

日本保健物理学会・令和2年度企画シンポジウム

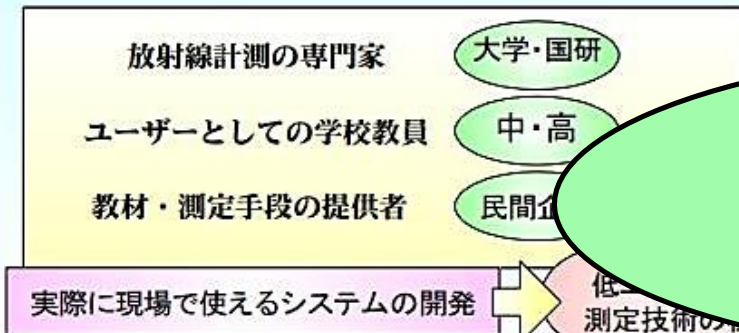
「教育現場における低エネルギーX線を  
対象とした放射線安全管理に関する  
専門研究会」報告2

「実態調査結果、運用上の注意点」

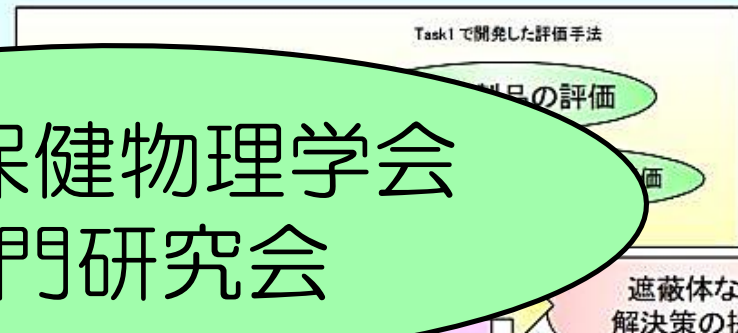
国際医療福祉大学 伊藤 照生  
主事 大阪府立大学 秋吉 優史

# クルックス管プロジェクトについて

## Task 1: 線量計測

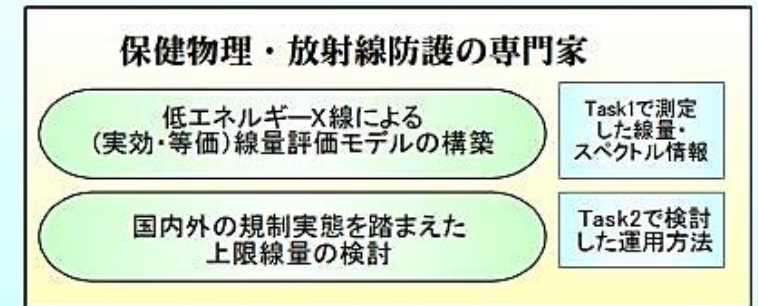


## Task 2: 運用方法の検討



日本保健物理学会  
専門研究会

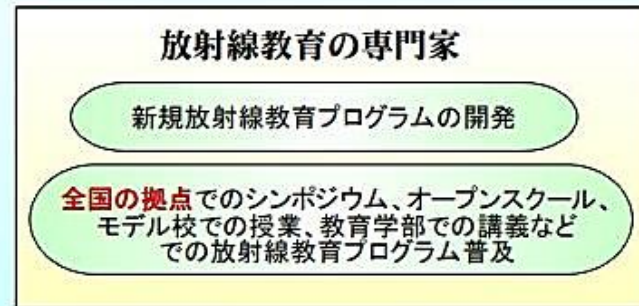
## Task 3: 線量評価とガイドライン



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



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

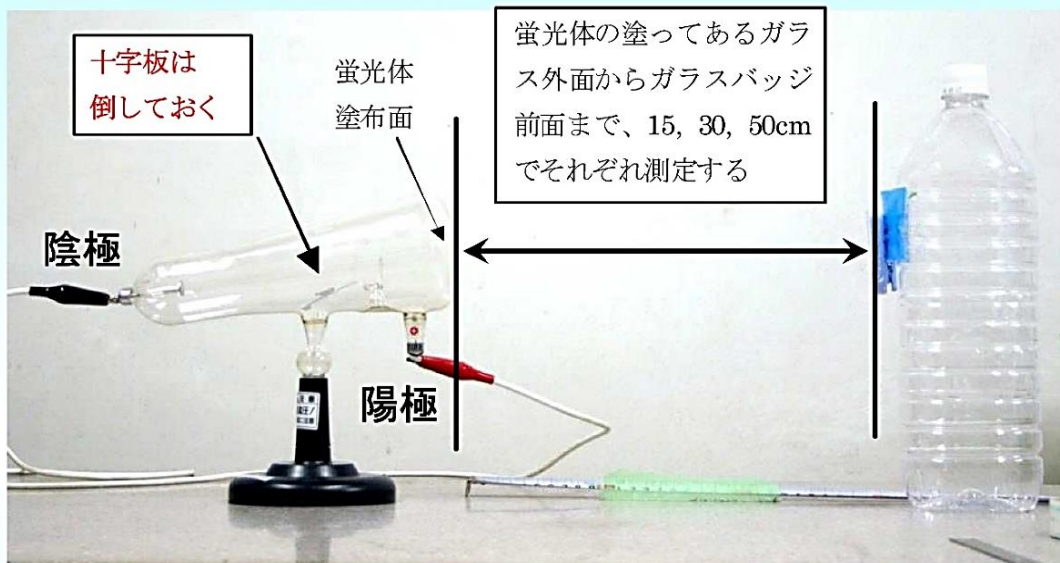
# 実態調査結果

- 実際の教育現場における様々な装置と運用法によるクルックス管からの漏洩線量を調査
- ガラスバッジFX型
- 直接各学校に郵送し、教員の手で測定
- 2018年に行われた第一期実態調査
  - 誘導コイルの設定を普段授業で使用している設定





# 統一プロトコルによる全国教育現場での線量測定



- ・ガラスバッジFX型を用いて低エネルギーX線の線量とエネルギーを評価。
- ・クルックス管からの距離、中心軸合わせ、照射時間などを統一したプロトコルを作成し、現場の先生自身の手で測定。
- ・系統的に距離を変えて測定し、実際に生徒の居る位置での評価を行う。
- ・誘導コイルの設定は「普段授業を行っている設定」で依頼し、実態を評価。
- ・全国16校からの協力を得て38本のクルックス管について測定を行った。



# 2018年度 第一段実態調査



全国の 38 本のクルックス管について、ガラスバッジを郵送することにより、教員自身の手で**普段の授業の設定**で線量測定を行ってもらった。

ペットボトルに貼付けたガラスバッジに15, 30, 50cm の距離で10分間X線照射して返送してもらい、線量評価を行った。X線計測専用のタイプFXでは同時にエネルギー評価も出来る。

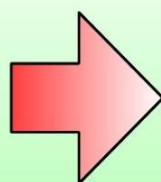
38本を測定した。10分間の測定での $70 \mu\text{m}$ 線量当量\*:  
31本で  $< 100 \mu\text{Sv} @ 1\text{m}$  (外挿により評価) \*実効線量はさらに1/10以下。  
うち、18本で15cmの距離でも検出限界( $50 \mu\text{Sv}$ )以下

その一方で高い線量を示した装置も存在した

放電出力最低で距離1mでも $600 \mu\text{Sv}$ 以上が検出された装置を現地調査。

管内のガスが枯れていて電流が流れにくい個体であった

最低出力、30cmの距離で  
放電極距離30mm:  $2\text{mSv/h}$   
放電極距離50mm:  $30\text{mSv/h}$



放電極距離を20mmに縮めると、  
 $40 \mu\text{Sv/h}$  にまで落ちた。

距離1m、10分間では、 $0.6 \mu\text{Sv}$ に過ぎない

# 第一期調査結果

- 38本中16本
  - 1m、10分間、実効線量  $5\mu\text{Sv}$ 超、 $10\mu$ 超7本！
  - 最大 $930\mu\text{SvHp}(0.07)$ →実効線量として $93\mu\text{Sv}$ (暫定)
- $600\mu\text{Sv}$ の装置
  - 誘導コイルの放電出力を最低としている！！
  - 継続調査で、放電極の距離を短くし最大電圧を抑制
- 放電極を20mm、距離1m、10分間
  - $0.6\mu\text{Sv}$ に抑制
  - 激しく空中放電
  - 電子線の観察はわずか（平均電流は $10\mu\text{A}$ 程度）
  - 実際の教育に用いるのは困難であり買い換えが推奨





# クルックス管からの被ばく線量を下げするには

## ・低電圧駆動の製品に買い換える

全国1万校 x 4万円 = 4億円の予算措置が必要。  
さらに高校でも使われている。

絶対安全なので  
何も考えなくても良い

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

印加電圧を下げることにより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。クルックス管は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。遮蔽に関しては、アクリルでは1cmの厚さでも半分程度にしかないため、ガラスの水槽を用いるか(2mmで1/5以下に下がる)、距離を取る方が簡単である(距離の二乗に反比例する)。

過去の研究から策定した暫定ガイドライン

本当にこれで安全か  
全国規模の実証試験  
が必要

- ・誘導コイルの放電出力は電子線の観察が出来る範囲で最低に設定する
- ・放電極を絶対に使用し、放電極距離は20mm以下とする。
- ・出来る限り距離を取る。生徒への距離は1m以上とする。
- ・演示時間は10分程度に抑える

# 第二期調査

- クルックス管を安全に運用するための暫定ガイドラインを作成（第一期の調査結果より）
- 第二期の実態調査を実施
  - 2019年8月期から11月期まで
  - 暫定ガイドラインに準拠した設定
- 第二期調査による暫定ガイドラインの実効性の検証について、途中経過の報告を目的





# 暫定ガイドラインの検証

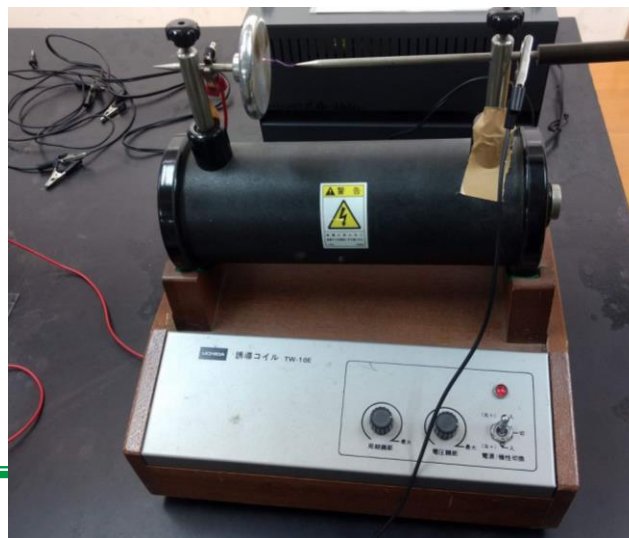
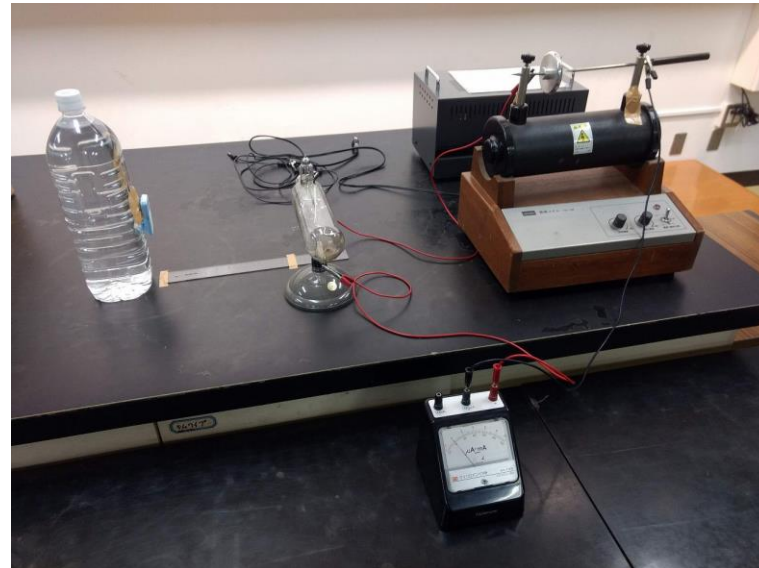
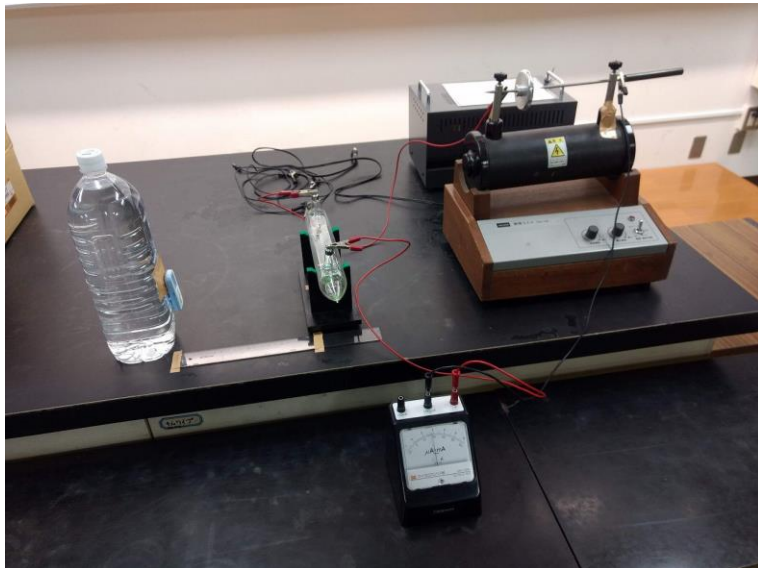


暫定ガイドラインで本当に安全が確保できるのかを、全国の教育現場の実際に使われる様々な装置で検証。

- ・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。
- ・ガラスバッ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。

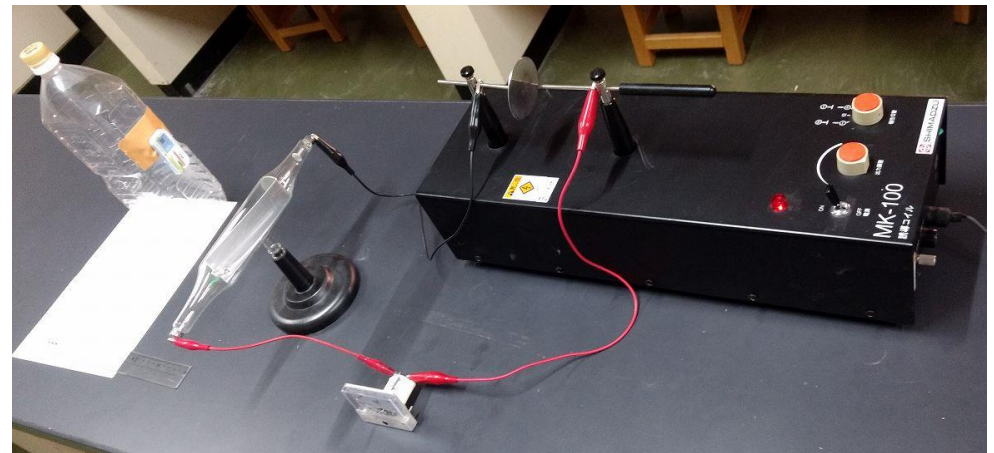
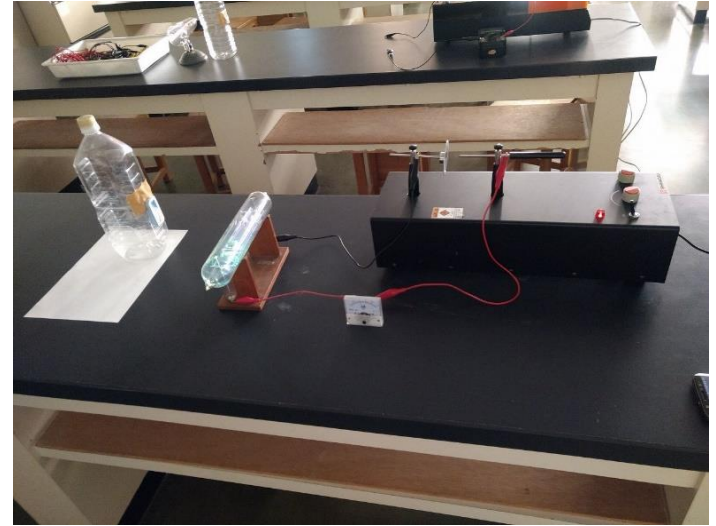
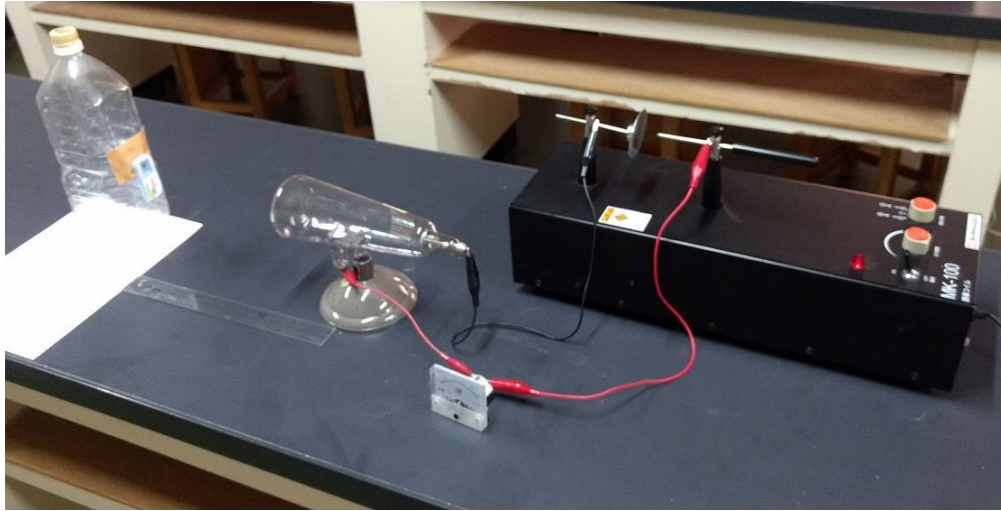
大阪府立大学倫理委員会の承認を得て実験を行っています。

# 学校における測定（東邦中学）





# 学校における測定（駒場東邦中学）





# 学校における測定（問題点）

多種のクルックス管＋多種の誘導コイル

→多くの組み合わせが存在する

放電出力の調整ダイヤルは出力電圧を変化

→特定の電圧に設定することは出来ない

→誘導コイルの能力と接続するクルックス管のコンダクタンスなどによって異なる

放電極は電極間の距離を調整

→およそ  $1\text{mm} = 1\text{kV}$  で物理的に最大電圧を制御

→わずかな電圧上昇が漏洩するX線量を大きく変える

→最大電圧の制御が重要

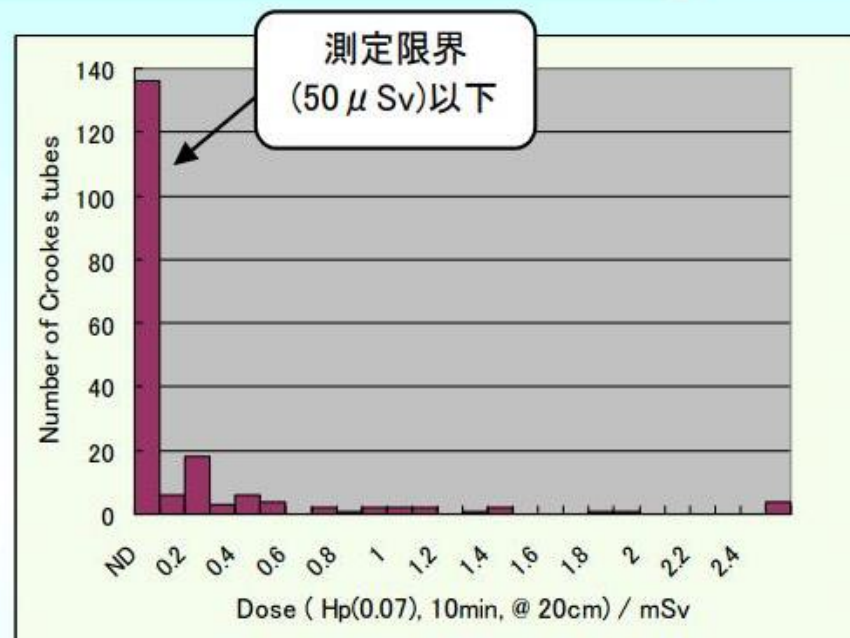


## 第二期実態調査結果（最終版）

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  $10.4\text{mSv}$  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。

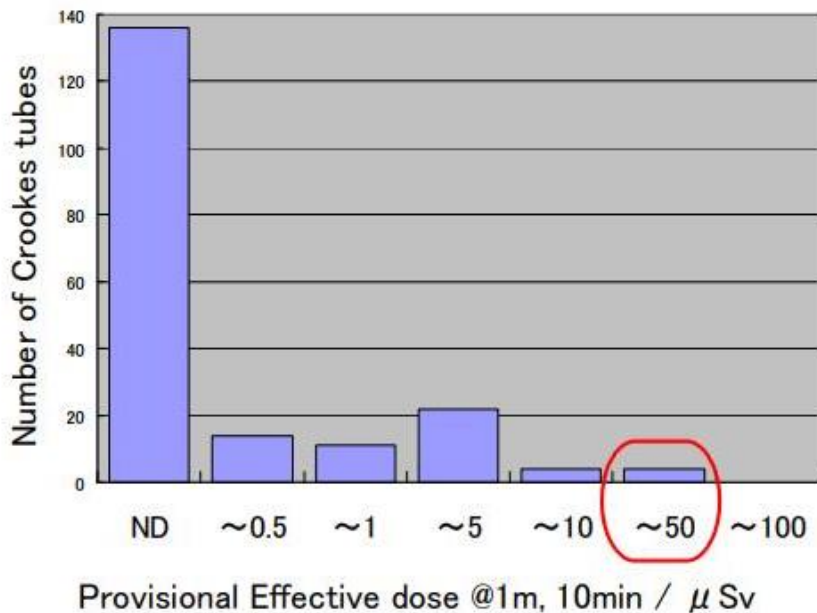


# 第二期実態調査結果（最終版）

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  $10\mu\text{Sv}$  (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  $10\mu\text{Sv}$  を超えると評価されたが、3本は  $20\mu\text{Sv}$  以下、1本だけ  $42\mu\text{Sv}$  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、38本中7本が距離 1m、10分間での実効線量が  $10\mu\text{Sv}$  を超える可能性があり、 $93\mu\text{Sv}$  と評価された装置もあった。

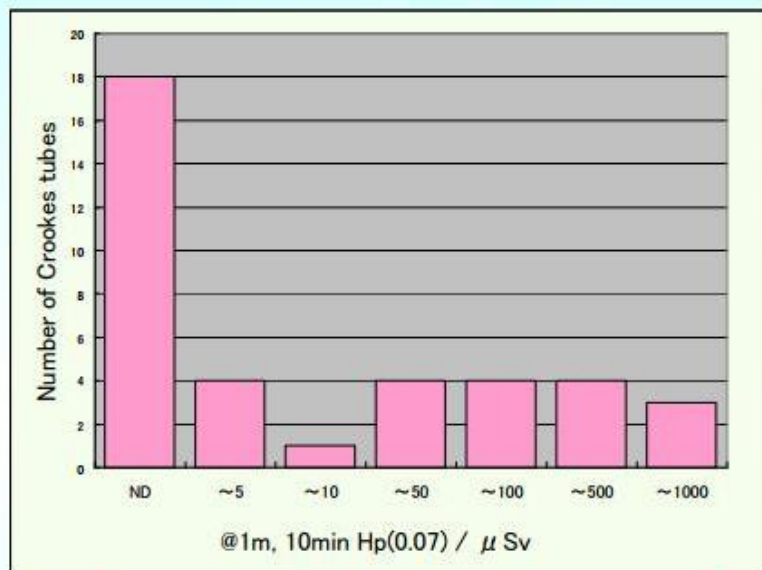
やや高い値を示した装置については、何故高くなったのかの調査を行うため実機を借用中。  
高くなると分かれば、観察時間や距離、ガラスの水槽での遮蔽などで十分防護が可能。

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  $0.5\text{mSv}$ 、個々の授業ではその  $1/10$  ( $50\mu\text{Sv}$ ) 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。



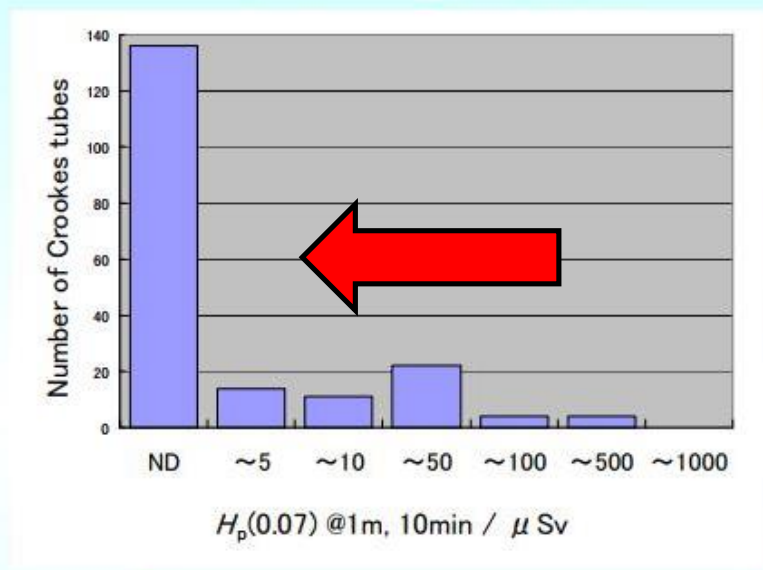
# 第二期実態調査結果（最終版）

## 2018年第一期実態調査



これまでの授業での設定

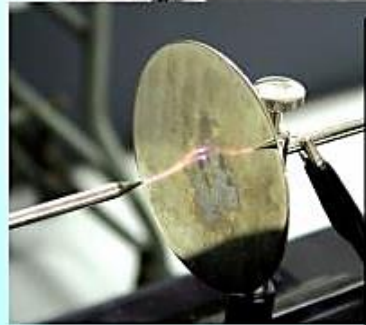
## 2019年第二期実態調査



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。

# 印加電圧を下げるにはどうしたら良いの？



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！**

**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。



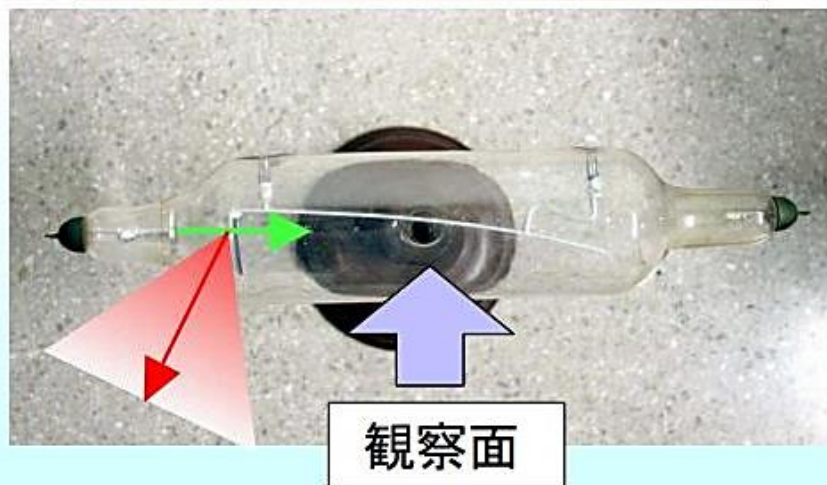
# 遮へいの有効性



○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。



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>

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)。



# まとめ

- 暫定ガイドライン前後で比較効性が、確認された。
- その一方で、電流や電圧との説明できず、線量の高い装置とスプレージングする手法の開発が必要である。

中学・高等学校  
の先生による安  
価な測定  
→森先生

- 誘導コイルの放電出力は電子線の観察が出来る範囲で最低に設定する
- 放電極を絶対に使用し、放電極距離は20mm以下とする。
- 出来る限り距離を取る。生徒への距離は 1m以上とする。
- 演示時間は10分程度に抑える



# 参考

- 実効線量はICRP Pub-64 やIAEA GSR などで示されている国際的な免除レベルである $10\mu\text{Sv}$ 超
- 測定はHp(0.07)で行っており、実効線量への換算は現在詳細に検討中であるが、暫定的にICRP Pub.116 図5.2 及び1cmの水の透過率(0.47)から、20keVで1/10という値を使用

国際的な基準について  
→山口先生

