

**2018年5月11日 日本アイソトープ協会
放射線業務従事者のための教育訓練講習会（再教育）**

特別講演

**「教育現場における放射線
安全管理の新展開」**

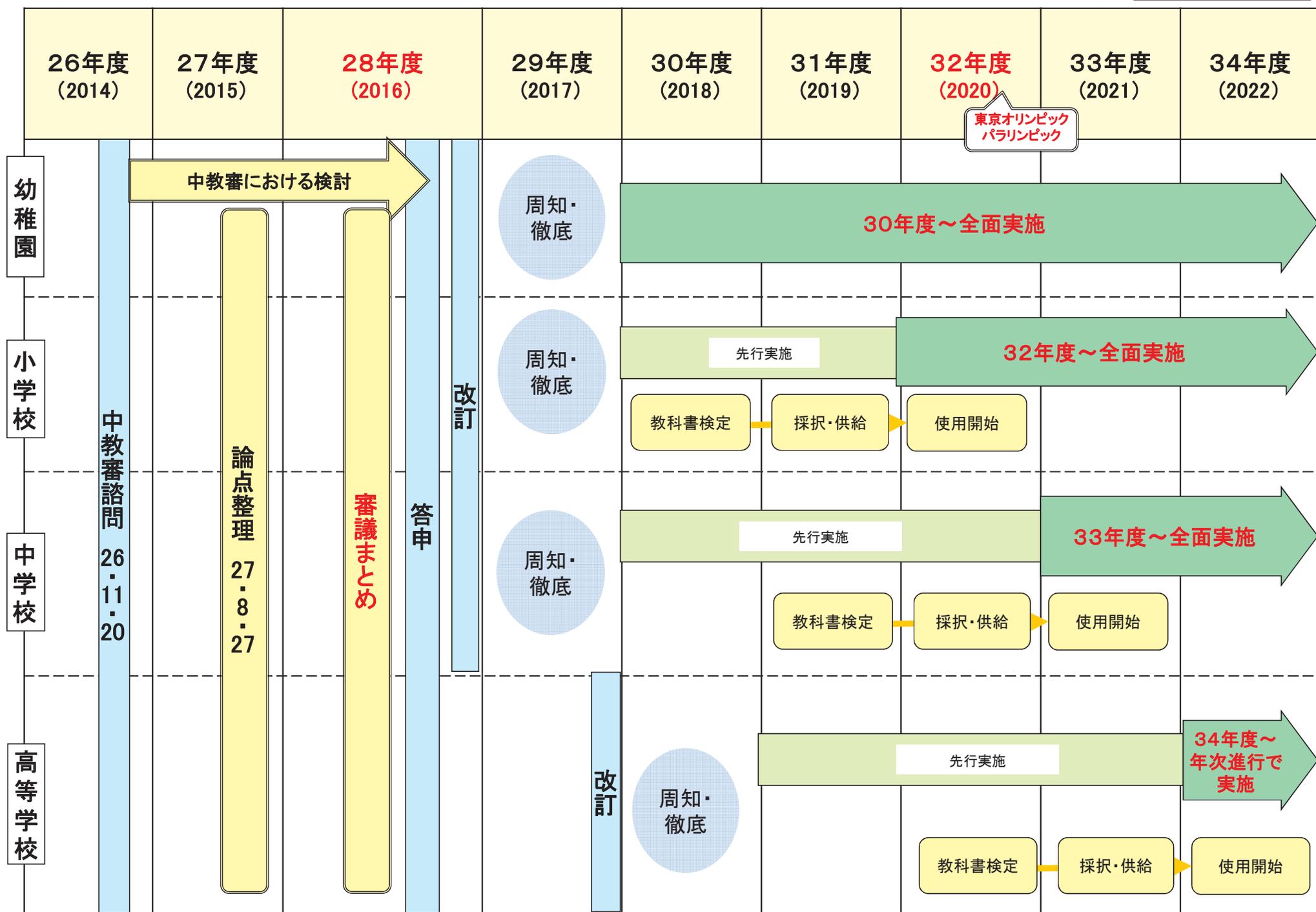
**大阪府立大学 放射線研究センター
秋吉 優史**

Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp

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



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）



東京オリンピック
パラリンピック

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

2017年3月に公布された新・中学校学習指導要領

p69 (7) 科学技術と人間 (ア) エネルギーと物質

○ア エネルギーとエネルギー資源様々なエネルギーとその変換に関する観察, 実験などを通して, 日常生活や社会では様々なエネルギーの変換を利用していることを見いだして理解すること。また, 人間は, 水力, 火力, **原子力**, 太陽光などからエネルギーを得ていることを知るとともに, エネルギー資源の有効な利用が大切であることを認識すること。

↓「内容の取扱」

p72 アの(ア)の○アについては, 熱の伝わり方, **放射線にも触れること**。また, 「エネルギーの変換」については, その総量が保存されること及びエネルギーを利用する際の効率も扱うこと。

2008年3月に公布された旧・中学校学習指導要領にも同様の内容

**依然としてこの内容も効果的に学習できる
コンテンツの開発を行う必要がある**

クルックス管からのX線の発生

①

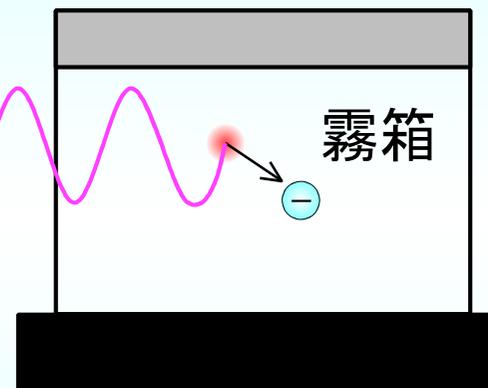
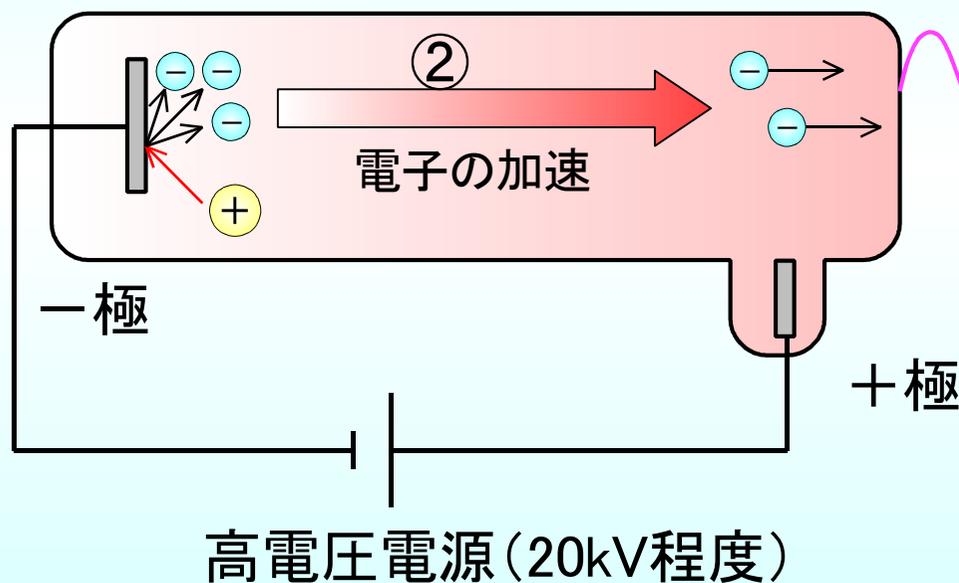
＋のイオンが一極に引きつけられて電子を叩き出す
(二次電子放出)

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

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
は印加電圧の半分程度。

**極めて簡単な構造の冷陰極により
電子ビームの発生が可能であるが、
比較的高い電圧が必要。**

実際にはクルックス管自体を構成するガラス管
により発生したX線が減衰するため、漏洩するX
線はエネルギーの高い成分が中心。

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、自然放射線などにより電離した**わずかなイオン**が加速されて陰極に衝突する。その際に多数の二次電子を放出し、この二次電子が加速されて電子ビームとして観察される(蛍光体により観察しやすくしてある)。

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**。

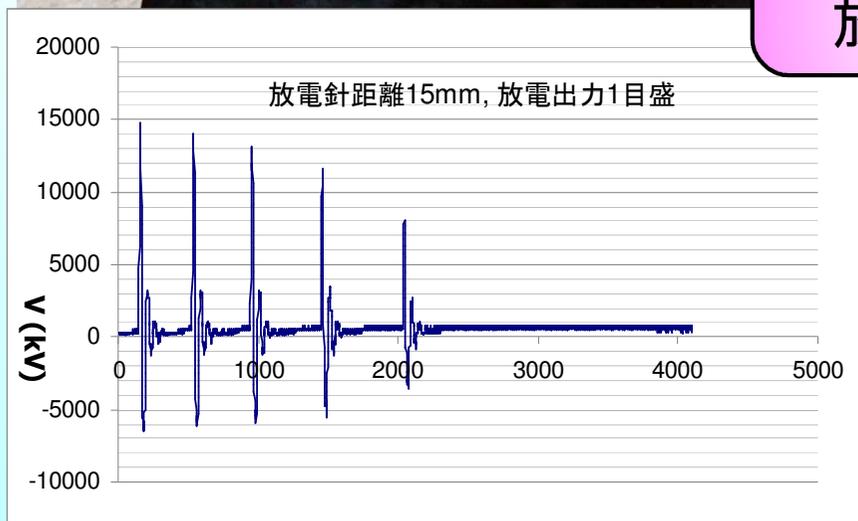
誘導コイルを用いた高圧印加について



放電極距離

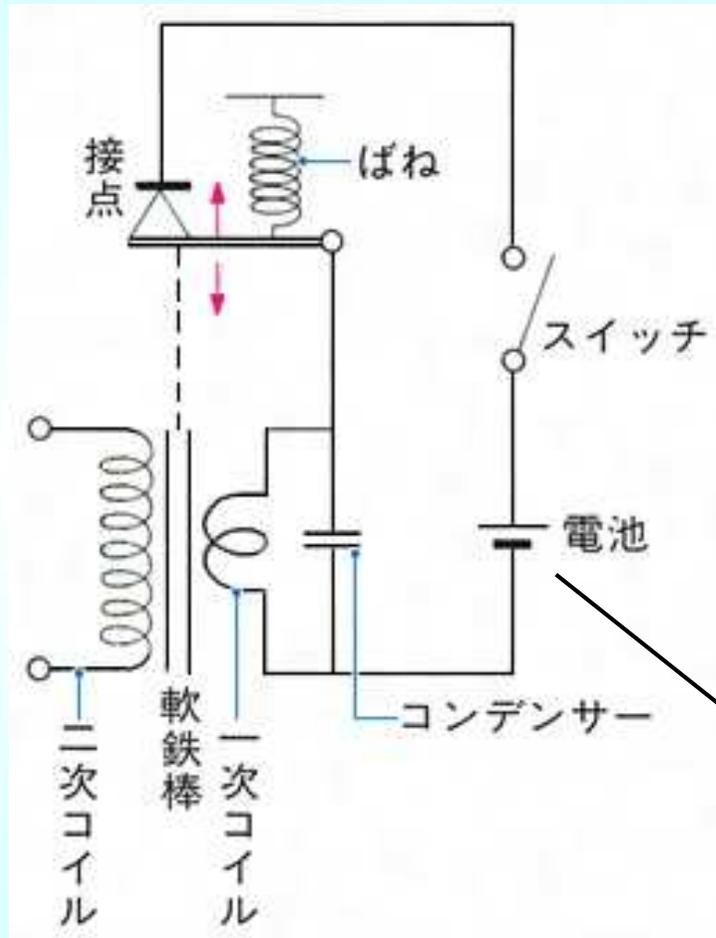
放電出力

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。放電電圧以下では、放電出力を変えることで連続的に電圧をコントロール可能。放電電圧以上に出力を上げると無駄に放電が激しくなるので、目的の電圧を出力するためには丁度放電が起こり出す出力程度にコントロールする必要がある。



電圧測定時にはガラス抵抗体などの物理的もサイズの大きい、100M Ω 以上の抵抗と、100k Ω 程度の抵抗を組み合わせた分配器を用いて測定するが、アースを取っていないとカソード側も高電圧をパルス的に出しているため、2chのオシロスコープでアノード側との差分を取る必要がある(フローティング測定)。

誘導コイルを用いた高電圧生成について

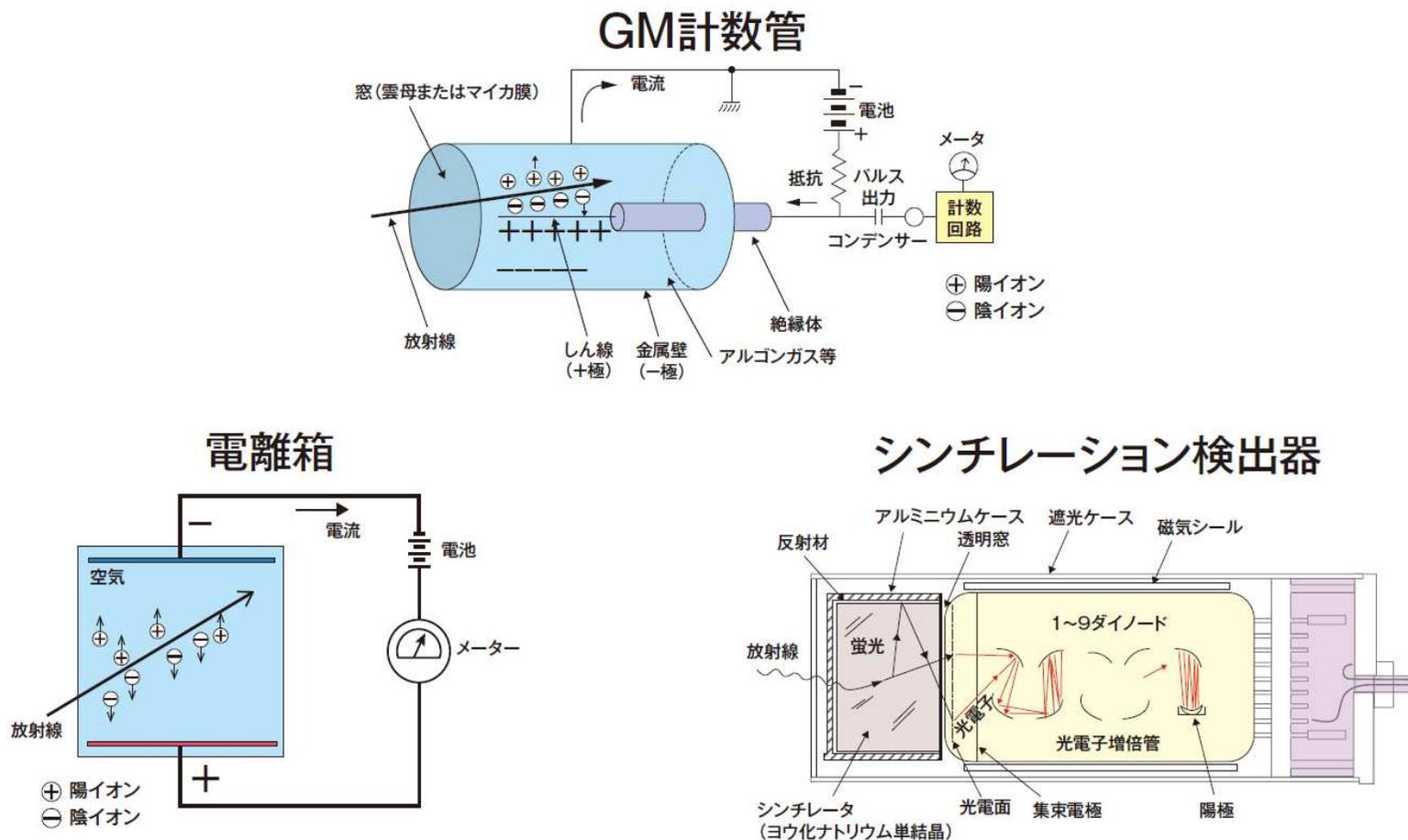


誘導コイル(Induction Coil)は、極端に巻き線の数の異なるトランス(実際には同軸上に巻かれている)の一次側の電流を、ベルやブザーなどと同様の機械的な接点を含めた回路で連続的にON/OFFすることでパルス状に変化させて、二次側に大きな電圧のパルスを生成する。

プラス側だけでなくマイナス側にもパルスが出るが、接点切断時の一番最初のプラス側のパルスの方が大きい。

放電出力などと書かれている調整用のダイヤルは、可変抵抗などで一次側に印加する電圧を変化させている。

放射線計測器の測定原理



(注) 電離箱では、 10^{-9} ~ 10^{-14} A程度の微電流を測定する必要がある

シンチレーション検出器では、蛍光が光電面に当たると光電子が飛び出し、これがダイノード(増倍電極)で増倍されて、大きな電気信号が得られる

電離箱サーベイメーター

原理的には最も単純な、気体電離箱式のサーベイメーターは、放射線により気体が電離した量を電流としてそのまま取り出すため、良好なエネルギー特性と、均一な方向特性、各種サーベイメーターのうちで**最も強い放射線場でも用いることが出来る**という特徴を持つ。

しかし、一般的に感度が比較的低く、 $1 \mu\text{Sv/h}$ 程度が測定限界であるため、バックグラウンドレベル ($0.05 \mu\text{Sv/h}$ 程度) の測定は困難。

また、回路が安定するまでやや時間を要し、使用する10分程度前には電源を入れる必要がある。



NaI シンチレーションサーベイメーター

NaI(Tl) シンチレーターに光電子増倍管(フォトマル)を組み込んで、その出力パルスを計数するサーベイメーターで、**感度が高く、エネルギー特性がよい**ことが特徴としてあげられる。比較的軽元素のヨウ素を含んでおり感度が高く、バックグラウンドレベル (0.05 μ Sv/h 程度)でも測定可能である。

出力波高から検出した γ 線のエネルギーを求められるため、電子回路を用いて**エネルギー補償をした線量等量率**を求めることができる。しかし、NaI 結晶は吸湿性があるため密閉する必要があるため、ステンレスハウジングを β 線は通過できず、また 50keV 以下の γ 線も補償回路によりカットされてしまうため測定することは出来ない。このため、強度が強くても**エネルギーの低い X 線**や、遮蔽体による散乱線は**測定することが出来ない**ため、注意を要する(そのような場合は電離箱を用いる)。

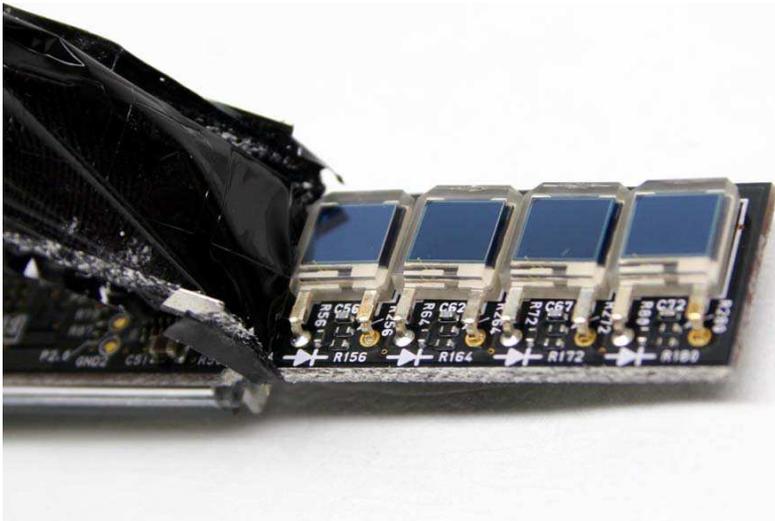


一般人向けのサーベイメーター

- ・シリコン半導体センサー(フォトダイオード)を用いた計測器

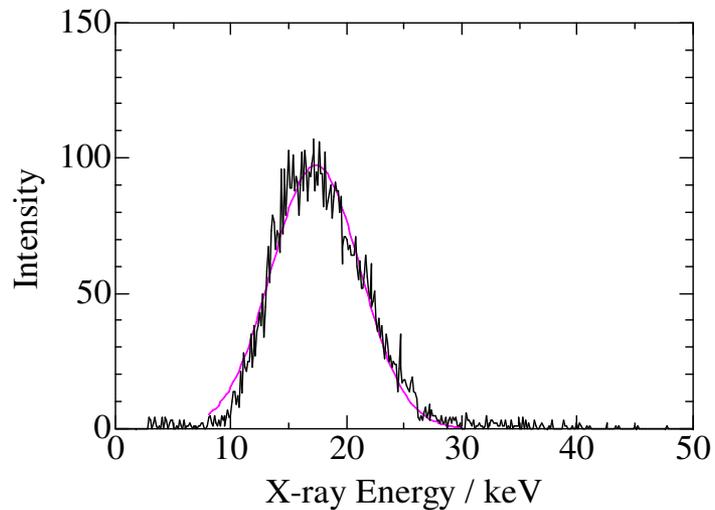
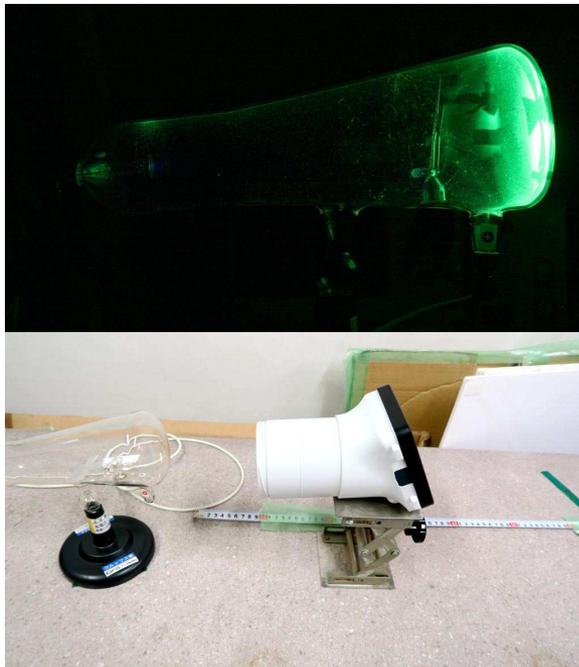
フォトダイオードは、本来逆電圧をかけると電流が流れないダイオードに、光が当たると電流が流れるという、太陽電池と同様の効果を利用してフォトンを検出するセンサーである。これを光を通さない膜で包み、放射線を検出するようにしたもので、安価なサーベイメーターはほとんどこれを使用している。

エステーが発売しているエアカウンターSはその代表格で、3000円程度と非常に安価であるが、複数の核種を用いた実験で、理論値及びNaIシンチレーションサーベイメーターと比較してほぼ同じ値を示しており、かなり優秀である。ただし、正確な測定には数分を要する。



低エネルギーX線に対する サーベイメーター挙動の比較

	電離箱		NaIシンチレーター		GM管	プラスチックシンチレーター	CsIシンチレーター
	日立 ICS-1323		富士電機 NHC6	アロカ TCS-172	Ranger	Kind-mini	エアーカーンターEX
距離 d	70 μ m線量当量	1cm線量当量	Be窓	汎用	1min scaler	カバー無し	カバー無し
(cm)	mSv/h	mSv/h	μ Sv/h	μ Sv/h	kcpm	μ Sv/h	μ Sv/h
15	8.15	5.3	1.34		33.89	118	12.6
30	1.91	1.28	10		31.68	64	12.5
50	0.64	0.465	13.1	0.15	27.32	24.5	8.3



CZT(CdZnTe)検出器によるクルックス管からの
エネルギースペクトル

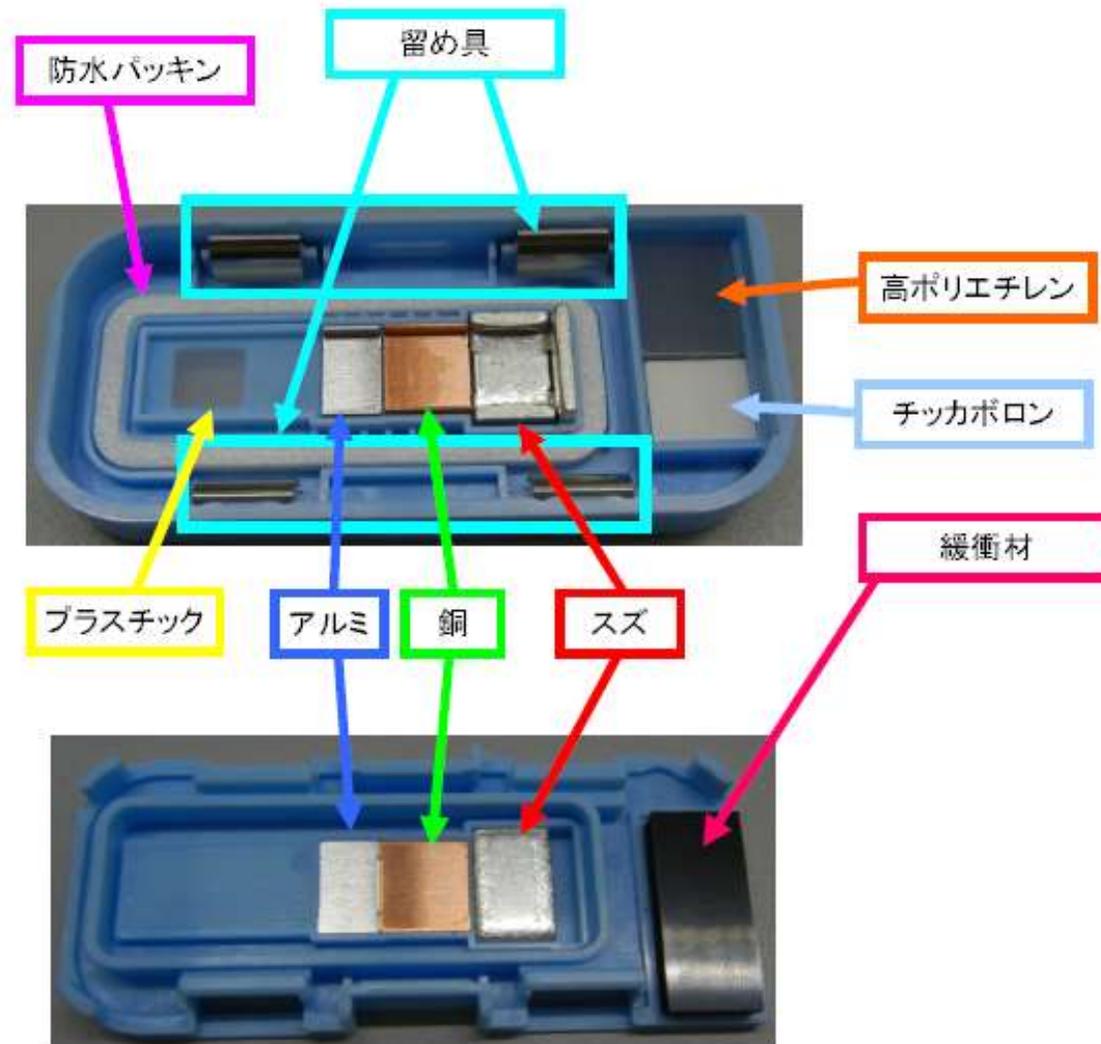
様々な放射線検出器による測定

放射性同位元素を利用する上で、施設の安全管理上、また利用者自身の安全を確保するために、使用する核種に合わせた測定器を用いて、空間線量と汚染の測定を行う必要がある。

線種やエネルギーの違いによる検出器の応答の違いを理解していないと、正しく評価できなかつたり、全く測定することが出来ない場合がある。

また、空間線量測定の際に測定機で測定されるのは様々な物理量に基づいて評価される実用量(線量当量)であり、防護量である実効線量ではない。エネルギーによって換算係数は変化するが一般に表示値は換算後の値である。また、線量当量として70 μ m線量当量か、1cm線量当量かを区別する必要がある(ほとんどは1cm線量当量)。

ガラスバッジホルダのフィルタ構造

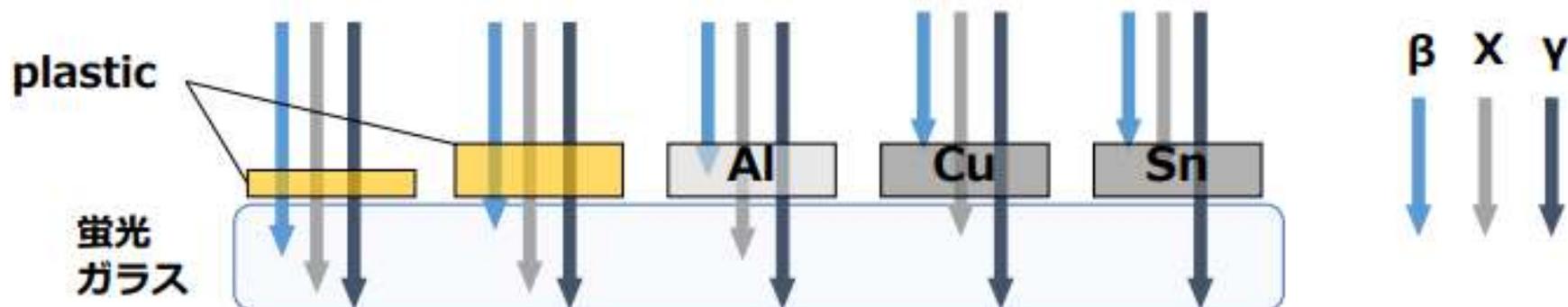


蛍光ガラスでの線量測定

人体（組織）が受けた線量を蛍光ガラスで測りますが、
人体とガラスは違います

- ⇒ 放射線に対するエネルギーレスポンスの違いを補正する必要がある
- ⇒ そのためには、ガラスバッジにどのような放射線（線種、エネルギー）が入ってきたのか知る必要がある

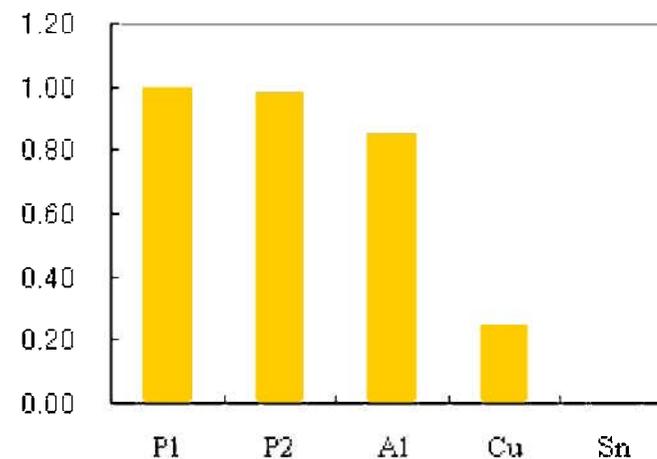
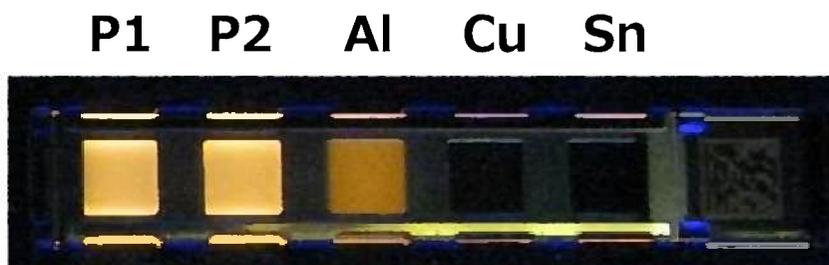
5つの放射線減弱フィルタの使用



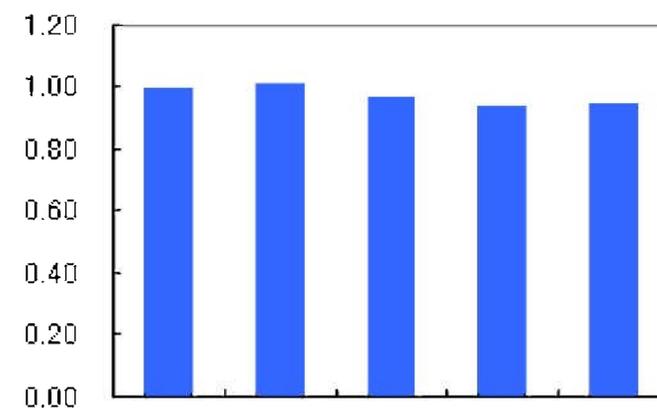
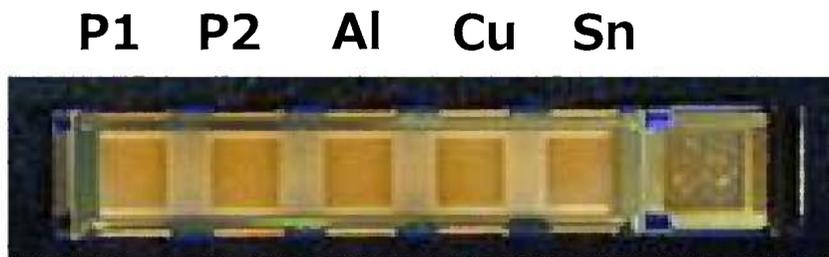
蛍光ガラスの各フィルタ下の発光パターンから、
放射線の種類やエネルギーを知り、レスポンスを補正し線量を求める

蛍光ガラスの発光パターン例

✓ 30 keV X線



✓ ^{137}Cs γ 線(662 keV)



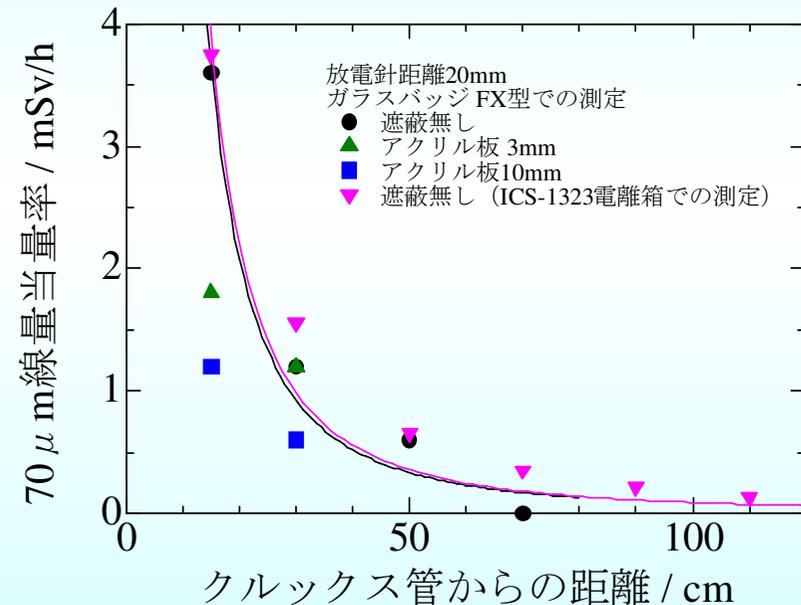
目次へ

ガラスバッジを用いた線量測定

20keV 程度の低エネルギーX線は、透過力が低く一般的なNaIシンチレーターや、半導体検出器を用いた普及型のサーベイメーターでは測定する事が出来ない。

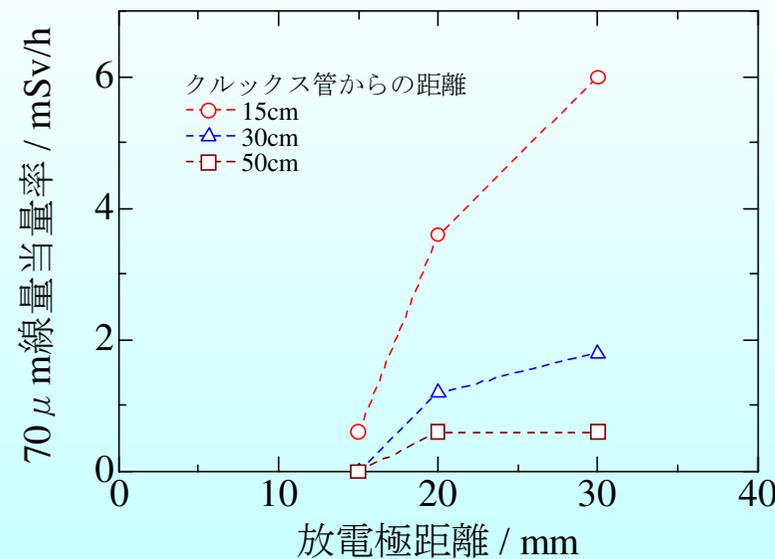
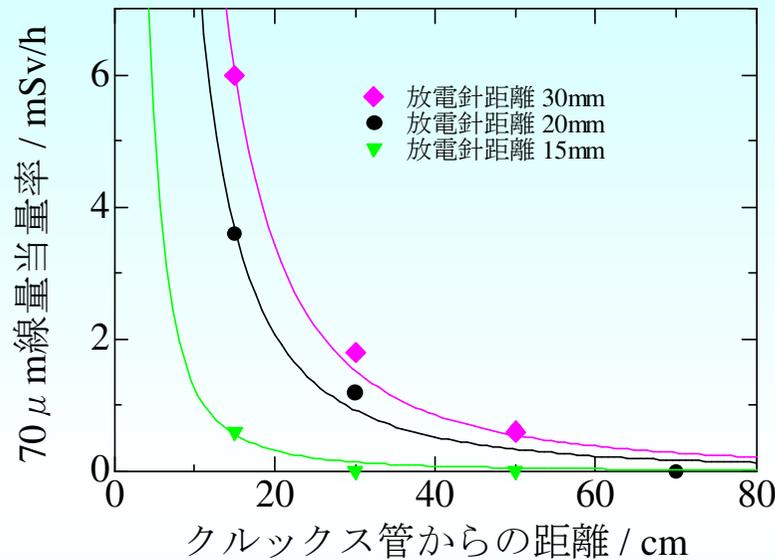


低エネルギーのX線でも測定可能な信頼できる測定手段として、蛍光ガラス線量計を用いた、千代田テクノルのガラスバッジによる環境線量測定サービスを利用した。また、日立の最新の電離箱 ICS-1323もテストした。



ケニスの誘導コイルの放電針距離20mm(20kV強に相当)、放電出力2目盛、十字板付きクルックス管の十字板を下げた状態で測定。照射時間は10分間で1時間あたりに換算(0.1mSv単位の測定のため結果は離散的)。

ガラスバッジを用いた線量測定



・アクリルでの遮蔽は、20keVでの半価層は約10mmの計算だがそれよりもやや遮蔽能が高かった。低エネルギー成分の影響が考えられる。

・放電極距離を変えて印加電圧を上昇させると、ガラスバッジで測定される線量が明らかに増加した。

・放電極距離15mmでは30cmの距離で測定下限(0.1mSv)を下回り、かなり安全性が高まることが確認された。

・現在依頼しているガラスバッジの測定精度が0.1mSv単位であるため、より高精度での測定オプションを利用する予定。

クルックス管を安全に使用出来ないか？

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。

株式会社ホリゾンからは、冷陰極を用いて低電圧で被ばく線量を抑えての陰極線観察を可能としたクルックス管が 22,000円、電源も18,000円と手軽な金額で発売されている。低電圧動作が可能であり、専用の電源での 5kV 程度での動作では全くX線の放出が観測されなかった。さらに、20kV程度と同じ電圧で駆動させても他社製品より X線放出量は少ない。



5kV で動作中のクルックス管



9V電池駆動の
5kV 高圧電源
(CW回路)

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

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

測定結果の不安定性

クルックス管からのX線量は様々な測定結果が報告されているが、報告により値がバラバラである。

使用する装置による差異は、クルックス管の内部に封入したガスがガラス管に吸着されて枯れてしまい、高電圧を印加せざるを得なくなった事などが原因と考えられる。
しかしながら、同一の装置で同一の設定を用いても測定する度に測定結果が大幅に変化する。

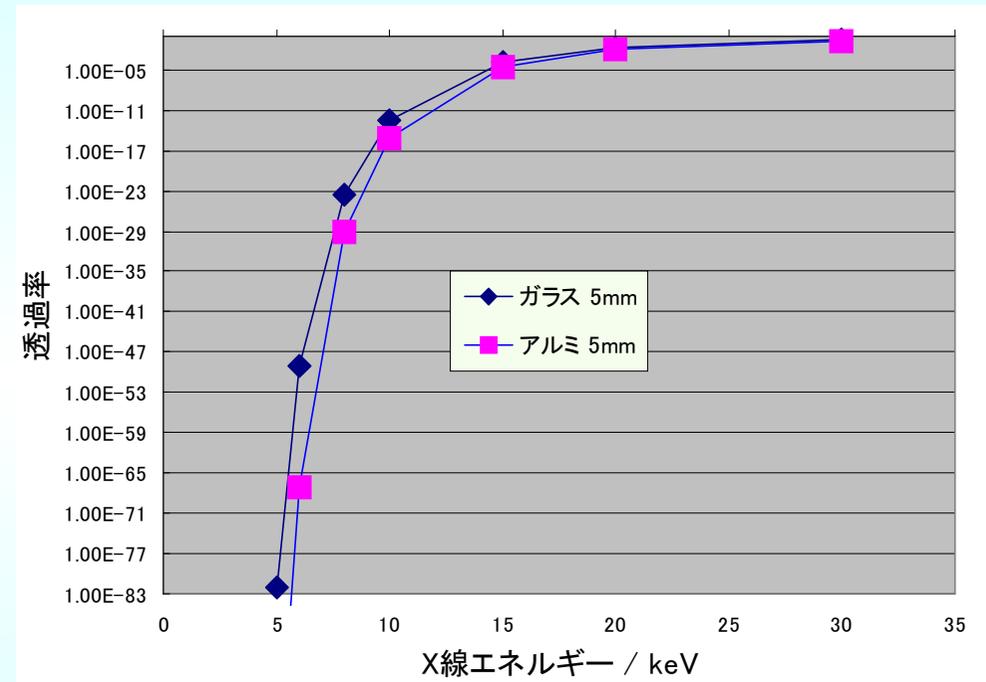
10-20keV 程度のX線は僅かなエネルギー変動により何桁も透過率が変わるためであると考えられる。

様々な装置が全国に存在するため、使用する都度教員が測定を行い線量を確認する必要があるが、10-20keV程度の低エネルギーX線の評価は非常に困難である。

GM管での計数率測定と、霧箱による飛程の観察などの簡易な方法でスペクトル評価を行い、線量当量を求められないか？

低エネルギーX線の透過率

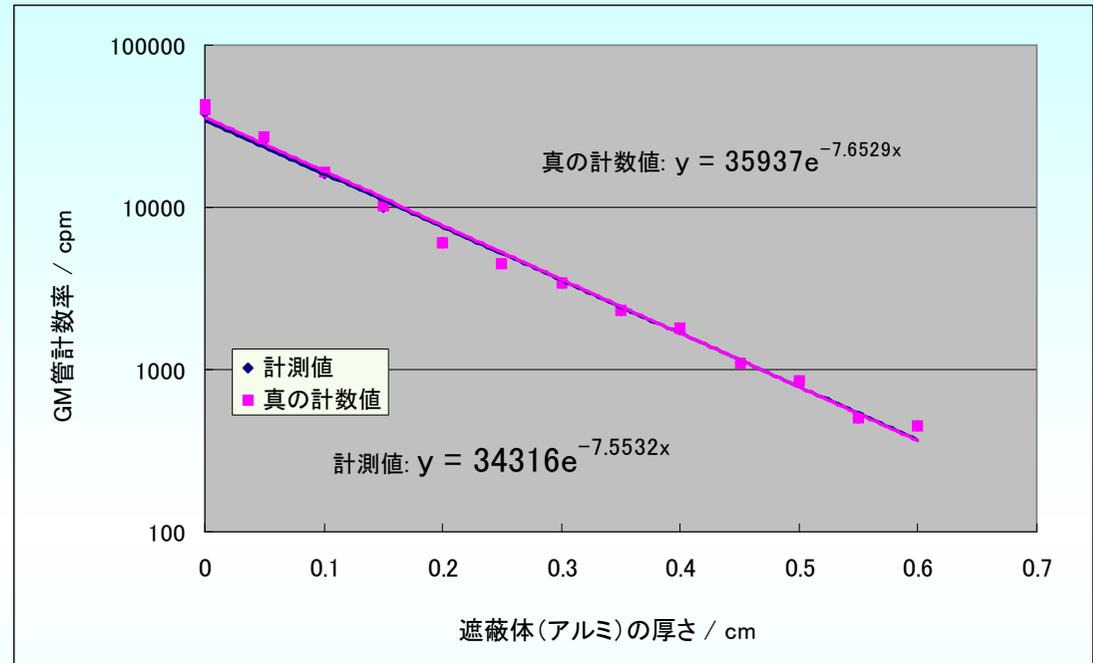
エネルギー (keV)	質量減衰係数 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	厚さ(cm)	透過率	遮蔽体
5	41.5	1.00	1.0	9.48E-19	水
6	23.85			4.39E-11	
8	9.94			4.82E-05	
10	5.051			6.40E-03	
15	1.546			2.13E-01	
20	0.7505			4.72E-01	
30	0.3455			7.08E-01	
5	146	2.59	0.2	1.43E-33	ガラス (コンクリート 等価として計算)
6	87.29			2.31E-20	
8	42.13			3.33E-10	
10	22.16			1.03E-05	
15	6.809			2.94E-02	
20	2.973			2.14E-01	
30	0.983			6.01E-01	
5	192.4	2.70	0.5	1.57E-113	アルミ
6	114.4			8.46E-68	
8	49.7			7.26E-30	
10	25.75			8.00E-16	
15	7.697			3.07E-05	
20	3.279			1.20E-02	
30	1.045			2.44E-01	



アイントープ手帳 第11版, p154-155

- ・水1cmで遮蔽できるのであれば、1cm線量当量については気にする必要はないが、10keV以上ではそれなりに透過する。
- ・クルックス管を構成するガラス壁によって 10keV 以下のX線はほとんど遮蔽される
- ・15keV 程度から急激に遮蔽率が変化し、わずかな印加電圧の違いにより大きく透過率が異なるため、放出されるX線のフラックスが安定しない。

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**。

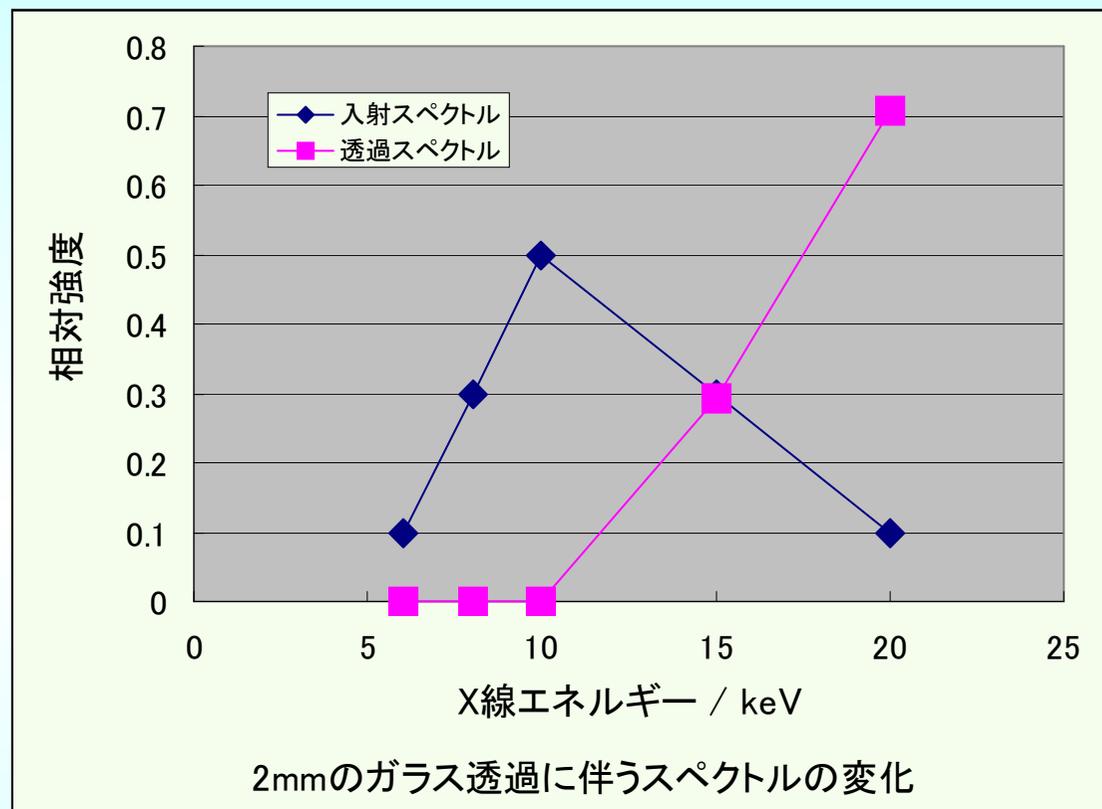
遮蔽体を用いた測定前後での遮蔽無しでの測定値はほぼ一致しており安定していた。また、クルックス管から 30cm位置、50cm位置で測定し、評価結果はほぼ同じであった。

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

クルックス管のガラスによるスペクトル変化

エネルギー (keV)	質量減衰係数 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	厚さ(cm)	透過率
6	87.29	2.59	0.2	2.31E-20
8	42.13			3.33E-10
10	22.16			1.03E-05
15	6.809			2.94E-02
20	2.973			2.14E-01

ガラス管を透過する前のX線のエネルギースペクトル(最大エネルギー20keVでその半分の位置にピークを持つ)を適当に決め、2mmのガラスで遮蔽された後の強度を透過率から求めた後、全体の強度が1となるように規格化した。

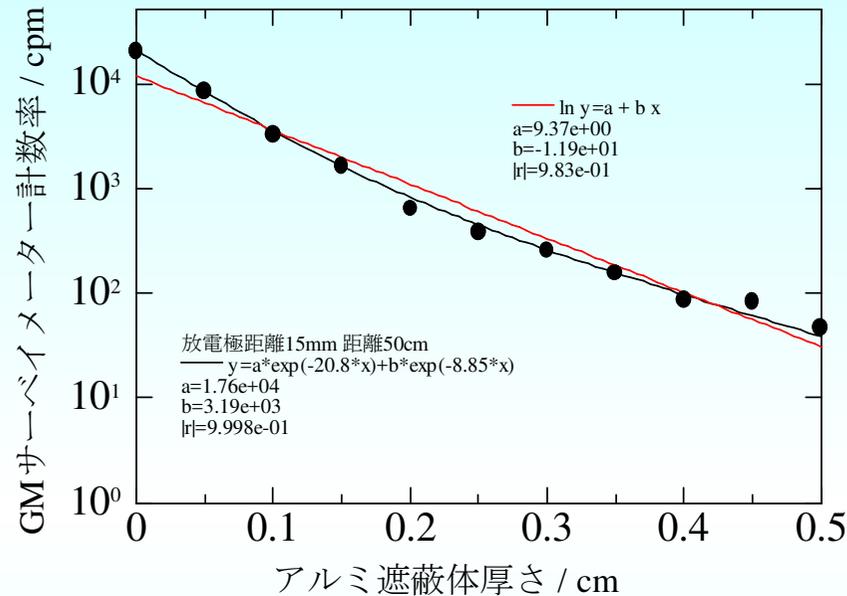


入射スペクトル	透過スペクトル	規格化
0.1	2.31E-21	7.62E-20
0.3	9.99E-11	3.30E-09
0.5	5.17E-06	1.71E-04
0.3	8.82E-03	2.91E-01
0.1	2.14E-02	7.08E-01

元のスペクトルよりも透過率が支配的となり、最大エネルギーである20keVがほとんどを占めるスペクトルとなった。

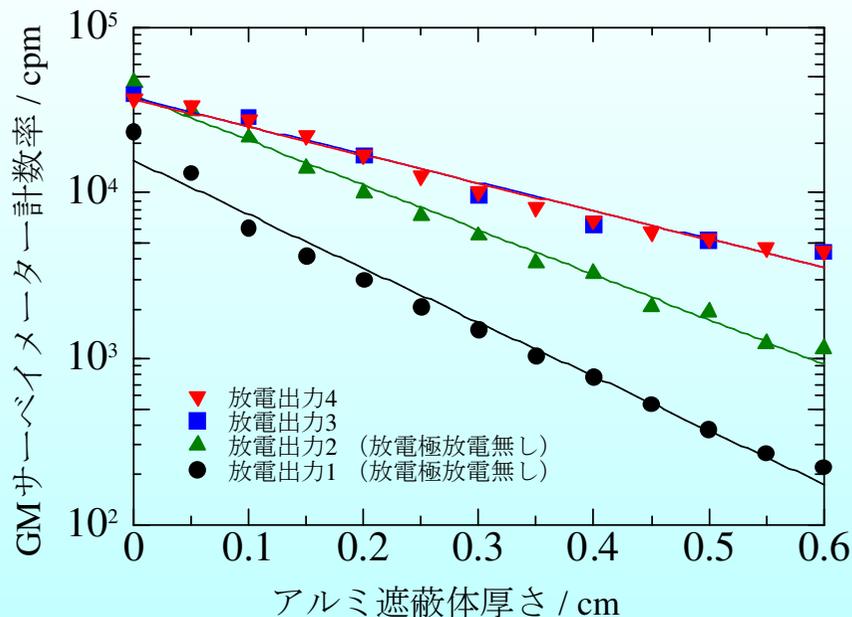
GMサーベイメーターによるX線エネルギー評価

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。



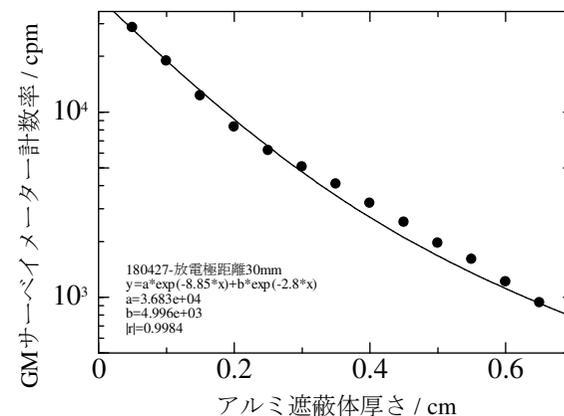
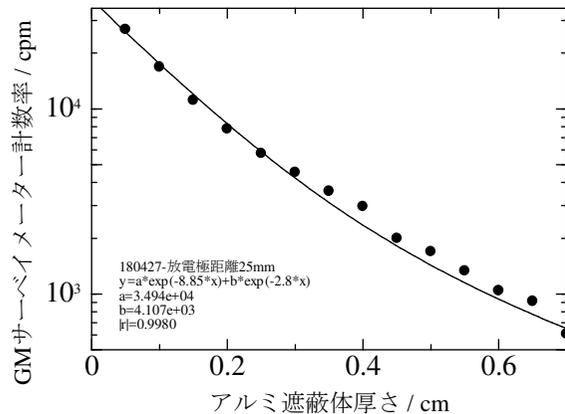
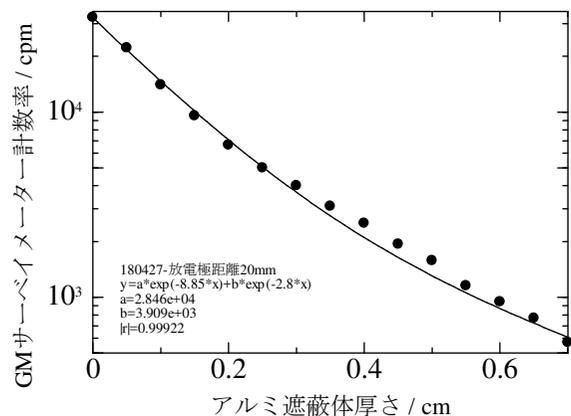
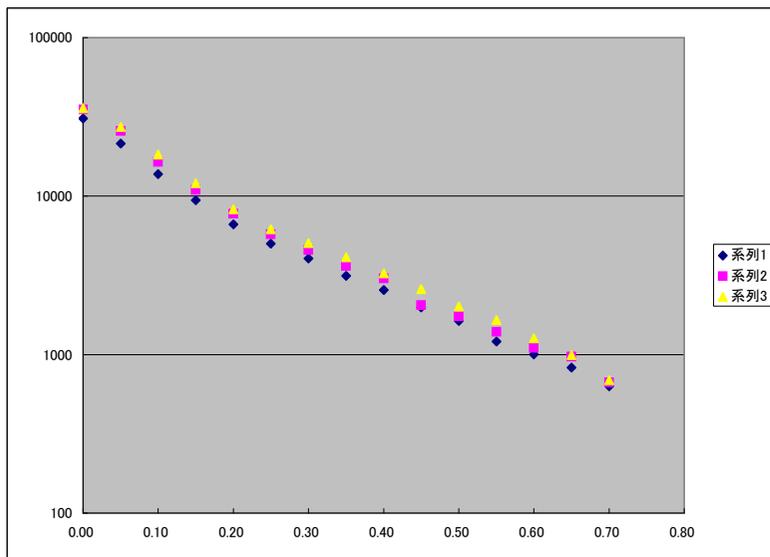
X線エネルギー (keV)	アルミ中の 線減衰係数 μ (cm^{-1})
10	69.5
15	20.8
20	8.9
30	2.8

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。

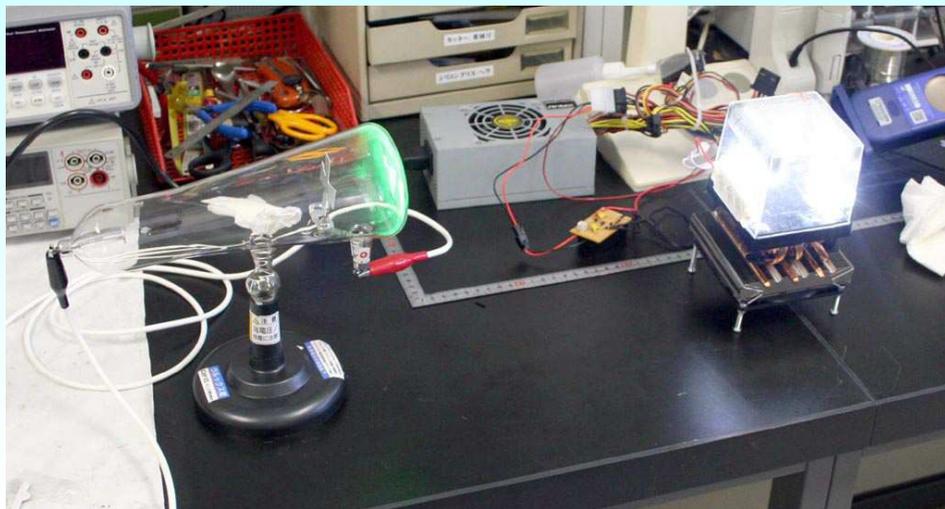


放電出力 (目盛)	線減衰係数 (cm^{-1})
1	7.50
2	6.05
3	3.92
4	3.89

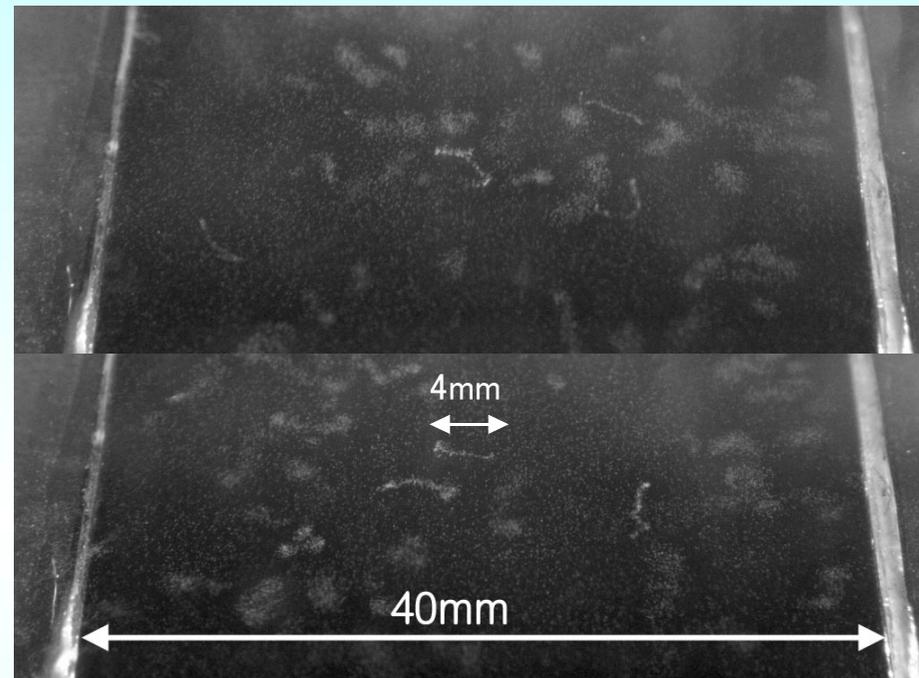
t (cm)	I (cpm)			真の件数率 I' (cpm)		
	20 mm	25 mm	30 mm	20 mm	25 mm	30 mm
0.00	30850	35170	35900	32462	37300	38125
0.05	21500	25760	27330	22239	26856	28574
0.10	13760	16440	18320	14023	16843	18837
0.15	9446	10960	12070	9537	11104	12258
0.20	6628	7753	8261	6642	7794	8316
0.25	5019	5741	6192	5001	5736	6197
0.30	4036	4560	5068	4003	4535	5051
0.35	3141	3626	4113	3098	3588	4081
0.40	2562	3018	3262	2513	2973	3220
0.45	1988	2049	2587	1935	1996	2538
0.50	1631	1746	2011	1575	1691	1958
0.55	1211	1389	1655	1153	1332	1600
0.60	1002	1100	1269	944	1042	1212
0.65	830	971	993	771	913	935
0.70	630	667	690	571	608	631



ペルチェ冷却式霧箱を利用した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
4mm程度と良く一致している。



クルックス管からのX線によって弾き出された
光電子のペルチェ冷却式高性能霧箱による
観察結果(放電針距離20mm)。

エネルギー既知のX線・ γ 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**

ガウス関数フィッティング結果

15mm (アパーチャーが異なる)

Int.= 125.217
Pos = 13.9736
Width=5.08875

20mm(2回測定)

Int.= 54.4024
Pos = 16.1774
Width=7.63343

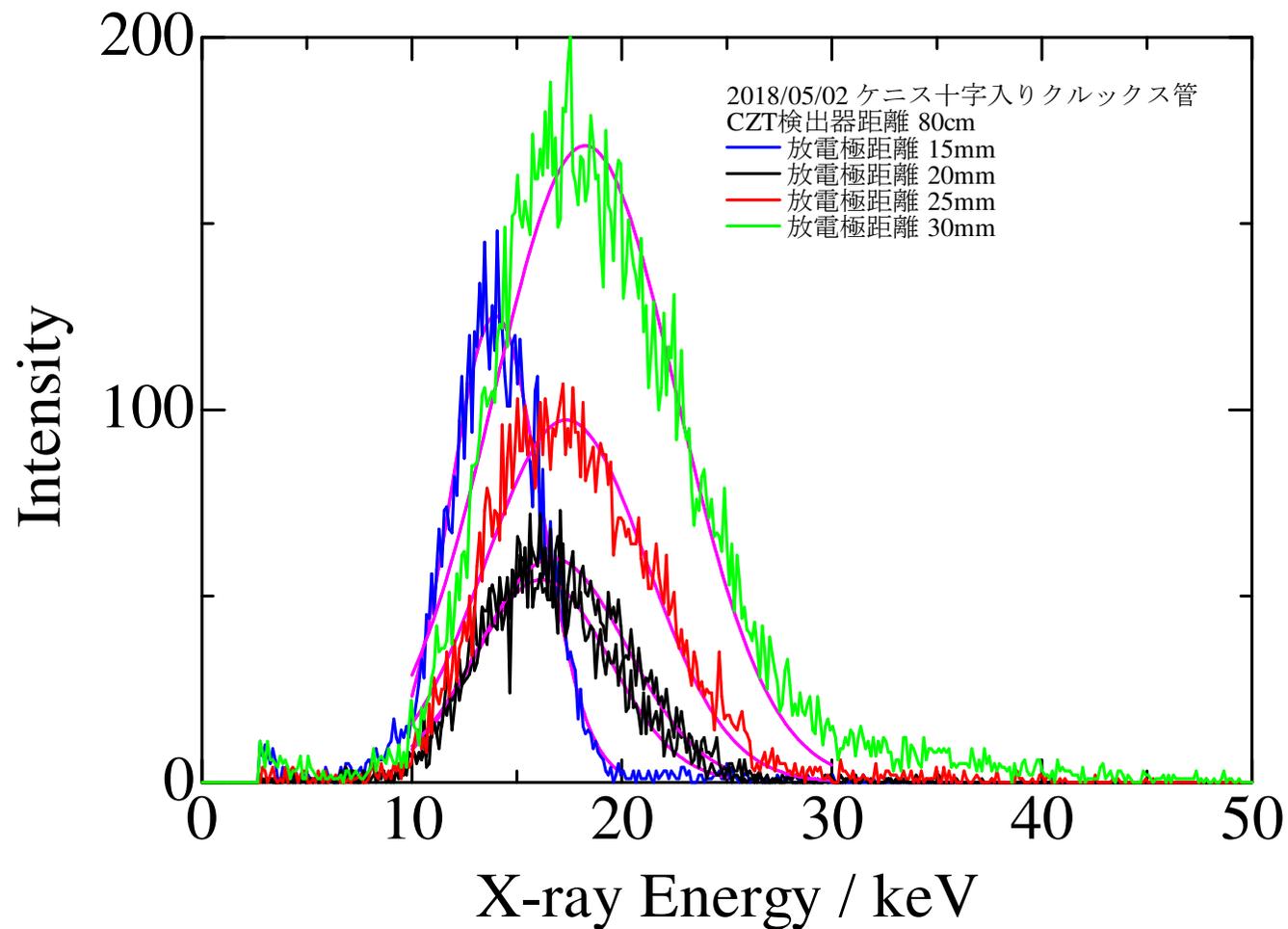
Int.= 60.1591
Pos = 16.7105
Width=8.27531

25mm

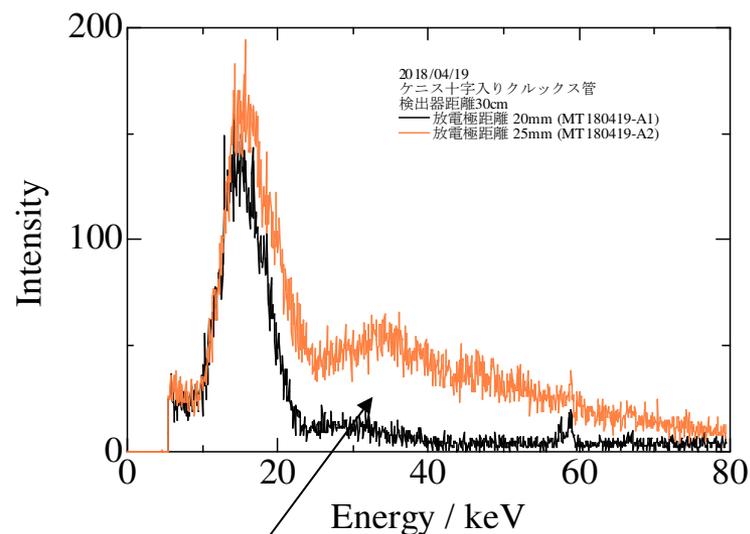
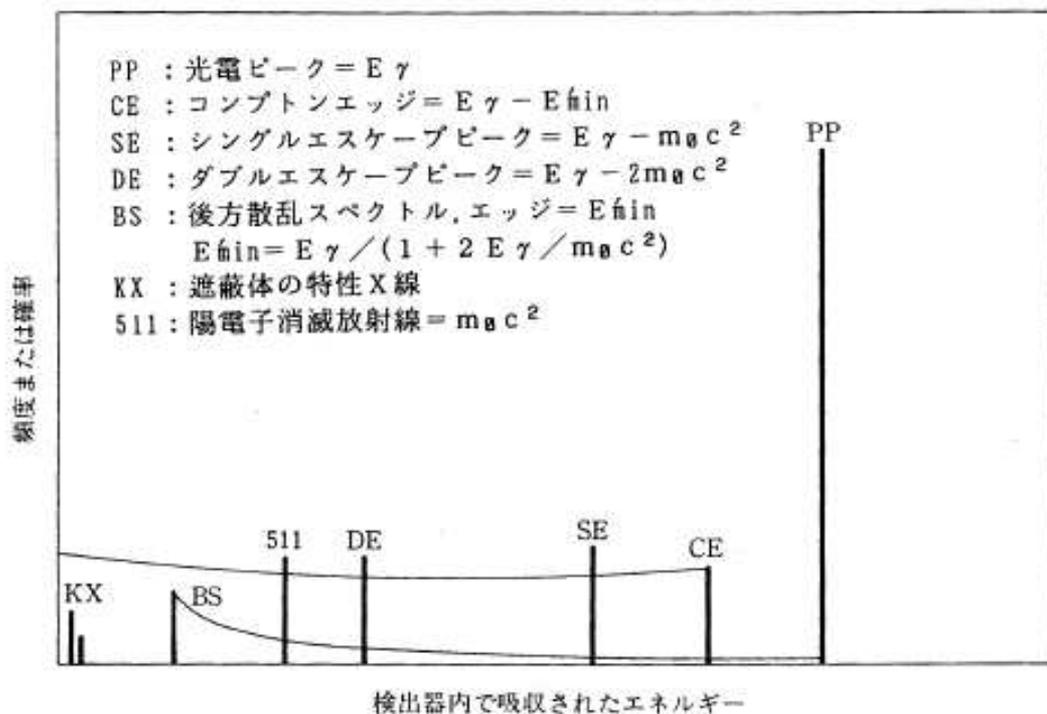
Int.= 97.3052
Pos = 17.3418
Width=9.05416

30mm

Int.= 170.976
Pos = 18.2505
Width=10.2908



ガンマ線スペクトルの見方(3)



パイルアップによる本来存在しないエネルギーのピーク

2本同時に入射した場合にはパイルアップによるサムピークが、電子対生成を伴う場合には511keVの消滅 γ と、光電ピークから511keV低いシングルエスケープピーク、1022keV低いダブルエスケープピークが見られる場合がある。

ペルチェ冷却式高性能霧箱

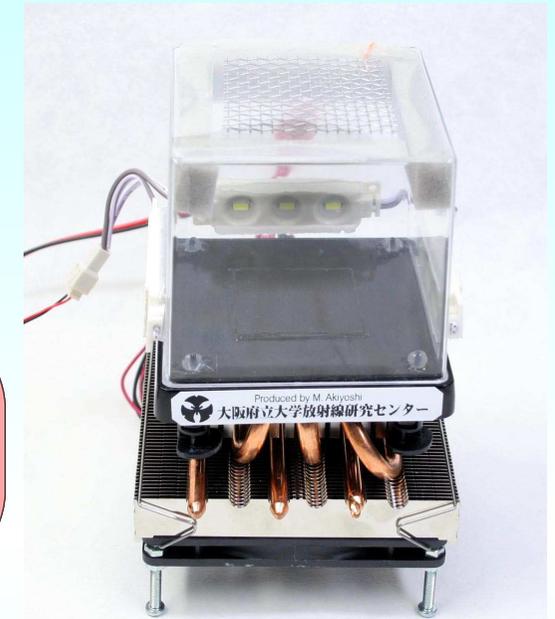
従来型の霧箱の問題点

- 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
- 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



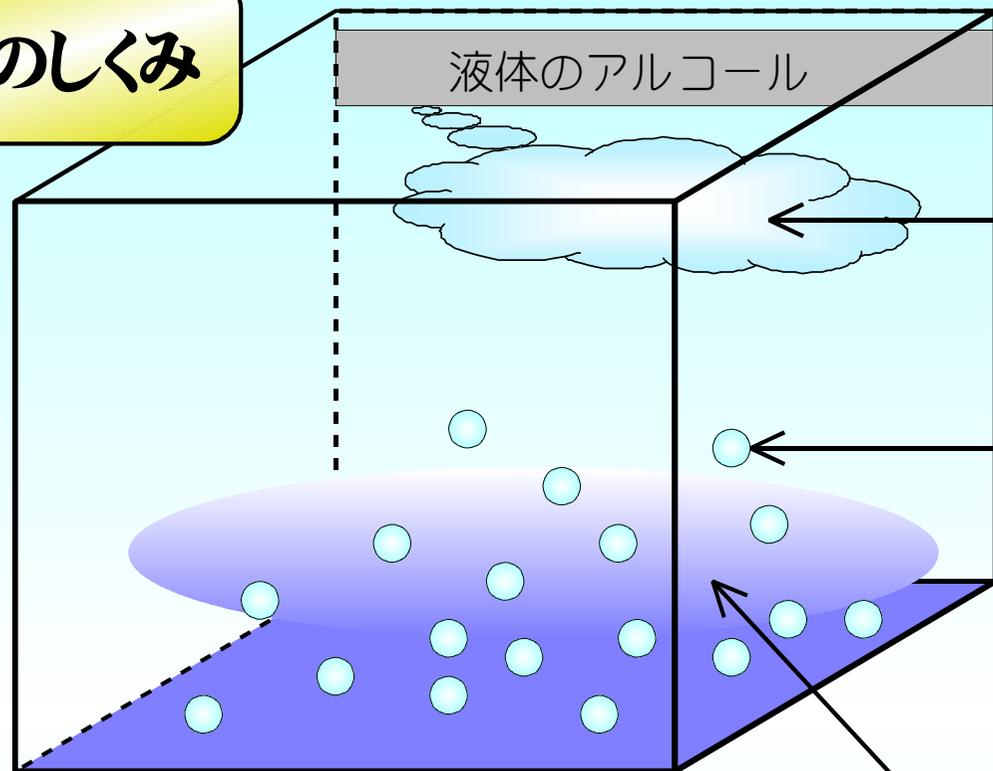
コッククロフト型高電圧ユニット

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

霧箱のしくみ



温度が高いと蒸発圧が高い

アルコールの蒸気

液体のアルコールの
小さな粒

温度が低いと飽和蒸気圧が
下がり過飽和となる

ドライアイスやペルチエ素子で
-20℃以下に冷やされています

過飽和の蒸気

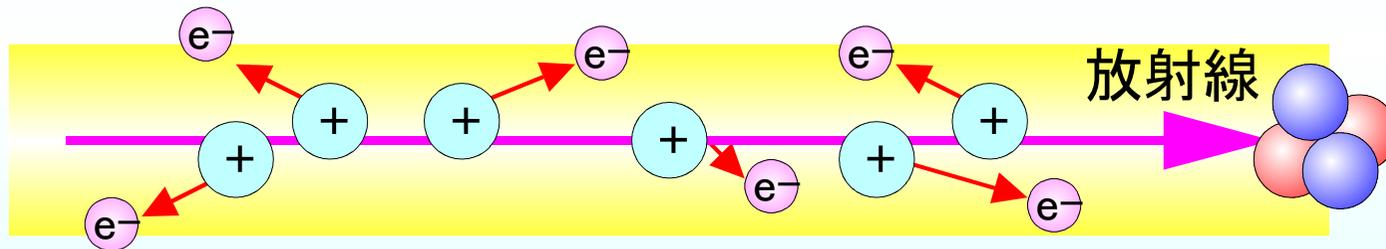
温度が低くなり飽和蒸気圧が低くなると、蒸発した気体のアルコールは液体に戻ろうとします。霧のように見える白い粒子は液体のアルコールの小さな粒です。しかし、温度が下がったのに液体の粒にならずに過飽和状態の気体も漂っています。そこに刺激を加えてやると、過飽和の蒸気は次々に液体の粒に変化していきます。

どうして白い筋の様に見えるのか？

放射線が空気中を走ると、たくさんの電子を弾き飛ばしてプラスとマイナスのイオンのペアを作ります（電離作用）。このイオンが過飽和のアルコール蒸気の中に出ると、そこを中心核にして小さな液体の粒になります。

（アルコールは極性を持つ分子です）

この液体の粒が放射線が通った後にたくさん出来るので、白い筋として放射線の飛跡が観察されます。

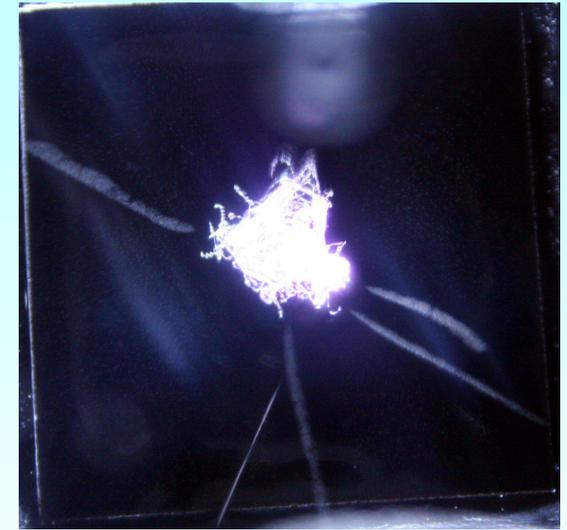


電離によるイオン対の生成

放射線として飛んで行っている α 粒子や電子は小さすぎてとても目では見られませんし、MeVエネルギーの粒子の速度は超高速カメラでも追いつきません。

しかし、飛んでいった跡が残って、目で見えるのです。

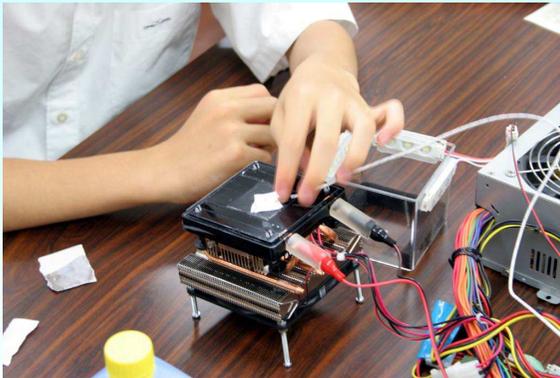
これは、空の上の飛行機雲と同じです。飛行機が飛んでいった後にもしばらく飛行機雲が残っているのを見ることができます。飛行機雲は、空の上の寒いところで過飽和になった水蒸気が、飛行機のエンジンから出てきた排気ガスなどが刺激になって小さな液体の水の粒、つまり雲になった物です。



過飽和の蒸気は冷やされている容器の底に薄く広がっているだけなので、底に平行に走った放射線しか見ることができません。また液体の粒はすぐ蒸発してしまって、数秒で見えなくなってしまう。



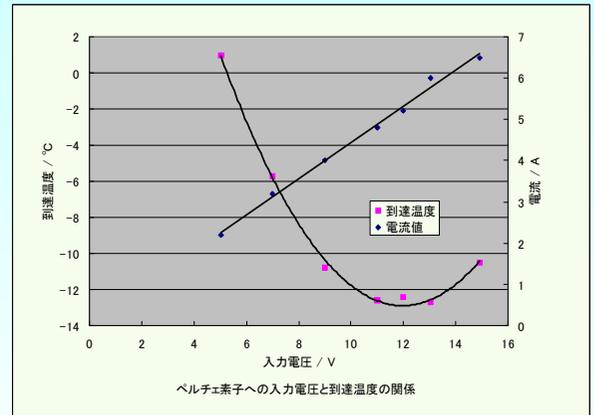
「(7) (ア) エネルギーと物質」単元に即した放射線教育



アルミテープによる熱電対の素子表面への貼付け

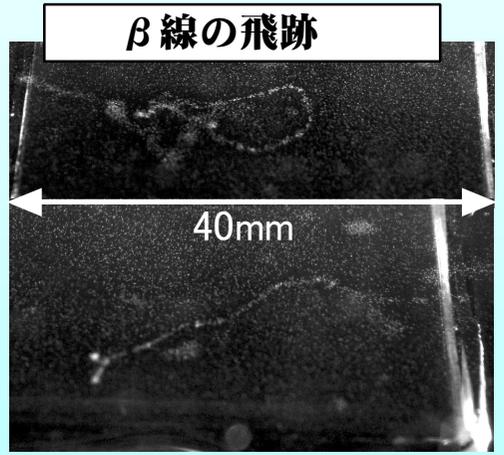
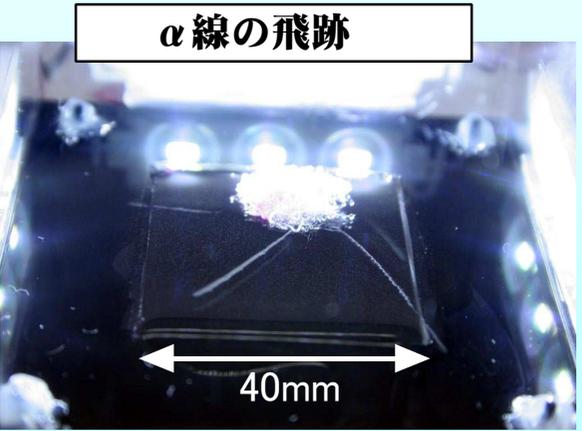
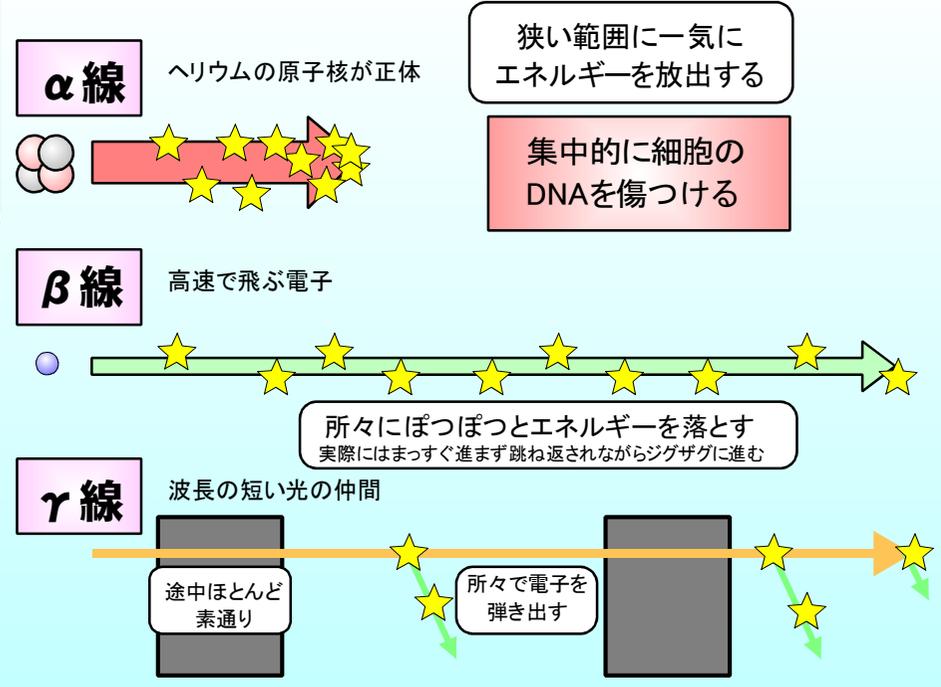


素子上面が冷やされる半面、裏面に放熱しているのを体感



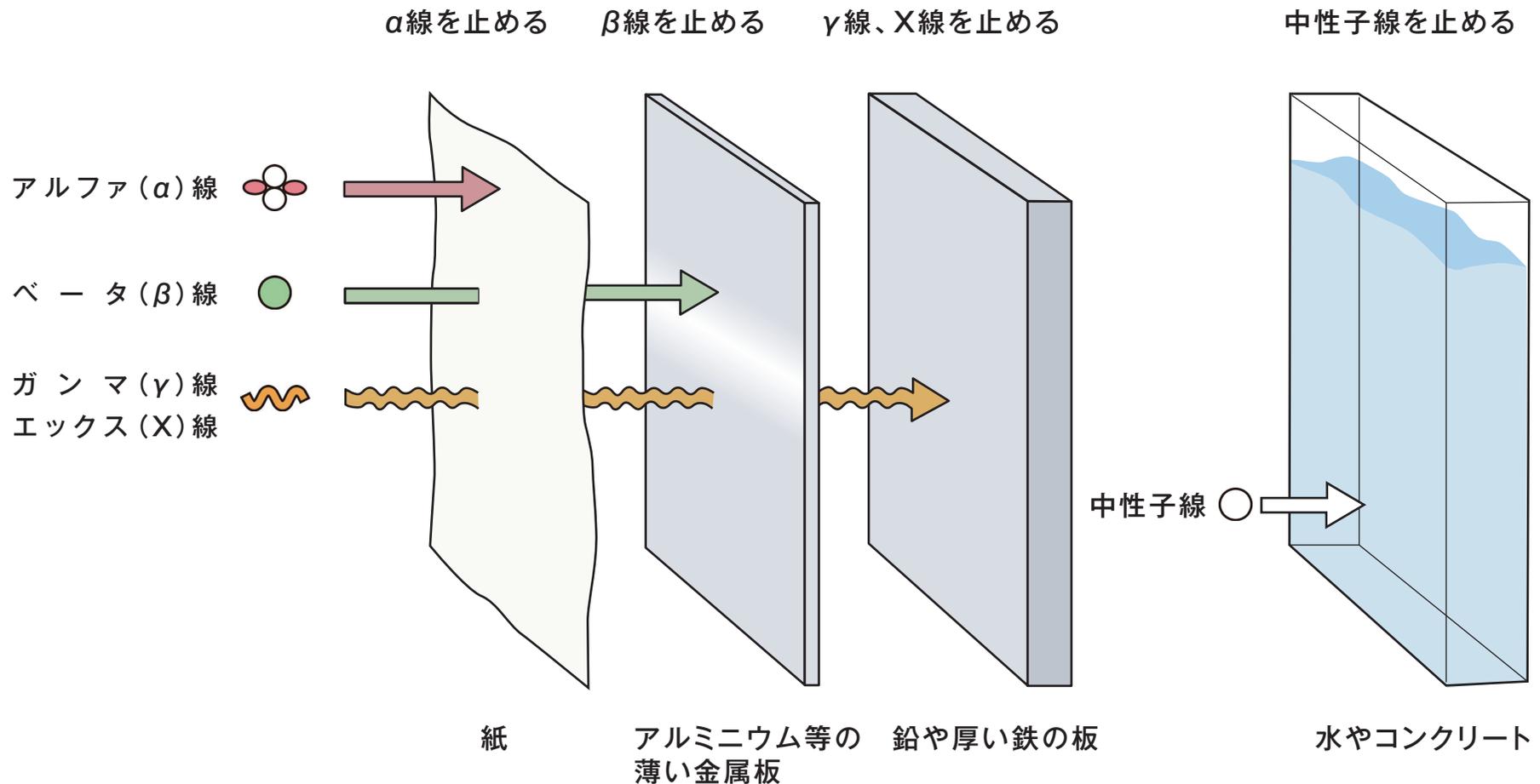
ペルチェ効果は電流に比例し、ジュール発熱は電流の二乗に比例する。

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。



放射線の種類と透過力

線は紙一枚で止まってしましますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で線を出されるととても影響が大きくなります。



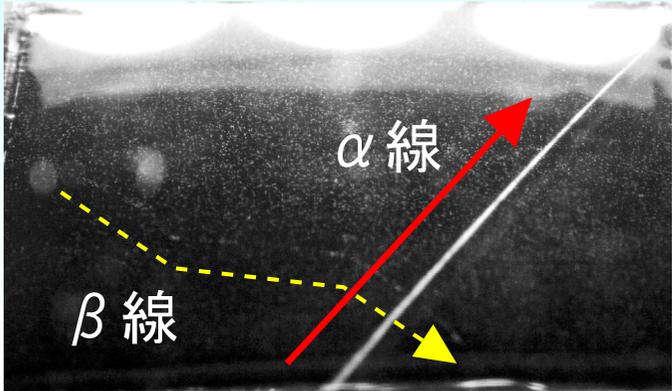
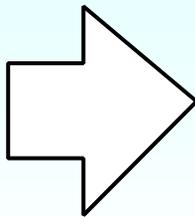
線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

線は透過能力は高く、遠くから飛んできて体の中までやってきますが、逆に体内で放出されてもほとんど素通りしていきます。

放射線の種類によって影響が違います

同じエネルギーの放射線を吸収した場合でも、**アルファ線**と、**ベータ線**、**ガンマ線**とでは、**20倍**も影響の大きさが違います。

相互作用の違いを反映



*体重60kgの日本人

体内の放射能

1年間に被ばくする実効線量

カリウム
K-40: 4,000Bq

0.17 ミリシーベルト

β・γ線のみ

ポロニウム
Po-210: 20Bq

0.80 ミリシーベルト

α線を放出

~~100ベクレルを肺に吸入したときの被ばく線量
プルセシウム
トリチウム(H-3) | 1億分の2.6 ミリシーベルト~~
古い間違えているデータ

**同じベクレルの放射能でも
体に与える影響は全く異なります!**

プルトニウム-239: 5.1MeV の α 線、半減期 2.4万年、肺や肝臓などに沈着
セシウム-137: 0.51MeV の β 線と 662keV の γ 線、半減期 30年、カリウムなどとともに体外に排出
トリチウム(H-3): 18.6keV の β 線、半減期 12.3年、水と共に体外に排出

内部被ばくはずっと体内で放射線を出すから危ないんじゃないの？

クイズ: 1kg あたりセシウム-137 を 100 Bq 含む米を、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)、一日三食、365日食べつづけたとして、そのあと50年間で被ばくする線量はどの程度になるでしょう？

答え: 0.21ミリシーベルト

現在一般食品中の放射能濃度の基準値は、放射性セシウムで 100ベクレル/kg となっており、この設定は基準値の上限値の場合となっています。現在も福島県産の米については全量検査が続けられていますがほぼ全てのサンプルで検出できないぐらい放射能は少なくなっています。ですので、今回のクイズは有り得ないぐらい高い濃度の食品だけをずっと摂取し続けた場合、と言う極端な例だとお考え下さい。



欧米に飛行機で旅行すると、宇宙線の増加により0.2ミリシーベルト程度被ばくします。

「内部被ばく」による影響

- ・どんな放射線の種類か(α 、 β 、 γ)
- ・どのぐらいのエネルギーか
- ・物理的な半減期
- ・排出されやすさ(生物学的半減期)
- ・どんな臓器に蓄積されやすいか
- ・蓄積される臓器の感受性

全部考慮して評価しています

その後 50年間にわたる影響を、取込んだ時点でいっぺんに被ばくしたとして被ばく線量(シーベルト)の計算をします。

このようにして求められた**内部被ばくの線量**と、**外部被ばくの線量**とは、**同じリスク**になります。

実際には、**同じ量**を**少しずつ長い期間にゆっくり**被ばくするのと、**いっぺん**に被ばくするのとでは、DNA修復のメカニズムがあるため、**ゆっくりの方が影響は小さくなります**。

被ばく管理に用いられる量(防護量)

等価線量 equivalent dose, Sv

放射線加重係数 × 吸収線量(Gy) (組織、臓器で平均)

放射線加重係数: (≠生物学的効果比 RBE、線質係数→空間のある一点)

X線、 γ 線、電子線→1

中性子 → 5~20(エネルギーにより異なる)

α 線、重イオン → 20

実効線量 effective dose, Sv

組織加重係数 × 等価線量(Sv)

組織加重係数: 全身被ばくの場合を1とし、

各組織単体での被ばくの影響を相対評価

被ばく管理に用いられる量(実用量)

等価線量や実効線量は実際には
直接測定することが出来ない

周辺線量当量 ambient dose equivalent, Sv

ある放射線場の中に置いたICRU球の深さ 1cm, 70 μ m での
線量当量 → 1cm線量当量、70 μ m線量当量

線量当量(Sv) = **線質係数** × 吸収線量(Gy) (空間の一点)

線質係数: 放射線の水中における衝突阻止能
= 線エネルギー付与 LTE の関数

吸収線量をよく考えてみる

$$\text{吸収線量 (Gy)} = \frac{\text{吸収された放射線のエネルギー量 (J)}}{\text{物質の質量 (kg)}}$$

分子

荷電粒子の場合はそのまま、光子の場合はエネルギーが光電子(荷電粒子)となりその運動エネルギーが吸収される。高エネルギーでは再び輻射により系から出て行く寄与がある。吸収する物質が空気なのか、水なのか、鉛なのかで異なり、また入射する光子のエネルギーによって異なる。

分母

高エネルギーの光子では物質に均等にエネルギーを与えるが、荷電粒子や低エネルギーの光子では不均一なエネルギー付与をする。このとき、「対象物」をどの範囲で取るかによって吸収線量は異なる。等価線量を考える場合は、「臓器全体」で考える。

今後の課題

・GMサーベイメーターの計数値から線量当量の算出

- ・個体差のある GMサーベイメーターの計数値をどのように取り扱うか？
ガラスバッジで校正は可能であるが、個体毎に実施する事は困難である。
- ・透過率の小さい低エネルギーX線被ばくの考え方
皮膚近傍の局所的な被ばくとなり、従来のX線の取扱とは大きく異なり β 線とX線の間性の性質。
特に、目の水晶体への等価線量が近年注目されており、非常に重要である。
→ 保健物理学会などの専門家に確認する必要がある

・どの程度の線量まで落とす必要があるのか？

- 2002/05 学校におけるエックス線装置を使用した実験等について: 文部科学省
においても明確なガイドラインを示していない。

・どの程度の電圧まで下げれば、許容できる範囲内に線量を落とせるか

- 装置により大きく放出量が異なる事を加味して十分な安全度を取る。
必要に応じて遮蔽体の使用も検討する。
5keVで駆動する装置であれば絶対的に安全であり、ビデオなどの教材を併用した
授業を実施するののも一つの手段(Basic Plan)である。

国際放射線防護委員会 ICRP の勧告 放射線防護の基準を決める三つの原則

正当化 Justification

リスクを上回る利益がなければならない

- 電子線の観察だけであれば5kVの絶対安全な装置の使用を推奨。
X線を活用した効果的な教育コンテンツには利益があり許容される。

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

- 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う。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(緊急時と医療を除く)

- 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。

「教育現場など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体制の確立」

これらの諸問題を解決するための研究プロジェクトとして、タイトルのプロジェクトを全国の放射線研究者有志で立ち上げている。

現在、基礎的な内容について科研費(基盤C)「新学習指導要領に準拠した総合的放射線教育コンテンツの開発」を基にして研究を開始している。

この内容は放射線安全管理学会からの H31年度 原子力規制庁の放射線安全規制研究戦略的推進事業費公募での重点テーマとして選出されており、本年度末の公募を目指して体制を固めている。

いずれにしてもH33年度の新学習指導要領全面実施を前に、本プロジェクトは「教育現場における放射線安全管理ガイドライン」策定を目標として動き出している。

Task 1: 線量計測

1-a: クルックス管からの低エネルギーX線線量評価

カラスバッジ、低エネルギー用電離箱、CdTe 検出器などの信頼できる計測器による線量やスペクトル評価をまず実施する。大阪府大で既に測定を行っている。

1-b: 低エネルギーX線の簡易な線量評価方法の開発

学校教育現場においては高価な線用の検出器を用いた測定は現実的に不可能である。汎用の広窓GMや霧箱の活用などによりエネルギー評価が可能であることが明らかになっており、これによる線量評価を検討する。大阪府大で既に一部の測定が完了しているが、測定値から実効線量への換算について検討する必要がある。先行研究[3,4]の関係者などに協力を要請する。

1-c: より簡易な安全評価法開発

実際の教育現場においては、一定以上の線量率になっていないことが分かれば良いため、より簡便な判定法を用いることで安全確保を行う事が望ましい。既に箔検電器を用いた研究が実施しているためこれらの知見を取り入れる。

1-d: 散乱線を含む照射場での低エネルギー成分評価

廃炉現場や医療用のX線照射の現場など、高エネルギーの成分が存在する照射場に於いて低エネルギーの散乱線の評価するための簡易な測定手法の開発を行い、実際の現場での実態調査を実施する。

[4] エックス線発生装置管理のための低線量評価法, 大久保 徹ら, 日本放射線安全管理学会誌, 15 (2016) 66-73.

Task 2: 運用方法の検討

2-a: 教育現場での実態調査

実際の教育現場で用いられている放射線教育機材について、製造時期や構造の違いなどによる線量の違いを、Task1での測定方法の確立を受けて実態調査する。この実態調査結果を受けて線量の上限値内に収まるように余裕を持った運用条件設定を行う必要がある。これには全国各地の中学校などの教育現場の協力と、教材メーカーの協力が不可欠である。

2-b: 教育コンテンツ実施に必要な印加電圧の検証

ホリゾン社のクルックス管による電子線の放出挙動を観察するだけであれば5Kvで十分であり、絶対安全と言える。しかし他社製の一般的なクルックス管や、透過実験や霧箱による観察、さらに透過像観察を行うために必要な印加電圧を検証する必要がある。これにより不必要な電圧印加を押さえ、漏洩線量を低下させる。また、ある程度高エネルギーのX線が必要である場合、遮蔽体の利用を義務づける必要がある。これは既に様々な教育コンテンツを開発している現場の協力が必要である。

2-c: 遮蔽体の検討

コンテンツによって遮蔽が必要となった場合、20kV印加で1cmの亚克力では線量が半分にしか落ちないため、取扱いが簡便で実効性のある遮蔽体の開発を行う必要がある。古い装置で電子線を観察するためには鉛含有亚克力などを検討する。必要な印加電圧や目標とする線量によっても要求される仕様が異なってくるため、他の検討の進捗と合わせて必要に応じて遮蔽体の使用を検討する。

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)

大阪府大 放射線研究センター
大阪府大高専、名大、愛知工大、九大、福岡教大、首都大、市邨中、放射線教育F、JSF、千代田テクノル、JAEA、QST

サポート依頼: 線量計メーカー、教材メーカー

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

低エネルギー散乱線の実測情報
→ 放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会

Task2,3 に成果提供 ↓

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)
教材メーカー (様々な製品の評価)
大学研究者、OB (開発した教育コンテンツの評価)

放射線教育フォーラム
福島県教育庁、名古屋市教育センター、各地の小中高教育現場
大阪府大、JSF、千代田テクノル

サポート依頼: 日本理科教育振興協会

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策定

3-a: 低エネルギーX線被ばくによる実効線量評価、水晶体等価線量評価

10-20keV 程度の領域の中途半端な透過率を持つX線を全身へ被曝した際の実効線量評価と、発生源を注視するというクルックス管の特性上目の水晶体等価線量の評価を行う。

まず不均等被ばくのモデルを構築し、ある程度実際のスペクトルが把握できた後に検討を開始する。

3-b: 線量上限の検討

ICRP での様々なガイドラインや国内法令などを検討し、規制を行うべき線量上限の設定を行う。放射線防護の専門家の先生方に検討して頂く。

3-c: ガイドラインの策定、学会標準化

線量上限の検討結果と、Task1, 2 での検討結果を受けて、最終的に安全な実験を実施するための運用条件(印加電圧、遮蔽条件、距離、時間など)の提示と、各教育現場に於いて安全確認を行うための測定手法なども織り込んだ、「**教育現場における放射線安全管理ガイドライン**」の策定を行う。主な参加者全ての関与が必要である。放射線防護の専門家だけでなく、放射線教育関係者に広く議論を行って頂く。

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

水晶体に関する評価情報
→ 放射線審議会 眼の水晶体の
放射線防護検討部会

新教科書指導書への反映

ガイドライン
を反映
↓

日本保健物理学会・
日本放射線安全管理学会
合同標準化委員会

東大、藤田保健衛生大、長崎大、
弘前大、九大、首都大、大阪府大、
福岡教育大、静岡大、東北大、
放射線教育F、JAEA、千代田Tc

サポート依頼: (一社)教科書協会

Task 4: 放射線教育プログラムの普及

4-a: 低エネルギーX線を活用した放射線教育プログラムの開発

クルックス管からのX線を活用して、遮蔽実験や、霧箱による可視化、さらには透過像観察などにより直感的に放射線の本質を理解できる、新規の放射線教育プログラムを開発する。Task3で策定したガイドラインに準拠する必要がある。

4-b: ガイドラインに沿った測定手段の教育現場への提供

ガイドライン策定後に、実際の教育現場での安全確認のための測定手段を提供する。希望者を取りまとめた上で、サーベイメーターの貸出しや、ガラスバッジの送付、回収、測定依頼などの業務を行い、現場からのフィードバックを得る。外部委託により実施を行う。

4-c: 新規教育プログラムの普及

開発した低エネルギーX線を活用した放射線教育プログラムを勉強会、シンポジウム、教員研修、教育大学などの教員教育課程を通じて広く普及させる。全中理、各地の教育委員会、教育大学関係者などに協力を依頼する。また、HATOプロジェクトなど既存の教育プログラムも積極的に取り入れ、幅広いニーズに対応する。現場での実施報告を受けてガイドラインにフィードバックを行う。

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

放射線防護分野の人材育成

大阪府大
放射線研究センター

京大、名大、JSF、学芸大、京都教育大、市邨中、JSF、放射線教育F、福島県教育庁、全中理SC、各地方毎の全国の拠点大学

サポート依頼: 全国中学校理科教育研究会、大阪ニュークリアサイエンス協会、かんさいアトムサイエンス倶楽部、みんなのくらしと放射線展実行委員会、大阪府立大学つばさ基金「放射線教育振興プロジェクト」

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

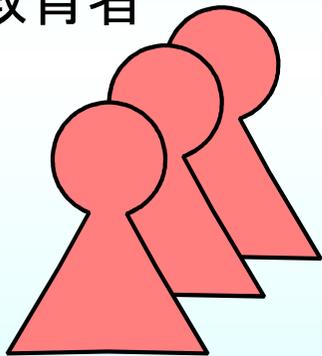
全国の教育現場での
放射線教育の実施
(委託)

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