

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

分担研究課題：海外諸国の眼の水晶体の線量限度の引き下げの
法令への取入れの現状把握に関する研究

研究分担者 小野孝二 東京医療保健大学 看護学部 教授
研究分担者 山口一郎 国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官
研究分担者 志村勉 国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官
研究協力者 狩野真利 東京医療保健大学大学院 大学院生
研究協力者 熊沢貴史 東京医療保健大学大学院 大学院生

研究要旨

- わが国での規制整備に資するために、G7 を対象とし眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況を調査し、課題について整理を試みた。
- 米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であったが（2020 年 2 月現在）、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは 5 年間の経過措置が講じられていた。
- 各国の規制では、歴史的な経緯も踏まえ事業者への罰則に関しても整備されていた。
- 日本では、本研究班などで実情を把握した結果、一部の医療従事者に関しては、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、経過措置が講じられる予定となっており、その対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働衛生マネジメント・システムを現場で機能させることが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備することが望ましいと考えられた。
- 医療分野の特性を考慮して国際的な考え方に沿った規制整備も求められると考えられた。
- BKP 施術での線量測定結果から整形外科医の手指の被ばく量は高くなりえるとともに水晶体の被ばく線量は、20 mSv/年を上回る可能性も示唆され、適切な防護具の使用、パルス透視モードの選択、散乱体からの距離の確保が必要であり、手術スタッフへの放射線防護についての教育を推進し、業務に取り組む必要があるが、防護装具購入費、被ばく線量管理費、リングバッジの滅菌処理の対応などが課題であった。
- X 線装置の免除レベルに関して日本でも X 線装置に関して IAEA が規定する規制免除レベルを導入すべきだと考えられたが、GSR part 3 の放射線発生装置の規制免除の規定は明確化の余地があるとも考えられた。

A. 研究目的

疫学研究の知見を踏まえた眼の水晶体の等価線量限度の引き下げに関して、国際放射線防護委員会（ICRP）による眼の水晶体等価線量の年間限度を 150 mSv から 5 年平均 20 mSv へ引き下げる勧告がなされた後に、国際的に規制への取り入れの方向で検討が進められており、国際原子力機関（IAEA）の国際基本安全基準（BSS；International Basic Safety Standards）の一般要求事項 GSR Part3 に取り入れられた。

これを受けて、各国が眼の水晶体等価線量限度の引き下げを国内法令に取り入れている。そこで、わが国での規制整備に資するために、昨年度に引き続いて海外諸国での眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況を調査し、課題について整理を試みた。

また、比較的エネルギーが低い光子を発生する装置でも不均等被ばくが課題となり得るが、このような装置の規制のあり方は、放射線審議会基本部会でも解決すべき課題とされていることから、その解決に向けて、海外の動向を調査した。

さらに、5 keV 以上 10 keV 未満のエックス線が発生しうる機器の放射線安全規制の課題として、IAEA（国際原子力機関）の GSR（一般安全要件） part 3 では、放射線発生装置に関する免除レベルを、人が触れうる装置表面から 10 cm における線量率が 1 μ Sv/時を超えないか、発生する放射線の最大エネルギーが 5 keV を超えないものと規定しており、放射線審議会基本部会報告書「規制免除について」（2002 年）では IAEA が規定する放射線発生装置の免除要件の国内法令への取り入れは、その妥当性や国内

での利用実態を考慮して検討する必要があるとしているが、その後、検討がなされていないことから、X 線装置の規制免除レベルのあり方についても検討し、低エネルギーのエックス線が発生しうる機器の放射線安全規制の課題の整理を試みた。

なお、整形外科領域における Balloon kyphoplasty 施術中の術者およびスタッフの被ばく線量の評価を試みたので、この結果を別添えで示す。

B. 研究方法

1 海外諸国での眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況

海外諸国の取入れに関する事例の情報収集を試みた。対象国は、G7 とし線量限度や罰則などの情報を、Web サイトを通じて収集した。また、英国の 2017 年電離放射線規則（The Ionising Radiations Regulations 2017（IRR17））の内容を調査した。一部、翻訳した資料を別添に示す。さらに、電子メールを用いて各国の関係者に実情を尋ねた。

2 X 線装置の規制免除レベルのあり方

放射線審議会基本部会報告書（以下「報告書」）と現状を比較した。

（倫理面への配慮）

本研究は、公開されている資料を収集し分析することで行った。

C. 研究結果

1 海外諸国での眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況

水晶体の等価線量限度引下げ状況を表 1 に示す。米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であつたが

表1 水晶体線量限度引下げの各国の状況

	フランス	ドイツ	イギリス	カナダ	アメリカ
導入時期	2018年7月1日施行	2018年12月31日施行	2018年1月1日施行	導入検討中	導入せず
関連法律・規則	労働法 公衆衛生法	放射線防護条例	電離放射線規制 2017	放射線防護規則 SOR / 2000 - 2003	連邦規制集 放射線防護基準
水晶体線量限度	等価線量	等価線量	等価線量	等価線量	実効線量
	〈18歳以上〉	〈18歳以上〉	〈18歳以上〉	〈原子力作業従事者〉	15 rems (0.15Sv) /年 (18歳未満 成人の10%)
	100 mSv/5年 かつ 20mSv/年	100 mSv/5年 かつ 20mSv/年	100 mSv/5年 かつ 20mSv/年	150 mSv/年	
	〈18歳未満〉	〈18歳未満〉	〈18歳未満〉	〈原子力作業従事者以外の人〉	
	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年	
備考	5年間の移行期間を 経て導入				組織反応にRBE 使用 (等価線量は使用しない)

(2020年2月現在)、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは5年間の経過措置が講じられていた。

罰則に関しては、各国とも労働安全衛生法に基づき罰則が適用になりうると考えられた。

例えば、英国では、安全衛生法 2008 の第 1 条別表 3 A に罰金と罰則が規定され、従業員の安全と健康を守る義務を履行しなかった場合、略式裁判では一年以下の禁固または 2 万ポンド以下の罰金、もしくはその両方、正式裁判では 2 年以下の禁固または罰金、もしくはその両方と規定されていた。また、電離放射線規則 2017 の 620 項で関係者間の協調を求めているが、線量計の装着に関しては、雇用主の指示に従わずに、従事者が線量計を着用しなかったりした場合も、法令違反になるとしており、韓国と同様の規定となっていた。

また、フランスでは、線量限度を超過した場合の具体的な罰則規定について明確に記載はされていないが、従業員の安全や健康を損ねるような違反事項が生じた場合、雇用主は 1 万ユーロの罰金が科せられ、再犯した場合は 3 万ユーロと 1 年の懲役刑が科せられ、さらに繰り返して禁止事項を遵守しない場合は 2 年間の懲役と 9000 ユーロの罰金が科せられるとしており、何らかの

介入が必要な場合に労働監督官が命令し、それに従わない場合は、罰金刑(1 万ユーロ)が科せられうるとなっており、英国と同様の制度となっていた。

一方、米国では労働衛生法違反に対して多額の罰金を科し、その分野の労働条件の改善を目指している例があった。

このように各国において、歴史的な経緯も踏まえ罰則に関しても規制が整備されていると考えられた。

英国の 2017 年電離放射線規則は、英国の地域間の歴史的な扱いの違いを反映した複雑さを持っていたが、放射線安全に関する規定は国際機関の文書の考え方に沿ったものとなっていた。医療分野では比較的、頻繁な異動や同時期の複数の職場に勤務することが起こりえるが、それらを想定した規定となっており、労働者と雇用側の協働も重視していた。また、その情報科学を活用して、省力化した段階的な一元管理が可能なシステムを運用していた。韓国でも既に医療分野の労働者を含めた個人線量の一元管理システムを日本の事例を先行例として開発し、それを運用させており、その導入が課題であると考えられた。

2 X線装置の規制免除レベルのあり方

報告書では、労安法、船員法及び国家公務員法で、装置の防護基準の規制対象となるのは、定格管電圧が 10 kV 以上のエックス線装置で、労安法及び国家公務員法での設置の届出等の規制対象には管電圧による基準はないとしているが、労働安全衛生法の 10 kV の基準は、特定 X 線装置に該当するものであり、照射筒、しぼり、ろ過板を原則用いることを求めている。一方、放射性同位元素等の規制に関する法律では、装置表面から 10 cm における線量率が 600 nSv/時を超えないか、1 MeV を超えないエネルギーを有する電子線及びエックス線を発生する装置を規制対象外としている。このように日本では放射線発生装置の規制免除レベルが定められておらず、用いる指標は国際基準と合致していないことから各事業所の扱いが様々であった。このため日本でも X 線装置に関して IAEA が規定する規制免除レベルを導入すべきだと考えられた。

また、GSR part 3 の線量率は周辺線量当量率か方向性線量当量率のどちらかとしているが評価する深さは限定されていない。学校で用いられるクルックス管では 10 keV の光子に対して、空気カーマからの換算係数が 93 倍異なり、公衆に対する線量限度が実効線量と皮膚の等価線量では 50 倍異なることから、法令適用上の対応が求められると考えられた。

D. 考察

1 海外諸国での眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況

日本では、より質の高いデータに基づき現状を把握し、一部の医療従事者に関して

は、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、フランスと同様の経過措置が講じられる予定となっておりベルギーでの検討にも沿った取り組みがなされる見込みである。経過措置を講ずべき対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働衛生マネジメント・システムを現場で機能させることが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備することが望ましいと考えられた。

また、規制適用の考え方として IAEA では段階的なアプローチを提示しており、各国の規制もその考え方に沿って整備されていた。これに対して日本の現行のルールでは、不均等被ばくのマニタリングに関して、防護衣着用の有無でその必要性を分けているが、防護衣着用の判断が必ずしも、定量的なリスクアセスメントに基づいてはいないために、労働衛生マネジメントに沿った考え方の適用が困難になっていると考えられた。このことが、整形外科医からの問題提起（臨床整形外科 55 巻 2 号（2020 年 2 月））にもつながっていると考えられ、国際的に標準的な考え方に沿ったルール整備が課題となり、本研究班での労働衛生マネジメントの放射線防護への適用で得られる知見がその規制整備に役立つものと考えられた。

具体的な手技に当てはめた例では別添えでも示すように BKP 施術での線量測定結果から整形外科医の手指の被ばく量は高くなりえるとともに水晶体の被ばく線量は、20 mSv/年を上回る可能性も示唆され、適切

な防護具の使用、パルス透視モードの選択、散乱体からの距離の確保が必要であり、手術スタッフへの放射線防護についての教育を推進し、業務に取り組む必要があるが、防護装具購入費、被ばく線量管理費、リングバッジの滅菌処理の対応などが課題であった。また、障害者歯科放射線診療施設でスペシャルニーズ歯科放射線診療に従事する歯科医師を対象とした計測では、3人の歯科医師間での比較では、一回あたり的手指におけるHp(0.07)が、1.2 mSv, 14 μSv, 6 μSvと2百倍程度の差があることが確認されている（広島大学原爆放射線医科学研究所との共同研究課題：障害者歯科放射線診療における医療従事者の線量評価による）。現在、日本で利用可能な商用サービスでは、手指に付ける素子はフリーサイズとなっており、指が細い放射線診療従事者では、放射線に曝露する指先ではなく、指の根本に素子を装着せざるを得ず、手指の線量測定がモニタリング用素子の制約により過小評価されうること示している。また、得られた結果から、公益財団法人 日本適合性認定協会の認証が得られている商用サービスを利用して読み取られた光子のエネルギーが理論値よりも高くなっており、手指の線量を過小評価している可能性があることが示されている。

また、内視鏡的逆行性胆管膵管造影に従事していた看護師の協力を得て行った生体内の歯を用いた電子スピン共鳴測定でも陽性の信号が検出された（基盤研究(C)『歯エナメル質生体 EPR 被曝線量測定装置の開発』（研究代表者：三宅 実）の成果による）。推定された線量は 0.13 ± 0.03 Gy であった（ただし審美歯科治療の影響が要吟味）。

この看護師は、確認できた2004年6月から2011年3月までの期間だけでも眼の水晶体の等価線量としては累積で66.8 mSvとなっており、最大月では10 mSv程度となっていた。第2回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会で提示された日本放射線技術学会学術調査研究班による調査では、内視鏡室の看護師の半数で眼の水晶体の等価線量が年間20 mSv以上となっており、生体内の歯を用いた電子スピン共鳴測定でも信号が検出される可能性があると考えられた。

同様に、弘前大学整形外科教室員のデータでは、慢性放射線障害の症状として、手指の爪の変色、変形を来している割合は33.6%（37名/110名）と高く、皮膚障害に対する加療歴は5.5%（6名）に認め、その治療として3.6%（4名）ががん切除術の適用となる（浅利 享，和田 簡一郎，熊谷 玄太郎，田中 直，石橋 恭之.整形外科医師における放射線職業被曝に関する実態調査-自己記入式アンケート調査からの検討）とともに、「整形外科医の末梢血リンパ球では、二動原体染色体および環状染色体などの不安定型染色体異常が他の医療職者よりも高頻度に認められた。さらに、安定型染色体異常である転座も高頻度であった。」と整形外科医の方々の職業被ばくによる染色体異常が報告されている（三浦 富智.整形外科医の超局所慢性被曝による染色体異常）。

事後的な線量評価として、線量モニタリング結果が得られない場合であっても、爪や歯を用いた電子スピン共鳴法による線量測定や生物学的な線量測定法を組み合わせた線量推計を試みることができるのではないかと考えられた。

2 X線装置の規制免除レベルのあり方

学校教育現場で理科教育に用いられているクルックス管からは 15 cm の距離で $H_p(0.07)$ が 100 mSv/h を超える比較的高い強度の X 線（もっとも曝露時間が限定的であれば、線量も限定的となり、ほとんどの装置では線量が少ない）を放出する製品が存在する。放射線作業従事者ではなくまた労働者ではない若年層の「生徒」に対して高い線量の被ばくの可能性とその防護策が十分に検討されていないことは、放射線安全管理上の課題である。現在の我が国の法体系には一般公衆に対する国際的な線量拘束値が取り入れられていないなど、国際的な考え方に沿った放射線安全規制が行われていない側面もある。特に近年、眼の水晶体に対する被ばくが問題になっており、線源を見つめる必要があるクルックス管の特性上、詳細な検討が必要である。中学教育現場では現状でクルックス管が授業で用いられており、さらに新学習指導要領の全面实施により今後実演を行う学校は増えると考えられているため、被ばく線量を合理的に達成可能な範囲で低減する必要がある。

しかしながら、クルックス管から放出される X 線はエネルギーが低くかつパルス状に放出され、さらに誘導コイルの状態によっても大きく線量に変化するため、正確な線量、エネルギースペクトルの評価は困難である。これまでの研究から 20keV 前後のエネルギーであることが明らかになっているが、人体中での半価層は 1cm 程度であり、さらに空間的にも不均等な放射線場であるためクルックス管正面中央で測定した 1cm 線量当量は実効線量に対して大幅な過大評

価となる。現時点における実効線量など防護量の正確な評価は困難であるが、現在既に教育現場で使われているクルックス管からの線量を合理的に達成可能な範囲で早期に低減する必要があるため、正面中央などの最も線量が高い点における保守的に評価した防護量を指標として、運用条件のコントロールにより線量を低減する「クルックス管運用ガイドライン」の試作もなされたところである。

教育で用いられるクルックス管に関しては、今後、防護量の評価及び管理目標値の設定などを保健物理学会専門委員会や日本放射線安全管理学会でも継続し、最終的に「教育現場における放射線安全管理ガイドライン」として学会標準として体系化し、実際の学校教育現場の教員に負担無く安全な実験を実施してもらえようすることが計画されており、併せて規制に関しても整備する必要があると考えられた。

E. 結論

米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であつたが（2019 年 12 月現在（この項は年明けに修正予定））、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは 5 年間の経過措置が講じられていた。

罰則に関しては、歴史的な経緯も踏まえ罰則に関しても規制が整備されていると考えられた。

日本では、より質の高い現状把握のデータに基づき、一部の医療従事者に関しては、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、経過措置が講じられる予定となっており、その対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働衛生マネジメント・シス

テムを現場で機能させることが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備し、情報科学を活用した段階的な一元管理をシステムの的に導入することで省力化を図ることも検討課題であると考えられた。

X線装置の免除レベルに関して日本でもX線装置に関してIAEAが規定する規制免除レベルを導入すべきだと考えられたが、GSR part 3の放射線発生装置の規制免除の規定は明確化の余地があるとも考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 山口 一郎, 国際機関による職業放射線防護に関する外部評価サービスの紹介. 医療放射線防護 2019;(81).25-27.

2. 学会発表

- 1) 熊沢貴史, 小野孝二, 嶋谷圭一, 狩野真利, 山口一郎, 樺田尚樹. 整形外科領域におけるBalloon kyphoplasty 施術中における術者およびスタッフの被ばく線量評価と放射線防護策についての考察. 第2回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4-7日、東京、講演集. P68

- 2) 狩野真利, 小野孝二, 山口一郎, 樺田尚樹, 嶋谷圭一, 熊沢貴史. ICRP勧告に基づく職業被ばくにおける水晶体線量限度の取入れに関する国外動向調査. 第2回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4-7日、東京、講演集. P184
- 3) 秋吉 優史, DO Duy Khiem, 藤淵 俊王, 橋本 周, 古田 琢哉, 松田 尚樹, 榎本 敦, 大谷 浩樹, 伊藤 照生, 飯本 武志, 加藤 昌弘, 山口 一郎. 「教育現場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に関する専門研究会」活動報告. 第2回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4-7日、東京、講演集. P68
- 4) 山口一郎, 秋吉優史. 中学校や高等学校等で用いるクルックス管の放射線安全規制の課題. 第2回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4-7日、東京、講演集. P73
- 5) 藤淵 俊王, 秋吉 優史, 松本 亮, 山口 一郎, 古田 琢哉. シミュレーションによる線量評価の試み クルックス管プロジェクトシリーズ発表. 第2回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4-7日、東京、講演集. P74
- 6) 河野恭彦, 服部隆利, 山口一郎, 横山須美, 中野裕紀, 佐藤紀子, 工藤ひろみ, 野村直希, 迫田晃弘, 内藤航, 黒田佑次郎, 吉田浩子. 福島事

故後に住民に提供された資料の分析
とその評価方法の検討. 第2回日本
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4-7日、
東京、講演集. P165

- 7) 秋吉 優史, 山口 一郎, 橋本 周, 飯
本 武志, 小鍛冶 優, 森山 正樹, 前
田 勝弘, 若松 巧倫, 増子 寛, 田中
隆一, 宮川 俊晴. 教育現場への放射
線安全周知活動報告. 第2回日本放
射線安全管理学会・日本保健物理学
会合同大会; 2019年12月4-7日、東
京、講演集. P204

3.その他

- 1) 山口 一郎. 医療放射線の安全管理に
説明を持つ担当者を国際原子力機関
はどう規定しているか?. 令和元年
度「医療放射線管理講習会」; 2019年
10月10日、東京.

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

クルックス管の法令適用の課題とその解決策

目次

1. 要約	14
目的	14
方法	14
結果	14
<i>X線装置の規制免除</i>	14
IAEA ではX線装置に関して規制免除レベルを定めている。	14
<i>公衆の線量限度</i>	15
IAEA では公衆の線量限度を定めている。	15
<i>学校の理科の授業でX線発生装置を用いる際に適用する線量拘束値</i>	15
IAEA では線量拘束値の概念を定めている。	15
議論	15
<i>放射線安全管理の実践例としての意義</i>	15
結論	16
2. はじめに	16
MEXT の放射線安全確保に関する基本的な考え方	16
<i>Ensuring the Safety of Radiation and Nuclear Energy</i>	16
理科教育の歴史	16
<i>教育用 X 線装置</i>	16
クルックス管の放射線安全	16
<i>最大の線量率はどの程度か？</i>	16
<i>通常の装置</i>	17
<i>各メーカーの取り組み</i>	17
<i>教材の安全確保に向けて</i>	17
3. クルックス管を用いた学校での理科実験に関する放射線安全管理規制の適用のあり方の検討の必要性	17

クルックス管を用いた学校での理科実験の動向.....	17
新中学校学習指導要領.....	17
4. X線装置の規制の免除.....	18
国内の法令.....	18
X線装置に関する規制免除.....	18
RI 法.....	18
労働安全衛生法・電離則.....	18
過去の議論.....	19
海外の法令.....	19
IAEA の BSS における X 線装置に関する規制免除.....	19
IAEA の Draft safety guide DS499 での規制免除.....	20
Application of the concept of Exemption.....	20
規制の適用が免除される装置例.....	20
5. 規制対象となる X 線装置の安全管理.....	20
国内の法令.....	20
労働安全衛生法・電離則.....	20
事前の届出.....	20
違反事例.....	22
法第 88 条第 1 項の届出が廃止？.....	22
人事院規則.....	22
エックス線装置等の定期検査.....	22
放射線装置室.....	22
6. トラブル事例.....	24
教育現場での放射線事故例.....	24
軟 X 線発生装置による被ばく事故.....	24
岩手県の高校での事例.....	24
教育現場以外での放射線事故例.....	25
電子工場軟 X 線局所被ばく事故対応.....	25
X 線回折装置被ばく事故.....	25
個人線量モニタリングの異常値から気づかれた回折用 X 線装置作業者の異常被曝の発見事例....	25

装置の分解による被ばく例	25
エックス線装置の漏洩エックス線検査中、放射線皮膚障害.....	25
労働安全衛生法違反事例	25
7. 公衆の眼の水晶体の線量限度.....	26
GSR PART 3	26
<i>III.3. For public exposure, the dose limits are:.....</i>	<i>26</i>
8. 課題の解決に向けて.....	26
PL法の適用	26
用いる装置の質の確保のための費用負担.....	26
これまでの啓発活動	26
教材開発.....	26
日本理科教育振興協会	26
中学校.....	26
注意喚起例	27
製造会社の説明例.....	27
関連情報.....	27
関係機関.....	27
教育関係者間での意見交換例.....	27
高等学校.....	28
これまでの実態把握調査	28
中学校.....	28
高等学校.....	28
関連した文献.....	28
低エネルギー放射線の測定	28
電子顕微鏡からの放射線漏洩.....	28
放射線教育.....	29
鹿児島県小・中学校.....	29
学校での放射線リスク教育	29
教員の方向けの相談窓口.....	29
こころもメンテしよう、こころの相談窓口	29

9. 海外の動向	29
理科実験での放射線安全確保	29
<i>ICRP</i>	29
<i>IAEA</i>	30
教育を受ける対象者の線量限度 (<i>IAEA GSG-7</i>)	30
3.39. In accordance with para. III.2 of GSR Part 3 [2]:	30
計画被ばく状況で用いる線量拘束値.....	30
学校での放射線教育のあり方	30
カナダ.....	31
SCIENCE SAFETY RESOURCE MANUAL	31
Radiation Hazards in High School Science Laboratories.....	31
カナダ・マニトバ州教育省	32
フィンランド.....	32
STUK	32
英国.....	33
Education Management Circular No 1.27a: Community Services: Education.....	33
アイルランド.....	33
SAFETY IN SCHOOL SCIENCE.....	33
アメリカ.....	34
SECONDARY SCIENCE SAFETY MANUAL: Red Clay Consolidated School District.....	34
オーストラリア.....	34
密封線源.....	34
10. 法令	34
労働安全衛生法	34
電離則.....	34
(照射筒等)	34
(ろ過板)	35
(放射線装置室)	35
(標識の掲示)	36
(放射線装置室)	36
(立入禁止)	36

人事院規則 10—5（職員の放射線障害の防止）の運用について.....	37
第9条関係.....	37
医療法.....	37
医療法施行規則.....	37
エックス線装置の届出.....	37
特定 X 線装置.....	37
人事院規則.....	38
法令適用に関する検討例.....	38
過去の経緯.....	38
法令適用に関する事例.....	38
11. 理解を深めるための FAQ.....	39
放射線の基礎知識.....	39
放射線はどこまでまっすぐ飛んでいくのですか？.....	39
ピットホールとしての線量測定.....	39
クルックス管を用いた実験を理科の実験で行うことを考えています。念のために放射線の線量率を計測したら検出できませんでした。安全と考えて良いですか？.....	39
衣服の遮へい.....	39
クルックス管で用いられるような低エネルギー光子は衣服でどの程度遮へいされますか？.....	39
ガラスの遮へい.....	39
クルックス管で用いられるような低エネルギー光子はガラスでどの程度遮へいされますか？	39
クルックス管と霧箱.....	40
高校での霧箱製作ノウハウを中学教諭に—名古屋経済大学市邨高校.....	40
線量限度との比較.....	40
被ばくが増えていって最初に超えるのは実効線量でしょうか？.....	40
教育効果？.....	41
Q.クルックス管を用いた実験の教育効果はなく、その実験での放射線曝露は正当化できないのではないかと.....	41
教育経済学.....	41
X 線回折装置.....	41
疑問表明例.....	41
12. その他.....	42

放射線教育関係の質問主意書	42
放射線教育に関する質問主意書	42

1. 要約

目的

クルックス管を学校現場で安全に用いるための規制整備の課題を明らかにする。

方法

文献調査により課題を抽出した。

結果

X線装置の規制免除

IAEA ではX線装置に関して規制免除レベルを定めている。

しかし日本の法令では、X線装置に関して規制免除レベルを定めていない。

このため日本でも IAEA が規定するX線装置に関して規制免除レベルを導入すべきだと考えられた。

ただし、IAEA ではX線装置に関して規制免除レベルでは線量当量率も指標として用いているが、どの種類の線量当量であるか明示されておらず、70 μ m 線量当量や3mm 線量当量に関しても、規制免除レベルをどのレベルとするかを定める必要があると考えられる。

ここで公衆の線量限度で比較すると1cm 線量当量と比較し70 μ m 線量当量は50倍や3mm 線量当量は15倍まで許容されることになる。

一方、IAEA の規制免除レベルは10 μ Sv を超えない程度の線源に適用することが想定されていることから、公衆の線量限度で比較すると皮膚の等価線量では0.5 mSv、眼の水晶体の等価線量では0.15 mSv を超えないものが、規制免除レベルに該当すると考えられる。

この措置により販売会社を啓発することで通常の使用で10 μ Sv を超えうる装置の販売を規制することが可能であると考えられる。

また、この装置では扱いによって出力が大きく異なりうることが確認されている。例えば、クルックス管から15cm の距離10分間の照射で、70 μ m 線量当量が33mSv 以上にも達する装置が見いだされている。この装置で放電極距離を広げるとさらに線量が増加しており積極的な介入が求められる。この装置であっても、きちんと設定すれば劇的に線量が落ちることが確認されている。このため、適切な条件の使用で規制免除レベルを下回る装置は、「不適切な使い方による過剰な被曝を防ぐこと」が必要である。

規制免除の適用では、通常の使用の条件下を仮定することでよいと思われるが、装置の出力は条件設定にも依存し、ごく一般的な装置でも、最大出力の設定ではクルックス管から15cm の位置で Hp(0.07) 14mSv/h 程度となるので、学校現場での使用が一定の条件下と

なることを何らかの方法で担保する必要がある。また、その担保の方法は教員の負担を避ける必要がある（フェイルセーフ機構とするなど）。

現在では、各メーカーが自主的にチェックを行なっているとのことであるので、JIS や IEC 規格化するなどして統一基準を示したり、一般消費財としての販売基準をハードウェアに対して課すことも考えられるかもしれない。

また、出力が増加していた装置では、放電させるために無理矢理に電圧を上げていたものがあるので、装置のメンテナンスも計画的に実施できるように制度化する必要があるとともに装置が安全に使えるかどうかを検証する簡易な電圧測定法の開発なども求められる。

これらの装置では、遮蔽体や抵抗器を入れることなどでさらに線量を下げることが可能であるが、どこまでが **Reasonably Achievable** と言えるのか、学校現場の先生方や保護者の意見を取り入れて検討する必要がある。

公衆の線量限度

IAEA では公衆の線量限度を定めている。

日本の法令では、公衆の線量限度を明示的には定めていない。

このため日本でも公衆の線量限度を明示的に法令上も導入すべきだと考えられた。

学校の理科の授業でX線発生装置を用いる際に適用する線量拘束値

IAEA では線量拘束値の概念を定めている。

日本の法令では、他の加盟国と異なり線量拘束値の概念を導入していない。

導入していないのは利害関係者の反対によるとされている。

しかし教育関係者間では線量拘束値の概念の導入に反対する意見は乏しいと考えられる。

このため日本でも線量拘束値の概念を導入すべきだと考えられた。

具体的な線量拘束値の設定は教育現場により近いところでなされる必要があると考えられる。

費用対効果分析なども踏まえて放射線防護用の装置カバー導入の是非なども教育現場により近いところで検討する必要があると考えられる。

議論

放射線安全管理の実践例としての意義

本課題もリスク教育の題材として用いるのがよいのではないかと考えられる。

学校での取り組み事例として国際的に発信することも考えられる。

リスクへの対応として教訓化し、原子力災害対応にも何らかの形でいかせるようにするの

がよいのではないかと考えられた。

結論

日本でも他の加盟国同様に国際機関の考え方に沿った X 線装置の免除レベルを導入するのが適切であると考えられた。

2. はじめに

クルックス管を用いた物理実験は配慮することで安全に中学校や高等学校で実施することができる。

技術的な課題は近くの専門機関に相談することが出来る。

各学校現場で放射線安全を確保するためにクルックス管プロジェクトが進行中¹となっている。

MEXT の放射線安全確保に関する基本的な考え方

Ensuring the Safety of Radiation and Nuclear Energy²

Radiation and nuclear energy are not used only to generate electricity. They are also used for applications such as semi-conductor manufacture and medical irradiation. Ensuring safety is the first premise of research, development, and use of radiation and nuclear energy. Based on the law, MEXT enforces strict safety regulations on the use of research and test reactors, radioactive isotopes, and so on through inspections and examinations of facility designs. It also implements measures against nuclear accidents surveys environmental radiation.

最初の文章は発電以外にも利用されていると述べたいのだと思われる。このことは原子力発電の是非の議論を避けることの理由としているとも考えられるが、どのような技術であれ不利益も社会にもたらすので、安全評価や技術評価も求められることになる。

理科教育の歴史

教育用 X 線装置³

クルックス管の放射線安全

最大の線量率はどの程度か？

この装置では扱いによって出力が大きく異なりうる事が確認されている。例えば、クルッ

¹ <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.htm>

²

http://www.mext.go.jp/list_001/list_016/_icsFiles/afiedfile/2010/09/08/mext_2010_e.pdf

³ https://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoiku/classic/x_ray.html

クス管から 15cm の距離 10 分間の照射で、70 μ m 線量当量が 33 mSv 以上に達する装置が見いだされている。この装置で放電極距離を広げるとさらに線量が増加しており積極的な介入が求められる。

もっとも、この装置であっても、きちんと設定すれば劇的に線量が落ちることが確認されている。このため、適切な条件の使用で規制免除レベルを下回る装置は、「不適切な使い方による過剰な被曝を防ぐこと」が放射線安全管理の目標となる。

通常装置

規制免除の適用では、通常の使用の条件下を仮定することでよいと思われるが、装置の出力は条件設定にも依存し、ごく一般的な装置でも、最大出力の設定ではクルックス管から 15 cm の位置で Hp(0.07)として 14 mSv/h 程度となるので、学校現場での使用が一定の条件下となることを何らかの方法で担保する必要がある。また、その担保の方法は教員の負担を避ける必要がある（フェイルセーフ機構とするなど）。

各メーカーの取り組み

現在では、各メーカーが自主的にチェックを行なっているとのことであるので、JIS や IEC 規格化するなどして統一基準を示して頂いたり、一般消費財としての販売基準をハードウェアに対して課すことも考えられるかもしれない。

また、出力が増加していた装置では、放電させるために無理矢理に電圧を上げていたものがあるので、装置のメンテナンスも計画的に実施できるように制度化する必要があるとともに装置が安全に使えるかどうかを検証する簡易な電圧測定法の開発なども求められる。

教材の安全確保に向けて

遮蔽体や抵抗器を入れることなどでさらに線量を下げることが可能であるが、どこまでが Reasonably Achievable と言えるのか、先生方や保護者の意見を取り入れて検討する必要がある。

3. クルックス管を用いた学校での理科実験に関する放射線安全管理規制の適用のあり方の検討の必要性

クルックス管を用いた学校での理科実験の動向

新中学校学習指導要領

平成 32 年度から移行措置としてクルックス管の放射線授業が実施される見込となっている。

新学習指導要領移行措置⁴

(4) 平成 32 年度の第 2 学年の理科の指導に当たっては、次のアからウまでのとおりとする。

⁴ <https://www.bunri.co.jp/infosrv/ikousochi.html>

ア 現行中学校学習指導要領第2章第4節第2〔第1分野〕の2(3)ア(イ)に規定する事項については、新中学校学習指導要領第2章第4節第2〔第1分野〕の3(5)エのうち「放射線の性質と利用」に関する規定を適用するものとする。

4. X線装置の規制の免除

国内の法令

X線装置に関する規制免除

日本ではX線装置に関する規制免除の規定がない。

RI 法

放射性同位元素等の規制に関する法律施行令

放射線発生装置

第二条 法第二条第四項に規定する政令で定める放射線発生装置は、次に掲げる装置（その表面から十センチメートル離れた位置における最大線量当量率が原子力規制委員会が定める線量当量率以下であるものを除く。）とする。

- 一 サイクロトロン
- 二 シンクロトロン
- 三 シンクロサイクロトロン
- 四 直線加速装置
- 五 ベータトロン
- 六 ファン・デ・グラーフ型加速装置
- 七 コッククロフト・ワルトン型加速装置
- 八 その他荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で、放射線障害の防止のため必要と認めて原子力規制委員会が指定するもの

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成十二年科学技術庁告示第五号)

放射線発生装置に係る線量当量率

第二条 令第二条各号列記以外の部分に規定する線量当量率は、一センチメートル線量当量率について六百ナノシーベルト毎時とする。

労働安全衛生法・電離則

⁵ http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2017/07/11/1387780_003_1.pdf

労働安全衛生法では、10kV 以上のエックス線装置を特定 X 線装置として、厚生労働大臣が定める規格又は安全装置を具備すべき機械等としている（政令第 13 条）。

過去の議論

放射線審議会基本部会報告書「規制免除について」⁶

『BSS では、放射線発生装置に関する免除レベルとして、規制当局による認可を受けた型で、発生する放射線の最大エネルギーが 5 keV を超えないものと規定。

我が国においては、労働安全衛生法、医療法及び薬事法等で、定格管電圧が 10 kV 以上のエックス線装置を規制対象としている。一方、放射線障害防止法では、装置表面から 10 cm における線量率が 600 nSv/時を超えないか、1 MeV を超えないエネルギーを有する電子線及びエックス線を発生する装置を規制対象外としている。

BSS が規定する放射線を発生する装置における規制の免除要件の国内法令への取り入れについては、その妥当性や国内での利用実態を考慮して検討する必要がある。』
ただし、労働安全衛生法上の規定は明確ではない。

海外の法令

IAEA の BSS における X 線装置に関する規制免除

IAEA の GSR Part 3 では、以下の様に年間の線量が 10 μ Sv に満たないものを念頭に置いて X 線装置の免除レベルを規定している。なお、H*(10)か H*(0.07)なのかが明示されておらず、文書体系上、両方の概念を含むと解釈されると考えられ、IAEA の担当者の同様の見解であった。

GSR Part 3

Schedule I EXEMPTION AND CLEARANCE

I.2. A practice or a source within a practice may be exempted without further consideration from some or all of the requirements of these Standards under the terms of para. I.1(a) provided that under all reasonably foreseeable circumstances the effective dose expected to be incurred by any individual (normally evaluated on the basis of a safety assessment) owing to the exempt practice or the exempt source within the practice is of the order of 10 μ Sv or less in a year. To take into account low probability scenarios, a different criterion could be used, namely that the effective dose expected to be incurred by any individual for such low probability scenarios does not exceed 1 mSv in a year.

(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

⁶ http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/004/shiryo/021201e.htm

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 $\mu\text{Sv/h}$ 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.

IAEA の Draft safety guide DS499 での規制免除

APPLICATION OF THE CONCEPT OF EXEMPTION⁷

EXEMPTION AND CLEARANCE

3.4. The primary radiological basis for establishing values of activity concentration for the exemption of bulk amounts of material and for clearance is that the effective doses to individuals should be of the order of 10 μSv or less in a year. To take account of the occurrence of low probability events leading to higher radiation exposures, an additional criterion was used, namely, the effective doses due to such low probability events should not exceed 1 mSv in a year. In this case, consideration was also given to doses to the skin; an equivalent dose criterion of 50 mSv in a year to the skin was used for this purpose. This approach is consistent with that used in establishing the values for exemption provided in Schedule I of the BSS (see Ref. [1]).

規制の適用が免除される装置例

- ・ 要件を満たす電子顕微鏡
- ・ テープ⁸

5. 規制対象となる X 線装置の安全管理

国内の法令

労働安全衛生法・電離則

事前の届出

労働安全衛生法

⁷ <http://www-ns.iaea.org/committees/files/RASSC/1846/R6.1-PAPPINISSERI-DS499.pdf>

⁸ <https://www.nature.com/articles/nature07378>

第八十八条 事業者は、機械等で、危険若しくは有害な作業を必要とするもの、危険な場所において使用するもの又は危険若しくは健康障害を防止するため使用するもののうち、厚生労働省令で定めるものを設置し、若しくは移転し、又はこれらの主要構造部分を変更しようとするときは、その計画を当該工事の開始の日の三十日前までに、厚生労働省令で定めるところにより、労働基準監督署長に届け出なければならない。ただし、第二十八条の二第一項に規定する措置その他の厚生労働省令で定める措置を講じているものとして、厚生労働省令で定めるところにより労働基準監督署長が認定した事業者については、この限りでない。

労働安全衛生規則

(計画の届出をすべき機械等)

第八十五条 法第八十八条第一項の厚生労働省令で定める機械等は、法に基づく他の省令に定めるもののほか、別表第七の上欄に掲げる機械等とする。ただし、別表第七の上欄に掲げる機械等で次の各号のいずれかに該当するものを除く。

別表第七（第八十五条、第八十六条関係）

二十一 電離則第十五条第一項の放射線装置（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）第十二条の五第二項に規定する表示付認証機器又は同条第三項に規定する表示付特定認証機器を除く。以下この項において同じ。）

放射線装置を用いる業務、製品及び作業工程の概要

- 一 管理区域を示す図面
- 二 放射線装置摘要書（様式第二十七号）

業種又は規模にかかわらず届出を要する機械等(安衛法 88 条 1、2 項)

H26 年度の改正で 300 kW 以上との条件がなくなっている。

また対象として放射性物質取扱作業室等が削除されている。

それとは矛盾している例

宮崎大学⁹

電子政府窓口¹⁰

⁹ <http://www.miyazaki-u.ac.jp/anzen/ctrl-anzen/wp-content/uploads/2017/04/todokede.pdf>

¹⁰ <http://shinsei.e-gov.go.jp/search/servlet/Procedure?CLASSNAME=GTAMSTDDETAIL&id=4950000010411&fromGTAMSTLIST=true&dspcnt=10&keyword=%8Dz&keywordOr=&keywordNameIn=&SYORIMODE=&displayHusho=&frompos=2441>

電離則第 15 条第 1 項の放射線装置（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律第 12 条の 5 第 2 項に規定する表示付認証機器又は同条第 3 項に規定する表示付特定認証機器を除く。）、同項の放射線装置室、電離則第 22 条第 2 項の放射線物質取扱作業室¹¹又は電離則第 2 条第 2 項の放射線物質¹²に係る貯蔵施設の設置・移転・変更届

違反事例

報告書～ 無資格者による人体への X 線照射に関する原因検証結果
と、信頼を回復するための再発防止策の提言～

また、新宿労働基準監督署から放射線装置にかかる労働安全衛生法違反として違反事項の指摘と是正指示が平成 30 年 2 月 23 日に行われ、同年 3 月 30 日に健栄研から新宿労働基準監督署に対して是正報告を行ったところである。

法第 88 条第 1 項の届出が廃止？

規模の大きい工場等で 建設物、機械等の設置、移転等を行う場合の事前届出が廃止されている。

労働安全衛生法の改正について

人事院規則

後ほど記述。

エックス線装置等の定期検査

第十一条 各省各庁の長は、エックス線装置及び電子顕微鏡（定格加速電圧が百キロボルト未満の電子顕微鏡を除く。）については、定期検査を行わなければならない。

放射線装置室

エックス線装置を設置するときは専用の室（放射線装置室）を設けなければならないとされている（電離則第 15 条）。

例外規定

エックス線装置を随時移動させて使用しなければならない場合や自己遮蔽がなされている装置などは、この限りではないとされている（電離則第 15 条）。

¹¹ 「放射性物質取扱作業室」の誤り

¹² 同じ誤り

放射線装置室以外でエックス線装置を使用する場合

エックス線管の焦点又は放射線源及び被写体から 5 m 以内の場所に労働者を立ち入らせてはならないとされている（電離則第 18 条）。ただし、外部放射線による実効線量が 1 週間に付き 1 mSv 以下の場所を除くとされている。

管理区域の設定

3 月間に 1.3 mSv を超えるおそれのある区域は管理区域とする必要がある（電離則第 3 条）。

線量を評価する場所

利用線錐方向も評価が必要ですか？

評価が不要とする規定は見当たりません。H(10)が 20 μ Sv/h を超えないように遮蔽された構造の放射線装置を使用する場合には、放射線装置室を設置する必要はないとされている。

管理区域への立入制限

事業者は必要のあるもの以外を管理区域に立ち入らせてはならないとされている（電離則第 3 条）。

何が問題？

- 放射線装置室の多目的利用を容認するかどうか？
- 関係者間で検討されたガイドラインが存在していない模様となっている。
- 学生に対する放射線防護のあり方

教育施設でのエックス線装置使用のガイドライン例

案を作成されており、それが適用しうるかどうかの実態調査も進行中となっている¹³。

X 線装置の防護基準

エックス線装置構造規格に従ったものとする必要がある。

医療用エックス線装置であれば、その規格を満足していると考えられる。

教育用の装置の規格は別に設けるかや学生実習での放射線防護に関しても課題となるかもしれない。

計画の届出

¹³ http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Lecture/20190328_教員向けリーフレット案.pdf

(計画の届出をすべき機械等)

第八十五条 法第八十八条第一項の厚生労働省令で定める機械等は、法に基づく他の省令に定めるもののほか、別表第七の上欄に掲げる機械等とする。ただし、別表第七の上欄に掲げる機械等で次の各号のいずれかに該当するものを除く。

別表第七（第八十五条、第八十六条関係）

二十一 電離則第十五条第一項の放射線装置（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）第十二条の五第二項に規定する表示付認証機器又は同条第三項に規定する表示付特定認証機器を除く。以下この項において同じ。）

放射線装置を用いる業務、製品及び作業工程の概要

- 一 管理区域を示す図面
- 二 放射線装置摘要書（様式第二十七号）

6. トラブル事例

教育現場での放射線事故例

軟 X 線発生装置による被ばく事故

岩手県の高校での事例

- ・ 富樫 厚彦. <岩手高校生被曝事故に関する考察>軟 X 線発生装置を利用した高校生物理授業における手指被曝事故の考察：2.計算による被曝線量推定¹⁴
- ・ 鈴木 昇一, 小林 正尚, 越田 吉郎. <岩手高校生被曝事故に関する考察>軟 X 線発生装置を利用した高校生物理授業における手指被曝事故の考察：3.岩手の超軟 X 線装置による被ばく事故と同様な装置による線量測定¹⁵
- ・ 西谷 源展, 大釜 昇, 笠井 俊文, 遠山 景子, 山田 勝彦. <岩手高校生被曝事故に関する考察>軟 X 線発生装置を利用した高校生物理授業における手指被曝事故の考察：4.理科実験用 X 線装置による線量測定¹⁶
- ・ 前越久. 高校生の X 線被ばく事故を知って¹⁷

¹⁴ <https://ci.nii.ac.jp/naid/110003381612/>

¹⁵ https://www.jstage.jst.go.jp/article/protectionjsrt/16/0/16_KJ00000786467/_article-char/ja/

¹⁶ https://www.jstage.jst.go.jp/article/protectionjsrt/16/0/16_KJ00000786468/_article-char/ja/

¹⁷ <http://www.kenkobunka.jp/kenbun/kb34/maeko34.pdf>

教育現場以外での放射線事故例

電子工場軟 X 線局所被ばく事故対応¹⁸

X 線回折装置被ばく事故

個人線量モニタリングの異常値から気づかれた回折用 X 線装置作業者の異常被曝の発見事例

装置は自動記録式の X 線回折装置で、X 線の発生条件は、管球電圧 30kV、管球電流 10mA であった。事故の原因は、普段使用していない下向きのウインドーのシャッターが開いており（X線管取り替え時の閉め忘れ）、ここから X 線が漏えいしていたことによることが判明している。¹⁹

装置の分解による被ばく例

1994 年 4 月 28 日、研究用 X 線回折装置(RIXT2500, 出力:18kW, ターゲット:Cu, 印加電圧 50kV, 電流 200mA)のシャッターを会社の技術者が分解してしまった。そのとき、右第 4, 5 指の根元が温かく感じたことで、X 線が出ていることに気づき、電源を直ちに停止した。この時は、本人は、特に症状もなかったため何の処置も行わず帰宅した。被ばく 14 日後、皮膚の一部が白色変化し、悪化してきたため、会社に 報告し、東大病院放射線科を受診した。約 3 分間の右手掌被ばくで、推定された皮膚吸収線量は 100-200 Gy と推定された³。このように放射線皮膚障害の特徴は、火傷による反応と違い、発赤・浮腫・水痘・潰瘍・壊死などが即時に現れず、一定の潜伏期を経て、症状が現れることである。²⁰

エックス線装置の漏洩エックス線検査中、放射線皮膚障害²¹

労働安全衛生法違反事例

報告書～ 無資格者による人体への X 線照射に関する原因検証結果と、信頼を回復するための再発防止策の提言～

また、新宿労働基準監督署から放射線装置にかかる労働安全衛生法違反として違反事項の指摘と是正指示が平成 30 年 2 月 23 日に行われ、同年 3 月 30 日に健栄研から新宿労働基準監督署に対して是正報告を行ったところである。

¹⁸ http://www.nirs.qst.go.jp/publication/nirs_news/200106/hik3p.htm

¹⁹ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/6/3/6_3_153/_pdf

²⁰ <http://anzen.t.u-tokyo.ac.jp/~nomura/nomura/2011年医学物理31巻sup2%204月p43-48.pdf>

²¹ http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/sai_det.aspx?joho_no=1074

7. 公衆の眼の水晶体の線量限度

GSR Part 3

III.3. For public exposure, the dose limits are:

- (a) An effective dose of 1 mSv in a year;
- (b) In special circumstances⁶⁸, a higher value of effective dose in a single year could apply, provided that the average effective dose over five consecutive years does not exceed 1 mSv per year;
- (c) An equivalent dose to the lens of the eye of 15 mSv in a year;
- (d) An equivalent dose to the skin of 50 mSv in a year.

8. 課題の解決に向けて

PL 法の適用

用いる装置の質の確保のための費用負担

国庫補助金を利用した負担軽減策²²

これまでの啓発活動

教材開発

日本理科教育振興協会

クルックス管を使った冷陰極の実験

中学校

全中理支援センター 代表理事 高島勇二. 被ばく軽減に配慮した放電実験

足立区立第十三中学校 鈴木 優 都中理 OB 高島勇二. クルックス管から発生する放射線の被ばく軽減に配慮した放電実験のための留意点²³

井上創. 真空放電管演示実験時の授業者・生徒の X 線被ばく量の測定及び防護方法の確立²⁴

大森儀郎. クルックス管から漏洩する X 線の実態とその対策²⁵

クルックス管から漏洩する X 線の実態とその対策

大森儀郎. クルックス管から漏洩する X 線の実態とその対策

²² <http://www.japse.or.jp/wp-content/uploads/2017/05/kokkohojojin-panf-kyotsu.pdf>

²³ https://ref.or.jp/book/book_newsletter_069.pdf

²⁴ <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22909010/>

²⁵ <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007490415>

大森儀郎．学校教育における被ばく²⁶

笠原中庸、池田雅彦．クルックス管による放射線（X 線）の性質に関する実験²⁷

成山 展照．低エネルギー光子に対する線量評価の研究²⁸

クルックス管等の放電実験においても被曝を避ける対策を取る。²⁹

Antique X-Ray Tube Safety³⁰

注意喚起例

クルックス管等の放電実験においても被曝を避ける対策を取る。³¹

製造会社の説明例

放射線防護について言及している例（X線防護ボックスに言及）³²

関連情報

クルックス管からの X 線～被曝の危険～³³

関係機関

全国中学校理科教育研究会

日本理科教育学会

教育関係者間での意見交換例

Subject: Re: Crookes Tube (was Re: Demo health hazards)^{34,35}

クルックス管を用いた実験授業、意義や課題を話し合う（NPO 法人放射線教育フォーラム

主催：平成 29 年度第 2 回勉強会）³⁶

²⁶ http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013159.pdf

²⁷ [https://edu-](https://edu-niigata.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=1312&file_id=22&file_no=1)

[niigata.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=1312&file_id=22&file_no=1](https://edu-niigata.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=1312&file_id=22&file_no=1)

²⁸ <https://ci.nii.ac.jp/naid/110007665007>

²⁹ http://digirika.el.tym.ed.jp/wp-content/uploads/2014/01/jikorei_taisaku.pdf

³⁰ <https://physics.stackexchange.com/questions/249118/antique-x-ray-tube-safety>

³¹ http://digirika.el.tym.ed.jp/wp-content/uploads/2014/01/jikorei_taisaku.pdf

³² <http://exp.as2.yamanashi.ac.jp/openlab/apparatus/manual/d15.pdf>

³³ <https://www.youtube.com/watch?v=ezV834YuAMw>

³⁴ <http://demoroom.physics.ncsu.edu/tapl/archive/201105/304.html>

³⁵ <http://demoroom.physics.ncsu.edu/tapl/archive/201105/305.html>

³⁶ <https://www.radi-edu.jp/2018/04/23/4682>

高等学校

これまでの実態把握調査

中学校

宇藤茂憲. 教育現場における冷陰極管の漏洩 X 線について³⁷

『クルックス管の調査に応じてくれた中学校理科教師にこれらの事実を告げると、理科教師のほとんどはこのことを認識していなかった。』

高等学校

林 壮一, 川村 康文, 村上 聡. 大学生に対する高校物理実験および放射線学習の現状調査³⁸
高校での放射線関係の物理実験の経験が乏しいことが示されている。

関連した文献

クルックス管プロジェクト: 秋吉 優史 研究教育紹介サイト ホームページ: 秋吉 優史, 掛布 智久, 谷口 和史, 高畠 勇二, 宮川 俊晴. クルックス管を用いた放射線教育と放射線安全管理. 日本放射線安全管理学会 12 月シンポジウム³⁹

杉本憲広, 林熙崇. クルックス管を利用した簡易な X 線透過実験装置⁴⁰

線量測定が示されていますが、その評価法に関する記述が見当たりません。

藤淵 俊王, 井上 創, 小原 哲, 加藤 英幸, 小林 育夫, 細田 正洋. イメージングプレートを
用いたクルックス管からの漏洩線量分布測定⁴¹

PHITS での計算結果も示されている。

補助情報

JRSM の技術賞を受賞⁴²

低エネルギー放射線の測定

放射光を用いた低エネルギー光子に関する研究⁴³

電子顕微鏡からの放射線漏洩

電子顕微鏡からの放射線漏洩について⁴⁴

電子顕微鏡からの漏洩放射線⁴⁵

³⁷ <https://libopac.fukuoka-edu.ac.jp/dspace/bitstream/10780/1897/1/3-01-宇藤茂憲.pdf>

³⁸ https://www.jstage.jst.go.jp/article/pesj/63/3/63_KJ00010038066/_article/-char/ja/

³⁹ <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm#CPro>

⁴⁰ http://www.toray-sf.or.jp/activity/science_edu/pdf/h15_05.pdf

⁴¹ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm/10/1/10_1_40/_article/-char/ja/

⁴² http://www.jrsm.jp/h_23.html

⁴³ <http://rcwww.kek.jp/research/shield/sr.html>

⁴⁴ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/4/4/4_4_594/_article/-char/ja/

⁴⁵ <http://jairo.nii.ac.jp/0025/00017996>

エックス線装置からの漏洩放射線の測定⁴⁶

測定結果を基に遮へいが改善され、安全が確保されたとのことであった。

放射線教育

鹿児島県小・中学校

鹿児島県小・中学校における放射線教育の現状とその放射線リテラシーに及ぼす教育の効果⁴⁷

専門機関との連携も論じられている。

『学習指導案の作成に、リスク・マネジメントに携わる大学等の教職員が積極的に参加することも求められよう。』

学校での放射線リスク教育

学校での放射線リスク教育ガイドブック第二版ー Guidebook for radiation risk education at school⁴⁸

教員の方向けの相談窓口

こころもメンテしよう．こころの相談窓口

NITS 独立行政法人教職員支援機構

9. 海外の動向

理科実験での放射線安全確保

ICRP

線量限度に関して

ICRP Publication 13: Radiation Protection in Schools for Pupils up to the Age of 18 Years⁴⁹

⁴⁶ [http://tech.eng.kumamoto-](http://tech.eng.kumamoto-u.ac.jp/report/2009/resume_pdf/sougou_giken/P05_uemura.pdf)

[u.ac.jp/report/2009/resume_pdf/sougou_giken/P05_uemura.pdf](http://tech.eng.kumamoto-u.ac.jp/report/2009/resume_pdf/sougou_giken/P05_uemura.pdf)

⁴⁷ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm/8/2/8_2_133/_article/-char/ja/

⁴⁸ https://opac.ll.chiba-u.jp/da/curator/105879/Guidebook_for_radiation_risk-education_in_school_2ed.pdf

⁴⁹ <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2013>

IAEA

教育を受ける対象者の線量限度（IAEA GSG-7）

職業的な訓練が想定されており職業被ばくのカテゴリとなっている。

3.39. IN ACCORDANCE WITH PARA. III.2 OF GSR PART 3 [2]:

“For occupational exposure of apprentices of 16 to 18 years of age who are being trained for employment involving radiation and for exposure of students of age 16 to 18 who use sources in the course of their studies, the dose limits are:

- (a) An effective dose of 6 mSv in a year;
- (b) An equivalent dose to the lens of the eye of 20 mSv in a year;
- (c) An equivalent dose to the extremities (hands and feet) or to the skin⁶⁷ of 150 mSv in a year.

計画被ばく状況で用いる線量拘束値

GSR PART 3

A prospective and source related value of individual dose (dose constraint) or of individual risk (risk constraint) that is used in planned exposure situations as a parameter for the optimization of protection and safety for the source, and that serves as a boundary in defining the range of options in optimization.

For public exposure, the dose constraint is a source related value established or approved by the government or the regulatory body, with account taken of the doses from planned operations of all sources under control.

The dose constraint for each particular source is intended, among other things, to ensure that the sum of doses from planned operations for all sources under control remains within the dose limit.

The risk constraint is a source related value that provides a basic level of protection for the individuals most at risk from a source. This risk is a function of the probability of an unintended event causing a dose and the probability of the detriment due to such a dose. Risk constraints correspond to dose constraints but apply to potential exposure.

学校での放射線教育のあり方

東京大学 飯本武志．IAEA 中等教育専門家会議 出席報告

理科の授業で放射線を用いることの安全確保に関しては言及が見当たらない。

SCIENCE SAFETY RESOURCE MANUAL

Most of the radiation hazards in schools are of an insidious nature. All potentially hazardous equipment and materials must be available for use only under the direct supervision of a teacher familiar with the safe use of the item. The onus is on the teacher to be aware of potential dangers and to convey this information to the students. The teacher must instruct students in proper operating and handling procedures and must insist that they be followed.

HIGH SCHOOL SCIENCE SAFETY RESOURCE MANUAL⁵⁰

Recommended safety procedures for the selection and use of demonstration-type gas discharge devices in schools⁵¹

RADIATION HAZARDS IN HIGH SCHOOL SCIENCE LABORATORIES

For activities involving radioactive sources, use low-intensity sources containing radioisotopes of the elements uranium, thorium, potassium or rubidium. Do not allow the sources to come into direct contact with the skin and, if sources are in powder form, keep them sealed to prevent contact with skin or ingestion. For further information about the handling of radioactive material, contact the Atomic Energy Control Board, Office of Public Information, P.O. Box 1046, Ottawa, Ontario, K1P 5S9.

SCIENCE IN SCHOOL

RADIOACTIVITY IN THE CLASSROOM⁵²

Safety notes:

- Place the radioactive rocks in a plastic box and wear gloves when you handle them.
- Experiments involving radioactive rocks should be performed in a ventilated room.

⁵⁰

<http://www.ed.gov.nl.ca/edu/k12/curriculum/documents/science/LabSafetyGuidelines.PDF>

⁵¹ http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/11/558/11558896.pdf

⁵² <https://www.scienceinschool.org/2009/issue12/radioactivity>

- For the experiments with irradiated seeds, it is enough for the students to wear gloves when they sow the seeds. The irradiation of seeds is carried out in the Physics Department of Lisbon University by technical experts who follow appropriate security.
- For the Becquerel experiment, gloves must be worn to handle the X-ray dental film when students are developing the film.

カナダ・マニトバ州教育省

SCIENCE AND SAFETY: A KINDERGARTEN TO GRADE 12 RESOURCE MANUAL FOR TEACHERS, SCHOOLS, AND SCHOOL DIVISIONS

Protection from Ionizing Radiation で免除レベルについても言及されている（ただしエックス線発生装置に関しては、IAEA の BSS などに従うとの記述が以下の法令内には見当たらない）。

LICENSING: NUCLEAR SUBSTANCES AND RADIATION DEVICES

フィンランド

STUK

USE OF IONIZING RADIATION IN THE TEACHING OF PHYSICS AND CHEMISTRY

Cold cathode type discharge tubes are liable to generate X-radiation. This X-radiation causes no hazard if the discharge tube voltage does not exceed 5000 volts. No adjustable voltage source with a maximum voltage exceeding 5 kV may therefore be used with a discharge tube unless there is also a voltmeter or some other means of ensuring that the voltage does not exceed 5 kV.

The foregoing discharge tubes include the following:

- a Crookes tube for demonstrating how cathode rays bend in a magnetic field
- a Braun tube cathode-ray tubes containing fluorescent material
- a Maltese cross tube
- a tube for demonstrating the pressure of cathode rays

- a tube for demonstrating the thermal effect of cathode rays
- a canal ray tube.

英国

EDUCATION MANAGEMENT CIRCULAR NO 1.27A: COMMUNITY SERVICES: EDUCATION

Apparatus capable of generating X-rays operating at 5 kilovolts or more (other than a cathode ray oscilloscope, television receiving set or visual display unit, used in the normal way for viewing) must not be used.

ABERDEEN CITY COUNCIL

MANAGEMENT OF RADIOACTIVE SOURCES IN SCHOOLS

アイルランド

SAFETY IN SCHOOL SCIENCE

- Schools that have equipment, such as discharge tubes and high voltage rectifier tubes that are capable of emitting X-rays should take note of the following points:
- Equipment, such as discharge tubes, that are not designed for but are capable of emitting X-rays (usually at voltages in excess of 5 kV) must be of a type designed for educational use and must be acquired only from a supplier licensed by the RPII to distribute such equipment. Schools should not acquire or accept donations, however well intended, of equipment designed to generate or capable of emitting X-rays. Wherever possible, hot cathode tubes should be used as discharge tubes.
- Students may only operate equipment capable of emitting X-rays while under the supervision of the science teacher.
- Equipment capable of emitting X-rays should only be operated for short periods.
- The beam of radiation from equipment capable of emitting X-rays must never be pointed towards students or teachers.
- Equipment capable of emitting X-rays must be shielded with lead sheeting. A lead thickness of about 2 mm will provide more than adequate shielding for this type of equipment.
- Equipment capable of emitting X-rays must be electrically isolated when not in use and placed in secure storage.
- Damaged or misplaced equipment capable of emitting X-rays must be reported immediately to the teacher responsible for radiation safety.

- Disused equipment capable of emitting X-rays must be rendered inoperable and may then be disposed of as ordinary waste equipment.
- Records must be kept of each item of equipment capable of emitting ionising radiation that is held by a school. These records must include the date of acquisition, the name and address of the supplier, the equipment type and identification number.
- A record must be kept of the usage of each item of equipment capable of emitting ionising radiation. This record should include the date and time that the equipment was removed from its storage location, the time over which it was used and confirmation that the equipment was immediately returned to storage at the end of its use. The science teacher involved must sign each entry in the record.

アメリカ

SECONDARY SCIENCE SAFETY MANUAL: RED CLAY
CONSOLIDATED SCHOOL DISTRICT

APPENDIX A—LIST OF CHEMICALS THAT ARE NOT TO BE USED FOR SCIENCE
INSTRUCTION IN RED CLAY

Any radioisotopes

オーストラリア

密封線源

STANDARD OPERATING PROCEDURE: HANDLING SEALED
RADIOACTIVE SOURCES: ALPHA, BETA AND GAMMA

10. 法令

労働安全衛生法

電離則

(照射筒等)

第十条 事業者は、エックス線装置（エックス線を発生させる装置で、令別表第二第二号の装置以外のものをいう。以下同じ。）のうち令第十三条第三項第二十二号に掲げるエックス線装置（以下「特定エックス線装置」という。）を使用するときは、利用線錐すいの放射角がその使用の目的を達するために必要な角度を超えないようにするための照射筒又はしぼりを用いなければならない。ただし、照射筒又はしぼりを用いることにより特定エックス線装置の使用の目的が妨げられる場合は、この限りでない。

2 事業者は、前項の照射筒及びしぼりについては、厚生労働大臣が定める規格を具備するものとしなければならない。

このように特定エックス線装置の防護措置について規定されている。

（ろ過板）

第十一条 事業者は、特定エックス線装置を使用するときは、ろ過板を用いなければならない。ただし、作業の性質上軟線を利用しなければならない場合又は労働者が軟線を受けるおそれがない場合には、この限りでない。

特定エックス線装置ではないエックス線装置

蛍光分析エックス線装置は、これらの適用外とされている。

（放射線装置室）

第十五条 事業者は、次の装置又は機器（以下「放射線装置」という。）を設置するときは、専用の室（以下「放射線装置室」という。）を設け、その室内に設置しなければならない。ただし、その外側における外部放射線による一センチメートル線量当量率が二十マイクロシーベルト毎時を超えないように遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合その他放射線装置を放射線装置室内に設置することが、著しく、使用の目的を妨げ、若しくは作業の性質上困難である場合には、この限りでない。

一 エックス線装置

二 荷電粒子を加速する装置

三 エックス線管若しくはケノトロンのガス抜き又はエックス線の発生を伴うこれらの検査を行う装置

四 放射性物質を装備している機器

(標識の掲示)

第十四条 事業者は、次の表の上欄に掲げる装置又は機器については、その区分に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる事項を明記した標識を当該装置若しくは機器又はそれらの付近の見やすい場所に掲げなければならない。

装置又は機器

揭示事項

サイクロトロン、ベータトロンその他の荷電粒子を加速する装置の種類、放射線の種類及び最も大エネルギー

機器の種類、装備している放射性物質に含まれた放射性同位元素の種類及び数量(単位ベクレル)、

放射性物質を装備している機器(次の項に掲げるものを除く) 当該放射性物質を装備した年月日並びに所有者の氏名又は名称

放射性物質を装備している機器のうち放射性同位元素等

による放射線障害の防止に関する法律(昭和三十二年法律

第百六十七号)第十二条の五第二項に規定する表示付認証機器の種類並びに装備している機器又は同条第三項に規定する表示付特定認証機器(これ放射性物質に含まれた放射性同位元素の機器に使用する放射線源を交換し、又は洗浄するもの位元素の種類及び数量(単位ベクレル)を除く。)

(放射線装置室)

第十五条 事業者は、次の装置又は機器(以下「放射線装置」という。)を設置するときは、専用の室(以下「放射線装置室」という。)を設け、その室内に設置しなければならない。ただし、その外側における外部放射線による一センチメートル線量当量率が二十マイクロシーベルト毎時を超えないように遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合その他放射線装置を放射線装置室内に設置することが、著しく、使用の目的を妨げ、若しくは作業の性質上困難である場合には、この限りでない。

一 エックス線装置

二 荷電粒子を加速する装置

三 エックス線管若しくはケノトロンのガス抜き又はエックス線の発生を伴うこれらの検査を行う装置

四 放射性物質を装備している機器

2 事業者は、放射線装置室の入口に、その旨を明記した標識を掲げなければならない。

(立入禁止)

第十八条 事業者は、第十五条第一項ただし書の規定により、工業用等のエックス線装置又

は放射性物質を装備している機器を放射線装置室以外の場所で使用するときは、そのエックス線管の焦点又は放射線源及び被照射体から五メートル以内の場所（外部放射線による実効線量が一週間につき一ミリシーベルト以下の場所を除く。）に、労働者を立ち入らせてはならない。ただし、放射性物質を装備している機器の線源容器内に放射線源が確実に収納され、かつ、シャッターを有する線源容器にあつては当該シャッターが閉鎖されている場合において、線源容器から放射線源を取り出すための準備作業、線源容器の点検作業その他必要な作業を行うために立ち入るときは、この限りでない。

人事院規則 10—5（職員の放射線障害の防止）の運用について

第9条関係

- 1 第1項第2号の「専用の室内に設置することが著しく困難なエックス線装置」には、当該エックス線装置を専用の室内に設置した場合に、その使用目的が著しく妨げられることとなるものが含まれる。
- 2 第2項第2号の「エックス線装置の種類」としては、エックス線回折装置、蛍光エックス線分析装置等がある。
- 3 各省各庁の長は、職員の放射線障害の防止のため特に必要があると認める場合には、エックス線装置室の外でエックス線装置を操作することができる場所を設けるよう努めるものとする。
- 4 各省各庁の長は、電子顕微鏡等放射線を受けるおそれのある装置を設置する場合にも、放射線障害の防止のため必要があると認めるときには、専用の室を設け、当該装置をその室内に設置するように努めるものとする。

医療法

医療法施行規則

エックス線装置の届出

第二十四条の二 病院又は診療所に診療の用に供するエックス線装置（定格出力の管電圧（波高値とする。以下同じ。）が十キロボルト以上であり、かつ、その有するエネルギーが一メガ電子ボルト未満のものに限る。以下「エックス線装置」という。）を備えたときの法第十五条第三項の規定による届出は、十日以内に、次に掲げる事項を記載した届出書を提出することによって行うものとする。

特定 X 線装置

電離則では、10kV 以上は特定 X 線装置とされているようです。

二十二 波高値による定格管電圧が十キロボルト以上のエックス線装置(エックス線又はエックス線装置の研究又は教育のため、使用のつど組み立てるもの及び医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律(昭和三十五年法律第百四十五号)第二条第四項に規定する医療機器で、厚生労働大臣が定めるものを除く。)

労働安全衛生法施行令

電離放射線障害防止規則

電離規則では、軟線を利用する蛍光分析エックス線装置も規制対象であると考えられます。電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令の施行について、基発第1号、昭和64年1月1日

人事院規則

法令適用に関する検討例

橋本 明宏, 釣田 幸雄, 加藤 敏江, 柴田 理尋, 飯田 孝夫. 人事院規則に基づいたエックス線装置使用に関わる安全管理体制の確立⁵³

過去の経緯

小西恵美子, 吉澤康雄. 研究用、X線装置および電子顕微鏡の放射線管理-人事院規則改正を中心として⁵⁴

法令適用に関する事例

産総研

独自ルール適用例

放射線装置に関する申し合わせ(旧)

放射線装置に関する申し合わせ

労基と調整中としている例

法人化に伴う電子顕微鏡およびその使用者の管理の変更について

X線については既に改定済みだそうです。

規制改革

電離放射線障害防止規則におけるX線装置にかかる届出義務の簡素化⁵⁵

⁵³ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm2001/1/1/1_1_50/_article/-char/ja/

⁵⁴ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/17/4/17_4_495/_pdf

⁵⁵ <http://www8.cao.go.jp/kisei/siryo/030919/09-2.pdf>

使用目的によって放射線防護のルール適用のあり方が変わるとの考え方が示されている (IAEA などの文書では見つからない考え方)。

11. 理解を深めるための FAQ

放射線の基礎知識

放射線はどこまでまっすぐ飛んでいくのですか？

mfp (平均自由行程) はエネルギーによって異なります。

10 keV の光子の空気中の飛程を示します。

30 keV の光子の空気中の飛程を示します。

ピットホールとしての線量測定

クルックス管を用いた実験を理科の実験で行うことを考えています。念のために

放射線の線量率を計測したら検出できませんでした。安全と考えて良いですか？

低エネルギーの光子に対して十分な応答を持たずパルス場にも対応していない放射性計測器では、クルックス管周辺の放射線量を適切に測定できず、皮膚の真皮の基底細胞などへの付与エネルギーを適切に評価できず、それだけでは安全性が評価できません。

線量評価のピットホール

手荷物検査のエックス線量に関して、場の特性に応じた補正がなされていないと考えられる例が散見されています。

衣服の遮へい

クルックス管で用いられるような低エネルギー光子は衣服でどの程度遮へいされますか？

20keV の光子は水 1mm に相当する衣服で 30%低減されます。

ガラスの遮へい

クルックス管で用いられるような低エネルギー光子はガラスでどの程度遮へいされますか？

放電極距離 20mm, 放電出力(PW) 0 目盛 では、1/50 以下に減衰させることが可能。⁵⁶

⁵⁶ 放電極距離 20mm, 放電出力(PW) 0 目盛 では、1/50 以下に減衰させることが可能でした。

実際の水槽のガラスは厚さが 1.89mm と計算よりも薄いため、実際のピークエネルギーが 17keV 程度と低いことと、



クルックス管と霧箱

高校での霧箱製作ノウハウを中学教諭に一名古屋経済大学市邨高校
『クルックス管で発生するエックス線の飛跡も自作した霧箱で確認した』そうです。

電子の追跡

30 keV の光子を入射させた場合の電子の飛跡

線量限度との比較

被ばくが増えていって最初に超えるのは実効線量でしょうか？

前提（仮定）

低エネルギーの成分が激減していることが考えられます。

- ・皮膚の等価線量限度を実効線量限度の 10 倍に設定
- ・皮膚の等価線量は Hp(0.07)などで評価
- ・実効線量は Hp(10)などで評価

方法

空気カーマからのそれぞれの線量当量換算係数の比 (Hp(0.07)/Hp(10)) を比較

結果

- ・ 10 keV の光子：120 倍
- ・ 15 keV の光子：4 倍 ←『15keV では皮膚と実効では 1/4 ですが…』
- ・ 20 keV の光子：2 倍 ←『20keV あると約半分になります』

考察

- ・ 10 keV の光子だと皮膚の等価線量限度が律速
- ・ 20keV の光子だと実効線量が律速

結論

前提や比較の条件（ここでは吟味していない（例えば皮膚の吸収線量は姿勢に大きく依存する。線源近くに手を近づけると、手指の局所の皮膚の吸収線量と実効線量の乖離が大きくなる））に結果が依存する。

教育効果？

Q.クルックス管を用いた実験の教育効果はなく、その実験での放射線曝露は正当化できないのではないかと？

A.クルックス管を用いた実験の教育効果はあると考えられるのではないのでしょうか。

教育経済学

大阪大学 社会経済研究所 大竹文雄．教育の経済効果と貧困対策

小塩 隆士、妹尾 渉．日本の教育経済学：実証分析の展望と課題

平成 20 年度 教育改革の推進のための総合的調査研究．教育投資の費用対効果に関する基本的な考え方及び文献の収集・整理報告書

X 線回折装置

疑問表明例

mixi ユーザー 2011 年 02 月 13 日 23:38

リガク製 RINT-Ultima?の粉末 X 線回折装置について質問です。

この装置は、通常、測定の際に「Door Open」ボタンを押して”ピー、ピッ、ピッ、ピッ”と断続音になってから、装置の開閉を行います。

被爆（被ばく）防止のため X 線発生中に不注意で装置の扉が開いてしまった場合は X 線が落ちる仕組みになっていますが、もし、測定中に誤って通常と同様の操作で装置の開閉を行った場合、被爆防止機能は働くのでしょうか？

特定の装置の質問で申し訳ありませんが、分かる方がいましたら教えてください。
よろしくお願いします。

12. その他

放射線教育関係の質問主意書

放射線教育に関する質問主意書

放射線に関する副読本に関する質問主意書