

2019年 11月 5日

大阪府立大学 研究推進機構 放射線研究センター  
平成30年度共同利用報告会

学校教育現場における  
放射線安全管理体制の確立

○秋吉 優史\*、松浦 寛人(阪府大研究推進)、Do Duy Khiem、安藤太一(阪府大院工量子)、  
山口 一郎(保健医療科学院)、橋本 周(JAEA)、飯本 武志(東大 環境安全)、  
小鍛冶 優(福井県志比小)、森山 正樹(札幌白石中)、前田 勝弘(長崎大付属中)、  
若松 巧倫(ケニス)、増子 寛(島津理化)、田中 隆一、宮川 俊晴(放射線教育フォーラム)

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>



# 中高の先生、ご存じですか？

理科の授業で使っているクルックス管からは  
高い強度のX線が漏洩している場合があります！



現行の教科書にも記載されているクルックス管は、製品によっては 15cmの距離で、 $70\mu\text{m}$ 線量当量率が  $200\text{mSv/h}$  にも達する高い線量率の低エネルギーX線が放出されている場合があります。知らないで近付いたりすると非常に危険です。

・20keV程度とエネルギーが低いので普通のサーベイメーターは役に立ちません

**でも、心配はいりません！**

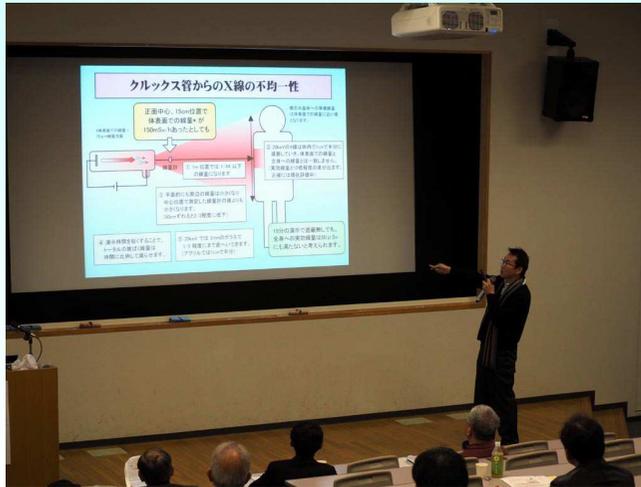
・ごく基本的な誘導コイルの設定と、距離を取って時間を短くするなどの簡単な運用法の改善で、劇的に線量を小さくすることができます。

本当に大丈夫なのか心配・・・

暫定ガイドラインで本当に問題無いか、実証試験を行っています。ガラスバッジを用いた簡単な測定を各学校で行うことができます。詳しくはホームページをご覧ください ↓



# 周知活動（2018年度）



●放射線教育フォーラム第2回勉強会  
(2019年3月3日、慈恵医大)



・日本放射線安全管理学会 第17回学術大会  
(2018年12月5日-7日、名古屋大学)  
セッションタイトル「クルックス管」口頭 5件  
+ ポスター1件

●静岡大学 放射線業務従事者教育訓練(2018年04月20日、静岡大学)

●日本アイソトープ協会 放射線業務従事者のための教育訓練講習会(2018年05月11日、名古屋商工会議所)

・日本保健物理学会 第51回研究発表会(2018年6月29-30日、ホテルライフオー札幌)

・日本アイソトープ協会 第55回アイソトープ・放射線研究発表会(2018年07月04-06日、東京大学 弥生講堂)

・平成30年度「中学理科で使える高校理科の技術」講座(2018年7月30日、名古屋経済大学市邨中学校)

・日本エネルギー環境教育学会 第13回全国大会(2018年08月08-10日、山形大学)  
日本原子力学会秋の大会(2018年09月05-7日、岡山大学)

●放射線プロセスシンポジウム(2018年11月21-22日、東京大学 弥生講堂)

・大阪府立大学 放射線研究センター 共同利用報告会(2018年11月27日、大阪府立大学)

・放射線教育フォーラム 愛知・岐阜・三重地区 新年勉強会(2019年1月5日、名古屋大学)

・「放射線に関する教職員セミナー及び出前授業実施事業」第2ワーキンググループ会議  
(2019年3月12-13日、科学技術館)

# 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)



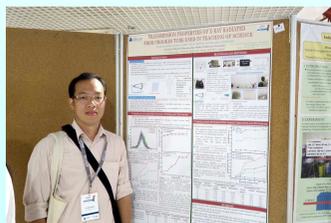
大阪府立大学 友好祭 オープンラボ  
(2019年5月25日、大阪府立大学)



●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)

# 実際の現場での事例



全国の37本のクルックス管について、ガラスバッジという線量計を配布することにより教員の手で線量測定を行ってもらった。

37本を測定した。10分間の測定での70  $\mu$ m線量当量\*:

25本で < 50  $\mu$ Sv @ 1m (外挿により評価)

18本で < 50  $\mu$ Sv @ 15cm (検出限界以下)

\*実効線量はさらに1/10以下。

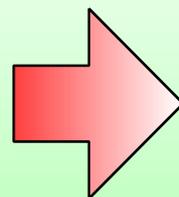
ほとんどの装置は、1回の実験での実効線量は5  $\mu$ Svにも満たないわずかな量であり、国際的な免除レベル(年間の実効線量10  $\mu$ Sv)を下回る。

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  $\mu$ Sv以上が検出された装置を現地調査。

(全て70  $\mu$ m線量当量)

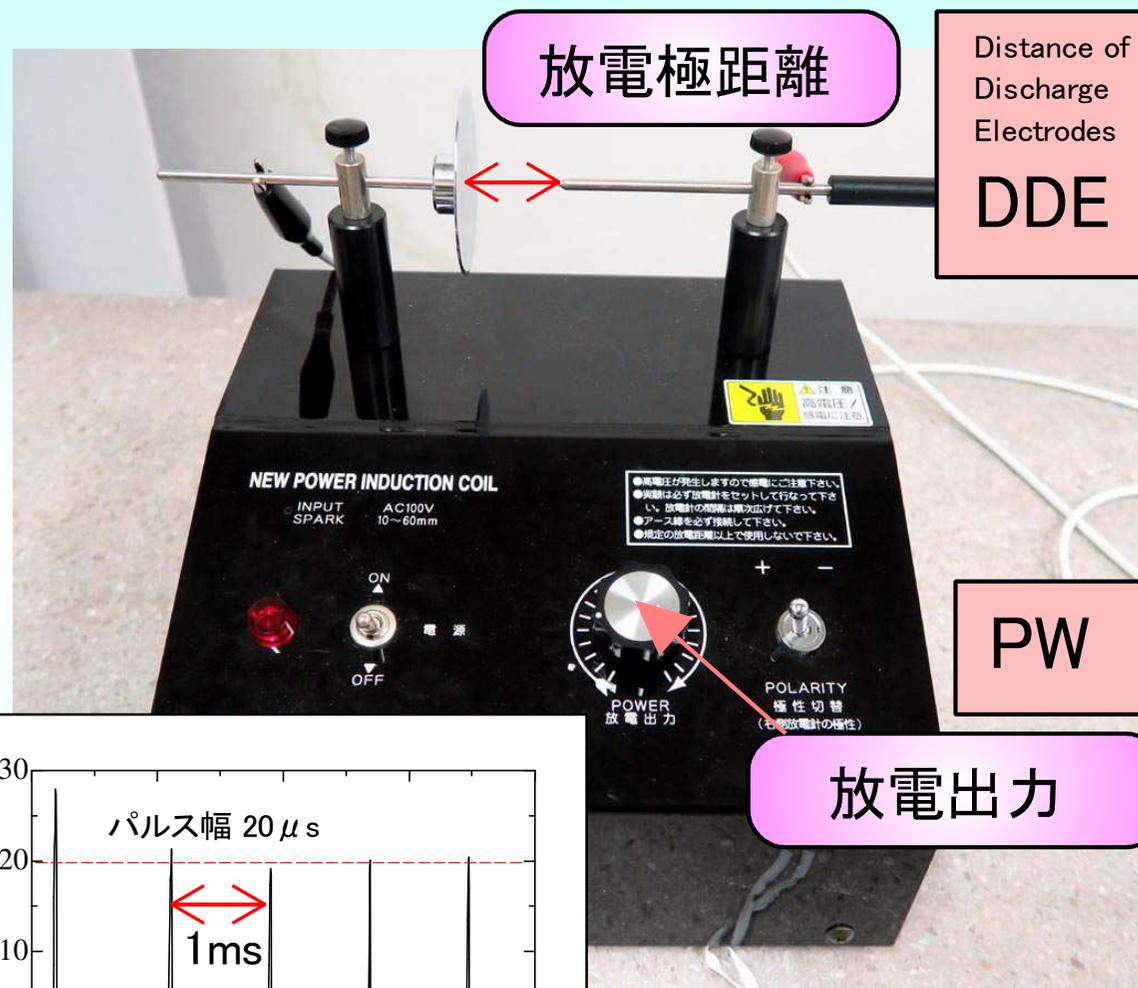
最低出力、30cmの距離で  
放電極距離30mm: 2mSv/h  
放電極距離50mm: 30mSv/h



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

距離1m、10分間では、0.6  $\mu$ Svに過ぎない

# 誘導コイルを用いた高電圧印加について



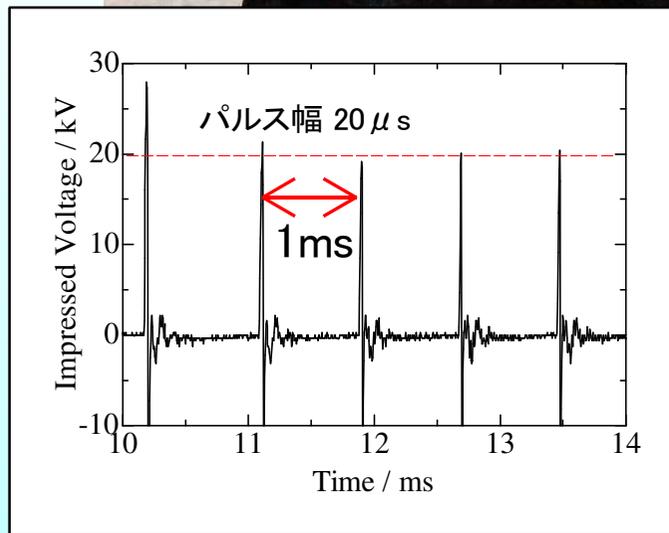
Distance of Discharge Electrodes  
**DDE**

**PW**

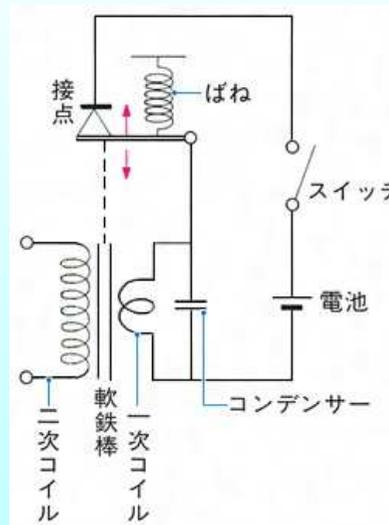
**放電出力**

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コントロール可能。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。



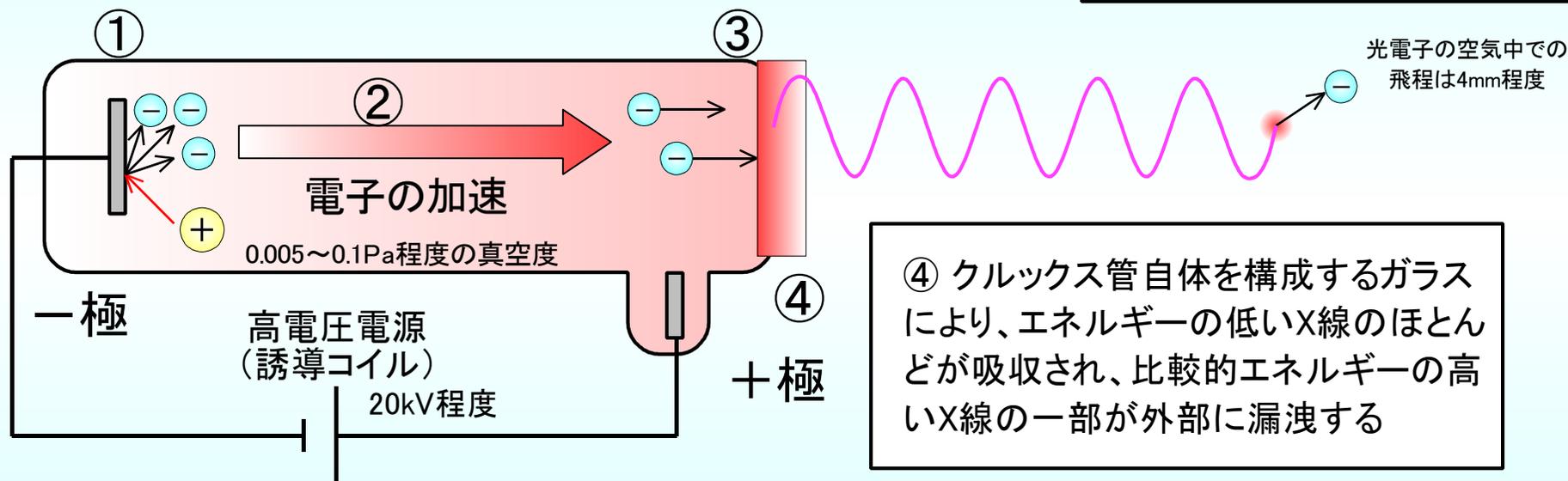
# クルックス管からのX線の漏洩

① ガラス管内の空気が電離して出来た+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)

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。

X線は最終的に原子の周りを回る電子を光电効果などで弾き飛ばして(電離作用)、弾き飛ばされた光電子は低エネルギーのβ線と同じように振る舞う。



④ クルックス管自体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X線の一部が外部に漏洩する

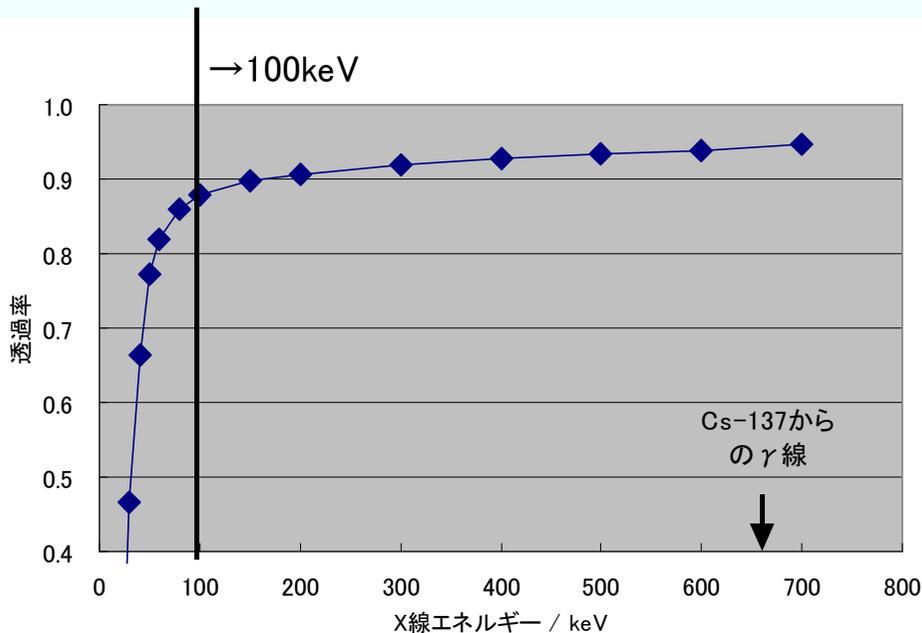
クルックス管に封入されているガスの量が少ない(ガラスに吸着するなどして少なくなる)と、①で陰極を叩くイオンが少なくなるため、電子が飛び出しにくくなり、電流が流れにくくなる。その結果誘導コイルに電磁エネルギーが蓄積され高い電圧が印加されてしまい、電流は小さいが④で漏洩する線量が大きくなってしまふ。

放電出力最小でも高い線量が測定されたクルックス管はこの状態だった。放電極距離を20mmに縮めると空中放電が非常に激しい一方、クルックス管に流れる電流は少なく観察が困難であった。

**放電極で最大電圧を抑えることが重要**

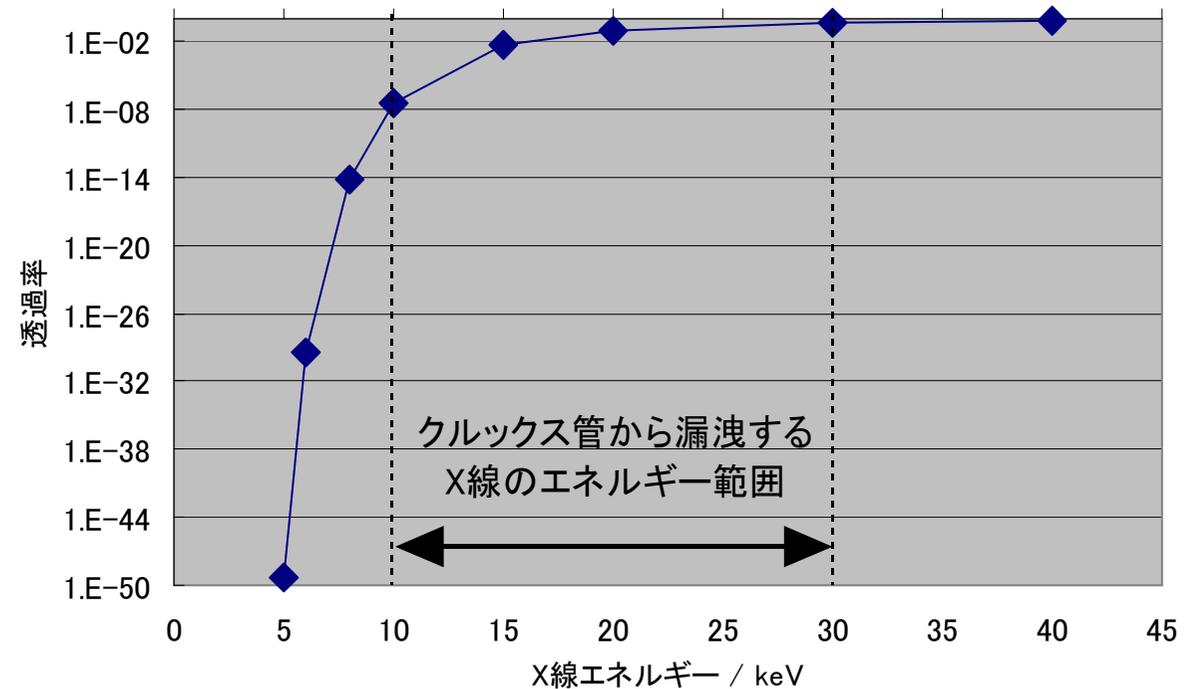
# わずかな印加電圧変化での大きな漏洩線量の変化

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

# クルックス管からの被ばく線量を下げるには

## ・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

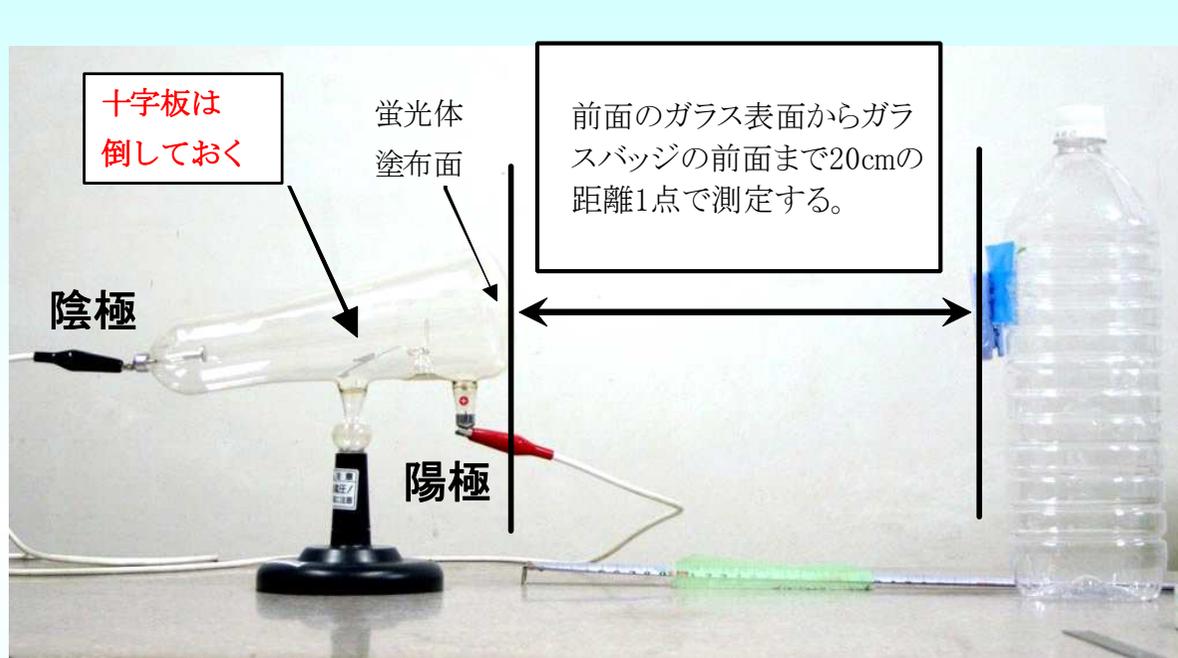
印加電圧を下げることによりX線のエネルギーが下がり、劇的に漏洩するX線量を下げることが出来る。クルックス管はガラスで出来ており、このガラスに対する透過率が15keVと30keVでは100倍程度異なるためである。遮蔽に関しては、アクリルでは1cmの厚さでも半分程度にしかならないため、ガラスの水槽を用いるか(2mmで1/5以下に下がる)、距離を取る方が簡単である(距離の二乗に反比例する)。

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

# 暫定ガイドラインの検証



- ・低エネルギーX線の線量とエネルギーを評価可能なガラス線量計(千代田テクノル FX型)を使用。
- ・クルックス管から 20cm の位置で、放電極距離 20mm、放電出力は観察できる範囲で最小、十字板を倒して正面方向で、照射時間 10 分という暫定ガイドラインに準拠した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。
- ・ガラスバッジは大阪府大と各学校で郵送でやりとりし、1月ごとに取りまとめて測定を行う。
- ・BGの評価は、Snフィルターで遮蔽された素子により行う。
- ・測定限界が  $50 \mu\text{Sv}$  であるが、1m 位置 10分で実効線量が  $10 \mu\text{Sv}$  になる場合、20cm 位置では実効線量で  $250 \mu\text{Sv}$ 、 $70 \mu\text{m}$ 線量当量はその10倍程度になるため、十分な検出力と言える。

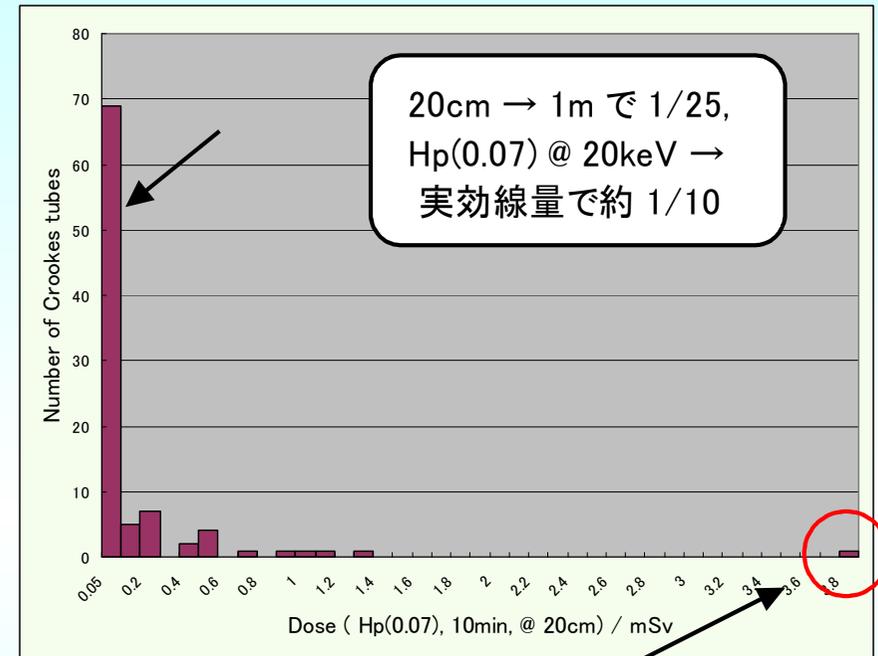
## 第二期実態調査結果（速報）

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～10月に第二期の実態調査を行った。

8月期は、27校の92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。

69本に於いて20cm距離10分の測定で、Hp(0.07)が測定限界である $50 \mu\text{Sv}$ を下回っており、有意な値が出た23本の装置の中での平均でも、1m位置10分間での実効線量は $2 \mu\text{Sv}$ にしか過ぎず、暫定ガイドライン適用前に比べて極めて低い線量に抑えられている。

2018年の暫定ガイドライン適用前の実態調査では、37本中12本が距離1m、10分間での実効線量が $5 \mu\text{Sv}$ を超えており、 $93 \mu\text{Sv}$ に達した装置もあった。

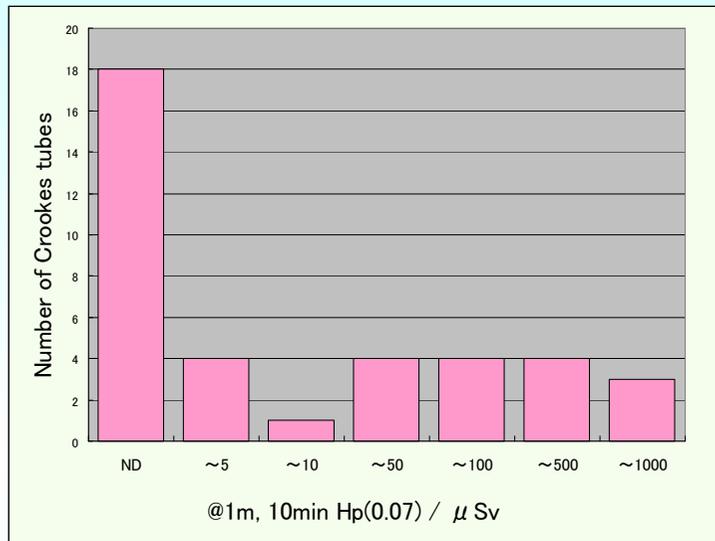


1本だけ 1m 位置で10分間観察を行った場合、ICRP Pub-64 やIAEA BSSなどで示されている国際的な免除レベルである実効線量 $10 \mu\text{Sv}$ をわずかに上回り、 $15 \mu\text{Sv}$ と評価された。

誘導コイルの発振周期を最大としていたため？

# 第二期実態調査結果（速報）

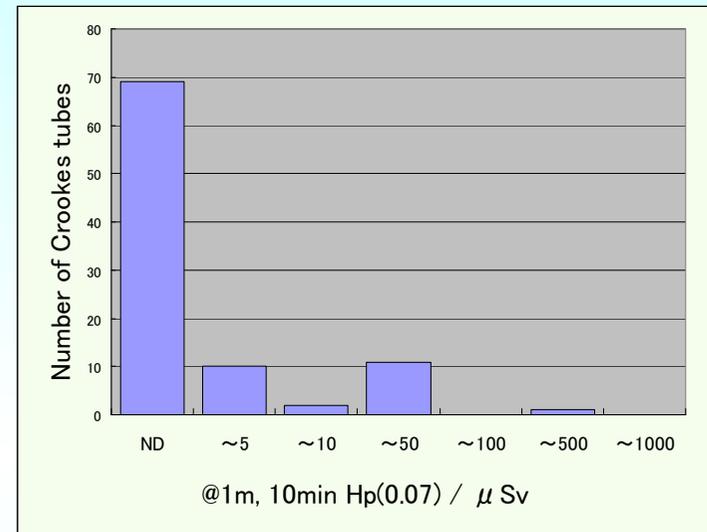
## 2018年第一期実態調査



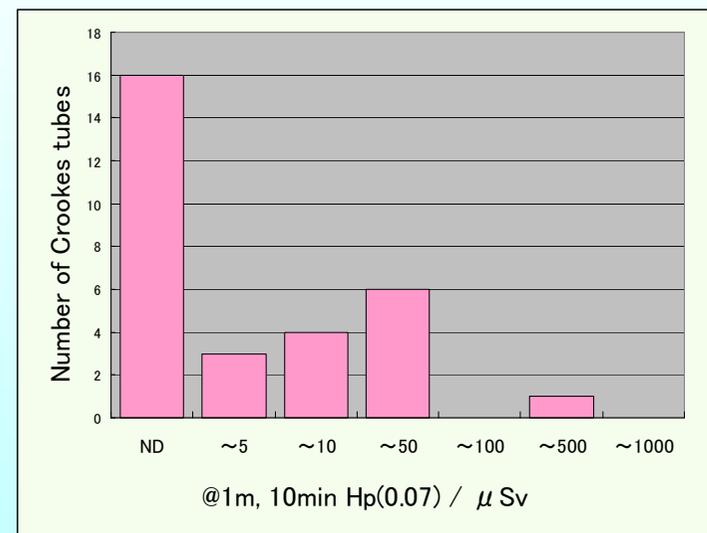
これまでの授業での設定

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

## 2019年第二期実態調査

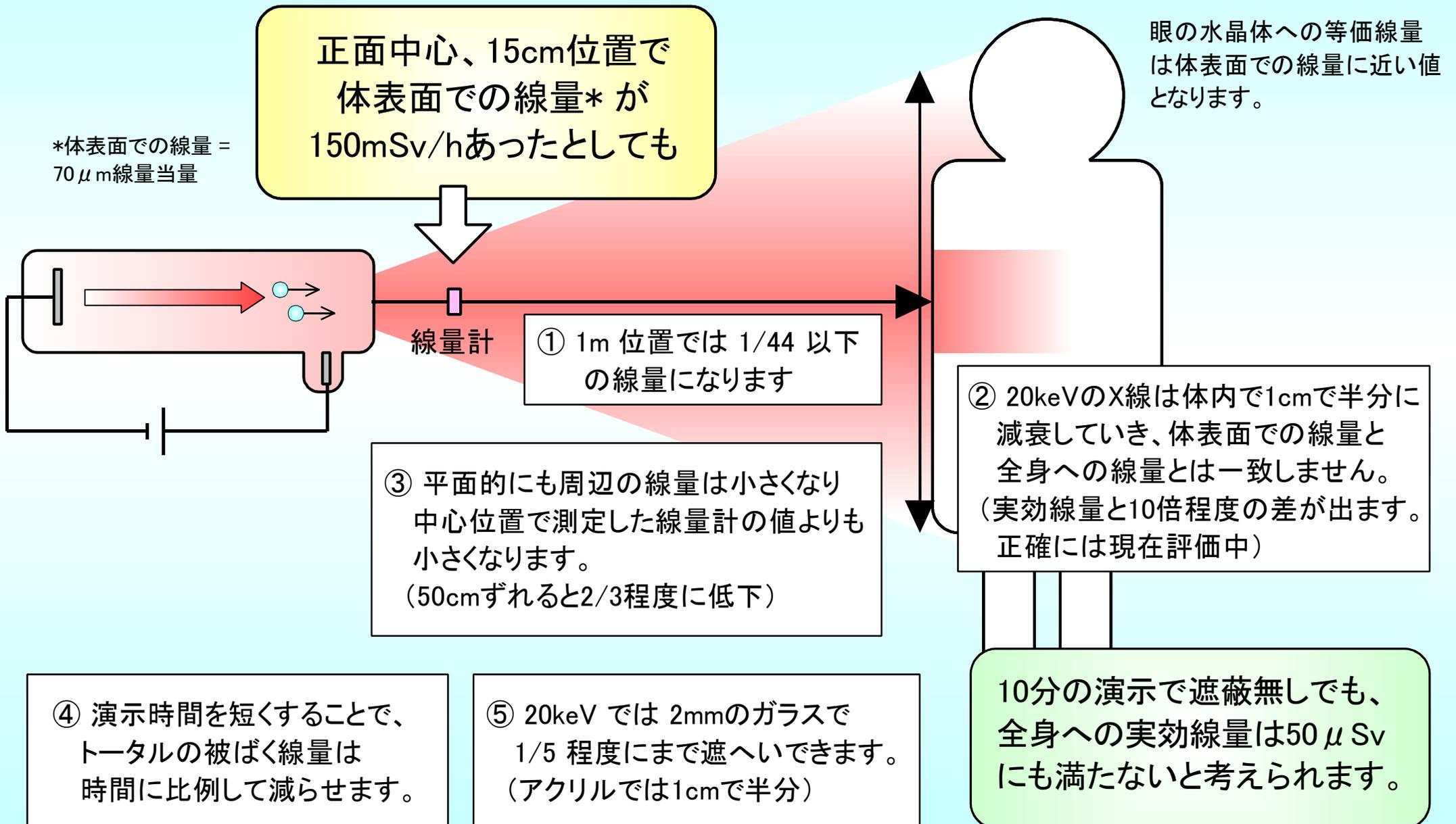


暫定ガイドライン準拠



これまでの授業での設定

# クルックス管からのX線の不均一性



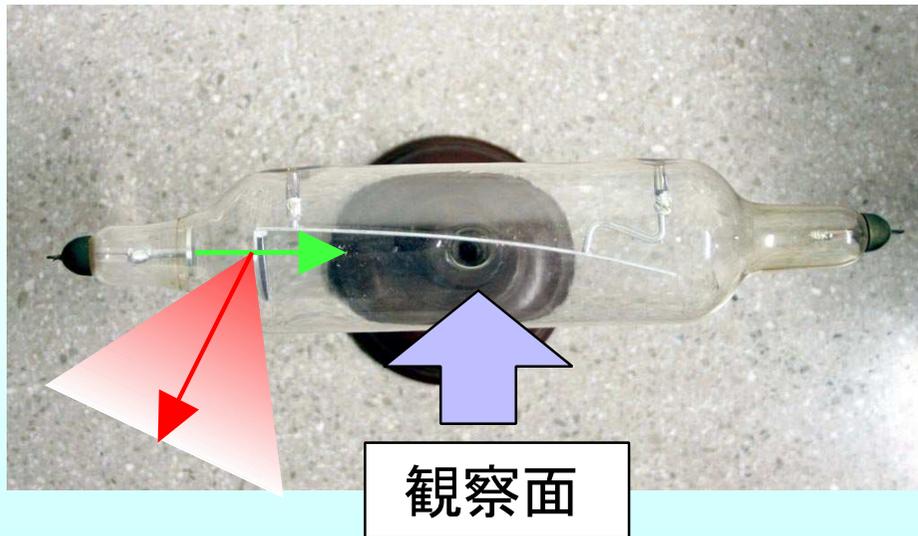
# 遮への有効性



○計算上20keVではアクリル1cmで半分に減衰し、5mmのガラスで1/50程度に減衰するが、重くて安全な運用が困難である。

○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る。



観察面

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(ここは観察しない)。

暫定ガイドラインの遵守で十分安全であるが、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。

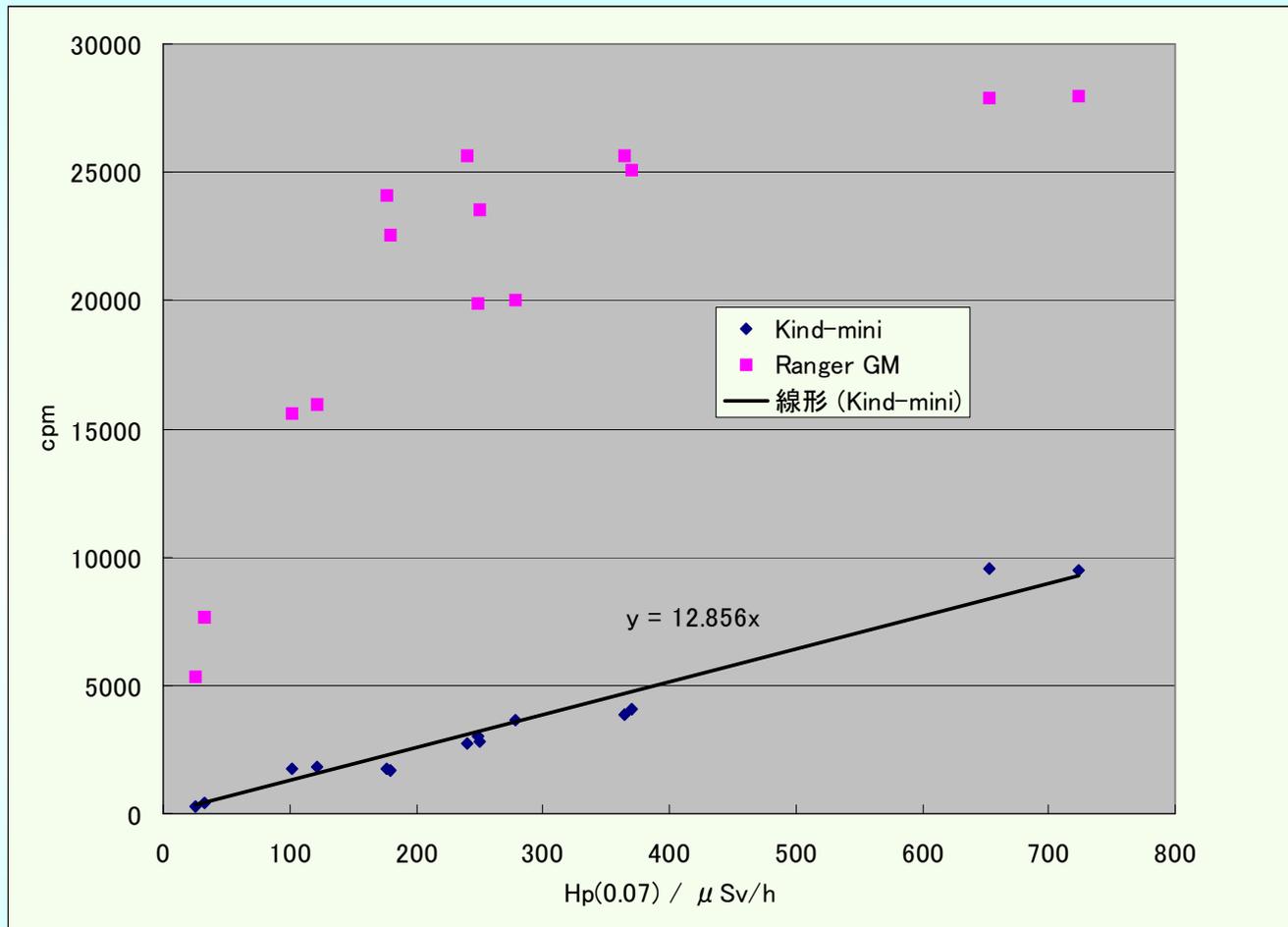
放電出力	Hp(0.07) ( $\mu\text{Sv/h}$ )		透過率 (%)
	遮へい前	遮へい後	
0	600	11	1.8
1	620	12	1.9
2	1300	60	4.6
3	3000	160	5.3

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円だった。

<https://www.amazon.co.jp/gp/product/B00W5DSU0C>

# 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、600kcpm。

# 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。

# 装置としての線量限度が法体系に取込まれていない

## IAEA の GSR part3

### 発生装置の免除レベルの要件

- (c) Radiation generators of a type approved by the regulatory body, or in the form of an electronic tube, such as a cathode ray tube for the display of visual images, provided that:
- (i) They do not **in normal operating conditions** cause an ambient dose equivalent rate or a directional dose equivalent rate, as appropriate, exceeding **1  $\mu$  Sv/h at a distance of 0.1 m** from any accessible surface of the equipment; or
  - (ii) The maximum energy of the radiation generated is no greater than **5 keV**.

となっており、クルックス管の実験を通じた個人の追加の年間被曝線量(実効線量)は、ICRP Pub-64 などでの免除レベルである  $10 \mu$  Sv/y を下回る様暫定ガイドラインを設定し、ほとんどの場合で問題はない(より確実な管理のため暫定ガイドラインを修正する予定)と考えられるが、装置としてのクルックス管は、冷陰極線管などの免除レベルである**表面から 10cmでの線量当量(1cmおよび  $70 \mu$  m)が  $1 \mu$  Sv/h という免除レベルよりもはるかに高い線量を漏洩している。**

いずれも国内法には取り入れられておらず、法的な問題はないと考えられるが、我々の活動方針として個人線量について ICRP などの勧告を取り入れてガイドラインを策定しているのに装置としての基準を取り入れないのは矛盾しているのではないか?

## 装置としての線量限度が法体系に取込まれていない

我々は、免除レベルを超える装置であるからこそ、**ガイドラインなどにより自主的な管理、規制を行う必要がある**、と考えている。

GSR Part 3 requirements の発生装置の免除レベルは、ホリゾン製の低電圧クルックス管のような、我々がこれまで「絶対安全」と謳ってきた固有の安全性を持つ装置に対して適用されると考えられ、これらの装置に対しては管理について考えなくても良い。

また、「in normal operating conditions」に対する解釈で、暫定ガイドラインのような方針に従うことを前提とすれば、免除レベルを満たしうる。いずれにしても、免除レベル以上、法令での規制値以下と言う線量を、これまで考えられてこなかった領域として、どのように取り扱っていくか今後考えていく必要がある。

厚労省は、2003年9月に行われた「全国規模での規制改革要望に対する見解の確認」では、法令上の「X線装置」に対して線量による明確な線引きを避けている。「現在、放射線審議会において、放射線を発生する装置における規制の免除の要件について検討されている状況にあることから、その検討を待ちたいと考えている。」とあるが、その後進展はない。