

電子版:ISSN 1881-7297

日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ

Vol.13 No.2

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

活動報告書

2023 年 4 月

一般社団法人 日本保健物理学会

日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ ISSN 1881-7297 Vol.13, No.2,
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 活動報告書

2023年4月

発行者 日本保健物理学会企画委員会
発行所 一般社団法人 日本保健物理学会
〒105-0004 東京都港区新橋 3-7-2 四鹿ビル 3 階
日本保健物理学会事務局
TEL : 03-6205-4649
FAX : 03-6205-4659
E-mail : exec.off@jhps.or.jp
<http://www.jhps.or.jp/>

目 次

1. 名称	1
2. 設置趣意	1
3. 活動期間	1
4. 専門研究会員	1
5. 活動記録	2
5.1 専門研究会会合の開催	
5.2 その他（学会発表、招待講演等）	
6. 成果のまとめ	6
6.1 クルックス管と X 線	
6.2 誘導コイルの設定	
6.3 クルックス管の仕組み	
6.4 実効線量の評価	
6.5 実証調査結果	
6.6 論文等成果	
7. 活動報告書の概要	10
資料 1 第 1 回専門研究会会合議事録	11
資料 2 第 2 回専門研究会会合議事録	14
資料 3 第 3 回専門研究会会合議事録	17
資料 4 第 4 回専門研究会会合議事録	21

1. 名称

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

2. 設置趣意

学校教育現場で放射線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 10 分間で 30 mSv を超える高い強度の X 線が放出される。放射線業務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が検討されていないことは、放射線安全管理上大きな問題である。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。平成 29 年 3 月に公示された新しい中学学習指導要領に於いて新たにクルックス管を用いた実験が求められており、安全性の確認が急務である。

クルックス管から放出される X 線はエネルギーが低く評価が困難であったが、これまでの研究から 20 keV 前後のエネルギーであることが明らかになっている。このエネルギーでは人体中での半価層は 1 cm 程度であり、1 cm 線量当量は大幅な過大評価となる。また空間的にも不均一な照射場であるため、防護を行う上で必要な実効線量の評価を行うことがこれまで出来ていない。

さらに、現在の我が国の法体系では放射線業務従事者ではない一般公衆に対する被ばくの管理が行われておらず、一般公衆である教師及び生徒に対する線量限度などを自主的に設定する必要がある。

すでにこれまでに線量測定やエネルギースペクトル評価などの基礎的な研究は概ね完了しているため、得られたデータからの適切な防護量の評価と、国内外の規制、管理状況を調査し自主的な管理基準を定めることを目標として、専門研究会の提案を行うものである。

3. 活動期間

2019 年度（平成 31 年度）～2020 年度（令和 2 年度）（2 年間）

4. 専門研究会員

委員（主査）	秋吉 優史	大阪府立大学（当時。現 大阪公立大学）
委員（幹事）	藤淵 俊王	九州大学
委員	橋本 周	日本原子力研究開発機構
委員	松田 尚樹	長崎大学
委員	榎本 敦	東京大学
委員	大谷 浩樹	帝京大学
委員	古田 琢哉	日本原子力研究開発機構
委員	伊藤 照生	東邦大学（当時。現 国際医療福祉大学）

5. 活動記録

5.1 専門研究会会合の開催

4 回の専門研究会会合を開催し、調査結果の報告及び議論を実施した。なお、2020 年度の 1 回は、Web によって実施した。

「第 1 回会合」

2019 年 5 月 17 日（金）10:00～12:00 （於東京都千代田区内神田 貸会議室）

「第 2 回会合」

2019 年 6 月 28 日（金）16:30～18:30 （於東大病院 管理研究棟会議室）

「第 3 回会合」

2019 年 10 月 21 日（月）17:00～19:00 （於東京大学医学部セミナー室）

「第 4 回会合」

2020 年 10 月 6 日（火）17:00～18:30 （Web 開催）

5.2 その他（学会発表、招待講演等）

■ 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」

(1) 「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, 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

(2) 中学校理科での放射線教育の現状, 森山 正樹, 秋吉 優史, 掛布 智久, 川島 紀子, 佐藤 深, 宮川 俊晴

(3) 第二期実態調査による暫定ガイドラインの実効性の検証, 伊藤 照生, 秋吉 優史, 小鍛冶 優, 佐藤 深, 青木久美子, 奈良 大, 松野 聖史, 掛布 智久, 宮川 俊晴

(4) 箔検電器を用いたクルックス管からの漏洩 X 線の測定を試み, 緒方 良至, 森 千鶴夫, 秋吉 優史, 臼井 俊哉

(5) 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, 山口 一郎, 秋吉 優史

(6) シミュレーションによる線量評価の試み, 藤淵 俊王, 秋吉 優史, 松本 亮, 山口 一郎, 古田 琢哉

■ 日本保健物理学会 企画シンポジウム（2021 年 1 月 26 日～28 日、Web 開催）

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

・背景, 測定技術, 秋吉 優史

・実態調査結果, 運用上の注意点, 伊藤 照生, 秋吉 優史

・教育現場で測定可能なクルックス管からの漏洩 X 線線量率の測定法, 森 千鶴夫, 秋吉 優史

■ 日本保健物理学会企画シンポジウム（On Line, 2021 年 6 月 21-22 日）

・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と今後, 秋吉 優史

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

・ Measurements of low energy X-rays radiated from Crookes tubes in education field by using radiophotoluminescence dosimeter, Masafumi Akiyoshi, Do Duy Khiem, Ryoichi Taniguchi, Hiroto Matsuura,

・ Transmission properties of X-ray radiated from Crookes tube used in Teaching of Science through shielding materials, Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Masafumi Akiyoshi,

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

・ Spectrum estimation of low-energy X-rays radiated from Crookes tube using Peltie type cloud chamber, Masafumi Akiyoshi, Kenji Yamamoto

・ Measurement of Dose Distribution from a Crookes Tube Using TL Dosimeter, Do Duy Khiem, Masaya Yashiki, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi

■ Joint JHPS-SRP-KARP Workshop of Young Generation Network “The future of radiation protection profession” (Tohoku Univ., Dec. 4, 2019)

・ How to manage radiation safety from the Crookes tube used in the teaching of science?, Do Duy Khiem, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi

■ 日本原子力学会 2019年秋の大会 (2019年9月11-13日、富山大学)

・ 高い漏洩線量を示すクルックス管に対する放射線安全管理, 秋吉 優史

■ 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)、

・ 教育現場への放射線安全周知活動報告, 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

■ 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)

・ クルックス管からの放射線安全取扱い, 秋吉 優史

■ 放射線教育フォーラム愛知・岐阜・三重地区新年勉強会 (2020年1月4日、名古屋大学)

・ クルックス管プロジェクトにおける暫定ガイドライン実効性の検証結果報告, 秋吉 優史

■ 日本保健物理学会大会 (2020年6月29-30日、WEB開催)

・ 暫定ガイドラインによるクルックス管からの漏洩X線量抑制の検証, 秋吉 優史, Do Duy Khiem, 安藤 太一, 松本 亮, 宮川 俊晴, 掛布 智久, 岡本 泰弘, 伊藤 照生, 山口 一郎

・ コンピューターシミュレーションを用いた教育用クルックス管より漏洩する X 線の線量評価, 松本 亮, 秋吉 優史, 藤淵俊王, 古田琢也

■ 保物セミナー (2020年12月1日~20日、Web開催)

テーマ2 保物関係: (2)「教育現場で測定可能なクルックス管からの漏洩X線量スクリーニング手法の開発」, 森 千鶴夫, 緒方 良至, 掛布 智久, 秋吉 優史

■ 日本放射線安全管理学会 第19回学術大会 (2020年12月9日~11日、Web開催)

- ・クルックス管プロジェクトの着地点, 秋吉 優史
- ・クルックス管から漏洩する X 線の線量のスクリーニング手法の開発, 松本 亮、秋吉 優史、Do Duy Khiem、掛布 智久
- ・Radiation safety of devices generating x-rays in educational settings applying IAEA's DS470, 山口 一郎、秋吉 優史

----- 以下は秋吉単名での招待講演・依頼講演 -----

- 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)
 - ・新学習指導要領におけるクルックス管を用いた放射線教育と安全管理
- 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)
 - ・低エネルギーX線の放射線安全管理-線量測定と線量拘束値-
- 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)
 - ・教育現場における放射線安全管理体制の確立に向けた活動の紹介
- 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)
 - ・中学新学習指導要領における放射線教育～クルックス管の安全な活用～
- 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)
 - ・クルックス管を用いた放射線教育と安全管理
- 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)
 - ・クルックス管の安全取扱いと、放射線教育コンテンツ
- NPO 法人市民科学研究室・低線量被曝研究会 主催 市民科学講座 D コース 「放射線被曝とその周辺」(市民科学研究室事務所 (文京区湯島)、2019年10月20日)
 - ・中学校や高校の理科の実験と放射線安全～クルックス管の利用で問われること
- 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)
 - ・クルックス管を用いた教育における放射線安全管理
- 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)
 - ・クルックス管プロジェクト第二期実態調査による暫定ガイドライン実効性の検証結果報告 ～生徒、教員の安全確保に向けて～
- ケニス会 (2020年1月11日、ケニス大阪本社)
 - ・クルックス管を含めた放射線教育コンテンツの紹介
- 福井理科教育研究会 (2020年7月22日、WEB開催)
 - ・クルックス管の安全な取扱いについて ～先生方へのアドバイス～

- 第37回みんなのくらしと放射線展オンライン講演会（2020年11月18日、Web開催）
 - ・ X線の発見とクルックス管
- 放射線教育フォーラム 勉強会（2020年11月29日、12月10日、Web開催）
 - ・ クルックス管プロジェクトの着地点 ～新学習指導要領全面実施を前に～
- 保物セミナー（2020年12月1日～20日、Web開催）
 - ・ テーマ2 保物関係: 教育現場に於けるクルックス管から漏洩する X線に対する安全管理について
- 福井県高等学校教科教育研究会 理科部会 物理化学分科会 嶺南地区 学習会（2021年2月16日、Web開催）
 - ・ 教育現場に於ける放射線安全管理とコロナウイルスへの工学的対抗策
- 第3回「中学理科で使える高校理科の技術」講座（2021年3月29日、名古屋経済大学市邨中学校・高等学校）
 - ・ 中学教育現場に於けるクルックス管の放射線安全管理と発展的学習

6. 成果のまとめ

6.1 クルックス管と X 線

クルックス管は、2020 年度までの中学理科学習指導要領に於いて、電流は電子が流れているということを理解するために用いられていたが、19 世紀末にレントゲンによる X 線の発見、トムソンによる電子の発見の際などに用いられ、その後の科学の発展に極めて重要な役割を果たした装置である。レントゲンが発見したように、高電圧で加速された電子がガラス管に衝突すると X 線が発生するため、不要な被ばくを抑える必要がある。これまでに確認された最も高い線量を漏洩する装置では、15 cm の距離における 10 分間の実効線量が 3.3 mSv という高い線量を示した（詳細な実効線量の評価は現在検討中で、最も線量の高い点において測定した 70 μ m 線量当量の 1/10 として保守的に評価した値）。放射線が漏洩していることを知らずに近距離で長時間観察を行うなど不注意な取扱いを行うと、大きな線量を被ばくする恐れがあるため、以下の注意点を守って実演を行う必要がある。

クルックス管実演時の注意点

- ・放電極を必ず使用し、放電極距離は 20 mm 以下とする。
- ・放電極表面は清浄にした上で、円板電極側を一極にする
- ・誘導コイルの放電出力は、電子線の観察ができる範囲で最低に設定する。
- ・できる限り距離を取る。生徒への距離は 1 m 以上とする。
- ・演示時間は年間 10 分程度に抑える。

6.2 誘導コイルの設定

クルックス管への高電圧の印加には一般的に誘導コイルが用いられるが、その設定条件によって漏洩する放射線量が大きく異なるため、この誘導コイルの設定が非常に重要である。高電圧の出力を取り出す端子には、放電極が取り付けられている。印加される電圧が放電極間で空中放電を起こす電圧（電極間距離 1 mm で約 1 kV 程度）を超えると、雷のような火花放電を起こして空中に電流が流れ、並列に繋がれているクルックス管にそれ以上の電圧が印加されないようにする「安全弁」の働きをする。また、どの程度の距離で放電が起こるかで、おおよその印加電圧を知る事が出来る。ダイヤルによって放電出力を上下出来る装置もあり、放電が起こる電圧以下での電圧（及び電流）をコントロール出来るが、観察を行うのに必要最小限にとどめる必要がある。放電出力ダイヤルは絶対的な電圧をコントロール出来るわけではないという点に注意を要する。後述するように、使用するクルックス管によっては電流が流れにくく、高い電圧が意図せず印加される場合がある。さらに、クルックス管を繋いでいるケーブルが外れた場合に内部に高い電圧が印加され、焼損するなどの危険があるため、安全装置として放電極を必ず使用する必要がある。そして、電圧が上がると漏洩する X 線量が急激に上昇するため放電極間の距離は 20 mm 以内とする。出力端子に取りつける放電用の電極には、針状のものと円板状のものが対になっており、

円板電極を一極にするとはっきりとした火花放電が見られる。放電極は最大電圧を抑制する安全装置であるので、放電が起こりやすくするために、表面のサビなどは取り除いて清浄にした上で円板電極を一極にする。

6.3 クルックス管の仕組み

クルックス管の電子源は冷陰極と呼ばれており、フィラメントなどが無くても高い電圧を印加するだけで電子線が発生する。管の内部は真空に引かれているがそれほど高い真空度では無く、若干の気体が残存している。自然放射線などによって電離した陽イオンは、陰極に向かって加速されてぶつかり、二次電子を放出する。放出された電子は逆に陰極から離れる方向に加速され、ガラス管にぶつかって制動放射 X 線を放出する。ほとんどの X 線はガラス管によって遮蔽されているが、エネルギーの高い一部の X 線はガラス管を透過して外部に漏洩する。

クルックス管内の気体がガラス管壁に吸着するなどして少なくなると、冷陰極に於いて電子が発生しにくくなるため電流を流すために誘導コイルによって高い電圧が意図せず印加され、加速エネルギーが大きくなり発生する X 線のエネルギーが高くなる。クルックス管からの X 線程度のエネルギー領域では、少しエネルギーが高くなるだけで X 線の透過率が急激に高くなる点に注意を要する (15 keV と 30 keV では透過率が 100 倍異なる)。そのため、電流は小さくても高い線量の X 線が漏洩することになり、危険である。これを防ぐために、放電極の距離を 20 mm 以内として、20 keV 以上の電圧がクルックス管にかからないように注意する必要がある。

印加電圧パルスのヒストグラムと、漏洩 X 線のスペクトル、漏洩線量の関係などは、Radiation safety management 誌に於いて論文として報告され、著者の Do Duy Khiem 氏は 2020 年度に日本放射線安全管理学会の研究奨励賞を受賞している。国際的にも、IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Radiation Safety in the Use of Sources in Research and Education, Draft safety guide No.DS470 の、ANNEX I USE OF RADIATION SOURCES IN SECONDARY SCHOOLS においてクルックス管が言及されており、当該の論文が引用されている。

空中放電が激しく起こるにもかかわらず、クルックス管に流れる電流が小さく電子線の観察がしにくい装置は、寿命を迎えた物と判断し買い換えを行うか、十分な遮蔽を行い線量の確認を行うなどの追加の安全措置が必要である。しかし、クルックス管からの X 線はエネルギーが極めて低く、パルス状に放出されているため、一般に入手できるサーベイメーターでは測定は非常に困難であり、遮蔽を行った後の漏洩線量の確認もまた困難である。5 kV 以下の低電圧で動作する製品が市販されており、内部で X 線が発生しても透過力が極めて低く外部に漏洩しない固有の安全性をもつ (IAEA GSR Part3 での、発生装置の免除要件を満たす) ため、このような製品への買い換えを推奨する。

6.4 実効線量の評価

現在のところ空間的に一様ではないクルックス管からの漏洩 X 線に対して、生徒や先生が受ける全身の被ばく量を評価する実効線量評価手順は確立しておらず、本専門研究会に於いて PHITS コードを用いたシミュレーションにより評価を検討したが、COVID-19 による混乱もあり十分な成果が得られていない。このため、暫定的に保守的に見積って最も線量が高い中心点で測定された線量が均一に照射される整列拡張場として、観察する生徒はクルックス管に正対しているとした場合で実効線量評価を行った。1 cm 線量当量から実効線量への換算が ICRP Pub116 Fig.5.2 により与えられており、20 keV では実効線量は 1 cm 線量当量の約 1/5 である。さらに水中 1 cm で約半分に減衰することから、1 cm 線量当量は 70 μm 線量当量の約半分となり、保守的に評価した実効線量は実測した 70 μm 線量当量の約 1/10 となる。

6.5 実証調査結果

以上の内容を検討し、具体的な運用条件として冒頭の「クルックス管演示時の注意点」をとりまとめて、*Journal of Radiation Protection and Research* 誌から出版されている。また、この注意点を遵守し、追加の遮蔽は行わない条件で安全が確保できるかの実証調査を 2019 年度に実施した。全国の中学、高校の教育現場に於いて測定を行った 191 本の装置のうち、187 本の装置については 1 m 距離、10 分間の実効線量が 10 μSv 以下と評価されており、ICRP Pub-64/IAEA BSS で示されている国際的な免除レベルである 10 μSv のオーダー以下に抑制されていることが確認された。最も線量の高い装置でも 40 μSv 程度であり、ICRP Pub36「科学の授業に於ける電離放射線に対する防護」では、年間の線量限度を 500 μSv (古い文献であるため実効線量当量での値である)、個々の授業では 50 μSv としており、10 分間の実演時間は教師が年間に複数回実演を行う場合の合計時間として設定しているため、この指標を十分下回っている。

クルックス管は本来的に理科の授業において電子線を観察するための装置であり、線源を見つめる必要があるため、当初眼の水晶体への影響が懸念されたが、実験上の注意点を遵守することにより上記のように国際的な免除レベルにまで低減されることが可能であるため、眼の水晶体の線量限度に関する法令改正にかかわらず、教員及び生徒の眼の水晶体の等価線量については十分に低いものと考えられ、眼の水晶体の線量モニタリングの必要はないと考えられる。なお、この検討結果は、本学会放射線防護標準化委員会において策定された、「眼の水晶体線量モニタリングガイドライン」において、例題 12(62 ページ目)として取り上げられている。

各学校で使用している装置からの線量を直接確認したい場合、箔検電器を用いた測定や、簡易型の線量計 Kind-mini の無料貸出しサービスを用いた測定によりスクリーニングを行う事が検討されており、箔検電器による測定は査読つき論文として *Radioisotope* 誌において報告されている。また、大阪府大に導入した microSTAR 線量計システムにより、正確な線量評価体制を構築中である。

2021 年度から全面実施となった新学習指導要領に基づいた教科書に対する教師向けの指

導書が 2021 年春に販売となっているが、日本で中学理科の教科書を出版している 5 社のうち 4 社に於いて、実験上の注意点として特集記事を執筆し、掲載頂いている。

6.6 論文等成果

(査読つき論文)

・ Radiation Safety Exploration Using RPL Dosimeter for Crookes Tubes in Junior and Senior High School in Japan, Masafumi Akiyoshi, Duy Khiem Do, Ichiro Yamaguchi, Tomohisa Kakefu, Toshiharu Miyakawa, Journal of Radiation Protection and Research, 46 (2021) 106-111.

・ Investigation of Low-energy X-ray Radiated from the Crookes Tube Used in Radiological Education, Do Duy KHIEM, Hirokazu ANDO, Hiroto MATSUURA, Masafumi AKIYOSHI, Radiation safety management, 18 (2019) 9-15.

・ 箔検電器によるクルックス管からの X 線の測定, 森 千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 臼井俊哉, 村上浩介, 羽澄大介, 中村嘉行, 渡辺賢一、瓜谷 章、神谷 均, 宮川俊晴, 田中隆一, 掛布智久, Radioisotopes, 69 (2020) 1-12.

・ Measurement of dose distribution from a Crookes tube using thermoluminescent dosimeter, Duy Khiem DO, Hiroto MATSUURA, Masafumi AKIYOSHI, Radiation Measurements, 134 (2020) 106312.

(中学理科教科書教師向け指導書)

・ 巻頭特集 クルックス管の安全管理, 秋吉 優史, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 未来へひろがるサイエンス 別冊安全ハンドブック, 新興出版社啓林館 (2021) 8-11.

・ 参考 クルックス管の安全な取り扱いについて, 秋吉 優史, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 理科の世界 2 指導・解説編, 大日本図書 (2021) 342-343.

・ クルックス管の安全な取り扱いについて, 秋吉 優史, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 新しい科学 中 2, 東京書籍 (2021) 454-457.

・ クルックス管を用いた実験の注意点, 秋吉 優史, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 中学理科 2 学習指導編 (学習評価／観察・実験), 教育出版 (2021) 150-151.

(解説、総論)

・ 学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用, 秋吉 優史, 放射線教育, 23 (2019) 23-32.

・ 箔検電器によるクルックス管からの X 線線量率の測定マニュアル, 森 千鶴夫、緒方良至、秋吉優史, 放射線教育, 23 (2019) 33-39.

・ 低エネルギー X 線の放射線安全管理-線量測定と線量拘束値-, 秋吉 優史, 日本放射線安全管理学会誌, 18 (2019) 46-48.

・ クルックス管プロジェクト第二期実態調査による暫定ガイドライン実効性の検証結果報

告 ～生徒、教員の安全確保に向けて～, 秋吉 優史, 放射線教育フォーラムニュースレター, No.76, 2020 年 3 月, p4-5.

・クルックス管からの低エネルギーX線に対する安全管理の必要性, 秋吉 優史, 放計協ニュース、放射線計測協会、No. 65, p2-5, 2020 年 4 月.

7. 活動報告書の概要

初年度は、専門研究会を3回（第1回 2019年5月17日、第2回 2019年6月28日、第3回 2019年10月21日）行い、2019年12月5～7日の合同大会期間中に関係者による打合せを複数回行った。第1回専門研究会では、全員の自己紹介、専門分野の確認と、研究会趣旨、現状の説明と研究会で達成すべきタスクの確認を秋吉が行い、各委員の役割分担確認を行った。第2回専門研究会では、測定関連での現状の説明を秋吉が、PHITSコードを用いた防護量計算に関する解説を古田委員が行い、電離則など法令適用に関する検討、実態調査プロトコルの決定など、今後の方針検討を行った。第3回専門研究会では第二期実態測定8月期結果説明とシミュレーションの進捗状況報告を秋吉が行い、JRSM-JHPS合同大会での企画セッションについて担当を決定した上で、2019年12月5日に6名での発表を行った。教育現場に於ける漏洩線量の実態調査は、全国57校の中学、高校において暫定ガイドライン準拠で191本、準拠以前での設定で62本と大規模な調査を行い、191本中187本の装置については距離1m、10分間の実効線量が国際的な免除レベルである10 μ Sv以下に抑制されていることが確認された。

最終年度は、専門研究会を1回（第4回 2020年10月6日）オンラインで行った。また、2021年1月28日にオンラインで実施された企画シンポジウムでの講演、2020年12月1日～20日にWeb公開された保物セミナーでの講演を行った。残念ながらコロナ禍での教育現場の混乱のため、追加の実態調査を実施することが出来ず、国際的な免除レベル（10 μ Sv/年）を超える線量が出る恐れのある装置は何故高く出てしまうのか、と言う検証（線量と電流や電圧との関係）ができていない。このため、Kind-miniの貸出しや箔検電器などによるスクリーニングと組み合わせることで、安全を確保するという方針で合意を得た。箔検電器による測定については放射線教育誌とRadioisotopes誌に2本の論文として報告が行われている。また測定法や全体的な成果についても放射線教育誌とRadiation Safety Management誌（日本放射線安全管理学会に於いて研究奨励賞を受賞。IAEAのDS470でも参照）で報告を行い、Journal of Radiation Protection and Research 投稿を行い、受理されている。また、中学理科教科書を出版する5社のうち4社に対してクルックス管の安全な取り扱いについての特集記事を寄稿し、残る一社でも注意点を掲載して貰う予定である。今後学会標準化に向けて専門研究会終了後もML等により情報交換を続けていく。

「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」
令和元年度第一回会合 議事録

○日時： 令和元年 5 月 17 日（金） 10:00～12:00

○場所： 東京都千代田区内神田 3-16-10 金剛ビル 4 F 貸し会議室

○出席者

委員

秋吉 優史（大阪府立大学 放射線研究センター）

伊藤 照生（東邦大学医療センター佐倉病院 中央放射線部）

榎本 敦（東京大学 医学系研究科 疾患生命工学センター 放射線分子医学部門）

橋本 周（JAEA 大洗研究所放射線管理部 環境監視線量計測課）

スカイプ参加委員

大谷 浩樹（帝京大学 医療技術学部 診療放射線学科）

藤淵 俊王（九州大学 医学研究院保健学部門）

古田 琢哉（JAEA 原子力基礎工学研究センター放射線挙動解析グループ）

オブザーバー

加藤 昌弘（産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 放射線標準研究 G）

山口 一郎（国立保健医療科学院 生活環境研究部）

増子 寛（島津理化 開発課）

スカイプ参加オブザーバー

松浦 寛人（大阪府立大学 放射線研究センター）

議題

・ 全員の自己紹介を行い、専門分野の確認を行った。

・ 研究会趣旨、現状の説明と研究会で達成すべきタスクの確認（秋吉）

30 分程度のプレゼンによる現状説明と問題点の確認を行った。

・ 役割分担確認

本専門研究会では防護量評価と、線量拘束値、X線装置の法令適用について検討を行う。

防護量評価については PHITS コード開発グループの古田委員を中心として進めていく。

計算にどのような情報が必要か提示頂き、クルックス管プロジェクト Task1, 2 で実際の測定値を収集して計算に組み込んでいく。

線量拘束値の議論と、X線装置の法令適用については関連している内容であり、山口先生が整理を試みた資料などを元に、検討を行う。各委員は関連する様々な事例について情報収集を行い、報告として取りまとめて研究会で紹介を行い各委員が情報共有を行う。

・次回研究会日程調整

その場での調整には至らなかったため、後日メールなどで日程調整を行う。

参考（全て東京での開催）

6/13 水晶体ガイドライン作成検討会（13:30-16:00）

6/16 放射線教育フォーラム勉強会（13:00-17:00）

6/20-21 保物の企画シンポジウム（17:00 まで）

6/27-28 JRSM 6 月シンポジウム（15:30 まで）

7/5 アイソトープ・放射線研究会 公開パネル討論（クルックス管関係は 12:00 まで）

・次回研究会での報告者、もしくは外部からの演者の検討

山口先生（オブザーバー参加であるが、講演者として招聘する）に現状の法令解釈と、海外の規制事例の紹介をして頂く。

古田委員に、PHITS コードでの低エネルギーX線の防護量計算をどのようにして実装するのか、これまでの研究事例などを交えて説明して頂く。

・予算の使途確認

年間 10 万円の予算が保健物理学会から付いており、研究会自体の活動に必要な経費を拠出する。今回の会議費として以下を計上する。

Amazon Skype スピーカーフォン、ヘッドセットマイク ￥5,879

Spacee 神田近傍会議室予約 5/17 9:30-13:00 ￥2,990

・方向性について

X線装置に該当し管理が必要であるかなど、法令上の検討、今後の規制への反映など必要な部分が多々あるが、まずは今現在全く管理されていない現場の先生、生徒が受ける線量を把握し、必要があれば線量を低減する策を講じることが急務であり、現場からの要望が表出されないままで規制整備を目指すことが難しいことから自主的な管理ガイドラインという形での標準化を行う。

金銭的な余裕があれば低電圧タイプの装置に買い換えるのがベストであり、理振の制度（半額が国、半額が地方自治体）やふるさと納税制度などの活用を呼びかける。一方で既に相当線量を低減させることが可能な暫定ガイドラインや、更なる低減が可能なガラスの水槽による遮蔽などが提案されており、これらの有効性や実現可能性を実態調査や意識調査により確認していく。これらの調査については専門研究会そのものではなくクルックス管プロジェクト Task1,2 において実施し、その成果を研究会にフィードバックする。

リスク管理に関して社会的な課題を扱うので学校現場だけではなく市民団体など関心を持っている方々からの意見を取り入れていく必要があるが、どのような形で意見を取り入

れていくのかを検討していく。

また、将来的には IRPA などに協力を得て、国際的に協調した取り組みにするため、情報収集を行っていく。本年度の ICDA-3, SSD-19 などには複数の委員が参加し、秋吉はクルックス管に関する発表を行う事で問題の周知を図る。IRPA-15 が 2020/5/11-15 に韓国で開催されるため、こちらへの参加についても検討を行う。

「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」
令和元年度第二回会合 議事録

○日時： 令和元年 6 月 28 日（金） 16:30～18:30

○場所： 東大病院・管理研究棟 2 階第 3 会議室

○出席者

委員

秋吉 優史（大阪府立大学 放射線研究センター）

伊藤 照生（東邦大学医療センター佐倉病院 中央放射線部）

榎本 敦（東京大学 医学系研究科 疾患生命工学センター 放射線分子医学部門）

古田 琢哉（JAEA 原子力基礎工学研究センター放射線挙動解析グループ）

スカイプ参加委員

大谷 浩樹（帝京大学 医療技術学部 診療放射線学科）

オブザーバー

山口 一郎（国立保健医療科学院 生活環境研究部）

スカイプ参加オブザーバー

加藤 昌弘（産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 放射線標準研究 G）

松浦 寛人（大阪府立大学 放射線研究センター）

松本 亮（大阪府立大学 量子放射線系専攻 M1）

議題

- ・測定関連での現状の説明（秋吉）

JRSM 6 月シンポジウムでの講演内容を元に、新しく検討した部分について紹介した。特に、一般公衆に対する規制と免除についてと、電離則における除外規定に関する検討結果について説明を行った。一般の電子線を観察する目的でのクルックス管の利用と、X 線を利用した実験を行う場合では、考え方を分ける必要があり、後者ではより注意深い管理が必要となる可能性がある。現時点では、ICRP や NCRP が免除レベルもしくは無視可能個人線量としている実効線量 $10 \mu\text{Sv/y}$ を目標として、暫定ガイドラインの下でこの線量を達成できるかの検証を行っていく。原子力災害対策特別措置法における現存被ばく状況の規制については線量限度ではなく参考レベルであるというコメントがあった。線量限度、線量拘束値、参考レベル、管理目標値といった用語について、今後整理を行う。

測定に用いている電離箱（ICS-1323）の低エネルギーでの校正については、低エネルギーの ISO 4037-1 に規定された N シリーズ（Narrow spectrum series）標準場について、加藤氏から説明があった。

- ・PHITS コードを用いた防護量計算に関する解説（古田）

PHITS コードによるモンテカルロ計算の基礎的な説明を行った。当研究会に於いては、どのように被照射体の体系を構築するのか、放射線をどのように与えるのかと言った点が問題となる。計算は大きく二つに分けて行い、加速された電子がガラス管に衝突し、X線が発生する過程と、発生したX線が人体に吸収される課程の計算である。

前者は、何点か代表的な条件での計算を行い実測値と比較することで計算体系の妥当性を確認し、印加電圧などの条件を振っていくことでどのように漏洩線量に変化するのか、またどの方向にどの程度漏洩するのかを評価する。

後者は、実測値を元にある線量（70 μm 線量当量で評価）が漏洩した場合、任意の距離にいる人間が被ばくする実効線量を計算により求める。この計算には臓器ごとの吸収線量を積算する必要があり、ファントムモデルが必要であるが、古田委員から韓国の Hanyang 大学から子供のモデルに関する協力要請が可能である旨紹介があった。大人の標準ファントムとの比較を行う事で、どの程度の違いが出るか検証を行う事が出来る。また、水晶体に関しても模擬体系を用意して水晶体の吸収線量を評価する旨説明があった。

空気カーマ、70 μm 線量当量、1 cm 線量当量、実効線量はそれぞれ既存のテーブルなどを用いて換算が可能であるが、10keV 以下については存在せず、10keV と 20keV の間が無く大きな違いがあることから、もう少し細かく計算し直す必要がある。また、後半の実効線量の計算はフォトン数に基づいて行われるため、複数のエネルギーの光子の寄与を一括りにして測定する実用量とスペクトルの情報から、いかにして計算に必要な情報にコンバートするかや計算の妥当性の検証に関する検討が必要。

水晶体に対する線量限度の引き下げ（職業人に対する）と、低エネルギーであることから水晶体のみ注意すればよいのではというコメントがあったが、どのレベルまで線量を落とす必要があるかという目標値との比で重要性が変わってくる。具体的には実効線量を 10 $\mu\text{Sv/y}$ にまで落とすことを目標としている一方で水晶体についての線量限度は従事者では 20mSv/y（ソウル声明）、一般公衆に対しても 15mSv/y（ICRP 2007 年勧告）となっており、この値であればよほど近くで長時間観察を行わない限り全く心配はない。

なお、古田氏が講演を始めた時点でスクイップの設定を触ってしまったらしくミュートとなり全く音声聞こえなかったことが講演後に判明した。遠隔からの声を反映するために、次回から携帯電話や、プレゼンに用いるのは別の端末を用いてチャットを行うなどの別の手段で連絡を取れるようにしておく必要がある。ミュートを解除した後は問題無く聞こえていたようである。

・電離則など法令適用に関する検討（山口）

山口先生に作成頂いた資料は、今後標準化を行う際に Q&A 等の資料として活用していくことを検討する。また、紹介頂いた「除外と免除」概論-概念及び議論の現況-、山本英明、保健物理, 38 (2003) 318-326. は非常に良くまとまっており、参考となった。また、X線装置の検討を行う上で、4月の保物学会誌閲覧のトップ 5 となった、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-, 小西 恵美子, 吉澤 康雄, 17 (1982) 495-504. が注目されていることから、X線装置の管理について関心が高いことが伺われる。同日行われていた JRS M 6 月シンポジウムにおいて本年度事業計画案に於いて法令検討委員会が立ち上がる旨アナウンスがあったため、今後協力を要請していく。

・実態調査プロトコルの決定など、今後の方針検討

実態調査については、これまで授業で実験を行ってきた設定での測定を行ってもらうかどうかについて検討した。防護を行う立場からは、暫定ガイドラインの実効性を確認する上でガイドラインに基づく設定の見直し前後の情報が知りたいが、現場の先生方にとっては改善前の情報を知る必要があるのか、むしろ高い値が出ていたことが知られると先生個人が責任を取る事態になるのではないかという懸念もあり、(本来は事実関係を明らかにすべきであるが学校現場からの賛成を得ることが難しいために) 測定を希望する先生が居ればガラスバッジは提供し、値についてはどの学校の装置のものかが分からない形にして公表する。実施に当たっては国立保健医療科学院研究倫理審査委員会の承認を得てからとする。

今回の測定は1本のクルックス管に対して20cm距離で10分間の測定1回のみとする。目標とする実効線量で $10\mu\text{Sv/y}$ が担保できるかどうかは、20cmであれば25倍、さらに $70\mu\text{m}$ 線量当量であれば10倍程度の大きさとなるため、測定限界が $50\mu\text{Sv}$ のガラスバッジであっても十分な検出力を持つと言える。バックグラウンドはSnフィルターの素子による評価で十分であることが前回調査で判明している。

今回の調査は夏休み期間だけに限った物ではないが、教員が作業できるのは主に夏休み期間に限られるため、出来る限り早くアナウンスを行っていく。その結果を待って、9月頃に次回の研究会を開催する。

また、国際的な規制情勢に詳しい方に講演を依頼することを検討する。9月にはSSD-19が広島で開催されるため、その機会に海外の関係者などともコンタクトを行っていく。

「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」
令和元年度第三回会合 議事録

○日時： 令和元年 10 月 21 日（月） 17:00～19:00

○場所： 東大医学部セミナー室

○出席者

委員

秋吉 優史（大阪府立大学 放射線研究センター）

榎本 敦（東京大学 医学系研究科 疾患生命工学センター 放射線分子医学部門）

古田 琢哉（JAEA 原子力基礎工学研究センター放射線挙動解析グループ）

オブザーバー

山口 一郎（国立保健医療科学院 生活環境研究部）

古田 雅一（大阪府立大学 放射線研究センター）

スカイプ参加オブザーバー

加藤 昌弘（産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 放射線標準研究 G）

松本 亮（大阪府立大学 量子放射線系専攻 M1）

議題

・第二期実態測定 8 月期結果説明（秋吉）

2019 年の第二期実態調査の 8 月分測定結果の報告と、それに対する議論を行った。

結果の報告に先立って誘導コイルの説明を改めて行った。今回の実態調査を行う上で、一次コイル側の発振をブザー回路ではなく半導体回路で行っている製品があり、その中には発信周期の調整が可能な物があることを説明した。また、印加電圧を分配器とデジタルオシロスコープで測定し、ピークサーチを行う事で印加される一つ一つのピークについて電圧評価を行うことで得られたヒストグラムのピーク電圧と、CZT 検出器により測定された漏洩 X 線のスペクトルのピークエネルギーは極めて良く一致しており、また印加された最大電圧は放電極の間隔と良く対応していた。ガラスバッジ FX 型の測定では実効エネルギーも得ることが出来るため、それぞれの装置で印加されていた電圧を知ることが可能である。

8 月期は、27 校での 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。そのうち一本で、1m 位置で 10 分間観察を行った場合、ICRP Pub-64 や IAEA IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3 など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（測定は Hp(0.07)で行っており、実効線量への換算は現在詳細に検討中であるが、暫定的に 20keV での 1/10 という値を使用している）。これは半導体式の発振を行う誘導コイルに於いて、発振周期を最大としていた

ためであると考えられる。それ以外の装置では、69本に於いて20cm距離10分の測定で、Hp(0.07)が検出限界である $50\mu\text{Sv}$ 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位置では $2\mu\text{Sv}$ であり、全体のヒストグラムも2018年度の第1回調査での暫定ガイドライン適用以前の調査結果よりも低線量側にシフトしていることから暫定ガイドラインの有効性が一定程度確認された。その一方で、電流や電圧との相関は明確ではなく、線量の高い装置をスクリーニングする手法の開発が必要である。

そこでプラスチックシンチレーターを用いたサーベイメーター（科学技術振興財団開発のKind-mini）及び広窓GMサーベイメーターの線量依存性の紹介を行った。電離箱での測定による線量率（ $70\mu\text{m}$ 線量当量）とKind-miniによるcpm単位での測定結果は良い相関を示しており、パルス場の測定であるため線量計として活用する場合は校正について注意を要するが、エネルギーを変えての測定なども行い信頼性を確認することで、一定の範囲内ではガラスバッジなどを用いた正式調査を行う前のスクリーニングに活用できる可能性がある。Kind-miniは放射線教育のために無償での貸出しが行われており、全国での対応が可能である。また、広窓GMサーベイメーターは30kcpm程度の比較的低い計数率で飽和してしまうことが改めて確認された。こちらは、適当な厚さのアルミ板を入れることで対応可能となる可能性がある。ただし、遮蔽によりエネルギーが変化してしまうこと、機種ごとに校正を行う必要があり、全国的に対応するのは困難であると思われる（Rangerは9万円程度する）。

次に、ICRP、IAEAやNCRPが免除レベルもしくは無視可能個人線量としている実効線量 $10\mu\text{Sv/y}$ については前回も紹介しているが、発生装置としての免除レベルがIAEA GSR part3において定められており、それによると

(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 $1\mu\text{Sv/h}$ 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.

とほとんどのクルックス管では装置の外側で遮蔽を行わない限りは達成が困難な非常に厳しい条件となっている（線量当量は1cmなのか $70\mu\text{m}$ なのかは示されていないが、1cmだとしても非常に厳しい）。これは、ホリゾン製の5kV駆動のクルックス管のように固有安全を持つ装置について定めた物であると考えられ、クルックス管は基本的に免除レベルを上回る装置であると言える。個人線量については免除レベルをガイドラインに取り入れ、装置については取り入れないというのは矛盾しているように思えるが、免除レベルを上回る装置であるが故に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。「in normal operating conditions」に対しても解釈の余地があり、また示されて

いるのはあくまで線量率で、どの程度の時間使用するというファクターが存在しない。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。

一般の教員向けに $10 \mu\text{Sv}$ とする線量を説明するために、身近な被ばく線量をいくつか挙げて説明する資料も紹介した。BG 線量が地方によって違う、ラドン濃度も住居の環境によって大きく違う、というように、変化の範囲よりもずっと小さい線量であることを強調している。

また、2018年、2019年度の学会、講演会などでの周知活動記録についても報告した。この内容は JRSJ-JHPS 合同大会において、一般の教育セッションで発表を行い広く周知する予定である。

・シミュレーションの進捗状況報告（秋吉）

大阪府大 M1 の学生(松本君)が JAEA の夏期実習で古田委員のところでお世話になり、PHITS コードによる発生源側の計算を行ったので紹介した。計算結果はまだ試行数が少なく十分ではないが、得られたスペクトルが実測よりもやや高エネルギー側となっていた。ガラス管壁が厚いと低エネルギー成分ほど透過率が低いため高エネルギー側にシフトするが、以前行われた藤淵委員による CT スキャンの結果ではおおよそ 2-3mm となっており、計算に用いた体系とそれほど大きな違いはない。

当日の議論では原因の一つに、与えた電子のエネルギーは実測の電圧ヒストグラムを元にしていて、高電圧側は 3σ まで取ったガウス曲線を用いているためと言うことが考えられた。高電圧側のわずかな違いが結果に大きな影響を及ぼす可能性が高く、より詳細な電圧パルスのヒストグラム評価が必要である、と言う結論となった。装置によって漏洩線量が異なるのも、このあたりが原因となっている可能性がある。

線量については、漏洩率までは計算されているが適当な距離における単位面積あたりの光子束を求める必要がある。おそらくソフト上で評価可能であるため、松本君と古田委員とで連絡を取ってもらい、評価を行う（2019/10/23 現在、やり方が分かったようで、解決したようである）。厳密には各光子のエネルギーに応じて実効線量や等価線量への換算係数を変える必要があるが、さしあたって実効エネルギーで評価してみる。将来的には、ここで使用している換算係数自体を評価し直す必要がある（10,15,20keV の飛び飛びの値でしか与えられていない）。

なお、昨年 12 月の JRSJ 学術大会に於いて藤淵委員より同様のシミュレーション結果は発表されているが、与えた電子のエネルギーが 20kV, 30kV で固定されていた、と言う点が異なる。

・ **JRSM-JHPS 合同大会での企画セッションについて**

企画セッションの内容として、以下の形で **FIX** する。予稿の締め切りが 10/31 であるため、至急対応を依頼する。

背景、暫定ガイドラインの設定について 秋吉 15min

教育現場の現状 森山先生 10min

第二期調査結果概要報告 伊藤先生 15min

箔検電器を用いた自己点検 緒方先生 10min

世界的な規制状況と国内法令解釈上の問題点 山口先生 10min

シミュレーションによる線量評価の試み 藤淵先生 10min

まとめ、標準化に向けて 秋吉 5min

入れ替わり、質疑合計 15min

Total 90min

・ **次回研究会について**

JRSM-JHPS 合同大会期間中が期待されるが、どの程度参加者が居るのかを確認する必要があるため、改めて周知する。

「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」
 第四回会合 議事録

○日時：令和二年10月6日（火） 17:00～18:30

○zoomによるWeb開催

○出席者

委員

秋吉 優史（大阪府立大学 放射線研究センター）

藤淵 俊王（九州大学 医学研究院保健学部門）

榎本 敦（東京大学 医学系研究科 疾患生命工学センター 放射線分子医学部門）

古田 琢哉（JAEA 原子力基礎工学研究センター放射線挙動解析グループ）

オブザーバー

山口 一郎（国立保健医療科学院 生活環境研究部）

松浦 寛人（大阪府立大学 放射線研究センター）

掛布 智久（日本科学技術振興財団）

宮川 俊晴（放射線教育フォーラム）

小西恵美子（鹿児島大学）

加藤 昌弘（産業技術総合研究所 計量標準総合センター）

大森 康孝（福島県立医科大学 医学部 放射線物理化学講座）

占部 逸正（福山大学名誉教授）

議題

・現状について

2020年3月に、新宿区の教育委員会の紹介で6校ほど実態調査希望があったが、コロナウイルスの問題が顕在化し、それでも2校について実施する事になったが、結局緊急事態のため測定を実施できず、発送したガラスバッジはそのまま返送してもらった。その後もクルックス管の測定どころでは無い状態が続いているため、令和2年度の実態調査は実施を断念せざるを得ない状態である。

その一方で文科省担当者との打ち合わせを2020年の3/14に行っている。直接文科省から通達などの形でペーパーを出すのではなく、日本理科教育振興協会（理振協会）から情報発信を行ってもらい、と言う形で話が進み、そのためには学会などでのオーサライズが必要、と言う事になった。本専門研究会はその終了後の標準化委員会に於いて得られた知見を学会標準とすることを目標としているが、安全に関することであり、得られた範囲の情報を早く出して欲しいという要望があったため、完全な形での標準化を待たず、「クルックス管を用いた安全運用のガイドライン」などの形で運用面についてだけでも取りまとめを検討した。しかしながら保健物理学会として「ガイドライン」をオーサライズするため

には、やはり標準化委員会を通す必要がある。

このため、現在暫定ガイドラインとして出している条件に従って実態調査を行ったところ、低い線量に留まることが明らかになった、と言う研究成果の公表であれば、比較的ハードルは低く、速やかな公表が可能で有ると考えられる。現在理事会に於いて専門研究会の細則改訂手続き中であるが、その中で専門研究会の成果を学会誌に投稿する、と言う内容が盛り込まれている。本研究会は改定前に設立されているためその制約は受けないが、積極的な成果公表という観点からも学会誌に専門研究会としての論文を投稿することを目指したい。内容的には、3月に出した放射線教育フォーラムの「放射線教育」誌に投稿した内容に、スクリーニングの情報を追加した形としたい。

■ 学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用, 秋吉 優史, 放射線教育, 23 (2019) 23-32. <https://www.ref.or.jp/download1.html>

なお、放射線安全管理学会の方には秋吉・松浦が指導を行っている博士留学生の Do Duy Khiem 君が論文を投稿しており、9月に行われた同学会理事会で研究奨励賞を受賞した。

■ Investigation of Characteristics of Low-energy X-ray Radiated from the Crookes Tube Used in Radiological Education, Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi, Radiation Safety Management, 18 (2019) 9-15.

また、現在国内で中学理科の教科書を出版している 5 社のうち大手 3 社に於いて、新しい学習指導要領に対応した教師用指導書を秋吉が執筆している。残りの 2 社についても、暫定ガイドラインの内容を載せて頂くことを了解頂いている。このため、今後新しく教師用指導書を購入して内容を確認頂ければ、基本的な安全確保は行えるものと考えられる。

これまでに得られた知見は、

- ・ 放電極距離 20 mm 以下で、必要最低限度の放電出力、生徒までの距離 1 m, 実験時間 10 分という条件であれば、ほとんどの装置について国際的な免除レベルである実効線量 $10 \mu\text{Sv}$ 以下に抑えることが出来る
- ・ 最も線量が高い装置に於いても、上記の条件下では $40 \mu\text{Sv}$ 程度で有り、ガラスの水槽などによる遮蔽、時間短縮などによりさらに線量を低減することが可能
- ・ 比較的線量の高い装置のスクリーニングのために、箔検電器や、プラスチックシンチレーターを用いた簡易放射線検出器「Kind-mini」が有望である (図 1)。Kind-mini は日本科学技術振興財団から無料の貸出しサービスが行われており、JIS に規定されている実用測定器の簡素化した校正も行われていることから、我が国に於いてスクリーニングを行うのに適していると考えられる。スクリーニングにより比較的高い線量が確認された装置については、ガラスバッジや電離箱による正確な測定を行うサービス体制を今後

構築していく。

- ・ 放電極距離 20 mm で放電極距離最低でも放電の起こるクルックス管は、管内の気体が吸着などにより枯れたことでコンダクタンスが低くなっている可能性が高く、十分な電流を得るために放電極距離を広げたりすると意図せず高い電圧がかかり危険であるため、買い換えを推奨する

というものであり、**若干線量が高くなる装置は何故高く出てしまうのか、と言う部分（電流や電圧との相関）が検証できていないが、スクリーニングと組み合わせる**ことで、実際上の安全は確保出来るものとする。箔検電器については、森先生達との共著で以下の様な二報の論文にまとめられている。

■ 箔検電器によるクルックス管からの X 線線量率の測定マニュアル, 森 千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 放射線教育, 23 (2019) 33-39.

■ 箔検電器によるクルックス管からの X 線の測定, 森 千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 臼井俊哉, 村上浩介, 羽澄大介, 中村嘉行, 渡辺賢一, 瓜谷 章, 神谷 均, 宮川俊晴, 田中隆一, 掛布智久, Radioisotopes, 69 (2020) 1-12.

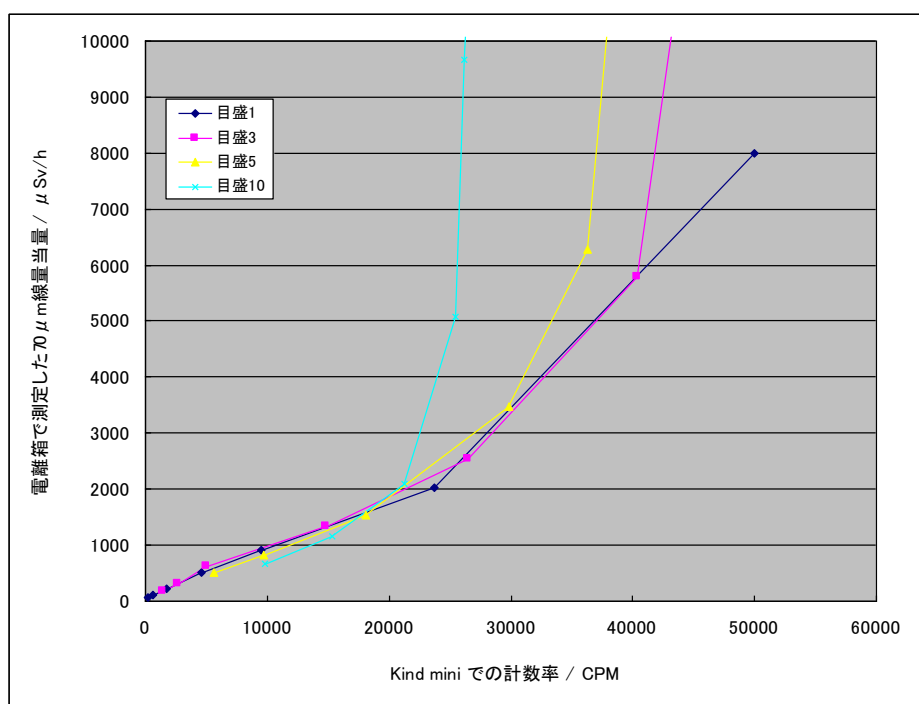


図 1 Kind-mini での計数値と電離箱で測定した 70 μ m 線量当量の相関。20,000 cpm 程度までであれば、エネルギーにかかわらず一定の換算係数 (0.085 倍程度) を適用できる事が分かる。ざっくりと、cpm での測定値の 1/100 を実効線量とすれば安全側である。

・本年度中に実施する事の確認

測定される $70 \mu\text{m}$ 線量当量から実効線量の評価について、実際に測定された X 線エネルギースペクトルと、クルックス管を点線源と見なし距離の逆二乗で変化する入射量を用いた、シミュレーションによる各臓器の吸収線量を計算で求める必要がある。ICRP Pub116 Fig.5.2 で 20 keV での 1 cm 線量当量から実効線量への換算値である $1/5$ と 20 keV での水 1 cm の透過率である $1/2$ からおおよそ $1/10$ としている現在の概算値よりもシミュレーションによる計算結果が有意に小さいことを確認出来れば、簡単に $1/10$ とすることで安全側であると言える。

他に弱透過性放射線として取扱い方向性線量当量を評価する考えや、皮膚等価線量、水晶体等価線量の評価なども行うことで、どういった評価を行うことが妥当であるのか議論する。整列拡張場ではなく、また局所的な曝露となりえる場合に実効線量として取り扱うことがふさわしくないとの意見もあり、最終的に安全に関する情報を知りたい先生方へ提供する際にどのように伝えるかも踏まえて、丁寧な検討を行っていく。まずはシミュレーションを行い、実効線量（に相当する量）を評価することで、 20 keV 前後という非常に中途半端なエネルギーの X 線の評価についての方針を検討する。計算は、JAEA 古田委員に依頼を行った。計算体系の設定、適用するスペクトルなどについて、近日中に改めて打ち合わせを行いたい。

防護量としての実効線量の正確な理解については、放射線防護アンブレラが提供する「実効線量と実用量に関する Webinar（全 5 回シリーズ）」<http://umbrella-rp.jp/ref.php> が参考となると思われる。

また、Kind-mini を用いたスクリーニングについては、もう少し多くの機器について測定を行い、条件を変えた際の信頼性について検証を行う。

本年度重に実施するべき内容を列挙すると、以下の通りとなる。

- ・ 測定された $70 \mu\text{m}$ 線量当量からの実効線量評価
- ・ Kind-mini によるスクリーニングの信頼性向上
- ・ 保健物理学会誌への論文の投稿
- ・ 論文投稿を受けての理振協会への働きかけ（理事会を通す必要があるか?）

・保物セミナー、保物学会シンポジウムについて

本年度の保物セミナーはオンラインで開催され、動画などでは無くスライドをアップするのみの形式となる。予算案には参加費が計上されていないため、誰でもフリーで閲覧できるようである。移動を伴う出張も必要ないため、森先生にスクリーニングについてとりまとめを行って頂き、秋吉の方でこれまで得られた知見についてとりまとめを行う形とし

たい。公開は、12/1～12/20 で予定されている。現状では、以下の通り提案を行っている。

テーマ 2 保物関係

(1) 「教育現場に於けるクルックス管から漏洩する X 線に対する安全管理について」

講師：秋吉 優史（大阪府立大学）

(2) 「教育現場で測定可能なクルックス管からの漏洩 X 線量スクリーニング手法の開発」

共同発表者： 森 千鶴夫（名古屋大学）・ 緒方 良至（名古屋大学）・ 掛布 智久（日本科学技術振興財団）・ 秋吉 優史（大阪府立大学）

保物学会シンポジウムについてもオンラインではあるが、リアルタイムの講演となる予定である。1 時間程度で収まる内容を検討したい。時期は、12 月～1 月とのことで、他の専門研究会の予定と合わせて企画委員会で調整中である。

・ 標準化について

現在ペンディングとなっている発生源側のシミュレーションや、追加での実態調査による線量が高く出る装置の系統的な確認、FAQ など、必要とされる全体を網羅するためには本年度専門研究会終了後もう少し煮詰めてから標準化委員会を立ち上げる必要がある。

・ 専門研究会予算について

本年度 10 万円の予算が付いているが、コロナ禍のため、会合への旅費や、実態調査に必要な消耗品についても計上する予定が無い。本年度中にまとまるようであれば、教育現場に周知するためのリーフレット印刷と、送料などに充ててはと言う意見も出たが、全国の教育現場に直接配布することは非現実的で、各都道府県中学理科研究会などに依頼する必要がある。現状では直接集まったの会合も開催されずそこから配布を行う余裕があるとは思えないため、特に要望が無ければ学会への返還を行うが、IAEA の DS470 の策定が進んでいることから国際的な検討に用いてはどうかとの意見があった。また、現場ではクルックス管を用いた実験でどのような配慮がなされているかについて保護者へのわかりやすい説明が求められているとの意見もあった。