

**2020年 1月 4日 @ 名古屋大学
放射線教育フォーラム中部地区 新年勉強会**

**クルックス管プロジェクトにおける
暫定ガイドライン実効性の検証結果報告**

**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

<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.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 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 ↓



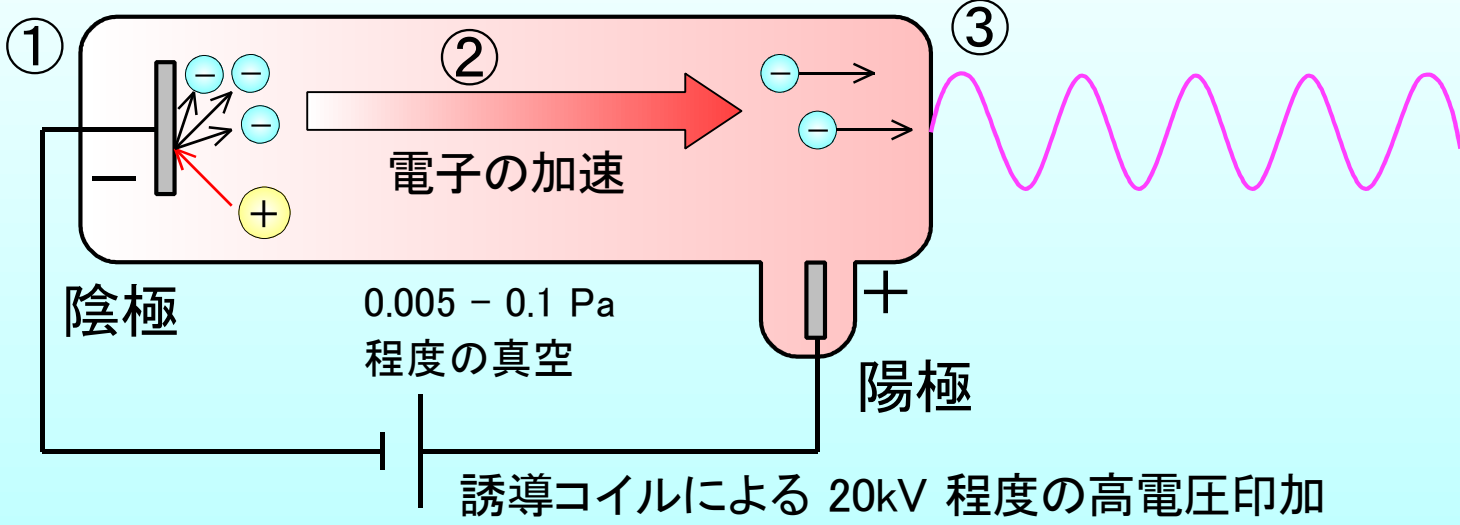
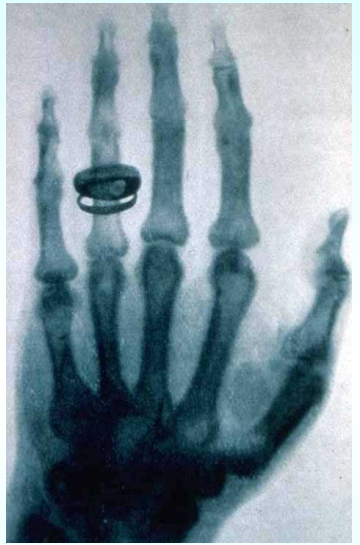
クルックス管とは？

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。

本発表の背景

2017年3月に改正告示が公示された新・中学校学習指導要領

p65 (3) 電流とその利用 ア(ア)電流 ○エ 静電気と電流

「異なる物質同士をこすり合わせると静電気が起こり、帯電した物体間では空間を隔てて力が働くこと及び静電気と電流には関係があることを見いだして理解すること。」

↓「内容の取扱」

p71 アの(ア)の ○エ については、電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また、**真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること。**

H31 教科書検定
H33 全面実施

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。

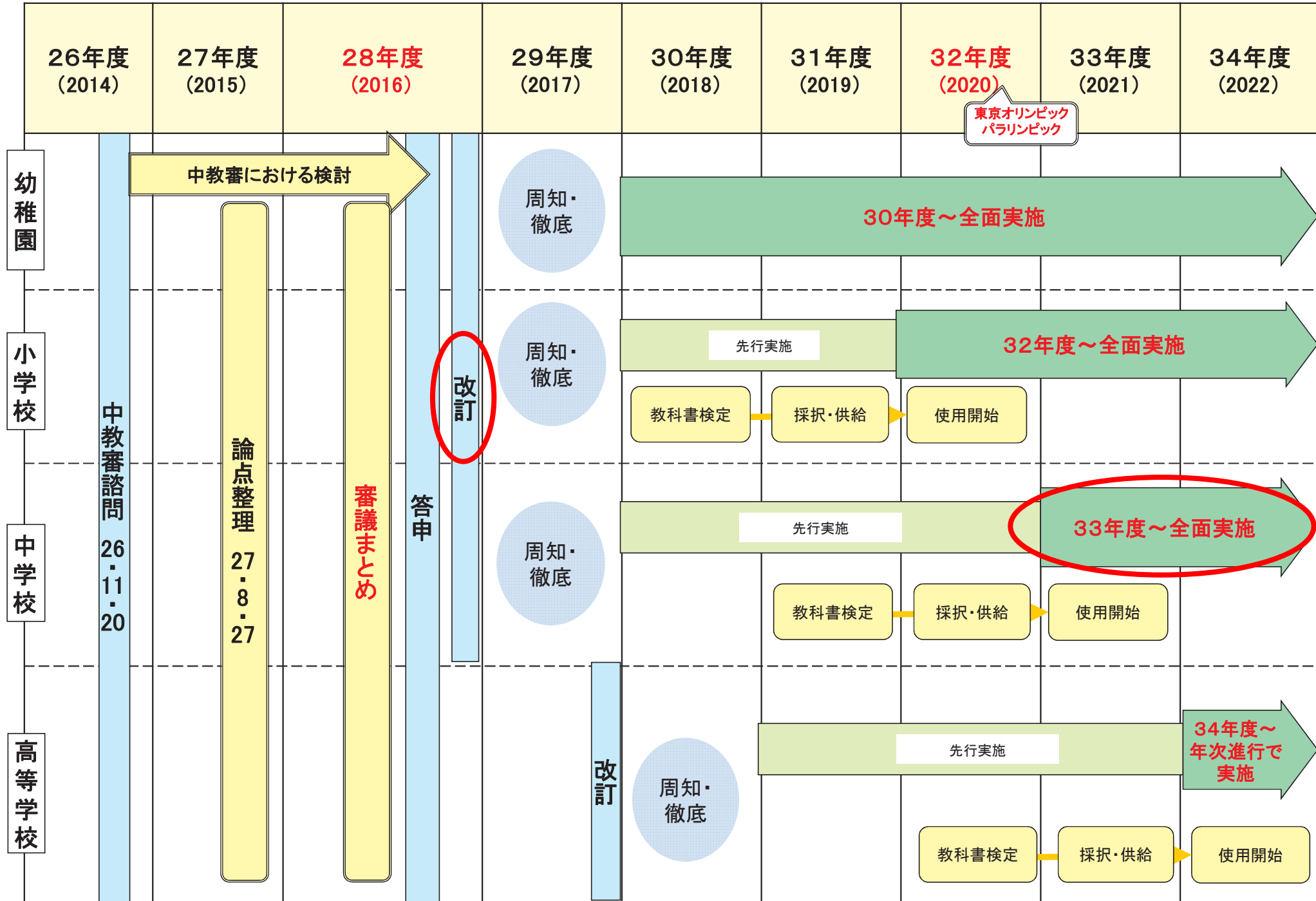
その際、真空放電と関連させて**X線にも触れる**とともに、**X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。**

放射線に関する記述は2008年3月に公布された旧・中学校学習指導要領には記載がなかった。

クルックス管に関しては2008年版の学習指導要領解説にも記載されていた。

クルックス管を用いた実験を行う際の安全評価が必要

今後の学習指導要領改訂スケジュール（現時点の進捗を元にしたイメージ）



中教審諮問
26・11・20

論点整理
27・8・27

答申

東京オリンピック
パラリンピック

？ 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(+)^{のどちら}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。

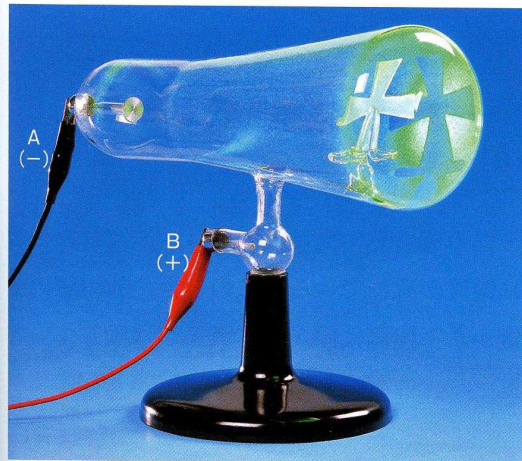
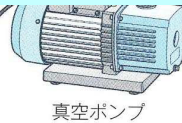


図39 電流のもとなるものを調べる実験①
 図36)の誘導コイルを使って、AB間に電圧を加える。なお、放電管内の気圧は、図37)の放電管Fと同じぐらいである。



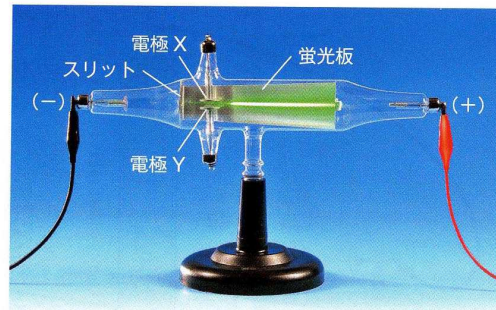
図39)も(図40)も、電気の流れは+のほうに引かれているようだ。

誘導コイル

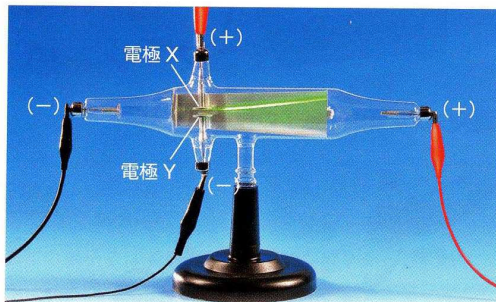


真空ポンプ

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

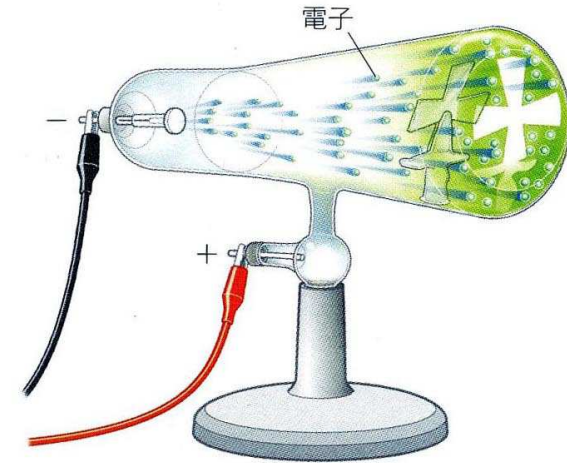


図41 十字板入り放電管と電子のモデル
 一極側から出た電子が十字板に当たり、そのうしろに影をつくる。ガラス壁に衝突した電子は、+極側に移動していく。

- ① 電池や電源装置の一極と接続した電極を陰極^{いんきょく}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。

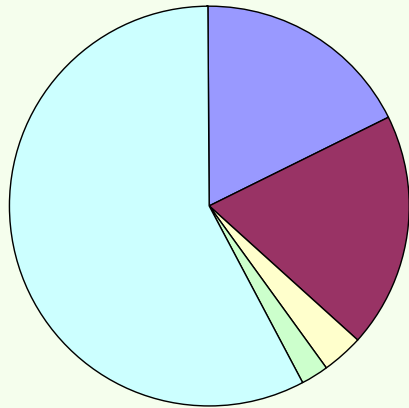
現行の教科書において
 既に取り上げられている。
 (2016年啓林館中学2年理科)

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

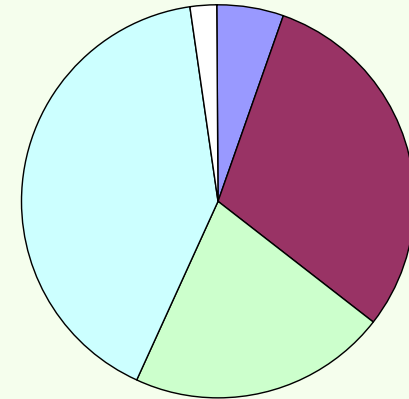
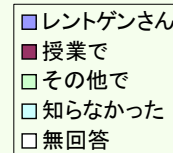
2019年11月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 90。

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？



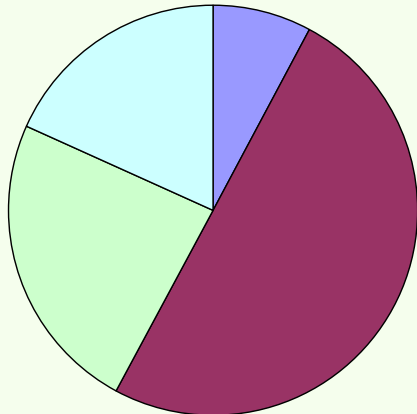
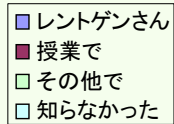
中学 16
高校 17
中学+高校 3
その他 2
なし 52

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？



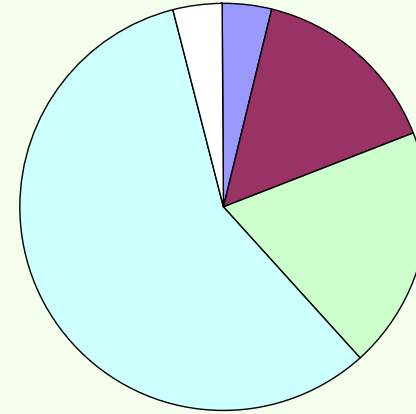
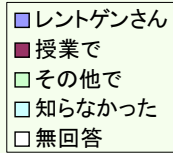
レントゲンさん 3
授業で 19
その他 9
知らなかった 7

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 μ 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

大阪府立大学のつばさ基金制度を 活用した放射線教育振興プロジェクト

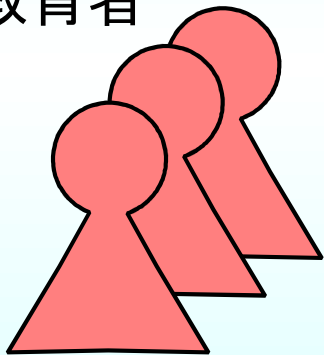
全国の教育現場での
放射線教育の実施
(委託)

寄附金額の半額分程度を上限に貸与
10万円の寄付で、5万円分の物品

放射線教育用の物品

寄付頂いてすぐに物品発注
を行う必要はありません。
必要に応じて、年度繰り越
しも可能です。

教育者



ふるさと納税
(寄付)

放射線教育振興プロジェクト:
1627200700 に寄付する旨連絡

大阪府

プロジェクト
への分配

13%は大学へ

大阪府立大学
放射線研究センター

物品購入

寄付者の地元
自治体

自己負担2000円以外は翌年の税金控除で
全額(*)帰ってきます

*所得により上限金額があり、
独身で年収600万円の場合
¥77,000の寄付が可能です。

「換金性の高い物品」の貸与は
出来かねますので、ご容赦下さい

ペルチェ霧箱を貸与する場合は、客観的で透明な経理
を実現するために、大阪ニュークリアサイエンス協会
(ONSA)を通して、直接公費での会計処理を行います。
それ以外の物品は、公費対応でない通販業者などでも、
立替払いで対応可能です。

ペルチェ冷却霧箱の売上利益から、製作のための
学生アルバイトを雇用して社会還元しています。

府大からも2000円分相当の
府大グッズが進呈されます

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

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している(**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-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 μ 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 μ Sv/y** を勧告。

保健物理学会「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」において国内外の規制状況について議論を行っている。

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:
 $10 \mu\text{Sv}$



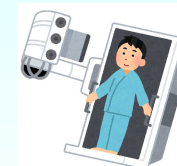
0.01mSv
($10 \mu\text{Sv}$)

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:
 $600 \mu\text{Sv}$



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

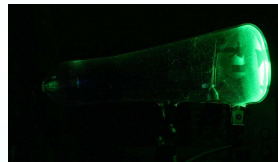
CTスキャン1回:
数mSv



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:
 $100\text{--}200 \mu\text{Sv}$



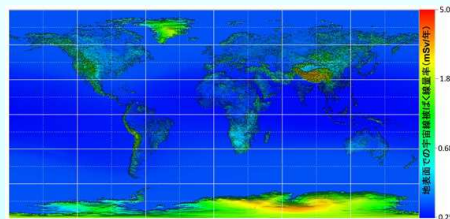
日本人が特有に持っている
 20Bq のポロニウム
 210 による年間被ばく
線量: $800 \mu\text{Sv}$

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:
 $\sim 10\text{mSv}$

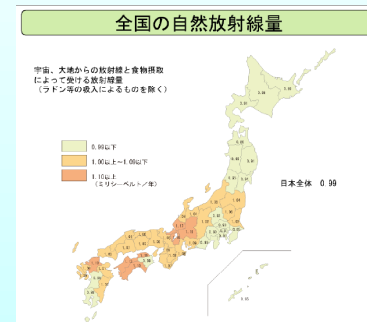


ランタンのマントル*を
1時間体に貼付ける:
Hp(10) $1 \mu\text{Sv}$ (γ 線)
Hp(0.07) $10 \mu\text{Sv}$ (β 線 + γ 線)

*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



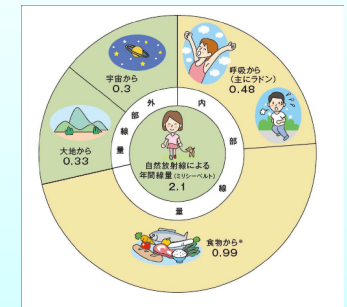
年間の宇宙線量の世界平均と
日本平均の差:
 $50 \mu\text{Sv}$ (日本の方が小さい)



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 2.1mSv
世界平均 2.4mSv

クルックス管プロジェクトについて

Task 1: 線量計測

放射線計測の専門家

大学・国研

ユーザーとしての学校教員

中・高

教材・測定手段の提供者

民間企業

実際に現場で使えるシステムの開発

低エネルギーX線
測定技術の標準化

Task 2: 運用方法の検討

学校教育現場の教員

Task1 で開発した評価手法

様々な製品の評価

教材メーカー

大学研究者、OB

開発した教育コンテンツの評価

実態評価に伴う問題点の抽出

遮蔽体など
解決策の提示

Task 3: 線量評価とガイドライン

保健物理・放射線防護の専門家

低エネルギーX線による
(実効・等価)線量評価モデルの構築

Task1で測定
した線量・
スペクトル情報

国内外の規制実態を踏まえた
上限線量の検討

Task2で検討
した運用方法

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

放射線教育の専門家

新規放射線教育プログラムの開発

全国の拠点でのシンポジウム、オープンスクール、
モデル校での授業、教育学部での講義など
での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

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。

本当に暫定ガイドラインの遵守のみで安全管理体制を確立できるのか?

誘導コイルを用いた高電圧印加について



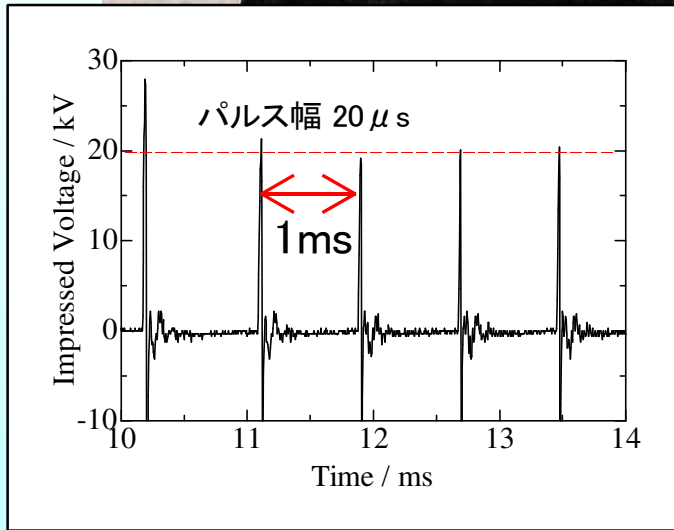
Distance of Discharge Electrodes
DDE

PW

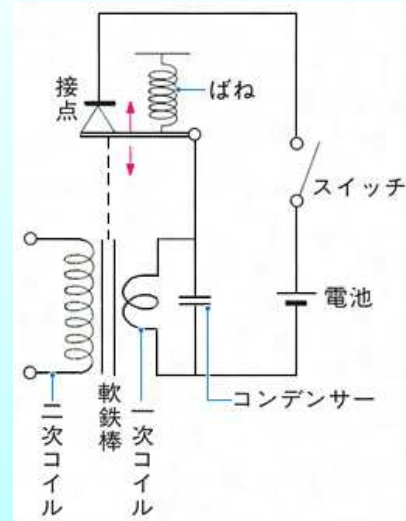
放電出力

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。

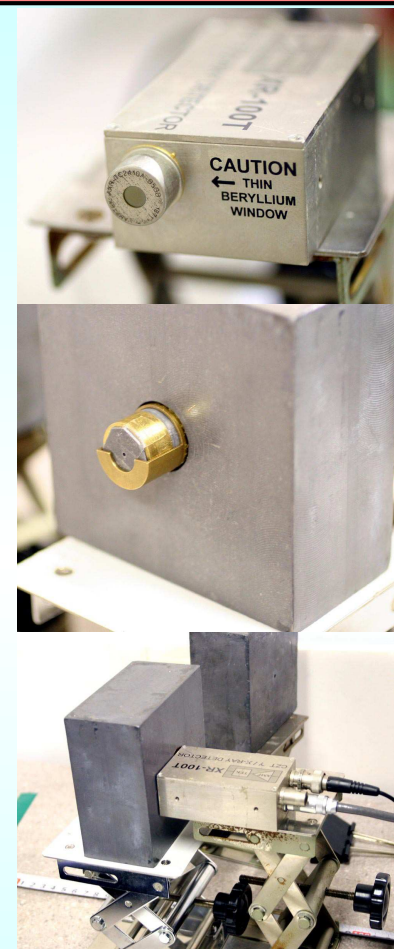
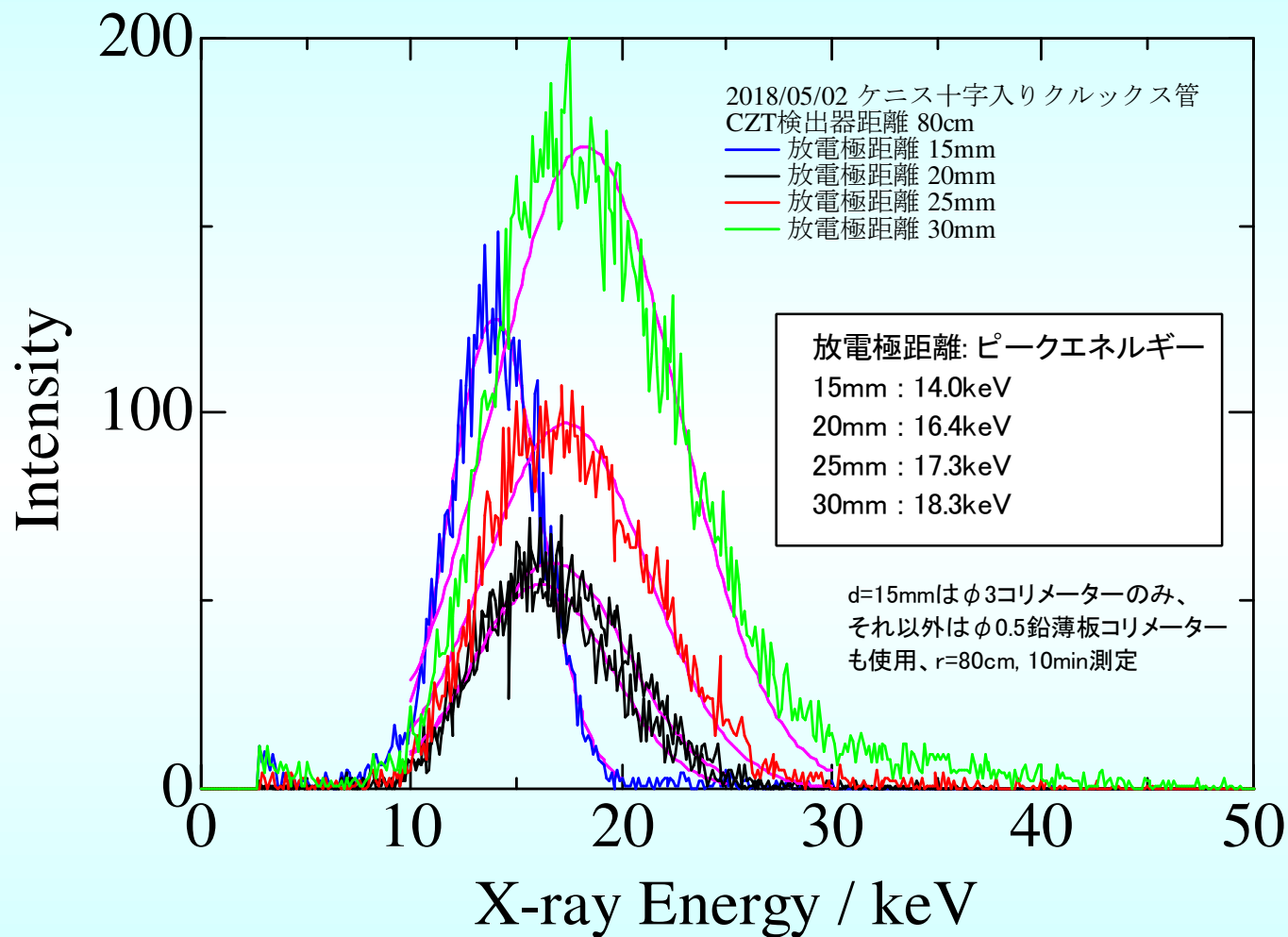


放電極距離 20mm, 放電出力4, 平均電流 80 μA



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。

CZT半導体検出器によるスペクトル評価



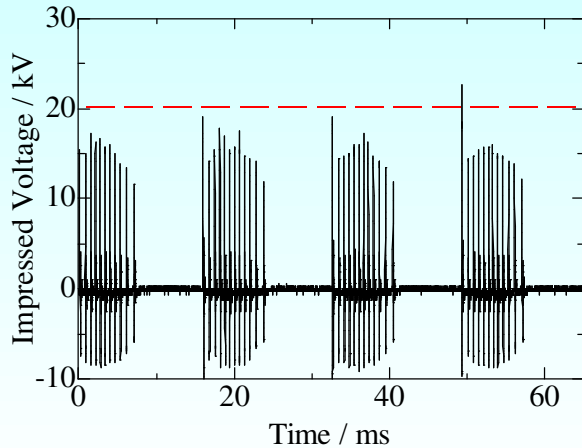
Amptek XR-100T-CZT
CZT(Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te)検出器
Be窓、ペルチエ冷却



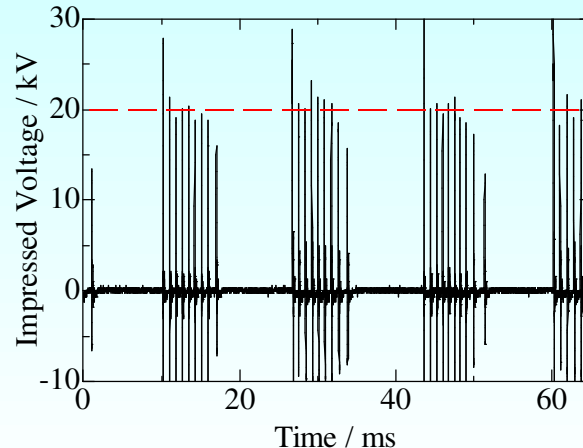
φ3同軸鉛コリメーター
φ2同軸黄銅コリメーター
φ1.0鉛薄板コリメーター
φ0.5鉛薄板コリメーター

φ0.5mm鉛コリメーターにより数cps程度まで下げること、
ようやくパイルアップせずに測定できるようになった

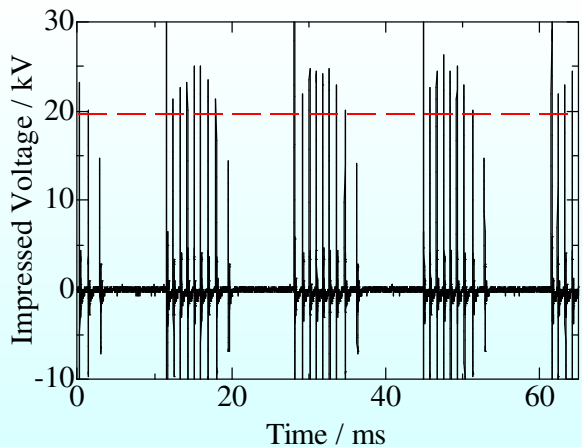
誘導コイル設定による出力パルスの変化



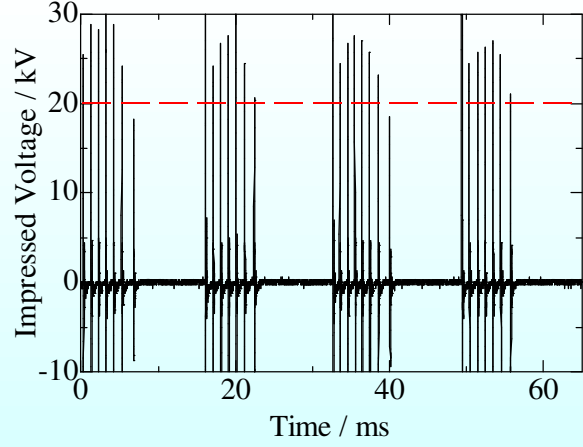
DDE=20mm, PW0, $40 \mu\text{A}$, $120 \mu\text{Sv/h}$



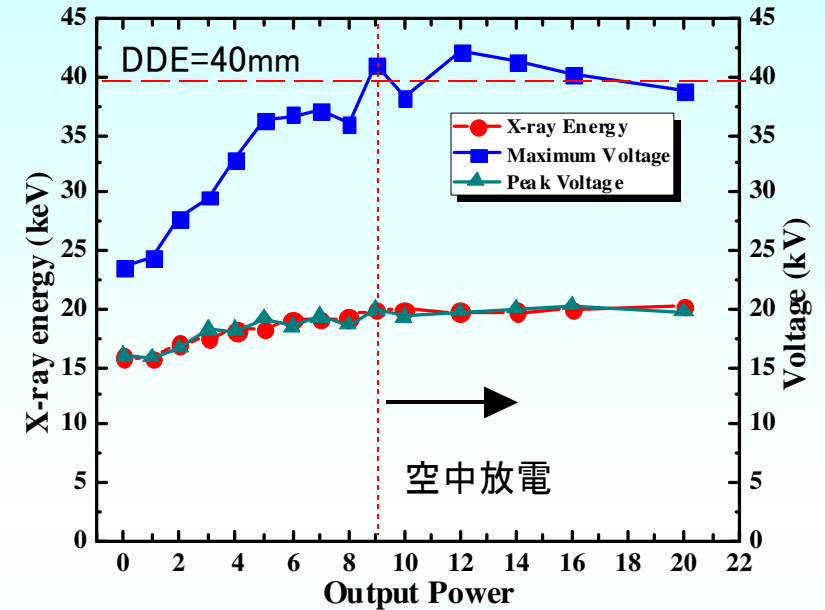
DDE=20mm, PW4, $80 \mu\text{A}$, 1.25mSv/h



DDE=30mm, PW4, $80 \mu\text{A}$, 1.56mSv/h



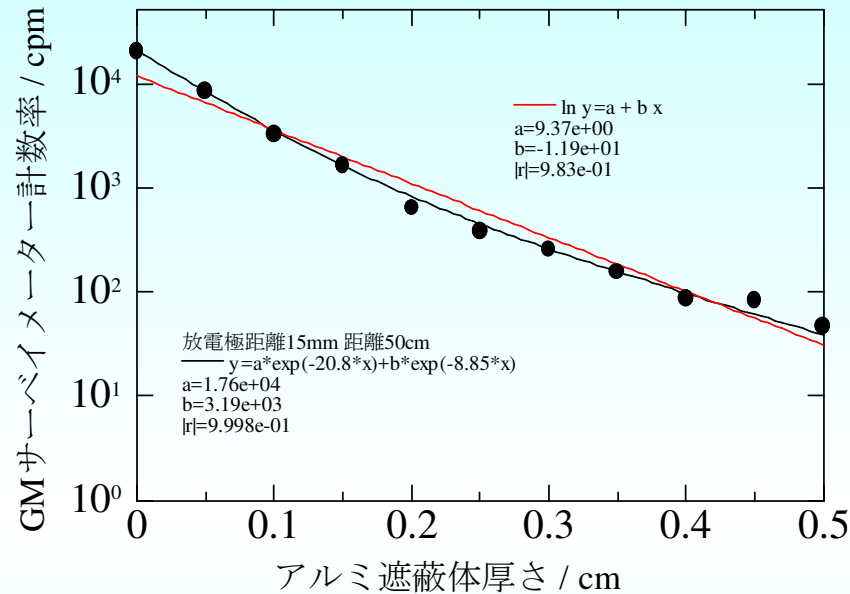
DDE=30mm, PW7, $96 \mu\text{A}$, 3.50mSv/h



- ・放電出力を上げていくと次第に出力電圧が上昇し、電圧のヒストグラムのピークと、X線エネルギースペクトルのピークは良い一致を示した。
- ・放電極距離によって規定される以上の電圧に上げようと放電出力を上げても、空中放電によって電流が流れて電圧がドロップし、それ以上クルックス管に印加される電圧が上がらなくなる。

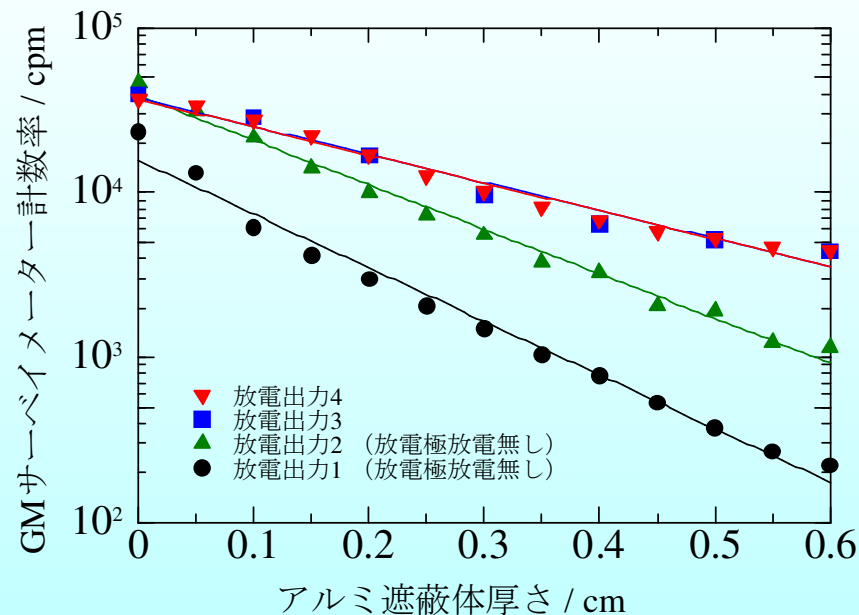
GMサーベイメーターによるX線エネルギー評価

放電極距離15mmでの測定では、15keVの成分だけでは説明できず、20keVの成分との足し合わせで説明された。



X線エネルギー (keV)	アルミ中の 線減衰係数 μ (cm^{-1})
10	69.5
15	20.8
20	8.9
30	2.8

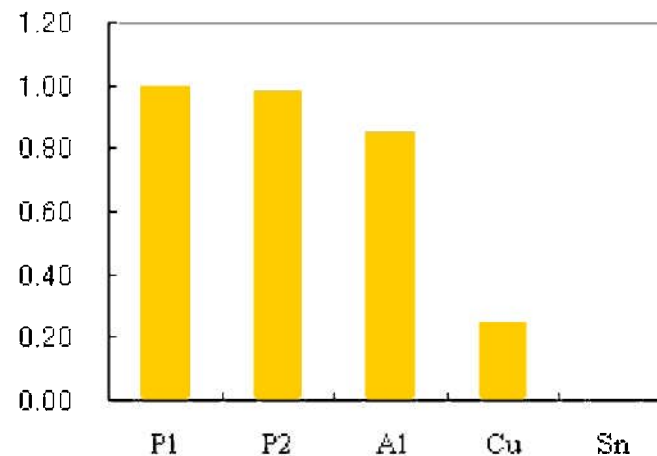
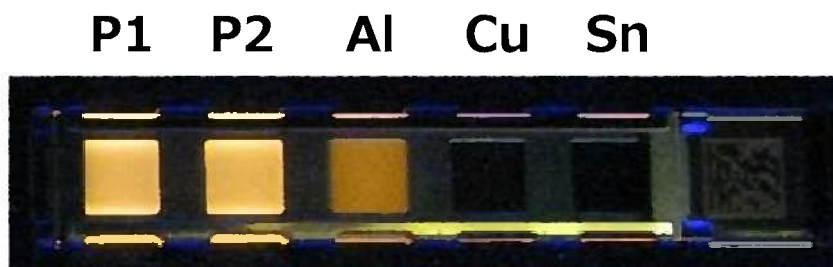
放電極距離は30mmで一定で、放電出力を変化させると線減衰係数が変化していき、放電極で放電が起こる出力3目盛以上で一定となった。



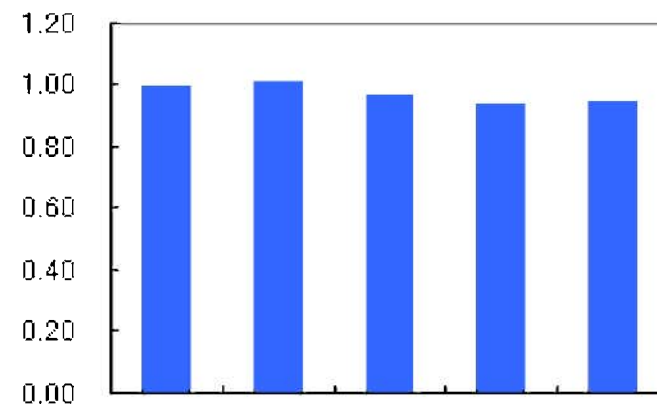
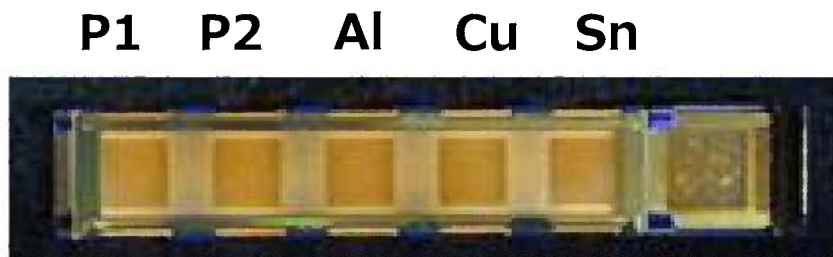
放電出力 (目盛)	線減衰係数 (cm^{-1})
1	7.50
2	6.05
3	3.92
4	3.89

蛍光ガラスの発光パターン例

✓ 30 keV X線



✓ ^{137}Cs γ 線(662 keV)

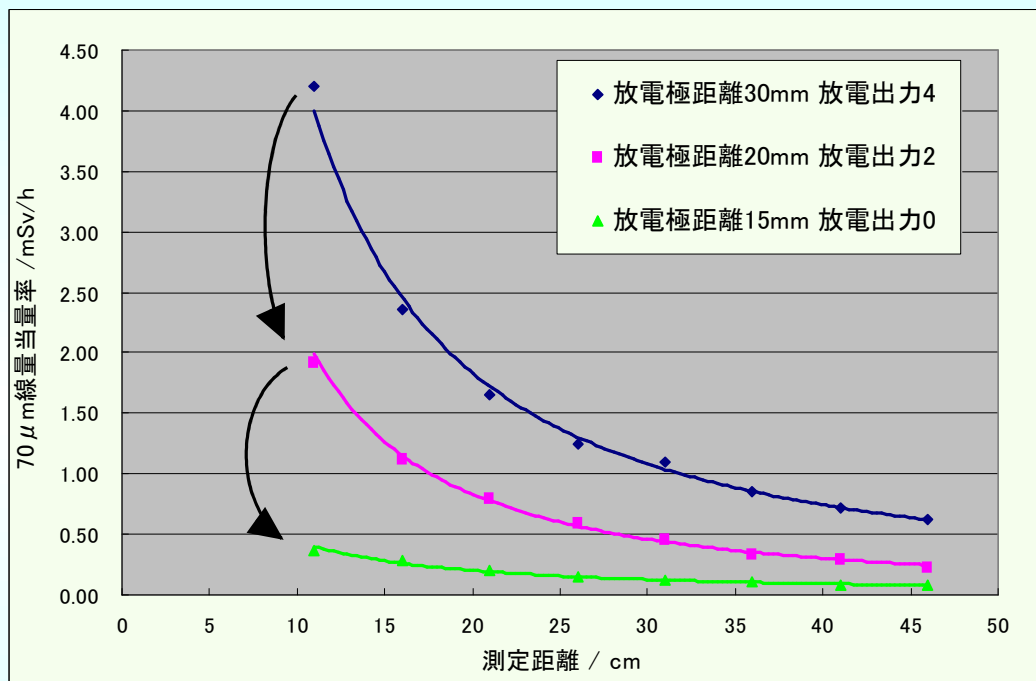


目次へ

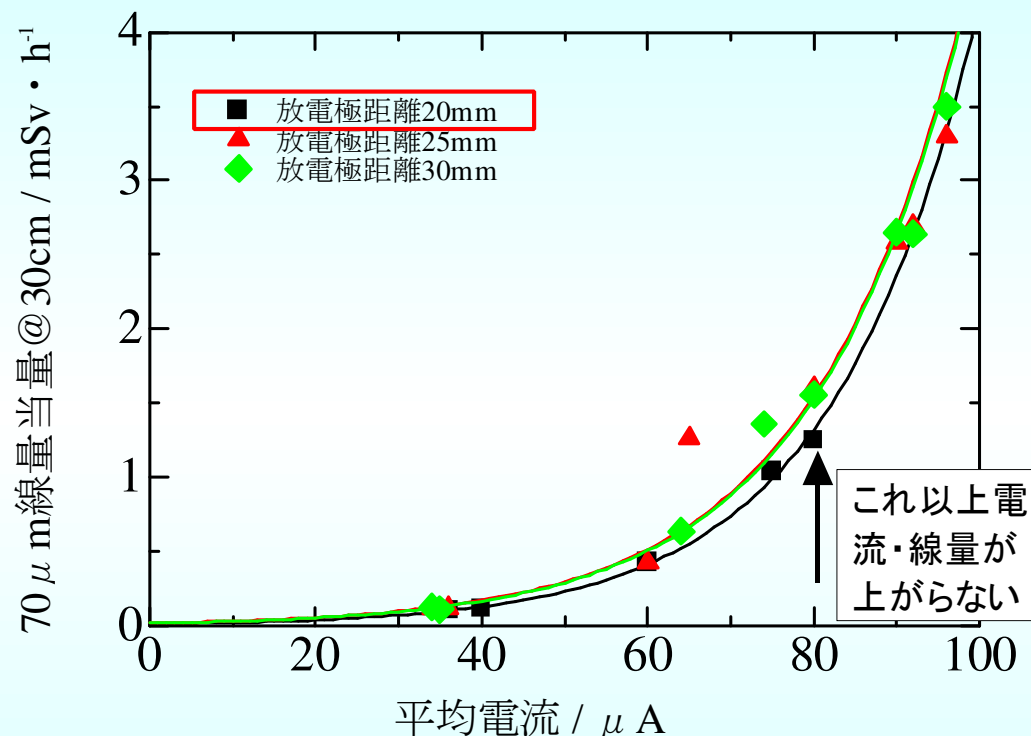
千代田テクノル技術資料より

漏洩線量の印加電圧、電流、距離依存性

放電極距離 30, 20, 15mm でギリギリ
放電が起こる出力に合わせて測定



放電出力変化に伴う平均電流を
アナログ電流計で測定



・電圧を低く抑えると極端に線量は小さくなる
放電極距離は20mm以下に留めて下さい。

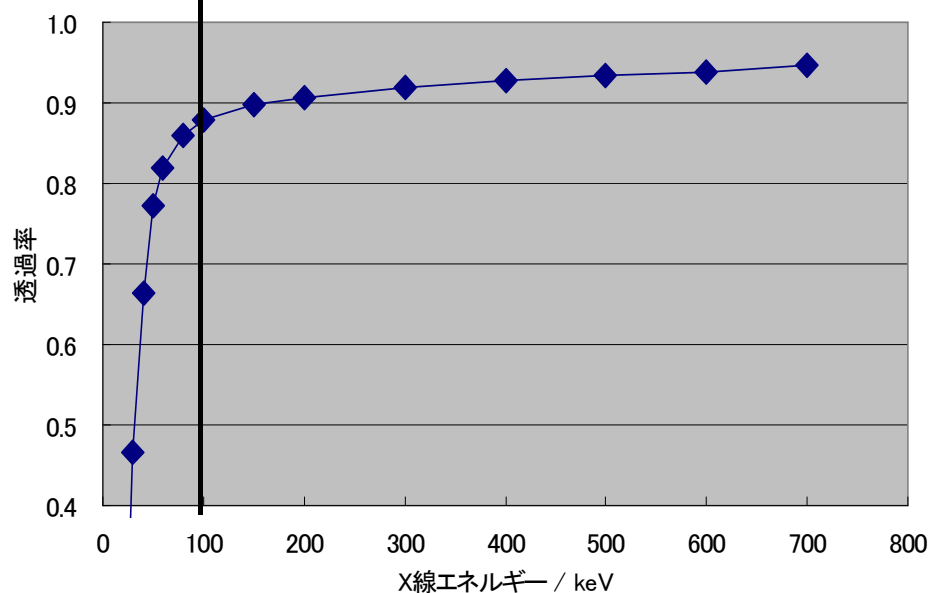
・距離の二乗に反比例して線量は小さくなる
1mの距離では10cmの距離での線量の1/100になります。
逆に、1mから50cmに近付いただけで線量は4倍になります。

・電流上昇に従い指数関数的に線量が上昇
放電出力上昇で電圧も電流も同時に上昇するため、
電子線が観察できる必要最小限の出力に留めて下さい。
その上で、放電極は一定以上に電圧を上げないための
安全弁の役割を果たしています。

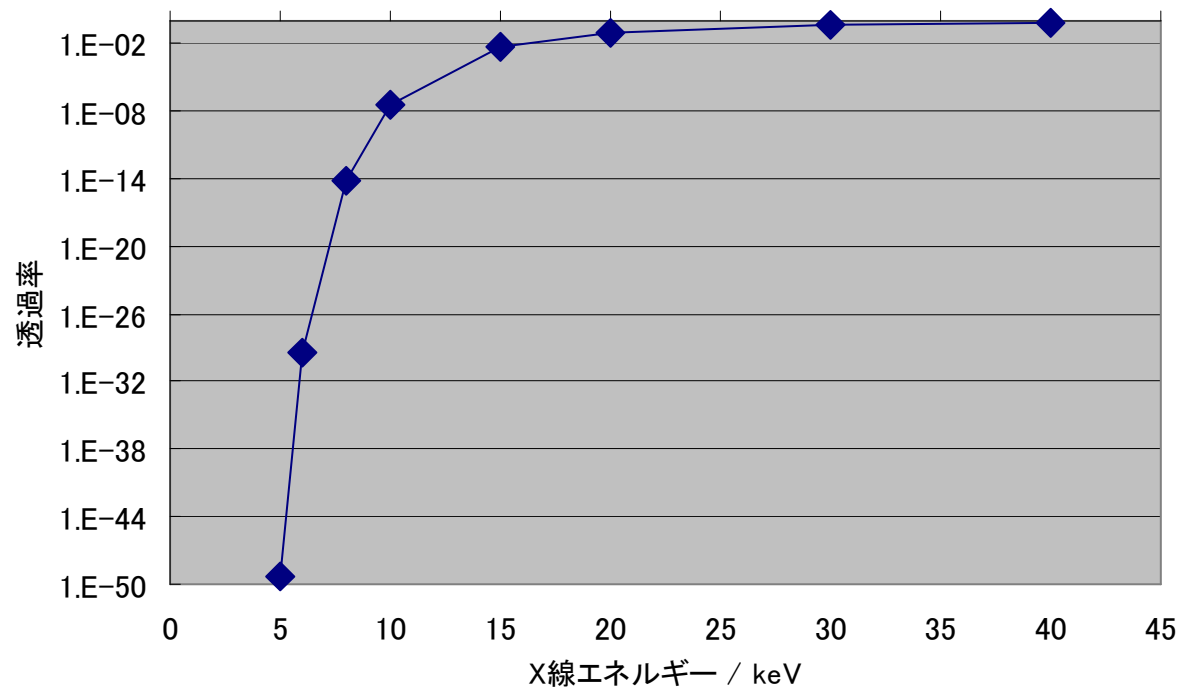
わずかな印加電圧低下での大きな線量の変化

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

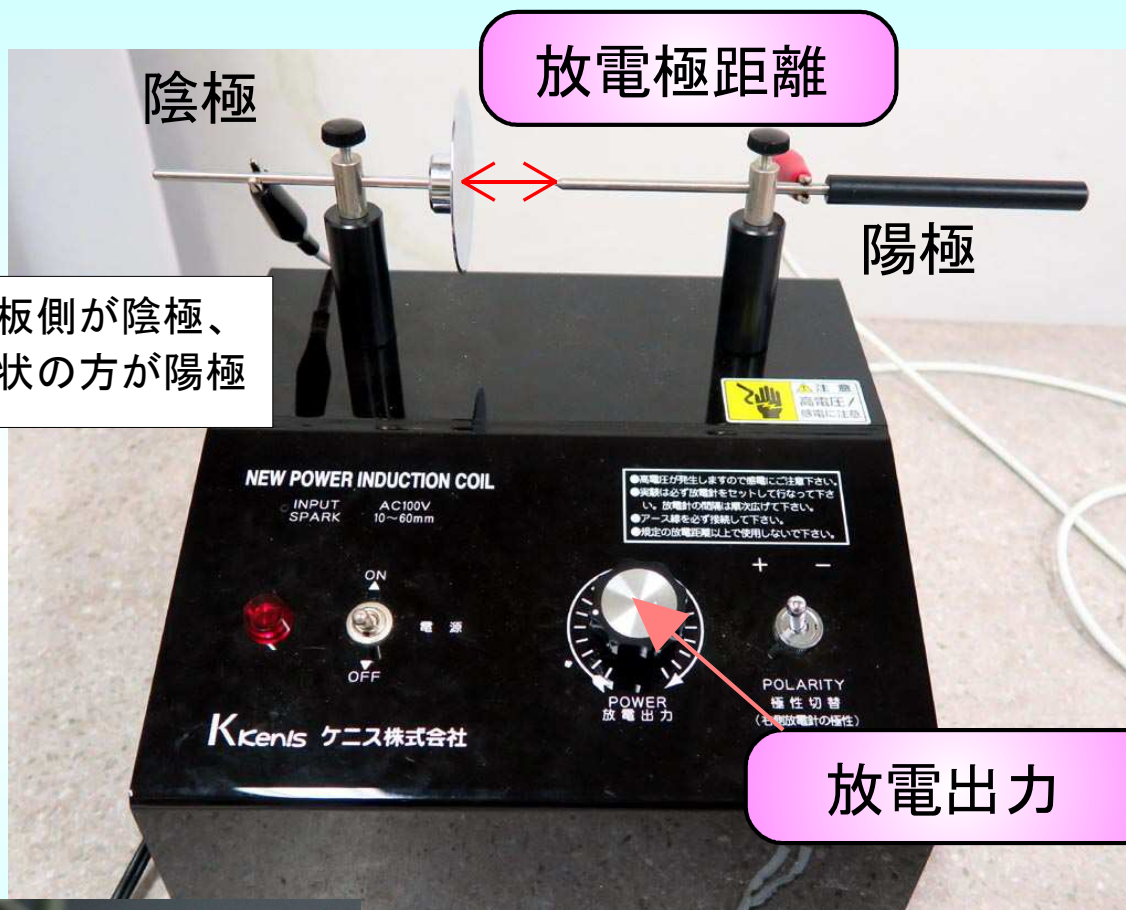


30keV と 15keV で約100倍違う。



3mmのガラスに対するX線の透過率

印加電圧を下げるにはどうしたら良いの？



円板側が陰極、
針状の方が陽極

放電出力

**必ず放電極を
取り付ける。**

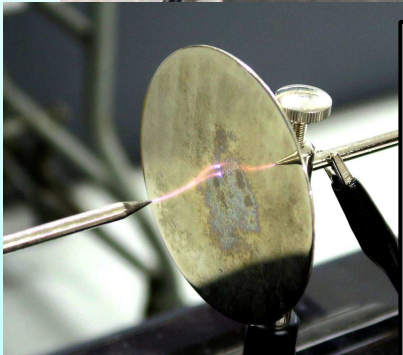
電気的な安全上も必須です。
単体での販売もされています。

**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。

**放電出力、発振周期を
出来る限り下げる。**

電子線を観察できる範囲で
下げて下さい。



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！**

実際の教育現場での測定

2018年度 第一段実態調査



全国の 37 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。

37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

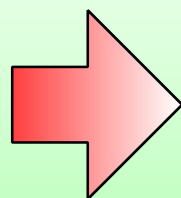
ペットボトルに貼付けたガラスバッジに15, 30, 50cmの距離で10分間X線照射して返送してもらい、線量評価を行った。X線計測専用のタイプFXでは同時にエネルギー評価も出来る。

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: 2mSv/h
放電極距離50mm: 30mSv/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

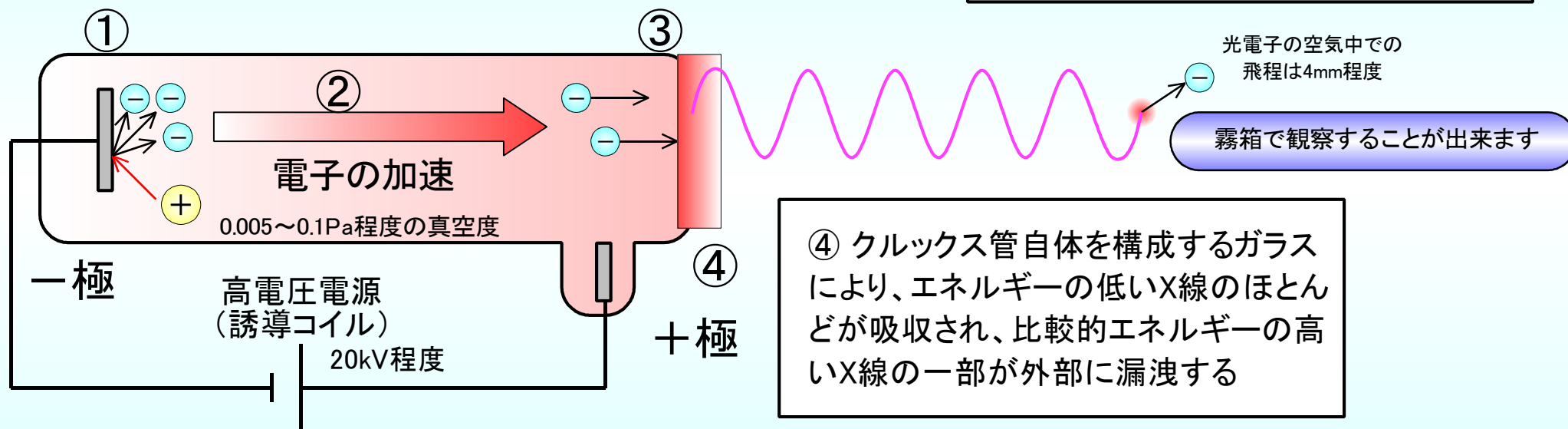
クルックス管からのX線の漏洩

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ります。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います。(低エネルギー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(15keV→30keVで100倍違う)ため)

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でした。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した。こうなってしまった製品は、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

クルックス管からの被ばく線量を下げするには

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)。

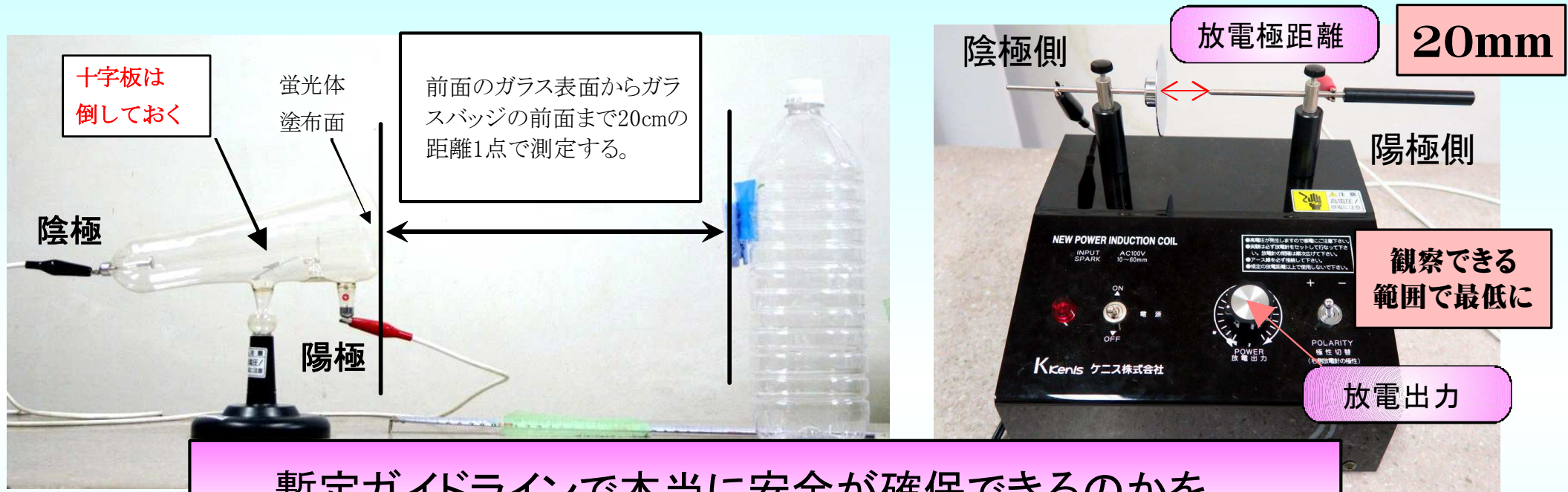
距離を取る: 最も簡単で確実である(距離の二乗に反比例して下がる)。

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

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。

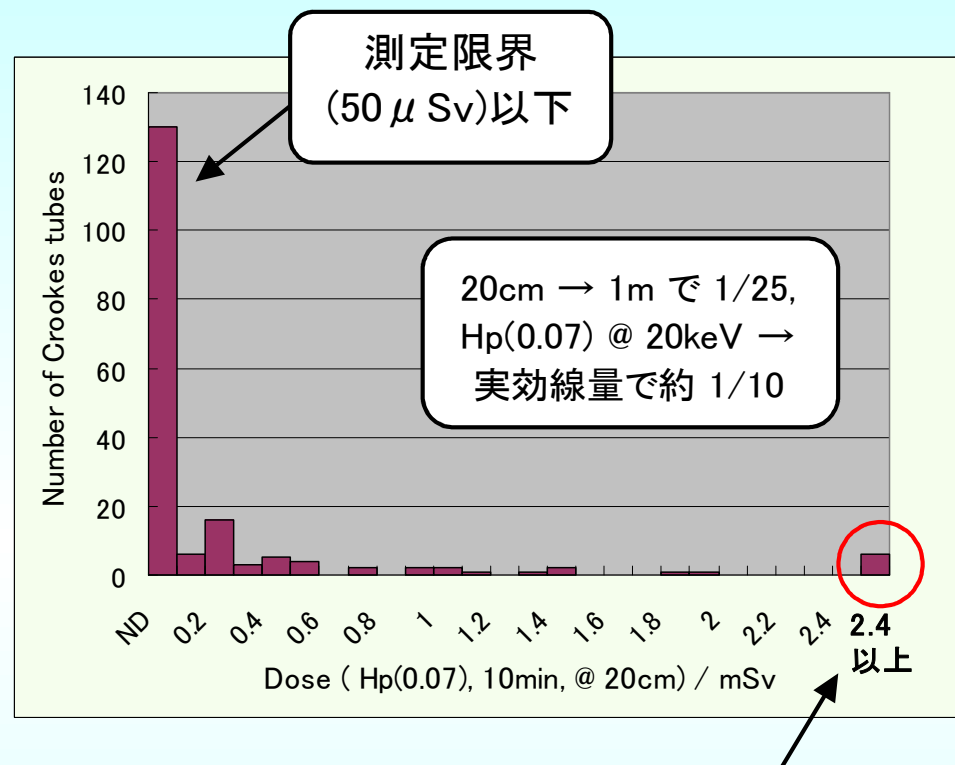
第二期実態調査結果（速報）

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69本、合計182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。

182本中 130本に於いては、距離 20cm 10分の測定で Hp(0.07) が測定限界である $50 \mu\text{Sv}$ を下回っていた。有意な値が出た 52本の装置についても、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。

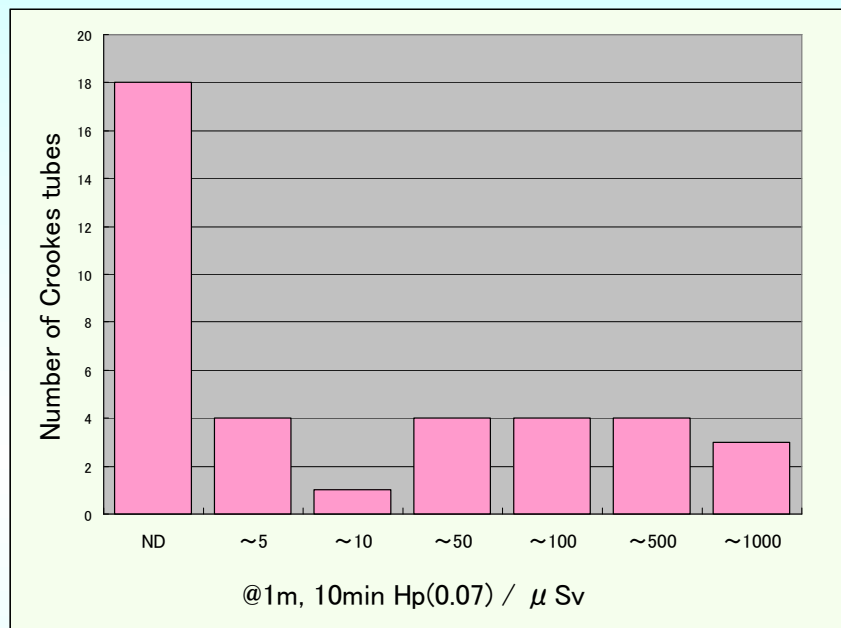
2018年の暫定ガイドライン適用前の実態調査では、37本中6本が距離 1m、10分間での実効線量が $10 \mu\text{Sv}$ を超える可能性があり、 $93 \mu\text{Sv}$ と評価された装置もあった。



1m 位置で10分間観察を行った場合、実効線量で $10 \mu\text{Sv}$ を上回る可能性がある装置が 6本存在した。最も高い装置でも $42 \mu\text{Sv}$ であるが、何故高い線量となったかの追跡調査が必要。

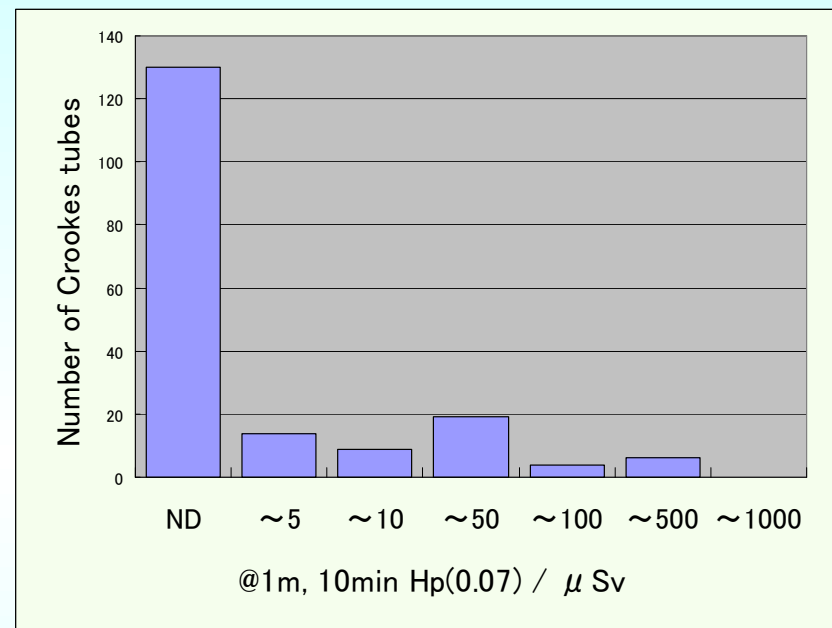
第二期実態調査結果（速報）

2018年第一期実態調査



これまでの授業での設定

2019年第二期実態調査



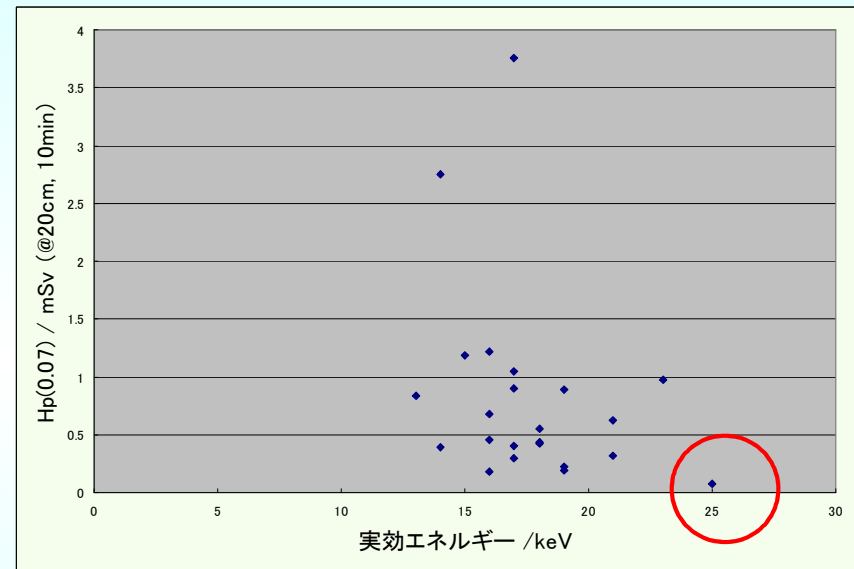
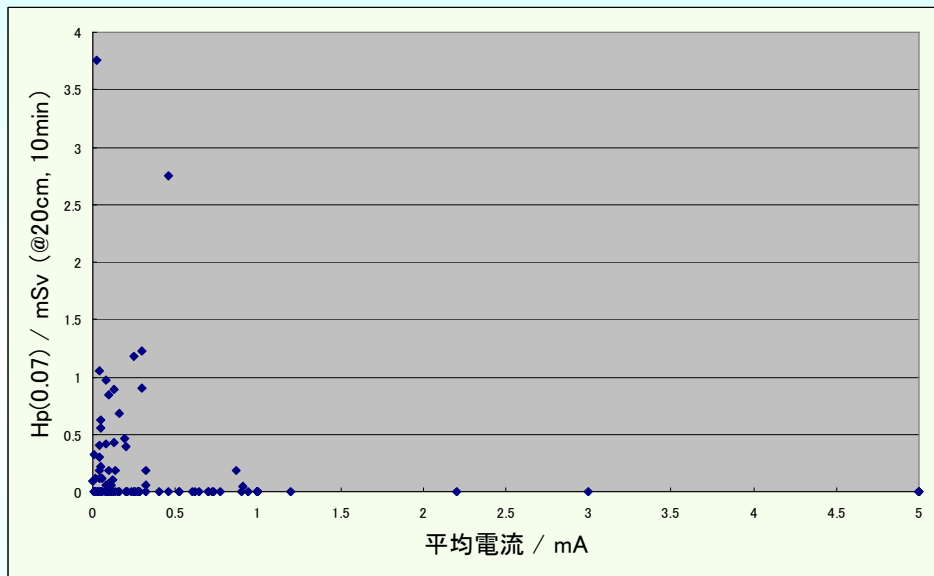
暫定ガイドライン準拠

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。

第二期実態調査結果（速報）

2019年第二期実態調査

全測定データ



ガラスの水槽で
フィルタリングされたため

電流が小さくても安全な装置もあるが、
線量の高い装置は電流が小さいとは言えそう。
デジタルのマルチメーターで測った装置があるので注意。
スクリーニングには使える？

実効エネルギーと線量の関係からは、
あまり明確な傾向は得られていない。

クルックス管からのX線の不均一性

