

2018/08/09 日本エネルギー環境教育学会  
第13回全国大会 @ 山形大学 講演番号 1D-02

# 新学習指導要領における放射線教育 コンテンツ開発と安全管理

—高性能ペルチェ冷却式霧箱の活用—



大阪府立大学 放射線研究センター 秋吉 優史  
Special Thanks: クルックス管プロジェクトの皆様

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>



# 本発表の背景

## 2017年3月に公布された新・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 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。**

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内容

## 2017年6月に公布された新・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。**

**クルックス管を用いた実験を行う際の安全評価が必要**

# 現行教科書に於けるクルックス管の取扱

## 教科書

5社全てでクルックス管に関する記述有り

- ・啓林館、東京書籍: レントゲンによるX線の発見など、放射線に関する記述がある。
- ・大日本図書、学校図書: クルックス管と併せた放射線に関する記述はないが、3年でクルックス管からX線の説明、放射線の発見の歴史などもあり。
- ・教育出版: 放射線の記述はない。3年での記載は未確認

## 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

# クルックス管を安全に使用出来ないか？

「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」という内容は、完全にクルックス管を用いた実験を前提としている。クルックス管は従来から放射線教育に用いられているが、低エネルギーX線の被曝線量が想像以上に多い(数10mSv/hに達する)場合があることが明らかになりつつある。

## 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実験体系を極めて安全に構築可能。

ここで話は完結する

中高の教育現場には、  
買い換える資金がない！

株式会社ホリゾンからは 5kV駆動のクルックス管が 22,000円、電源も18,000円で発売されている。

## Advanced Plan

古い装置を用いざるを得ない場合や、放出されるX線を活用した発展的な実習実施する場合、印加する電圧を一定以下に抑えることで最低限度のX線量に抑えて、特定方向だけにX線を取り出せる遮蔽体を組み合わせた実験体系を構築する。

本研究の目的

何とかしてクルックス管からのX線放出をコントロールしたい。

→ 条件を変えたときのX線放出状況の正確な評価が不可欠

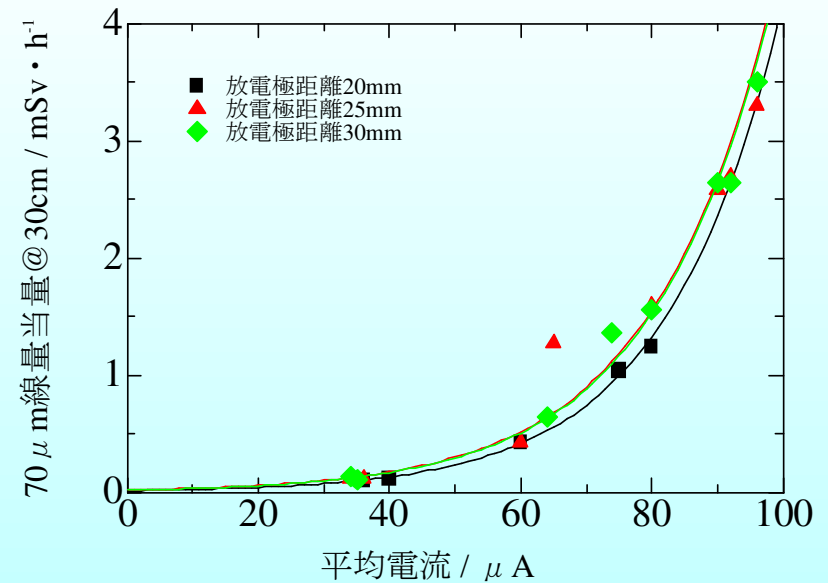
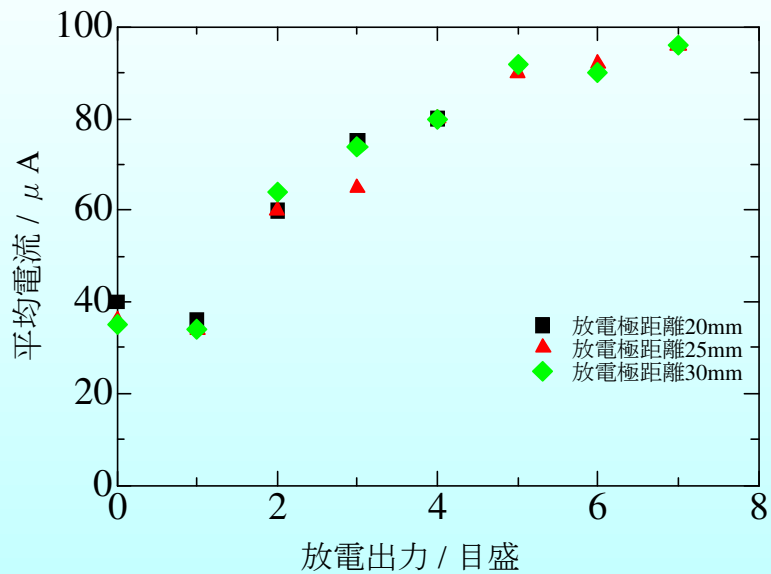
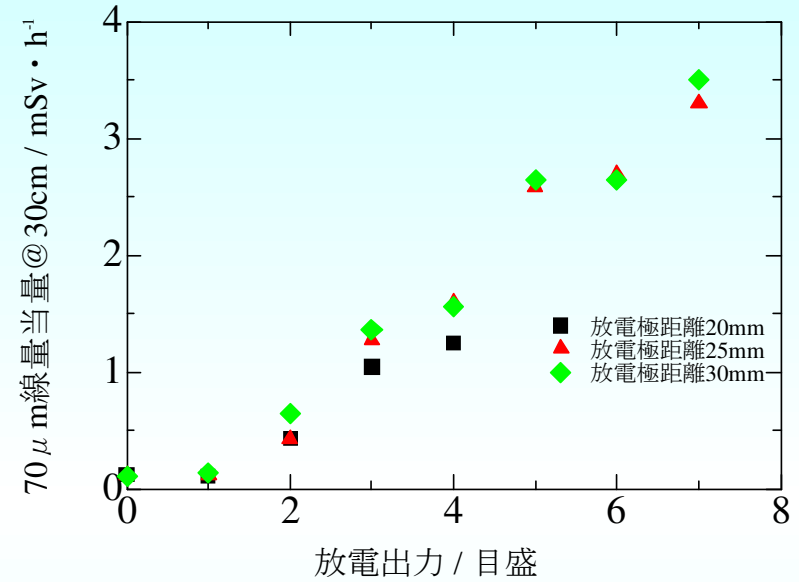
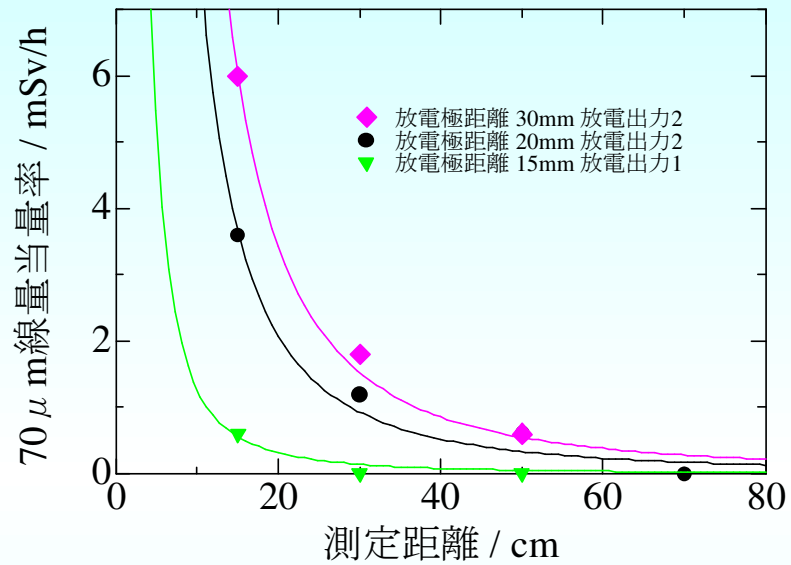
# 様々な測定装置による測定結果

ケニス十字板入りクルックス管 3C-B と、ニューパワー誘導コイル ID-6 を使用。  
放電極距離 25 mm、放電出力 6、平均電流 40  $\mu$ A で十字板を下げて正面方向で測定。

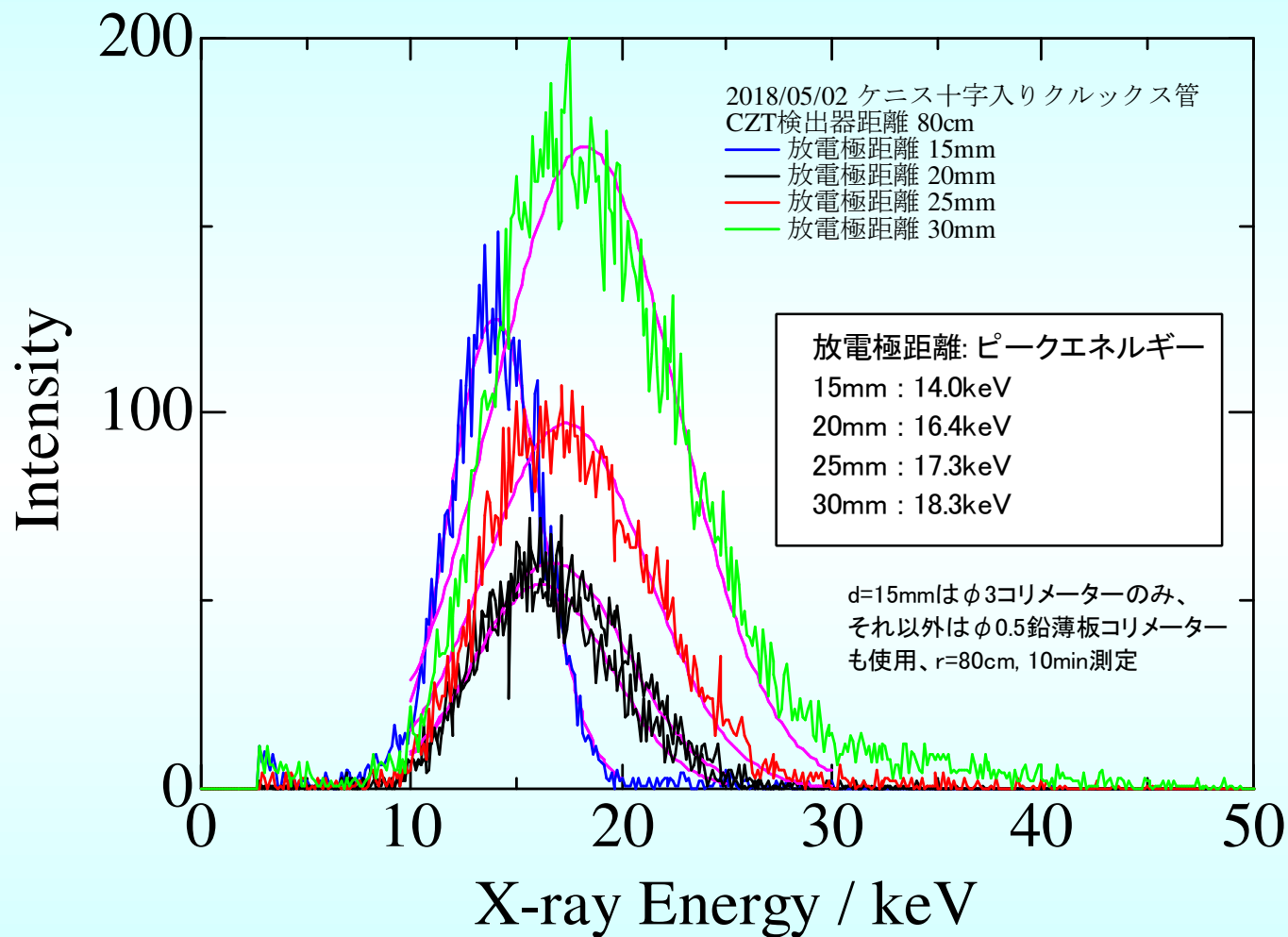
	電離箱		蛍光ガラス線量計		GM管
	日立 ICS-1323		千代田テクノル ガラスバッジ FX型		Ranger
距離 r	フタ無し	フタ有り	70 $\mu$ m線量当量	1cm線量当量	1min scaler
cm	mSv/h	mSv/h	mSv/h	mSv/h	kcpm
15	8.15	5.3	4.62	1.62	33.89
30	1.91	1.28	1.26	0.48	31.68
50	0.64	0.465	0.48	0	27.32
	NaI シンチレーター		プラスチック シンチレーター	CsI シンチレーター	半導体検出器
	富士電機 NHC6	アロカ TCS-172	Kind-mini	エアーカウンターEX	エアーカウンターS
距離 r	Be窓	汎用	カバー無し	カバー無し	
cm	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h	$\mu$ Sv/h
15	1.34	0.17	118	12.6	<9.99
30	10	0.17	64	12.5	0.05点減
50	13.1	0.15	24.5	8.3	<9.99

一般向けに出回っている簡易サーベイメーターはもちろん、空間線量測定で信頼されている TCS-172 などでもほぼ全く測定できない。

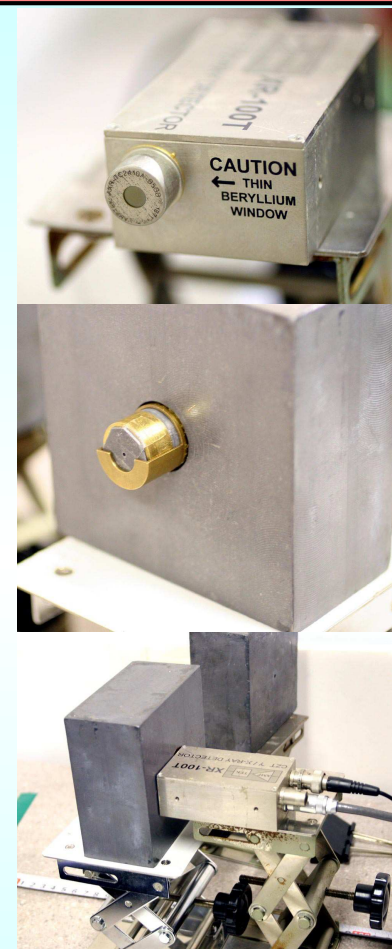
# 誘導コイルの設定による線量変化



# CZT半導体検出器によるスペクトル評価



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

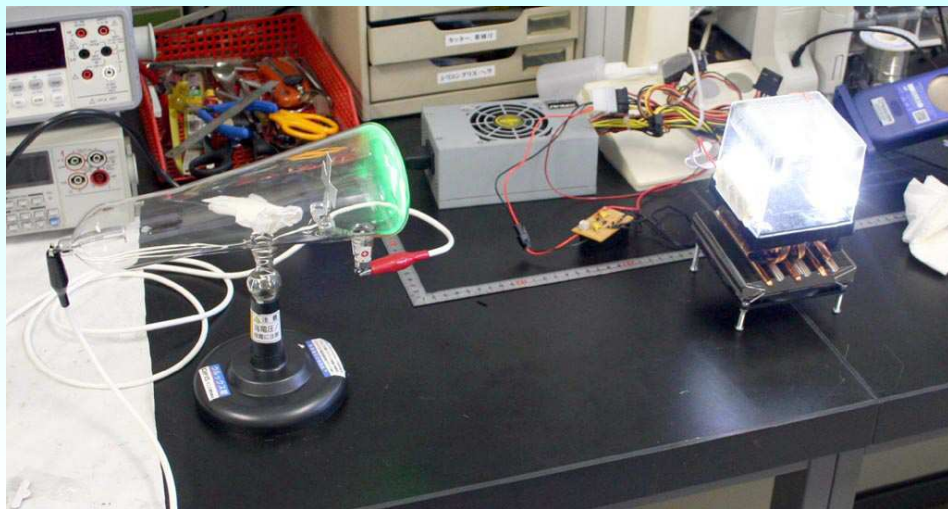


Amptek XR-100T-CZT  
CZT(Cd<sub>0.9</sub>Zn<sub>0.1</sub>Te)検出器  
Be窓、ペルチエ冷却

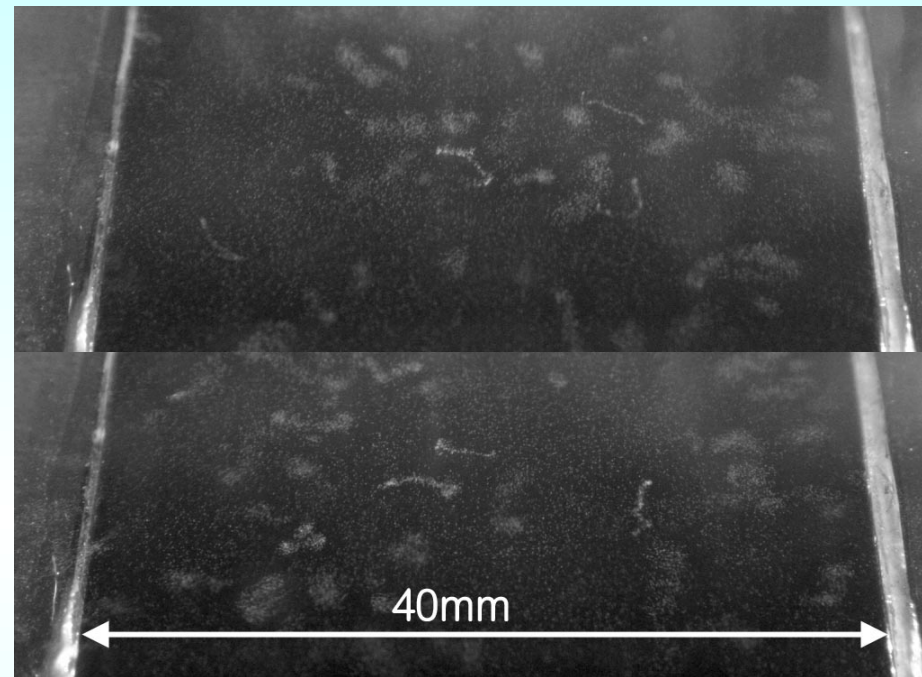


φ3同軸鉛コリメーター  
φ2同軸黄銅コリメーター  
φ1.0鉛薄板コリメーター  
φ0.5鉛薄板コリメーター

# 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)。

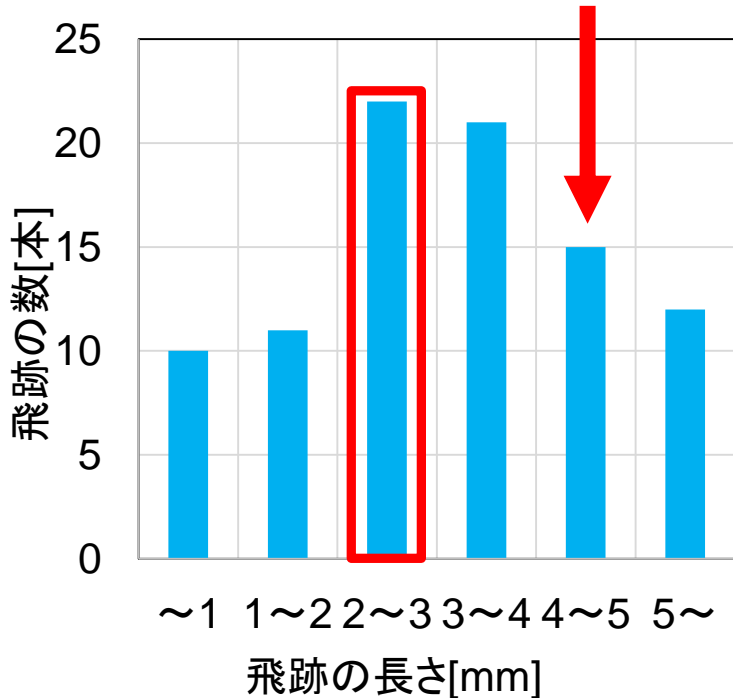
エネルギー既知のX線を入射して飛跡の長さのヒストグラムを作成し、エネルギーに拡がりを持つX線のスペクトルが評価できないか？

**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**



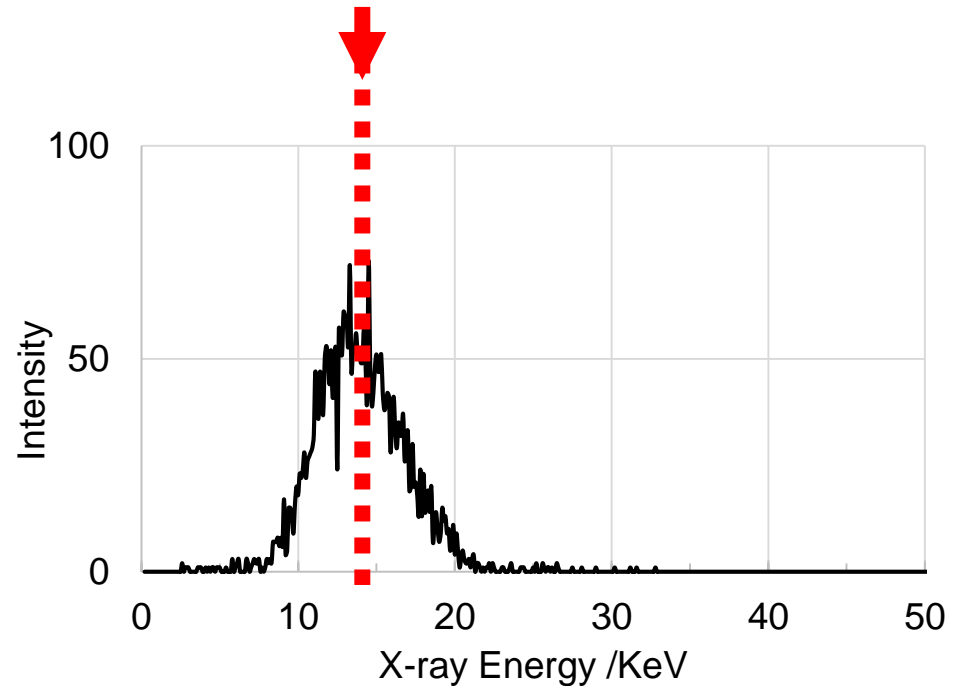
# 低線量X線エネルギースペクトルの測定結果

15KeV相当の長さ(4.3mm)



ペルチエ高性能霧箱での測定結果

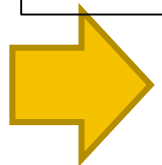
ピーク15keV



CdTe検出器スペクトル測定結果

15KeVのとき、飛跡の長さの理論値は**4.3mm程度**

(ICRU:Report 37 (1984) Stopping powers for Electrons and Positrons より)



~~概ねスペクトルが一致しており~~ 相関が見られ**有用**

# 霧箱によるクルックス管からのX線の観察

①

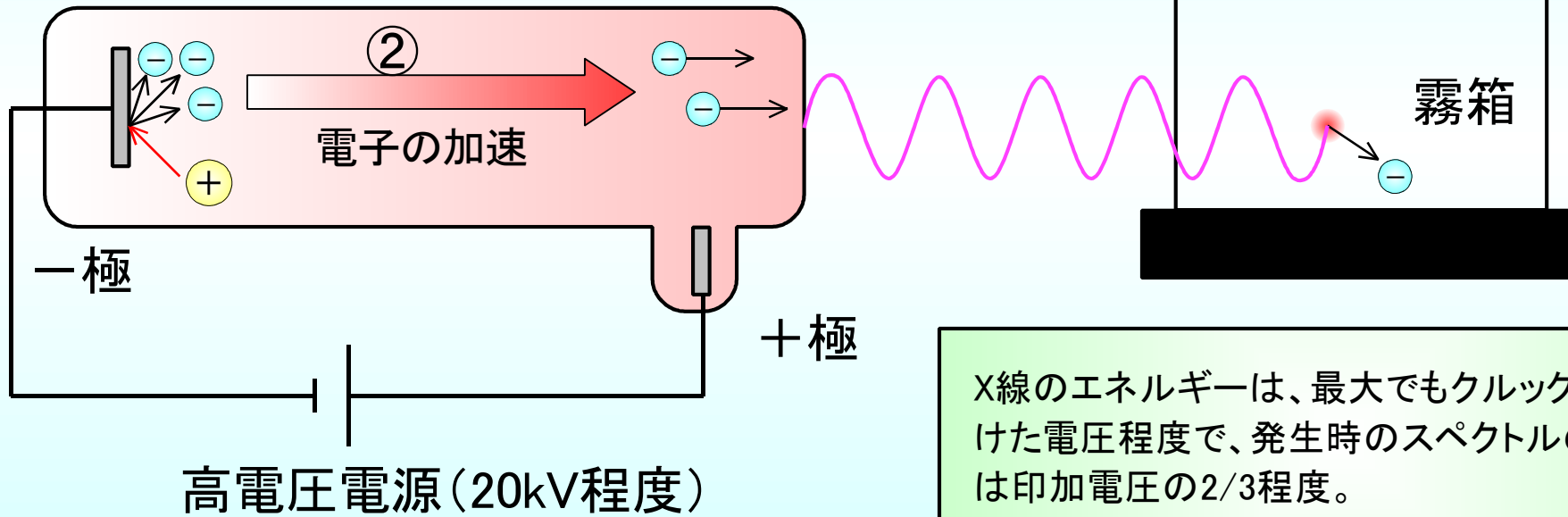
＋のイオンが－極に引きつけられて電子を叩き出す  
(二次電子放出)

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。

# ペルチェ冷却式高性能霧箱

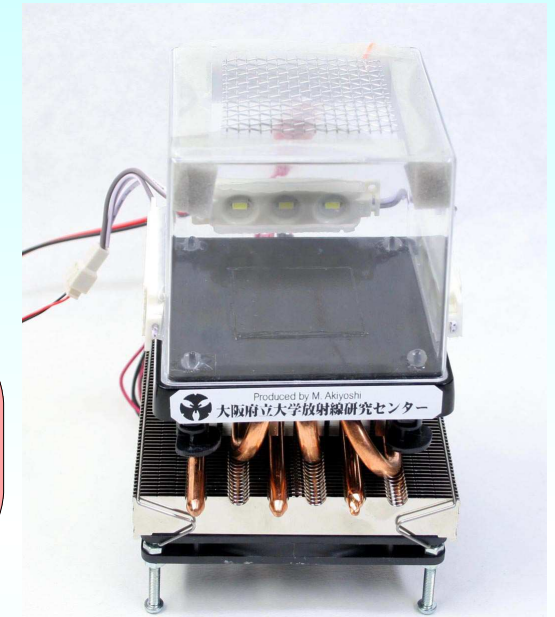
## 従来型の霧箱の問題点

- 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
- $\alpha$ 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
- $\alpha$ 線の飛跡の観察に加えて、 $\beta$ 線の飛跡の観察も可能で、さらには $\gamma$ 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



最新の本体ユニット



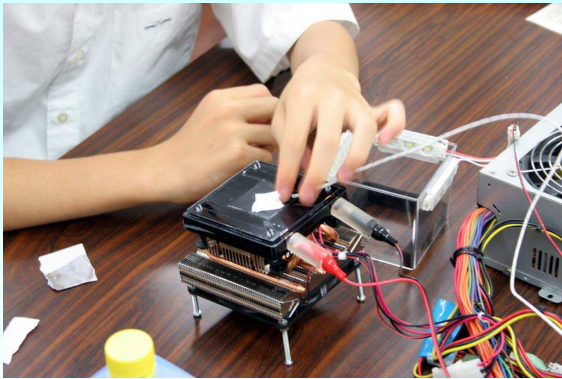
コッククロフト型高電圧ユニット

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

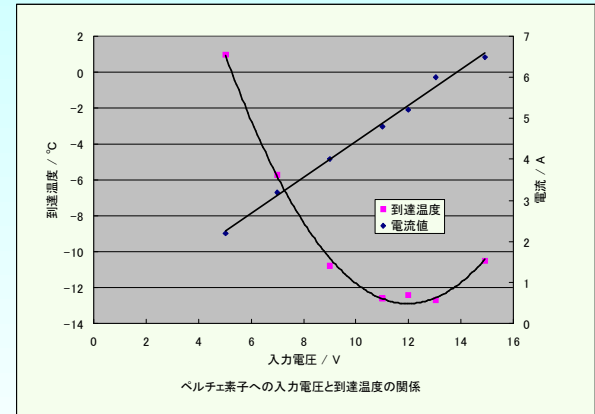
# 「(7) (ア) エネルギーと物質」単元に即した放射線教育



アルミテープによる熱電対の素子表面への貼付け

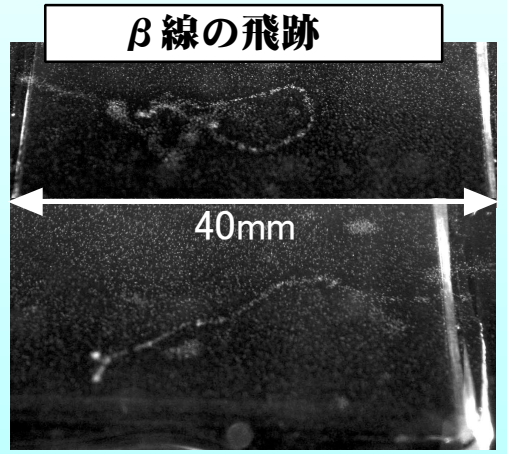
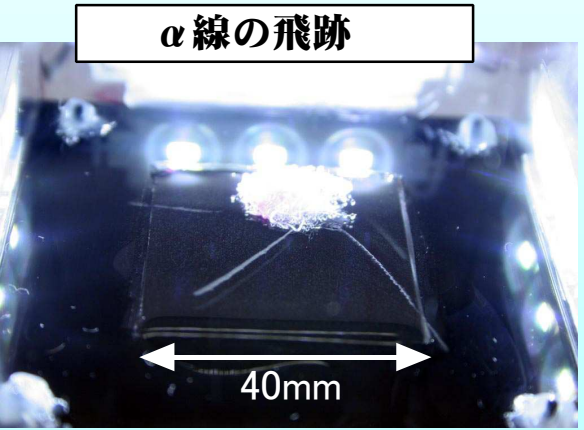
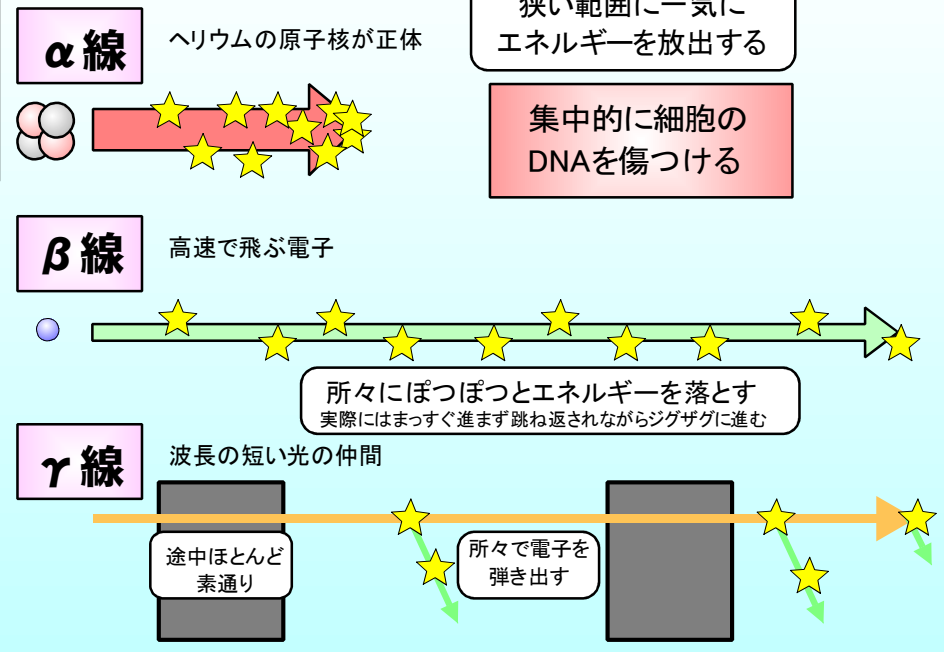


素子上面が冷やされる半面、裏面に放熱しているのを体感



ペルチェ効果は電流に比例し、ジュール発熱は電流の二乗に比例する。

ペルチェ素子は従来からエネルギー教育に於いては多用されており、熱輸送により投入したエネルギー以上の熱を発生する(エネルギー変換効率 COP が1を超える)などの説明が可能。また熱電対と絡めて熱電変換素子としての利用も可能。もちろん、レベルに応じた放射線教育に使用可能である。



# 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

**安全性**

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  
現在どういう内容について教えているのか知らない

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

# 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

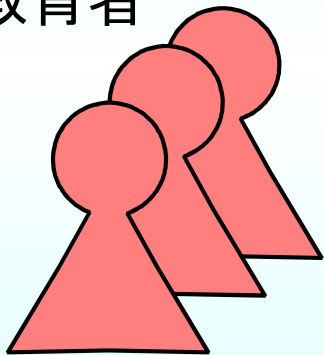
全国の教育現場での  
放射線教育の実施  
(委託)

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

開発した教育コンテンツの評価

大学研究者、OB

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

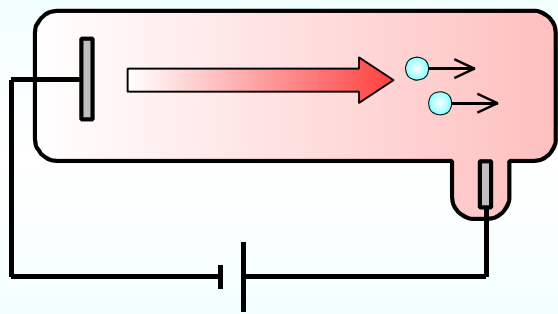
全国の拠点でのシンポジウム、オープンスクール、  
モデル校での授業、教育学部での講義など  
での放射線教育プログラム普及

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

# クルックス管からのX線の不均一性

正面中心、5cm位置で  
1cm線量当量が 100mSv/h  
あったとしても...



線量計

① 1m 位置では 1/400  
の線量になります

③ 平面的にも周辺の線量は小さくなり  
中心位置で測定した線量計の値よりも  
小さくなります。  
(具体的には現在検証中)

④ 演示時間を短くすることで、  
トータルの被ばく線量は  
時間に比例して減らせます。

⑤ 20keV では 2mmのガラスで  
1/5 程度にまで遮へいできます。  
(アクリルでは1cmで半分)

眼の水晶体への等価線量  
の評価は別途行う必要があ  
ります

② 20keV のX線は体内で1cmで  
半分に減衰して1cm線量当量は  
全身への線量を代表しません。  
(実効線量と5倍程度の差が出ます)

10分の演示で遮蔽無しでも、  
全身への実効線量は $10\mu\text{Sv}$   
にも満たないと考えられます。



## 最後に

本プロジェクトの目的は放射線安全管理ガイドラインの策定ですが、趣旨としては、放射線教育を抑制、規制するためのものではなく、安心して実験、教育を行ってもらうためのお墨付き、であると考えております。

またこれにより、全国の放射線教育者の相互ネットワーク形成を目指しております。

**出来る限り沢山の皆様の御協力を  
よろしくお願い致します。**