

2019年 12月 6日 @ 東北大学  
日本放射線安全管理学会 - 日本保健物理学会 合同大会

# 教育現場への放射線安全周知活動報告

○秋吉 優史<sup>1)</sup>, 山口 一郎<sup>2)</sup>, 橋本 周<sup>3)</sup>, 飯本 武志<sup>4)</sup>, 小鍛冶 優<sup>5)</sup>, 森山 正樹<sup>6)</sup>,  
前田 勝弘<sup>7)</sup>, 若松 巧倫<sup>8)</sup>, 増子 寛<sup>9)</sup>, 田中 隆一, 宮川 俊晴<sup>10)</sup>

大阪府大・量子<sup>1)</sup>, 保健医療科学院<sup>2)</sup>, 原子力機構<sup>3)</sup>, 東大・環安本部<sup>4)</sup>, 福井県志比小<sup>5)</sup>,  
札幌白石中<sup>6)</sup>, 長崎大付属中<sup>7)</sup>, ケニス<sup>8)</sup>, 島津理化<sup>9)</sup>, 放射線教育フォーラム<sup>10)</sup>

クルックス管プロジェクトの有志の皆様

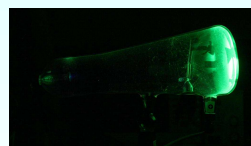
秋吉 優史: [akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp](mailto:akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp)

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



# 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 ↓



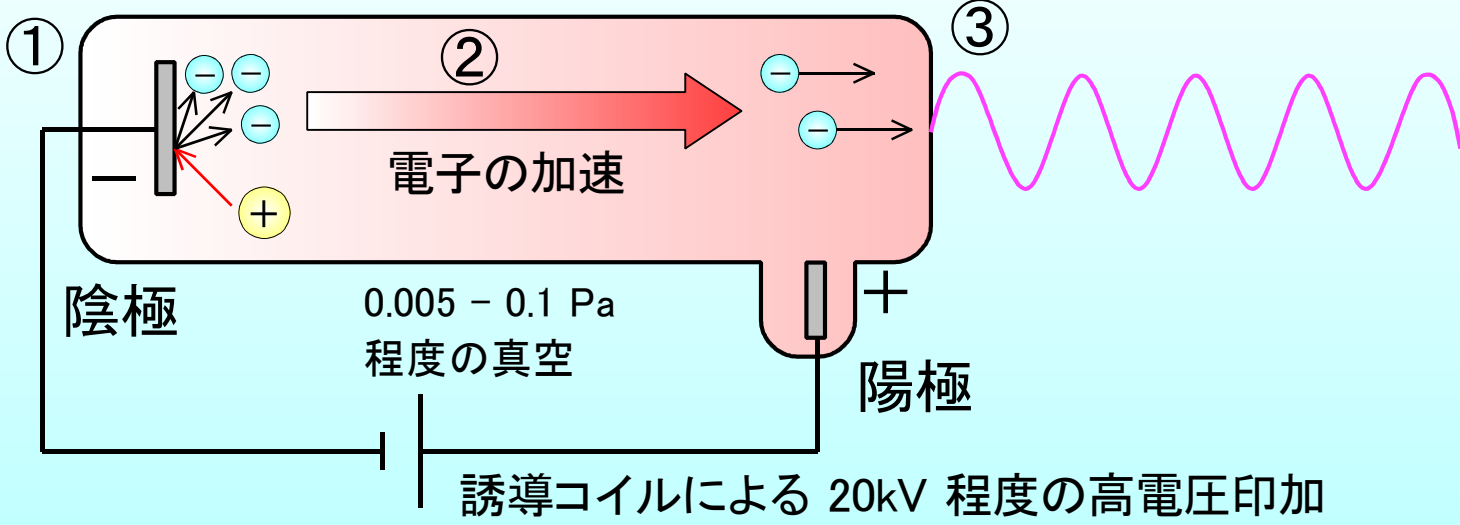
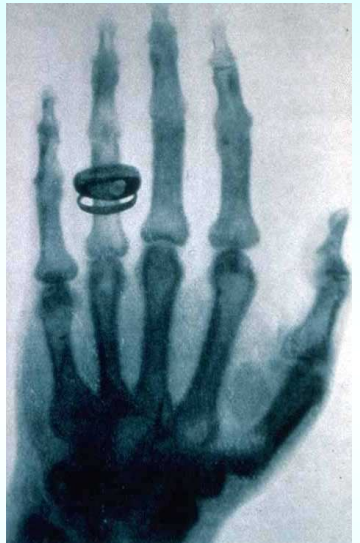
# クルックス管とは？

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。



？ 考えてみよう

- ① 図39の十字板の影のつき方から、電流のもとなるものはA(-)とB(+)<sup>のどちら</sup>から出ていると考えられるか。
- ② 図39や図40から、電流のもとなるものはどのような種類の電気をもっていると考えられるか。

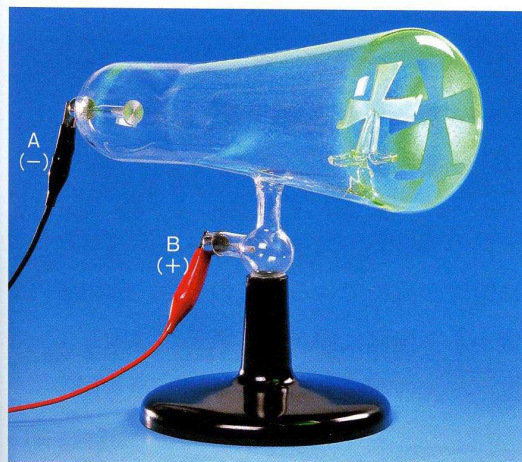


図39 電流のもとなるものを調べる実験①  
 図36)の誘導コイルを使って、AB間に電圧を加える。なお、放電管内の気圧は、図37)の放電管Fと同じぐらいである。



図39)も(図40)も、電気の流れは+のほうに引かれているようだ。

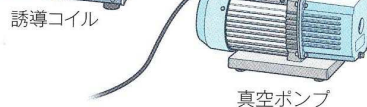
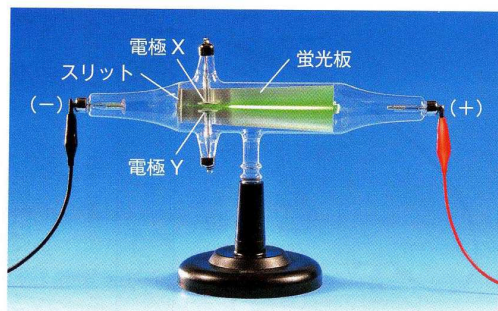
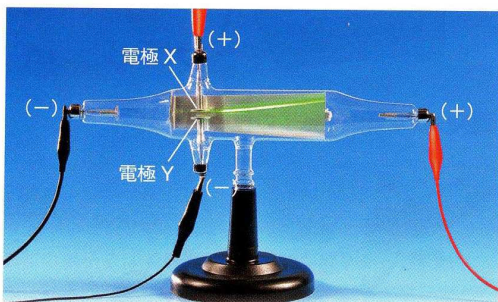


図38 真空ポンプを使って放電のようすを調べる装置



(a) X, Yに電圧を加えないとき



(b) Xを+, Yを-にして電圧を加えたとき

図40 電流のもとなるものを調べる実験②  
 スリットを通りぬけた電流のもとなるものが蛍光板に当たると、まわりよりも明るいすが蛍光板上に現れる。

エネルギー

2章 電流の正体

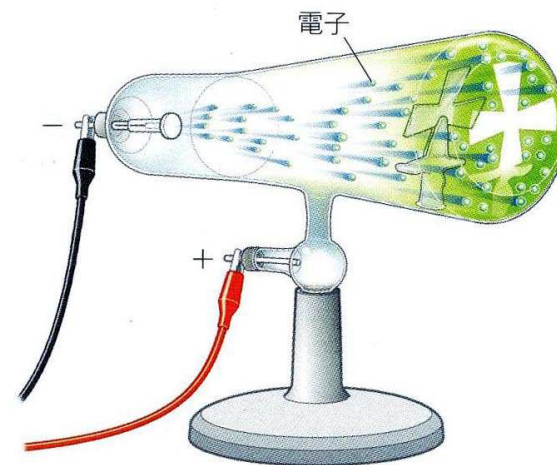


図41 十字板入り放電管と電子のモデル  
 一極側から出た電子が十字板に当たり、そのうしろに影をつくる。ガラス壁に衝突した電子は、+極側に移動していく。

- ① 電池や電源装置の一極と接続した電極を陰極<sup>いんきょく</sup>といい、電流のもとなるものを、はじめは陰極線とよんだ。陰極線は1876年に発見されたが、1897年にその正体が電子であることがわかったので、現在は陰極線のことを電子線とよぶことが多い。

現行の教科書において  
 既に取り上げられている。  
 (2016年啓林館中学2年理科)

現在の学習指導要領では、電流の正体は電子の流れであることの説明に使われている。

# 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

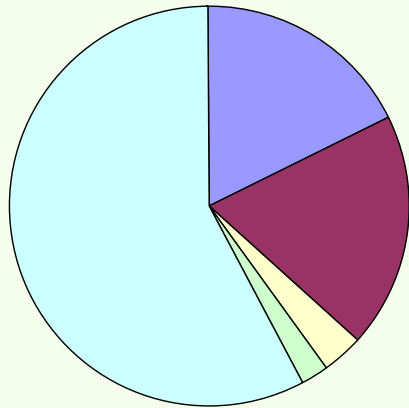
## 指導書

- ・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

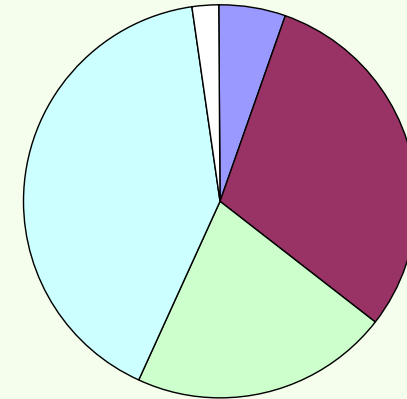
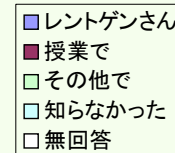
2019年11月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。  
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 90。

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？



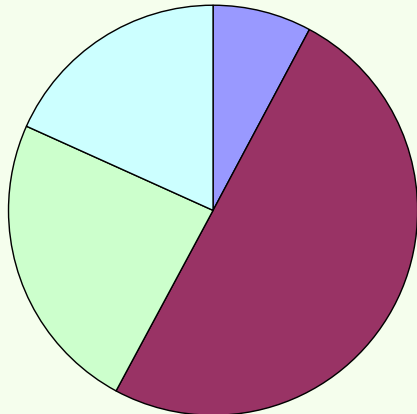
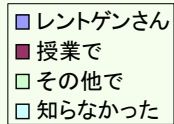
中学 16  
高校 17  
中学+高校 3  
その他 2  
なし 52

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？



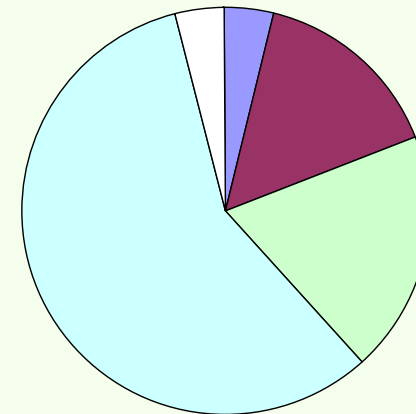
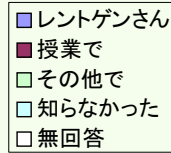
レントゲンさん 3  
授業で 19  
その他 9  
知らなかった 7

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 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 10  
知らなかった 30  
無回答 2



# 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、製品によっては 15cmの距離で、70  $\mu$ m線量当量率が 200mSv/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。

**クルックス管プロジェクトの目的**

# 進捗状況

## 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。  
印加電圧と電流、線量の相関を現在評価中。  
箔検電器による教員自身による測定法の開発中。

## 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た。ほとんどの学校での安全が確認される一方でかなり高い線量を漏洩する装置が発見された。追加の検証により電源装置の設定で安全に使えるようになることが明らかとなった。

## 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検証(第二期実態調査)

Now!

## 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2021年度に、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。

### 原子力規制委員会

2019年度放射線安全規制研究戦略的推進事業に応募し、面接まで進み高い関心を得たが「管轄外」とのトップの判断。

### 文科省

- ・2018-2020年度科研費基盤C「新学習指導要領に準拠した総合的放射線教育コンテンツの開発」(3年合計442万円)採択。
- ・クルックス管を用いた実験自体を文科省としては推奨しているわけではないとの立場。
- ・学会標準化までまとめ上げた内容は、周知を行って貰える



# クルックス管からの被ばく線量を下げるには

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  
何も対策する必要がない

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)。

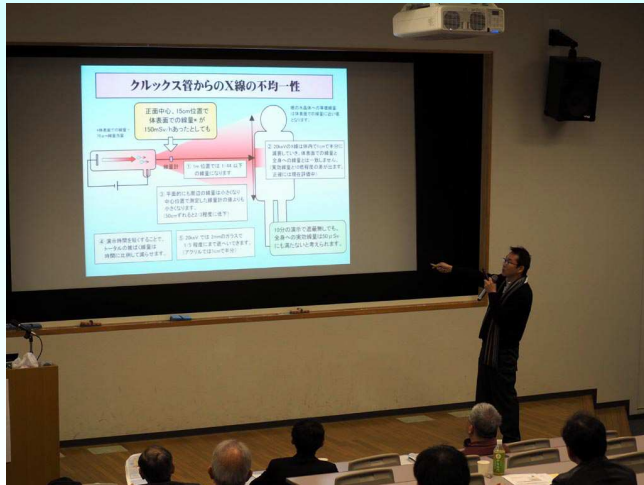
距離を取る: 最も簡単で確実である(距離の二乗に反比例して下がる)。

過去の研究から策定  
した暫定ガイドライン

- ・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
- ・放電極を必ず使用し、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

本当にこれで安全か  
全国規模の実証試験  
が必要

# 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)



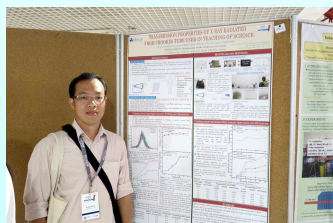
大阪府立大学 友好祭 オープンラボ  
(2019年5月25日、大阪府立大学)



●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)

# クルックス管安全取扱のガイドライン（暫定）

最も確実なのは

- ・低電圧駆動の製品に買い換えること

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

固有安全性を持ち  
何も対策する必要がない

- ・誘導コイルの放電出力、発振周期は電子線の観察が可能な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。教員が磁石で電子線を曲げるときは指し棒などを使用する。
- ・演示時間は10分程度に抑える

このガイドラインの遵守により1回の実験での実効線量は $10\mu\text{Sv}$ より十分小さく出来ると考えています。しかし、本当に大丈夫か検証が必要のため、継続的な実態調査を実施しています。1mの距離で10分間の実効線量が $0.2\mu\text{Sv}$ 以上であれば評価することが可能です。皆様の御協力を宜しくお願い致します。

繰り返し実演する場合は1回の実演時間を短くすることでその分線量を下げることが出来ますし、ガラスの水槽などの遮蔽体を用いれば、大幅に線量を低く下げることが可能です。

実態調査に御協力頂ける方、ご質問のある方は、大阪府立大学放射線研究センター 准教授 秋吉 優史 (akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp) までご連絡願います。

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

なお本プロジェクトは2019-2020年度の期間で、日本保健物理学会において「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」として公的に活動しており、2021年度には同学会の放射線防護標準化委員会において、学会標準として取りまとめることを目指しています。

