

**2018/11/27 大阪府立大学放射線研究センター
共同利用報告会 於 大阪府大C13棟講堂**

クルックス管プロジェクトの 進捗状況

**大阪府立大学 量子放射線系専攻 秋吉 優史*、松浦 寛人、
安藤 太一、Do Duy Khiem、山本 堅士、屋敷 昌也、
谷口 良一、宮丸 広幸**

Special Thanks: 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/index.htm>



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

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も、労働者でもない生徒に対する被ばく線量限度を、国内外の規制状況から議論する。低エネルギーX線による不均一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ーはおろか、放射線計測で信頼されている NaI シンチレーターなどもエネルギーが低すぎて全く使い物にならない。

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 シンチレーター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。放電極で電圧を制御している誘導コイルから出力される電圧が、天候などの要因で変化しているのではないか？

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

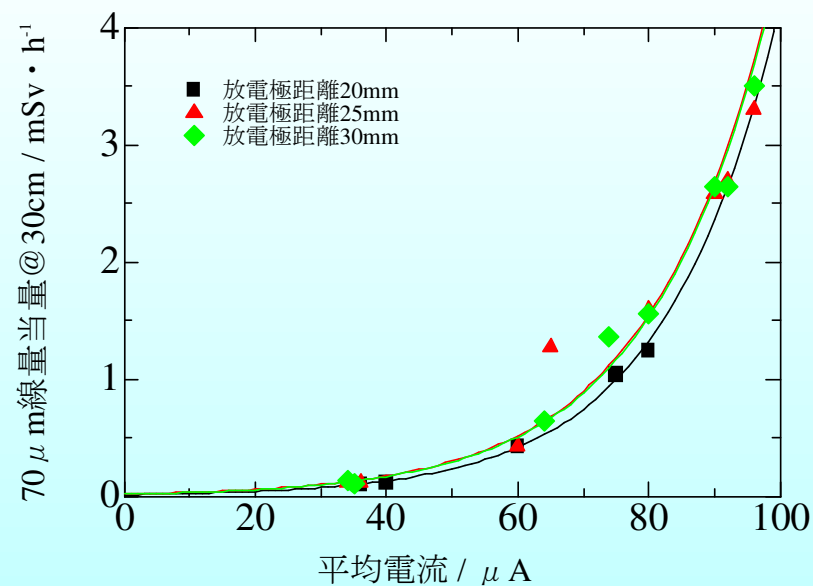
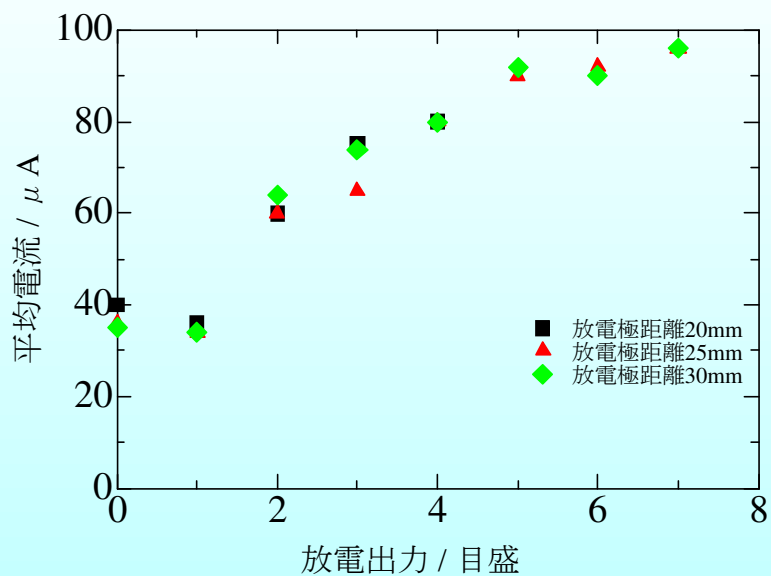
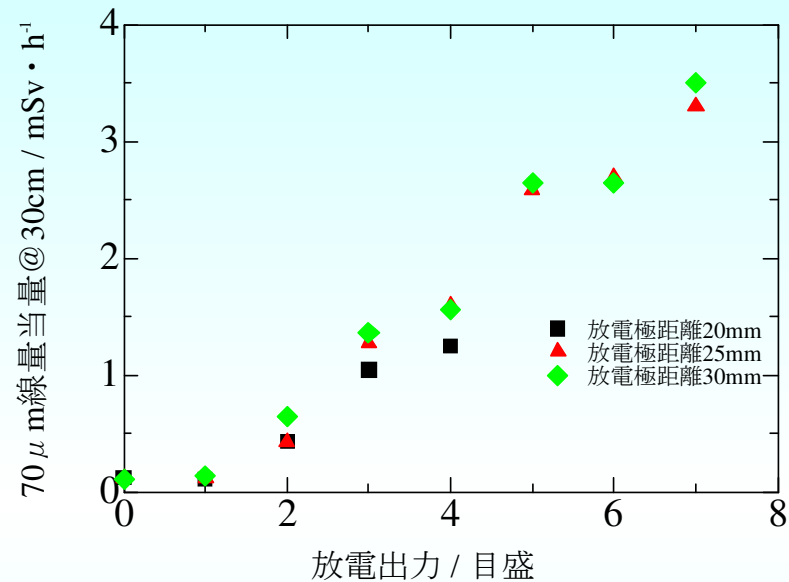
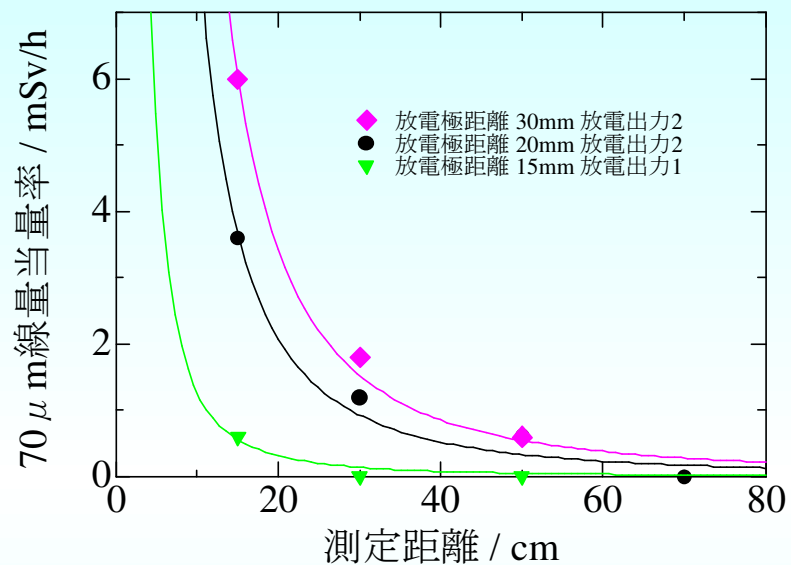
新規放射線教育プログラムの開発

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

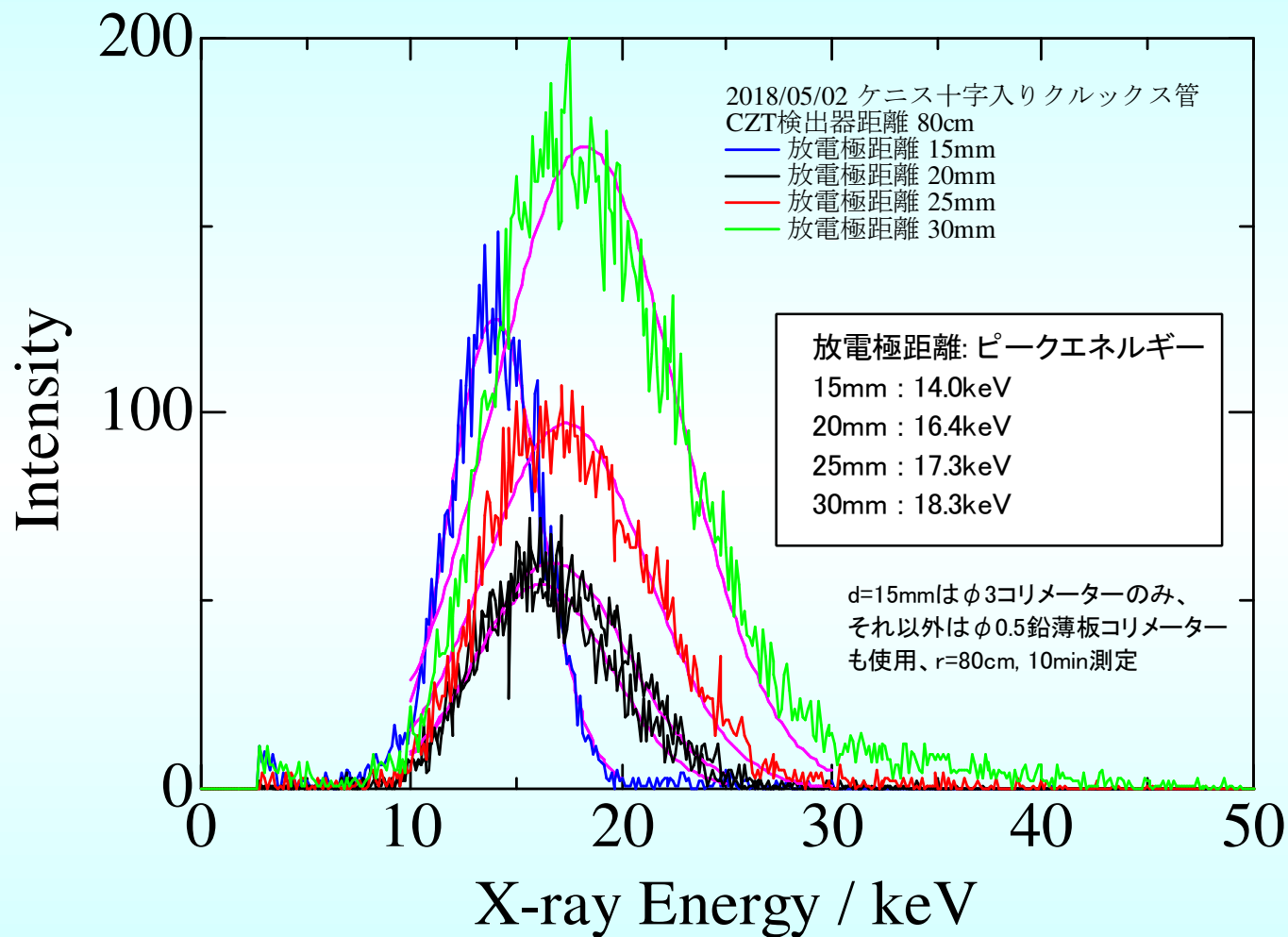
小中高大民国 オールジャパンの
放射線教育ネットワークの形成

放射線知識の
国民的普及

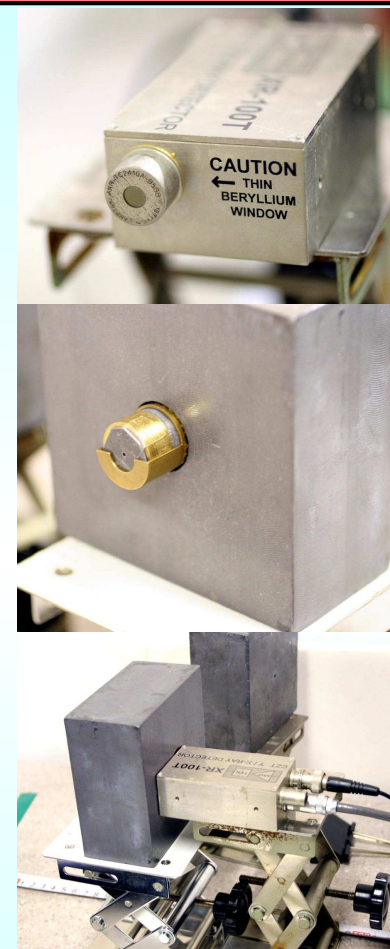
誘導コイルの設定による線量変化



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
で、ようやくパイルアップせずに測定できるようになった



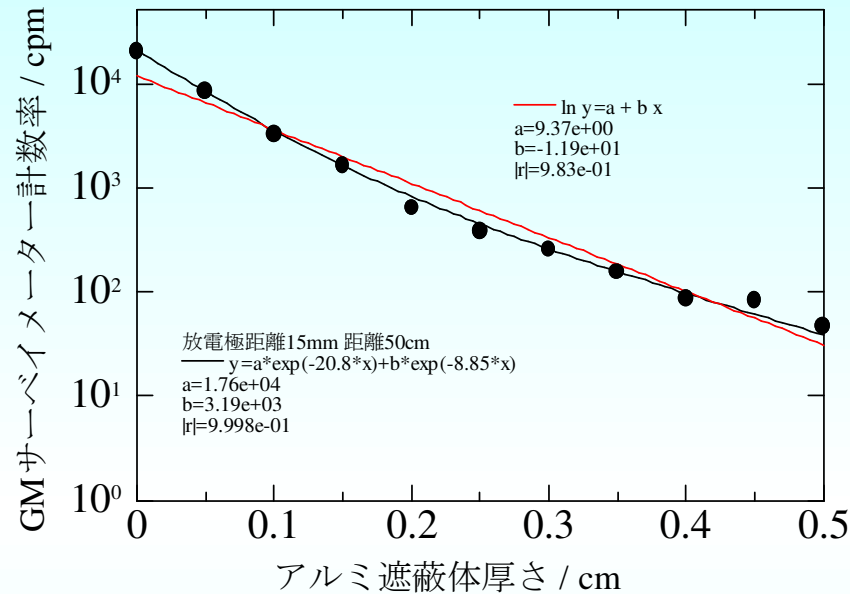
Amptek XR-100T-CZT
CZT(Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te)検出器
Be窓、ペルチェ冷却



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

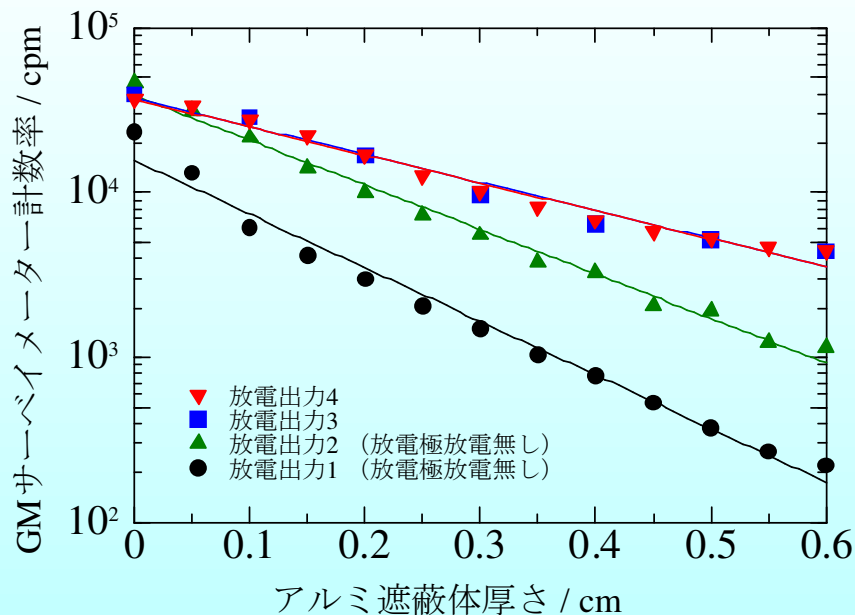
GMサーベイメーターによるX線エネルギー評価

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。



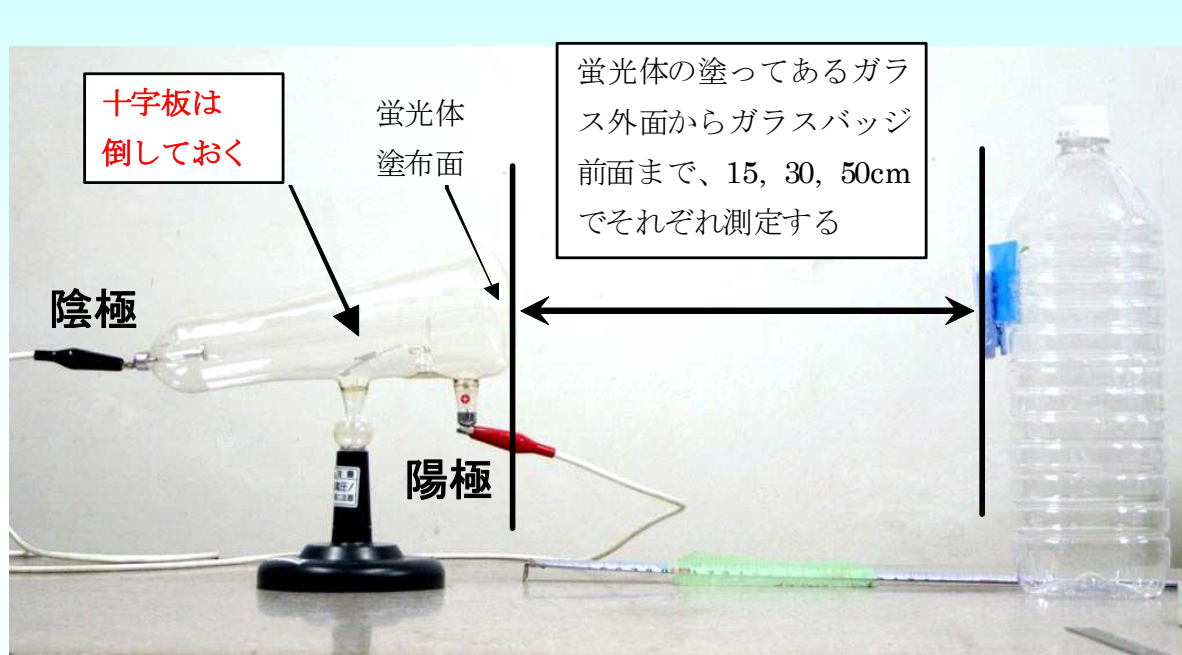
X線エネルギー (keV)	アルミ中の 線減衰係数 μ (cm^{-1})
10	69.5
15	20.8
20	8.9
30	2.8

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

統一プロトコルによる全国教育現場での線量測定



- ・ガラスバッジFX型を用いて低エネルギーX線の線量とエネルギーを評価。
- ・クルックス管からの距離、中心軸合わせ、照射時間などを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。
- ・系統的に距離を変えて測定し、実際に生徒の居る位置での評価を行う。
- ・誘導コイルの設定は「普段授業を行っている設定」で依頼し、実態を評価。
- ・全国18校からの協力を得て37本のクルックス管について測定を行った。

全国教育現場での線量測定結果

18/37本のクルックス管について、15cm距離でも**検出限界(50 μ Sv)未満**であった。

距離の二乗に反比例するとして**フィッティング**を行い、1m距離、10分間の実演で、Hp(0.07)で**50 μ Sv**を超えるのものが12本存在した。

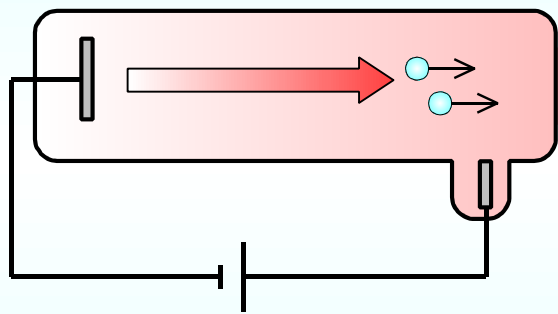
もっとも強い学校では、15cm距離では**10分間での Hp(0.07) = 32.6mSv**にも達し、**1m位置に於いても 0.93mSv**となった。(ただし、この学校では意図的に最大出力で今回の測定を行っており、普段からこの数値を出しているわけではない。)

一方、**最大出力で実験**をしている学校でも、1m位置で**4.3 μ Sv**に留まっていたり、逆に**最小出力にも関わらず 15cm位置で 23.5mSv, 1m位置で 0.62mSv**にもなるクルックス管が存在した。

ただし、あくまでも Hp(0.07) での値であり、**20keV前後の低エネルギーX線は水中で 1cmの遮蔽により1/2~1/3まで減衰**し、しかも空間的線量分布を考慮するとさらに**実際の線量は小さくなる**ため、**実効線量はこれらの値よりもはるかに少なくなる**。水晶体の等価線量についてはこれらの値を用いるのが妥当である。

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)

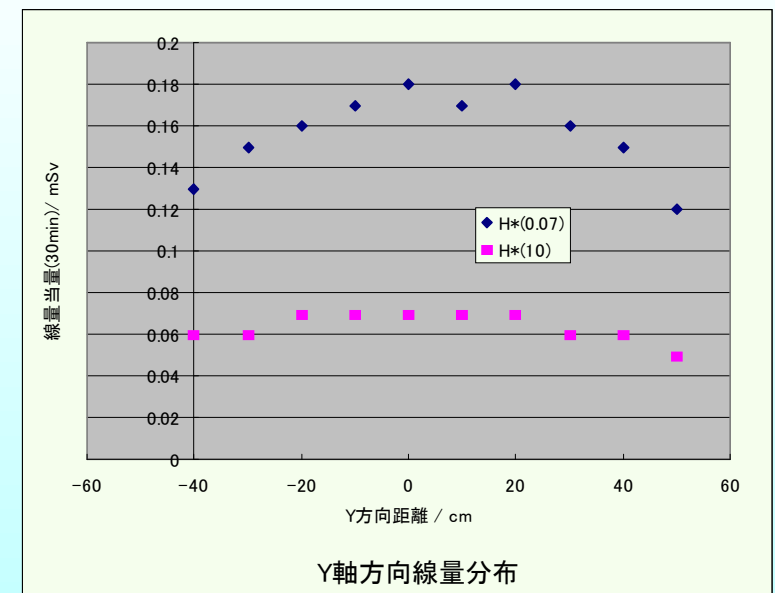
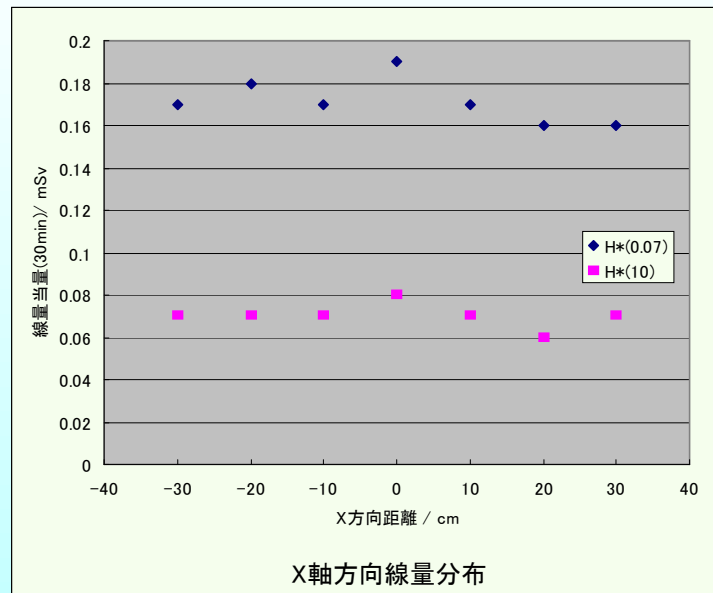
10分の演示で遮蔽無しでも、
全身への実効線量は $10\mu\text{Sv}$
にも満たないと考えられます。

X線放射方向垂直平面内での二次元線量分布

生徒位置(z=1m)での全身への線量を評価するために、平面内での線量分布を測定した。
中心から y 方向 60cm 離れた位置でも 70% 程度の線量となっており、かなりブロードな分布となっていた。



線源から 1m 離れると、点線源だとして中心から水平に 30cm 離れても、 $\sqrt{100^2 + 30^2} = 104$ cm 線源から離れただけになり、ほとんど変わらない。



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。**