

2020年 6月 29日 @ オンライン開催  
日本保健物理学会 第53回研究発表会

# 暫定ガイドラインによる クルックス管からの 漏洩X線量抑制の検証

大阪府立大学 放射線研究センター<sup>1)</sup> 秋吉 優史  
DO Duy Khiem<sup>1)</sup>、安藤 太一<sup>1)</sup>、松本 亮<sup>1)</sup>、宮川 俊晴<sup>2)</sup>、  
掛布 智久<sup>3)</sup>、岡本 泰弘<sup>4)</sup>、伊藤 照生<sup>5)</sup>、山口 一郎<sup>6)</sup>

<sup>2)</sup>放射線教育フォーラム、<sup>3)</sup>JSF、<sup>4)</sup>大阪府立八尾北高、

<sup>5)</sup>東邦大、<sup>6)</sup>保健医療科学院

クルックス管プロジェクト有志各位

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/index.htm>



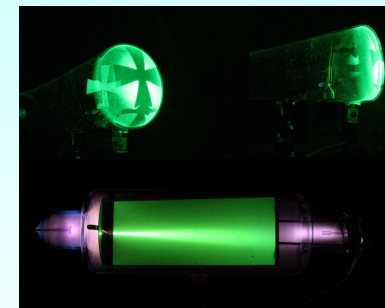
# クルックス管を使って安全に実験をするためのお知らせ

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。**

新しく追加されました



クルックス管からX線が放出されていることが、19世紀末にレントゲンによって発見されました。トムソンによる電子の発見にもクルックス管は用いられ、それ以降の科学の発展に重要な役割を果たしました。一方で、製品によっては最大出力に設定して15cmの距離にまで近付くと、10分間の実効線量が3.3mSvに達する場合があります。放射線が漏洩していることを知らずに、不注意に近付いて観察したり、いたずらに出力を高くしたりすると不要な被ばくをする危険性があります。

漏洩するX線のエネルギーは20keV程度と低く、パルス状に放出されるため、電離箱以外の普通のサーベイメーターは実際の線量よりも大幅に小さい値を示し役に立ちません。

## しかし、心配はいりません！

簡単な誘導コイルの設定と、距離を取って時間を短くするなどの運用ガイドラインを守ることで、劇的に被ばく線量を小さくすることが出来ます。

## クルックス管安全運用のためのガイドライン

- ・清浄な放電極を必ず使用し、放電極距離は20 mm以下とする。
- ・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1 m以上とする。
- ・演示時間は年間10分程度に抑える。

連絡先: 大阪府立大学 放射線研究センター 准教授 秋吉 優史  
Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp Website QRコード →  
また、放射線教育支援サイト「らでい」<https://www.radi-edu.jp/> では、スクリーニング用の線量計を無料貸出し致します。



# クルックス管からの被ばく線量を下げるには



熱陰極を用いた製品や、冷陰極でも5kV程度の低電圧で駆動する安全な製品が各社から販売されています。5keV程度のX線はガラス管から外に出て来られないため、装置固有の安全性で確実に安全を確保出来ます。

理科教育等設備整備費等補助金(理振)による補助の対象となっています。また大阪府大のふるさと納税制度による提供も可能です。

従来の装置を使用する場合は、以下の点に注意を払う必要があります。

- 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

**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ます。クルックス管自体がガラスで出来ていて、このガラスに対するX線の透過率が15keVと30keVでは100倍程度異なるためです[1]。

放射線防護の  
三原則

**遮蔽:** アクリルでは1cmの厚さでも半分程度にしか減衰しません。ガラスを用いると厚さ2mmの薄い物でも1/20~1/50にまで減衰します。

**距離を取る:** 最も簡単で確実です。(距離の二乗に反比例して下がります)。

1m位置、10分間での実効線量評価結果\*:  
191本中187本で <  $10 \mu\text{Sv}$  (国際的な免除レベル)  
最も線量の高い装置でも  $40 \mu\text{Sv}$  程度。

→ ガラスの水槽などによる遮蔽で、さらに大幅に線量を下げることが出来ます。

\*全身への線量分布などを考慮した詳細な評価は現在検討中。保守的に最も線量が高い場所で評価した。

10  $\mu\text{Sv}$  ってどれぐらいの被ばく線量?

歯科レントゲン撮影1回:  $10 \mu\text{Sv}$ 、胸部レントゲン撮影1回:  $50 \mu\text{Sv}$   
国際線の飛行機での欧米の旅行1回の際の宇宙線の線量:  $100 \sim 200 \mu\text{Sv}$   
年間の平均外部線量が最も高い岐阜県と最も低い神奈川県との差:  $400 \mu\text{Sv}$   
世界平均 > 日本平均であるラドンによる年間内部被ばく線量の差:  $800 \mu\text{Sv}$

運用ガイドラインの妥当性の検証

2019年度に、全国57校、191本のクルックス管について、ガラスバッジという小さな線量計を実際の教育現場に郵送することにより、各教員の手でガイドラインに沿った場合の漏洩線量の実態調査を行いました[2]。

国際的な線量拘束値

ICRP Pub36「科学の授業に於ける電離放射線に対する防護」では、古い単位である実効線量当量ですが、学校教育現場での科学の授業における年間の線量限度を  $500 \mu\text{Sv}$ 、個々の授業では  $50 \mu\text{Sv}$  としており、それを十分に下回っています。

[1] 秋吉 優史 ほか、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) 31-38。

[2] 秋吉 優史、学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用、放射線教育、23 (2019) 23-32。

# 印加電圧を下げるにはどうしたら良いの？

**必ず放電極を  
取り付ける。**

ケーブルが外れた場合などの電氣的な安全上も必須です。単体での販売もされています。

**放電極距離は20mm  
以下にする。**

空気中では1kVで約1mm放電します。表面が汚れていると放電しにくくなるので、サビなど無いように清浄に保ちます。

**放電出力、発振周期を  
出来る限り下げる。**

トランスの一次側に印加する電圧、周期を変化させることで、二次側の出力電圧、電流をコントロールします。調節できる装置では、電子線を観察できる範囲で下げて下さい。

陰極

放電極距離

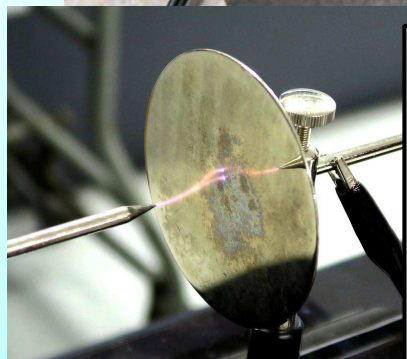
陽極

円板側が陰極、  
針状の方が陽極  
とした方が火花放電が  
起こりやすくなります。

極性切替スイッチ

放電出力

放電極はクルックス管と並列に接続されており、一定以上の電圧がかかると空中放電してそれ以上電圧が上がらないようにする、**安全装置です！**



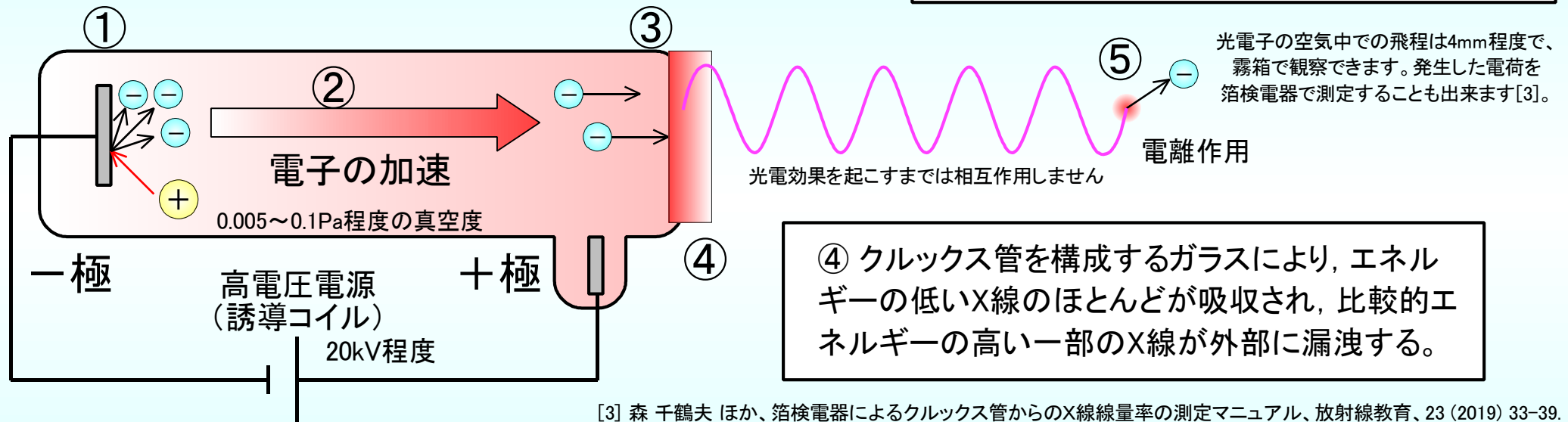
# クルックス管のしくみ

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)

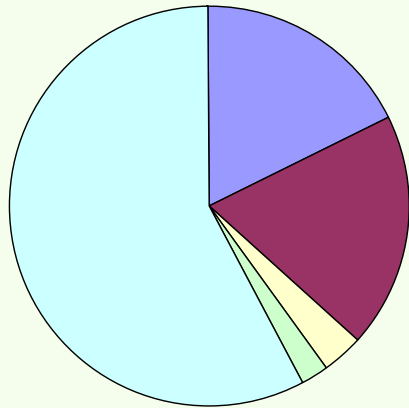
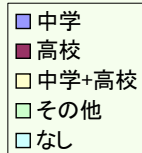
この状態となったクルックス管は、放電極距離を20mmにすると空中放電が激しい一方で、クルックス管に流れる電流は少なく観察が困難です。放電極距離を広げると高い線量が漏洩するため、買い換えが推奨されます。

**放電極で最大電圧を抑えることが重要**

# 現在の学生に対する授業の実態調査

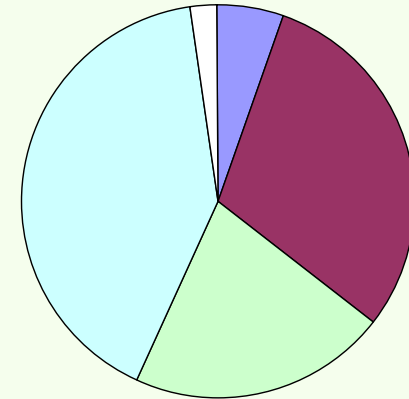
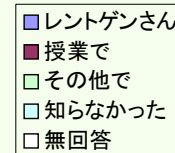
2019年11月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。  
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 90。

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？



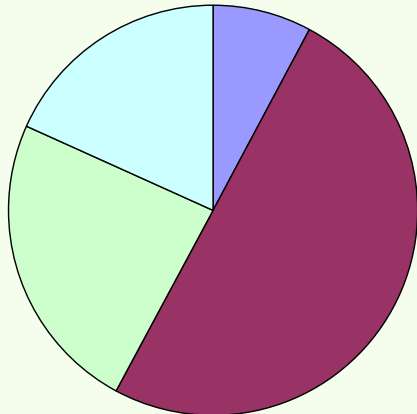
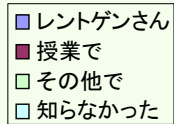
中学 16  
高校 17  
中学+高校 3  
その他 2  
なし 52

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？



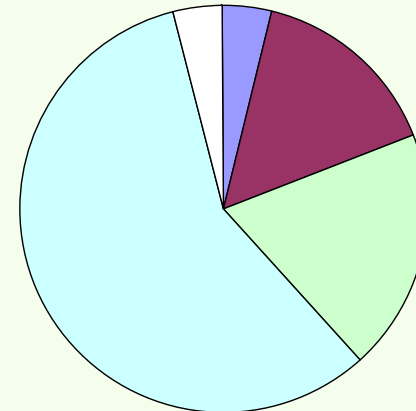
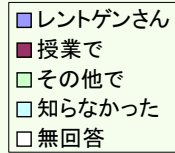
レントゲンさん 3  
授業で 19  
その他で 9  
知らなかった 7

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

# 暫定ガイドラインの検証



暫定ガイドラインで本当に安全が確保できるのかを、全国の教育現場の実際に使われる様々な装置で検証。

・放電極距離 20mm、放電出力は観察できる範囲で最小という暫定ガイドライン準拠の条件で線量測定を行ってもらう。

- ・クルックス管から 20cm の位置で、測定は10分間など統一したプロトコルで測定。
- ・ガラスバジは大阪府大と各学校とを郵送でやりとりし、現場の先生の手により測定。BGの影響を抑えるために1月ごとに取りまとめて評価を行う。

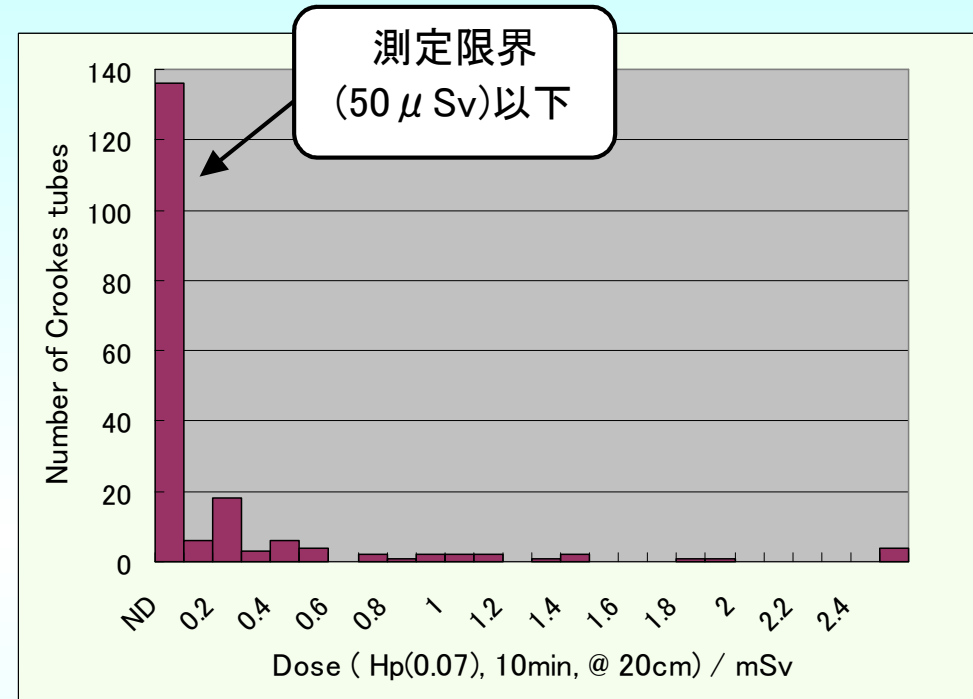
大阪府立大学倫理委員会の承認を得て実験を行っています。

## 第二期実態調査結果（最終版）

暫定ガイドラインを遵守することでどこまで線量を下げることが出来たのかを検証するために、2019年8月～11月に第二期の実態調査を行った。

8月期は、27校からの95本、9月期は8校からの18本、10月期は18校からの67本、11月期は4校からの11本、合計191本のクルックス管について「暫定ガイドライン準拠」での測定を行った。

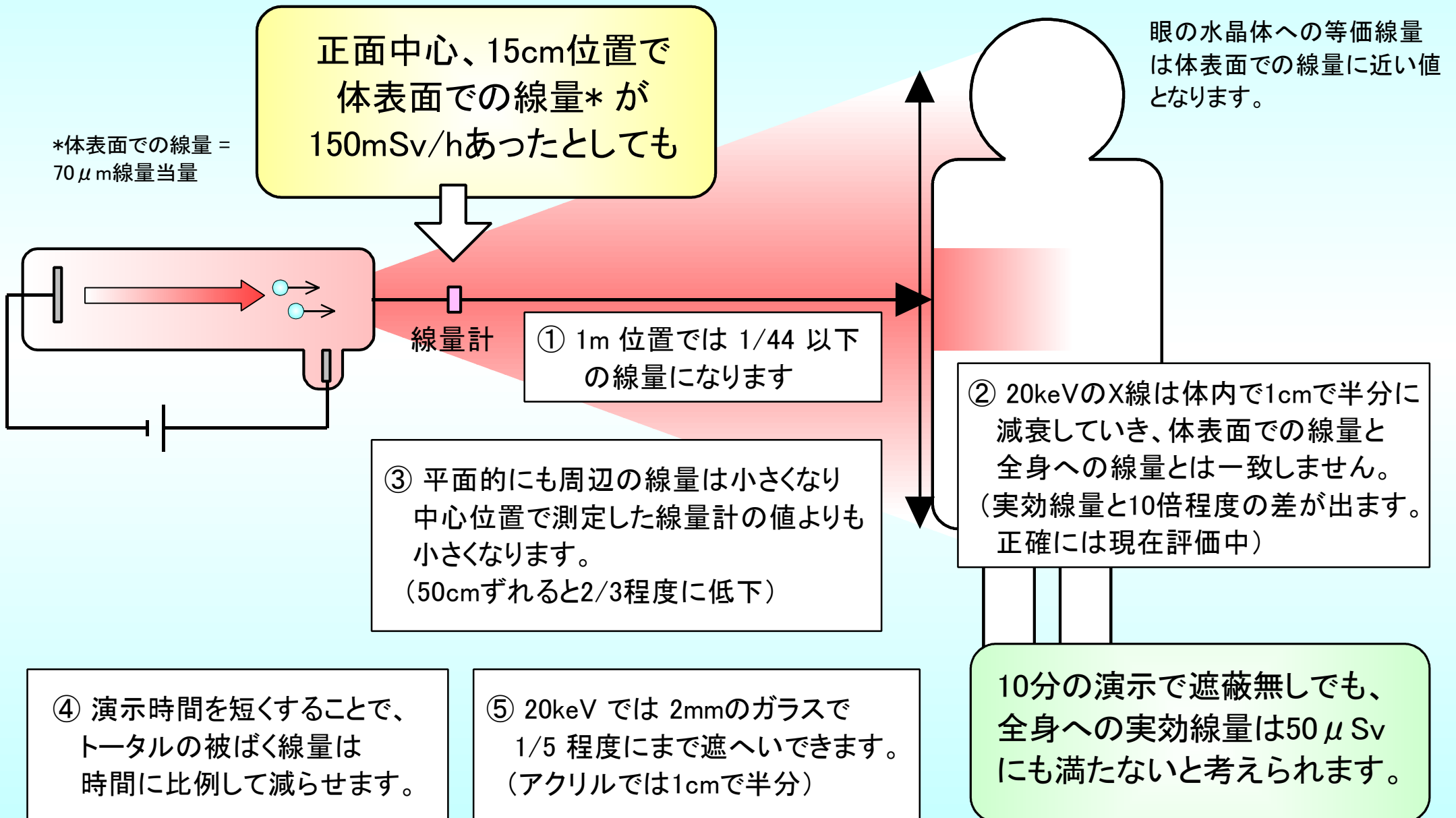
191本中 136本に於いては、距離 20cm 10分の測定で Hp(0.07) が検出限界である  $50 \mu\text{Sv}$  を下回っていた。有意な値が出た 55本の装置についても、暫定ガイドライン適用前に比べて低い線量に抑えられているが、最大で 10.4mSv を示した装置も存在した。



10分間、20cm の距離でのガラスバッジによる Hp(0.07) での評価結果で有り、ここから実際の生徒の被ばく量を見積る必要がある。



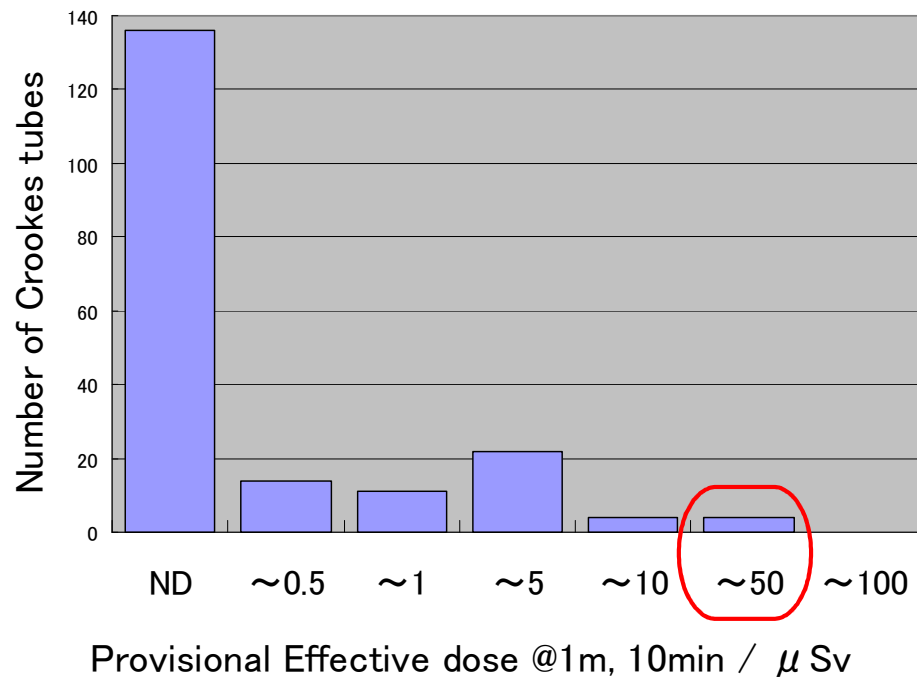
# クルックス管からのX線の不均一性



# 第二期実態調査結果（最終版）

GBでの測定  
生データ

- 測定を行った距離 20cm → 実際の生徒は 1m 以上離れるため 1/25 に減衰,
- Hp(0.07) @ 20keV → 実効線量への換算は暫定値で 1/10
- 観察時間は年間で10分としているためそのまま



測定を行った 191本中 187本の装置については 1m 距離、10分間の実効線量が国際的な免除レベルである  $10 \mu$ Sv (IAEA BSS など) 以下に抑制されていることが確認された。4本だけ  $10 \mu$ Sv を超えると評価されたが、3本は  $20 \mu$ Sv 以下、1本だけ  $42 \mu$ Sv に相当すると評価された。

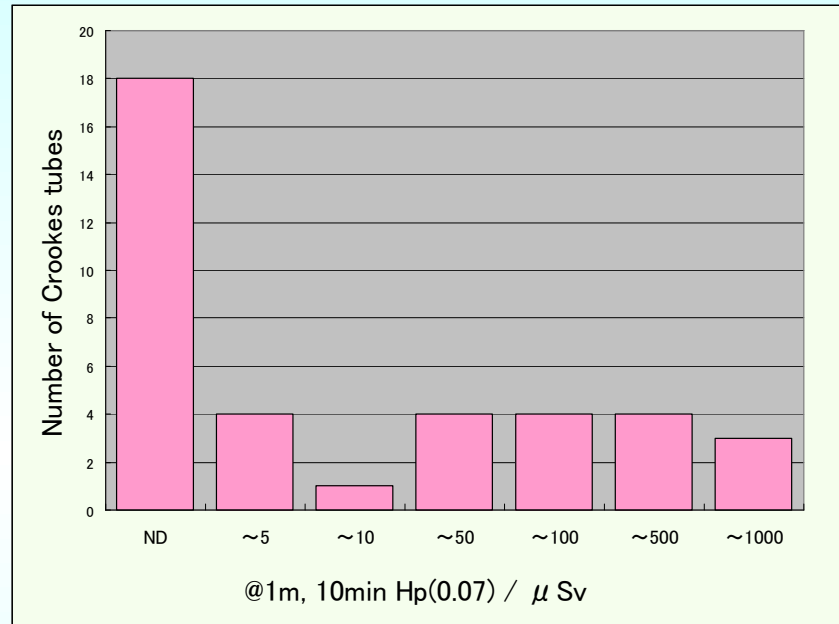
2018年の暫定ガイドライン適用前の実態調査では、37本中6本が距離 1m、10分間での実効線量が  $10 \mu$ Sv を超える可能性があり、 $93 \mu$ Sv と評価された装置もあった。

やや高い値を示した装置については、何故高くなったのかの調査を行うため実機を借用中。  
高くなると分かっていたら、観察時間や距離、ガラスの水槽での遮蔽などで十分防護が可能。

ICRP Pub36「科学の授業に於ける電離放射線に対する防護」では、古い単位である実効線量当量での記載であるが年間の線量限度を0.5 mSv、個々の授業ではその 1/10 ( $50 \mu$ Sv) としており、観察時間の考え方から最も線量の高かった装置についても十分にこの指標を下回っていると言える。

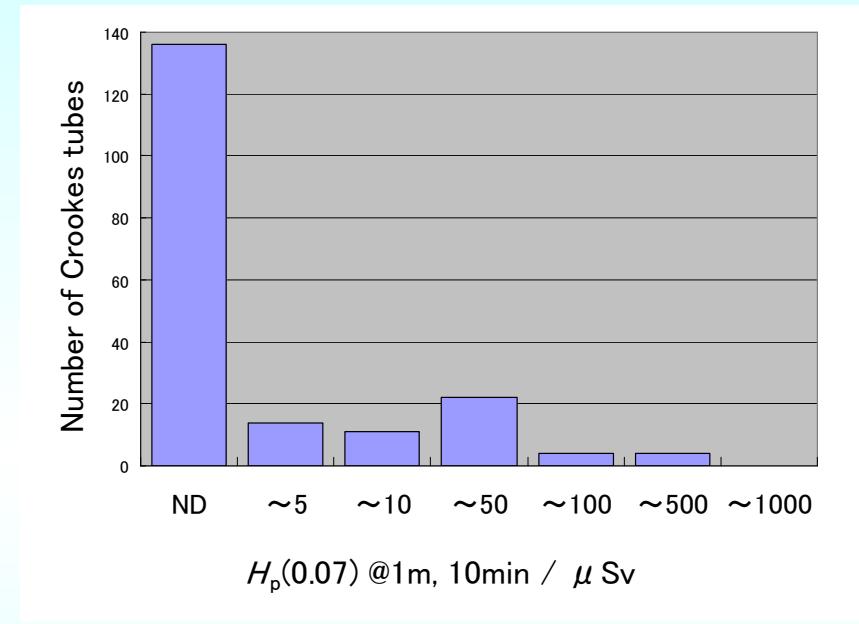
# 第二期実態調査結果（最終版）

## 2018年第一期実態調査



これまでの授業での設定

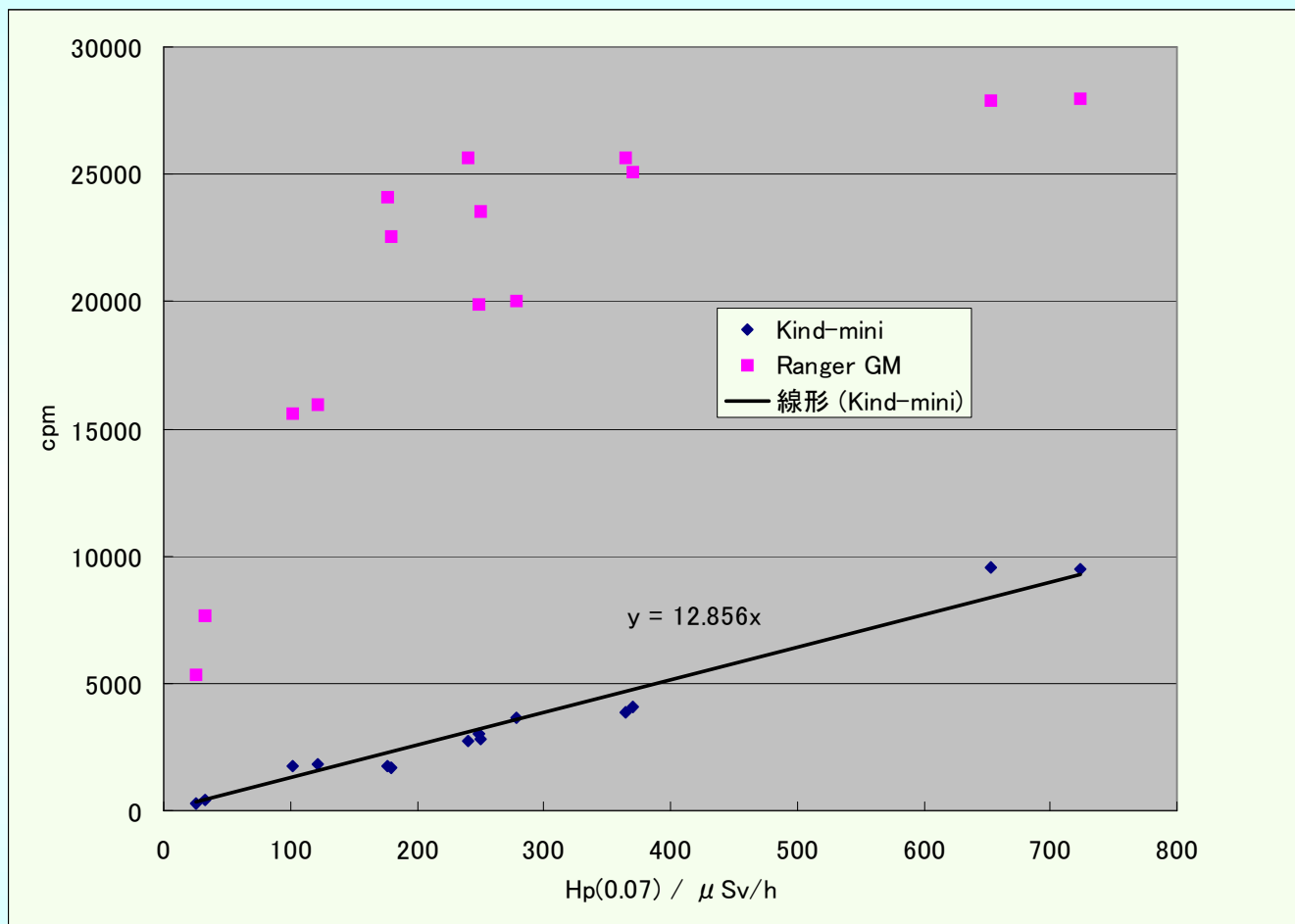
## 2019年第二期実態調査



暫定ガイドライン準拠

暫定ガイドラインの適用により、これまで授業で行っていた誘導コイルの設定での線量よりも低線量側に分布がシフトしている。  
また、従来は装置と生徒の距離が1mよりも近かったという学校も多かったため、実際の被ばく線量の差はさらに大きい。

# 簡易なサーベイメーターによるスクリーニングの可能性



横軸は低エネルギー測定対応の電離箱 日立 ICS-1323 で測定した  $70 \mu\text{m}$  線量当量。時間変動があるため、簡易測定器での測定の前後で測定し、平均を取った。



Kind-mini

プラスチックシンチレーターを用いた簡易測定機。放射線教育支援サイト「らでい」から借りることが出来る。



Ranger

米国 S.E.International 社製のパンケーキ型広窓GMサーベイメーター。

Inspector USB の後継機。

不感時間  $100 \mu\text{s}$  程度であり、理論上の計数率の上限は、 $600\text{kcpm}$ 。