

放射線教育フォーラム ニュースレター

No.71 2018. 6

クルックス管による「電流」学習から放射線学習への新展開に向けて

放射線教育フォーラム 田中 隆一



中学校理科の学習指導要領では3学年の単元「科学技術と人間」という社会的な脈絡で放射線に触れることが指導されているので、放射線授業は実験を伴わない講義になり易い。今回の学習指導要領改訂によって、放射線学習は2学年の「電流とその利用」の単元に取り入れられるので、この現状が改善されることを期待している。気もそぞろな3学年末に初めて学ぶのでなく、3年間をとおして段階的に放射線を学んでいく授業を当フォーラムは提唱したが、その願いの一部がかなえられそうである。

改訂の意義はそれだけではない。放射線学習が理科の”大通り”である「電流」という本来の理科的脈絡で登場することの重要性を強調したい。

クルックス管という道具立てそれ自体は知名度が低い、レントゲンによる世紀の大発見はクルックス管などによる真空放電の実験が進展する只中だったので、そのルーツから放射線授業が始まる意義も大きい。クルックス管が放射線教材として脚光を浴びているのは、霧箱や簡易測定器と並ぶ強力な実験教材として期待されているからであるが、クルックス管からのX線を安心して教育実験に活用できるようにするため、実験の安全性確認をもとに、教育現場における放射線安全管理の指針を示すことが当面の課題である。

クルックス管の写真や図解を出発点に、どんな放射線の基礎学習へ展開が可能か考えてみよう。新学習指導要領解説では、「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をもつ放射線が存在し、医療や製造業などでも利用されていることにも触れること」とある。管外に放出するX線だけでなく、管内の電子線も放射線であり、希薄な封入気体を透過しながら気体原子を電離し発光させる現象も観察できる。電界や磁界による電子ビーム偏向の観察によって、電流が電子の流れであると認識するだけでなく、電子のような荷電放射線は電界と磁界の作用を受けるといふ、もう一つの放射線の重要な性質を学べる。スマホやパソコンの高い機能性は半導体LSI製造の鍵とも言えるこの性質をナノメートルレベルの精度で制御することで実現されている。この性質が年額数兆円の経済規模を放射線利用によって産み出している。クルックス管学習の展開として期待される放射線の導入学習の内容をまとめると以下ようになる。

- ① 観察されるクルックス管内の電子線も放射線…電荷をもつ放射線(荷電放射線)の存在を知る
- ② 物質に対する放射線の透過性と電離作用…管内電子線の場合、対象物質は希薄な封入気体
- ③ 電界と磁界の作用を受けることも荷電放射線の基本性質…放射線の利用にとって最重要な性質
- ④ X線や電子線を人工的な放射線として認識する…自然放射線の認識に向けた導入学習
- ⑤ クルックス管は人工放射線源である「加速器」の原型…放射線利用手段の主役として発展

UNSCEAR2017 年報告書の紹介

一環境放射線からの被ばくとがんリスク

元放医研 岩崎民子

国連科学委員会（UNSCEAR）2017 年報告書が本年 3 月に公刊された。主文と附属書 A 及び B からなる（175 頁）。今回取り上げられたテーマは「Epidemiological studies of cancer risk due to low-dose-rate radiation from environmental sources（環境放射線源からの低線量率被ばくによるがんリスクの疫学研究）」である。附属書 A は疫学における研究手法が、附属書 B では環境放射線被ばくとがんリスクについて述べている。今回は附属書 B について概略を紹介する。

I. 人間の活動により高められた環境放射線からの被ばく

（A）ロシアのテチャ河における被ばく集団（HNBR:high natural background radiation）

ロシアの南ウラルチェリアビンスク北東約 100 km テチャ河流域にプルトニウムを生産するマヤク工場がある。この工場に関連し三つの被ばくの可能性がある：(a) 1950 年代初期にテチャ河に放射性物質を廃棄、(b) 1957 年に貯蔵タンクの爆発（キシュチム事故）、(c) 1967 年に放射性ダストの放散。この他にも 1940 年代にプルトニウムや Sr-90 の河への放出がある。周辺住民の平均バックグラウンド線量は約 0.83 mSv/年、K-40 からは 0.2 mSv/年、ラドン及びその子孫核種からは 1.7-6.2 mSv/年である。最初の放出 2 年後 1951 年からテチャ河周辺住民の健康調査が開始され、1955 年からはウラル放射線医学研究センター（URCRM）でウラル地域の被ばく者集団の健康調査が 60 年にわたり続けられている。この研究対象者集団は Techa River Cohort (TRC) と呼ばれ、1950 年 1 月以降生まれの 29,730 人（男

12,558 人、女 17,172 人）を 2007 年まで追跡調査している。放出核種量、環境中の放射性核種レベル、外部・内部被ばく線量、さらには医療による被ばく線量までかなり詳細に調べられている。固形がん死の ERR（過剰相対リスク）は 0.061/100 mGy (95%CI: 0.004, 0.127) で、二次曲線モデルにも直線モデルにも当てはまり、しきい値は見られなかったが、定量的リスク推定は不確実性があるために確実なことは云えない。Cs-137 のガンマ線の均一分布とは異なり、最大放出のあった Sr-90（1950-1951 年）が骨髄に蓄積（平均累積線量 0.42 Gy）、白血病リスクに寄与し、0.12/100 mGy (95%CI: 0.04, 0.25) で（但し慢性リンパ性白血病：CLL を除く）直線モデルが当てはまるようである。

TRC 調査は、交絡因子の情報が少ないことを除外すれば、線量幅が大きくかつ追跡期間が長いことから、放射線によるがんリスク研究において最も重要なデータであろう。

（B）中国・台湾での Co-60 汚染した住居に住んでいる住民

台湾・台北市で 1992 年 Co-60 で汚染された建材で造られた住居（1,607 軒）が発見された（1982-1983 年間に建造）。被ばく線量は 20-280 mSv と推定された。染色体異常の頻度が調べられたが対照群と差異は見られなかった。しかし別な報告では転座（2.1:0.2/1,000 細胞）や二動原体（0.6:0/1,000 細胞）の有意差が見られている。がんについては 1983-2005 年まで平均 19 年間追跡調査されたが、白血病や乳がんの増加を示す傾向はあるとは云え、期待数

は少なく定量的推定値を得るには至っていない。

II. 自然環境からの放射線被ばく

(A) インド・ケララ

アラビア海に面したケララ地方は、モナザイトというトリウムリン酸塩や希土類元素を含んでいる（9.2 mSv/年）。人種はキリスト教徒とヒンズー教徒がほぼ半々で、人々の健康や教育レベルはインドの他の地域と較べて高い。主として漁業に従事し、1990 年からはがん登録がなされているが、必ずしも充分とは云えない。放射線関連がんリスクの統計解析には 30-84 歳の 69,958 人が対象とされた。がんリスク解析に用いられた被ばくコホートの平均線量は 161 mGy である。染色体異常、DNA 二重鎖切断、小核細胞、二核細胞、テロメアの長さなど対照地域と比較したが有意差は見られなかった。全がんリスクは $-0.013/100 \text{ mGy}$ (95%CI: $-0.058, 0.046$)、部位別解析でも有意差は認められなかった。

(B) 中国・広東州・陽江

この地域はモナザイトと呼ばれる Th-232 と U-238 の核種を含んだ土壌からなり、建材にも含まれている。平均外部被ばく線量は 2.10 mSv/年と推定されている。漢民族 66,624 人が 6 世代以上にわたり住んでおり主として農業に従事している。対照地域はここから 60 km 程離れた地域 25,924 人（0.77 mSv/年）の計約 9 万人の男女（30-74 歳）について 1979-1998 年間調査した。安定性染色体異常は 0.29 ± 0.06 と 0.18 ± 0.04 と有意差が無かったが、不安定性染色体異常の頻度は 0.16 ± 0.02 と 0.06 ± 0.02 で有意差が見られた。また末梢リンパ球の染色体異常は年齢による累積線量（HNBR:30.9-358.9 mGy、対照：6.0-59.2 mGy）の影響を示唆している。がん死亡率については、白血病を除く全がんの 100 mGy 当たりの過剰相対リスクに有意差は見られなかった。但し、肝がんと鼻咽頭がんを除くと有意になるが、これは放射線以外の他の原因（ウイルス感染）によ

るものらしい。本調査は交絡因子やがんの診断等多くのバイアスのあることが指摘されている。

(C) ブラジル・ガラパリ

ブラジルの大西洋海岸に面したガラパリ地域には Th-232 系列のモナザイト砂が含まれていて HNBR 地域として知られていたが、最近の評価ではこれらの砂の除去や高層建築などにより放射能レベルは平均 13 mSv/年（6-16 mSv/年）に下がった。がん死亡率も国の値と較べて過剰値を示さないが、全がん、肺がん、乳がん、白血病がある地域で高いことも報告されており、正確な被ばく線量との解析はまだ不十分である。

(D) イラン・ラムサール

カスピ海に面したラムサールには Ra-226 を沈着した数平方 km の地域があり、またトリウムを含んだ建材を使った家の放射能レベルは 1.6-42 mSv/年と高い。ラムサール住民のリンパ球での染色体異常を調べた幾つかの調査があり、有意差のある結果も得られてはいるが、個々人の被ばく線量との関係や交絡因子との調査も不十分であり、定量的解析はなされていないと云えよう。

ケララや陽江の HNBR の研究において、線量測定、細胞学的研究、がんリスク研究に多くの日本の研究者が貢献していることを一言付け加えておきたい。

なお、小児白血病について、英国、スイス、フィンランド、フランス四カ国が環境からの低線量被ばくとの関係を調査した記載はあるが、何れもリスクが高いとは云えないようである。

結論として、委員会は環境放射線からの低線量率被ばくの研究はがんリスクの可能性を否定はできないが、調査集団、がん登録、死因など統計的パワー、被ばく線量の正確性、交絡因子等のため限界が有り、ERR を求めるには更なる高い正確性が必要である。

新学習指導要領に対応した放射線教育推進のための方策

全国中学校理科教育研究会支援センター 代表理事 高島勇二

平成 29 年 3 月に公示された中学校新学習指導要領において、これまで 3 年生の最後の単元で扱われていた放射線の利用に関わる内容が、2 年生で放射線の性質、3 年生で放射線の利用と扱うよう変わった。中学校理科以外の他の教科、領域でも触れられており、これは他校種も含めて学校教育全体で放射線教育を進めていく絶好の機会でもある。ここで、学校教育全体の中での放射線に関する内容について確認することは、今後の放射線教育の活性化に向けて意義があるものとする。

1 放射線教育の目的

まず、そもそもの学校教育の目的については、教育基本法第 1 条に「教育は、人格の完成を目指し、平和的で民主的な国家及び社会の形成者として必要な資質を備えた心身ともに健康な国民の育成を期して行われなければならない。」とある。また、理科教育の目的として、学習指導要領 第 4 節 第 1 に「自然の事物・現象に進んでかかわり、目的意識を持って観察、実験などを行い、科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う。」と示されている。

国際社会における現在の日本の状況から放射線に関する知識・理解を基礎とした科学的な思考力・判断力は、「国家及び社会の形成者として必要な資質」として、また、「科学的な見方や考え方を養う」ために不可欠な学習である。

2 これまでの授業計画

これまでの放射線教育は、現行学習指導要領を前提として、中学 3 年生の最後の単元で、原発やエネルギーとは切り離し「放射線とは…」として独立させて指導を行ってきた。

例えば、50 分授業の 2 コマを使い、次のような展開の中で発展的に扱う場合、①自然界の放射線の存在、②日常生活における利用、健康への影響、放射線の量的認識などを深めるよう授業を行った。

- ・導入：発電体験、自然放射線の存在確認
- ・展開：距離と遮蔽による線量率の変化
- ・観察・実験：空間線量率測定、霧箱観察
- ・まとめ：基本用語の確認（放射性物質、放射能、ベクレル、シーベルト）、健康影響、生活とのかかわり

3 生徒の実態

これからは、日本に限らず地球規模で環境問題やエネルギー問題などの課題に取り組んでいかなければならない。しかし、日本の現状は、東日本大震災とそれに伴い発生した福島第 1 原子力発電所の事故の影響で、これらに対する対応が足踏みどころか後退した状況にある。日本全体の復興とこれら諸課題に向けた対応には、放射線に対する科学的な認識を深め、未来社会に向けた適切な判断をしていく力を国民一人一人に育まなければならない。

しかし、中学生の放射線に対する認識のアンケート調査によると、次のような結果となっている。

- ・自然放射線の存在を知っている ⇒30%
 - ・放射線の負のイメージ(危険、健康悪影響、原爆、福島原発事故) ⇒60%
 - ・役に立つ ⇒20%
 - ・放射線の利用としての X 線、がん治療 ⇒60%
 - ・放射線の利用としての手荷物検査 ⇒30%
- (ただし、放射線とは結びついていない)

このような状況を改善するために、これまで放射線教育を中学校の理科教育の中で行ってきたが、上記のような生徒の状況に大きな改善は残念ながら見られなかった。

4 新学習指導要領における放射線の扱い

これまで中学 3 年に示されていた内容は、新たな新学習指導要領では次のように扱いが変更された。

中学 2 年「電流とその利用 電流」の単元で、「静電気と電流には関係があること」に関連して「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(3 年から移行)」と示された。また、従来の中学 3 年「科学技術と人間 エネルギー資源」の単元で、「水力、火力、原子力、太陽光などからエネルギーを得ている」ことに関連して「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」になった。

また、他の教科、領域や他の校種での扱いについても次のように示されている。

- ・小学校社会:「火力発電所や原子力発電所については、環境や安全に配慮して発電していることについても調べる必要がある。」

「社会化の学習に活用できる博物館には、水道、電気、ガス、原子力などの…」(新)

- ・中学校社会:「核兵器」はあるが、原子力の記述なし

「東日本大震災」はあるが、原発事故に関わる記述なし

- ・中学校技術家庭:「化石燃料、原子力、水力、風力、太陽光など、自然界のエネルギー資源を利用している発電システム…」(新)

「食品添加物や残留農薬、放射性物質などについては、基準を設けて食品の安全を確保する仕組みがある」(新)

5 これからの放射線教育の視点

前述のように、他の教科、領域の扱いを踏まえつつ、理科教育においては次のような 3 つの視点で放射線教育に取り組んでいく必要がある。

(1) 中学 3 年間を通した放射線教育

これまでも 3 年間を見通した指導が様々に工夫され実践がなされてきたが、これを次のような指導場面において放射線教育を更に継続して進めていく。

(2) 真空放電と関連付けた放射線教育

X 線の発見そのものであるが、被ばくという観点からの配慮をしつつ観察・実験を工夫することによって、科学史的な視点からの学習を充実させる。

(3) 社会的課題解決のための放射線教育

放射線に対する不安への対応、環境保全、資源確保などから、エネルギーを有効に活用しようとする態度を育てる視点からの学習を充実させる。

特に、学習指導要領の解説の中に、(3)の社会的な課題としての目標が記述された。他教科等との関連を図った学習の展開など、今回の改訂は、これまでも増して楽しそうな学習が展開できそうな予感を感じられる改訂ととらえている。

クルックス管などの放電管の概要と漏洩 X 線測定の試み

森 千鶴夫

1. クルックス管などの放電管の概要

1.1 ガイスラー管から X 線の発見まで

1855 年にガイスラー (Geissler, 独) が水銀ポンプを改良して、0.5 mmHg 程度の真空を得、1859 年にピュリュッカー (Plücker, 独) などの協力を得てガイスラー管を発明した。その後、多くの研究者が放電の研究に取り組んだ。1869 年から 1879 年頃にかけてクルックス (Crookes, 英) は 0.1 mmHg 以下の真空度にして発光部分の少ない管を作り、スリットを入れるなどの工夫をこらして陰極線の挙動を見るいわゆるクルックス管を作った。磁石による陰極線の偏向などを発見し、陰極線の理解に貢献した。クルックスの着想と努力が“クルックス管”の名称をもたらし、今も陰極線（電子線）の直視的理解のために、学校教育に広く使用されている。

1869 年にピュリュッカーはクルックス管に十字架を入れ、陰極線の理解を一層深めた。1886 年にゴルトシュタイン (Goldstein, 独) は陰極に小さな穴（カナル）を開けて、そこから出てくるカナル線（陽極線）を発見した。1888 年に、レナード (Lenard, 独) は陽極にアルミ箔の窓を付け、陰極線を空気中に取り出すことに成功し、陰極線が空気中で飛ぶ距離は数 cm であることを示した。クルックスは放電の様子を写真に撮ろうとしたが乾板が感光していて、乾板のメーカーに苦情を言い続けたことがあったが、これは実は実験中に乾板を放電管の比較的そばに置いていたために X 線によるカブリが生じたものであった。また、レナード管は陽極近辺に白金の管を用いていたこともあって、当時はまさに多くの研究者にとって X 線発見の前夜であった。ヴュルツブルク大学で圧電効果の実

験などで成果を挙げたレントゲン (Röntgen, 独) は学長に選ばれ任期を終えたあと、1895 年 11 月 8 日の夕方の放電管の実験で、蛍光板の発光から X 線を発見した。同年の 12 月 28 日に土地の学術誌に投稿したがこの論文には写真は付されていない。この論文の別刷りを数枚の写真とともに友人、知人に送ったが、この写真の 1 枚が有名な手の骨の写真である。

1.2 X 線の発見以後

X 線発見の直後から多くの X 線写真が各国で放電管によって撮影された。しかしこれらの放電管はいわゆるイオン管と呼ばれるもので、クルックス管と同様に適当な圧力のガスが必要であり、ガスがガラス管の壁に吸着されると X 線が出なくなり不安定であった。そのため、ガス発生物質を内蔵した調整器を時々放電させ、ガスを放出させる必要があった。1913 年にタングステン線熱陰極をもつ高真空のクーリッジ (Coolidge, 米) X 線管が発明され、X 線出力が安定に得られるようになった。

2. クルックス管からの漏洩 X 線の測定の試み

クルックス管は電子線の挙動を直視できるため、中学校や高校での教育現場における実験に多用されている。しかし、クルックス管からの漏洩 X 線が放射線防護上から注目され、我が国では 40 年ほど前から報告されるようになった。昨年「クルックス管からの低エネルギー X 線取扱ガイドライン検討委員会」なる研究グループが発足して活動が続いている。中学校や高等学校には放射線測定器はほとんど保有されていないため、学校の

先生方が自身で X 線の有無やその量を測ることは困難である。しかし、箔検電器は摩擦静電気の実験などに、クルックス管以上に多用されている。筆者らはこの箔検電器を活用すれば、漏洩 X 線の有無はもちろん、X 線の線量率の定量的な測定が可能なのではないかと考えた。箔検電器で X 線を検出することは過去にも試みられているが、定量測定に関する研究はなされていない。

箔検電器のガラス壁面に箔の角度を読み取



図1 クルックス管からの漏洩 X 線を箔検電器で測定するための配置図（上面図）

る目盛り紙を貼り付ける。

図1に示すように箔検電器をクルックス管の近くに置き、塩化ビニールのパイプなどを摩擦して箔の開き角が60度以上になるように荷電する。漏洩 X 線によって開き角が60度から30度になるまでの時間（ここでは半減時間 T（秒）とする）をストップウォッチで測る。同じ位置に電離箱（70 μm 線量当量率）を置いて線量率を読取り、半減時間を線量率で校正する。図2に校正曲線を示す。その直線部分を式(1)に示す。

$$S(\mu\text{Sv/h}) = 1 \times 10^4 \left\{ \frac{1}{T(s)} - 3.3 \times 10^{-4} \right\} \quad (1)$$

この校正曲線、あるいは図2の校正曲線を使えば、誰でも漏洩 X 線の線量率を測定することが可能になる。なお、この校正曲線は3種の異なる箔検電器には使用できることを確認したが更なる検討が必要である。

箔検電器はガストープの近くや風のある

ところでは使用しない、などのいくつかの使用条件がある。箔が閉じる原因は X 線によって空気中に作られたイオンが電極の電圧によって集められるため、まさに開放型の電離箱と言える。X 線が箔検電器の電極やガラス壁に当たって生じる光電子の影響は、計算によれば1%以下である。測定誤差は、箔の角度の読取り誤差や前述の開放型であるための不安定さのために、-50%、+100%程度は見積もる必要がある。かなり大きな誤差ではあるが、特殊で高価な放射線測定器がなくても先生方が X 線の測定に容易に取り組むことができ、教育上有効であるのみならず安全な線量率を確認するための手段としても有効であると考えている。この“安全な線量率”に関しては今後の検討が必要である。

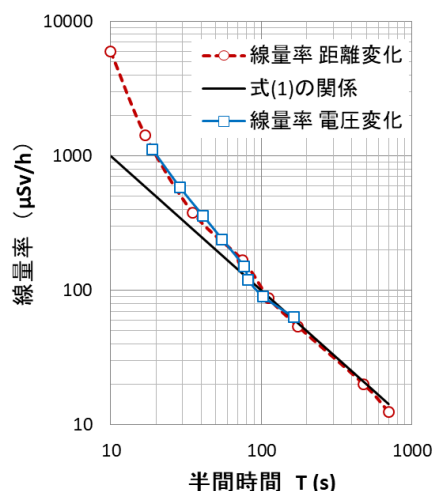


図2 箔検電位の箔の開き角が X 線照射によって60度から30度に関する時間（半減時間 T）と電離箱によって測定した線量率との関係。図中の“線量率 距離変化”は、クルックス管の出力を一定にしておいて、クルックス管と電離箱や箔検電器との距離を変化させて線量率を変化させたものであり、“線量率 電圧変化”は、電離箱や箔検電器は一定の位置に置き、誘導コイルの電圧すなわちクルックス管に印加される電圧を変化させて線量率を変化させたものである。両者における相違は見られない。

冷陰極管型クルックス管からの漏洩X線の軽減化

福岡教育大学 宇藤 茂憲

1. はじめに

冷陰極管に関する漏洩 X 線（以下、漏洩）については、約 40 年以上も前から学会および地域理科研究会などで報告¹⁾されてきましたが、教育現場ではこれら漏洩現象の有無や漏洩防護の周知徹底には至っておらず、また生徒への説明も取り残されたままであるといえます。このことは H26 年度と H30 年度(含、再調査)に、本学と周辺中学校所有の約 37 台の冷陰極管型クルックス管（以下、Cr 管）の調査でも裏付けられました^{1,2)}。調査した Cr 管の 3/4 以上から漏洩が生じており、Cr 管を貸出した中学校の理科教師の多くはこのことを認識しておらず、また対策もしていませんでした。ここで、自然放射線の線量当量率は変動し、場所によって異なりますが、約 0.06 $\mu\text{Sv/h}$ を越えた値を検出したとき、漏洩 Cr 管とみなしました。

2. 研究室での具体的な取組み

3~4 年程前から研究室では、中学校理科教師対象の教員研修でデータに基づいて漏洩 Cr 管を説明し、注意喚起していますが、教師たちはどのように対応すべきか戸惑っている状態です。そこで、研究室ではこの漏洩 Cr 管に対して、

- (i) 漏洩現象の検証とメカニズムの解明
- (ii) 漏洩する線量当量率の軽減化（制御）

および防護対策の提示

に取組み始めました。特に、

- ①低線量被曝の身体（例、眼球や粘膜等）への影響の回避
- ②ICRP（国際放射線防護委員会）勧告や国内法規（例、電離則）の順守³⁾

を考慮して、教育現場での具体的かつ早急な対策として(ii)を最優先事項と考えています。これまでに研究室で得たデータを基に、この概要を本ニュースレターで紹介します。但し、①は医学的学術内容ですので評価はしかなるべき専門機関に委ねたいと思います。

2-1. 検出器について

Cr 管からの漏洩 X 線を検出するサーベイメータを選択する必要があります。Cr 管はアルミニウム（以下、Al）製の電極とガラスからできており、ある値以上の高電圧を Cr 管に印加した場合、Al および Si の特性 X 線（ κ_{α} はそれぞれ 1.49、1.74 keV）と、これ以上のエネルギー値を有する制動 X 線が大まかには漏洩 X 線として考えられますので、これらを検出で

きるサーベイメータが必要です。以下に示す内容は、5 keV~3 MeV エネルギー域を測定可能なサーベイメータで得たデータに基づいて提示しています^{1,4)}。

2-2. Cr 管の高電圧印加法について

教育現場では Cr 管の高電圧印加に誘導コイルを使っていますが、この印加の仕方に工夫が必要、或いは改善の必要があると考えています。新規購入時に漏洩しない Cr 管も誘導コイルで高電圧を印加して測定し続けた場合、ある一定時間（以下、閾値時間）を越えると、X 線が漏洩し始めことを複数の Cr 管で確認しました。但し、この閾値時間は Cr 管によって異なっていました。この劣化メカニズムに、高電圧の印加の仕方が関与しているのか、物性的（ガラス or 電極への塗布物 or 真空度など）側面に起因しているのか、或いは他に原因があるのか、現段階では解を見出していません。Cr 管の製造に関する詳細なデータが不明ですので、研究室では(ii)の課題に対して、Cr 管への高電圧印加方法に焦点を当てて、漏洩の線量当量率の軽減化および制御の試みをおこなっています。このことは既に本年度 3 月上旬の放射線教育フォーラムの勉強会でも提示しました。詳しいデータは別紙²⁾に譲るとして、ここでは 2 つの方法の概要を記載しておきます（表 1、表 2）。
(7) 誘導コイルにバイパス抵抗を並列接続した Cr 管の電流値制御（以下、バイパス抵抗法）

- (4) 10kV 以下の平滑 DC 高電圧印加⁵⁾（例、コッククロフト・ウォルトン回路。以下、CW 法）

(7)の方法では、誘導コイルの両電極間距離および出力増加ダイヤルの条件を整えることで、Cr 管の漏洩が止んだことを示すデータを得ました⁴⁾。しかし、両電極間を広げたり、或いは出力増加ダイヤルで印加電圧の値を上げると漏洩が始まるので、サーベイメータで漏洩値をモニターしながらの調整が必要です。(4)の CW 法で Cr 管に高電圧を印加した場合、正常な（非漏洩）Cr 管は発光（or 動作）しました。但し、印可電圧の値は異なります。しかし、漏洩 Cr 管は発光（or 動作）するものではないものに分かれました。誘導コイルで印加して漏洩していた Cr 管に、例えば、CW 法 6.5 kV で発光（or 動作）させて漏洩が生じなかった場合でも、印加電圧を増加させて 10 kV にしたとき、漏洩線量当量率が漏洩しないとき

の値の 20 倍程度になるものもありました。このような試行的な実験（バイパス抵抗法と CW 法）で、Cr 管を安全に実験する方向性が見えてきました。

3. ICRP 勧告と電離則

X 線を使用する研究者や技術者を含む労働者に対しては、放射線の防護対策が電離則（電離放射線障害防止規則）によって法的に課せられていますので放射線被曝を回避でき、保護されています。しかし、漏洩 Cr 管の教育現場での使用に際し、特に、電離則で示す $20\mu\text{Sv/h}$ を越えて漏洩する Cr 管に対して何も対策が教育現場で講じられていないことは看過できないことですし、ICRP 勧告に背を向け

ることに兼ねません。個々の学校単位での理科教師による対応は難しい状態であり、このことがこの種の実験を避ける傾向へと繋がることを懸念します。この意味で、上記した(ii)の漏洩 Cr 管対策と具体的指導が急務であると考えています。

4. 結び

教育学部の 1 研究室の取組は非力で、歩を前進させることの困難さを感じています。しかし、放射線教育フォーラムがこの問題を取り上げ、問題解決へ向けた組織的取組みが徐々に動き始めているようです。教育現場での安全な実験指導への道筋に光が射し創めれば、と感じています。

表 バイパス抵抗法と CW 法による漏洩軽減化

○：発光（or 動作）する、×：発光（or 動作）しない を意味する。A：Cr 管の型式、B：誘導コイル（電極間距離 30 mm）のみで高電圧印加したときの線量当量率 $[\mu\text{Sv/h}]$ 、C：バイパス抵抗法による線量当量率 $[\mu\text{Sv/h}]$ 、D：軽減化率 $= 100 \times C/B$ 、E：発光・動作の有無とバイパス抵抗法測定時の誘導コイルダイヤル目盛と条件、F：CW 法で印加した電圧値 $[\text{kV}]$ 、G：CW 法による線量当量率 $(\mu\text{Sv/h})$ 、H：軽減化率 $= 100 \times G/B$ 、I：発光・動作の有無と条件

表1						
データ番号	A	B	C	D	E	
1	標準型	52.4	0.059	0.11	○：ダイヤル最低、天井照明「ON」	
2	電場印加型	64.6	0.096	0.15	○：ダイヤル 4.2 目盛、天井照明「ON」	
3	羽根車回転型	65.0	0.046	0.07	○：ダイヤル最低、天井照明「ON」	
4	十字型小型	63.3	5.68	8.97	○：ダイヤル 4.5 目盛、天井照明「OFF」	
5	十字型小型	0.033	0.043	=	○：ダイヤル最低、天井照明「OFF」 ← 正常 Cr 管	
6	電場印加型	69.9	0.063	0.09	○：ダイヤル最低、天井照明「ON」	

表2						
データ番号	A	B	F	G	H	I
1	標準型	52.4	6.5	0.063	0.120	○：天井照明「ON」
2	電場印加型	64.6	10.0	—	—	×：発光しない
3	羽根車回転型	65.0	10.0	0.056	0.086	○：天井照明「ON」
4	十字型小型	63.3	10.0	—	—	×：発光しない
5	十字型小型	0.033	9.0	0.069	=	○：天井照明「OFF」 ← 正常 Cr 管
6	電場印加型	69.9	6.5	0.046	0.066	○：天井照明「ON」

脚注

- 1) 福岡教育大紀要、宇藤 茂憲、第 66 巻第 3 分冊 (2017) pp.1-11 および 同内容ですが九州地区国立大学教育系・文系研究論文集、宇藤 茂憲、第 5 巻(通巻 19 巻) No.1 (2017) これらの参考文献を参照
- 2) 1) から展開した内容は、現在、投稿準備中
- 3) 1) の参考文献 7 と 11 参照
- 4) 本原稿を執筆中、誘導コイル印加で生じる Cr 管からのパルス状 X 線に対して、研究室で使用しているサーベイメータの検出効率が低く、もっと大きな値を示すのでは、と指摘がありました
- 5) 3 月の勉強会では、イグニッションコイル高電圧源 (70~140 Hz、10 kV 以下) の実験データを提示しました

クルックス管の安全な取り扱いとその課題

大阪府立大学 放射線研究センター 秋吉 優史

既にいくつかの報告が成されているように[1-3]、クルックス管には 10 mSv/h を超える非常に高い強度の X 線を放出する製品が存在する。放射線作業従事者ではなく、労働者でもない若年層の「生徒」が高線量被ばくする可能性のある装置が規制されていないことは、放射線安全管理上極めて大きな問題である。特に近年、眼の水晶体被ばくが問題になっており、観察のために線源を見つめる必要があるという、クルックス管を用いた実験の特性に合わせた安全管理体制の確立が急務である。

しかしながら、クルックス管から放出される X 線は 20 keV 程度とエネルギーが低いため、NaI シンチレーターや半導体センサーを用いた一般的なサーベイメーターでは全く検知できないか著しく低い数値を示す場合がほとんどであり、学校教育現場で負担なく管理できるように、適切な評価手法を提供する必要がある。

現在、信頼できる測定手段として蛍光ガラス線量計を用いたガラスバッジと、低エネルギーでの測定が可能な電離箱（日立 ICS-1323）を用いた測定を行っているが、ケニスから販売されている十字板入りのクルックス管を最大印加電圧 20 kV 程度（誘導コイルの放電極距離 20 mm）、管壁から 15 cm 距離という条件での測定で 3.5 mSv/h (70 μ m 線量当量率) 程度の線量率を示しており、1 cm のアクリル板でも半分程度にしか減衰しないという結果が得られている（図 1）。また、印加する電圧に大きく依存する傾向も確認された（図 2）。

一般的に普及している GM サーベイメーターでも評価を可能とするために、測定機の前に 0.5 mm ずつアルミ板を入れて遮蔽してい

くことで、線減衰係数を求め、おおよその実効エネルギーを評価した。その結果、上記の条件下で、20 keV 強という単一エネルギーでフィッティングを行う事が出来た。元々白色の制動放射 X 線であるが、低エネルギー成分はガラス管壁でフィルタリングされたと考えられる。それ以外の条件でも、いくつかのエネルギー成分の足し合わせで評価できた。また、これらの測定から誘導コイルの運用を行う上で、放電極距離で最大の電圧を設定し、誘導コイルの一次側電圧を変化させる放電出力ダイヤルで放電電圧まで連続的に電圧が変化できることが示唆された（図 3）。100 M Ω 以上のガラス被膜抵抗などと 100 k Ω 程度の抵抗を組み合わせた分圧器をアノード側、カソード側それぞれに用いて GND に繋ぎ、オシロスコープで 2ch の差分電圧測定（フローティング電圧測定）を行った結果、放電極の放電電圧程度（1 mm=1 kV）から徐々に弱くなる複数のパルスが観察された。放出される電子線、さらに X 線はこの印加電圧のパルスに従って放出され、定常的な放射線場と大きく挙動が異なるため注意を要する。

ペルチェ冷却式高性能霧箱[4]を用いた観察では、X 線からの光電子の飛跡が、4 mm 程度の短い直線として観察された。20 keV の電子線の空気中での飛程は 6 mm 程度であり、アルコール蒸気・液滴のため若干飛程が短くなっている可能性があるが、エネルギー既知の X 線に対して飛跡長のヒストグラムを取っていくことで、エネルギースペクトル評価に用いる事が出来る可能性がある。なお、ペルチェ冷却式高性能霧箱は過飽和層が薄くなる独自の設計をしており、平面状に飛ぶ飛跡のみを観察できるため、この目的に最適である。

平成 33 年からの新学習指導要領の本格施行に際し、より簡便かつ広くクルックス管を用いた実験を普及させるためには、実験装置や使用条件を限定することで、測定しなくとも安全な運用を可能にする必要がある。5 kV 程度の低電圧で駆動される冷陰極クルックス管[5]や、数百 V で駆動可能な熱陰極式のクルックス管（熱陰極式の物をクルックス管と呼ぶのは抵抗があるが・・・）であれば発生した X 線がガラス管壁を透過できず、絶対的に安全であることが確認されており、これらの装置を用いるのは一つの解と言える。しかしながら既存の装置を用いて、X 線を活用した教育コンテンツ普及のためには上述の安全管理体制の確立が必要である。

これらの運用条件を「教育現場における放射線安全管理ガイドライン」としてまとめ、保健物理学会及び放射線安全管理学会の合同での学会標準として制定するプロジェクトを遂行しており、放射線防護の基本三原則に従って、正当化、防護の最適化、線量限度についてそれぞれ社会的に許容される十分な検討を行う必要がある。本プロジェクトの目的は放射線安全管理ガイドラインの策定であるが、放射線教育を抑制あるいは規制することが趣旨ではなく、安心して実験、教育を行ってもらうための専門家によるオーサライズであると考えており、広く全国の教育研究者の協力を募っている。

[1] 教育現場における冷陰極管の漏洩 X 線について、宇藤 茂憲，福岡教育大学紀要，66 (2017) 第 3 分冊，p1-11.

[2] 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，藤淵 俊王ら，放射線安全管理学会誌，10 (2011) p40-45.

[3] 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，神奈川児立教育センター研究集録，13 (1994) p21-24.

[4] <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/>

Works/CloudChamber.htm

[5] http://www.horizon21.co.jp/products_detail1_4.html

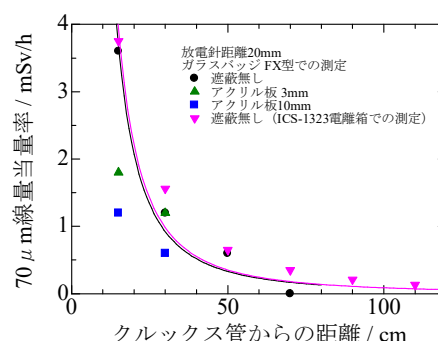


図1 ガラスバッジ及び電離箱で測定したクルックス管からの X 線線量率

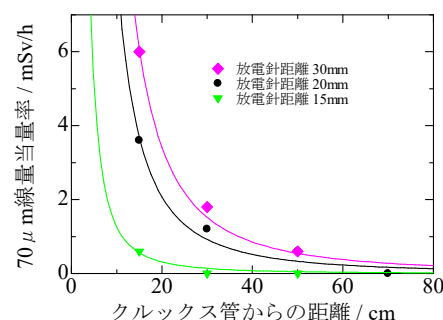


図2 クルックス管に印加する電圧による放出 X 線量率の変化

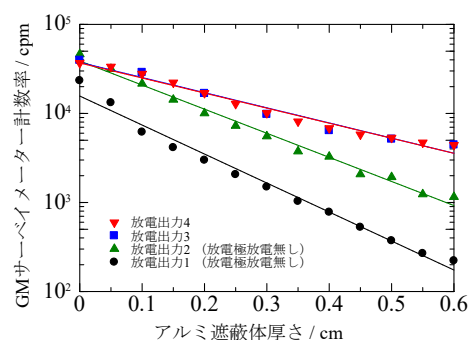


図3 アルミ板による遮蔽体厚さを変えての線減衰係数評価。放電出力 1-4 での線減衰係数はそれぞれ 7.5, 6.1, 3.9, 3.9 cm^{-1} と評価され、20 keV での 8.9 cm^{-1} , 30 keV での 2.8 cm^{-1} の間で変化し、放電が起こる以上に出力を変えても変化しなかった。

平成30年度放射線教育フォーラム通常総会及び第1回勉強会案内

日 時： 平成30年6月10日(日) 11:00～17:30

会 場： 東京慈恵会医科大学 高木2号館南講堂（東京都港区西新橋3-25-8）

通常総会 11:00～11:50

1. 議長、記録係、議事録署名人の選出

2. 総会成立条件確認

3. 理事長挨拶、

議題：第1号議案 平成29年度事業報告書及び活動計算書承認の件

第2号議案 平成30年度事業計画書及び予算書承認の件

第3号議案 平成30年度・年平成31年度役員承認の件

報告：1. 財務・運営等について

2. 事業の方向性について

第1回勉強会 13:00～17:30

主 催： NPO法人放射線教育フォーラム

共 催： 東京慈恵会医科大学 アイソトープ実験研究施設

資料代： 1000円

懇親会参加費： 1500円

プログラム

- | | | |
|------------|---|--------|
| 13:00 開会挨拶 | 放射線教育フォーラム理事長 | 長谷川 圀彦 |
| 13:10 講演1 | 放射線を通して現代科学に親しむ ～ 教育内容の新提案 ～
理論放射線研究所 | 大野 新一 |
| 14:00 講演2 | 高校「物理基礎」教科書の放射線の扱いから
～放射線教育フォーラム 教育課程検討委員会の活動から～
元筑波大学付属高等学校副校長 | 廣井 禎 |
| 14:40 講演3 | 教員養成課程における放射線教育の実践
東京学芸大学教授
(休憩 20 分) | 鎌田 正裕 |
| 15:50 講演4 | 小学校での放射線学習の可能性を探る
～各教科等の学習内容と関連付ける教材化の工夫～
北海道大学エネルギー教育研究会 | 平田 文夫 |
| 16:40 講演5 | 主権者教育としての原子力の是非
～双方の専門家をお招きしての授業の組み立て～
名古屋経済大学市邨高等学校 | 大津 浩一 |
| 17:30 閉会 | | |

懇親会(18:00～19:30) 東京慈恵医科大学高木2号館南講堂前

講演要旨

講演1 放射線を通して現代科学に親しむ ～ 教育内容の新提案 ～

大野 新一

ギリシャで始まった「物質はどのようにつくられているか」の問いに対する19世紀化学者の答は、堅くて壊れることのない100種類ほどの原子の存在で終わるかに見えた。その一方で、摩擦電気の現象で気がかりとされた物質間を移動する“何か”については、真空中に取り出す方法により普遍的な電子の発見がなされた。20世紀になると原子の内部構造、素粒子の性質に関心がもたれ、相対論と量子論が生まれ、21世紀では宇宙の誕生と未来に人類の関心が移る。当フォーラムとして、放射線を通して現代科学に親しむ目標を提案したい。

講演2 高校「物理基礎」教科書の放射線の扱いから

～放射線教育フォーラム 教育課程検討委員会の活動から～

廣井 禎

高校の科目に「物理基礎（2単位）」で放射線を扱う。しかし、その内容には中学校理科の繰り返しに見えるところもある。単なる繰り返しでなく、理解を深め、また、生活の場で活用できるようにするにはどうしたらよいかが課題になる。今回は、放射線の単位、放射線の導入（定義）、放射線の人体影響などの項目について、教科書の記述を教材の出発点として考察してきたことを報告する。

講演3 教員養成課程における放射線教育の実践

鎌田 正裕

北海道教育大学（H）、愛知教育大学（A）、東京学芸大学（T）、大阪教育大学（O）の4大学連携プロジェクトの一つとして、HATO放射線教育プロジェクトが平成24年度末に始まり、「科学的な視点に立脚して放射線教育を実践できる中学校教員の養成」を目指した取り組みが現在まで続いている。本講演では、プロジェクトの概要を説明するとともに、実際の取り組みの様子や、問題点、今後の展開等について報告する。

講演4 小学校での放射線学習の可能性を探る

～各教科等の学習内容と関連付ける教材化の工夫～

平田 文夫

放射線飛び交う地球に暮らす私たちにとって、放射線や放射能の正しい知識は子ども頃から必要であると考えています。しかし、小学校で教えるとなると様々な障害があり、実践例はあまりないと感じます。そこで、少しでも実践の輪が広がることを目指して、放射線学習の意味付けを明確にして、食の教育や健康教育、エネルギー教育等の学習内容に放射線の内容を組み入れた単元を開発しカリキュラム化して実践してきました。教科の枠にこだわらず、理科、家庭、体育、総合、学級活動に位置付けた学習内容を提案します。

講演5 主権者教育としての原子力の是非

～双方の専門家をお招きしての授業の組み立て～

大津 浩一

出前講義の前後にする生徒へのアプローチの提案としての一連の授業の報告をする。最低限のサイエンスリテラシー、情報リテラシーを身につけさせ、論点を明らかにしてから出前講義を受講させ、出前講義後にはグループごとに合意形成をさせて、意見の発表をさせた。アンケートでひもとく生徒の心の動きは予想外であった。

2018・2019 年度役員（理事・監事）選挙結果報告

放射線教育フォーラム選挙管理委員会委員長 堀内公子

4 月 16 日（月）の開票結果をご報告致します。

集計の結果、推薦委員会推薦の全理事・監事候補者は投票総数の過半数（32 票）以上の票を得たので全員当選と致しました。また、有権者による理事推薦候補者・監事推薦候補者はありませんでした。

記

1. 有権者数：計 151 票（個人会員 122 票、団体会員 29 票）

投票総数：64 票（投票率 42.4%）有効投票数：64 票 無効投票数：0 票

2. 推薦候補得票数：43 ～ 54 票

選出理事候補者（アイウエオ順、敬称略）：大森佐與子、緒方良至、工藤博司、

小高正敬、酒井一夫、柴田誠一、田中隆一、長谷川罔彦、畠山正恒、細渕安弘、

吉澤幸夫、渡辺智博

監事候補者： 朝野武美

以上

第 6 回放射線教育に関する国際シンポジウム(ISRE2020)開催について

放射線教育フォーラム 長谷川圀彦

第 5 回放射線教育に関する国際シンポジウム(ISRE2016)は放射線教育フォーラムが主催し福島県郡山市商工会議所会館を会場として開催しました。このシンポジウムの懇親会の席上で台湾グループの世話人あります黄金旺先生(当フォーラム顧問)から次のシンポジウムは、第 4 回国際シンポジウム (ISRE2008) 国立台湾清華大学(新竹市)に引き続き台湾で催したい旨の発言がありました。その意向を受け、2 回訪台し関係者と開催について意見を交わし多少の紆余曲折がありましたが、国立台湾大学林峯輝教授が次回国際シンポジウム(ISRE2020)の世話人として尽力いただくことになりました。林教授から提案のシンポジウムの開催日時は、2020 年 11 月か 12 月、開催地・日程については、① 国立台湾大学(台北市内にある台湾の唯一の総合大学)で開催し期間は 3 日間 ② 輔英科技大学(高雄市南部に位置)で開催期間は 4 日間の二案が示され、現在検討中です。また、シンポジウム招待参加者(日本から 10 名、タイから 3 名)の補助金の申請を台湾政府に働きかける準備を進めているところです。

この国際シンポジウムを通じて多様な放射線教育に関わる諸課題を広く世界へ発信することにより国際社会における当フォーラムの存在感を高め、アジア諸国間の放射線教育における国際共通理解の推進に寄与するものと確信しております。

中学校向け放射線教材 DVD の制作

放射線教育フォーラム DVD 教材委員会委員長 工藤 博司

昨年7月、当フォーラムが株式会社放送映画製作所から標記 DVD の企画を依頼されたのを受けて理事長の諮問委員会として設置された当委員会は、アドバイザーとして DVD の制作に協力してきました。本年5月に、「R の正体 ～放射線の性質と利用～」と題する DVD と映像説明資料（冊子）が完成し、文部科学省“選定”も得られ、国内の全中学校（約2万校）に贈与される運びとなりました。

この教材は、本編、実験編、福島編ならびに映像説明冊子（生徒用および教員用）で構成されており、本編（19分）には、「放射線の歴史と利用」、「放射線の性質と利用」、「放射線の人体への影響」が含まれています。実験編は実験映像集で「放電管を使って真空放電の実験」、「霧箱を使って放射線の飛跡を観察」および「身の周りの放射線を測定」の3巻に分かれています（計10分）。福島編（8分）は、「福島の現状を知る」と題する映像で、中川啓一氏が昨年12月に飯館村を訪ねて被災地の近況を伝えています。

教師用手引の表紙（下図）には“新学習指導要領対応”とあり、裏表紙には企画：NPO 法

人放射線教育フォーラム、制作：放送映画製作所、監修・指導：東京大学医学部附属病院放射線科 放射線治療部門長・中川恵一、理科教育支援センター・小森栄治と記されています。

なお、DVD 教材委員会は委員長と黒杭清治、酒井一夫、佐々木清、高島勇二、畠山正恒、宮川俊晴および渡部智博各委員の計8名で構成し、制作過程の節目ごとに意見交換を重ね、助言をしてきました。生徒にはやや難解な点もありますが、教員にとっては放射線の理解を深めるための絶好の資料になったと思います。

この教材は、当フォーラム会員にも1セットずつ配布されますのでご活用下さい。ご意見やお気付きの点は委員長宛<kudo.hrs@nifty.com> に E メールでお寄せください。



《 会務報告 》

日時	名称	開催場所	参加者/出席者数
2018 年 3 月 4 日(土)	平成 29 年度第 2 回勉強会	東京慈恵会医科大学	61 名
2018 年 3 月 19 日(月)	平成 29 年度第 10 回事務連絡会	フォーラム事務所	6 名
2018 年 4 月 16 日(月)	平成 30 年度第 1 回事務連絡会	同上	7 名
2018 年 4 月 23 日(火)	平成 30 年度第 1 回編集委員会	同上	7 名
2018 年 5 月 11 日(金)	平成 30 年度第 2 回事務連絡会	同上	5 名
2018 年 5 月 26 日(土)	平成 30 年度第 1 回理事会	同上	7 名
2018 年 5 月 27 日(日)	第 1 回教育課程検討委員会	同上	5 名
2018 年 6 月 10 日(日)	平成 30 年度通常総会	東京慈恵会医科大学	
同上	平成 30 年度第 1 回勉強会	同上	

《ニュースレター原稿募集のご案内》

編集委員会では、会員の皆様からの寄稿をお待ちしています。「会員の声」は、学校教育の場での体験談、新聞・雑誌の記事に対する感想、研修会等への参加など、多少とも放射線・原子力・エネルギーの関係するもので、1000 字以内です。「放射線ものしり手帳」は難しい話題を面白く親しみやすい読み物で解説するもので 2000 字以内。「書評」は最近刊行された本の紹介で 2000 字以内。投稿は原則として電子メールでお願いします [送付先 (編集委員長) ogata.yoshimune@b.mbox.nagoya-u.ac.jp]. 発行は、3 月、6 月、11 月の年 3 回です。72 号(2018 年 11 月発行予定)の原稿締切は 2018 年 9 月 24 日(月)です。ニュースレターへのご意見や特集記事などの提案も歓迎いたします。

《「放射線教育」誌の原稿募集案内》

放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の論文[研究報告、ノート、総説、解説]、資料、意見、諸報を募集しています。論文は編集委員会での審査を経て掲載されます。来年 3 月発行予定の「放射線教育」誌に投稿を希望される方は 2018 年 11 月 30 日(金)までに著者氏名、連絡先、表題、投稿の分類、予定枚数、投稿予定日(投稿受付締切は 2019 年 1 月 31 日(木))を編集委員長宛の電子メール (ogata.yoshimune@b.mbox.nagoya-u.ac.jp)でお知らせ下さい。投稿論文に含まれる図表は原則として白黒とし、編集委員会が認めたとき

に限りカラーの使用を認めます。カラーページの印刷費は、原則として全額を投稿者に負担していただきます。投稿論文は 編集委員長に電子メールの添付ファイルでお届け下さい。CD 又は DVD の場合には、NPO 法人放射線教育フォーラム事務局宛に送付して下さい。投稿規程の細部および「原稿の書き方」はお手元の「放射線教育」誌の巻末に掲載されています。別刷りは有料となります(詳細は事務局にお問い合わせください)。

《編集後記》

冷陰極管型クルックス管の話題が熱くなっている。学習指導要領の改訂により、中学 2 年の「電流とその利用」の単元に取り入れられたことによる。クルックス管から X 線が発生していることは前から知られているが、かならずしも現場の教師に共有されていない。しかも、正確なエネルギー分布、線量の把握は容易ではない。安全で効果的な教育の実施のための問題は山積みである(Y.O)。

NPO 法人 放射線教育フォーラム編集委員会
緒方良至(委員長)、柴田誠一(副委員長)、
工藤博司、大野新一、小高正敬、岩崎民子、
堀内公子、細瀬安弘、畠山正恒、大森佐興子
事務局: 〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2
萬栄ビル 202 号室

Tel: 03-3843-1070 FAX: 03-3843-1080

E-mail: mt01-ref@kt.rim.or.jp,

HP: <http://www.ref.or.jp>

NPO 法人 放射線教育フォーラム ニュースレター
No.71、2018 年 6 月 10 日発行