

クルックス管プロジェクトシリーズ発表

(3) 教育現場での実態測定結果報告

谷口 和史(千代田市立千歳中学校)、青木 久美子(世田谷区立千歳中学校)、
秋吉 優史(大阪府立大学)、川島 紀子(文京区立文林中学校)、
小鍛治 優(永平寺町立志比北小学校)、森山 正樹(札幌市立白石中学校)、
宮川 俊晴(放射線教育F)、山口 一郎(国立保健医療科学院)

報告内容

1. 測定器の選定
2. 統一プロトコルによる測定
 - プロトコルの作成
 - クルックス管と誘導コイル
 - アンケート調査
 - 考察 (アンケート調査)
3. GB測定結果
 - 結果の集計①②
 - 1/距離2則の適用事例
 - 考察 (GB測定結果)
4. まとめ

1. 測定器の選定

事前にさまざまな測定装置を用いて線量測定を行った。

ケニス十字板入りクルックス管 3C-B & ニューパワー誘導コイル ID-6 の組合せ。
放電極距離 25 mm、放電出力 6、平均電流 40 μ 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 μ 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	μ Sv/h	μ Sv/h	μ Sv/h	μ Sv/h	μ 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

出典) 秋吉優史 (大阪府立大学 放射線研究センター)

「学習指導要領改訂による放射線教育の新展開」 (第17回放射線プロセスシンポジウム) 講演資料

1. 測定器の選定

例えば・・・

低エネルギー用NaIシンチレーターでの測定



富士電機 NHC6
φ 12.7×12.7mm NaI シンチレーター
測定範囲 X線 8~300keV(～60 μ Sv/h),
γ線 50~1500keV(～600 μ Sv/h)



Rigaku Get Smart XU
NaI シンチレーター
測定範囲 5~300keV(～10 μ Sv/h)

通常の NaIシンチレーションサーベイメーター TCS-172 だけでなく、
低エネルギー測定が可能な新製品でも正常な評価が出来ない。

1. 測定器の選定

スペクトル測定を含む事前実験で確認されたクルックス管からのX線測定における問題点として見えてきたこと…

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や、放射線計測で通常使用されるNaIシンチレーションサーベイメータなどもエネルギーが低い為測定ができない。

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？



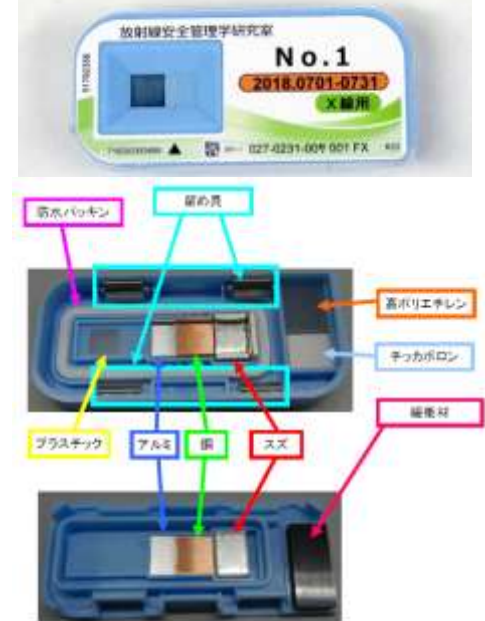
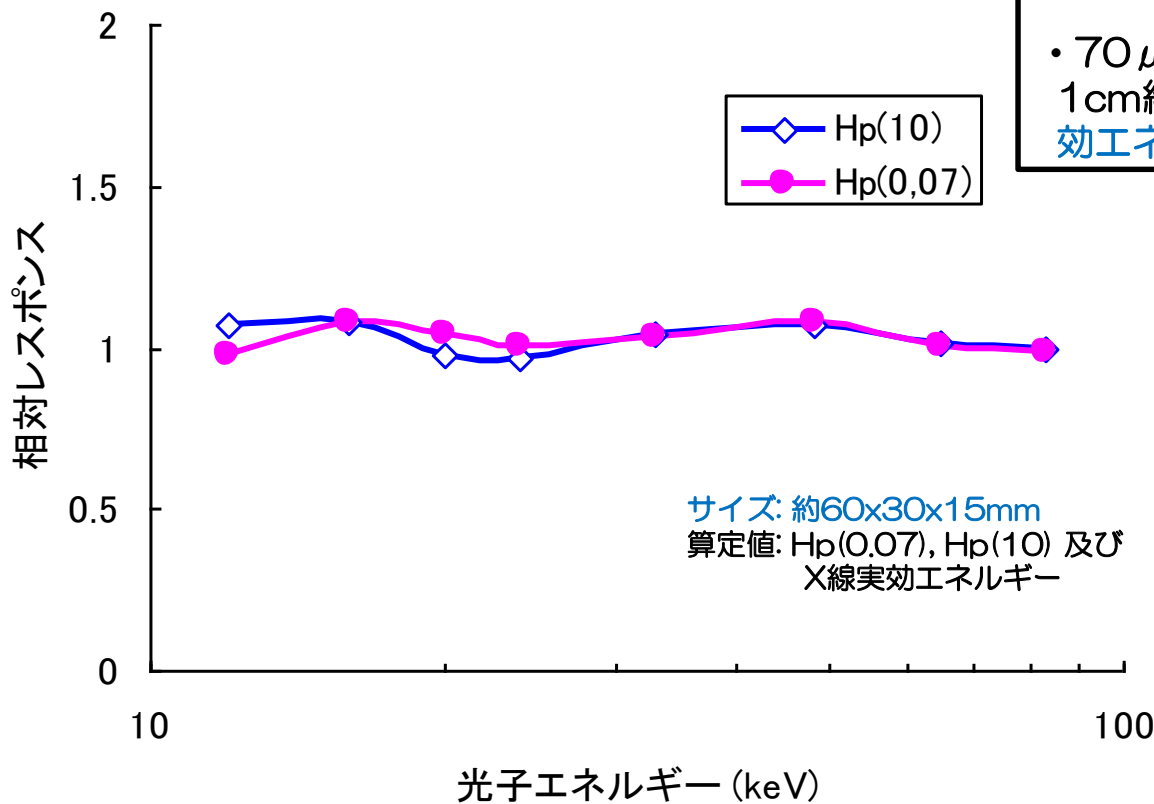
パッシブ型線量計で良好なエネルギー特性を有する「X線用FX型ガラスバッジ」を選定

1. 測定器の選定

FX型ガラスバッジ (千代田テクノル製、以下GB) の特性

モニタ商品名	モニタの種類	測定線種・エネルギー範囲	測定線量範囲
X線用ガラスバッジ	FX	X線・10keV~80keV	0.1mSv~2Sv

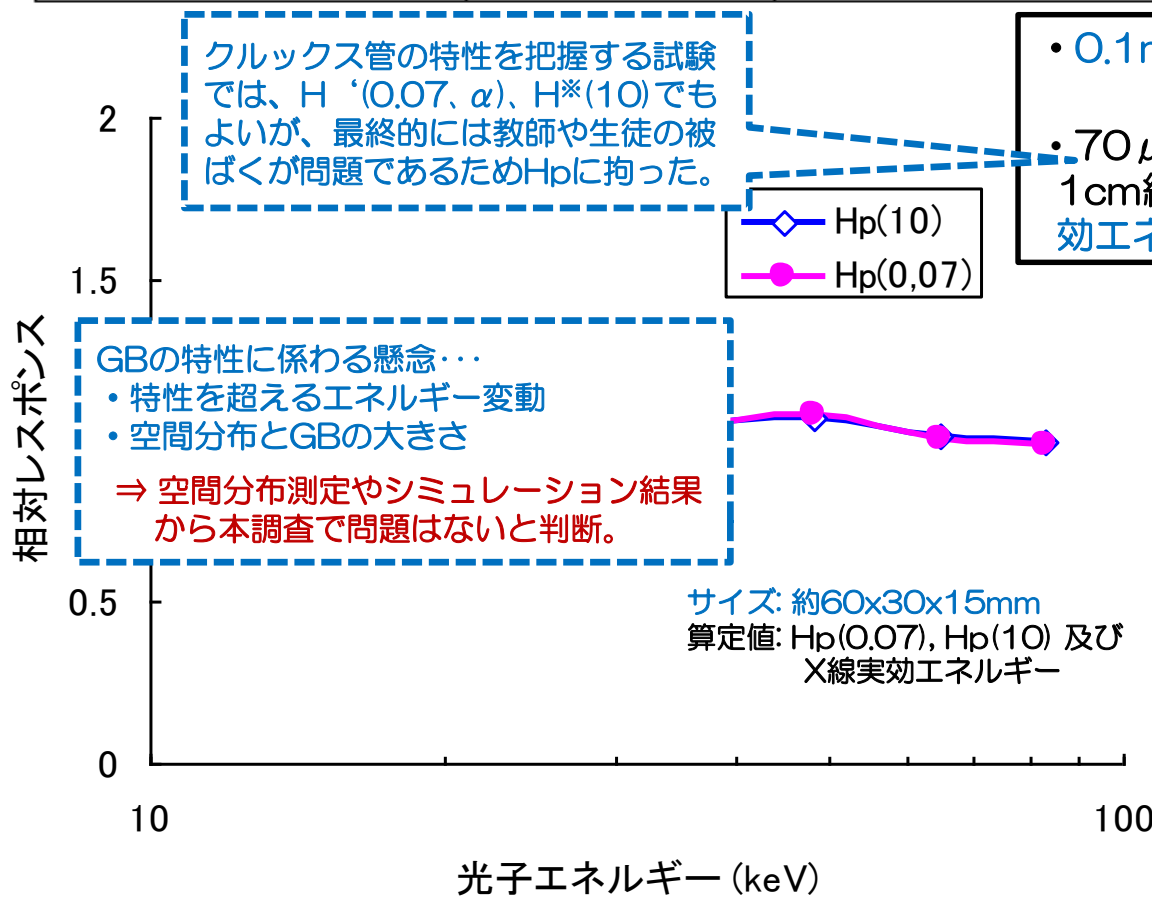
- 0.1mSv単位 (参考値として 0.01mSv単位も可能)
- 70 μ m線量当量 [Hp(0.07)]、1cm線量当量 [Hp(10)]、X線実効エネルギーを算定



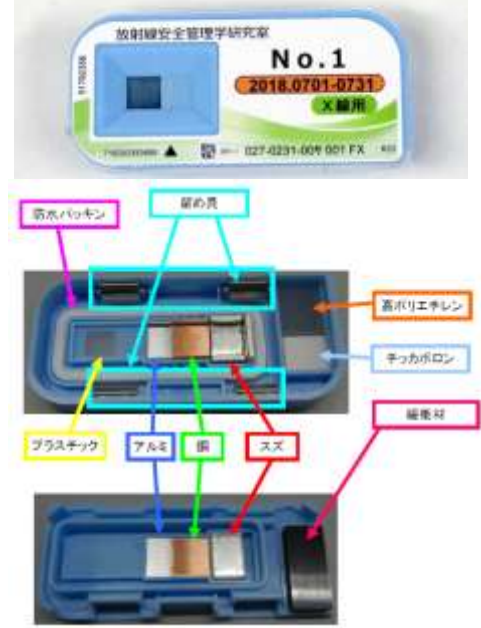
1. 測定器の選定

FX型ガラスバッジ (千代田テクノル製、以下GB) の特性

モニタ商品名	モニタの種類	測定線種・エネルギー範囲	測定線量範囲
X線用ガラスバッジ	FX	X線・10keV~80keV	0.1mSv~2Sv



- 0.1mSv単位 (参考値として 0.01mSv単位も可能)
- 70μm線量当量 [Hp(0.07)]、1cm線量当量 [Hp(10)]、X線実効エネルギーを算定



2. 統一プロトコルによる測定 - プロトコルの作成 -

各地の中学校が所有するクルックス管のX線測定を短期間で行うために、**教師ご本人**が統一プロトコルに従って実験実施。



- 原則として各校2体で実施。
- クルックス管とGBの中心軸合わせ、両者の距離、照射時間など統一。
 実効エネルギー推定及びHp(0.07)とHp(10)の測定
 距離：15cm、30cm、50cm 照射時間：10分
 ⇒ 距離3点での測定から実際に生徒が観察を行う100cm位置での線量を推定。
- 誘導コイルのつまみ設定は「普段の授業で行っている位置」で実施（印加電圧は不明）
- 所有するクルックス管に関するアンケート調査実施（後述）
- 教師は**実験実施中GB装着**（装置高さ付近の腹部または胸部に装着、照射中は被ばく低減処置（距離、遮へい）実施。）
- 全国19校（北海道、山形県、東京都、栃木県、長野県、愛知県、福井県、長崎県）の協力を得て、37本のクルックス管の測定を行った。

2. 統一プロトコルによる測定

- クルックス管と誘導コイル -



2. 統一プロトコルによる測定 - アンケート調査 -

各校に下記項目の調査を行ない、回答を得た。

School No.	1	2	
測定を実施した学校名	-	-	
担当者	-	-	
測定日	2018年8月24日 (金曜日)	2018年8月6日 (月曜日)	2018年8月7日
クルックス管A 製造メーカー	UCHIDA(写真参照)	ナリカ CT-CR	Kent製
クルックス管A タイプ	十字入り	十字入り	十字入り
クルックス管A 製造(購入)時期	平成2年(1990年)	不明(新しそう) 取扱説明書に2011/4/21と記載あり	1965年4月20日
実演時生徒との最短距離(m)	生徒:最短で約1~2m程度 教師:約0.4~0.7m	生徒1m 教員50cm~100cm	生徒:約1m 教師
実演時間(min)	授業時は、3種類ほどの演示実験(合計5分程度)。	15分	授業時は、A型、E
クルックス管B 製造メーカー	UCHIDA(写真参照)横方向	ナリカ CT-TR 冷陰極式	Shimadzu製
クルックス管B タイプ	十字入り	スリット入り電極付き	スリット入り
クルックス管B 製造(購入)時期	平成2年(1990年)	不明(新しそう)	1980年9月3日
実演時生徒との最短距離(m)	生徒:最短で約1~2m程度 教師:約0.4~0.7m	生徒1m 教員50cm~100cm	クルックス管A
実演時間(min)	授業時は、3種類ほどの演示実験(合計5分程度)。	15分	クルックス管A
誘導コイル製造メーカー	UCHIDA(TW-6E)	ケニス ニューパワー誘導コイル ID6	マリス 誘導
誘導コイル製造(購入)時期	平成2年(1990年)	2011年頃	1997年3月
放電極距離	使用せず	4cm	8cm
放電出力ダイヤル/電圧など	クルックス管A 電圧最大	ダイヤル0(十字板)	周期調整0
アース線の接続	無し	無し	無し
その他設定事項	周波数 周期調節最大		
備考(コメント等)	授業においては、いつも、最大の状態で生徒に演示しています。 その方がはっきりと、鮮やかに見えるからです。 また、電圧を最小から、最大に変化させることで、電子線(陰極線)の見え方が変わることも気づかせる必要があるからです。	クルックス管Bは冷陰極式で電子線が見えるタイプのものでしたが、10分間の間に放電現象や電子線が不安定に揺れ動く様子が見られました。誘導コイルのつまみは0でしたが、クルックス管に対応しきれない電圧がかかっていたのか、放電時間が長すぎて見られた現象なのかはよくわかりません。授業者は今までもこの方法で演示実験をされてきたそうです。	・測定時 ・No.70 ケット ・Aの 一部 の測 導線 かけ 付

3. 統一プロトコルによる測定 - 考察 (アンケート調査) -

- 全国19校で実施。クルックス管数：37体、誘導コイル：16体。
- 実験装置のグルーピングは、製造メーカーや型式等が明確でなく困難。
⇒ 今後継続する測定調査では、装置全体写真や銘板写真などを含めグルーピングに必要な情報収集を追加する。
- 加電圧、電流に関する情報がない。
⇒ 装置の取扱書にも記載がない。誘導コイルの可変ツマミに目盛はあるが、電圧との関連が不明。電圧・電流情報を得るために実験装置の工夫（改造）が必要。
- 実験中に蛍光板の輝線が不安定に揺れ動く、放電音が発生したが時間経過とともに減少、蛍光板の輝線が下流側で消える などさまざまな様子が観察された。
⇒ 経年劣化の可能性が高いが、製造年（購入年）が不明なものも多く、原因が特定できない。教材メーカーの協力も不可欠と思われる。
- 授業では、電子の流れがはっきり見えるようにツマミを最大で実施、蛍光板の輝線が見えるのでツマミはゼロにしている など教師それぞれの工夫がある。
⇒ 装置の特性を系統的に把握するためプロトコルをより厳密化する必要がある。（最終的に安全にクルックス管実験を行うための共通手順策定につなげる。）

3. GB測定結果 - 測定の集計② -

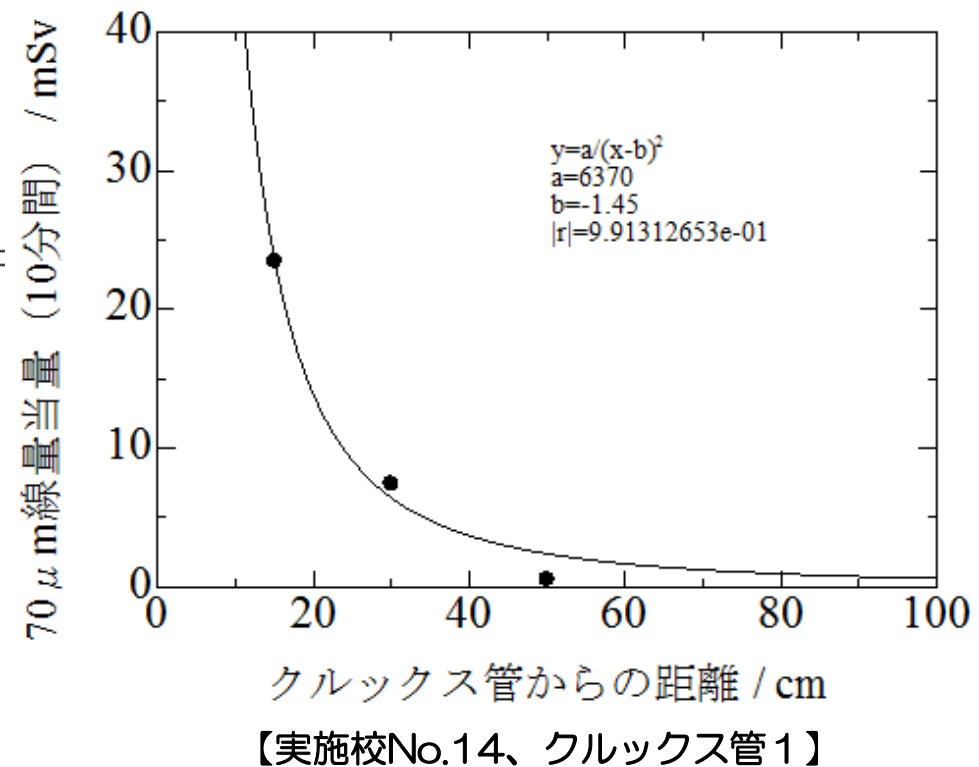
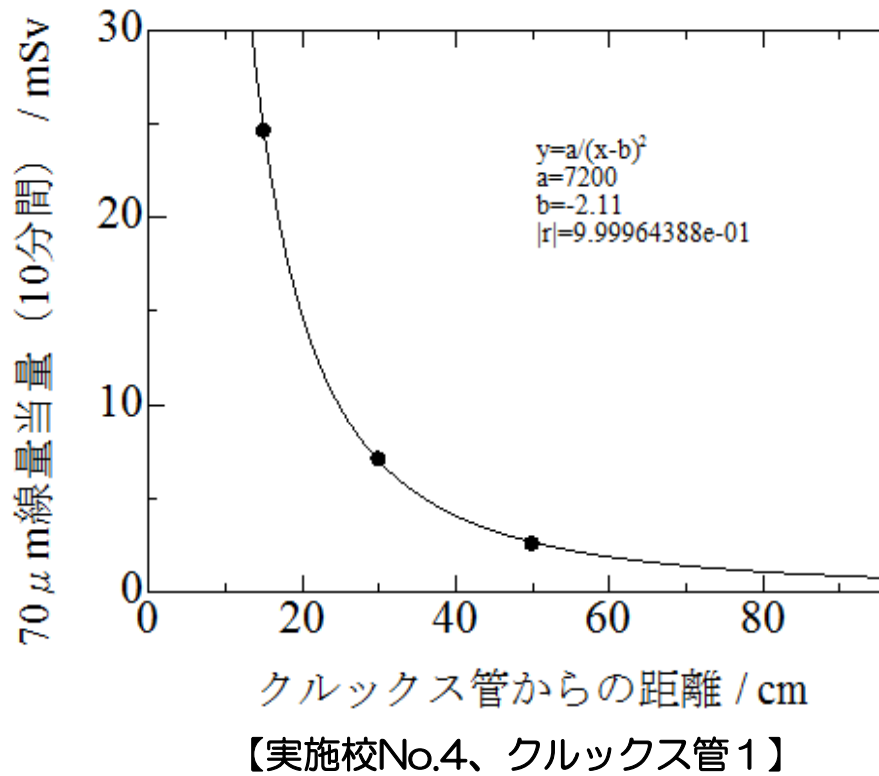
Hp(0.07)に着目、距離別測定のうち複数（ふたつ以上）検出されたものに限定して集約。1/距離²則により推定した100cm位置での線量、教員着用のGB測定結果を合わせて記載。

実施校No.	1	3	4	5	6	7	11	12	14	16	17
70 μ m線量当量 (mSv) /10分											
製造メーカー (販売元)	A	B	A	C	D	E		D	D	F	?
クルックス管1 15cm	0.2	0.3	24.6	19.0	7.0	32.6		0.3	23.5	0.1	9.4
クルックス管1 30cm	0.1	0.1	7.1	4.8	0.9	9.2		0.2	7.4	0.1	1.9
クルックス管1 50cm			2.5	1.9	0.3	3.9		0.1	0.6	0.2	0.6
100cm線量推定値 ¹⁾	0.0	0.0	0.7	0.4	0.1	0.9		0.1	0.6	0.0	0.1
製造メーカー	-	-		C		C	?	D			
クルックス管2 15cm	-	-				0.1	1.1	0.2			
クルックス管2 30cm	-	-		0.1		0.2	0.3	0.1			
クルックス管2 50cm	-	-		0.1		0.3	0.1				
100cm線量推定値 ¹⁾				0.0		0.1	0.0	0.0			
教員着用GB			0.5	0.1		0.1					0.3
教員推定線量 ²⁾			2.1	1.4		3.0					0.4
教員GB/教員推定 比			0.2	0.1		0.0					0.7

1) 1/距離²則近似式より推定した1m位置での10分間のHp(0.07)線量 (mSv/10分)

2) 上記1) で求めた線量に実験時間を30分+30分として推定 (mSv)

3. GB測定結果 - 1 / 距離²近似式の適用事例 -



3. GB測定結果 - 考察 (GB測定結果) -

- 3つの距離別測定で、いずれの距離でもHp(0.07)が検出されなかったクルックス管は18体/37体、Hp(10)は22体/37体。一方、すべての距離でHp(0.07)が検出されたものは10体/37体、Hp(10)は7体/37体。(Hp(10)の7体は、Hp(0.07)の10体に含まれる。)
- Hp(0.07)が検出された装置について、測定値は $1/\text{距離}^2$ 則にほぼ乗った。 $1/\text{距離}^2$ 則近似式を用いて1m位置でのHp(0.07)を推定。
- 15cm位置でのHp(0.07)が32.6mSv/10分を示す装置が確認された。これは1m位置での推定Hp(0.07)が0.9mSv/10分になるが、今回の測定のために意図的に最大出力(最大ツマミ)で実施したものであり、普段からこの数値が出ているわけではない。
- 一方、最大出力で実験している学校でも、1m位置での推定Hp(0.07)が検出限界未滿に留まっていたり、逆に最小出力にも係わらず15cm位置で23.5mSv/10分、1mでの推定Hp(0.07)が0.6mSv/10分になる装置もあった。
 - ⇒ このようなさまざまな特殊性に製造元(販売元)の偏りは無い模様。また、経年劣化によると断定もできない。
- $1/\text{距離}^2$ 則に乗らないものや念のために配備したバックグラウンド測定用GBに有意な値を示したものもあった。
 - ⇒ 特異的な結果を示す装置は、電圧の安定性が極端に悪いなどの原因も考えられるので詳細調査が必要かもしれない。そのためにも実態調査は継続すべきである。

3. GB測定結果 - 考察 (GB測定結果) -

- 教師が着用したGBでHp(0.07)が検出されたのは、7個/37個。
- 距離別測定で高いHp(0.07)値が検出された装置でも、教師着用のGBで未検出のものがある。また、1m位置での推定線量を用いて計算した教師推定Hp(0.07)線量と教師着用のHp(0.07)値を比較すると、後者は前者より1/2から1桁低い。被ばく低減のために距離を取ることを、遮へい設置することをプロトコルに盛り込んでおり、線量実測値が低くなるのは極めて自然のことと考えられる。
 - ⇒ 被ばく低減処置が有効だったとも言えるが、着用部位が適切でなかった可能性もある（例えば、実験机より下方にGB装着）ので、今後継続する実態調査では、講師のGB装着部位や被ばく低減処置についてより詳細に指定する必要があるかもしれない。
- 推定実効エネルギーは16~25keVであり、スペクトル測定やGMサーベイメータとアルミニウム遮へい板を用いた線減弱係数推定実験から算定したエネルギーとよく一致している。

4. まとめ

- 教師や生徒の放射線被ばくが懸念されるため、Hp(0.07)、Hp(10)測定及び実効エネルギー推定可能なX線用ガラスバッジを使ってクルックス管からの漏洩X線の線量測定を行った。
- 15cm位置での10分間のHp(0.07)が最大で32.6mSv、測定結果より推定した1m位置での10分間のHp(0.07)が0.93mSvになった。
- 実際の授業での実験観察は、通常数分間で1m程度離れた位置で行うので人体影響はほとんど考えられないが、今回確認された以上の漏洩がある装置や装置を覗き込む生徒もいると想定されるので、皮膚や眼の被ばくに配慮すべきかもしれない。
- 今回、Hp(10)も測定したが、Hp(0.07)に限定して考察した。漏洩X線のエネルギーが20keV程度と極めて低いため、実効線量としての影響はほとんど無いと考えるが、人体影響を含め放射線防護の専門家の議論を期待したい。
- 今回は電子線下流側にGBを配置して測定したが、実際の実験では生徒は同心円的に装置を取り囲んで観察するため、シミュレーション評価に加えて2次元、3次元的な線量分布測定が望まれる。
- 教育現場での実態を把握するために、実態調査の継続は必要である。

備考

実効エネルギー：銅フィルタを使って半値層から減弱係数を求める。光子エネルギーを単色と考えて、この減弱係数に等しくなる光子のエネルギーを実効エネルギーという。

実効線量とHp(10)：下図

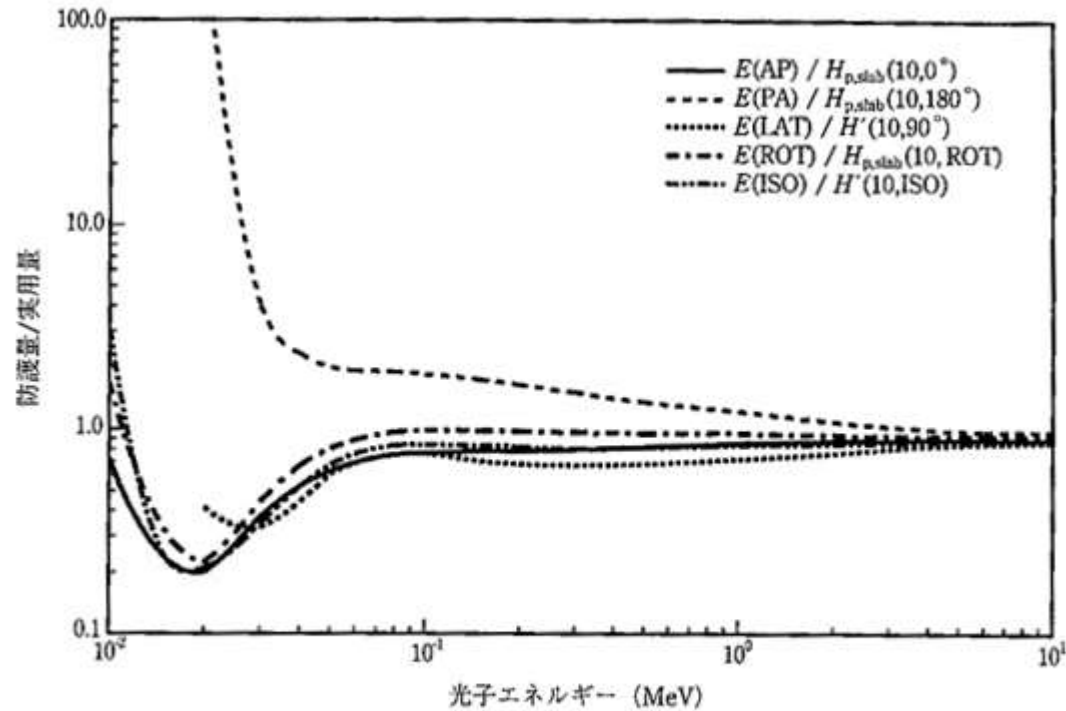
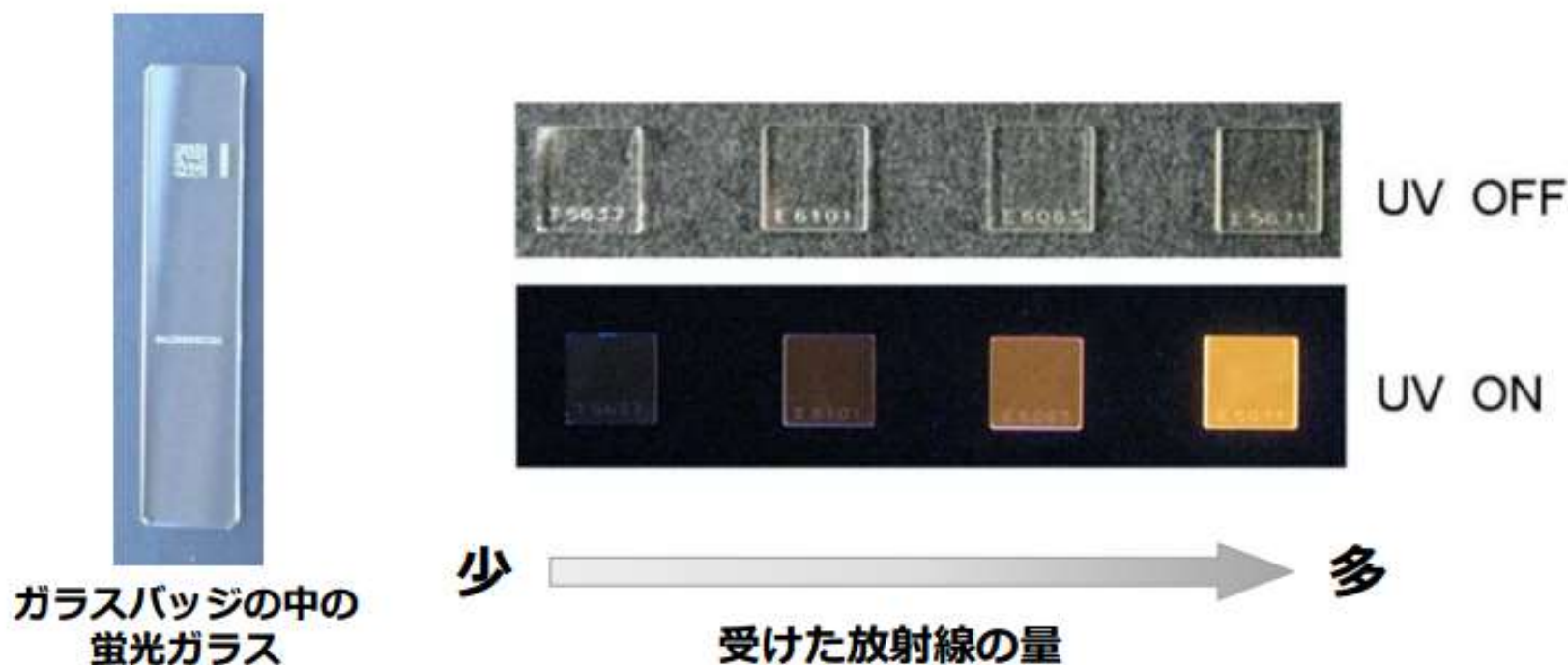


図68 どちらも光子エネルギーの関数として表した、いくつかの照射ジオメトリーについての比 $E/H_{p,stab}(10)$ と $E/H'(10)$ 。

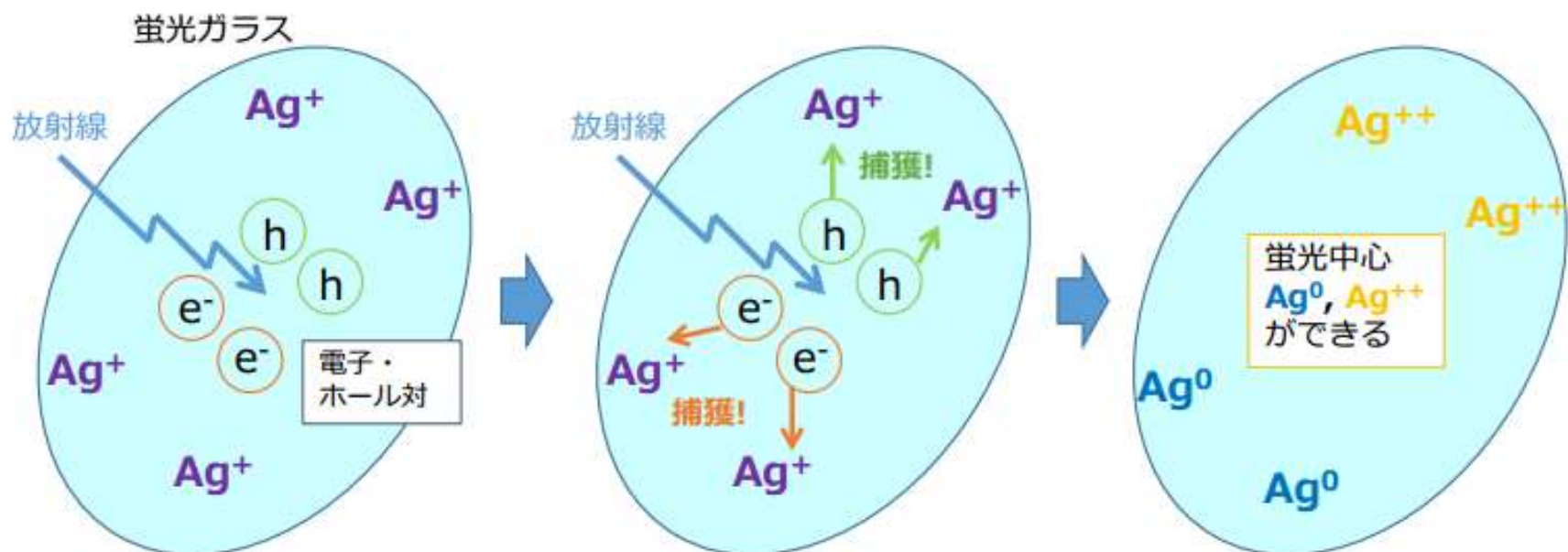
蛍光ガラス

- ✓ 銀活性リン酸塩ガラス（リン酸塩ガラスに Ag^+ を少量添加したもの）
- ✓ UV光をあてると、受けた放射線の量に比例したオレンジ色の光を出す



蛍光中心（オレンジ色の光のもととなるもの）の形成

- ✓ 蛍光ガラスには Ag^+ が入っている
- ✓ 放射線があたって生成された電子・ホール（正孔）を Ag^+ が捕獲し、ふたつの蛍光中心「 Ag^0 」と「 Ag^{++} 」が形成される



この「 Ag^0 」、「 Ag^{++} 」が UV光をあてたときにオレンジ色の光を出す「もと」となるものです

蛍光ガラスの発光スペクトル

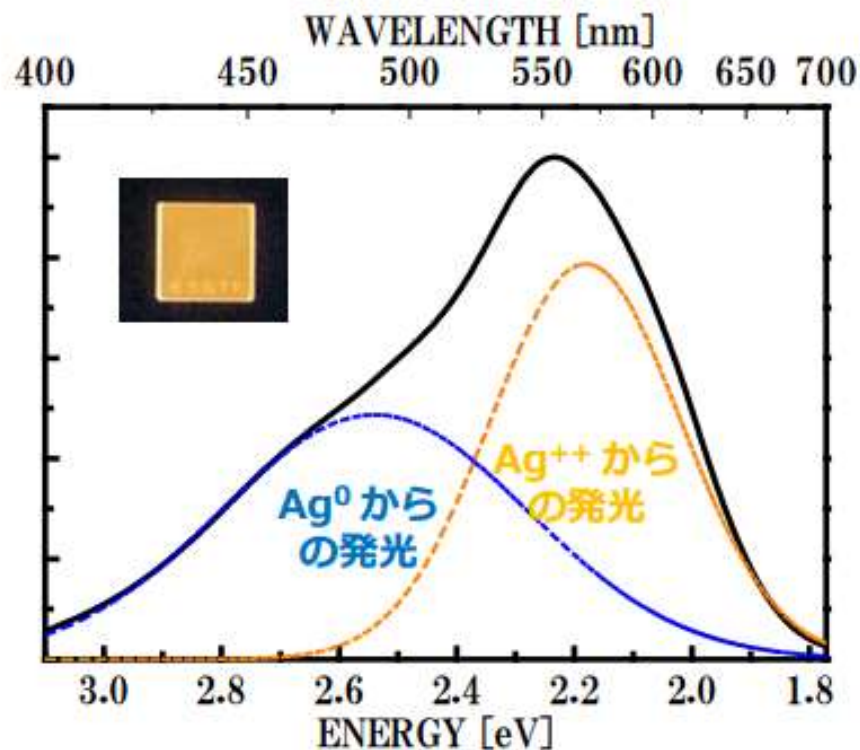
右図の黒線は、X線を照射した蛍光ガラスにUV光をあてたときの発光スペクトルです。

発光は、二つの成分からなることがわかります。（青線とオレンジ線）

青線は、 Ag^0 から出る発光です。
（ブルーの光）

オレンジ線は、 Ag^{++} から出る発光です。
（イエローの光）

この二つが合わさって、写真のようなオレンジ色の光に見えているのですね。



Ag^0 からはブルーの光

Ag^{++} からはイエローの光

蛍光ガラスから出る光の色は
写真のようなオレンジに

蛍光ガラスの発光モデル図

