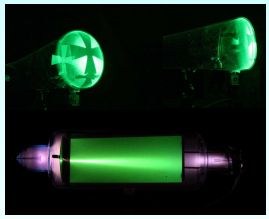
クルックス管を使って安全に実験をするためのお知らせ

2017年6月に告示された中学校学習指導要領解説 理科編

雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ，高電圧発生装置（誘導コイルなど）の放電や**クルックス管などの真空放電の観察**から電子の存在を理解させ，電子の流れが電流に関係していることを理解させる。

その際，真空放電と関連させて**X線にも触れる**とともに，**X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し，医療や製造業などで利用されていることにも触れる**。 新しく追加されました



クルックス管からX線が放出されていることが、19世紀末にレントゲンによって発見されました。
トムソンによる電子の発見にもクルックス管は用いられ、それ以降の科学の発展に重要な役割を果たしました。
一方で、製品によっては最大出力に設定して 15cmの距離にまで近付くと、10分間の実効線量が 3.3mSv に達する場合があります。放射線が漏洩していることを知らずに、不注意に近付いて観察したり、いたずらに出力を高くしたりすると不要な被ばくをする危険性があります。

漏洩するX線のエネルギーは 20keV 程度と低く、パルス状に放出されるため、電離箱以外の普通のサーベイメーターは実際の線量よりも大幅に小さい値を示し役に立ちません。

しかし、心配はいりません！

簡単な誘導コイルの設定と、距離を取って時間を短くするなどの運用ガイドラインを守ることで、劇的に被ばく線量を小さくすることが出来ます。

クルックス管安全運用のためのガイドライン

- **清浄な放電極を必ず使用し、放電極距離は20 mm以下とする。**
- **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。**

連絡先: 大阪府立大学 放射線研究センター 准教授 秋吉 優史
Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp Website QRコード →
また、放射線教育支援サイト「らでぃ」 https://www.radi-edu.jp/ では、スクリーニング用の線量計を無料貸出し致します。

クルックス管からの被ばく線量を下げるには

熱陰極を用いた製品や、冷陰極でも5kV程度の低電圧で駆動する安全な製品が各社から販売されています。5keV 程度の X線はガラス管から外に出て来られないため、装置固有の安全性で確実に安全を確保出来ます。

従来の装置を使用する場合は、以下の点に注意を払う必要があります。

理科教育等設備整備費等補助金（理振）による補助の対象となっています。また大阪府大のふるさと納税制度による提供も可能です。

1) **印加する電圧を下げる**
2) **流れる電流を下げる**
3) **距離を取る**
4) **遮蔽をする**
5) **時間を短くする**

発生するX線量自体を下げる

放射線防護の三原則

印加電圧を下げる: X 線のエネルギーが下がり、劇的に漏洩する X 線量を下げることが出来ます。クルックス管自体がガラスで出来ていて、このガラスに対する X 線の透過率が 15keV と 30keV では 100 倍程度異なるためです [1]。

遮蔽: アクリルでは 1cm の厚さでも半分程度にしか減衰しません。ガラスを用いると厚さ 2mm の薄い物でも 1/20～1/50 にまで減衰します。

距離を取る: 最も簡単で確実です。（距離の二乗に反比例して下がります）。

運用ガイドラインの妥当性の検証

2019年度に、全国57校、191本のクルックス管について、ガラスバッジという小さな線量計を実際の教育現場に郵送することにより、各教員の手でガイドラインに沿った場合の漏洩線量の実態調査を行いました [2]。

1m位置、10分間での実効線量評価結果*:
191本中187本で < 10 μSv（国際的な免除レベル）
最も線量の高い装置でも40 μSv程度。
→ ガラスの水槽などによる遮蔽で、さらに大幅に線量を下げることが出来ます。

*全身への線量分布などを考慮した詳細な評価は現在検討中。保守的に最も線量が高い場所で評価した。

10 μSv ってどれぐらいの被ばく線量?

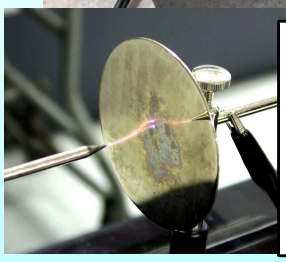
歯科レントゲン撮影1回: 10 μSv、胸部レントゲン撮影1回: 50 μSv
国際線の飛行機での欧米の旅行1回の際の宇宙線の線量: 100～200 μSv
年間の平均外部線量が最も高い岐阜県と最も低い神奈川県の差: 400 μSv
世界平均 > 日本平均であるラドンによる年間内部被ばく線量の差: 800 μSv

国際的な線量拘束値

ICRP Pub36「科学の授業に於ける電離放射線に対する防護」では、古い単位である実効線量当量ですが、学校教育現場での科学の授業における年間の線量限度を500 μSv、個々の授業では50 μSvとしており、それを十分に下回っています。

[1] 秋吉 優史 ほか、クルックス管からの低エネルギーX線評価手法の開発、放射線化学、106 (2018) 31-38.
[2] 秋吉 優史、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、放射線教育、23 (2019) 23-32.

印加電圧を下げるにはどうしたら良いの?



放電極はクルックス管と並列に接続されており、一定以上の電圧がかかると空中放電してそれ以上電圧が上がらないようにする、**安全装置です!**

必ず放電極を取り付ける。

ケーブルが外れた場合などの電気的な安全上も必須です。単体での販売もされています。

放電極距離は20mm以下にする。

空気中では1kVで約1mm放電します。
表面が汚れていると放電しにくくなるので、サビなど無いように清浄に保ちます。

放電出力、発振周期を出来る限り下げる。

トランスの一次側に印加する電圧、周期を変化させることで、二次側の出力電圧、電流をコントロールします。調節できる装置では、電子線を観察できる範囲で下げて下さい。

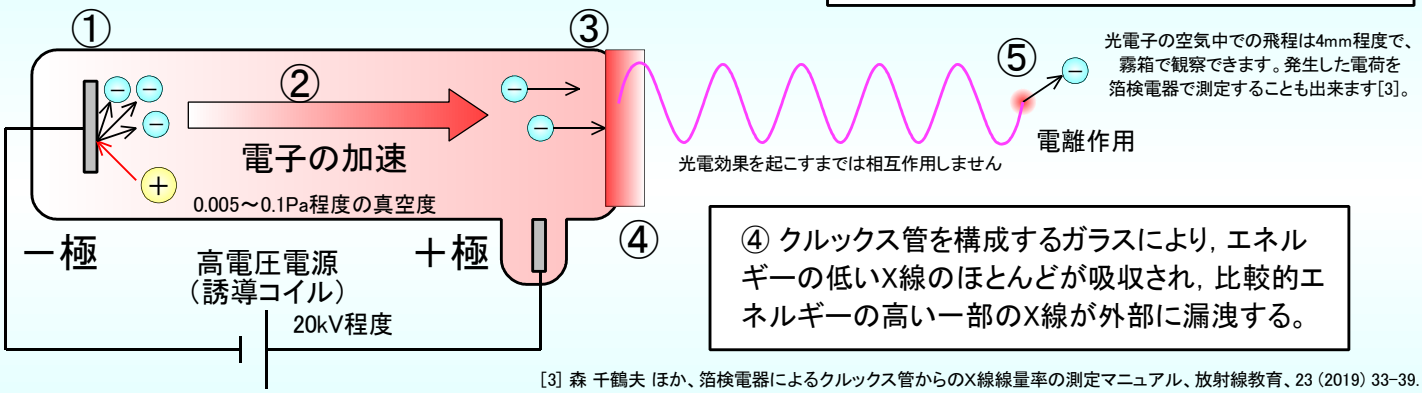
クルックス管のしくみ

① ＋のイオンが－極に引きつけられて電子を叩き出す（二次電子放出）。

③ 電子がガラス管の壁に衝突するときに，制動放射X線を放出する。

電子自体は完全に遮蔽され外に出てきません。

⑤ X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果で弾き飛ばす（電離作用）。弾き飛ばされた光電子はβ線と同様であり，体内ではラジカルの生成，DNA鎖の直接切断などにより放射線障害の原因となりうる。



④ クルックス管を構成するガラスにより，エネルギーの低いX線のほとんどが吸収され，比較的エネルギーの高い一部のX線が外部に漏洩する。

[3] 森 千鶴夫 ほか、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、放射線教育、23 (2019) 33-39.

クルックス管に封入されているガスの量がガラスに吸着するなどして少なくなると、①で陰極に衝突するイオンが少なくなるため、二次電子の量が少なくなり、電流が流れにくくなります。その結果十分な二次電子が出てくるまで意図せずして高い電圧が印加されてしまい、④で漏洩する線量が大きくなってしまいます。
→ 20keV前後ではわずかなエネルギーの違いで透過率が大きく異なるためです（15keV→30keVで100倍大きくなる）

この状態となったクルックス管は、放電極距離を20mmにすると空中放電が激しい一方で、クルックス管に流れる電流は少なく観察が困難です。放電極距離を広げると高い線量が漏洩するため、買い換えが推奨されます。

放電極で最大電圧を抑えることが重要