

名古屋経済大学市邨中学校 高等学校

2022年 8月 26日 「中学理科で使える高校理科の技術」 講座

学校教育現場に於ける クルックス管の放射線安全管理と 発展的放射線教育コンテンツ

大阪公立大学 放射線研究センター
准教授 秋吉 優史

E-Mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp

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



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 ↓



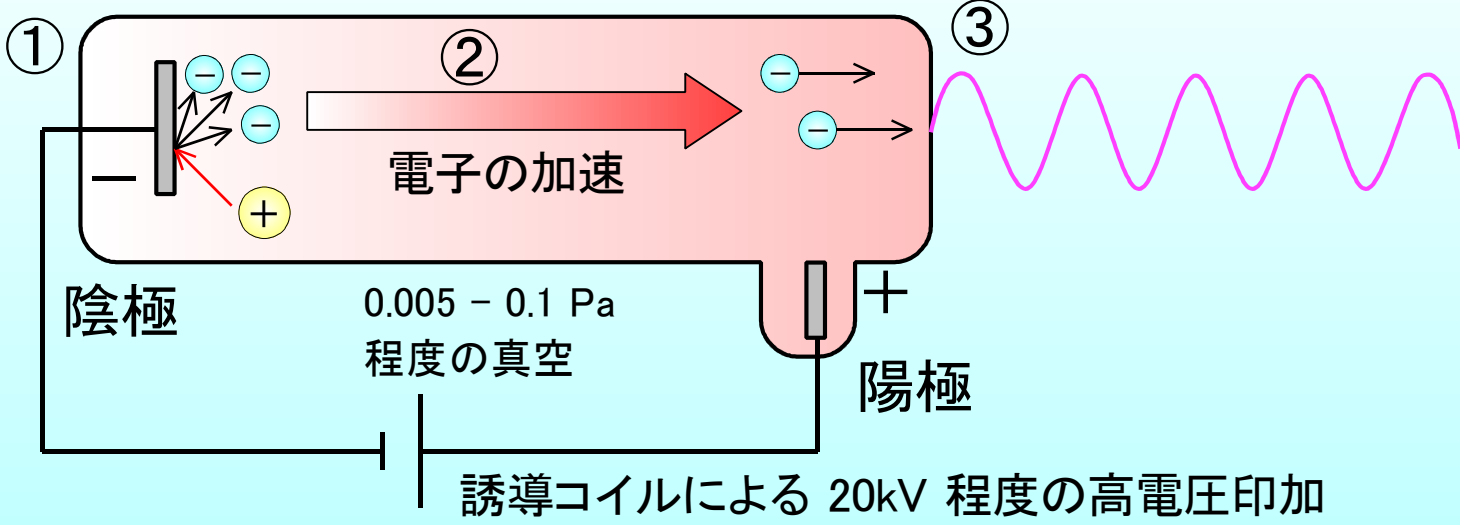
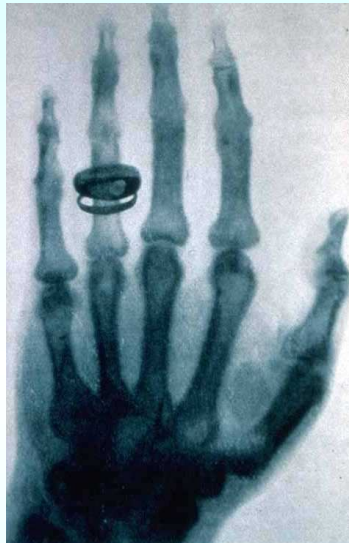
クルックス管とは？

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
R3 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。

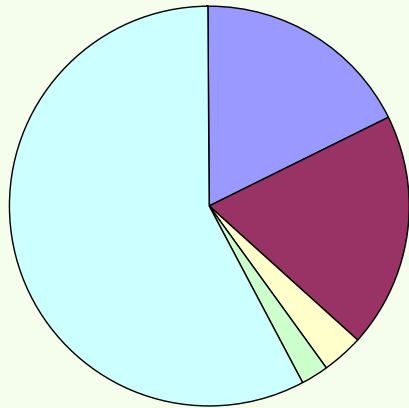
クルックス管に関しては2008年版の学習指導要領解説にも記載されていた。

クルックス管を用いた実験を行う際の安全評価が必要

現在の学生に対する授業の実態調査

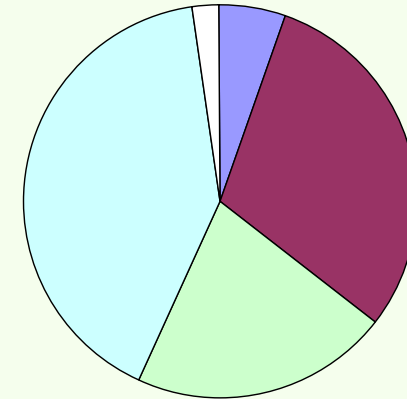
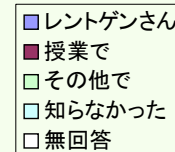
2019年11月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 90。

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？



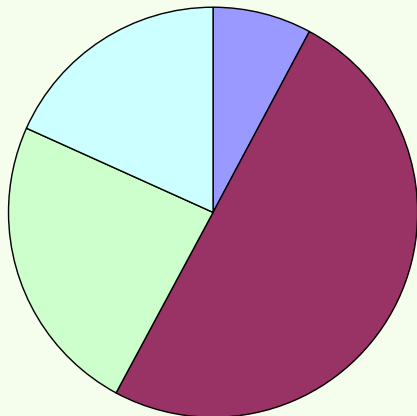
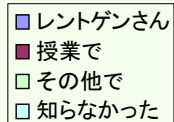
中学 16
高校 17
中学+高校 3
その他 2
なし 52

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？



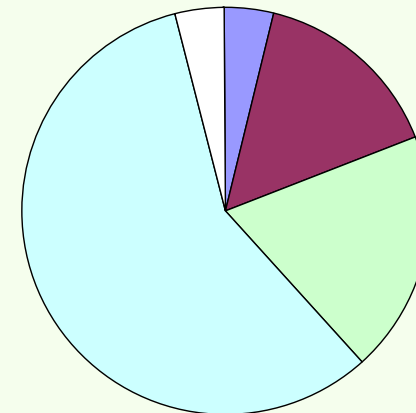
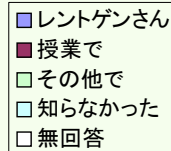
レントゲンさん 3
授業で 19
その他で 9
知らなかった 7

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
その他で 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？



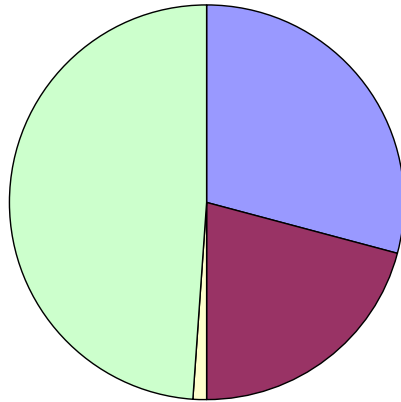
レントゲンさん 2
授業で 8
その他で 10
知らなかった 30
無回答 2

現在の学生に対する授業の実態調査

2020年12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 82。

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？

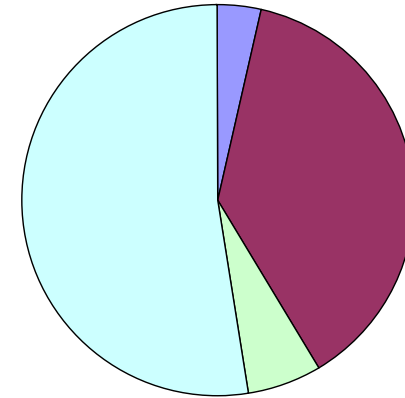
- 中学
- 高校
- その他
- なし



中学 24
高校 17
その他 1
なし 40

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？

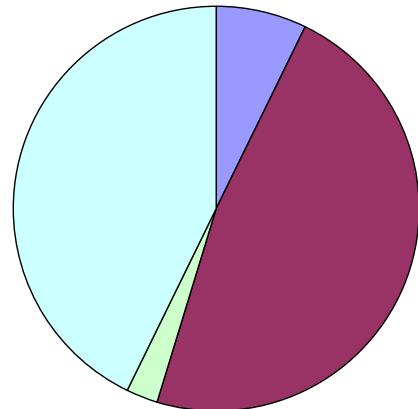
- レントゲンさん
- 授業で
- その他で
- 知らなかった



レントゲンさん 3
授業で 31
その他で 5
知らなかった 43

クルックス管を見たことがある見たことがある42人の中で
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？

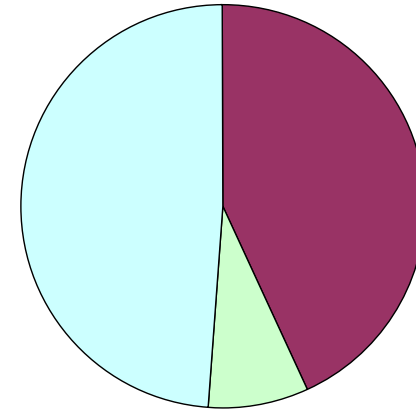
- レントゲンさん
- 授業で
- その他で
- 知らなかった



レントゲンさん 3
授業で 20
その他で 1
知らなかった 18

クルックス管を見たことがない見たことがない40人の中で
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？

- レントゲンさん
- 授業で
- その他で
- 知らなかった



レントゲンさん 0
授業で 22
その他で 4
知らなかった 25

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、場合によっては 5cmの距離では、 $70\mu\text{m}$ 線量当量率が 200mSv/h にも達する低エネルギーの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。

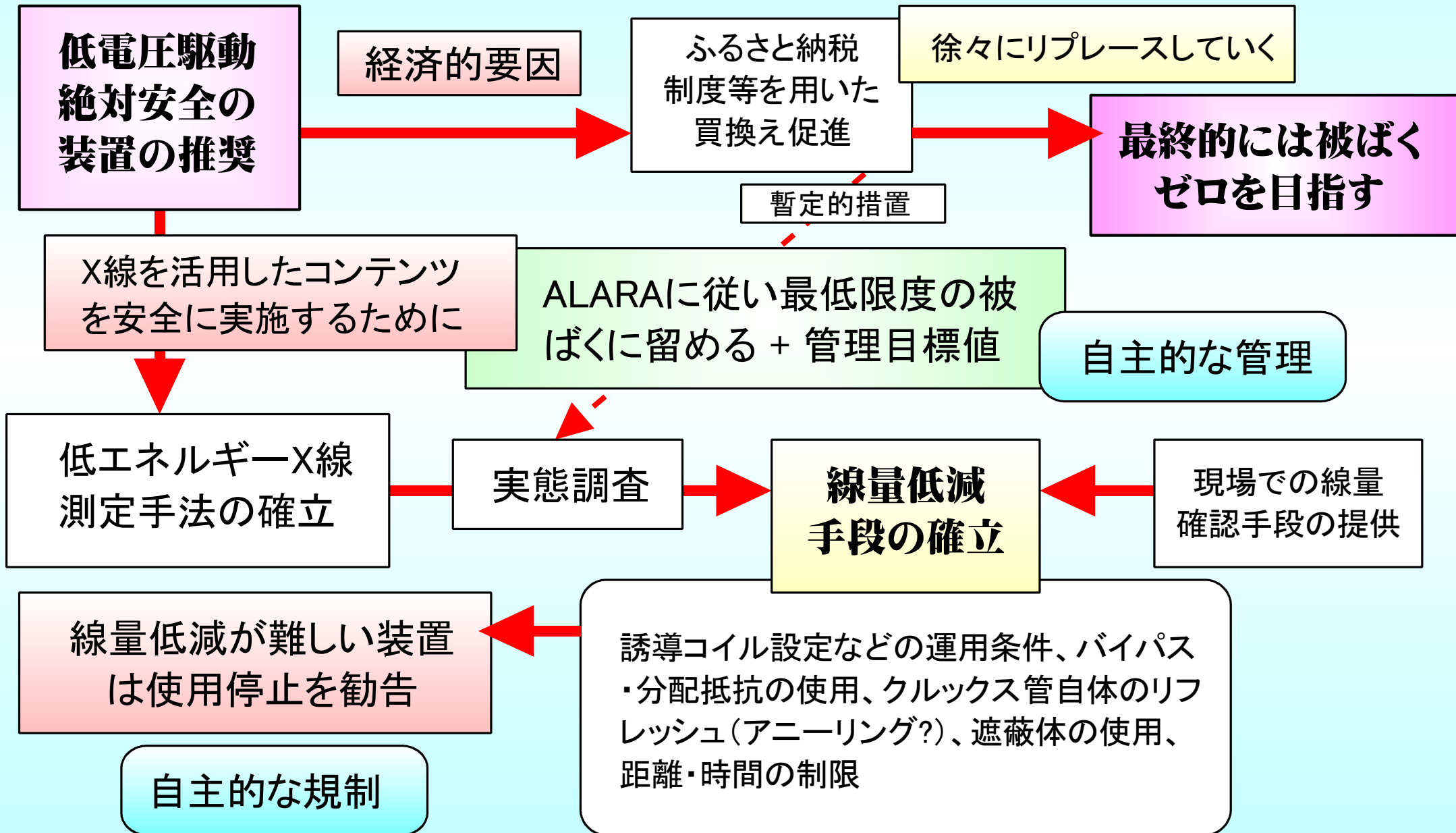
ここで話は完結する

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。

本研究の目的

今そこにあるリスクを低減するために



ICRP 放射線防護の基準を決める三つの原則からの検討

正当化 Justification: リスクを上回る利益がなければならない

→ クルックス管を用いた実演は極めて教育的効果が高く、将来的な放射線教育コンテンツとしても非常に価値が高い。

防護の最適化 Optimization:

できるだけ被ばくを抑える(経済、社会的な要因の考慮)

ALARA(as low as reasonably achievable)の原則

→ 電子線の観察だけであれば低電圧駆動の絶対安全の装置を使うことで被ばくをゼロに出来るためこれを推奨する。が、経済的要因により直ちに全ての学校に要求するのは困難であるため、コンテンツ毎に必要なX線のエネルギーを把握し、出来る限り電圧を抑えて実験を行い被ばくを最小化する。必要に応じて遮蔽などの防護措置も行う。

線量限度 Dose Limit: 線量限度を超えてはならない

→ 放射線取扱業務従事者ではない教員や、さらに労働者でもない生徒に対する被ばく管理目標値を、国内外の規制状況から議論する。低エネルギーX線による不均等被ばくと水晶体への等価線量についても考慮する。

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。

X線装置の定義が明確ではない

厚労省 全国規模での規制改革要望に対する見解の確認
<http://www8.cao.go.jp/kisei/siryo/030919/09-2.pdf>

RI法では1MeV以下のX線は対象外であり、定義されている放射線発生装置にも該当しない。電離則においては特定X線装置の定義からは外れるが、「X線装置」の免除レベルが規定されておらず、放射線安全を確保するための法令根拠が明確ではない。

不均等被ばくであり実効線量評価が困難

20keV X線 は水での半価層が 1cm程度であるため、体表からの深さによって線量が大きく変化する。またブロードなエネルギースペクトルを持ち運用条件によってピークエネルギーも変わるが、低エネルギーではわずかなエネルギー変動で大きく透過率が変化する。平面的にも一様ではない。このため、防護量である実効線量の評価は容易ではない。

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:
 $10 \mu\text{Sv}$



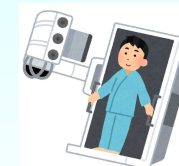
0.01mSv
($10 \mu\text{Sv}$)

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

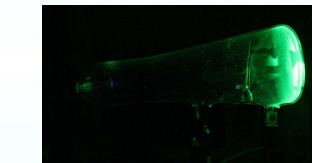
CTスキャン1回:
数mSv



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

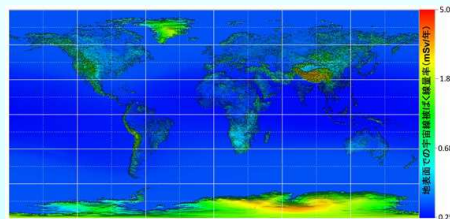


日本人が特有に持っている
 20Bq のポロニウム
 210 による年間被ばく
線量: $800 \mu\text{Sv}$

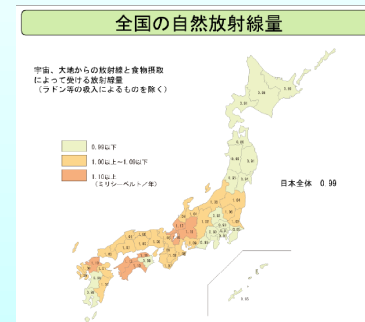
イランのラムサール地方や
インドのケララ地方などでの
大地からの年間被ばく線量:
 $\sim 10\text{mSv}$



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



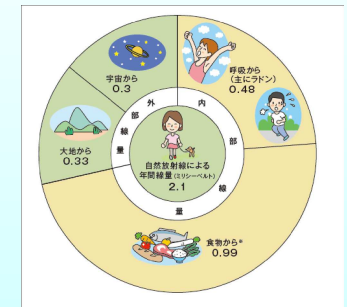
年間の宇宙線量の世界平均と
日本平均の差:
 $50 \mu\text{Sv}$ (日本の方が小さい)



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

クルックス管からのX線評価に於ける問題点

20keV 程度とエネルギーが低い

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測定される。

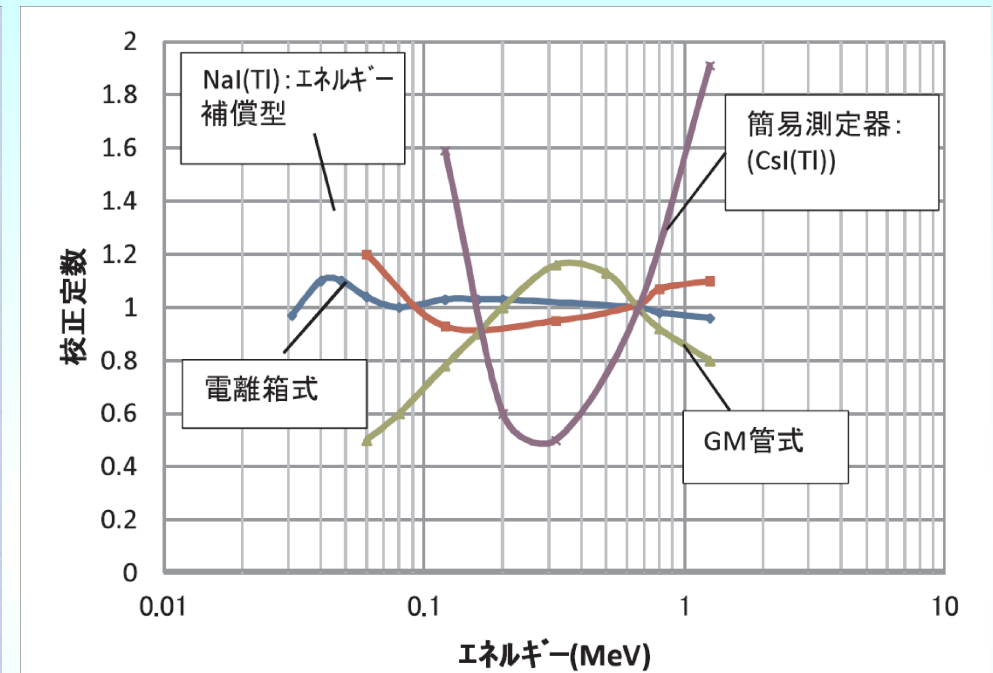
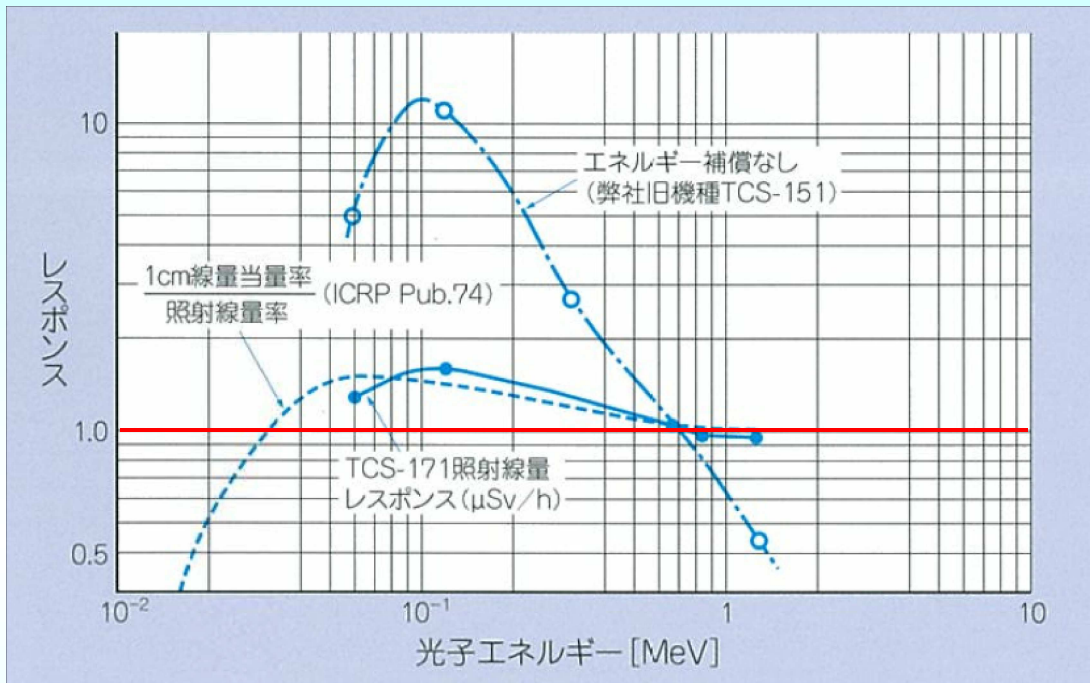
パルス状に放出されている

Be窓を用いた低エネルギーX線用 NaI シンチレーション式サーベイメータなども販売されているが、パルス場であるためパイルアップしてしまい非常に小さい値しか示さない。Be窓のGe検出器や、CdTe(CZT)検出器での測定も、非常に小さなコリメーターを使いカウントレートを落とす必要がある。

電源装置（誘導コイル）が不安定である

同じ装置を同じ設定で動作させても測定結果が大きく異なる事がある。機械的な動作を含む誘導コイルはその日、その時の状況で出力電圧が変動するため、系統的な比較を行うには何らかの方法でモニタしながらの測定が必要。

サーベイメータのエネルギー特性



NaIシンチレーションサーベイメータのエネルギー特性

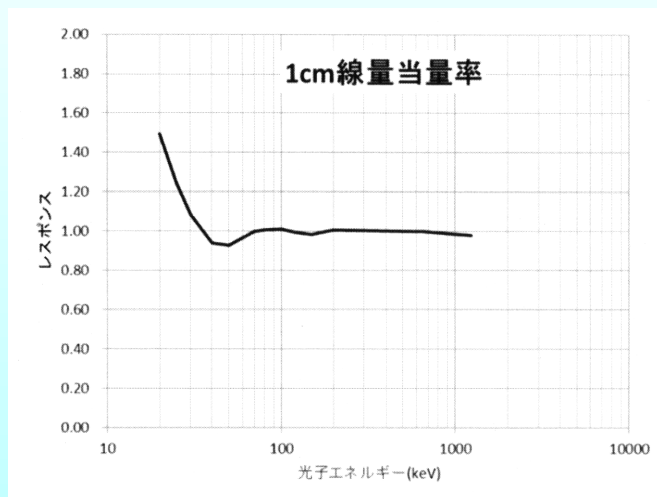
(アロカ TCS-171カタログより)

様々なサーベイメータのエネルギー特性

(放射線計測協会 放計協ニュース No.48, 2011, p6)

電離箱サーベイメータのエネルギー特性

(日立 ICS-1323マニュアルより)



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

誘導コイルを用いた高電圧印加について

放電極距離

Distance of Discharge Electrodes

DDE

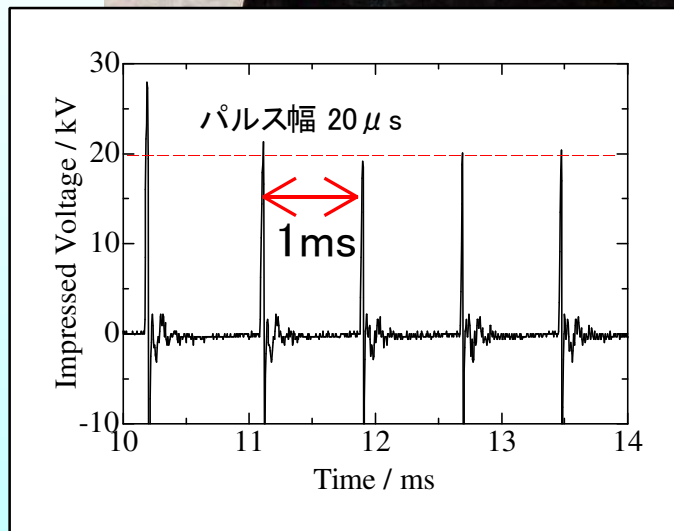
放電出力ダイヤルによりトランスの一次側に印加する電圧を変えることで連続的に出力電圧を変化させることができるが、**特定の電圧に設定出来るわけではない。**

空気中での絶縁破壊電圧が 1kV で 1mm 程度であることから、放電極間の距離を変えることで印加する**最大電圧を規定できる。**

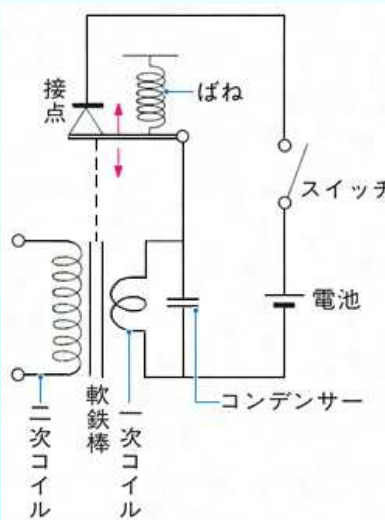
→ 20mm にしておくと 20kV 以上かけようとしても空中放電で電流がクルックス管をバイパスして流れるためそれ以上電圧が上がらない、**安全装置**となる。

PW

放電出力

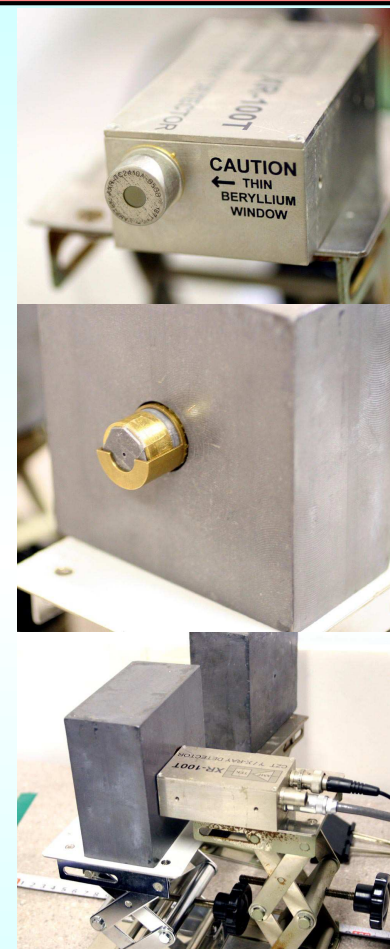
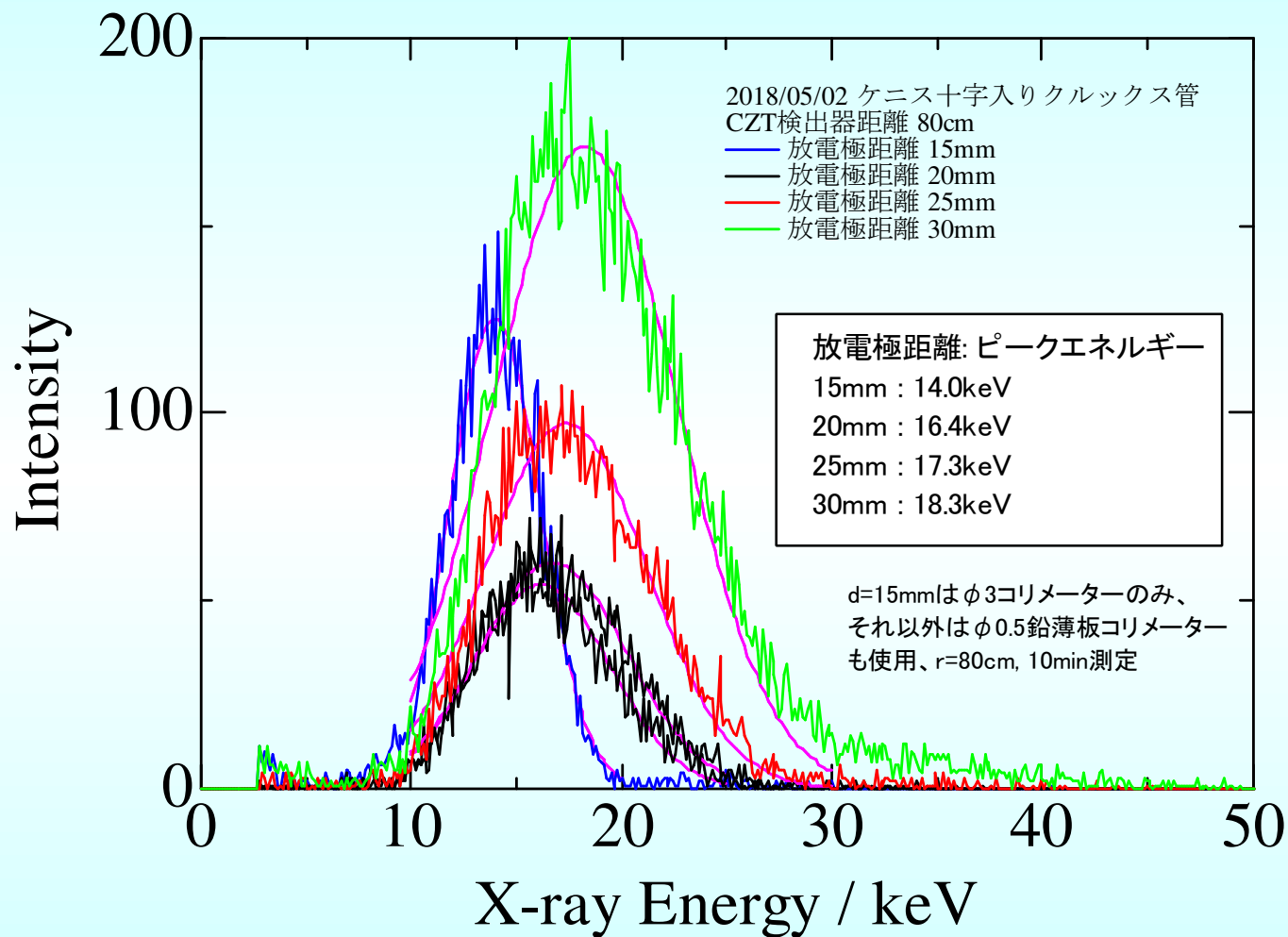


放電極距離 20mm, 放電出力4, 平均電流 $80 \mu A$



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



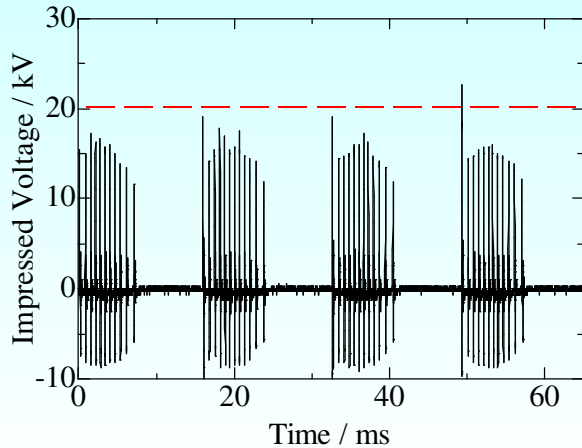
Amptek XR-100T-CZT
CZT(Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te)検出器
Be窓、ペルチェ冷却



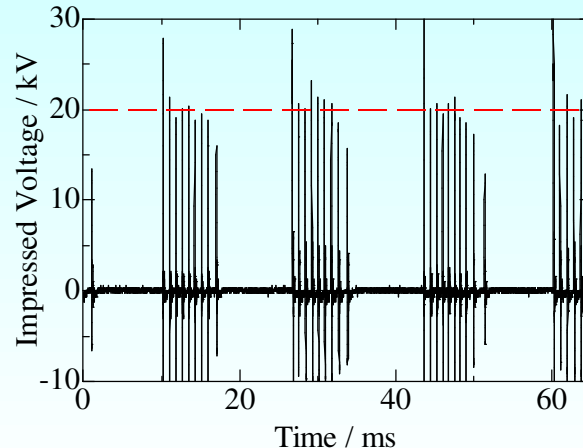
φ3同軸鉛コリメーター
φ2同軸黄銅コリメーター
φ1.0鉛薄板コリメーター
φ0.5鉛薄板コリメーター

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

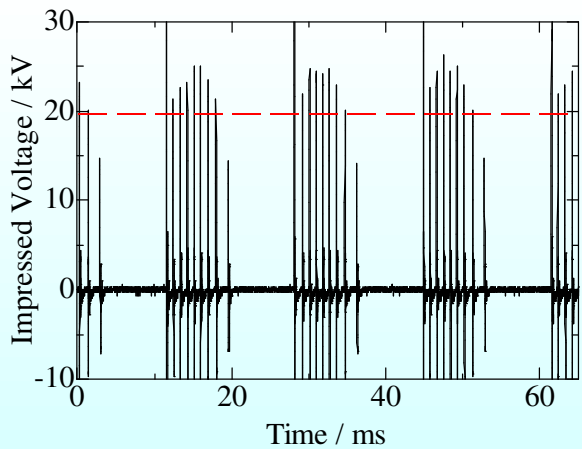
誘導コイル設定による出力パルスの変化



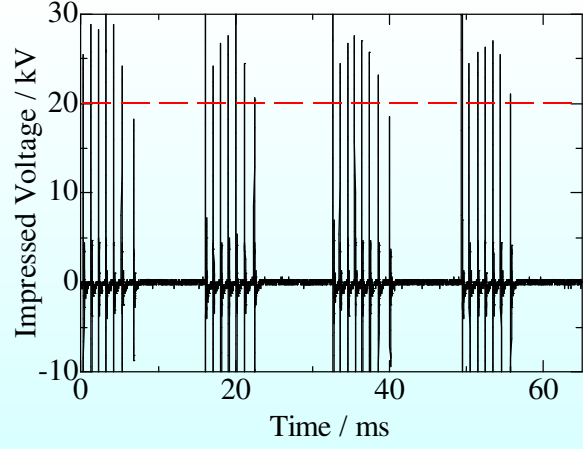
DDE=20mm, PW0, 40 μ A, 120 μ Sv/h



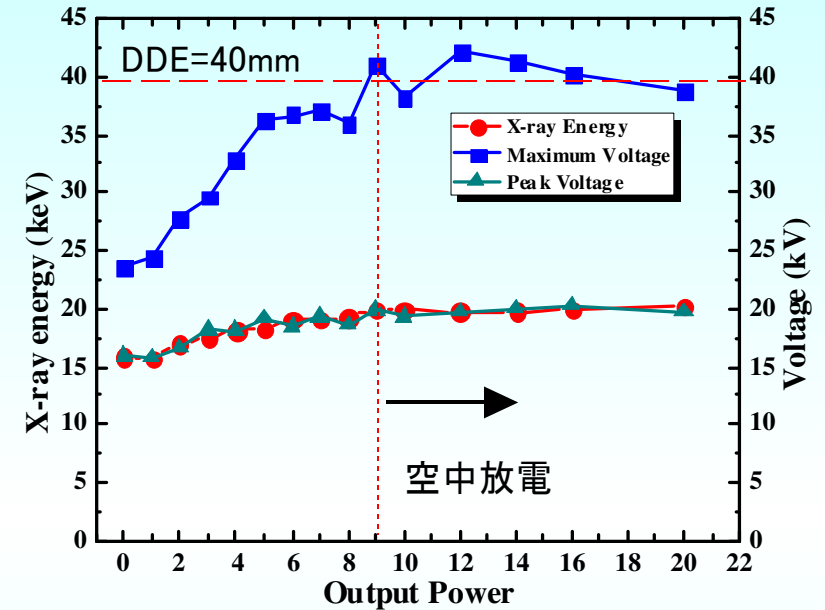
DDE=20mm, PW4, 80 μ A, 1.25mSv/h



DDE=30mm, PW4, 80 μ A, 1.56mSv/h



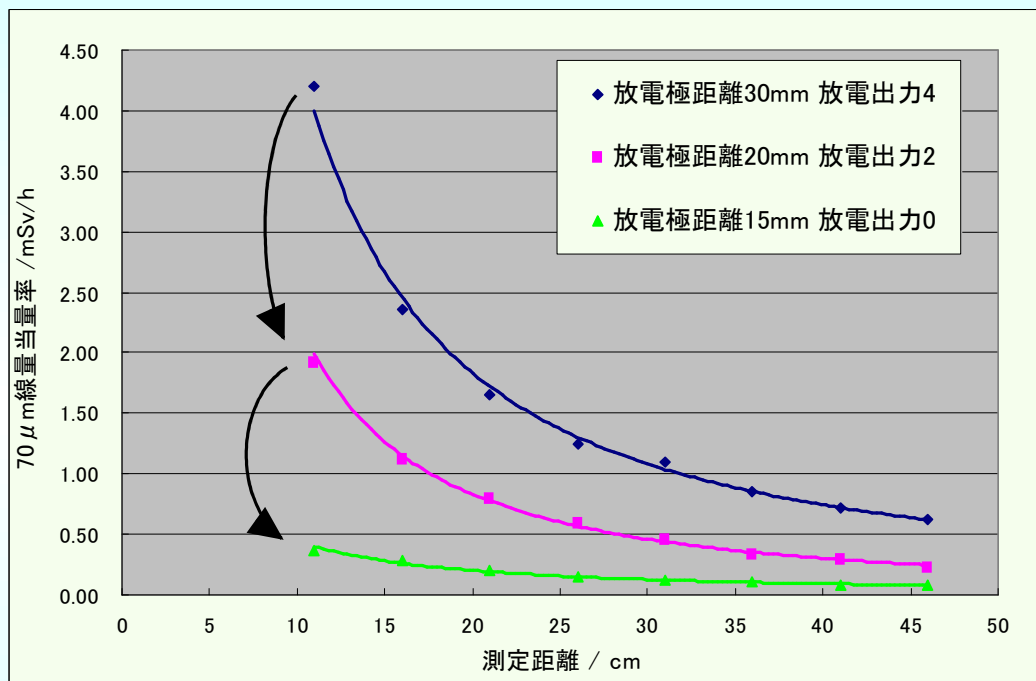
DDE=30mm, PW7, 96 μ A, 3.50mSv/h



- ・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。

漏洩線量の印加電圧、電流、距離依存性

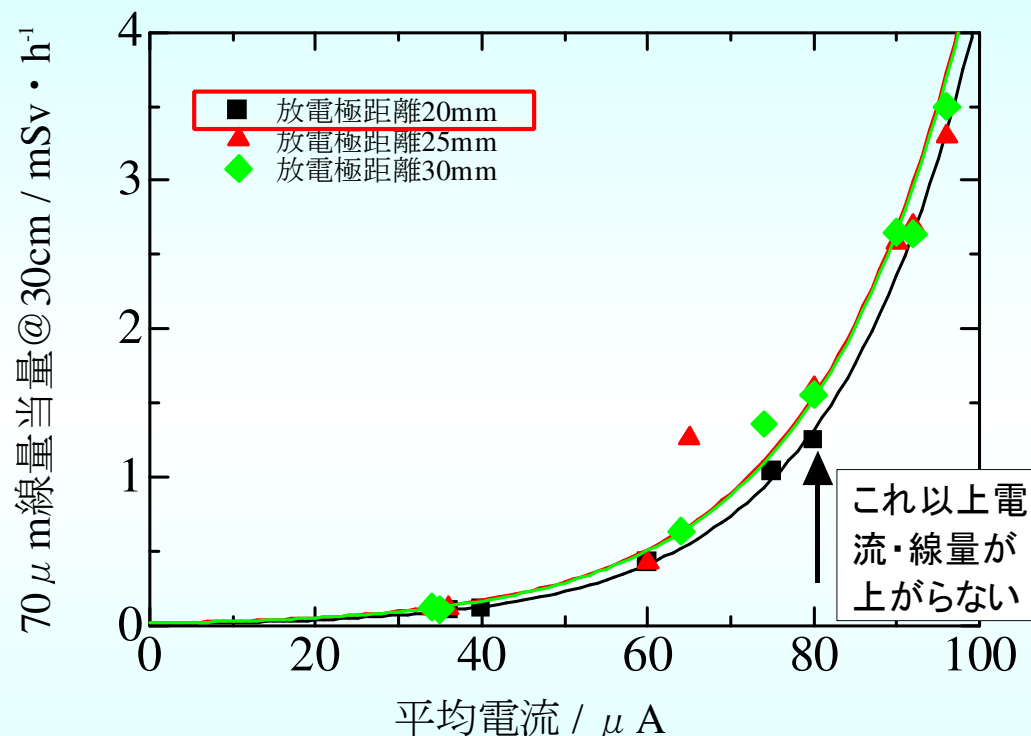
放電極距離 30, 20, 15mm でギリギリ
放電が起こる出力に合わせて測定



・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。

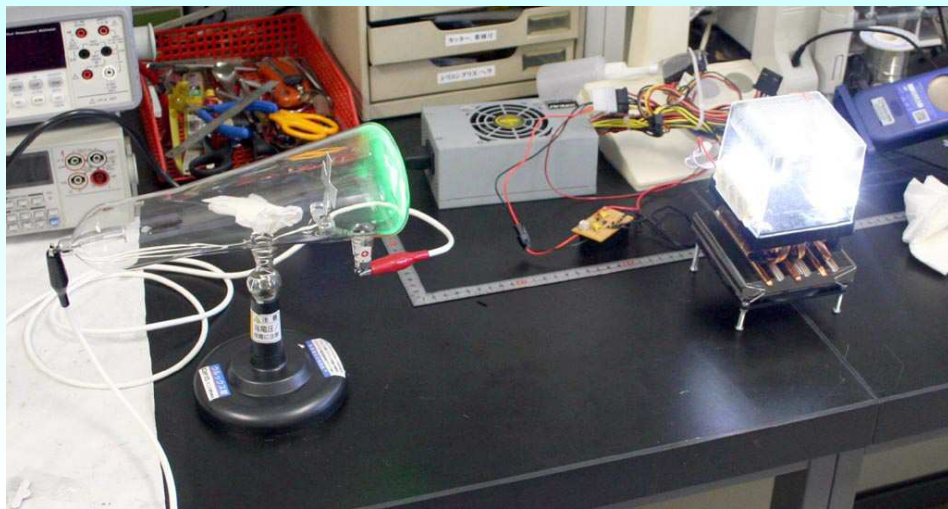
・距離の二乗に反比例して線量は小さくなる
1mの距離では10cmの距離での線量の1/100になります。
逆に、1mから50cmに近付いただけで線量は4倍になります。

放電出力変化に伴う平均電流を
アナログ電流計で測定

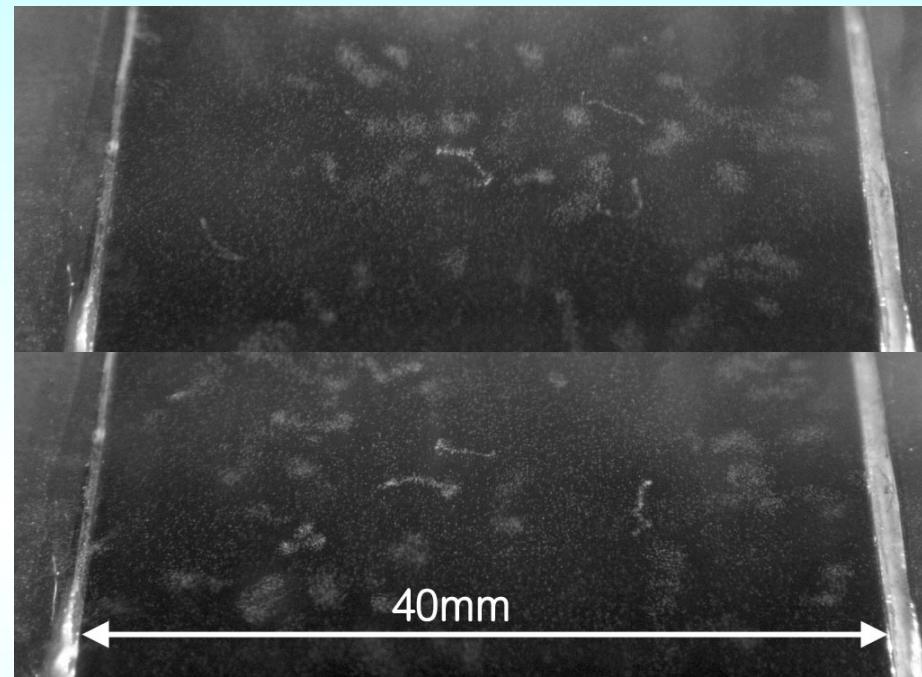


・電流上昇に従い指数関数的に線量が上昇
放電出力上昇で電圧も電流も同時に上昇するため、
電子線が観察できる必要最小限の出力に留めて下さい。
その上で、放電極は一定以上に電圧を上げないための
安全弁の役割を果たしています。

クルックス管を利用したX線のエネルギー評価



飛跡の長さは4mm程度であり、空気中での20keV電子線の飛程6mm程度より若干短い
→制動放射X線のピークは入射電子線エネルギーの $\frac{2}{3}$ で、良く一致。



クルックス管からのX線によって弾き出された光電子の霧箱観察結果(放電針距離20mm)。

エネルギー既知のX線を入射して飛跡の長さのヒストグラムを作成し、エネルギーに拡がりを持つX線のスペクトルが評価できないか？

**霧箱を用いた低エネルギーX線の
エネルギースペクトル評価の可能性**

霧箱によるクルックス管からのX線の観察

①

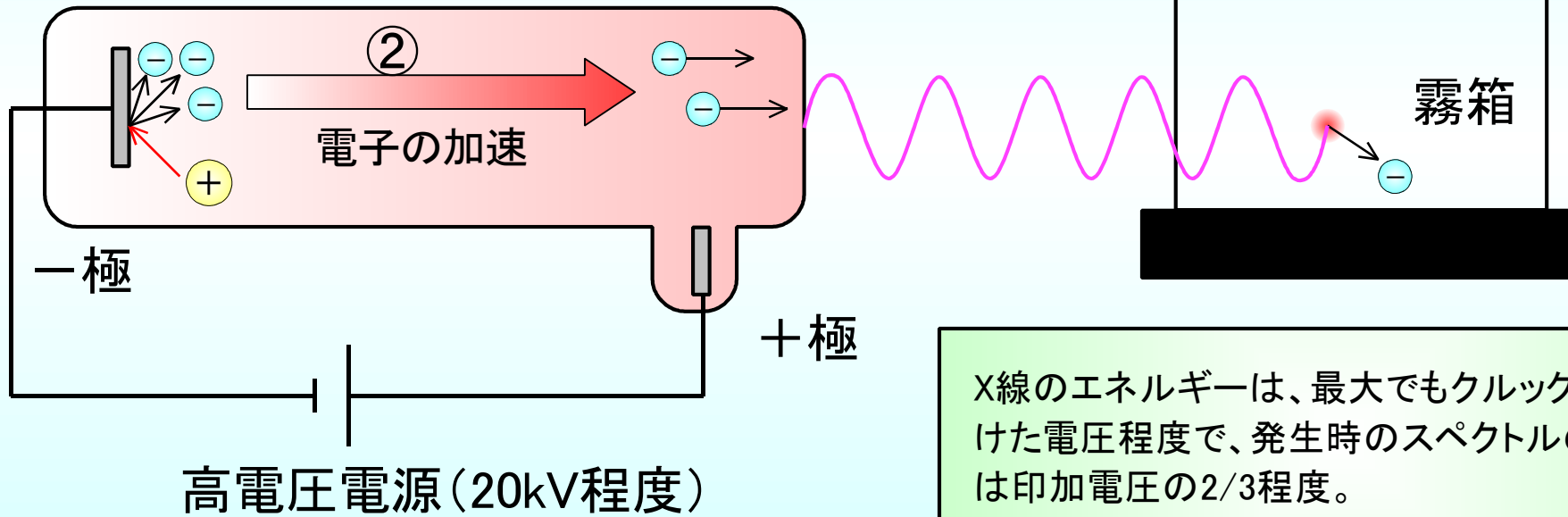
＋のイオンが－極に引きつけられて電子を叩き出す
(二次電子放出)

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

④

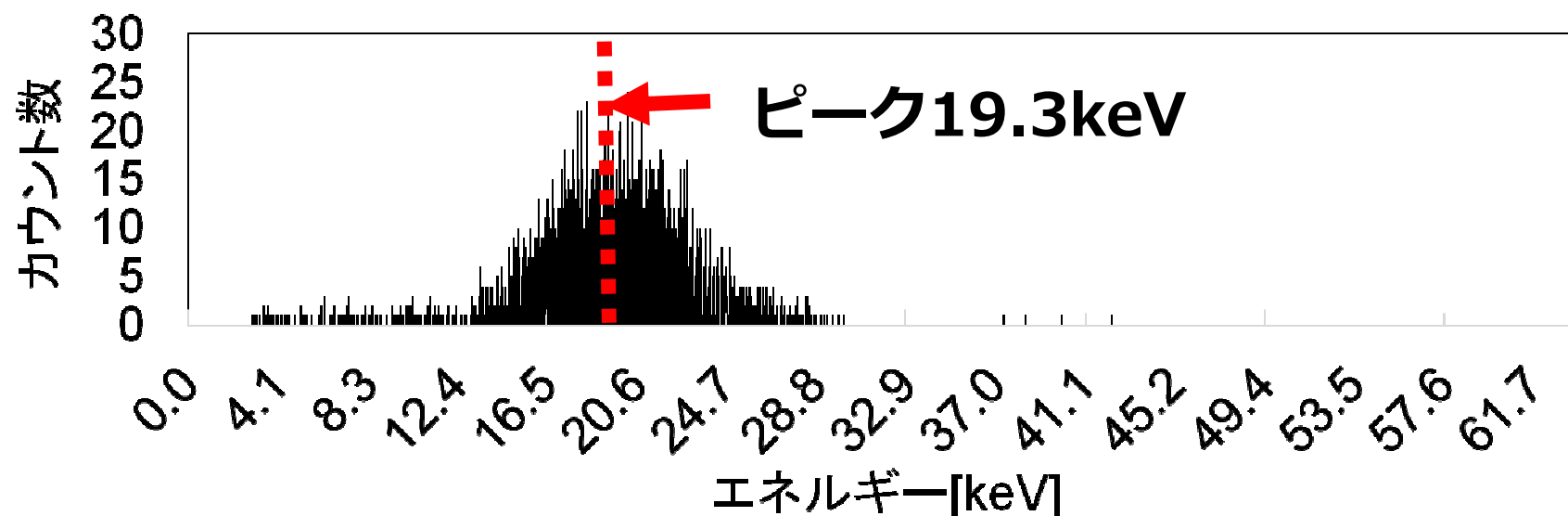
X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果などで弾き飛ばして(電離作用)、弾き飛ばされた高速の光電子はβ線と同じように振る舞う。



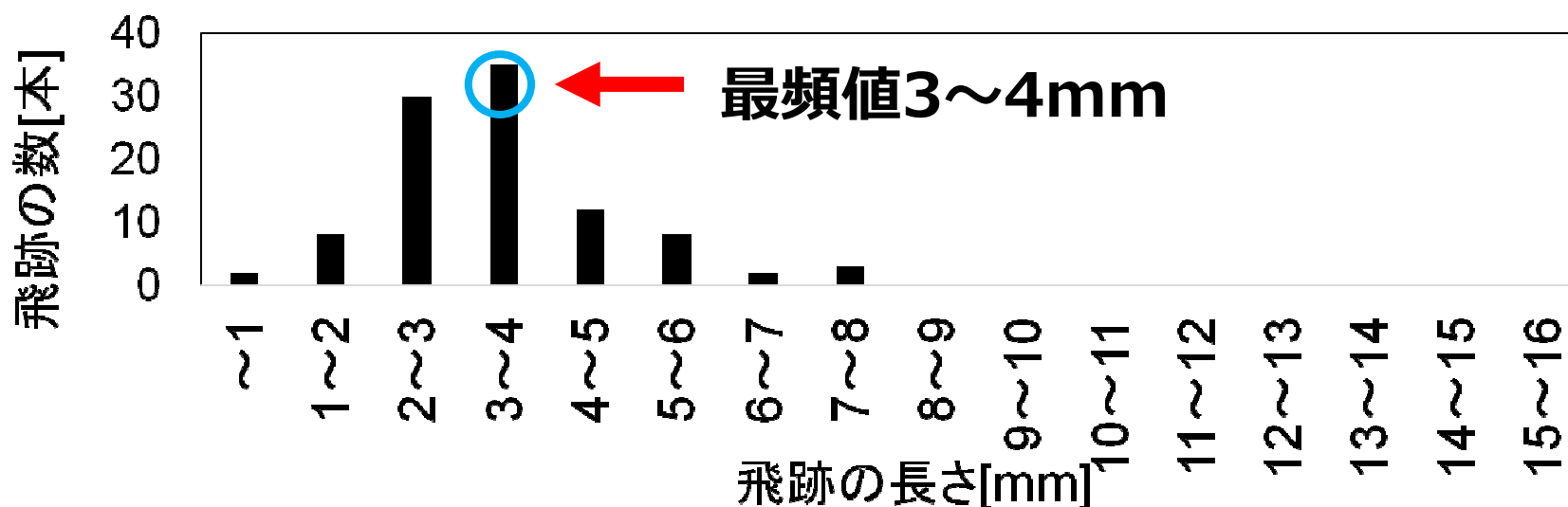
X線のエネルギーは、最大でもクルックス管にかけた電圧程度で、発生時のスペクトルのピークは印加電圧の2/3程度。

電子を弾き出すという放射線の本質を直感的に理解できる。また、エネルギーの違いを弾き出された電子の飛跡の長さという形で理解できる。

クルックス管からのX線の測定結果

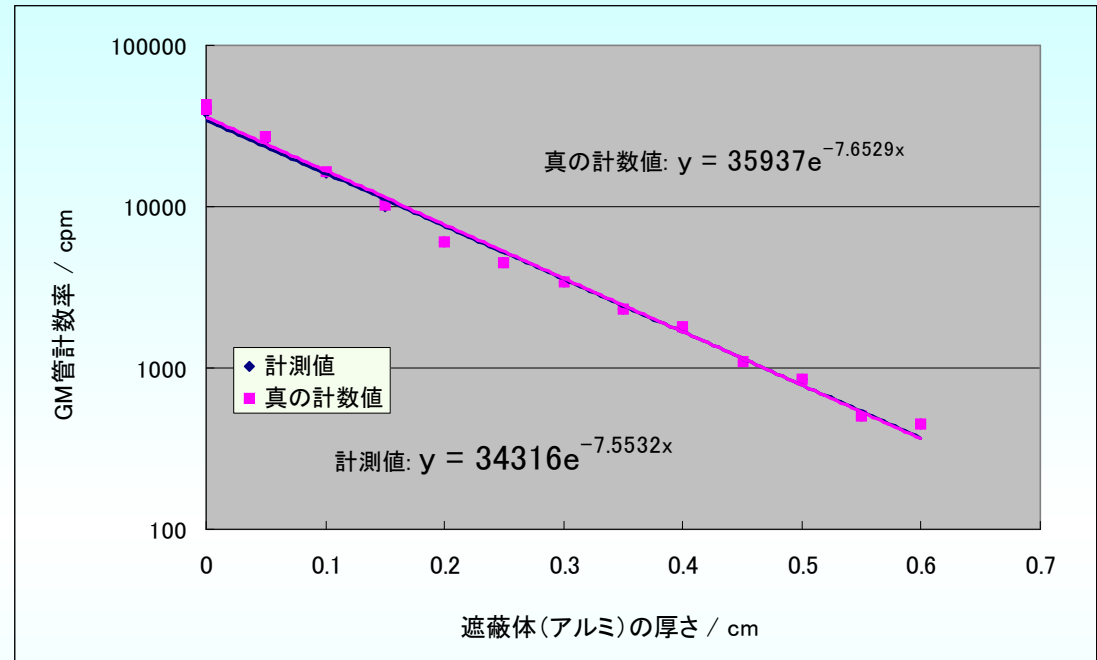


CZT検出器スペクトル測定結果



ペルチェ冷却式高性能霧箱での測定結果

GMサーベイメーターによるX線エネルギー評価



GMサーベイメーターの前にアルミ遮蔽板を置いていき、透過率を測定した。測定結果から線減衰係数を求めると、 7.65cm^{-1} となり、放電針距離の 20mm から想定されるエネルギー20keV強でのアルミの線減衰係数と**非常に良い一致を示した**。

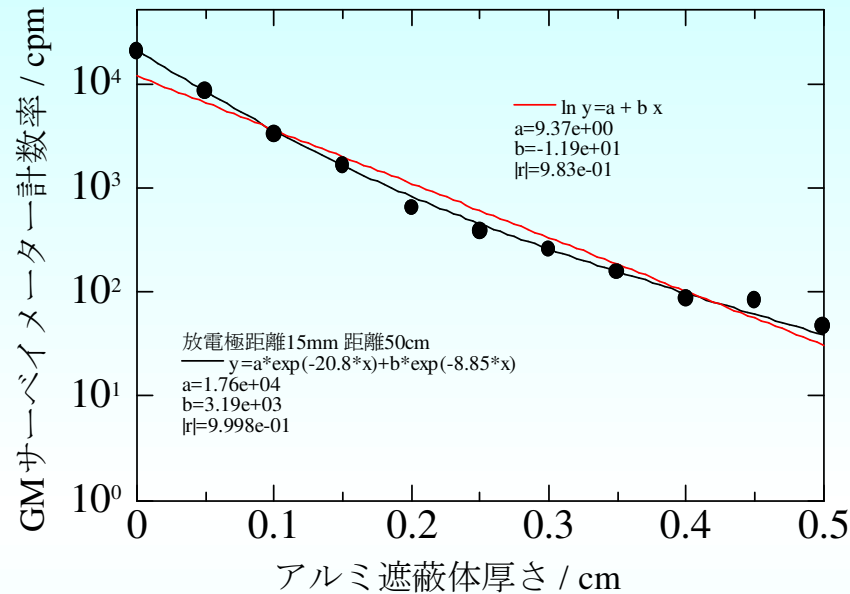
当初低エネルギー側に尾を引いたスペクトルを想定しており、遮蔽が薄い領域で計数率が高くなる事が予想されたが、**単一のエネルギーだけで説明できてしまった**。

遮蔽体を用いた測定前後での遮蔽無しでの測定値はほぼ一致しており安定していた。また、クルックス管から 30cm位置、50cm位置で測定し、評価結果はほぼ同じであった。

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

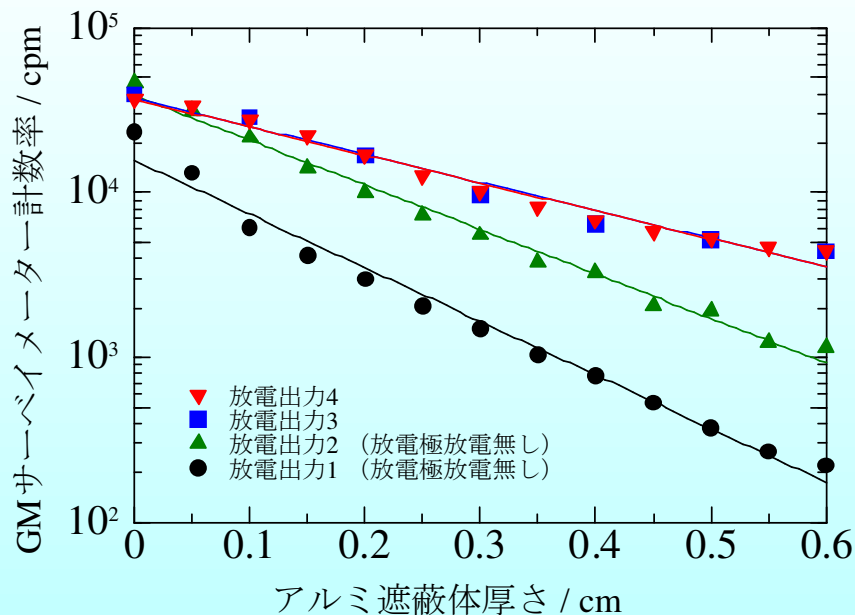
GMサーベイメーターによるX線エネルギー評価

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

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 μ m線量当量*:
25本で < 50 μ Sv @ 1m (外挿により評価) *実効線量はさらに1/10以下。
18本で < 50 μ Sv @ 15cm (検出限界以下)

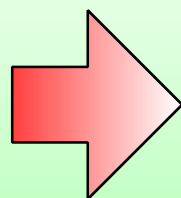
ペットボトルに貼付けたガラスバッジに15, 30, 50cmの距離で10分間X線照射して返送してもらい、線量評価を行った。X線計測専用タイプの物で、同時にエネルギー評価も出来る。

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 μ 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 μ Sv/h にまで落ちた。

距離1m、10分間では、0.6 μ Svに過ぎない

クルックス管に印加する電圧

クルックス管の内部には**わずかに気体分子が封入されており**、陰極に高電圧を印加すると、**わずかな正イオン**が加速されて陰極に衝突する。その際に放出された多数の二次電子を電子ビームとして観察している(冷陰極)。

このような動作原理であるため、電子線の観察には管内に**わずかなガスが必要であるが**、**古い製品ではガラス管に吸着されるなどして残存するガスの量が少なくなり**、**より高電圧を印加しないと電子線を観察できなくなる**。実際の教育現場にはこのような古い製品が多数残されており、高電圧を印加することにより**発生する制動放射 X 線のエネルギーが高くなり**、**ガラス管壁に対する透過率が高くなるため**、**放出される線量が高くなる**。



ガス圧調整の必要性はレントゲンの時代から知られており、ガス調整器が使われていた。写真は大阪府大高専にあった島津製の「教育用エックス線装置」

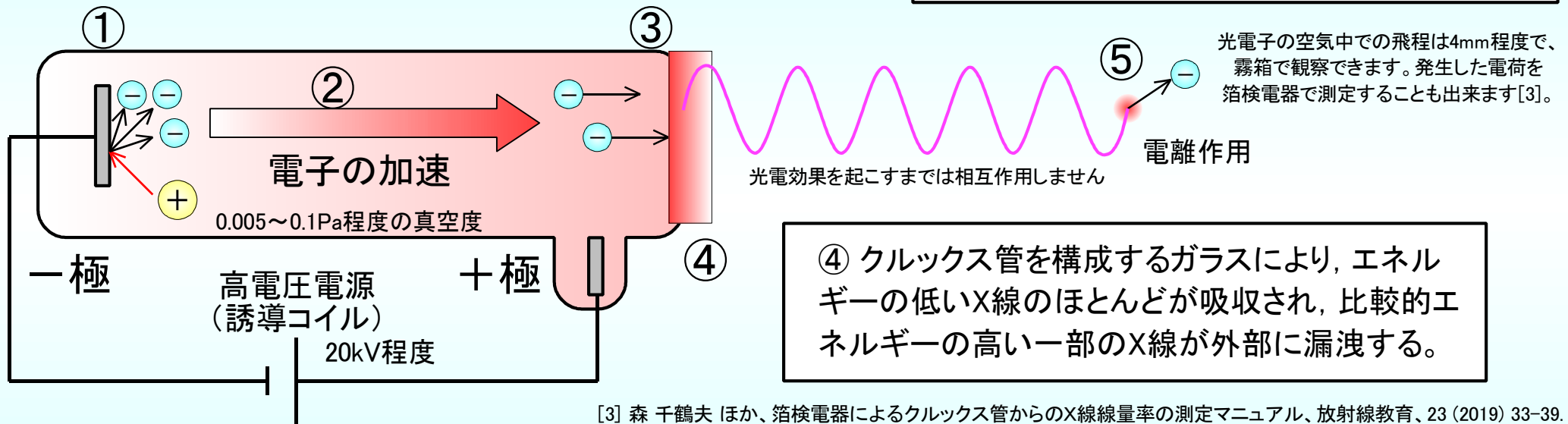
クルックス管のしくみ

① +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。

⑤ X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果で弾き飛ばす(電離作用)。弾き飛ばされた光電子は β 線と同様であり、体内ではラジカルの生成、DNA鎖の直接切断などにより放射線障害の原因となりうる。



④ クルックス管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一部のX線が外部に漏洩する。

[3] 森 千鶴夫 ほか、箔検電器によるクルックス管からのX線線量率の測定マニュアル、放射線教育、23 (2019) 33-39.

クルックス管に封入されているガスの量がガラスに吸着するなどして少なくなると、①で陰極に衝突するイオンが少なくなるため、二次電子の量が少なくなり、電流が流れにくくなります。その結果十分な二次電子が出てくるまで意図せずして高い電圧が印加されてしまい、④で漏洩する線量が大きくなってしまいます。

→ 20keV前後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ためです (15keV→30keVで100倍大きくなる)

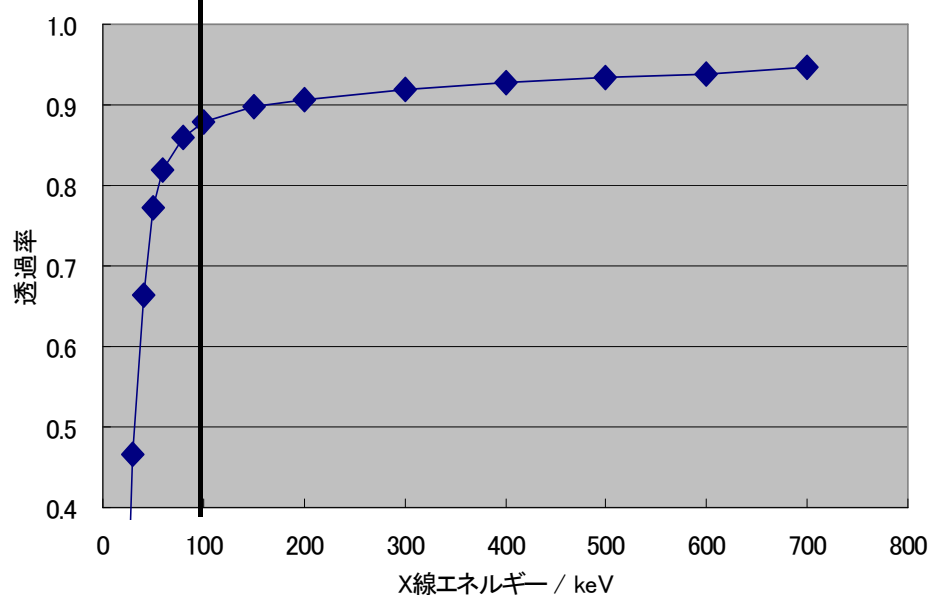
この状態となったクルックス管は、放電極距離を20mmにすると空中放電が激しい一方で、クルックス管に流れる電流は少なく観察が困難です。放電極距離を広げると高い線量が漏洩するため、買い換えが推奨されます。

放電極で最大電圧を抑えることが重要

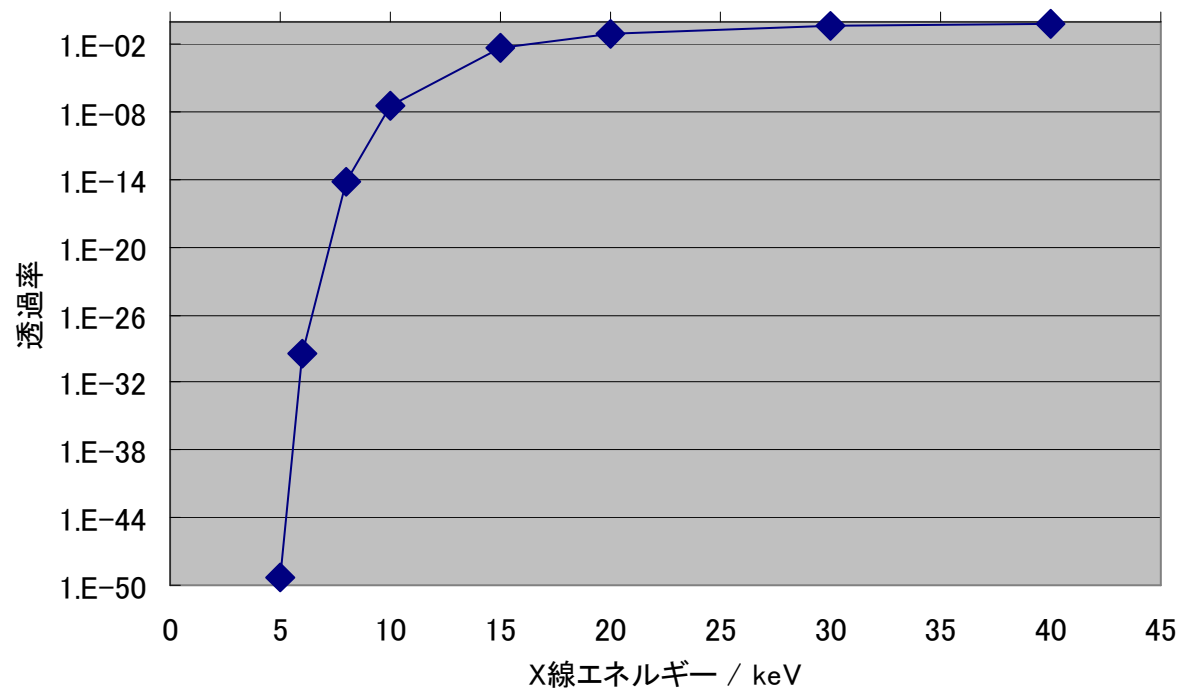
わずかな印加電圧低下での大きな線量の変化

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



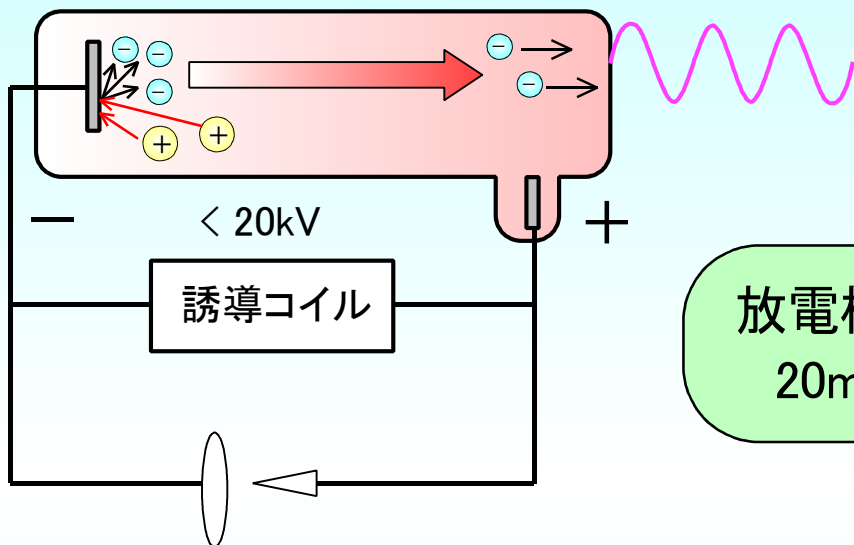
30keV と 15keV で約100倍違う。



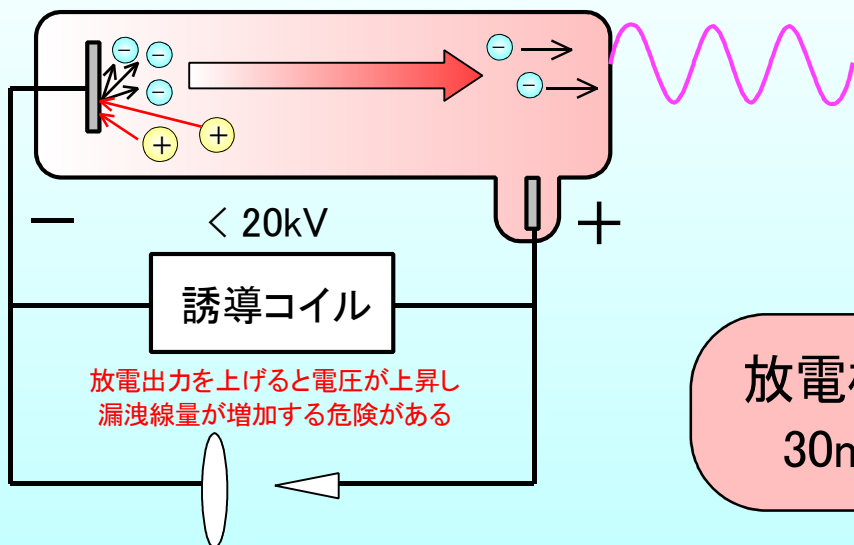
3mmのガラスに対するX線の透過率

放電極の働き

正常なクルックス管



クルックス管に正常に電流が流れて電圧が20kVより低ければ、放電極間には電流は流れない

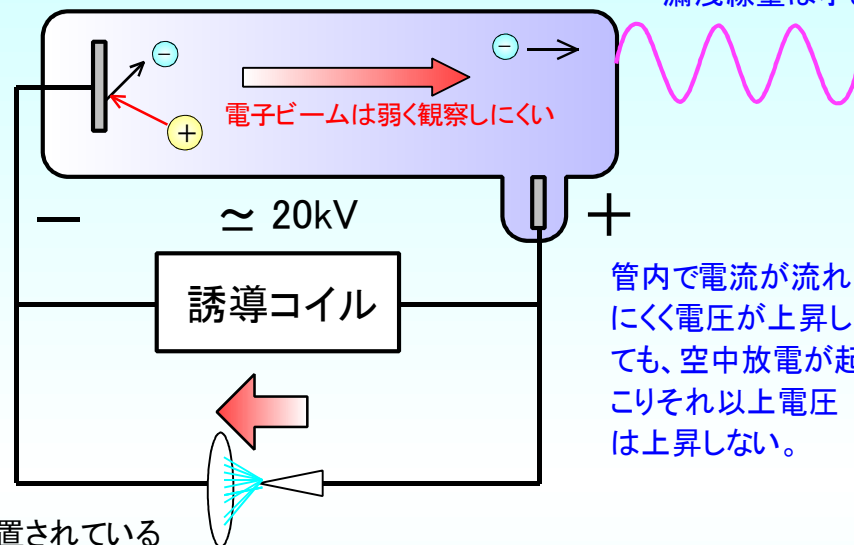


放電出力を上げると電圧が上昇し漏洩線量が増加する危険がある

放電極間距離が長くなっても変化はない

放電極間距離が20mmの場合

内部のガスが少ないクルックス管



ビームが弱いため漏洩線量は小さい

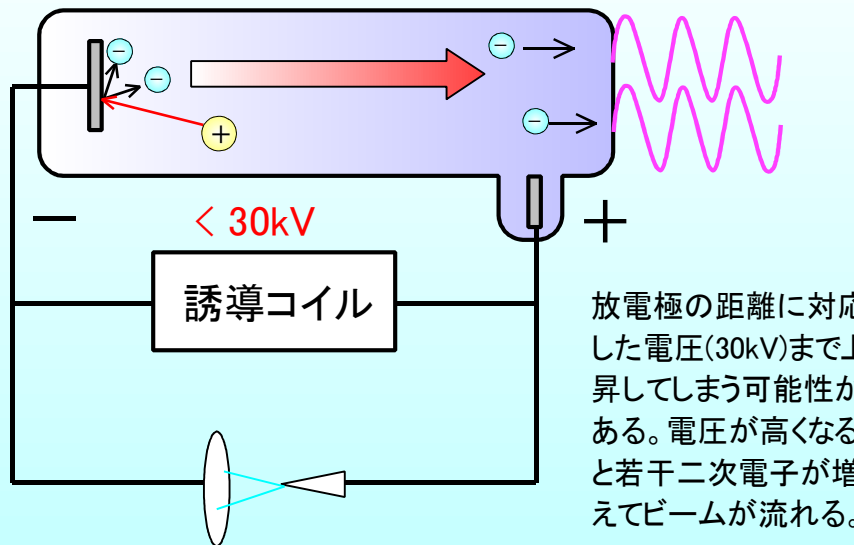
電子ビームは弱く観察しにくい

管内で電流が流れにくく電圧が上昇しても、空中放電が起こりそれ以上電圧は上昇しない。

並列に設置されている放電極間に電流が流れる

エネルギーが高いと透過率が高くなり、漏洩線量が増加する

放電極間距離が30mmの場合



放電極の距離に対応した電圧(30kV)まで上昇してしまう可能性がある。電圧が高くなると若干二次電子が増えてビームが流れる。

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
対策を行う必要がない

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)。

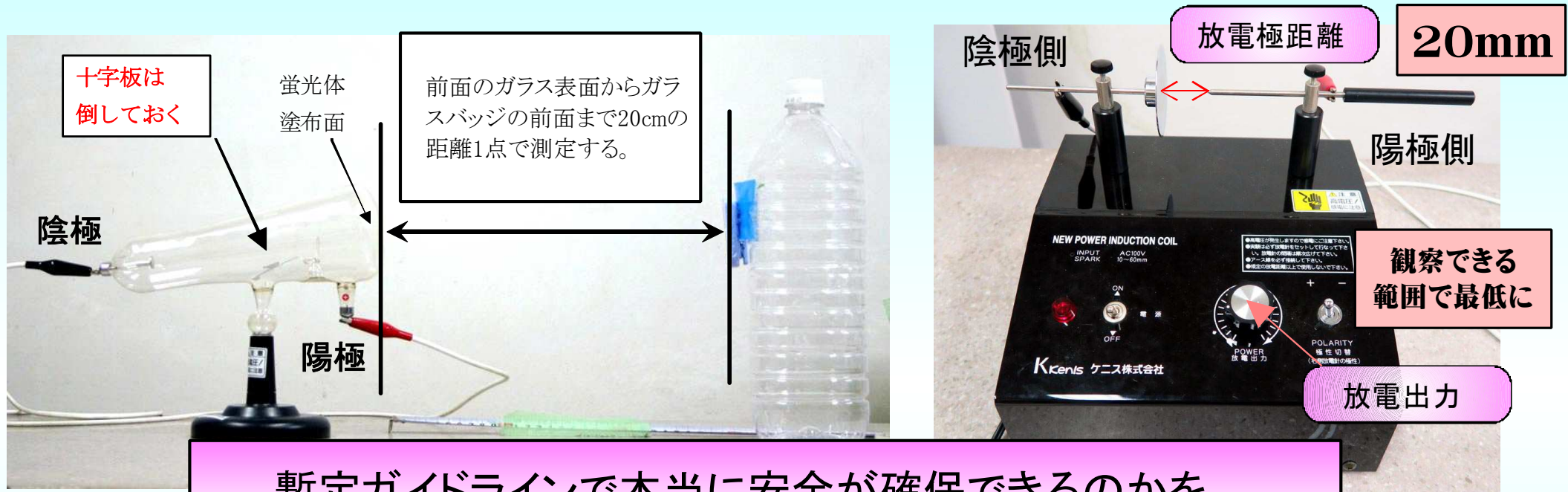
距離を取る: 最も簡単で確実である(距離の二乗に反比例して下がる)。

暫定ガイドライン

保健物理学会標準化委員会に於いて、学会標準とする事を目標としている。

- ・放電極を必ず使用し、放電極距離は20mm以下とする。
- ・放電極表面は清浄にした上で、円板電極側を-極にする
- ・誘導コイルの放電出力は、電子線の観察ができる範囲で最低に設定する。
- ・できる限り距離を取る。生徒への距離は1m以上とする。
- ・演示時間は年間10分程度に抑える。

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。

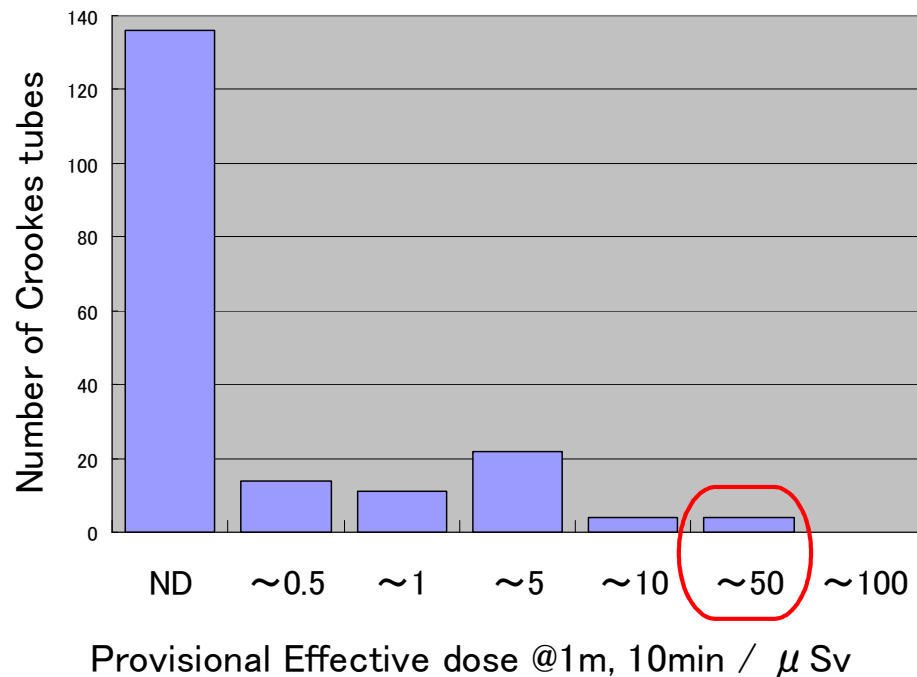
- ・クルックス管から 20cm の位置で、測定は10分間など統一したプロトコルで測定。
- ・ガラスバッジは大阪府大と各学校とを郵送でやりとりし、現場の先生の手により測定。BGの影響を抑えるために1月ごとに取りまとめて評価を行う。

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（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 10μ 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 10μ Sv を超えると評価されたが、3本は 20μ Sv 以下、1本だけ 42μ Sv に相当すると評価された。

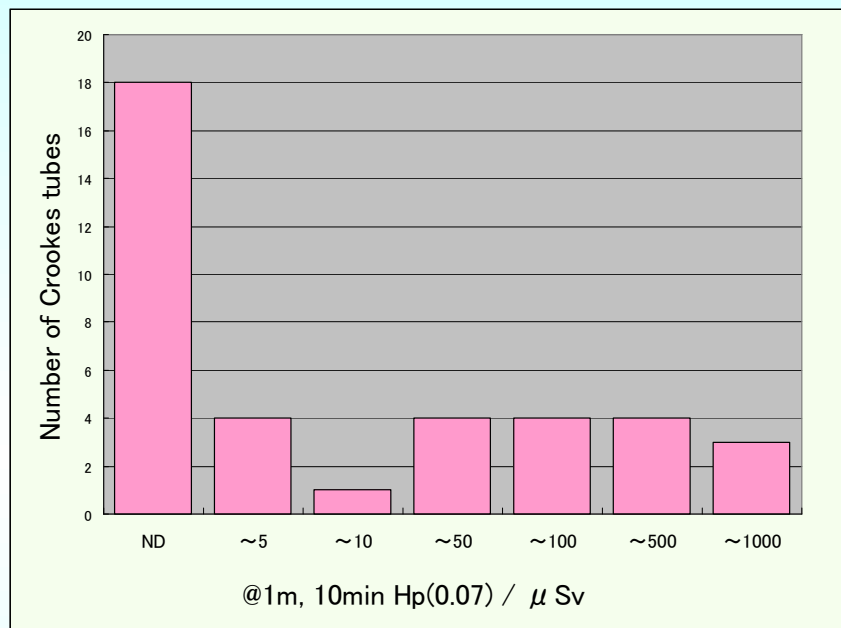
2018年の暫定ガイドライン適用前の実態調査では、37本中6本が距離 1m、10分間での実効線量が 10μ Sv を超える可能性があり、 93μ Sv と評価された装置もあった。

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 mSv、個々の授業ではその 1/10 (50μ 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。

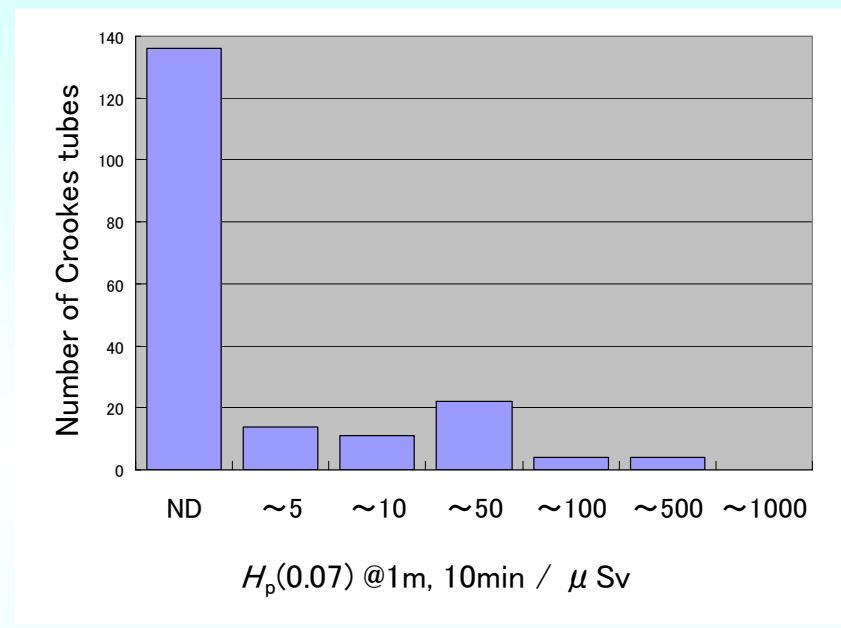
第二期実態調査結果（最終版）

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？

**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。

陰極

放電極距離

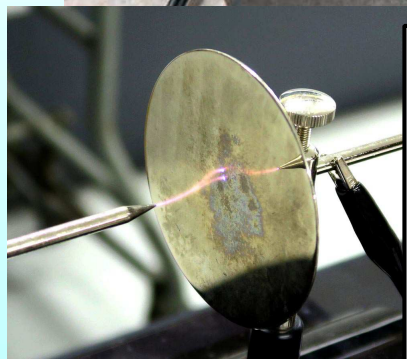
陽極

円板側が陰極、
針状の方が陽極
とした方が火花放電が
起こりやすくなります。

極性切替スイッチ

放電出力

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！**



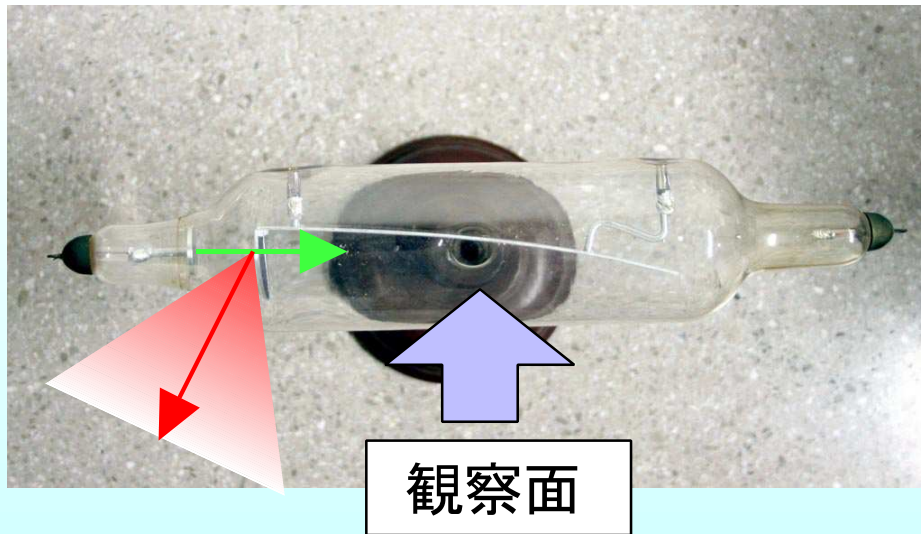
遮へいの有効性



○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。



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)。

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。

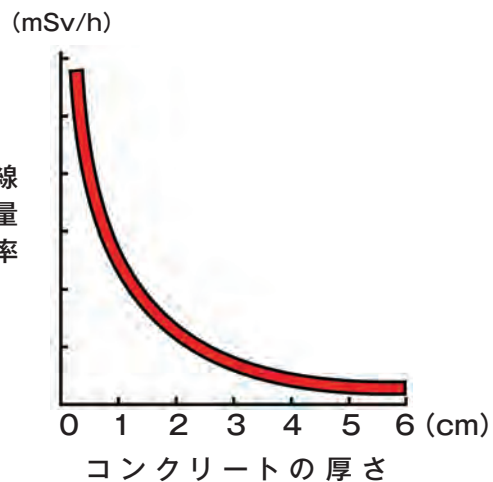
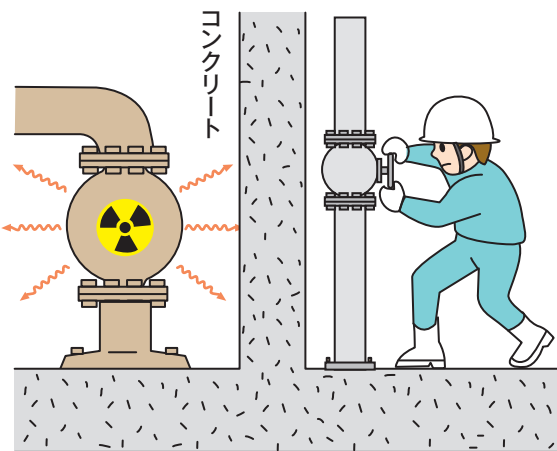
放電出力	Hp(0.07) (μ Sv/h)		透過率 (%)
	遮へい前	遮へい後	
0	600	11	1.8
1	620	12	1.9
2	1300	60	4.6
3	3000	160	5.3

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>

放射線防護の基本

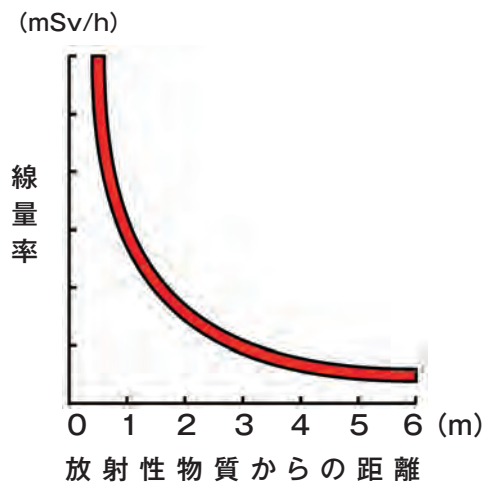
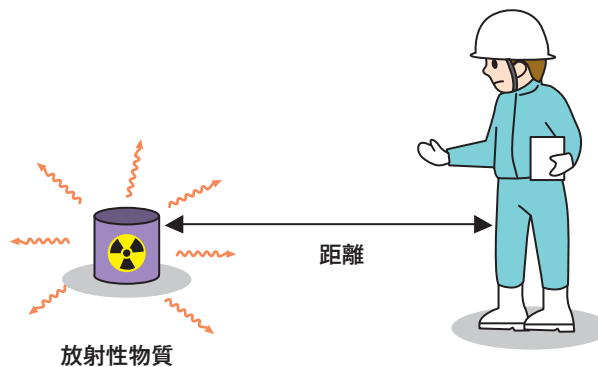
1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



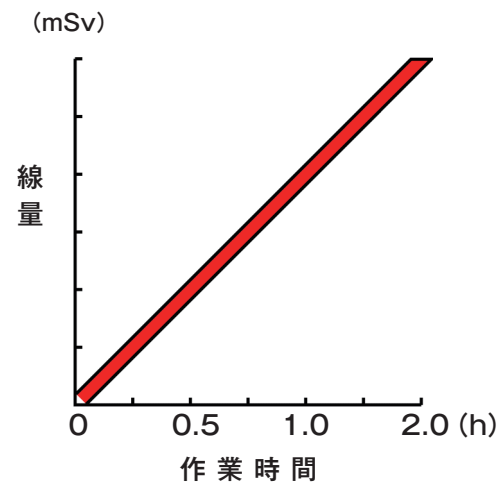
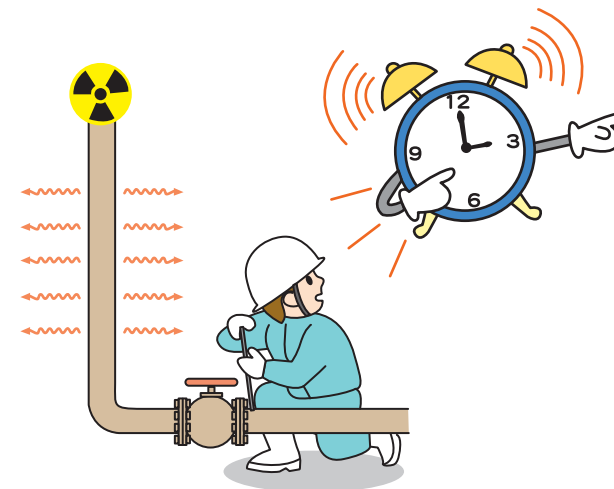
2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例



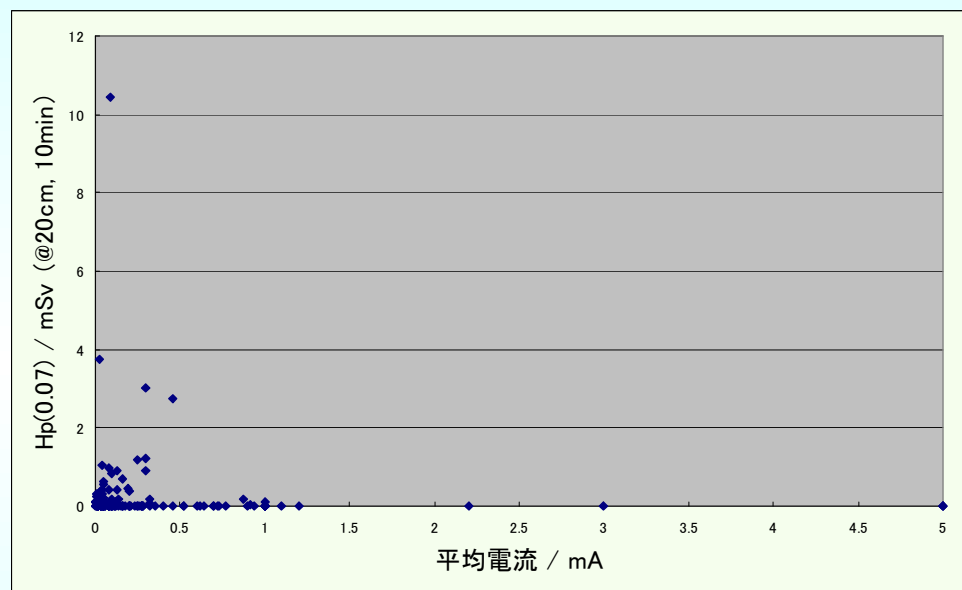
3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)

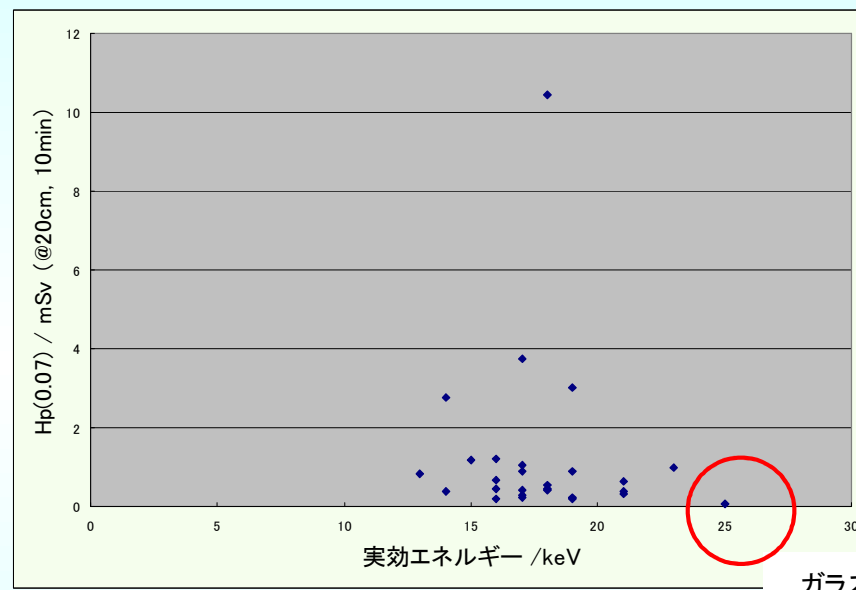


電流、電圧から危険な装置をスクリーニングできないか？

2019年第二期実態調査(全測定データ)



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流れにくいとは言えそう。



ガラスの水槽で
フィルタリングされたため

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。

学校の理科室にある程度の測定器ではスクリーニングは困難。
何らかの方法で線量評価を行う手段を提供する必要がある。

箔検電器を用いたX線の線量測定手法の開発

12

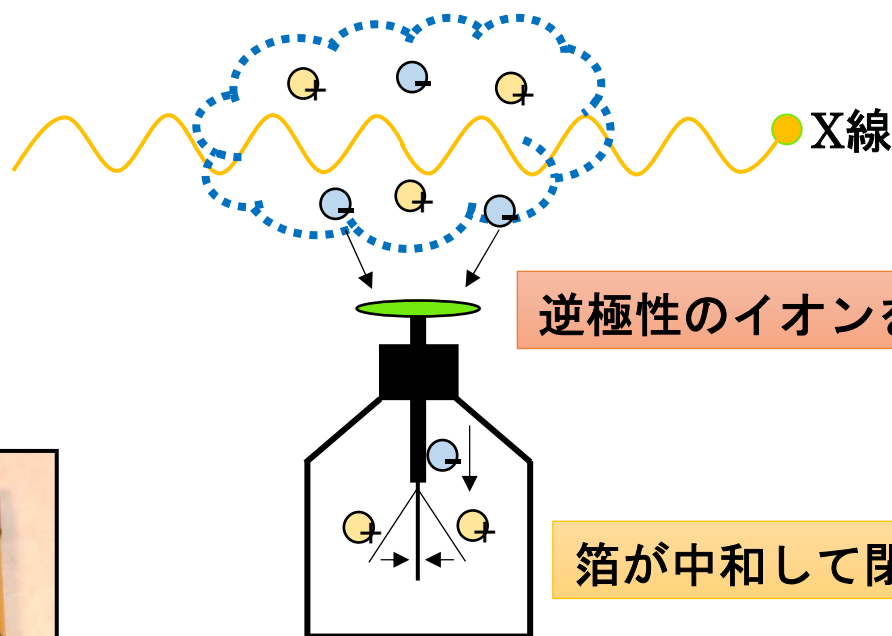
➤ 箔検電器について

箔検電器の箔の閉じる時間は、放射線が空気を電離することによって生成されるイオンの量に依存する。



使用した箔検電器
(はく検電器EA)

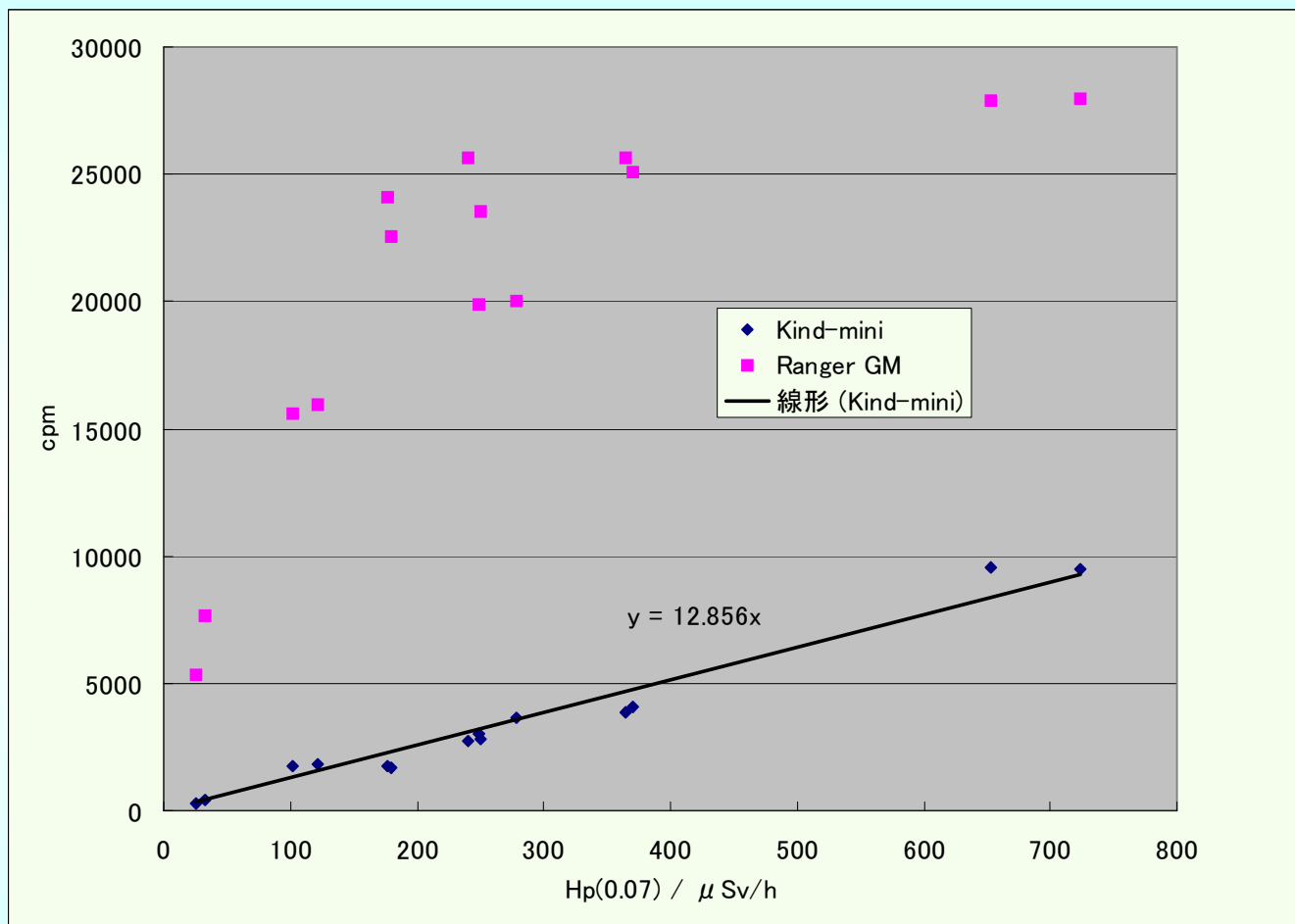
X線が空気を電離してイオンを生成



※箔検電器と同様の原理を用いた線量計として、ポケットチェンバーという携帯型の線量計が

古くから使われていた。

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。

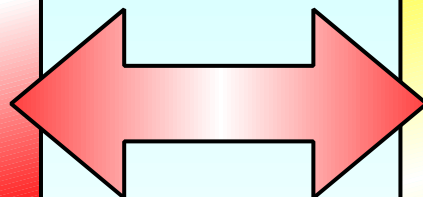
Inspector USB の後継機。

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 。

実際に使える教材とは？

コスト

手間



確実性

教育効果

実施に要する時間

直感的に体感できるか？

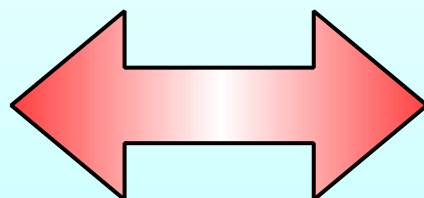
誰でも容易に使える汎用性

他のテーマへの発展性

ほとんどの場合で、お金もないし時間もない……

大学の研究者

実際の教育現場



相互のコミュニケーション
が不可欠

実際の教育現場の状況が分からない

教材開発まで行っている余裕がない
一部の熱心な先生しか実施できない

現在どういう内容について教えているのか知らない

従来の放射線教育コンテンツの限界・問題点

これまで長年にわたって様々な教育・研究者が放射線教育に従事し、霧箱や自然放射線の測定などのコンテンツが開発・改良されてきました。しかしながら、従来のコンテンツでは以下の様な限界があります。

- ・霧箱で飛跡が見えた、に留まっていた
- ・自然界に放射線・放射能が存在する、を確認するに留まっていた
- ・機材や消耗品が高価であり、調達が困難である
- ・学校教員からの現場のニーズが拾えていない

そこで、従来の放射線教育のその次を目指し、高性能な機材の開発、また極めて安価で直感的に放射線の本質を理解可能なコンテンツの開発を行っていますので、紹介致します。

これまでに開発してきた放射線教育コンテンツ

これまで関西各地でのオープンスクールや「みんなの暮らしと放射線展」において、様々な新規コンテンツによる放射線教育を実施してきました。

- 1) ペルチェ冷却式高性能霧箱と、簡易型大型霧箱による放射線観察
- 2) 極めて簡易、安価で確実、高性能な霧箱工作
- 3) UVレジンを用いたアクセサリ工作
- 4) 耐熱電線と熱収縮チューブの加熱の実演
- 5) 放射線検出器を用いた宝探しゲーム
- 6) 非破壊検査/厚さ計/密度計 の模擬

(2017/03/28 原子力学会春の年会 (2017) において発表済)

さらに、現在研究開発中の、塩と氷を用いた寒剤による霧箱の開発、クルックス管を用いたX線の霧箱による観察についても、紹介致します。

1) ペルチェ冷却式高性能霧箱

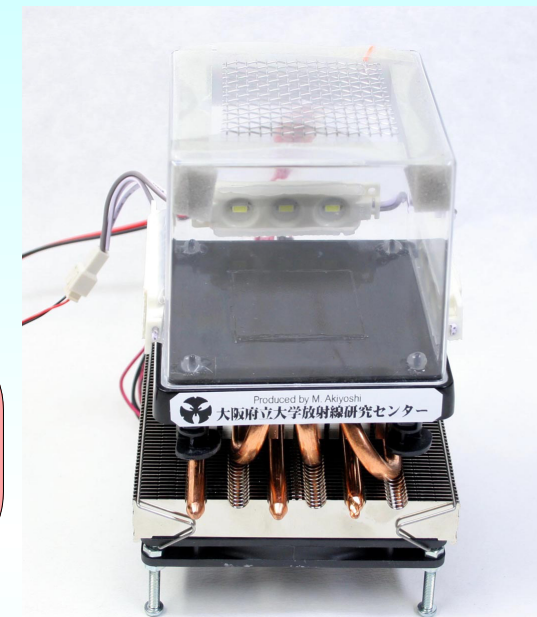
従来型の霧箱の問題点

- ドライアイスの準備、補給が必要で、長時間の連続展示が困難
- アルコールの補給などでチャンバーを開けると復帰まで数分かかる
- 高温型の霧箱は起動に時間がかかり、子供向けにはヤケドの危険
- 市販のペルチェ冷却型は非常に高価
- 天候などにより飛跡が観察できないことも
- α 線の飛跡が見えた、だけに留まっていた

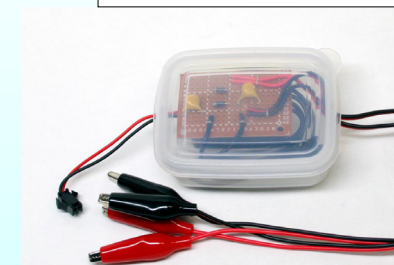
2017年5月出荷分より
高圧電極配置の変更とチャン
バー密閉度の向上で大幅
に観察効率が上がり、悪天
候時でもより確実に使用頂
けるようになりました。

本製品の特徴

- ドライアイス不要で長時間安定してクリアな飛跡の観察が可能
- α 線の飛跡の観察に加えて、 β 線の飛跡の観察も可能で、
さらには γ 線により弾き出された光電子なども観察可能
- 放射線の種類による物質との相互作用の違いを直感的に学習出来る
- 市販品を使用して安価に押さえており、複数ユニット購入が容易



最新の本機ユニット



コッククロフト型高電圧ユニット

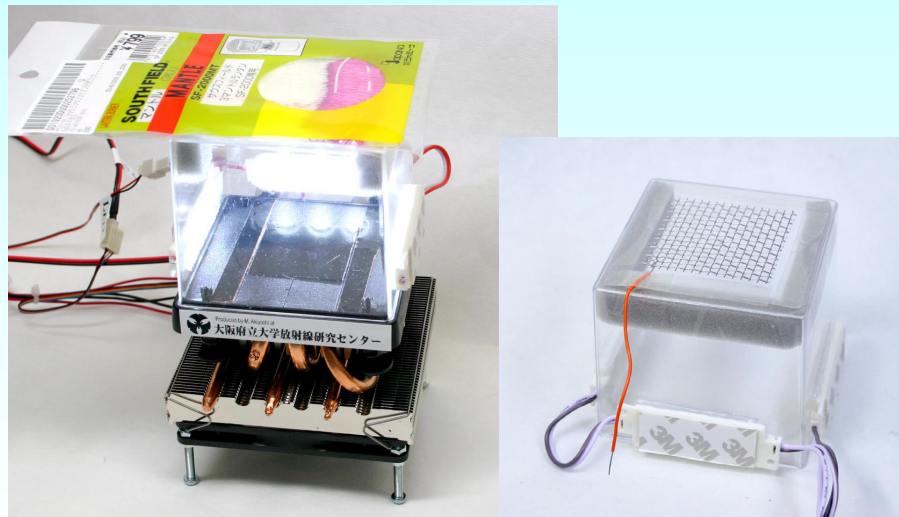
本製品は、大阪ニュークリアサイエンス協会を通じて販売を行っております。
大学・官公庁の公費売掛にも対応しておりますので、onsa-ofc@nifty.com
までお問い合わせ願います。

より詳しく本製品のことを知りたい方は、以下のウェブサイトをご覧ください。
<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm>



ホームページQRコード

高性能ペルチェ冷却霧箱運用について

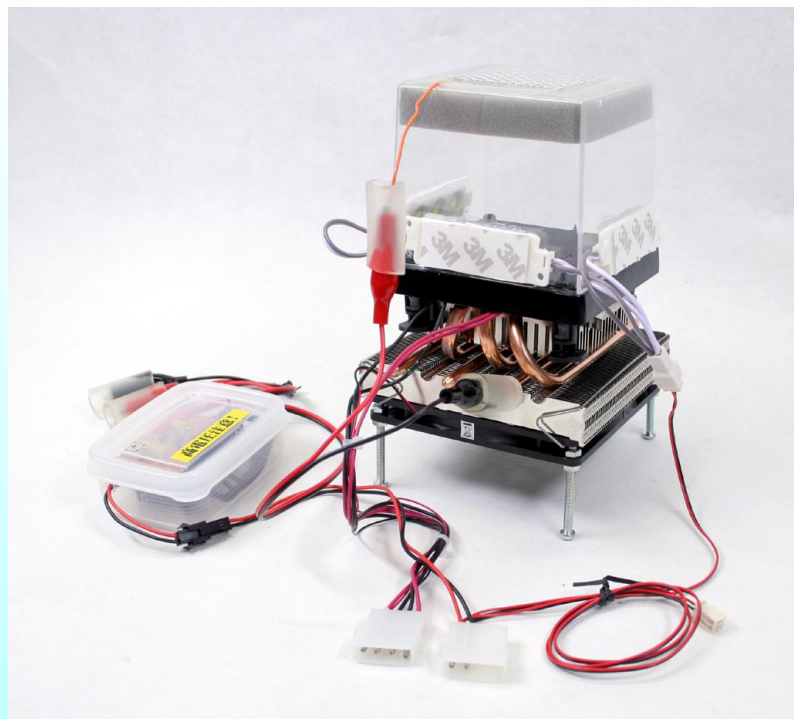


線源としてはランタン用マントルがやはり最適。季節物なので、冬場は入手困難なので注意。
サウスフィールド SF-2000MT, DX-HP マントルは現在トリウム含有が確認されている。

β 線観察時は、線源をチャンバーの上に置いて観察すると良い。上から入射しても β 線は散乱されるため底面に平行に走る電子が観察される。

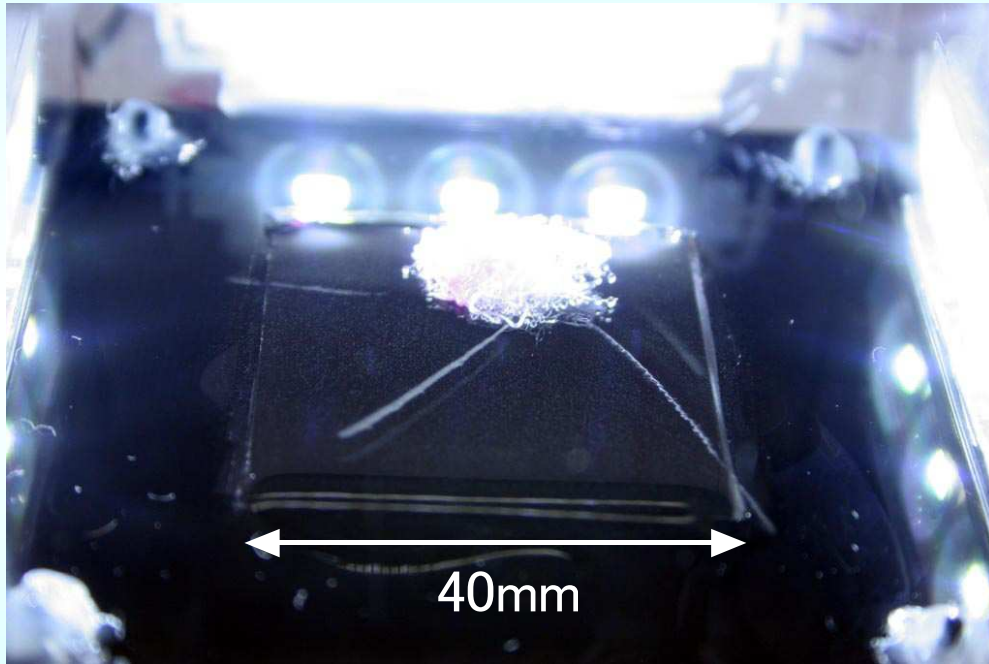
アルコールは試薬用の高純度エタノールでなくても、消毒用の物でも、イソプロピルアルコールが入っている物でも問題無い。しっかりとスポンジにしみこませる事が重要。一度補給すれば丸一日補給無しで内部でアルコールが循環し続ける構造。

適切な高電圧印加により、悪天候時でも明瞭な飛跡を観察可能。しかし依然としてストーブや加湿機を使用している部屋での観察は困難である。



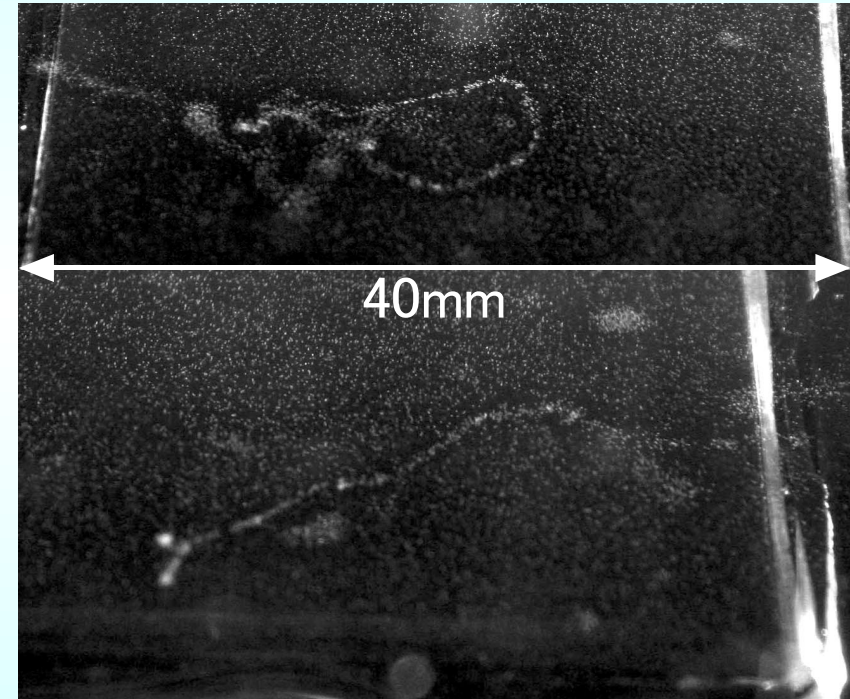
霧箱での飛跡の観察

α 線の飛跡



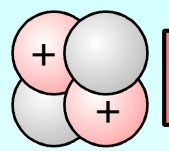
真っ直ぐで、はっきりとしています。
空気中を数cm飛んだだけで
止まってしまいます。

β 線の飛跡

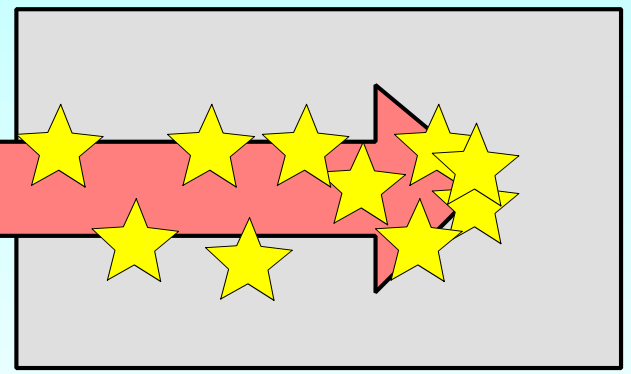


糸くずのよううっすらとした、
曲がりくねった跡を残します。
よく見ないと、見ることはできません。

アルファ
α線



ヘリウムの
原子核



狭い範囲に一気に
エネルギーを放出します

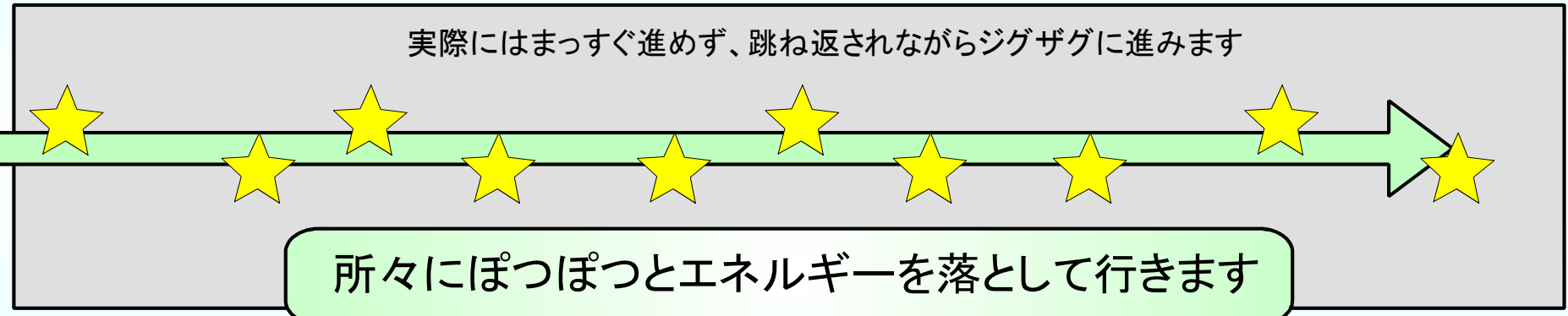
★
放射線がエネルギーを
物質に与えたところ
(電離、励起など)

水の中では数十μm程度、空気の中でも数cmしか飛ばず、紙一枚で止まってしまいますが、その範囲に一気にエネルギーを放出します。

ベータ
β線



電子
ヘリウムの原子核の7000分の1の重さしか有りません



実際にはまっすぐ進めず、跳ね返されながらジグザグに進みます

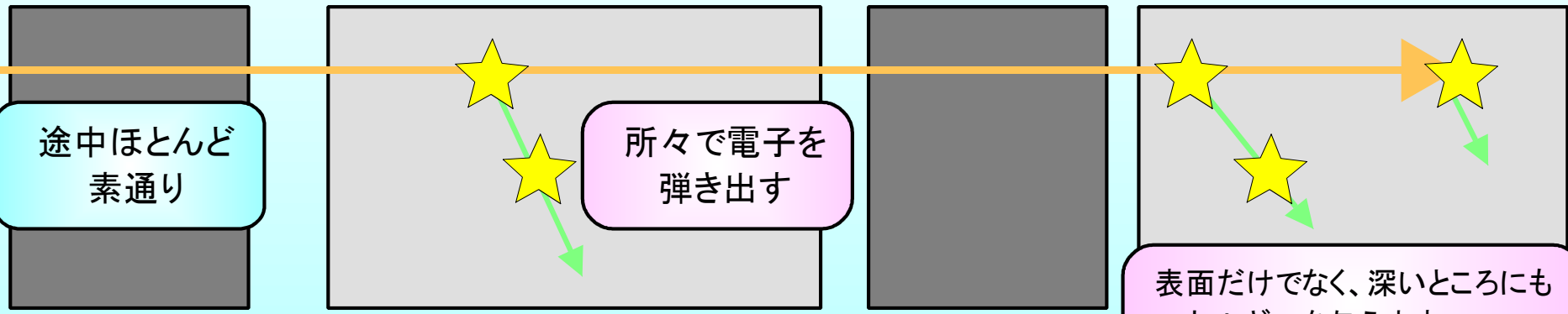
所々にぽつぽつとエネルギーを落として行きます

水の中でも1cm程度、空気の中では数m飛んでいき、少しずつしかエネルギーを落としません。

ガンマ
γ線

波長の短い
光の仲間

プラスやマイナスの電気を
持っていないため、ほとんど
素通りしていきます



途中ほとんど
素通り

所々で電子を
弾き出す

表面だけでなく、深いところにも
エネルギーを与えます。

弾き出された電子は、β線と同じように振る舞います

様々な霧箱展示

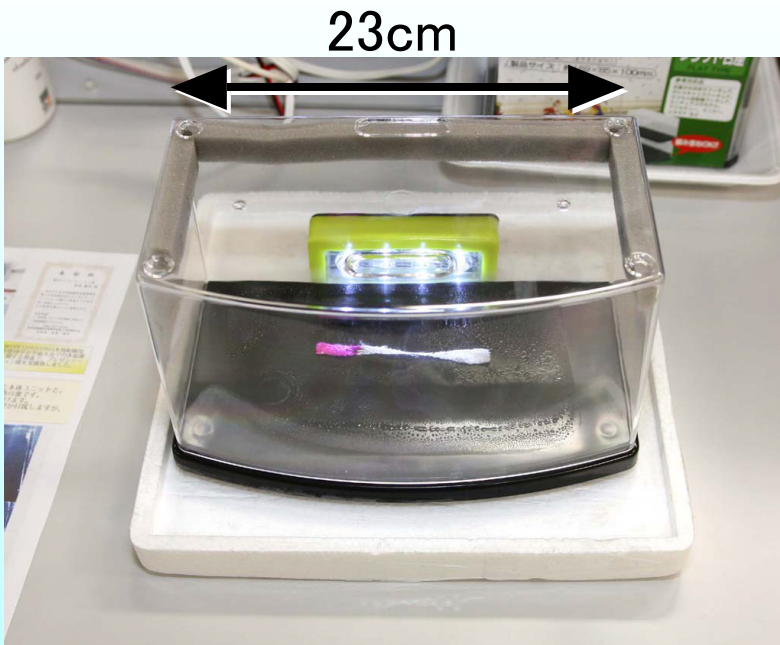
戸田式大型霧箱

- ・過飽和層が厚く立体的に飛ぶ飛跡が容易に観察できる
- ・極めて高価(100万円程度)で、ドライアイス、エタノールの補給を頻繁に行う必要がある
- ・上に線源を置いての β 線の観察は出来ない。



ペルチェ冷却式高性能霧箱の展示

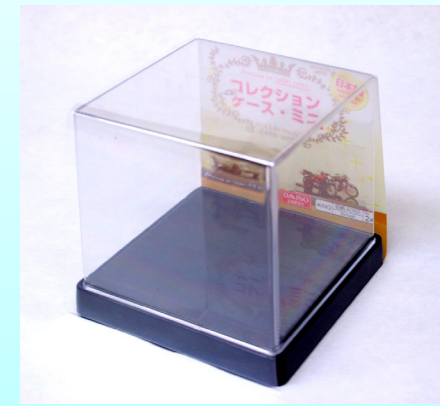
- ・観察面は狭く過飽和層は薄いがシャープで飛跡そのものを明瞭に観察可能。
- ・比較的安価なため、多数のユニットの展示が可能
- ・ α 線と β 線の飛跡を別のチャンバーを見て比較できる



- ・ダイソーの大型コレクションケース(300円)とLEDブロックライトで製作した霧箱。
- ・ドライアスを底面に敷き詰めることで、大面積の霧箱が極めて容易に作成可能
- ・100円の横長タイプ(約17cm)のコレクションケースでも同様に製作可能

2) 極めて簡易、安価で確実、高性能な霧箱工作

- ・ダイソーのコレクションケースを使用した霧箱工作
 - ・ポリスチレン製でアルコールに侵されない
 - ・台座が黒く紙などを敷く必要がなく、薄いため短時間で冷却される
 - ・工作は実質スポンジテープを貼るだけ。
短く切っているので貼付けも容易で、説明を除くと15分かからない
 - ・アルコール注入もスポイトを使う必要がない
 - ・確実に全員飛跡を観察できた
- ・極めて安易、高性能、低価格で入手性にも優れており、今後の霧箱製作の標準とすることでノウハウの共有も行う事が出来る。



3) UVレジンを用いたアクセサリー工作

- 放射線重合の説明の一環としてUVレジン硬化の実演を実施
- 赤外線、可視光線からX線、 γ 線に続く電磁波の一つとして紫外線を説明
- 手芸コーナーでUVレジンによるアクセサリー工作は人気のジャンル
- Amazon, 100均ショップなどでも必要な資材が容易に入手可能
UVランプはネイル用のものが3000円程度で入手可能。



X線、γ線、電子線 などの放射線

シンナーなどの薬品を使わないので、
体と環境に優しいよ!



グラフト
(接ぎ木)
重合

放射線
の力で刺激を
与えます (励起)

バラバラの分子

重合

刺激された分子は、お互いに
くっついて、高分子の固体に
なります

中まであっという
間に固まるよ!

高分子の枝がよきよき
伸びていきます



UVレジン液



UVレジンを使ったアクセサリ

伸ばした枝の性質を上手くコントロールすると、海水中の金属を集めるような機能を持った高分子を作ることができます。

UVレジン
はX線やγ線よりも
エネルギーの低い、紫外線でも重合して固体に変わります。

UVレジンを使って、オリジナル
アクセサリを作ってみよう!

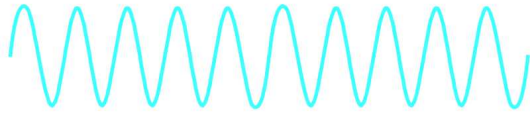
海の中のお宝を取り出せるかも?!



目に見える光じゃ固まらないよ!

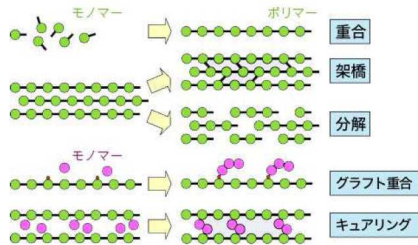
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



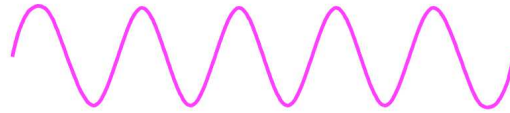
電離作用

原子核
電子
放射線



エネルギーの大きいガンマ線やエックス線は、物体の中を突き抜けていき、その途中の原子の周りの電子を弾き飛ばす働きがあります。この力を使って、注射器などの医療用の器具を滅菌したり、様々な機能を持った高分子化合物を作ったりすることが出来ます。

紫外線

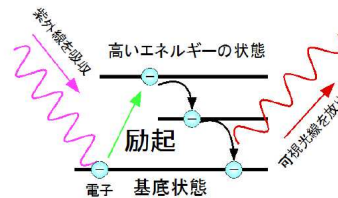


< 太陽光線の種類 >

UVC はオゾン層で吸収されるため地表には届かない。

200 280 320 400 760 nm

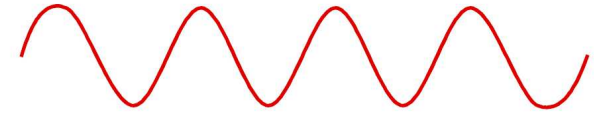
1nm (ナノメートル)=100万分の1mm



可視光線よりも少しエネルギーの高い紫外線は、目には見えませんが、物体の中の電子に少しだけエネルギーを与えて「励起(れいき)」させることが出来、日焼けの原因になったり、「UVレジン」と言う接着剤を固めてアクセサリーを作ったり、ウランガラスなどの蛍光体を光らせることが出来ます。

エネルギー 小

可視光線

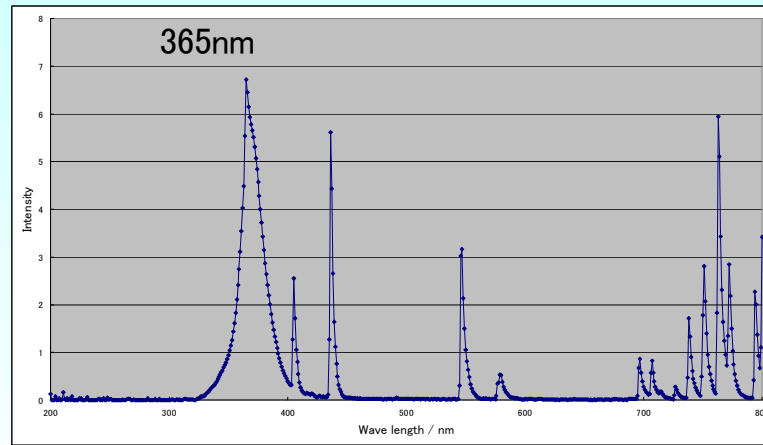


目で見える光、可視光線は波長が長くエネルギーの低い赤から、波長が短くエネルギーの高い紫までの間で、虹の七色のように見え方が異なります。光も電磁波の一種ですから少し電子を励起して、写真フィルムを感光させたり、太陽光発電を行ったり、植物の葉緑体の中で光合成を行うなどのパワーを持っています。波長(波の長さ)と位相(波の位置)の揃った光のことを、レーザー光線と言い、強度(波の高さ)がとても強く、遠くまでまっすぐ飛ぶなどの性質があります。

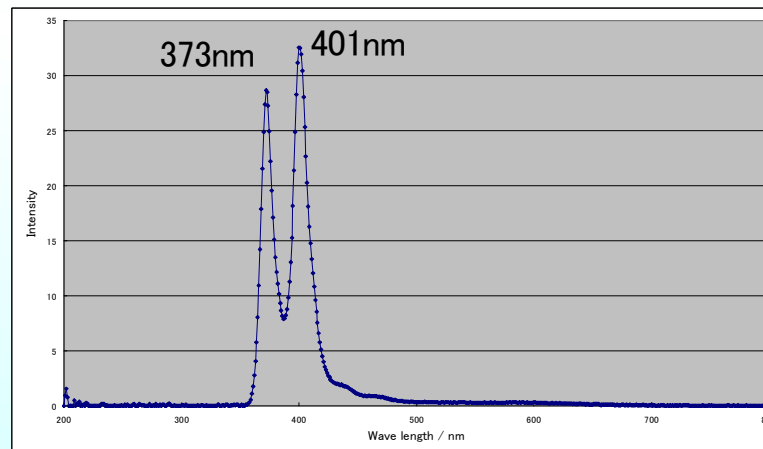
UVレジン工作の安全性



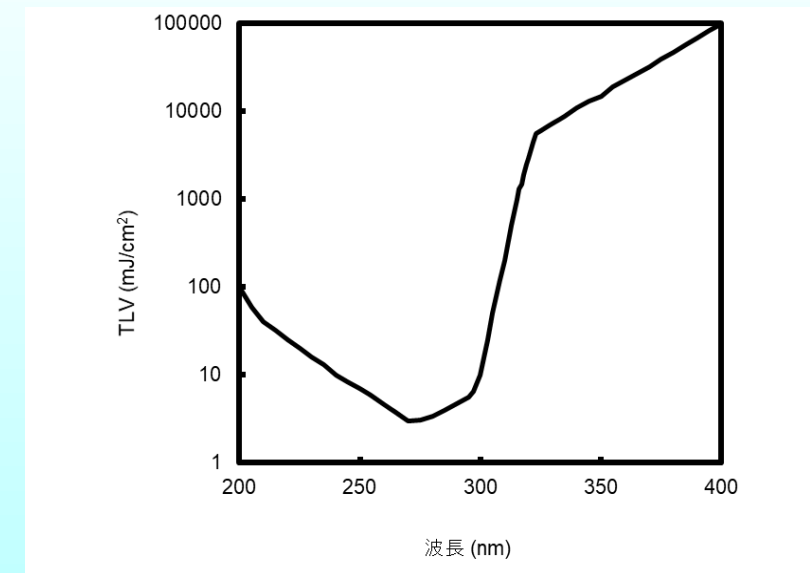
蛍光管式 UV-A 照射器



LED式 UV-A 照射器



紫外線は波長によってその作用効果が大きく異なる。殺菌/ウイルス不活化に用いられる際は DNA への吸収特性が 260 nm 付近に吸収のピークを持つため、波長 254 nm の低圧水銀ランプが殺菌灯として用いられている。人体に対する障害の度合いも波長によって大きく異なり、目と皮膚に対して1日に浴びることが許容される紫外線の波長毎の積算照度を許容限界値 (TLV: Threshold Limit Value) と呼んでおり、JIS Z8811 に示されているほか、国際的にも同じ値が用いられている。



UVレジン工作の安全性

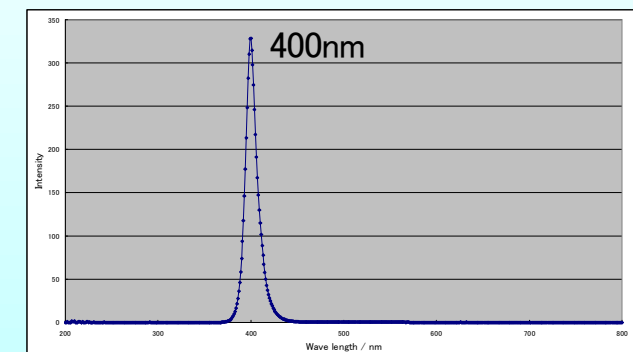
UVレジン硬化用の360-380nm程度の波長のUV-A領域の紫外線に対する TLV は20~30J/cm² にも達するが、放射照度計による照度測定結果は蛍光管式 UV-A 照射器は中央付近でおおよそ2.4mW/cm² 程度であり、ピーク時の太陽光と同等であった。漏れ光は本体入口直近で1.5 mW/cm²、10cm, 20, 30cm 離れるとそれぞれ 0.3, 0.09, 0.03 mW/cm² 程度となった。同様に LED 式 UV-A照射器では最大5.1 mW/cm²で、入口付近垂直面では 2.0 mW/cm²、10cm, 20, 30cm 離れるとそれぞれ 0.85, 0.36, 0.20 mW/cm² 程度となった。

この結果から、安全側に考えTLVを 20J/cm² としてもこの値に達するためにはLED 式の照射器の入口直近で10,000秒凝視し続ける必要があり、少し離れたところで作業を行う一般的なレジン工作などでは全く問題無いと言えることが出来る。

また、一般の子供向けに販売されているUVペン(スパイペンなどの名称で販売されており、可視光では見えない蛍光インクを光らせて秘密のメッセージをやりとりする)は、ピーク波長が400nm とほとんど可視光の領域であり、TLV は100J/cm² にもなる。放射照度計での測定では直近でも0.2mW/cm² 程度であり、TLV に達するには直視したとしても500,000秒(139時間程度)を要する。

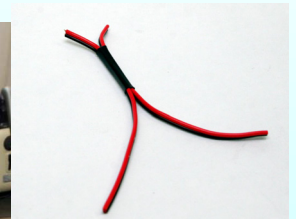


スパイペン

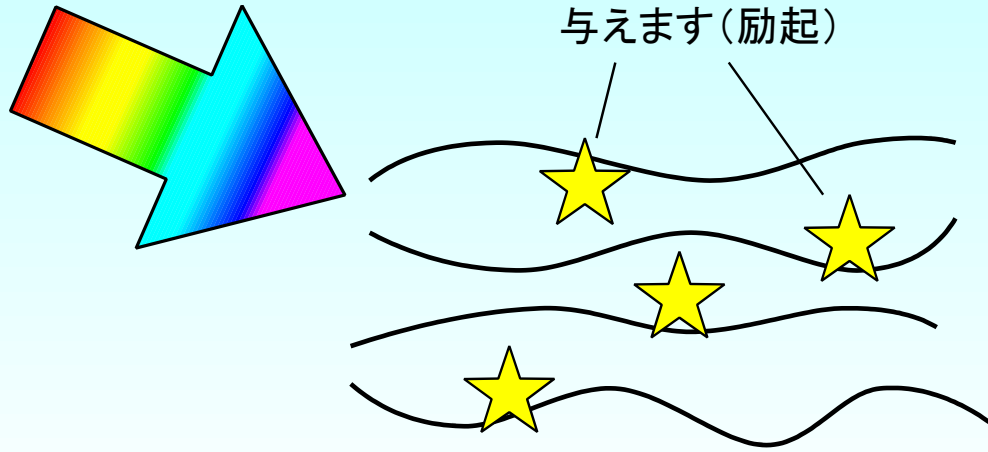


4) 耐熱電線と熱収縮チューブの加熱の実演

- ・放射線による架橋で強化された材料の実例として、耐熱電線に熱収縮チューブをかけてドライヤーでシュリンクさせる実演を行った
- ・株式会社サンルックスより市販されている、放射線橋かけ技術を活用した形状記憶樹脂の実演も行った。
- ・東洋タイヤ製のタイヤ現物の展示も行った。照射前の生ゴムもあると説得力があるか

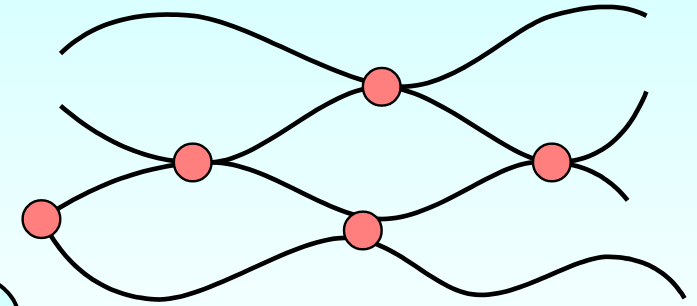
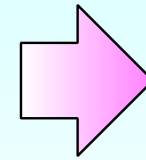


X線、 γ 線、電子線 などの放射線



お互いに連結されていない
長い高分子の鎖

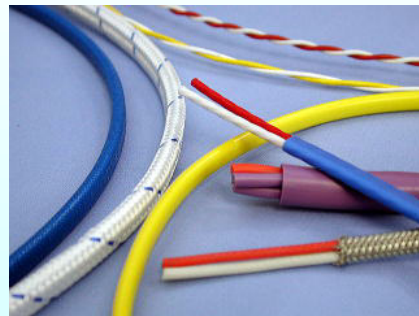
刺激されたところがお互いにくっついて、
網目状になり、強い高分子になります



橋かけ



タイヤのゴムは、放射線
で架橋することで引
っぱり強度などを高め
ています。



電線の被覆材も、放射
線で架橋することで熱
に強くしています。

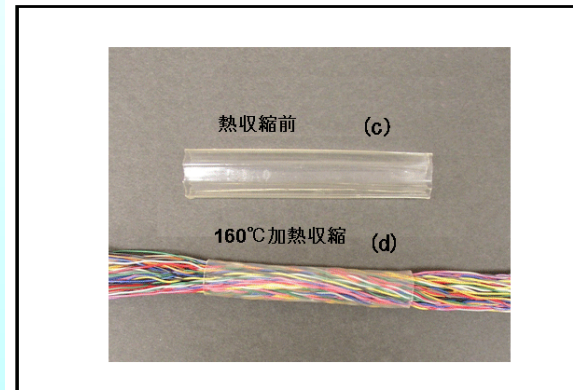
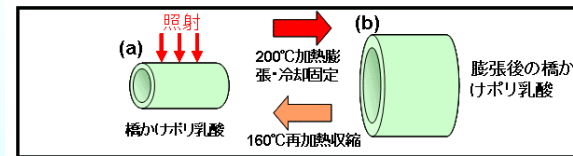


図8 橋かけポリ乳酸による熱収縮チューブ

[出典]長澤尚胤、吉井文男:デンブから開発した透明な耐熱型生分解性熱収縮材、プラスチック、57(No.2)、56-59(2006)

熱収縮チューブは、放射線
で架橋して強くしたあとに
引っ張って伸ばしてしま
すが、ドライヤーで暖めると縮
んで元に戻ろうとします。

電線をハンダ付けした後、
絶縁するためのチューブと
して利用されています。

5) 放射線検出器を用いた宝探しゲーム

- ・平たい薄い箱の中にラジウムボールをポリパックに入れ、宝の地図を印刷したフタをして、 β 線を検出可能なサーベイメーターで探させる
- ・目に見えない物を探せる、少し離れると測れない、自然放射線が気まぐれに来るなど、色々な要素を学習可能
- ・ラジウムボールの数で難易度調整が可能
- ・大学生レベルでも、汚染検査の模擬として使用出来る



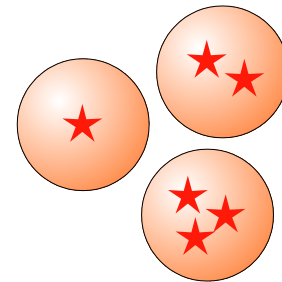
探知機を使って 宝の玉を探し当てよう!



宝の地図に隠された目に見えない玉を、放射線の力を使って探し当てよう!

探知機は何もないところでもきまぐれに反応するので、ゆっくり探さないとなかなか見つけれないぞ!

Pi..PiPiPi..

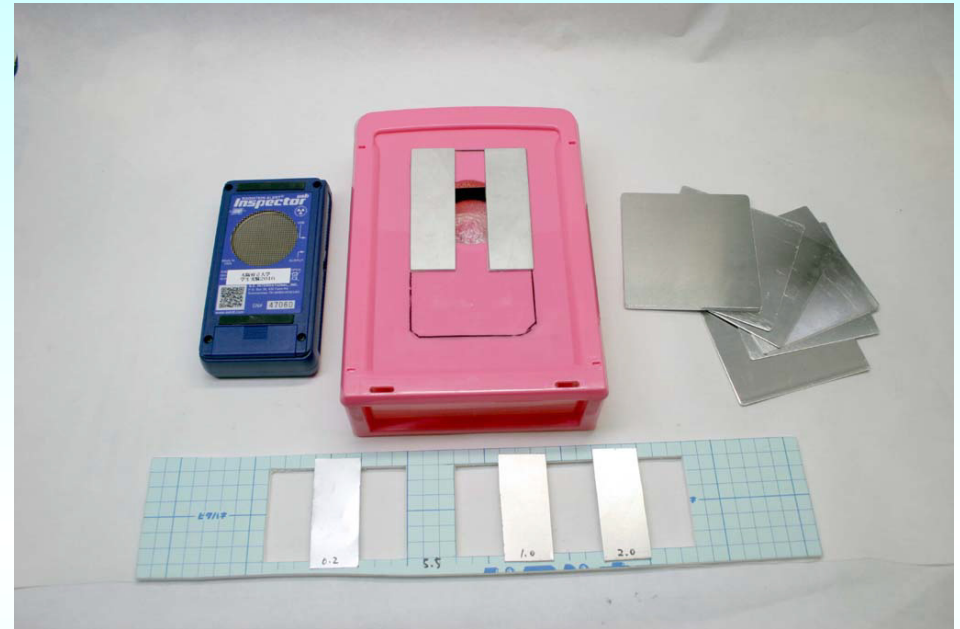


箱の中に隠してある、弱い放射線を出す「ラジウムボール」を、放射線検出器（GMカウンター）を用いて探し出します。ボールから少し離れると、急に弱くなるため、自然放射線と区別できなくなってしまいます。自然放射線は気まぐれにやってくるので、ゆっくり、じっくり探しましょう。



6) 非破壊検査/厚さ計/密度計 の模擬

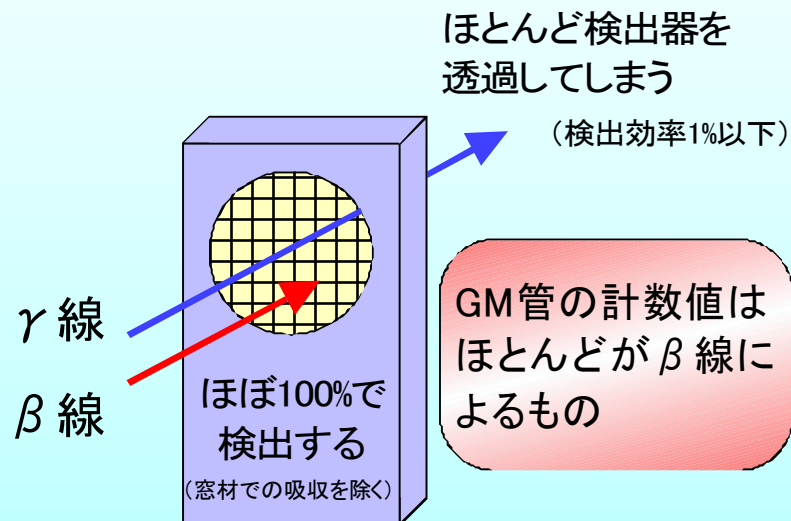
- ・インスペクターUSB GMサーベイメーターを用いた計数率変化の測定システムを開発
- ・複数の厚さのAI板を並べた試料板をゆっくりスキャンすることで、見えない部分の内部が見える非破壊検査と、測定対象の厚さが分かる厚さ計、もしくは材質・密度の違いが分かる密度計の模擬となる。



インスペクターUSB GMサーベイメーター



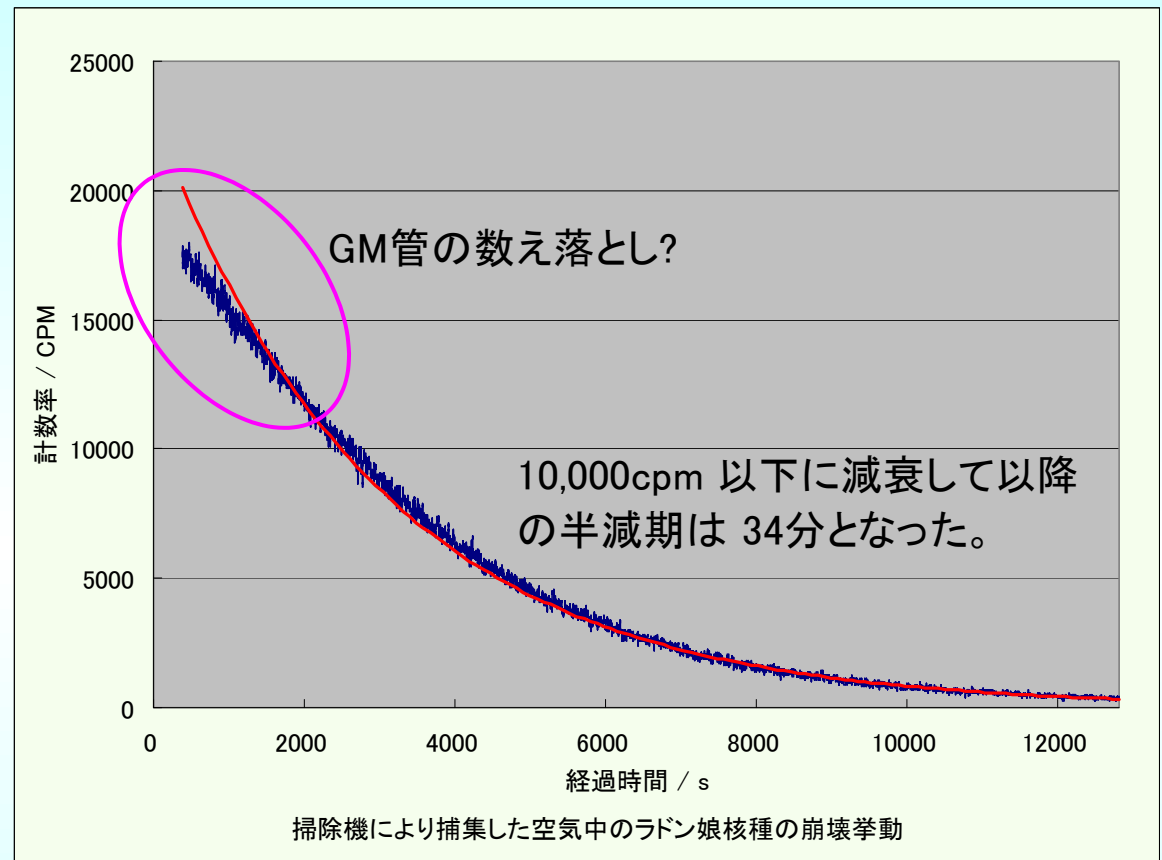
- ・ $\phi 45\text{mm}$ のパンケーキ型(端窓型) GM管を使用しており、高感度で高性能な割に 9万円弱と比較的安価
- ・PCにUSB接続して付属のソフトで連続的に計数率を記録、グラフ表示可能であり、トレンドを追うことができる。
- ・ラドン娘核種の崩壊挙動評価を40分程度の短い実習時間で他の実習をしながら実現可能



計測されるのはほとんどが β 線であることに注意。 $\mu\text{Sv/h}$ の実効線量率を表示するモードもあるが、 β 線は遮蔽されていることが前提。

GM管の計数値はほとんどが β 線によるもの

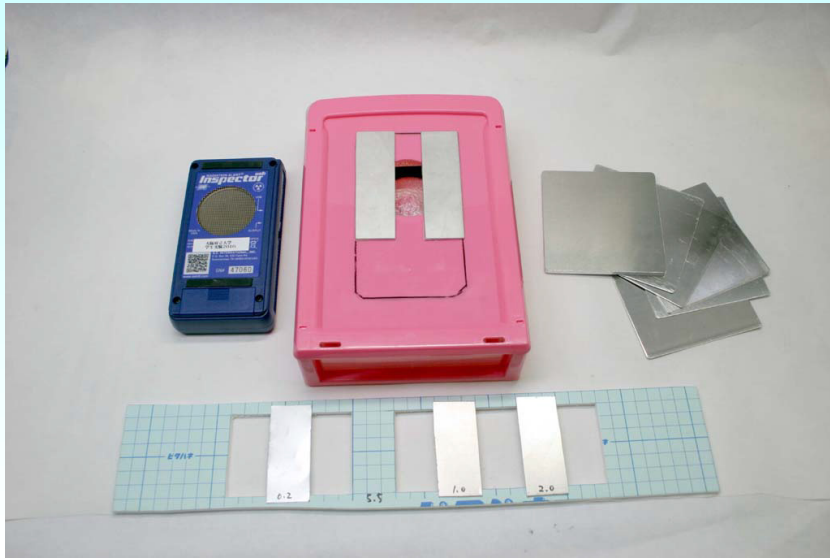
空気中のラドン娘核種の崩壊挙動



半減期30-40分程度で授業時間内での減衰挙動の評価が可能であり、最も身近でかつ強力な線源として使用が可能。多くの方がエアダストサンプラーの模倣から目の詰まったろ紙のようなフィルターを使用しているが極めて効率が悪く、ベンコットのようなガーゼを利用することで5分程度で十分な強度の線源を捕集可能。

極めて条件がよい場合、インスペクターUSBで 17,000cpm 越えという、マントル線源に匹敵する強度の線源を作り出すことも可能である。

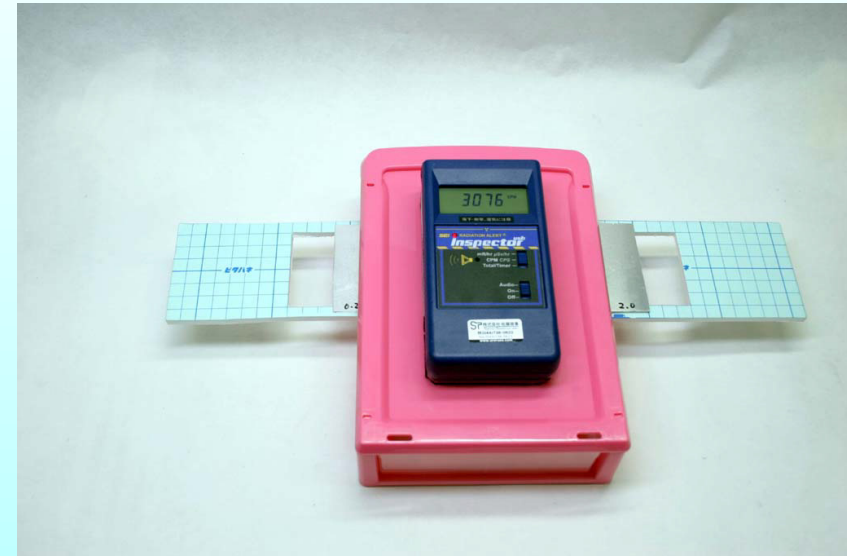
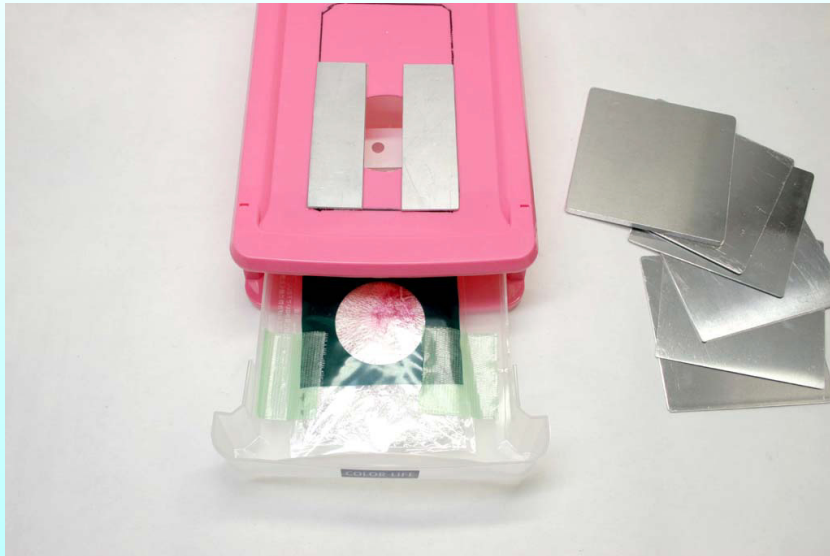
簡易な引出しを用いた遮蔽率測定体系



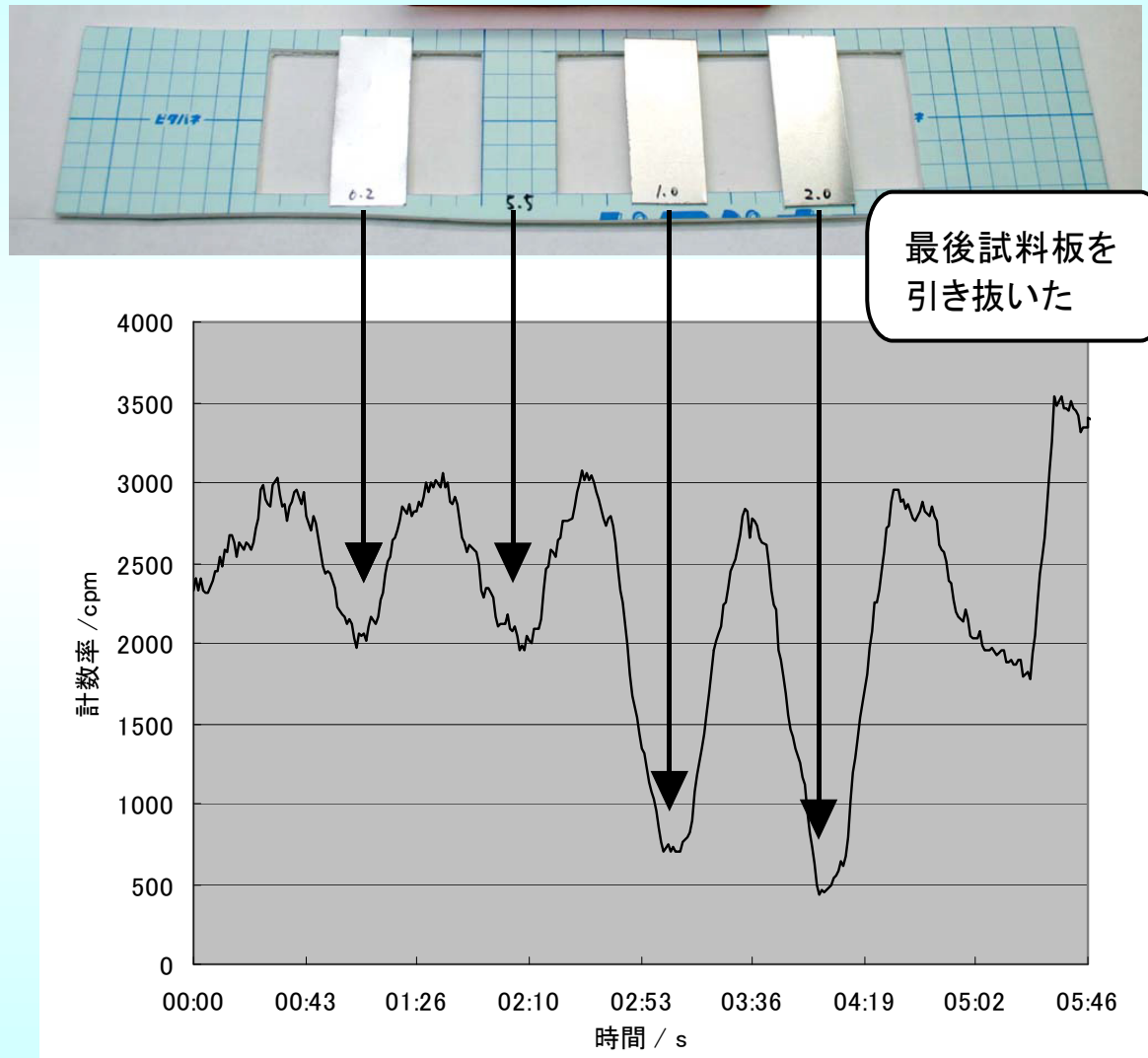
厚さが既知のアルミ板を引出しに入れて測定することで、線源と測定器の位置関係を一定に保ったまま遮蔽条件を変化させられる。



既知の試料を測定後、厚さが未知の試料を並べた試料板を横から差し込んで連続的に遮蔽状態を変化させる。



試料板の移動に伴う計数率の変化



10秒で1cm移動、3cmごとに試料、
ブランクと繰り返している

測定しているのはほとんどが β 線であり、試料の厚さの変化で明確に計数率が変化している。

試料の位置分解能を高めるために2cm幅でコリメートしているが、線源が強ければウインドウ幅を狭くすることで位置分解能の向上は可能。

マントル線源を用いた簡易なシステムではこの程度で十分であるが、線源との距離を近づけることでもう少し計数率を上げることは可能。

この教材から得られる知見

目に見えなくても試料板があるところでは計数率が変化して、その存在を知ることが出来る

**放射線透過検査
の原理**

厚さの異なる試料では
計数率が異なる

厚さ計の原理

密度が異なる試料では
計数率が異なる

密度計の原理

寒剤を利用した霧箱の教材化

ドライアイスを使用しない霧箱と言うことでペルチェ冷却式の霧箱を開発してきたが、生徒全員に行き渡るようにするには依然としてコスト的な問題が残っている。このため、**第3の選択支として、氷と塩を使った寒剤による霧箱**を検討している。既に複数の研究者によって塩化カルシウムを用いた寒剤などによる霧箱が報告されているが、最も冷却能力の高い $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ は**常温での保存が出来ない**ため、一般に市販されていない。

融雪剤として大量に安価で市販されている $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ から $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を製作することは可能であるが、ある程度の手間と時間を要する。塩の溶解に伴う発熱、凝固点降下、寒剤の仕組み、過飽和溶液からの結晶成長など、**理科の実験として非常に面白い要素を含んでいる**ため、上手くそれらの単元の実験と併せれば成立可能であると考えられるが、実際の教育現場での綿密な検討が必要である。 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を使用出来れば、ポリパックの中で寒剤を混ぜてディスプレイケースの下に入れるだけで従来型の霧箱として使用出来ることを確認している。

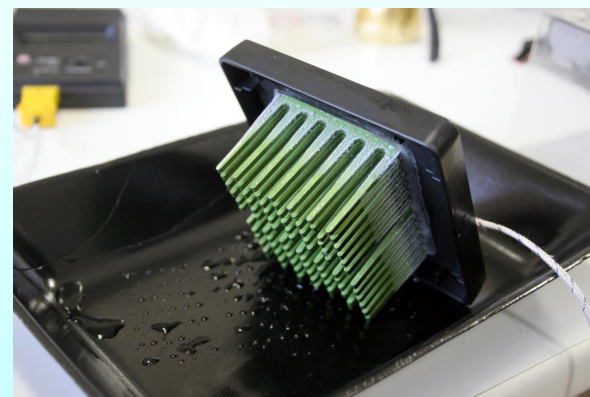
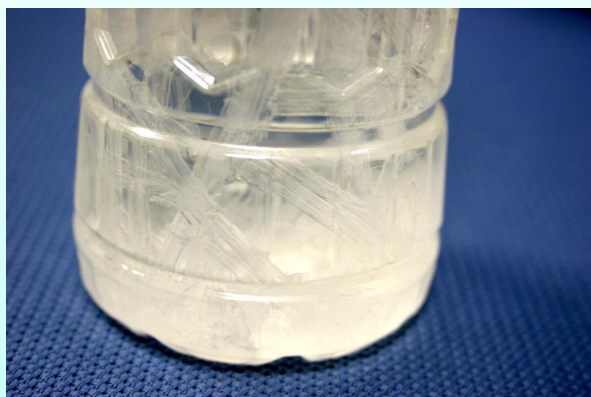
[1] 塩化カルシウムを寒剤とした拡散霧箱の開発, 柚木 朋也, 津田 将史, 物理教育, 60 (2012) 184-187.

[2] S霧箱を使用した放射線の観察に関する研究 - 中学校における取組 -, 柚木 朋也, 伊藤 雄一, 浜田 康司, 理科教育研究, 57 (2016) 155-168.

寒剤を利用した霧箱の教材化

現在は、 -20°C までチャンバー表面が冷えさえすれば放射線の観察は可能であるため、より簡便な寒剤の選択と、効率的かつ簡易・確実な熱伝導を可能とするチャンバーの開発を行っている。必要に応じてエタノールを加熱して過飽和度を上げるための安全なヒーターの使用も検討している。

ヒートシンクをディスプレイケースにマウントしたチャンバー、最適な大きさの保温容器、塩と氷のレシピ、LEDライトや線源など、必要な物をパッケージ化した教材として出来る限り安価で提供できるように検討中である。



**第3回日本放射線安全管理学会
日本保健物理学会合同大会
2021/12/02 ポスター番号: AP08**

みんなのくらしと放射線展 における放射線教育活動について

大阪府立大学 放射線研究センター

**秋吉 優史、古田 雅一、児玉 靖司、松浦 寛人、川又 修一、宮丸
広幸、川西 優喜、伊藤 憲男、清田 俊治、白石 一乗、朝田 良子**

**大阪府診療放射線技師会
藤田 秀樹**

E-Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp
<https://housyasen-fukyu.com/event/>



みんなの暮らしと放射線展とは

「みんなの暮らしと放射線展」は、大阪府立大学放射線研究センターが中心となり、大阪府診療放射線技師会、関西原子力懇談会、大阪ニュークリアサイエンス協会などの協力(*)を得て「みんなの暮らしと放射線」知識普及実行委員会により運営され、昭和58年から39年間にわたり開催され、延べ50万人以上の一般市民に放射線に関する知識普及活動を実施してきた(以前はデパートの催事場などで1週間実施されるなどの非常に大規模な運営が行われていた)。

近年は大阪科学技術センターに於いて8月第一週の週末にイベント開催を行っており、2日でのべ2千人以上の来場を得ていた。

*2021年度の協賛:(国研)日本原子力研究開発機構、(一財)電子科学研究所、(一財)日本原子力文化財団、(一社)大阪ニュークリアサイエンス協会、(公社)大阪府診療放射線技師会、(公社)日本アイソトープ協会、(一社)日本原子力学会関西支部、関西原子力懇談会



放射線教育コンテンツ

展示内容は放射線の基礎知識、人体影響、放射線計測、霧箱観察などに加えて、農業利用、工業利用、医療利用と、放射線の利用という側面に重点を置いた物としており、関西近隣の放射線関連の大学研究所の紹介も行い、幅広い層への知識普及を行ってきた。霧箱を含む様々な工作教室、放射線クイズ大会、放射線ビンゴ大会などを通じて楽しく学習できる集客イベントも実施し、平行して別会場での高校生による放射線に関連した研究成果のプレゼン大会である、高校生サマークラスなども実施してきた。

展示内容は直感的に放射線の性質が理解できるよう、従来に無い最新のコンテンツを開発してきており、極めて安価で準備も工作も簡単でありながら高性能な霧箱工作、ペルチェ冷却式霧箱を用いて α 線、 β 線、 γ 線の比較、放射線のアナログとしての紫外線を用いたコンテンツの開発(UVレジンを用いたアクセサリ工作など)、宝探しゲームなど現在では多くのイベントで行われているコンテンツも先んじて取り入れている。2019年に行われた特設展示では放射線による細胞損傷の修復過程を取り扱い、がん化した細胞を攻撃する免疫細胞についても取り上げたが、現在のコロナ禍に於いて獲得免疫の仕組みを理解する良いコンテンツとなった(次ページ)。



それぞれの役割を持つ免疫細胞達は、体の中に入ってくるさまざまな細菌やウイルス、そしてがん細胞と、毎日戦い続けて、健康な体を守っています。

免疫細胞たちの活躍



学校の授業、身体の中のことを教える機会、医療施設での各種説明、及びそれらに類似する場などで、「はたらく細胞」で擬人化された細胞たちや細菌等の画像の一部を無償で利用することが出来ます。

白血球 (好中球)



外部から体内に侵入した細菌やウイルスなどの異物を食べて排除する(貪食)。好中球は血液中の白血球の半数以上を占めており、最前線で真っ先に侵入者と戦う自然免疫の細胞。多種類の異物、病原体の分子に反応することができるが、特定の病原体に繰り返し感染しても、自然免疫能が増強することはない。

ナチュラルキラー NK細胞



全身をパトロールし、がん細胞やウイルス感染細胞などを見つけ次第攻撃する自然免疫細胞。自分でがん細胞を判別することができるためがん細胞への攻撃力が特に強い。笑うことによって生じる神経ペプチドによって活性化する一方で、ストレスによるホルモンで活性が低下する。

マクロファージ



細菌などの異物を捕らえて殺し、抗原や免疫情報を見つけ出す。がん細胞を発見すると、それを食べて確認して、ヘルパーT細胞に伝える。殺傷能力が高く、死んだ細胞や細菌を片付ける役割も有している。

樹状細胞



体内に侵入してきた細菌や、ウイルス感染細胞などの断片を抗原として提示し、他の免疫系の細胞に伝える役割を持つ。その名の通り周囲に突起を伸ばしている。

抗原情報の提示

ヘルパーT細胞



外敵侵入の知らせを受け、敵の情報をもとに、的確に攻撃できるように戦略を決める司令官。マクロファージや樹状細胞からもらった抗原情報を基に、キラーT細胞やB細胞をその抗原に合わせて活性化する。

初めて対応する抗原に対しては、抗原情報の獲得、分析、活性化、抗体の生産までに、2~3日かかってしまいます。一度対応した抗原は記憶されており、次回から素早く反応します。

毎日これらの敵と戦っています!



キラーT細胞



ウイルス感染細胞、がん細胞などの異物を認識・破壊する殺し屋。抗原情報を受け取ったヘルパーT細胞の命令(サイトカインの分泌)によって活性化して出動する。一度出動したあとは、記憶T細胞が残り次回素早く反応する。

B細胞



細菌やウイルスなどそれぞれ異なる抗原に対し、抗原特異的な抗体(免疫グロブリン)というオーダーメイドの武器を作って戦うリンパ球の一種。一度抗体を作ると記憶B細胞が残り次回の侵入時に素早く抗体を作ることができる(いわゆる免疫の獲得)。

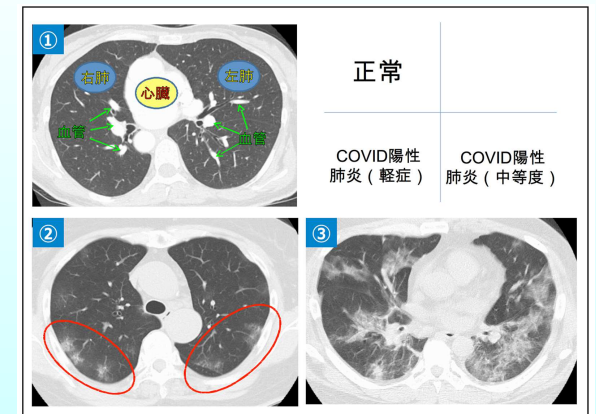
活性化

オンラインコンテンツ

2020年度に引き続き2021年度もCOVID-19の蔓延のためオンラインでの開催を行っている(<https://housyasen-fukyu.com/event/>)。2020年度は、「放射線キャラ図鑑」「放射線の基礎知識」「放射線の歴史」といった基礎的内容と、「あなたに身近な放射線を探せ!ゲーム」「放射線ハンドブック」、COVID-19診断で使われる放射線を解説した「社会で役立つ放射線」と言ったコンテンツにより、身の回りで利用される放射線について取り上げた。



新型コロナによる肺炎像～胸部CT画像～



画像提供:りんくう総合医療センター

2020年度オンライン講演会

さらに、オンラインであることを活かして、全国の中学、高校の生徒と先生方に、X線発見の歴史、クルックス管と霧箱による放射線教育の実演と、クルックス管からのX線の安全管理について、Zoomによるウェビナー形式で2020/11/18と12/10に1時間のオンライン講演会を行い、55名の参加者を得た。



2017年に制作したレントゲン博士によるX線発見の歴史の資料のページ



ガラスの水槽でX線を遮蔽した状態のクルックス管の実演。



クルックス管からの低エネルギーX線をペルチェ霧箱EX型を用いて観察した。

主な参加団体

東京都世田谷区立千歳中学校、名古屋市立長良中学校、京都光華高等学校、京都府立桃山高等学校、大阪府立泉北高等学校、兵庫県立尼崎小田高等学校、兵庫県立加古川東高等学校、放射線教育フォーラム、ケニス株式会社、株式会社島津理化、コミュタン福島 など

放射線アカデミア

2021年度は、一般の大人や学生達に向けて知識を深めるコンテンツとして、「放射線アカデミア」と題して、「放射線研究レポート」と「プロフェッショナルの声」の作成を行った。「放射線研究レポート」は8報が掲載されている。「プロフェッショナルの声」は放射線に関連する分野に就職する学生を意識し、放射線を利用する分野の会社、医療機関の方々の声を取り上げた。現在2報、11月末までに5報をアップする予定で居る。その結果、広く全国からアクセスを得ていると共に、当初の予想を遙かに上回って、高い年齢層の方々からのアクセスを得ていることが3022件のアンケート結果から明らかになった。

プロフェッショナルの声

患者さんの笑顔を守るため

放射線で命を救うプロフェッショナルたち

りんくう総合医療センター
放射線技術科 科長
中前 光弘 さん
放射線技術科 技術管理主査
中平 修司 さん
放射線技術科
人西 健太 さん



りんくう総合医療センター放射線技術科の皆さん

放射線研究レポート コンテンツ一覧

- 1: 病気の診断・治療における「医療被ばく」の健康影響と安全管理
- 2: 医療で役立つ放射線X線撮影による画像診断の今
- 3: クルックス管を用いた実験の注意点 クルックス管とX線
- 4: 医療で役立つ放射線血管造影検査が可能とする早期治療
- 5: 岩石から出る放射線で温泉が沸いている？
- 6: 福島第一原子力発電所事故の健康影響に関する国連科学委員会の2020年報告について
- 7: 地上に太陽を～日本で進む核融合研究～
- 8: 量子ビームによる材料の微細加工



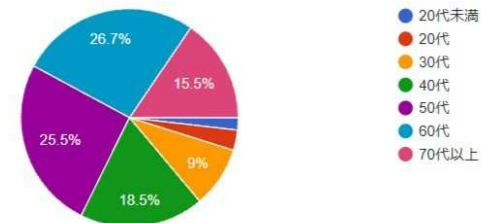
核医学検査装置である、Single Photon Emission Computed Tomography(SPECT)



コーガアイトープ社の Co-60 ガンマ線源からのチェレンコフ光



非破壊検査株式会社の車載コンピューテッド・ラジオグラフィ検査システム (FCR)



3022件のアンケート結果(7/21～10/20)による、回答者の年齢構成グラフ

2021年度放射線教育座談会

本年度から中学校の新しい学習指導要領が全面実施となりクルックス管に関連した放射線教育の一大転換期となることを受けて、「放射線教育オンライン意見交換会」を2021年8月3日(火)13:30~16:00に実施した。2名の演者による基調講演と5名の中学校の先生による実践事例発表、ディスカッションに、全国から合計48名の参加を得た。予定時間終了後も有志によるフリーディスカッションが1時間程度続くなど非常に活発な意見交換が行われ、教育現場の生の声を取り入れることが出来た。

冒頭挨拶
大阪府大放射線研究センター 秋吉 優史

基調講演
「これからの中学校における放射線教育は」
全中理支援センター 高島 勇二
「現地支援員から見た 高島 勇二先生の出前授業の特徴」
放射線教育フォーラム 宮川 俊晴

実践事例発表
「中学3年間における放射線教育の提案」
愛知教育大学附属名古屋中学校 奈良 大
「現在の課題としての放射線教育In中学校」
鹿児島市立谷山中学校 原口 栄一
「やってみよう！ICTで放射線教育」
奈良市立富雄南中学校 西田 敬子
「自分で自然放射線を測定する授業実践例の報告」
広島市立福木中学校 森島 浩一
「中学校と高等学校の接続を意識した放射線教育」
世田谷区立千歳中学校 青木 久美子

質疑応答、ディスカッション



高島先生



宮川様



奈良先生



原口先生



西田先生



森島先生



青木先生

質疑応答、ディスカッションの中では、教育に使用出来る線源に関する質問が多かった。現在得られる自然放射線源で最も使いやすいのはやはりランタンのマンタルピースであるが、トリウムを含む製品は市場にほとんど出回っておらず入手が困難であるが、株式会社ジャパーナ取り扱いのサウスフィールドブランドのD-Xハイパワーランタン3000用のD-Xマンタルは現在でも入手可能である。確認した範囲では、キャンプ用品を取り扱うアルペンが販売している。次点はラジウムセラミックボールなど。霧箱用であれば空気中のラドン娘核種を掃除機で捕集するのが教育効果も高い。

距離に伴う線量の変化はかなり強い線源が必要であるので、クルックス管を用いた測定が適している。可視光源と照度計でも、距離の二乗に反比例して照度が下がるため、理解の助けにはなると思われる。遮蔽の実験(遮蔽体の種類による違い)についても、エネルギーの高い γ 線ではコンプトン効果が支配的となるため原子番号による違いがあまりよく分からない。これも、クルックス管からの低エネルギーX線であれば光電効果が支配的であるため、ガラスの水槽の上にプラスチックの板を載せてサーベイメーターで比較することで、組成の違いで透過率が変化することを簡単に示すことが出来る。レントゲン写真がなぜ撮影できるかの原理であり、教育効果が高い。

2022年7月

学校長 様

理科主任 様

「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会

委員長 古田 雅一

(大阪公立大学 放射線研究センター長・教授)

みんなのくらしと放射線展

放射線教育オンライン意見交換会 参加のお願い

謹啓 時下ますますご清祥のこととお慶び申し上げます。また、平素より格別のご高配を賜り、心より御礼申し上げます。

来る2022年9月18日に、「みんなのくらしと放射線展」の一環として、学校現場での放射線教育のノウハウ共有を目的とした「オンライン意見交換会」を開催いたします。

つきましては、ぜひ貴校の理科教育・放射線教育に関わる先生方にご参加いただきたくご案内申し上げます

敬白

記

日時:2022年9月18日(日)13:30~16:00

名称:第39回みんなのくらしと放射線展 放射線教育オンライン意見交換会

主催:「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会(事務局:大阪公立大学)

内容:

① 基調講演

日本科学技術振興財団 掛布智久 様

品川区立八潮学園中学校 山口晃弘 様(全国中学理科教育前会長)

② 放射線教育に関する実践事例発表

事例発表予定

③ 意見交換(参加者からの質疑応答も予定)

参加費:無料

申込方法:下記 Google フォームよりお申し込みください。

<https://forms.gle/YYzidA8RSHzw8aTU7>

もしくは、右の2次元バーコードからお申し込みください。



※「zoom」によるリアルタイムでの実施を予定しております。

お申込みいただいた方へ当日の参加情報をお送り致します。

※「第39回みんなのくらしと放射線展」についてはこちらのHPにてご覧ください。

URL : <https://housyasen-fukyu.com/event/>

<本企画に関するお問い合わせ窓口>

株式会社 WAVE 企画室 中村将大・藤田彩花

housyasenten@waveltd.co.jp

〒530-0001 大阪市北区梅田 3-3-20 明治安田生命大阪梅田ビル 3 階

TEL:06-6341-8500/FAX:06-6341-8505

本展事務局は株式会社 WAVE がサポートしています。

<https://www.waveltd.co.jp>