

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

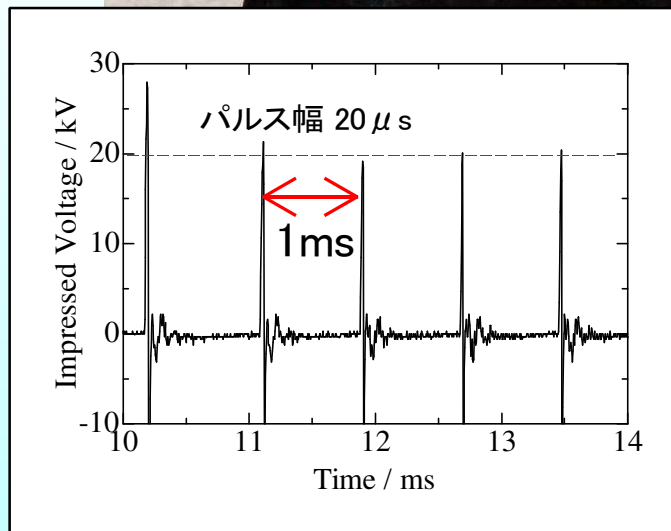
DDE

PW

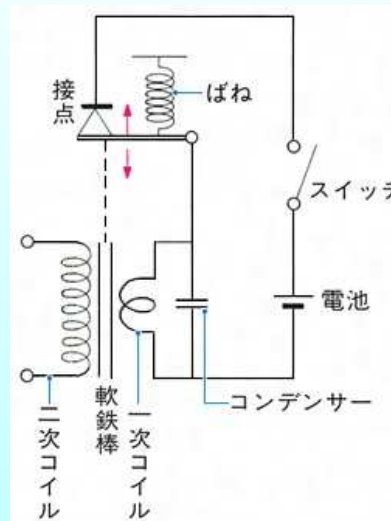
放電出力

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コントロール可能。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。

→ 20mm にしておくとも 20kV 以上かけようとしても空中放電で電流が流れるためそれ以上電圧が上がらない、安全装置となる。



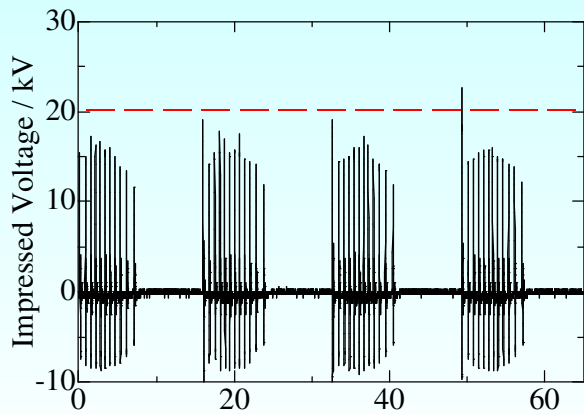
放電極距離 20mm, 放電出力4, 平均電流 80 μ A



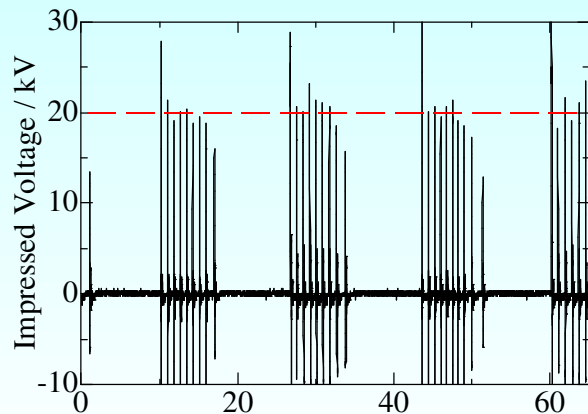
ブザーの回路で、一次側に断続的な電圧のパルスが発生させ、トランスで二次側に高圧を出力する。一次側の電圧を変化させると二次側の電圧も変化する。半導体回路で一次側のパルスが発生している装置もある。



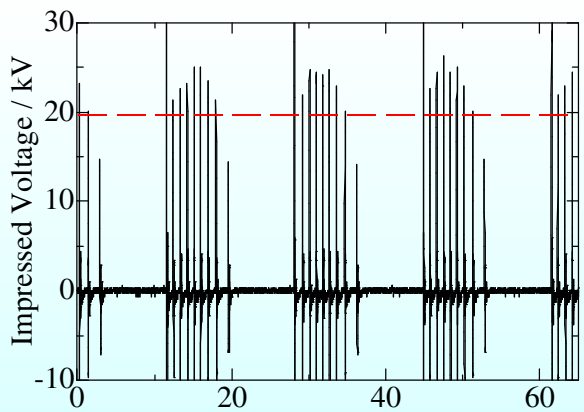
誘導コイル設定による出力パルスの変化



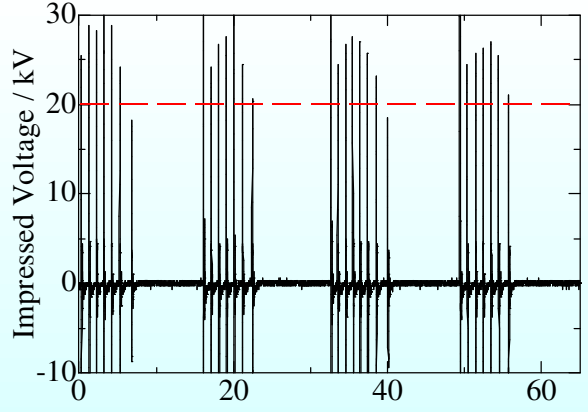
DDE=20mm, PW0, 40 μ A, 120 μ Sv/h



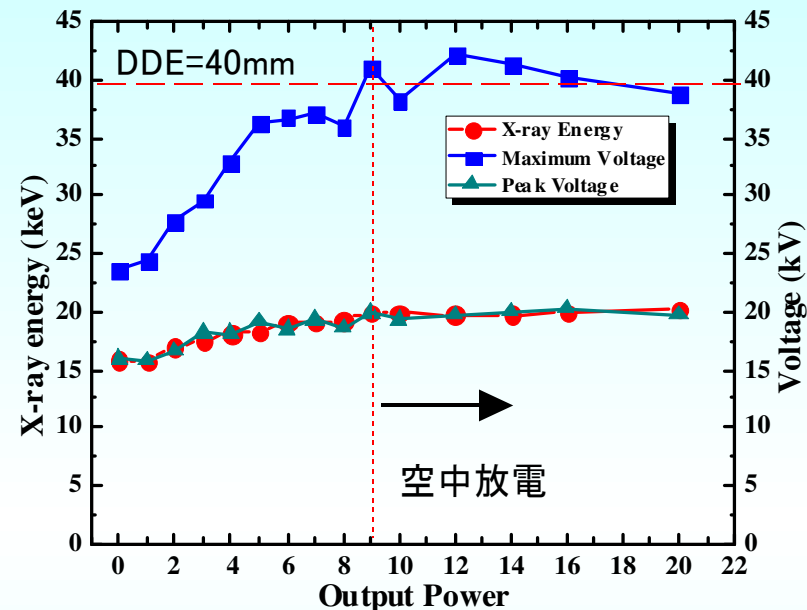
DDE=20mm, PW4, 80 μ A, 1.25mSv/h



DDE=30mm, PW4, 80 μ A, 1.56mSv/h



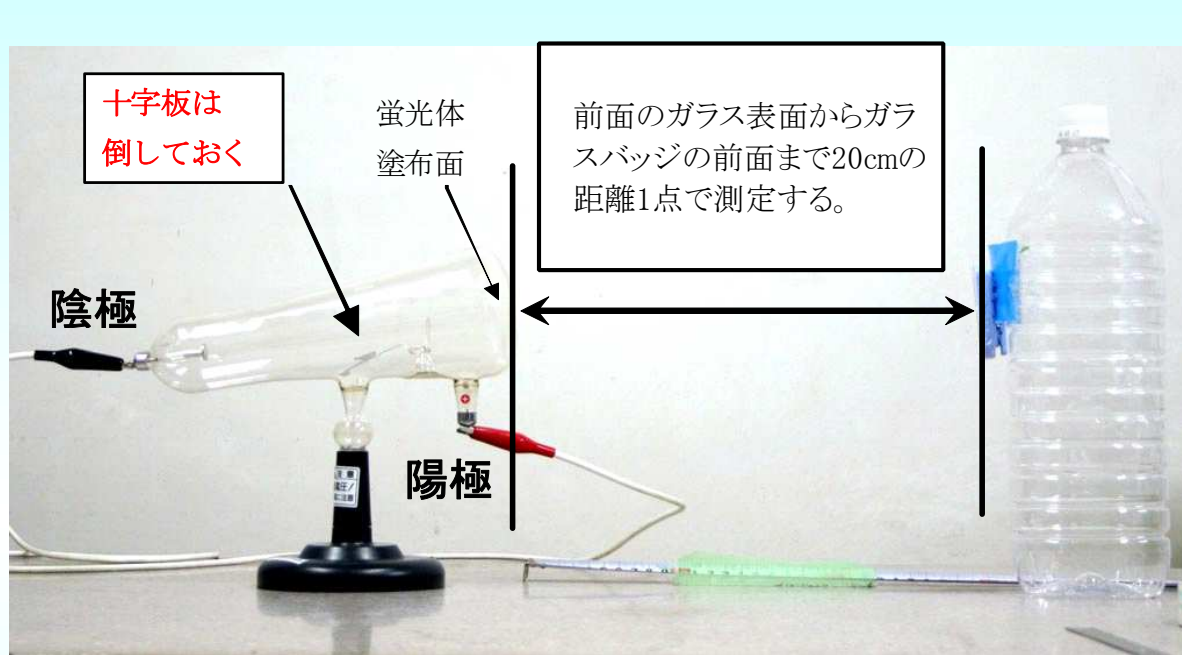
DDE=30mm, PW7, 96 μ A, 3.50mSv/h



・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。

暫定ガイドラインの検証



- ・低エネルギーX線の線量とエネルギーを評価可能なガラス線量計(千代田テクノル FX型)を使用。
- ・クルックス管から 20cm の位置で、放電極距離 20mm、放電出力は観察できる範囲で最小、十字板を倒して正面方向で、照射時間 10 分という暫定ガイドラインに準拠した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。
- ・ガラスバッジは大阪府大と各学校で郵送でやりとりし、1月ごとに取りまとめて測定を行う。
- ・BGの評価は、Snフィルターで遮蔽された素子により行う。
- ・測定限界が $50 \mu\text{Sv}$ であるが、1m 位置 10分で実効線量が $10 \mu\text{Sv}$ になる場合、20cm 位置では実効線量で $250 \mu\text{Sv}$ 、 $70 \mu\text{m}$ 線量当量はその10倍程度になるため、十分な検出力と言える。

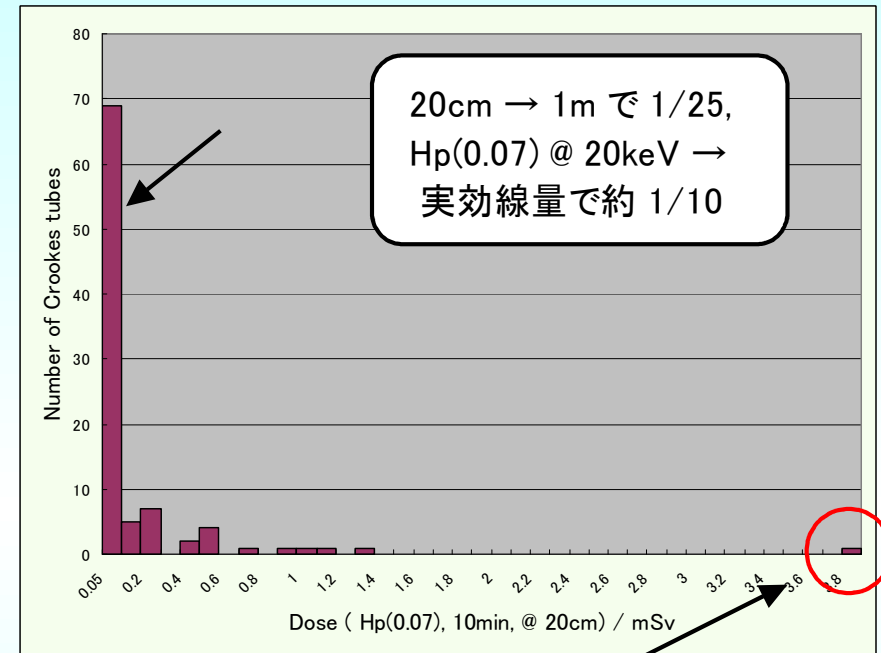
第二期実態調査結果（速報）

暫定ガイドラインを遵守することでどこまで線量を下げることが出来たのかを検証するために、2019年8月～10月に第二期の実態調査を行った。

8月期は、27校の92本のクルックス管について暫定ガイドライン準拠での測定を行った。

69本に於いて20cm距離10分の測定で、Hp(0.07)が測定限界である $50 \mu\text{Sv}$ を下回っており、有意な値が出た23本の装置の中での平均でも、1m位置10分間での実効線量は $2 \mu\text{Sv}$ にしか過ぎず、暫定ガイドライン適用前に比べて極めて低い線量に抑えられている。

2018年の暫定ガイドライン適用前の実態調査では、37本中12本が距離1m、10分間での実効線量が $5 \mu\text{Sv}$ を超えており、 $93 \mu\text{Sv}$ に達した装置もあった。

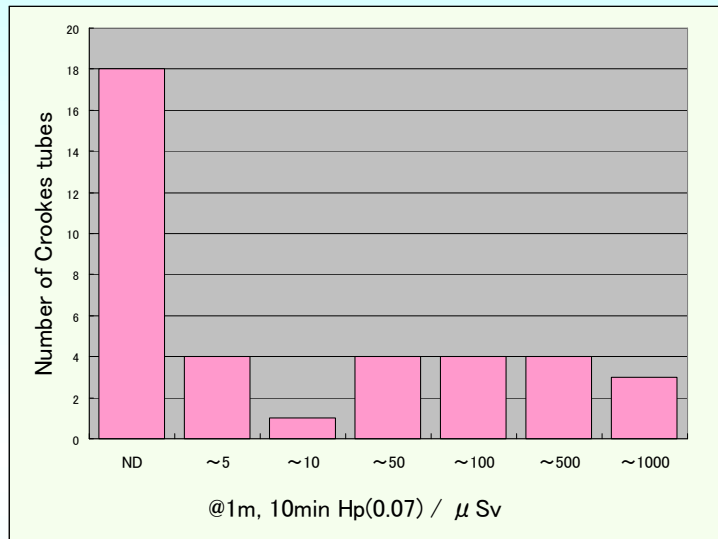


1本だけ 1m 位置で10分間観察を行った場合、ICRP Pub-64 やIAEA BSS などで示されている国際的な免除レベルである実効線量 $10 \mu\text{Sv}$ をわずかに上回り、 $15 \mu\text{Sv}$ と評価された。

誘導コイルの発振周期を最大としていたため？

第二期実態調査結果（速報）

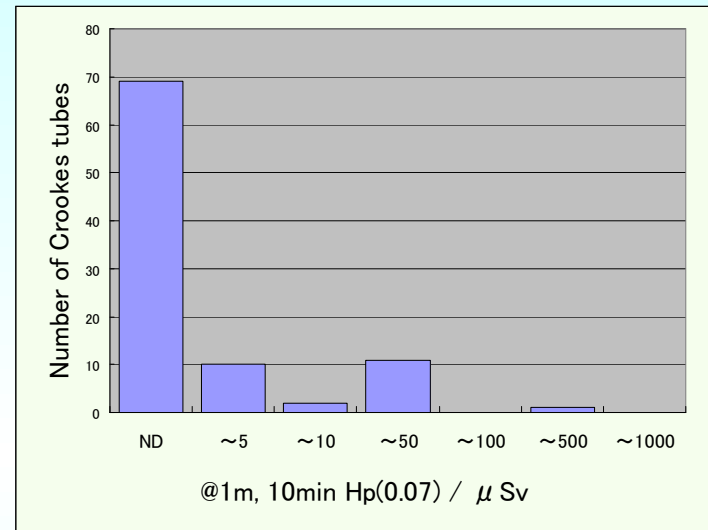
2018年第一期実態調査



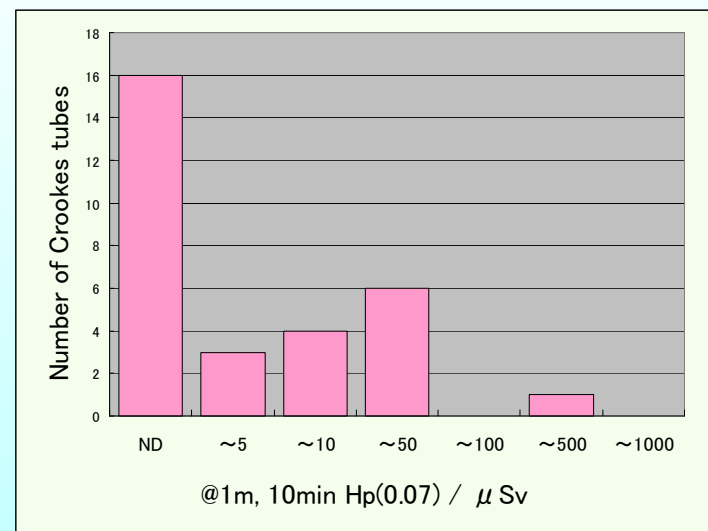
これまでの授業での設定

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

2019年第二期実態調査



暫定ガイドライン準拠



これまでの授業での設定

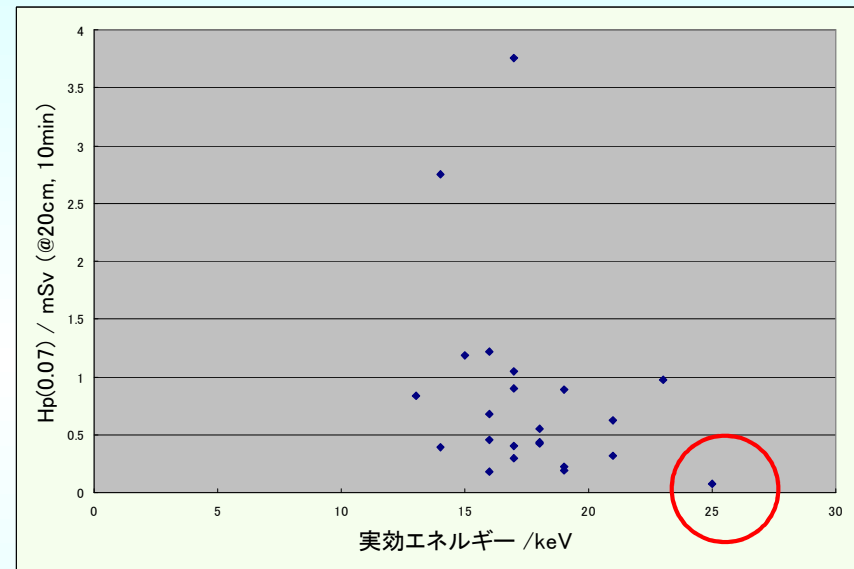
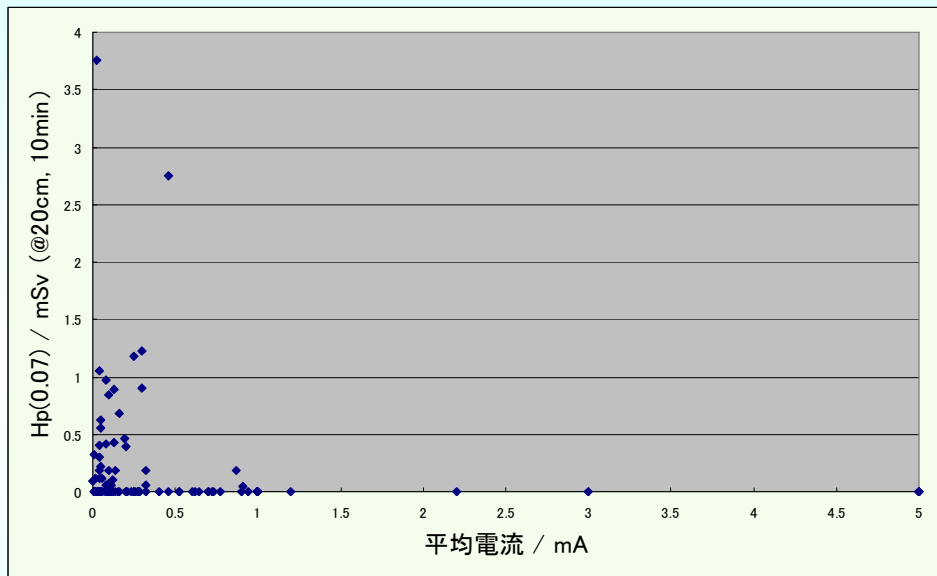
第二期実態調査結果（速報）

GB No	Hp(10) (mSv)	Hp(0.07) (mSv)	E (keV)	空中放電	電子ビームの強さ	平均電流 (mA)	その他設定事項	備考
112	X	0.05	—	無し	観察に十分な強さ	0.91		
19	X	0.06	—	無し	暗くしないと観察が困難	0.08	周期調整40%	十字板は倒して
109	X	0.06	—	無し	無回答	0.11	周期調整最大	
54	0.05	0.07	25	無し	観察に十分な強さ	0.1	周期調整最小	ガラスの水槽で遮蔽
44	X	0.09	—	無し	観察に十分な強さ	0		電流はマルチメーターでの測定
20	X	0.10	—	無し	観察に十分な強さ	0.12	周期調整最小	
150	X	0.10	—	数秒に一度	観察に十分な強さ	0.012→0.01		50μAレンジの電流計で測定 第一回調査で最小出力で高い線量 が出た個体
132	X	0.11	—	わずかに	暗くしないと観察が困難	0.04		
197	X	0.11	—	無し	暗くしないと観察が困難	0.06		十字入り6本所有(1本は151と重複)
83	X	0.12	—	無し	ちらつく	0.02		
61	0.05	0.18	16	常時激しく	暗くしないと観察が困難	0.04		
48	X	0.19	—	無し	観察に十分な強さ	0.1		ガラスケースを使用しての測定 電流はマルチメーターでの測定
134	0.1	0.30	17	常時激しく	観察に十分な強さ	0.04		放電極間距離を広げたい感じ
47	0.07	0.39	14	無し	観察に十分な強さ	0.2		ガラスケースを外しての測定 電流はマルチメーターでの測定
18	0.13	0.40	17	数秒に1度	観察に十分な強さ	0.04		
140	0.16	0.42	18	常時激しく	ちらつく	0.08		
55	0.16	0.43	18	無し	観察に十分な強さ	0.12~0.14	周期調整最小	ガラスの水槽無し
51	0.14	0.46	16	無し	観察に十分な強さ	0.18→0.2	周期調整不明	
199	0.19	0.68	16	無し	観察に十分な強さ	0.16		十字入り6本所有(1本は151と重複)
46	0.11	0.84	13	無し	観察に十分な強さ	0.1		電流はマルチメーターでの測定
196	0.3	0.90	17	数秒に1度	ちらつく	0.3		十字入り6本所有(1本は151と重複)
151	0.35	1.05	17	常時激しく	ちらつく	0.04		
195	0.38	1.22	16	無し	ちらつく	0.3		十字入り6本所有(1本は151と重複)
57	1.3	3.76	17	無し	観察に十分な強さ	0.02→0.03	周期調整最大	

第二期実態調査結果（速報）

2019年第二期実態調査

全測定データ

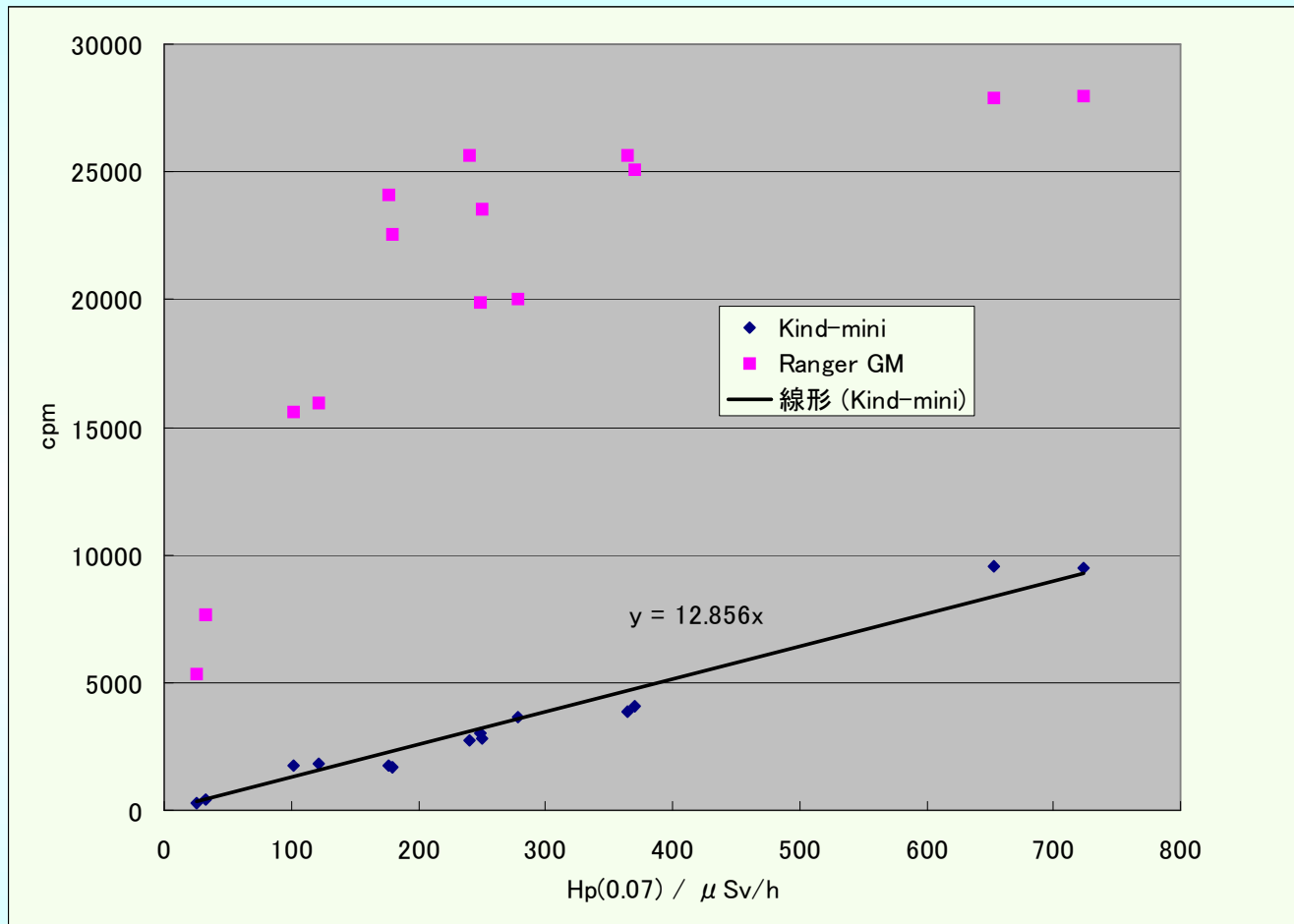


ガラスの水槽で
フィルタリングされたため

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小さいとは言えそう。
デジタルのマルチメーターで測った装置があるので注意。
スクリーニングには使える？

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。

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 。

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

IAEA の GSR part3

計画被ばく状況として教育での放射線曝露を明示(3.1(e))

労働者への規制の範疇に16-18歳の**職業訓練**に伴う線量限度を提示(**実効線量** 6mSv/y, 眼の水晶体等価線量 20mSv/y, 末端部等価線量 150mSv/y) クルックス管が使われるのは一般的な理科の授業であり、これらとは切り離されるものとして考える必要がある。

ICRP Pub36 科学の授業に於ける電離放射線に対する防護

1983年の物であり実効線量当量での記載で **0.5mSv/y**、目や皮膚のような単一の臓器・組織の線量当量5mSv/yとなっており、**個々の授業**ではその **1/10** とされている。

ICRP-Pub101a 公衆の防護を目的とした代表的個人の線量評価

教育に伴う放射線曝露での線量評価でも代表的個人の考え方を導入する。

ICRP-Pub64 潜在被ばくの防護: 概念的枠組み 及び IAEA BSS

ICRP 1990年勧告(Pub60)では**免除**の要件として線量が trivial であること、防護が最適化されていることとされており、具体的には個人線量が **10 μ Sv/y** のオーダーとしている。

NCRP Report No.180 “Management of Exposure to Ionizing Radiation: Radiation Protection Guidance for the United States”

無視可能個人線量として線源か行為あたり実効線量で **10 μ Sv/y** を勧告。

装置としての線量限度が法体系に取込まれていない

IAEA の GSR part3

発生装置の免除レベルの要件

- (c) Radiation generators of a type approved by the regulatory body, or in the form of an electronic tube, such as a cathode ray tube for the display of visual images, provided that:
- (i) They do not **in normal operating conditions** cause an ambient dose equivalent rate or a directional dose equivalent rate, as appropriate, exceeding **1 μ Sv/h at a distance of 0.1 m** from any accessible surface of the equipment; or
 - (ii) The maximum energy of the radiation generated is no greater than **5 keV**.

となっており、クルックス管の実験を通じた個人の追加の年間被曝線量(実効線量)は、ICRP Pub-64 などでの免除レベルである 10μ Sv/y を下回る様暫定ガイドラインを設定し、ほとんどの場合で問題はない(より確実な管理のため暫定ガイドラインを修正する予定)と考えられるが、装置としてのクルックス管は、冷陰極線管などの免除レベルである**表面から 10cmでの線量当量(1cmおよび 70μ m)が 1μ Sv/h という免除レベルよりもはるかに高い線量を漏洩している。**

いずれも国内法には取り入れられておらず、法的な問題はないと考えられるが、我々の活動方針として個人線量について ICRP などの勧告を取り入れてガイドラインを策定しているのに装置としての基準を取り入れないのは矛盾しているのではないか?

装置としての線量限度が法体系に取込まれていない

我々は、免除レベルを超える装置であるからこそ、**ガイドラインなどにより自主的な管理、規制を行う必要がある**、と考えている。

GSR Part 3 requirements の発生装置の免除レベルは、ホリゾン製の低電圧クルックス管のような、我々がこれまで「絶対安全」と謳ってきた固有の安全性を持つ装置に対して適用されると考えられ、これらの装置に対しては管理について考えなくても良い。

また、「in normal operating conditions」に対する解釈で、暫定ガイドラインのような方針に従うことを前提とすれば、免除レベルを満たしうる。いずれにしても、免除レベル以上、法令での規制値以下と言う線量を、これまで考えられてこなかった領域として、どのように取り扱っていくか今後考えていく必要がある。

厚労省は、2003年9月に行われた「全国規模での規制改革要望に対する見解の確認」では、法令上の「X線装置」に対して線量による明確な線引きを避けている。「現在、放射線審議会において、放射線を発生する装置における規制の免除の要件について検討されている状況にあることから、その検討を待ちたいと考えている。」とあるが、その後進展はない。

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:
 $600 \mu\text{Sv}$

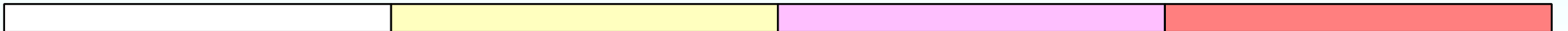


1mSv

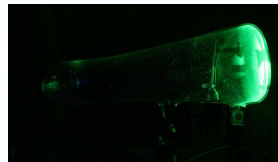
CTスキャン1回:
数mSv



ICRP 1990/2007年勧告
一般公衆への追加線量限度
年間 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:
 $100\text{--}200 \mu\text{Sv}$



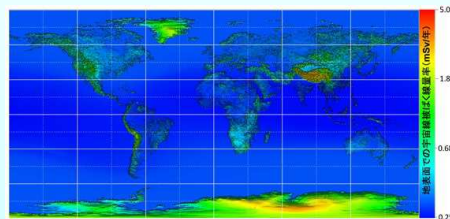
日本人が特有に持っている
 20Bq のポロニウム
 210 による年間被ばく
線量: $800 \mu\text{Sv}$

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:
 $\sim 10\text{mSv}$

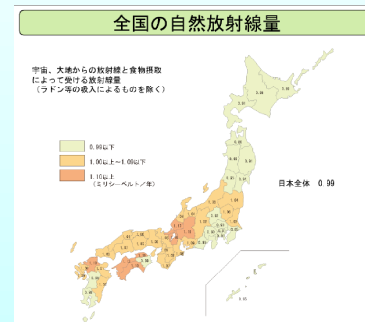


ランタンのマントル*を
1時間体に貼付ける:
 $\text{Hp}(10) 1 \mu\text{Sv}$ (γ 線)
 $\text{Hp}(0.07) 10 \mu\text{Sv}$ (β 線 + γ 線)

*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



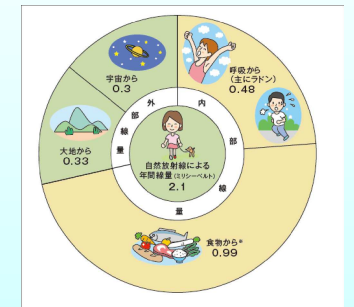
年間の宇宙線量の世界平均と
日本平均の差:
 $50 \mu\text{Sv}$ (日本の方が小さい)



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: $400 \mu\text{Sv}$

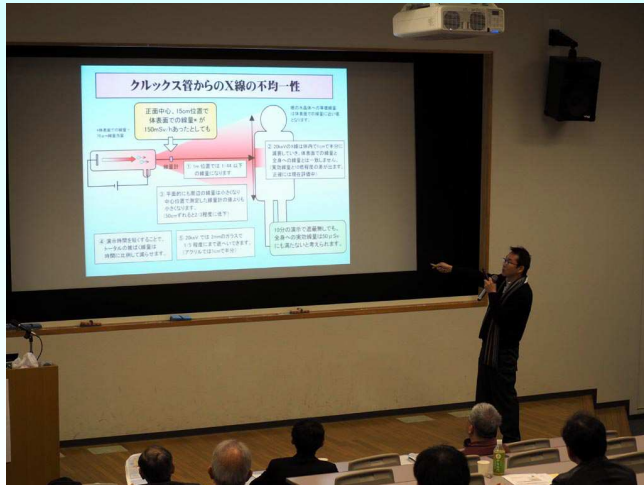


世界平均と日本平均
でのラドンによる年間
被ばく量の差:
 $800 \mu\text{Sv}$
(日本の方が小さい)



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

周知活動（2018年度）



●放射線教育フォーラム第2回勉強会
(2019年3月3日、慈恵医大)



・日本放射線安全管理学会 第17回学術大会
(2018年12月5日-7日、名古屋大学)
セッションタイトル「クルックス管」口頭 5件
+ ポスター1件

●静岡大学 放射線業務従事者教育訓練(2018年04月20日、静岡大学)

●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(2018年05月11日、名古屋商工会議所)

・日本保健物理学会 第51回研究発表会(2018年6月29-30日、ホテルライフオー札幌)

・日本アイソトープ協会 第55回アイソトープ・放射線研究発表会(2018年07月04-06日、東京大学 弥生講堂)

・平成30年度「中学理科で使える高校理科の技術」講座(2018年7月30日、名古屋経済大学市邨中学校)

・日本エネルギー環境教育学会 第13回全国大会(2018年08月08-10日、山形大学)
日本原子力学会秋の大会(2018年09月05-7日、岡山大学)

●放射線プロセスシンポジウム(2018年11月21-22日、東京大学 弥生講堂)

・大阪府立大学 放射線研究センター 共同利用報告会(2018年11月27日、大阪府立大学)

・放射線教育フォーラム 愛知・岐阜・三重地区 新年勉強会(2019年1月5日、名古屋大学)

・「放射線に関する教職員セミナー及び出前授業実施事業」第2ワーキンググループ会議
(2019年3月12-13日、科学技術館)

周知活動 (2019年度)



アイソトープ・放射線研究会
公開パネル討論
(2019年7月5日、東京大学)



全国中学校理科教育研究会
(2019年8月8-9日、秋田 アトリオン)



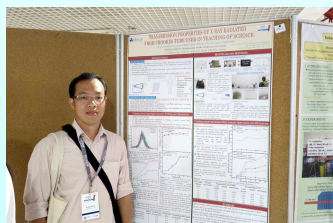
大阪府立大学 友好祭 オープンラボ
(2019年5月25日、大阪府立大学)



●中学理科で使える高校理科の技術講座講師
(2019年8月29日、名古屋経済大学市邨中学校・高等学校)



19th International Conference
on Solid State Dosimetry
(SSD-19)(Hiroshima,
Sep. 15-20, 2019)



3rd International Conference on Dosimetry and its
Applications(ICDA-3)(Lisbon, Portugal, 27-31 May 2019)



- 放射線安全フォーラム第60回放射線防護研究会「X線源を考える」(2019年4月21日、東京大学)
- 日本放射線安全管理学会 6月シンポジウム(2019年6月27-28、東京大学)
- ☆中学理科の教科書を出版する全5社への要領書への暫定ガイドライン掲載依頼(2019年7月2日、大阪、7月5日 東京)
- ☆大阪府知事秘書長及び教育総務企画課長へ、教育現場における放射線安全管理について説明(2019年7月26日、大阪府庁本館知事室)
- 中部原子力懇談会 エネルギー・環境研究会 セミナー(2019年7月27日、名古屋商工会議所)
- 近畿大学原子炉実験・研修会 放射線教育の実践例照会・意見交換(2019年7月30日、近畿大学)
- ・日本エネルギー環境教育学会 第14回全国大会(2019年8月5-7日、高知工科大学)
- ・日本原子力学会 2019年秋の大会(2019年9月11-13日、富山大学)
- ・大阪府立大学 放射線研究センター 共同利用報告会(2019年11月5日、大阪府立大学)
- 大阪府高等学校理化教育研究会 物理研究集会(2019年11月20日、大阪府立茨木高等学校)
- 放射線教育フォーラム第2回勉強会(2019年11月24日、東京慈恵会医科大学)
- ☆日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会(2019年12月5-7日、東北大学) 企画セッション 教育現場での低エネルギーX線に対する安全管理
- 高校物理基本実験講習会(兵庫会場)(2019年12月15日、兵庫県立神戸高等学校)
- 教員研修(2019年12月26日、島根県出雲科学館)