

2019年 11月 15日

# 学校教育現場に於ける放射線 安全管理体制構築のための提案

大阪府立大学 放射線研究センター 秋吉 優史

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>



# 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 ↓



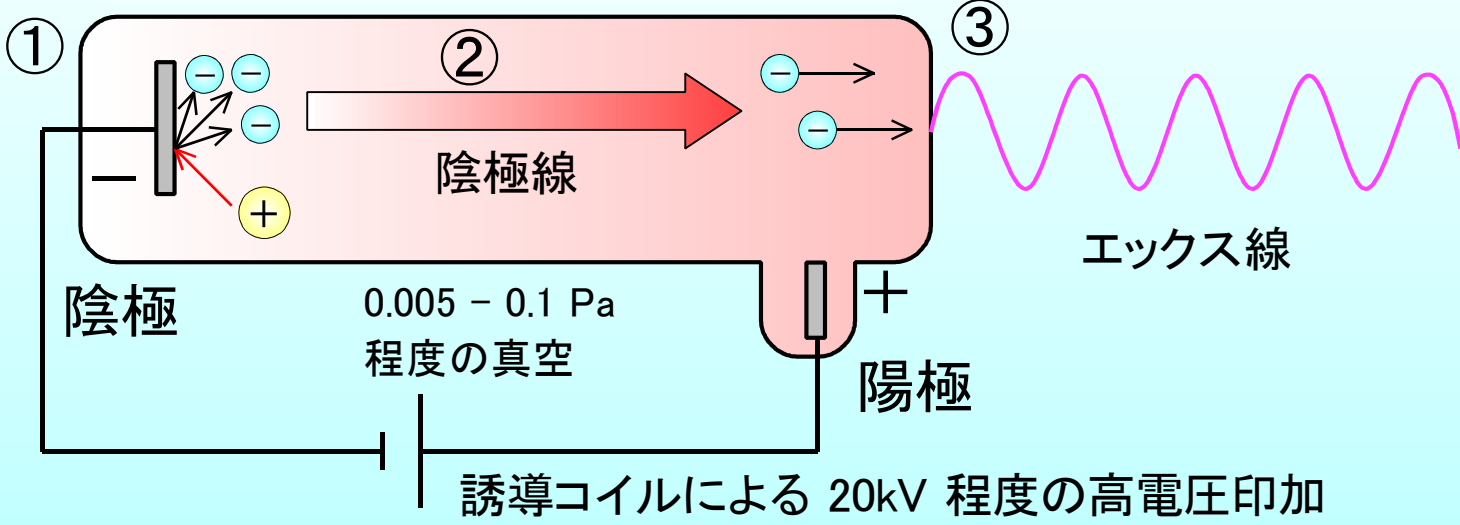
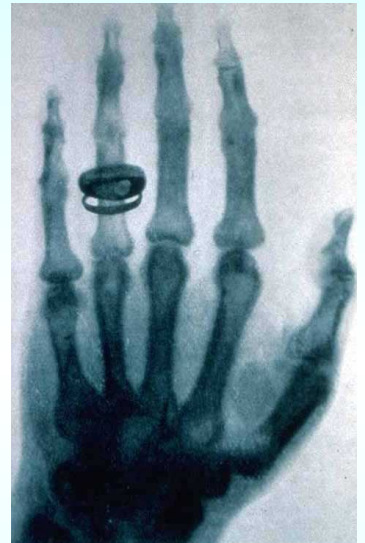
# クルックス管とは？

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 陰極から電子が放出される
- ② 加速されて20keV程度のエネルギーの電子ビームになる
- ③ ガラス管壁に電子がぶつかりエックス線を放出する

？ 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。

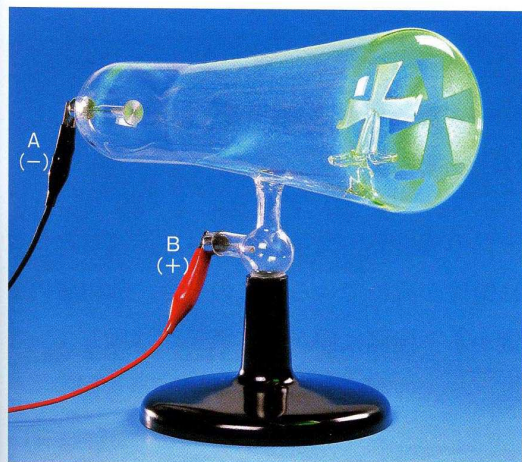


図39 電流のもとなるものを調べる実験①  
 図36)の誘導コイルを使って、AB間に電圧を加える。なお、放電管内の気圧は、図37)の放電管Fと同じぐらいである。



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。

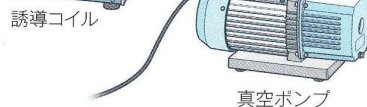
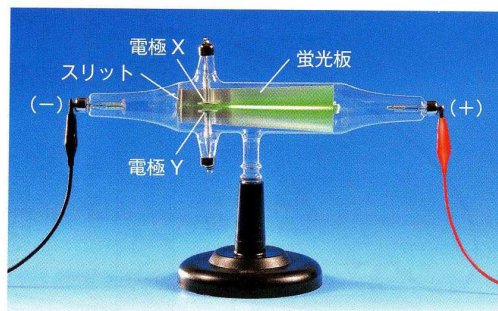
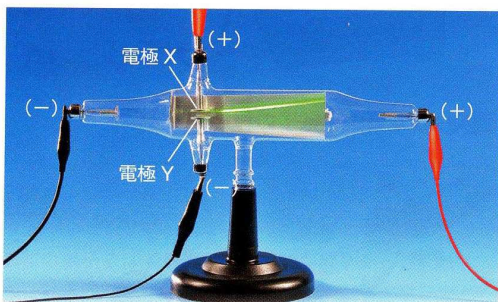


図38 真空ポンプを使って放電のようすを調べる装置



(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

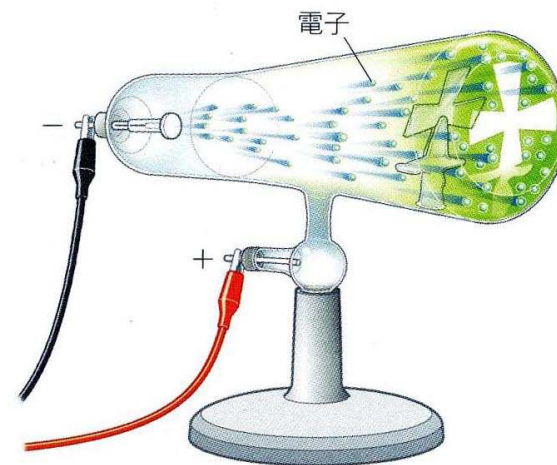


図41 十字板入り放電管と電子のモデル  
 一極側から出た電子が十字板に当たり、そのうしろに影をつくる。ガラス壁に衝突した電子は、+極側に移動していく。

- 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。

# 教育現場における放射線安全管理の必要性

## 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。**

2019年度 教科書検定  
2021年度 全面実施

放射線が漏洩していることが保護者達にも認識されるようになります。

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。

現行の教科書に於いても、理科の教科書を出版している5社全てに於いて、2年生の電流の単元でクルックス管による真空放電の実験が記載されています。

今現在既に問題となっており、さらに今後全国での利用の増加が予想される

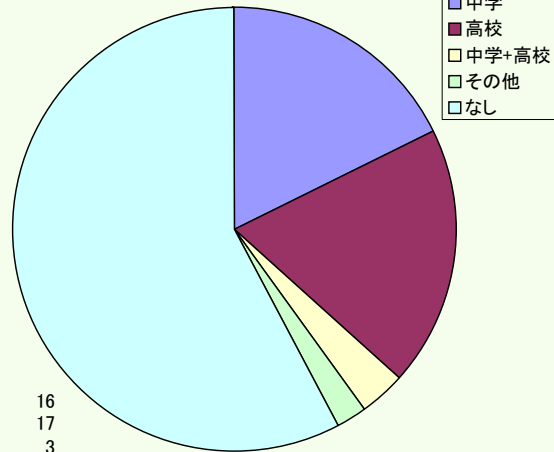
多くの教員は放射線に関する教育を受けておらず、測定器も持っていません。測定器を持っていても放出されるX線のエネルギーが20keV程度と低くパルス状に放出されるため、電離箱など一部を除いたほとんどの製品で正しく測定することができません（大幅に小さい線量が表示されます）。

クルックス管を用いた実験を行う際の安全指針の策定が必要

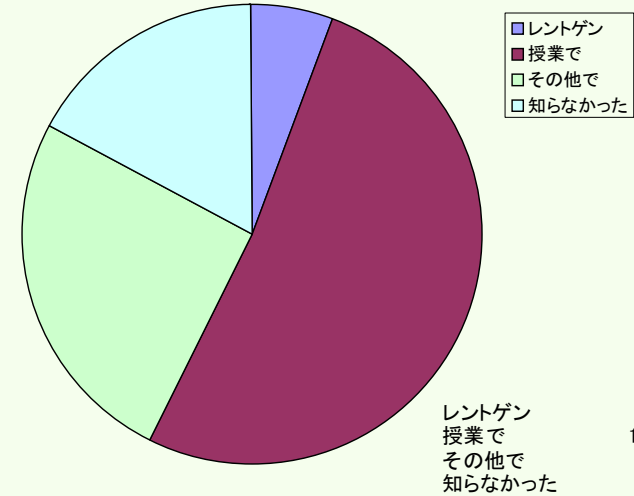
# 現在の学生に対する授業の実態調査

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。

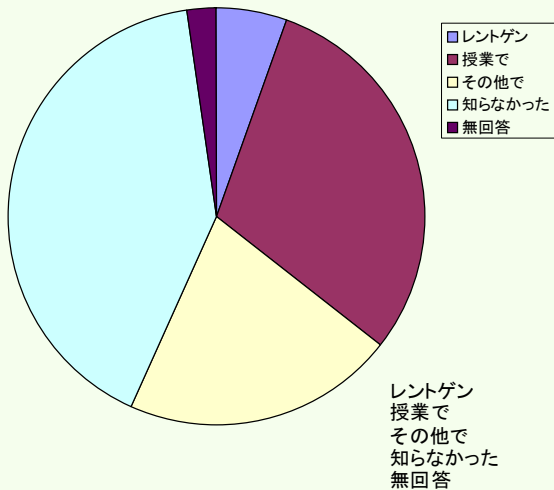
Q1. あなたは今までにクルックス管の実演を見たことがありますか？



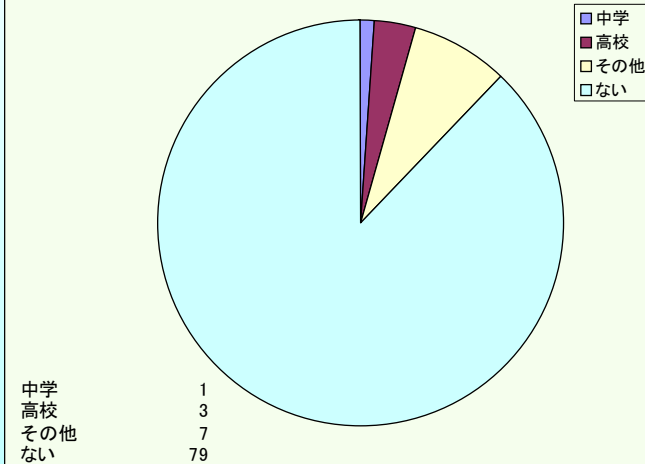
クルックス管を見たことがある見たことがある35人の中で  
Q2. クルックス管からX線が出るということは知っていましたか？



Q2. 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？



Q4. あなたは今までに霧箱を見たことがありますか？



# 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。

原発事故など以外での一般公衆の被ばくは想定されておらず、規制もされていないため、子供達の安全を確保するための規準が無い状態。どの程度の線量であればよいと教員が判断できない。

## 20keV 程度とエネルギーが低く測定が困難

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表示される。→ 詳しい教員は手持ちの線量計で測定して、小さい線量を見て安心してしまう

## 装置によって大きく線量が異なる

戦後すぐの頃の装置が問題無く使える場合もある一方で、ごく最近購入した装置でも高い線量を漏洩している場合がある。メーカーでも状態を完全にコントロールできていない。

→ 測定を行わないと自分の使っている装置が危険な物かどうか判別できない

# 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、 $70\mu\text{m}$ 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。

5kV程度の低電圧で動作し、外部には一切X線の漏洩のない絶対的に安全なクルックス管が教材メーカーから1種類につき5万円程度で販売されている。



5kV で動作中のクルックス管



9V電池駆動の  
5kV CW高圧電源

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る。また大阪府大のふるさと納税制度を活用した「つばさ基金」でのプロジェクトにより機材提供が可能。

## 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**

# クルックス管からの被ばく線量を下げするには

- 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)。

# 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。

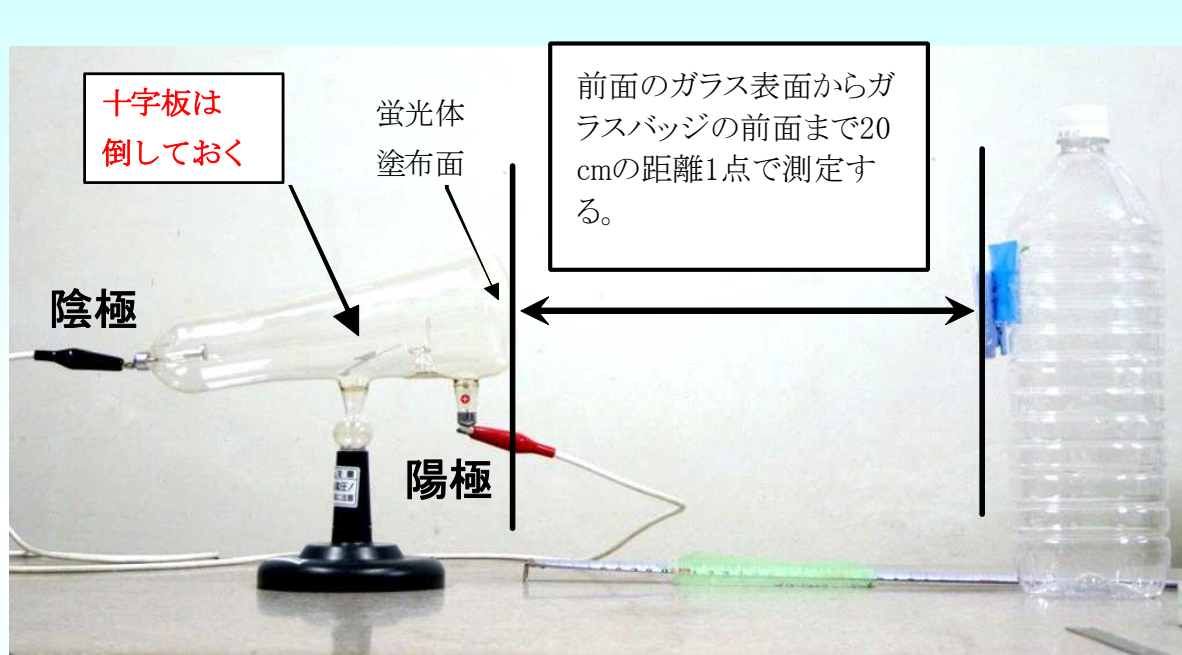
実態調査に御協力頂ける方、ご質問のある方は、大阪府立大学放射線研究センター准教授 秋吉 優史 (akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp)までご連絡願います。

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。



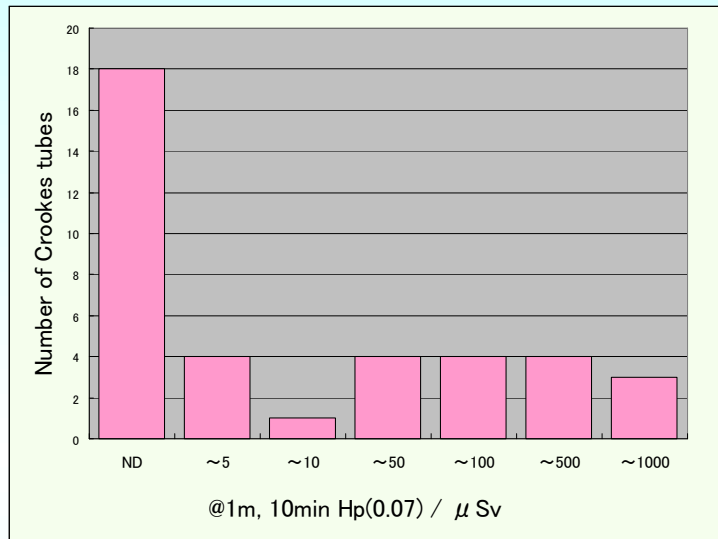
# 暫定ガイドラインの検証



- ・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。
- ・ガラスバッジの発送などは大阪府大から行い、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）

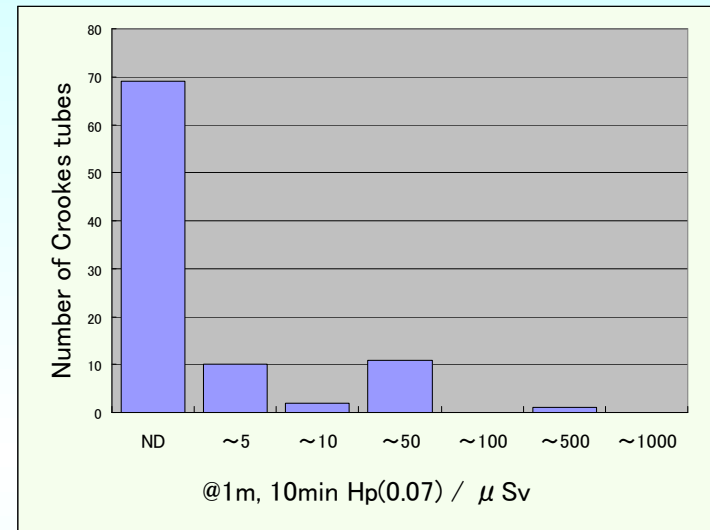
## 2018年第一期実態調査



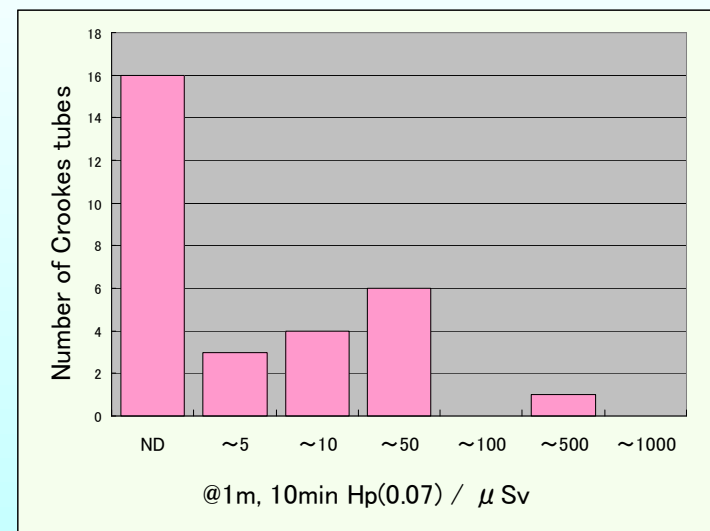
これまでの授業での設定

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

# 免除レベルの $10 \mu\text{Sv}$ はどれぐらいの値なのか

歯科レントゲン撮影1回:  
 $10 \mu\text{Sv}$



0.01mSv  
( $10 \mu\text{Sv}$ )

胸部レントゲン撮影1回:  
 $50 \mu\text{Sv}$



0.1mSv  
( $100 \mu\text{Sv}$ )

胃がん検診1回:  
 $600 \mu\text{Sv}$

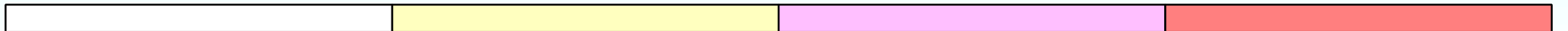


1mSv

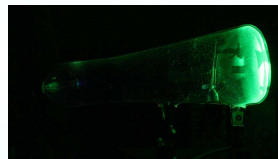
CTスキャン1回:  
数mSv



ICRP 1990/2007年勧告  
一般公衆への追加線量限度  
年間 1mSv



国内線の飛行機1回:  
 $3 \mu\text{Sv}$ 程度



クルックス管プロジェクトの  
到達目標:  $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$

1ヶ月のBG線量:  
 $50 \mu\text{Sv}$   
( $0.07 \mu\text{Sv}/\text{h}$ の場合)



国際線の飛行機での  
欧米への旅行1回:  
 $100\text{--}200 \mu\text{Sv}$



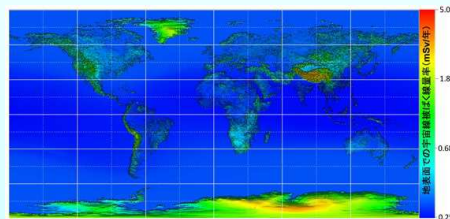
日本人が特有に持っている  
 $20\text{Bq}$ のポロニウム  
 $210$ による年間被ばく  
線量:  $800 \mu\text{Sv}$

イランのラムサール地方や  
インドのケララ地方などでの  
大地からの年間被ばく線量:  
 $\sim 10\text{mSv}$

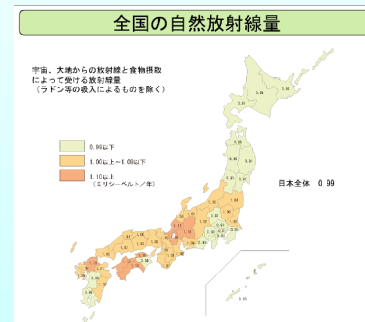


ランタンのマントル\*を  
1時間体に貼付ける:  
Hp(10)  $1 \mu\text{Sv}$  ( $\gamma$ 線)  
Hp(0.07)  $10 \mu\text{Sv}$  ( $\beta$ 線 +  $\gamma$ 線)

\*トリウム使用のサウスフィールド ハイパワーDXマントル



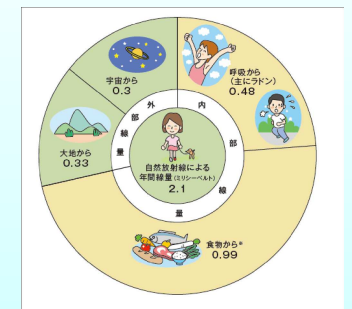
年間の宇宙線量の世界平均と  
日本平均の差:  
 $50 \mu\text{Sv}$  (日本の方が小さい)



年間の平均外部線量が最も  
高い岐阜県と最も低い神奈  
川県の差:  $400 \mu\text{Sv}$



世界平均と日本平均  
でのラドンによる年間  
被ばく量の差:  
 $800 \mu\text{Sv}$   
(日本の方が小さい)



自然放射線による  
年間の被ばく線量  
日本平均  $2.1\text{mSv}$   
世界平均  $2.4\text{mSv}$

# クルックス管に関する問題点と現状

- ・中学の教育現場で、電流の単元で用いられているクルックス管は、X線が放出されていることがレントゲンの時代から知られているが、その危険性はほとんど教員の間で認識されていない。
- ・製品と使用法によっては、クルックス管表面から15cmの距離でHp(0.07)が10分で33mSvを超えるほど高い線量のX線が放出されている。しかし20keV程度の低エネルギーかつパルス状の放出のため、一般的なサーベイメーターではまともな測定を行うことが出来ない。
- ・ほぼ全くX線を放出しない低電圧駆動の製品も存在するが、教育現場には余りにも予算がない。
- ・まずは不注意に使用すると高い線量を被ばくする恐れがあることの周知が最重要。
- ・次に、ごく簡単な使い方の基本を守れば安全に取り扱うことが出来ることを周知する。現在はこの安全取扱いのガイドラインを暫定的に策定しており、その実証試験が必要。
- ・さらに、継続的な測定のため教員自身による測定手段の提供が必要。
- ・一般公衆に対する線量限度や線量拘束値の概念が法令に取り入れられておらず、自主的な管理目標値の設定が必要。
- ・現在日本保健物理学会の専門研究会において、防護量の評価と管理目標値の検討を行っており、測定法や運用マニュアルと合わせた学会標準化を目指している。出来上がった学会標準をどのように全国の教員に周知するか

より詳しくは、クルックス管プロジェクトのウェブサイト

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

