が大きく変化する。またブロードなエネルギースペクトルを持ち運用条件によってピークエネルギーも変わるが、低エネルギーではわずかなエネルギー変動で大きく透過率が変化する。平面的にも一様ではない。このため、防護量である実効線量の評価は容易ではない。

# 一般公衆に対する線量限度が法体系に取込まれていない

## IAEA の GSR part3

計画被ばく状況として教育での放射線曝露を明示(3.1(e))

労働者への規制の範疇に16-18歳の**職業訓練**に伴う線量限度を提示(**実効線量** 6mSv/y, 眼の水晶体等価線量 20mSv/y, 末端部等価線量 150mSv/y) クルックス管が使われるのは一般的な理科の授業であり、これらとは切り離されるものとして考える必要がある。

## ICRP Pub36 科学の授業に於ける電離放射線に対する防護

1983年の物であり実効線量当量での記載で **0.5mSv/y**、目や皮膚のような単一の臓器・組織の線量当量5mSv/yとなっており、**個々の授業**ではその **1/10** とされている。

## ICRP-Pub101a 公衆の防護を目的とした代表的個人の線量評価

教育に伴う放射線曝露での線量評価でも代表的個人の考え方を導入する。

## ICRP-Pub64 潜在被ばくの防護: 概念的枠組み 及び IAEA BSS

ICRP 1990年勧告(Pub60)では**免除**の要件として線量が trivial であること、防護が最適化されていることとされており、具体的には個人線量が **10  $\mu$  Sv/y** のオーダーとしている。

## NCRP Report No.180 “Management of Exposure to Ionizing Radiation: Radiation Protection Guidance for the United States”

**無視可能個人線量**として線源か行為あたり実効線量で **10  $\mu$  Sv/y** を勧告。

# クルックス管プロジェクトについて

## Task 1: 線量計測

放射線計測の専門家

大学・国研

ユーザーとしての学校教員

中・高

教材・測定手段の提供者

民間企業

実際に現場で使えるシステムの開発

低エネルギーX線  
測定技術の標準化

## Task 2: 運用方法の検討

学校教育現場の教員

Task1 で開発した評価手法

様々な製品の評価

教材メーカー

大学研究者、OB

開発した教育コンテンツの評価

実態評価に伴う問題点の抽出

遮蔽体など  
解決策の提示

## Task 3: 線量評価とガイドライン

保健物理・放射線防護の専門家

低エネルギーX線による  
(実効・等価)線量評価モデルの構築

Task1で測定  
した線量・  
スペクトル情報

国内外の規制実態を踏まえた  
上限線量の検討

Task2で検討  
した運用方法

教育現場における放射線安全管理  
ガイドラインの作成

学会標準化

## Task 4: 放射線教育プログラム普及

放射線教育の専門家

新規放射線教育プログラムの開発

全国の拠点でのシンポジウム、オープンスクール、  
モデル校での授業、教育学部での講義など  
での放射線教育プログラム普及

小中高大民国 オールジャパンの  
放射線教育ネットワークの形成

放射線知識の  
国民的普及

# プロジェクトの着地点

## Task 1: 線量計測

研究室では低エネルギーで校正された電離箱を用いて、また教育現場においてはガラスバッジを郵送しての測定により、正確な測定が可能。  
箔検電器及び Kind-Mini の貸出しによる教員自身によるスクリーニング法を開発。

## Task 2: 運用方法の検討

2018年夏に実際の教育現場における漏洩線量の実態調査を実施し、かなり高い線量を漏洩する装置が発見された。追加の検証により暫定ガイドラインを策定し、2019年度の実態調査でほとんどの装置で安全な事を確認できた。

## 暫定ガイドラインの策定

暫定ガイドラインを遵守した場合の安全性の更なる検証(今後も継続)

## Task 3: 線量評価とガイドライン

日本保健物理学会において、専門研究会を設立(2019-2020年度)。法令上の問題点やエネルギーが低く透過力の小さい低エネルギーX線の実効線量評価を行う。研究会終了後に、学会標準として運用ガイドライン、測定法、Q&A等を取りまとめる。

電圧、電流などの測定だけでは単純に危険性を判断できなかった。このためスクリーニング手法の開発を行い、ある程度高い線量が漏洩している恐れがある場合はガラスバッジ、nanoDot 線量計などによる信頼できる測定を行える体制を確立する。

# クルックス管からの被ばく線量を下げするには

最も確実なのは

## ・低電圧駆動の製品に買い換える

固有安全性を持ち  
対策を行う必要がない

経済的理由などで困難な場合は ↓ 以下の点に注意を払う必要がある

- 1) 印加する電圧を下げる
- 2) 流れる電流を下げる
- 3) 距離を取る
- 4) 遮蔽をする
- 5) 時間を短くする

発生するX線量  
自体を下げる

放射線防護の  
三原則

**印加電圧を下げる:** X線のエネルギーが下がり、劇的に漏洩するX線量を下げることが出来る。クルックス管自体がガラスで出来ており、このガラスに対する透過率が15keVと30keVでは100倍程度異なるためである。

**遮蔽:** アクリルでは1cmの厚さでも半分程度にしかならないため、軽量型のガラスの水槽を用いるとよい(2mmで1/20~1/50にまで下がる)。

**距離を取る:** 最も簡単で確実である(距離の二乗に反比例して下がる)。

## 暫定ガイドライン

保健物理学会標準化委員会に於いて、学会標準とする事を目標としている。

- ・放電極を必ず使用し、放電極距離は20mm以下とする。
- ・放電極表面は清浄にした上で、円板電極側を-極にする
- ・誘導コイルの放電出力は、電子線の観察ができる範囲で最低に設定する。
- ・できる限り距離を取る。生徒への距離は1m以上とする。
- ・演示時間は年間10分程度に抑える。



# 誘導コイルを用いた高電圧印加について



放電極距離

Distance of Discharge Electrodes  
DDE

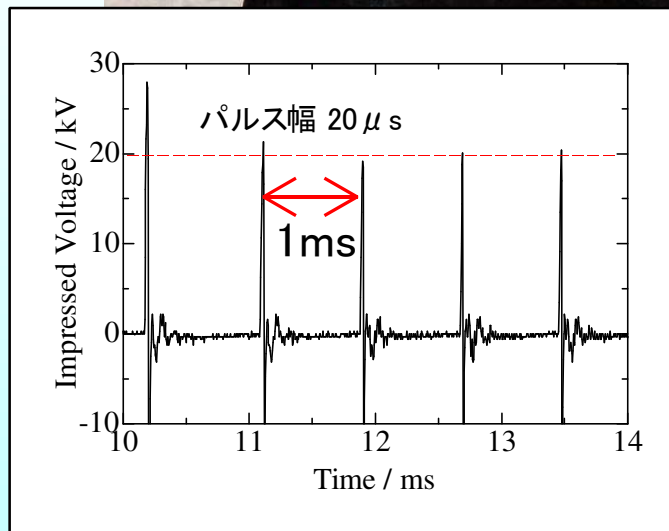
PW

放電出力

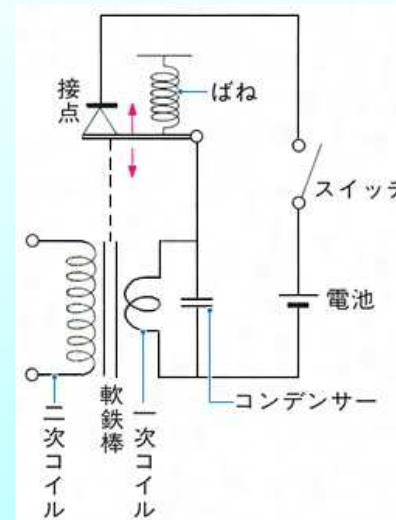
放電出力ダイヤルによりトランスの一次側に印加する電圧を変えることで連続的に出力電圧を変化させることができるが、**特定の電圧に設定出来るわけではない。**

空気中での絶縁破壊電圧が 1kV で 1mm 程度であることから、放電極間の距離を変えることで印加する**最大電圧を規定できる。**

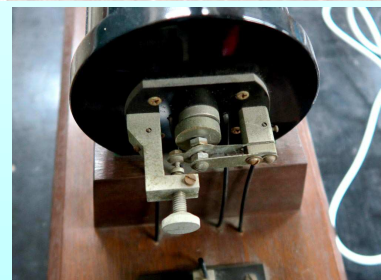
→ 20mm にしておくと 20kV 以上かけようとしても空中放電で電流がクルックス管をバイパスして流れるためそれ以上電圧が上がらない、**安全装置**となる。



放電極距離 20mm, 放電出力4, 平均電流 80 μA



ブザーの回路で、一次側に断続的な電圧のパルスが発生させ、トランスで二次側に高圧を出力する。一次側の電圧を変化させると二次側の電圧も変化する。半導体回路で一次側のパルスが発生している装置もある。



# 様々な測定装置による測定結果

	電離箱		蛍光ガラス線量計		GM管
	日立 ICS-1323		千代田テクノル ガラスバッジ FX型		Ranger
距離 r	H*(0.07)	H*(10)	H*(0.07)	H*(10)	1min scaler
cm	mSv/h	mSv/h	mSv/h	mSv/h	kcpm
15	8.15	5.3	4.62	1.62	33.89
30	1.91	1.28	1.26	0.48	31.68
50	0.64	0.465	0.48	0	27.32
	NaI シンチレーター		プラスチック シンチレーター	CsI シンチレーター	半導体検出器
	富士電機 NHC6	アロカ TCS-172	Kind-mini	エアーカーンターEX	エアーカーンターS
距離 r	Be窓	汎用	カバー無し	カバー無し	
cm	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h
15	1.34	0.17	118	12.6	<9.99
30	10	0.17	64	12.5	0.05点減
50	13.1	0.15	24.5	8.3	<9.99

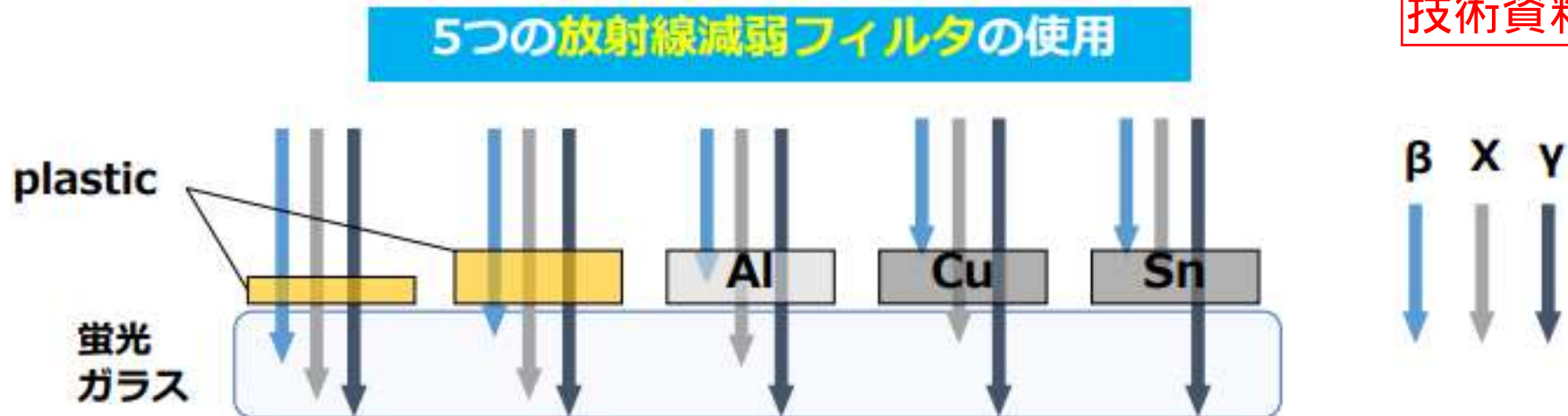
一般向けに出回っている簡易サーベイメーターはもちろん、空間線量測定で信頼されている TCS-172 などでもほぼ全く測定できない。

# 蛍光ガラスでの線量測定

人体（組織）が受けた線量を蛍光ガラスで測りますが、  
人体とガラスは違います

- ⇒ 放射線に対するエネルギーレスポンスの違いを補正する必要がある
- ⇒ そのためには、ガラスバッジにどのような放射線（線種、エネルギー）が入ってきたのか知る必要がある

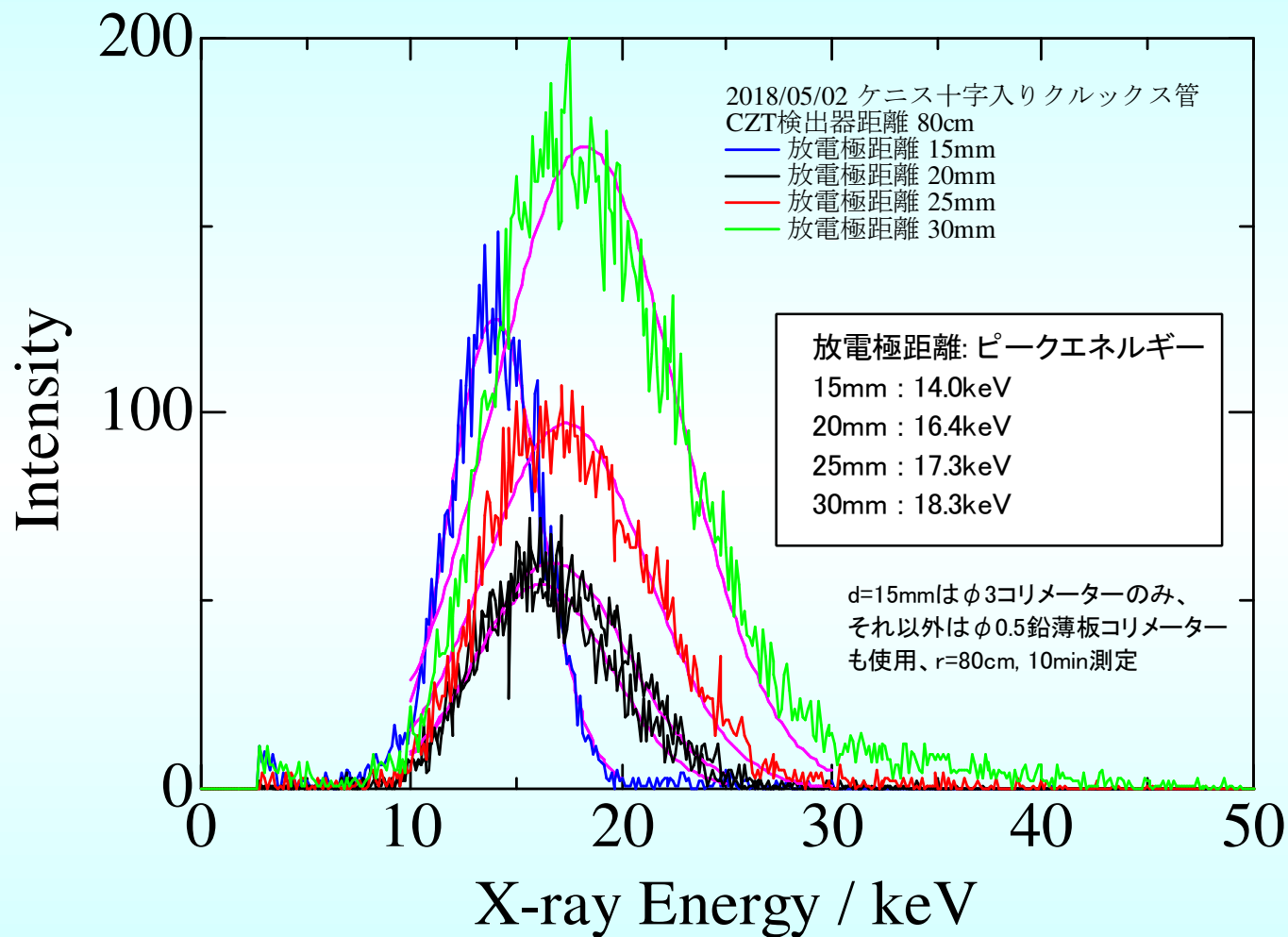
千代田テクノル  
技術資料より



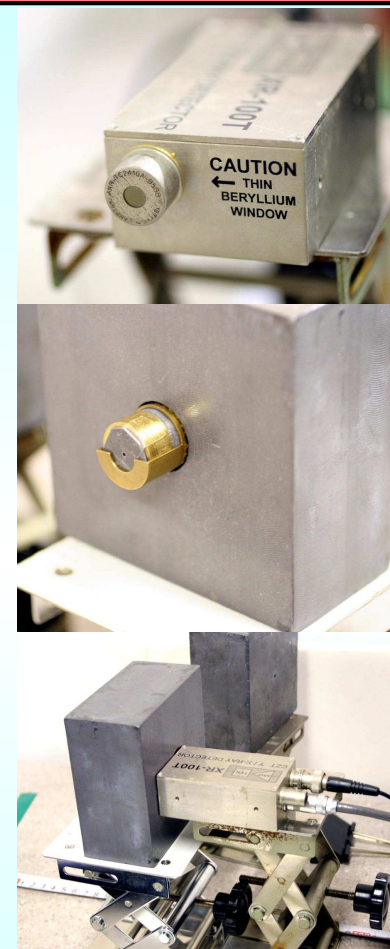
蛍光ガラスの各フィルタ下の発光パターンから、  
放射線の種類やエネルギーを知り、レスポンスを補正し線量を求める



# CZT半導体検出器によるスペクトル評価



φ0.5mm鉛コリメーターにより数cps程度まで下げること  
で、ようやくパイルアップせずに測定できるようになった

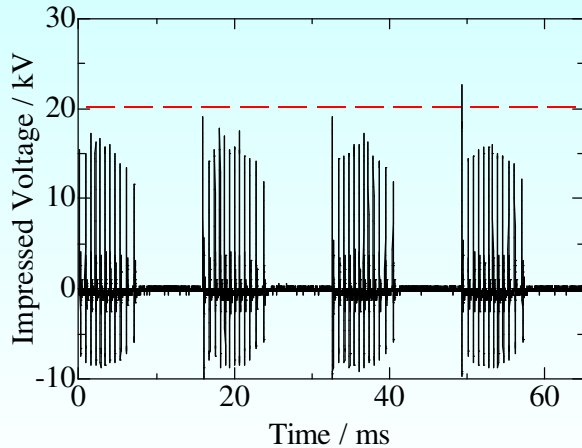


Amptek XR-100T-CZT  
CZT(Cd<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.1</sub>Te)検出器  
Be窓、ペルチエ冷却

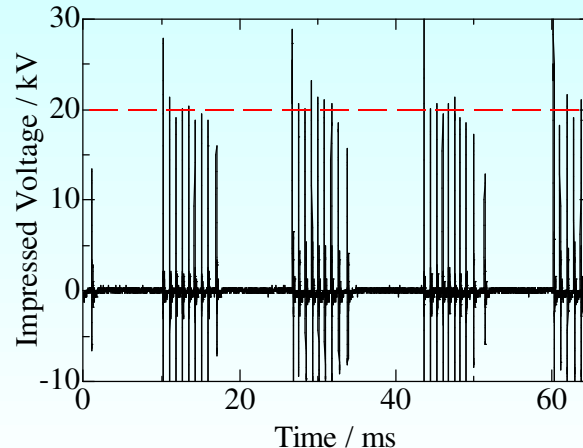


φ3同軸鉛コリメーター  
φ2同軸黄銅コリメーター  
φ1.0鉛薄板コリメーター  
φ0.5鉛薄板コリメーター

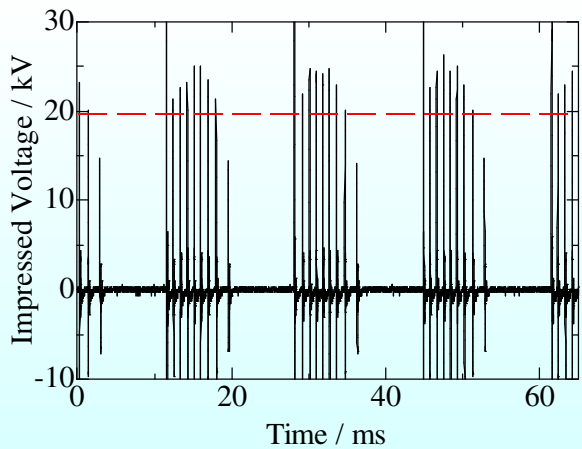
# 誘導コイル設定による出力パルスの変化



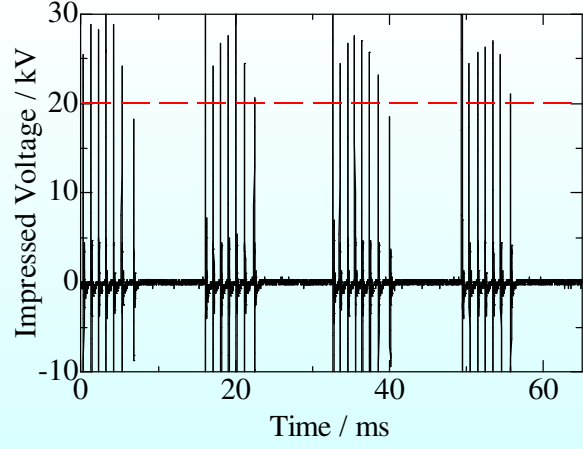
DDE=20mm, PW0, 40  $\mu$  A, 120  $\mu$  Sv/h



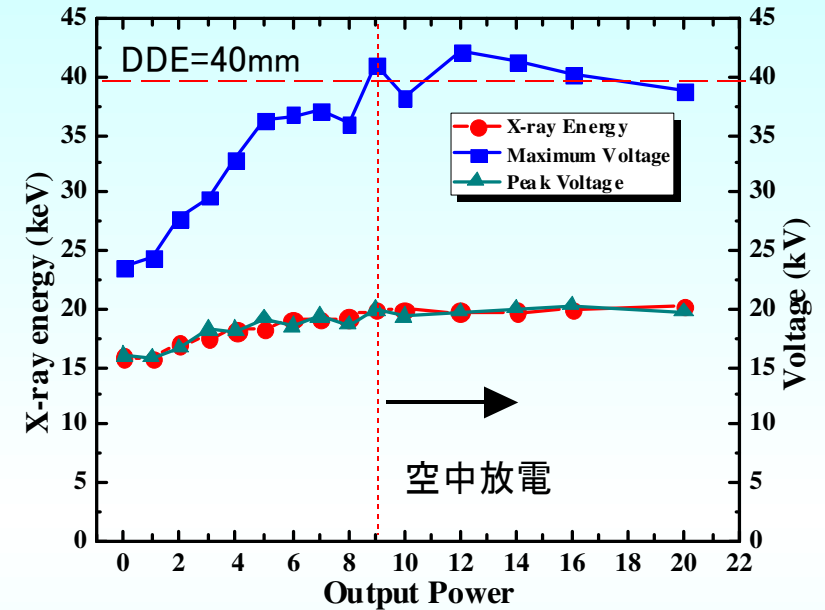
DDE=20mm, PW4, 80  $\mu$  A, 1.25mSv/h



DDE=30mm, PW4, 80  $\mu$  A, 1.56mSv/h



DDE=30mm, PW7, 96  $\mu$  A, 3.50mSv/h

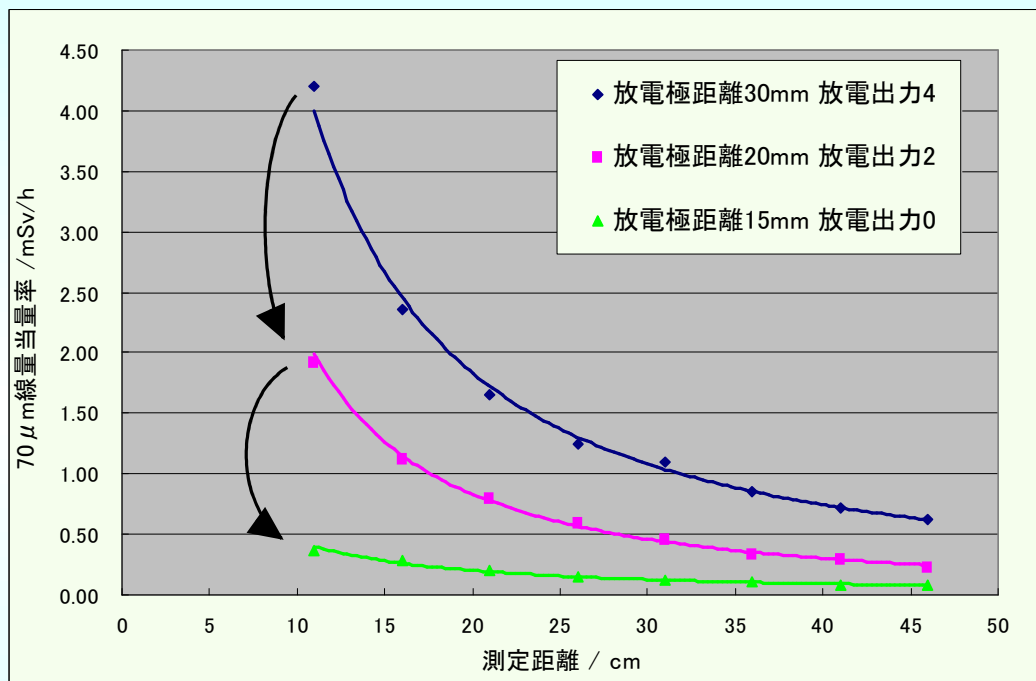


- ・放電出力を上げていくと次第に出力電圧が上昇し、電圧のヒストグラムのピークと、X線エネルギースペクトルのピークは良い一致を示した。
- ・放電極距離によって規定される以上の電圧に上げようと放電出力を上げても、空中放電によって電流が流れて電圧がドロップし、それ以上クルックス管に印加される電圧が上がらなくなる。



# 漏洩線量の印加電圧、電流、距離依存性

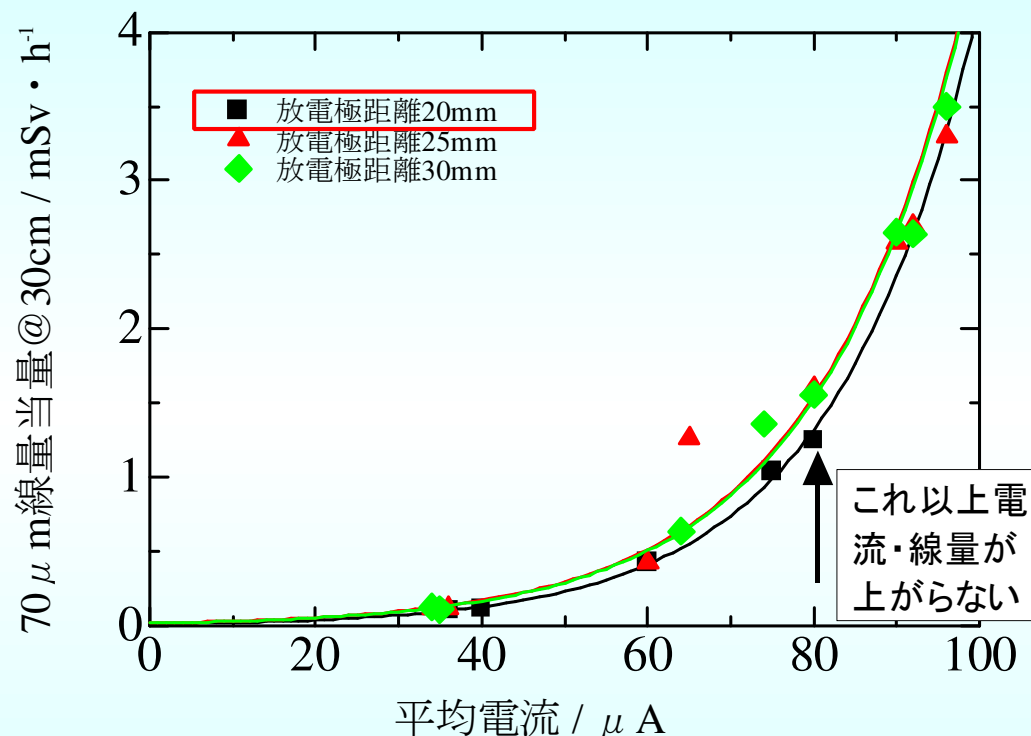
放電極距離 30, 20, 15mm でギリギリ  
放電が起こる出力に合わせて測定



・電圧を低く抑えると極端に線量は小さくなる  
放電極距離は20mm以下に留めて下さい。

・距離の二乗に反比例して線量は小さくなる  
1mの距離では10cmの距離での線量の1/100になります。  
逆に、1mから50cmに近付いただけで線量は4倍になります。

放電出力変化に伴う平均電流を  
アナログ電流計で測定



・電流上昇に従い指数関数的に線量が上昇  
放電出力上昇で電圧も電流も同時に上昇するため、  
電子線が観察できる必要最小限の出力に留めて下さい。  
その上で、放電極は一定以上に電圧を上げないための  
安全弁の役割を果たしています。

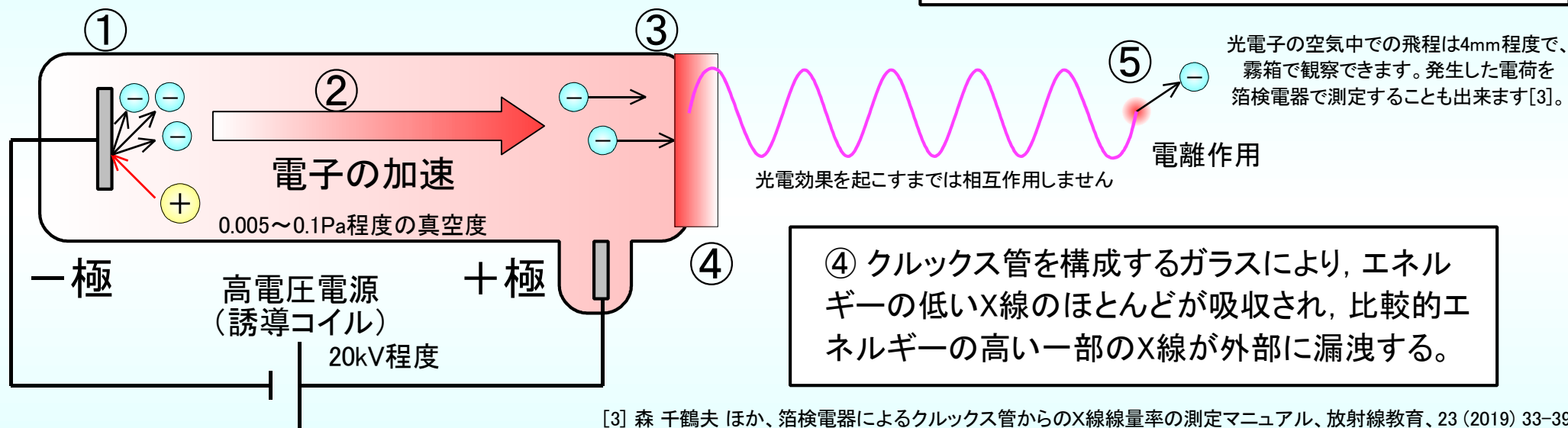
# クルックス管のしくみ

① +のイオンが一極に引きつけられて電子を叩き出す(二次電子放出)。

③ 電子がガラス管の壁に衝突するときに、制動放射X線を放出する。

電子自体は完全に遮蔽され外に出てきません。

⑤ X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果で弾き飛ばす(電離作用)。弾き飛ばされた光電子は $\beta$ 線と同様であり、体内ではラジカルの生成、DNA鎖の直接切断などにより放射線障害の原因となりうる。



④ クルックス管を構成するガラスにより、エネルギーの低いX線のほとんどが吸収され、比較的エネルギーの高い一部のX線が外部に漏洩する。

[3] 森 千鶴夫 ほか、箔検電器によるクルックス管からのX線線量率の測定マニュアル、放射線教育、23 (2019) 33-39.

クルックス管に封入されているガスの量がガラスに吸着するなどして少なくなると、①で陰極に衝突するイオンが少なくなるため、二次電子の量が少なくなり、電流が流れにくくなります。その結果十分な二次電子が出てくるまで意図せずして高い電圧が印加されてしまい、④で漏洩する線量が大きくなってしまいます。

→ 20keV前後ではわずかなエネルギーの違いで透過率が大きく異なるためです (15keV→30keVで100倍大きくなる)

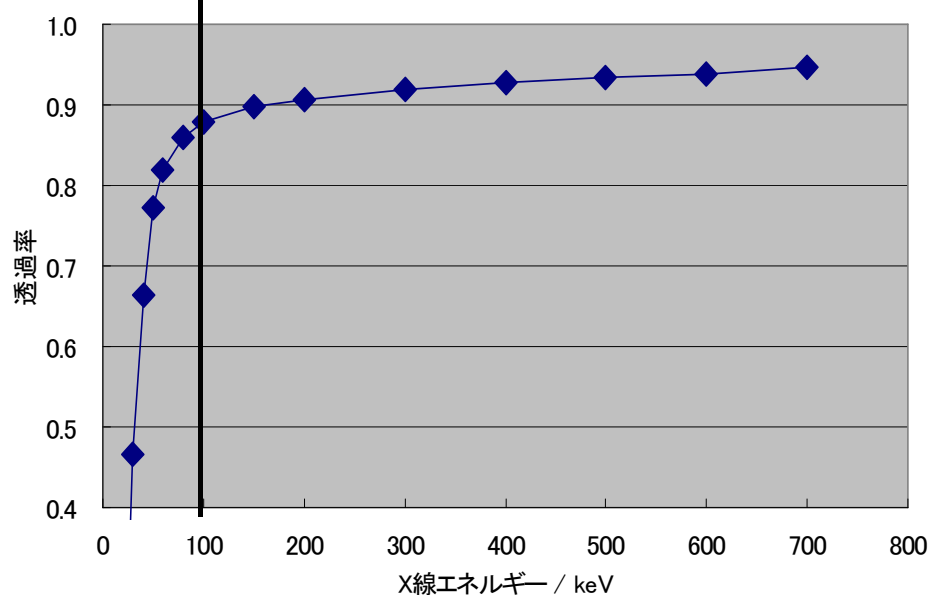
この状態となったクルックス管は、放電極距離を20mmにすると空中放電が激しい一方で、クルックス管に流れる電流は少なく観察が困難です。放電極距離を広げると高い線量が漏洩するため、買い換えが推奨されます。

**放電極で最大電圧を抑えることが重要**

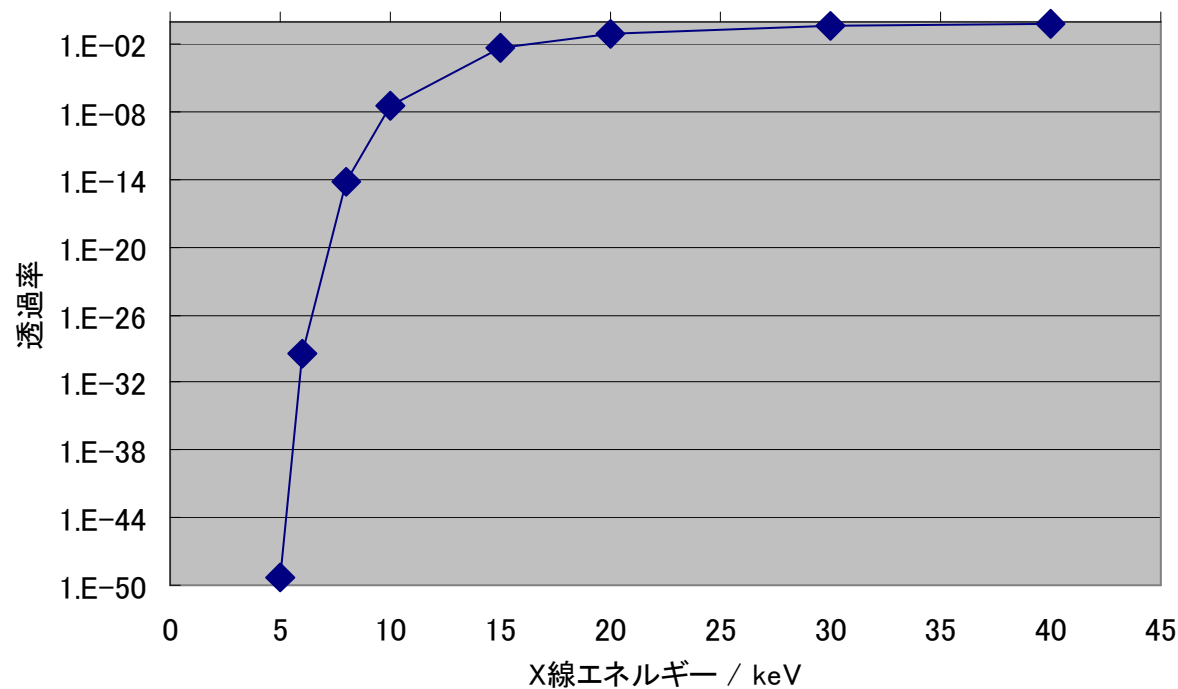
# わずかな印加電圧低下での大きな線量の変化

20keV 前後のX線は僅かなエネルギー変動により、クルックス管自体を構成するガラス管の透過率が何桁も変わる。

100keV 以上のエネルギーでは  
余り大きく変わらない



30keV と 15keV で約100倍違う。

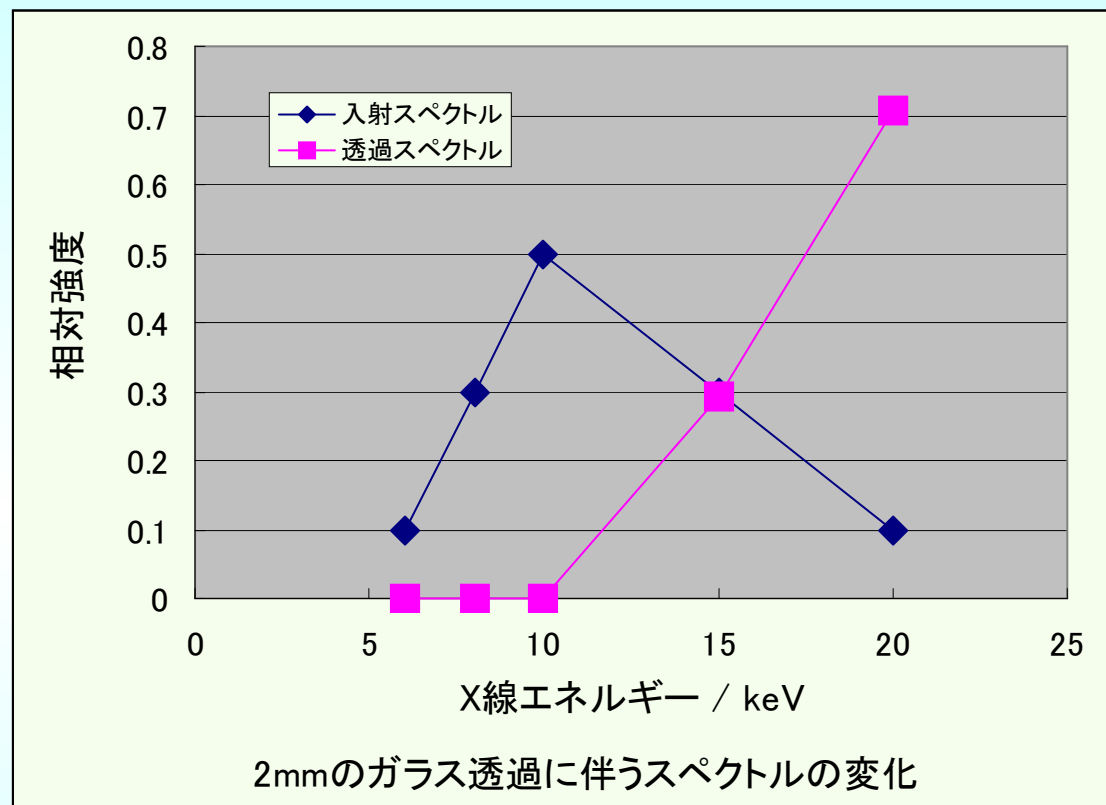


3mmのガラスに対するX線の透過率

# クルックス管のガラスによるスペクトル変化

エネルギー (keV)	質量減衰係数 (cm <sup>2</sup> /g)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	厚さ(cm)	透過率
6	87.29	2.59	0.2	2.31E-20
8	42.13			3.33E-10
10	22.16			1.03E-05
15	6.809			2.94E-02
20	2.973			2.14E-01

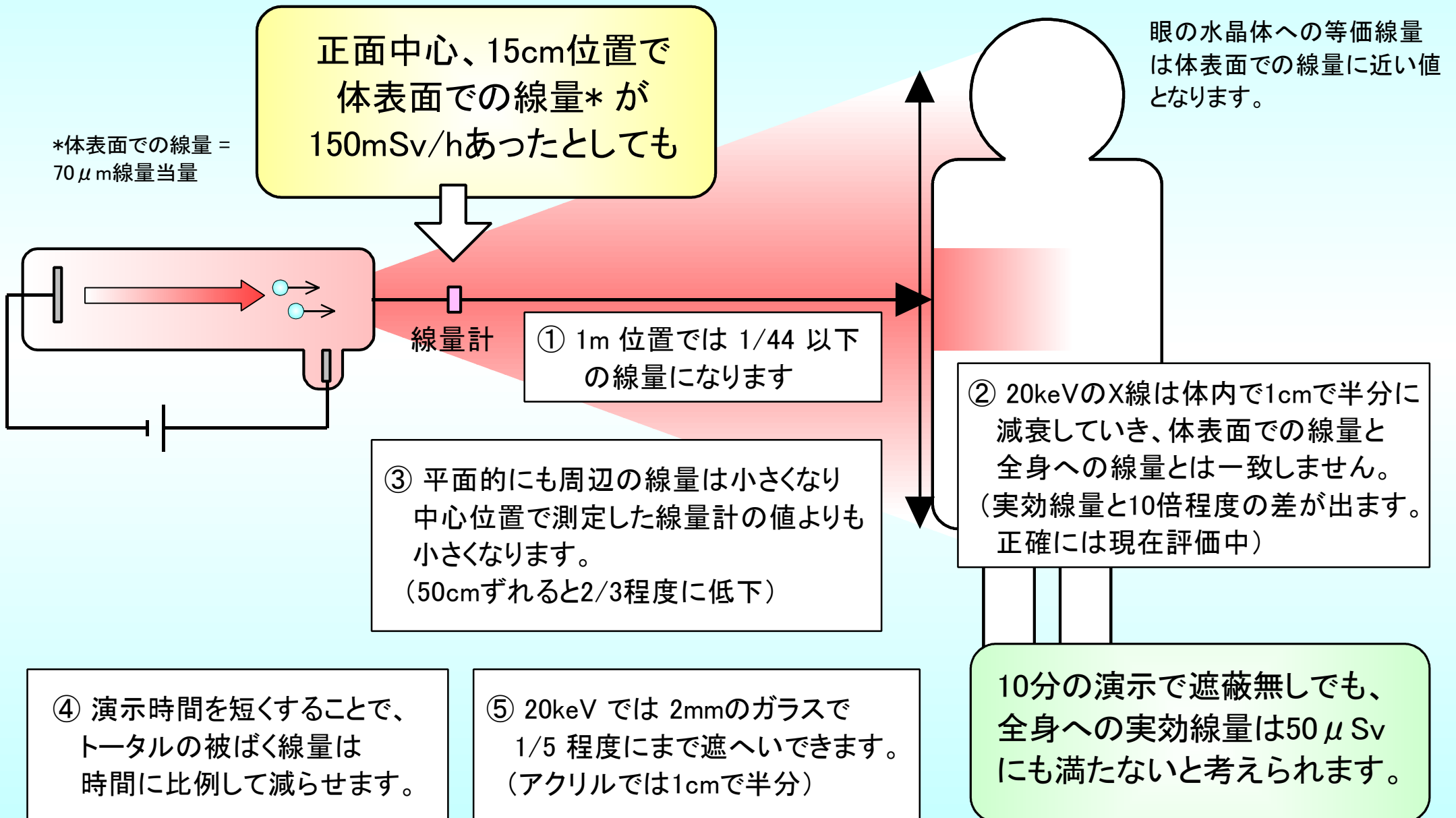
ガラス管を透過する前のX線のエネルギースペクトル(最大エネルギー20keVでその半分の位置にピークを持つ)を適当に決め、2mmのガラスで遮蔽された後の強度を透過率から求めた後、全体の強度が1となるように規格化した。



入射スペクトル	透過スペクトル	規格化
0.1	2.31E-21	7.62E-20
0.3	9.99E-11	3.30E-09
0.5	5.17E-06	1.71E-04
0.3	8.82E-03	2.91E-01
0.1	2.14E-02	7.08E-01

元のスペクトルよりも透過率が支配的となり、最大エネルギーである 20keV がほとんどを占めるスペクトルとなった。

# クルックス管からのX線の不均一性





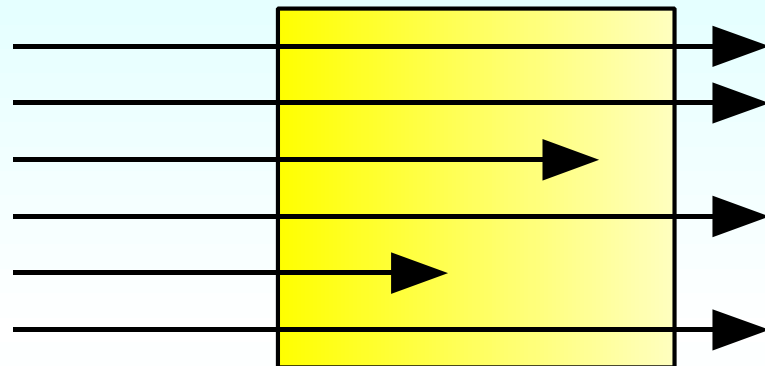
# 放射線量について

- ・放射線を被ばくしたときの全身への影響を、ICRP等が定めたしきたりに従って評価したのが、「実効線量」。普通、線量と言えばこの実効線量のことを指す。
- ・ベータ線など、透過力の弱い放射線を被ばくした場合、皮膚表面だけが被ばくしていることになる。この時皮膚だけに対する影響を評価するのが、「皮膚等価線量」。最近では、眼の水晶体に対する「水晶体等価線量」も問題となっている。
- ・実効線量の評価は非常に複雑である。このため、体の表面から1cmの深さの一点での吸収線量が全身の線量を代表するという、簡易的な「1cm線量当量」をサーベイメーターは測定している。同様に、皮膚の等価線量は深さ70 $\mu$ mの深さの一点での吸収線量である、「70 $\mu$ m線量当量」で測定する。
- ・クルックス管からのX線は透過力が中途半端で、皮膚だけ、と言うわけではない一方で、1cm進むと半分程度に減衰するため、「1cm線量当量」では5倍以上の過大評価となり、慎重な評価が必要。現在は表面での線量としての70 $\mu$ m線量当量での測定を行っている(あとで実効線量への換算が容易)。20keVでの実効線量はおおよそ70 $\mu$ m線量当量の1/10。

# エネルギー吸収の違い

## 強透過性放射線

$$H_p(0.07) \leq 10 H_p(10)$$



整列拡張場

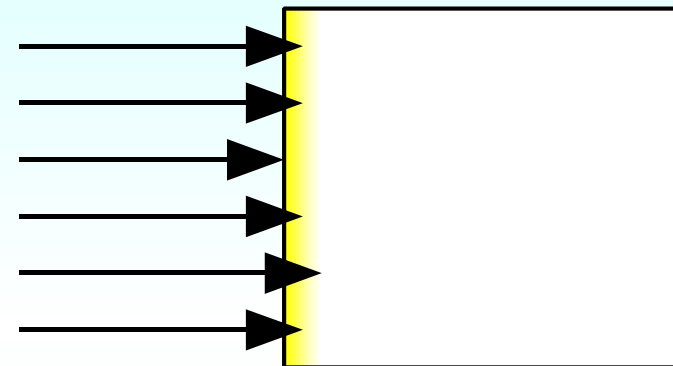
高エネルギーガンマ線などの場合透過力が高く、ほぼ均等にエネルギーを与える。

人体の場合、荷電粒子平衡を考慮して深さ1cmでの点での吸収線量(1cm線量当量)が全体を代表する。対象の厚さが大きいと、指数関数的に徐々に線量は下がっていく。

クルックス管からの20keVの低エネルギー엑스線の場合、 $H_p(0.07) = 2 H_p(10)$  程度であり、弱透過性と言うほどではないが、1cmの深さでの吸収線量は体全体を代表せず、減衰を考慮する必要がある。

## 弱透過性放射線

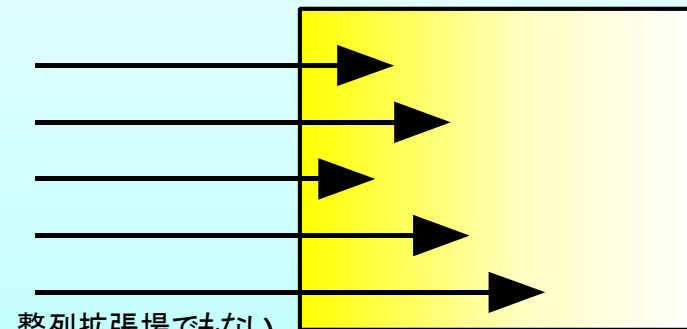
$$H_p(0.07) > 10 H_p(10)$$



整列拡張場

$\alpha$ 線、 $\beta$ 線などの場合透過力が低く、表面近傍にのみ局所的にエネルギーを与える。

人体の場合、深さ70 $\mu$ mでの点での吸収線量(70 $\mu$ m線量当量)が皮膚の等価線量を代表する。



整列拡張場でもない

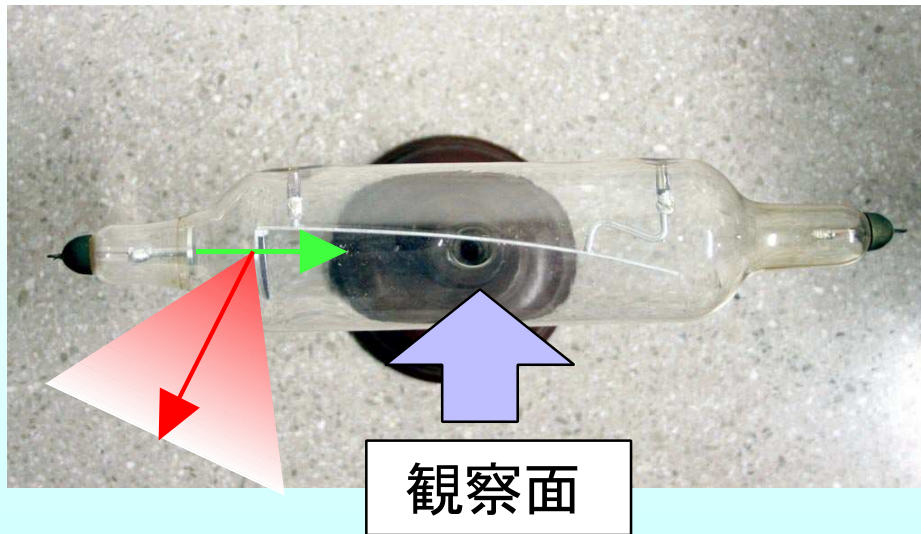
# 遮へいの有効性



○計算上20keVではアクリル1cmで半分に、5mmのガラスで1/50程度に減衰しますが、重くて安全な運用が困難と考えていました。

○実際はもう少しエネルギーが低いため、アクリル3mmで約半分、1cmで1/3に減衰しました。

厚さ1.9mm程度の軽量(1.5kg)のガラスの水槽でも、1/20 ~ 1/50程度に減衰しました。軽くて取り回しが良く、持った感じがガラスとは思えないほどであったため、実際の教育現場でも十分実用的に運用可能であると考えられます。



スリット入りのクルックス管は、スリットより陰極側(ビームの上流側)が最も線量が高いため、この部分を適当な金属板などで遮蔽すると効果的です(ここは観察しないため)。

暫定ガイドラインの遵守で十分安全だと考えていますが、さらに少しでも線量を下げたい場合のオプションとして非常に有効です。

放電出力	Hp(0.07) ( $\mu$ Sv/h)		透過率 (%)
	遮へい前	遮へい後	
0	600	11	1.8
1	620	12	1.9
2	1300	60	4.6
3	3000	160	5.3

測定距離 15cm, 放電極距離 20mm  
厚さ1.9mm ガラス製水槽で遮へい。わずか1356円でした。  
<https://www.amazon.co.jp/gp/product/B00W5DSU0C>



# 周知活動 (2019年度)



アイソトープ・放射線研究会  
公開パネル討論  
(2019年7月5日、東京大学)



全国中学校理科教育研究会  
(2019年8月8-9日、秋田 アトリオン)



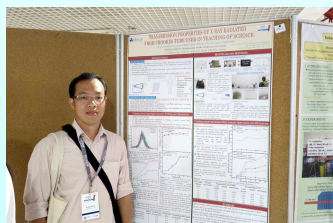
大阪府立大学 友好祭 オープンラボ  
(2019年5月25日、大阪府立大学)



●中学理科で使える高校理科の技術講座講師  
(2019年8月29日、名古屋経済大学市邨中学校・高等学校)



19th International Conference  
on Solid State Dosimetry  
(SSD-19)(Hiroshima,  
Sep. 15-20, 2019)



3rd International Conference on Dosimetry and its  
Applications(ICDA-3)(Lisbon, Portugal, 27-31 May 2019)



- 放射線安全フォーラム第60回放射線防護研究会「X線源を考える」(2019年4月21日、東京大学)
- 日本放射線安全管理学会 6月シンポジウム(2019年6月27-28、東京大学)
- ☆中学理科の教科書を出版する全5社への要領書への暫定ガイドライン掲載依頼(2019年7月2日、大阪、7月5日 東京)
- ☆大阪府知事秘書長及び教育総務企画課長へ、教育現場における放射線安全管理について説明(2019年7月26日、大阪府庁本館知事室)
- 中部原子力懇談会 エネルギー・環境研究会 セミナー(2019年7月27日、名古屋商工会議所)
- 近畿大学原子炉実験・研修会 放射線教育の実践例照会・意見交換(2019年7月30日、近畿大学)
- ・日本エネルギー環境教育学会 第14回全国大会(2019年8月5-7日、高知工科大学)
- ・日本原子力学会 2019年秋の大会(2019年9月11-13日、富山大学)
- ・大阪府立大学 放射線研究センター 共同利用報告会(2019年11月5日、大阪府立大学)
- 大阪府高等学校理化教育研究会 物理研究集会(2019年11月20日、大阪府立茨木高等学校)
- 放射線教育フォーラム第2回勉強会(2019年11月24日、東京慈恵会医科大学)
- ☆日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会(2019年12月5-7日、東北大学) 企画セッション 教育現場での低エネルギーX線に対する安全管理
- 高校物理基本実験講習会(兵庫会場)(2019年12月15日、兵庫県立神戸高等学校)
- 教員研修(2019年12月26日、島根県出雲科学館)

# 周知活動（2020年度）

- ・日本保健物理学会大会（2020年6月29-30日、WEB開催）  
秋吉優史、松本 亮の2件
- 福井理科教育研究会（2020年7月22日、WEB開催）
- ・ 第37回みんなのくらしと放射線展オンライン講演会（2020年11月18日、12月10日、Web開催）
- 放射線教育フォーラム 勉強会（2020年11月29日、Web開催）
- 保物セミナー（2020年12月1日～20日、Web開催）
- 福井県高等学校教科教育研究会 理科部会 物理化学分科会 嶺南地区 学習会（2021年2月16日、Web開催）
- ・日本放射線安全管理学会 第19回学術大会（2020年12月9日～11日、Web開催）  
秋吉優史、松本 亮、山口 一郎のポスター三件と Do Duy Khiem氏 研究奨励賞受賞講演

## 論文

- ・ Transmission properties of X-ray radiated from the Crookes tube through shielding materials, Do Duy Khiem, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi, Japanese Journal of Health Physics, 投稿中
- ・ Measurement of low energy X-rays in pulse from crook tube using BaF2 scintillator, Hirokazu Ando, Do Duy Khiem, Masafumi Akiyoshi, RADIATION DETECTORS AND THEIR USES – Proceedings of the 34th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses in KEK, In Press.
- ・ クルックス管からの低エネルギーX線に対する安全管理の必要性, 秋吉 優史, 放計協ニュース, 放射線計測協会, No. 65, p2-5, 2020年4月.
- ☆ 中学理科教科書への教師向け指導書5社中4社でクルックス管安全管理について執筆済

令和2年11月26日（木） 電気新聞（5面）

### エックス線の歴史解説 関原 慈がウェブで講演会

関西電力労働者は、放射線教育関係者など約30人が参加。エックス線の歴史を口説き、エックス線の管やガラスの歴史を振り返り、放射線展の一環でオンライン講演会を開催した。大阪府立大学放射線研究センターの秋吉優史氏も講演した。

講演会は、秋吉准教授はエックス線の歴史について説明した後、クルックス管を用いた実験を行い、管の仕組みや取り扱い方法をわかりやすく解説した。クルックス管は、真空のガラス管で、主に中学校や高校などの理科の授業で使われている。秋吉准教授は、生徒や先生には正しい知識を知った上で、放射線に関する情報を適切に活用できるようにしてほしいと話した。

関原氏は毎年、大阪市の大塚科学技術センターで放射線教育に関するイベントを開催している。今年度は新型コロナウイルス感染症の感染防止のため、ウェブで開催した。

さらに専用のウェブサイトで、日常生活の中で放射線が使用されている事例を挙げていく。実際に管やガラスの歴史を振り返り、放射線展の一環でオンライン講演会を開催した。

秋吉准教授が放射線について分かりやすく解説したオンライン講演会

クルックス管とは？  
Wilhelm Conrad Roentgen  
1895. X線放射線の発見  
1901. 第一回ノーベル物理学賞を受賞

その後の放射線  
なった歴史的に

① 管内の電圧が高電圧で電極間に電場を形成し、電子が加速される。  
② 加速された電子が陽極に衝突し、X線を発生させる。  
③ X線は物質に透過し、蛍光物質を励起して光を発生させる。  
④ 光は検出器で検出され、画像形成や測定に利用される。

秋吉准教授による20kV程度の高電圧印加