

# クルックス管による放射線（X線）の性質に関する実験

—放射線のしゃへい，強度の減衰，X線写真の撮影など—

笠原 中庸<sup>1</sup> 池田 雄彦<sup>2</sup>

クルックス管から，かなりのX線が放出されていることは知られているが，このX線を利用した，いくつかの実験・観察を紹介する。これらの実験・観察は，みな簡単なもので，生徒実験としても十分利用できるものである。また，これらの実験・観察を行う際の留意事項や，安全性についても言及する。

## 1 はじめに

高等学校学習指導要領<sup>1)</sup>によれば，科目「理科Ⅰ」の内容「人間と自然」及び，科目「物理」の内容「原子」において，“放射線（放射能）”について扱い，その性質及び，利用について学習することになっている。

ところが，この“放射線”は，日常，手で触れたり，目で見たりという五感では感じられず，生徒が実感を伴い理解しにくい事項である。

そこで，中学校理科における学習内容「電流と電子」や，高等学校物理における「電流」，「電流と磁界」などの内容で，なじみ深い“クルックス管”を用い，簡便にできる実験・観察について検討した。

すでに，クルックス管から発生するX線を利用した写真フィルムや印画紙による簡単なゼムクリップなどのX線撮影<sup>2)</sup>や，ソフックスを利用したデンタルフィルムによるX線撮影<sup>3)</sup>の実践例が紹介されているが，クルックス管を用いて，動物の骨格を撮影するとか，クルックス管とデンタルフィルムの組合せによる実験例の報告はない。また，クルックス管などから放射されるX線について，放射線防護の立場から，検討した報告<sup>4)</sup>もあるが，X線のエネルギー（線質）については言及されていない。さらに，クルックス管を用いた，①放射線（X線）のしゃへい，②放射線（X線）の吸収に関する実験，③放射線（X線）の線源からの距離による減衰に関する実験など，放射線（X線）の性質に関する実験例についての報告はない。

この報告では，以上の事情をふまえ，いくつかの実験・観察の例を紹介する。これらの実験のうち，X線撮影の実験などは，高等学校ばかりでなく，中学校理科・第二分野における「動物の種類とつくり」や，第一分野における「電流と電子」の内容で導入すれば，生徒に強烈な印象を与え，この單元だけでなく，科学そのものへの興味・関心が育つであろう。

この報告は，実験・観察例の紹介とこれらの実験・観察を指導する教師向けの，指導上の参考事項で，構成されている。

図1のような、配置を組む、クルックス管のまわりを囲むものは、十分なしゃへいの効果のものならなんでもよい(装置の安全性については、後ほど、6指導上の参考事項の(4)で述べる)。

必要に応じフタの穴から図中A方向に出るX線を使用する。

#### 留意点

導線は高電圧による漏電を防ぐため、被覆の厚目のものを用いること。また、導線の接触するような所に、ビニール袋などをひくのも効果がある。

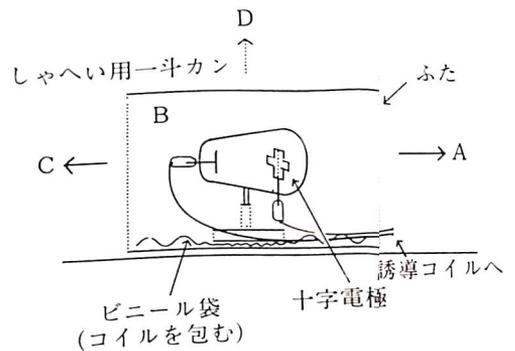


図1 クルックス管によるX線発生装置

## 2 放射線(X線)のしゃへいに関する実験

### (1) 目的

放射線(X線)は障害物によりしゃへいできること、及び、しゃへいの効果はその材質、厚さなどにより異なることを理解する。

### (2) 準備

しゃへい物となる、木板、アルミ板、ガラス板、鉄板、雑布など、色々な材質・厚さの資料を用意する。

図2に示すような装置を組む。

### (3) 方法

- ① 厚さの同じ、材質の異なる資料について、そのしゃへい効果の違いを調る。
- ② 材質が同じで厚さの異なる資料について、そのしゃへい効果の違いを調る。
- ③ 乾燥した雑布と水でぬらした雑布のしゃへい効果の違いを調る。<sup>5)</sup>

#### 留意点

誘導コイルの火花間隔は3~4cmとし、不必要に放電電圧を上げないこと(上げると、X線のエネルギーと強度が大きくなる)。

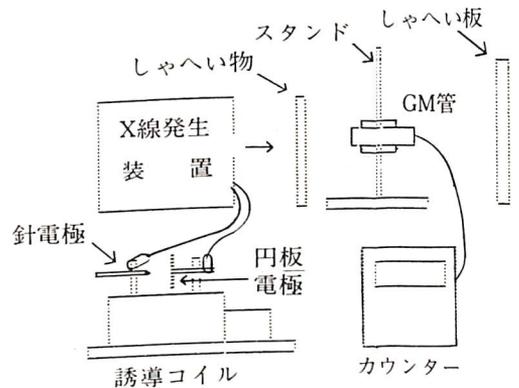


図2 X線のしゃへいに関する実験

## 3 放射線(X線)の吸収に関する実験

### (1) 目的

X線の強度は、吸収により、減衰し、その吸収係数 $\mu$ は物質により異なること。また、その時の強度の変化は、 $I = I_0 \exp(-\mu x)$ となることなどを理解する。ただし、ここに $I_0$ 及び $I$ は、吸収物体を通る前後のX線強度(カウント数)で、 $x$ は吸収物質の厚さである。

(2) 準備

台所で使用するアルミホイルを切断し、アルミハクの板を90枚ほど用意する。図2のような装置を組む。

(3) 方法

- ① アルミハクをさしはさまない時のX線強度(カウント数)を測定する。
- ② 種々の枚数のアルミハクについて、透過後のX線の強度(カウント数)を測定する。
- ③ 図3のようにデーターをまとめる。
- ④ 図3より吸収係数 $\mu$ を計算する。

\* 図3の場合、 $\mu/\rho = 3 \text{ cm}^2/\text{g}$  である( $\rho$ はアルミニウムの密度)。これはX線のエネルギーにして約20 KeVに相当する。

留意点

実験1の留意点と同じ

4 放射線(X線)の線源からの距離による減衰に関する実験

(1) 目的

放射線(X線)は光と同様に進み、その強度 $I$ は線源からの距離 $x$ の増加に伴い減衰し、 $I$ と $x$ の関係は

$$I = I_0 \exp(-\mu x) / x^2 \approx I_0 / x^2$$

で与えられることを理解する。ただし、 $\mu$ は空気の吸収係数で $I_0$ は、線源の強さに関係する定数である。

(2) 準備

安全のため不用意にX線束を横切らないよう配慮して、X線発生装置を配置する(図4)。

(3) 方法

- ① 図4中のGMカウンターを移動して、色々な距離におけるX線強度(カウント数)を測定する。
- ② 測定結果を図5のようにまとめる。

留意点

くれぐれもX線の線束を横切らないよう注意する。

\* バックグラウンドを差し引いて処理すること。

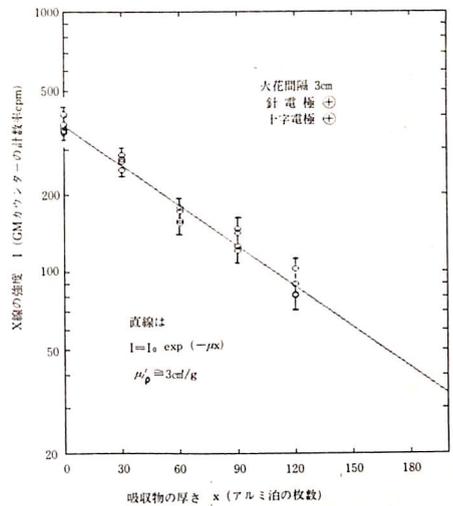


図3 アルミ箔の厚さによるX線強度の変化

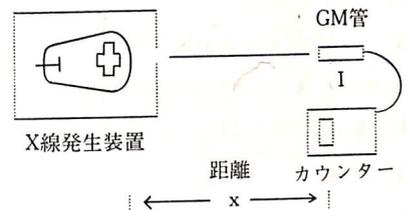


図4 線源からの距離とX線強度との関係の測定

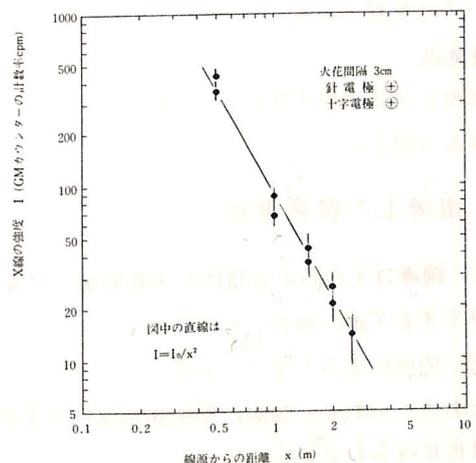


図5 線源からの距離とX線強度との関係

## 5 X線写真撮影の実験<sup>6)</sup>

### (1) 目的

X線写真を撮影することによって、X線の透過性および化学作用についての理解を深める。

### (2) 準備

市販の高感度フィルム6×6版(トライX)を適当な大きさ(被写体の大きさに合わせる)に切り、黒のもぞう紙で作った袋に入れたものを用意する。

### (3) 方法

- ① フィルムの袋の上に、被写体をセロテープで固定する。
- ② 図6のようにフィルムをX線発生装置の内側にはりつける。
- ③ 誘導コイルの火花ギャップを4cmに調整し、約10分間放電する。
- ④ フィルムを取り出し、パンドールで、およそ4倍増感(ASA 1600相当)現象する。

### (4) 別法

- ① 教具として市販されているデンタルフィルム<sup>3)</sup>を用いると、5分程度の放電で、撮影することができて、しかも、現象を昼光下で出来るので生徒にやらせるには便利である<sup>7)</sup>。フィルムの小さいのが欠点といえは欠点である。

### 留意点

必要とする放電時間などは、使用器具により多少の差はあり得る。

## 6 指導上の参考事項

### (1) 誘導コイルの出力電圧と火花間隔(目安)

発生するX線の線質(光子のエネルギー)と誘導コイルの出力電圧(円板電極-針電極間の電圧)とは深い関係にあると考えられる。少なくとも、発生X線のエネルギーの上限は誘導コイルの出力電圧でおさえられる。なお、発生する連続X線の強度分布における、最大強度は、最大エネルギーの $2/3$ 倍付近にみられる<sup>8)</sup>。

そこで、誘導コイルの出力電圧のピークと、火花間隔の関係を測定した結果が次頁の図8である。この電圧は、100M $\Omega$ と100K $\Omega$ の抵抗で電圧を分割し、オシロスコープで、測定したものである。

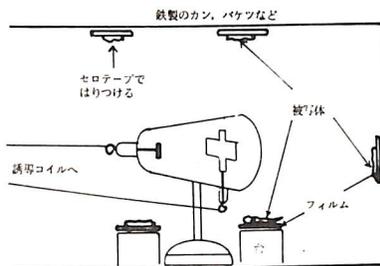


図6 クルックス管によるX線撮影

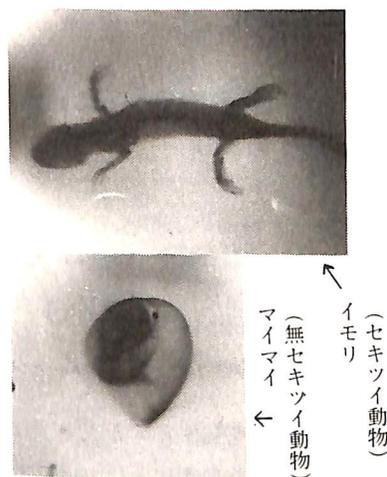


図7 6×6版トライXによる写真  
データ  
○放電時間10分  
○ギャップ間隔4cm  
(針電極-, 円板電極+)  
○クルックス管の下7cmにフィルムをおく  
○パンドール 22°C 12分現象

使用した分割抵抗の周波数特性は、1kHz 程度までは、分割比の変動はなかった。これ以上の高周波成分については、測定結果は正確とは言えないが、使用した誘導コイルの出力波形はおよそ1kHzであった。これは、クルックス管を接続しない時であり、接続した時は、あくまでも目安である。

(2) クルックス管の接続法と発生X線の強度<sup>6)</sup>

一般にクルックス管は、図10の接続方法の1のように十字板側に陽極を接続するが、接続方法の2のように接続すると、X線の放射強度が増大するようである。二つの方法について放射線量を比較したのが表1である。

X線写真の撮影には方法の2が有利であるが、一般の実験では、方法の1のように接続しないと、安全面からも危険を増すことになる。

(3) 誘導コイルの火花間隔と発生X線強度の関係<sup>6)</sup>

誘導コイルの火花間隔を長くするほど、誘導コイルから発生する電圧は高くなる(図8)。誘導コイルから発生するX線強度との関係を測定したのが、次頁の図11である。

この結果より、写真撮影には、火花間隔を長くするほど撮影時間を短縮できることになるが、電圧を上げるほど、X線のエネルギーが大きくなり、しゃへいが不完全となるなど、安全上好ましくない。

表1 クルックス管の接続法と発生X線の強度(照射線量)

| 接続法 | 測定位置(クルックス管からの距離0.5m) |              |
|-----|-----------------------|--------------|
|     | A点の前方                 | B点の前方        |
| 1   | 14~18 mR/h            | 1.8~2.2 mR/h |
| 2   | 30~60 mR/h            | 12~22 mR/h   |

※火花間隔3cm, 6.3V(無負荷時7.3V)のバッテリー

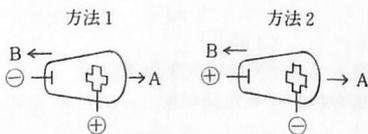


図10 クルックス管の接続法

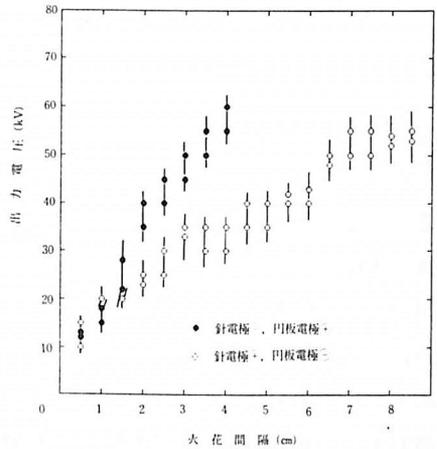


図8 誘導コイルの出力電圧と火花間隔

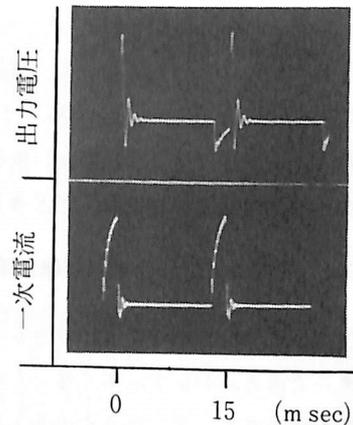


図9 誘導コイルにおける、一次コイルの電流と2次コイルの出力電圧

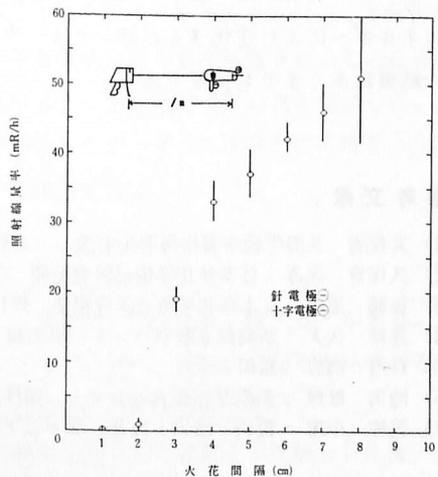


図11 火花間隔と発生X線の強度

(4) クルックス管をカバーする<sup>6)</sup>

X線の吸収係数は大雑把にみれば、通過する物質の密度に比例するので、密度の大きい金属でクルックス管をおおえばよい。図1のX線発生装置の場合、身近かで、密度の比較的大きい材料できている燈油の、一斗カンを用いた。この中にクルックス管を入れて調べた結果を図12に示す。

図からわかるように、一斗カンに入れただけで、約1m離れると、30 mrem/週（これ以上は管理区域の設定が必要）の1/10以内に十分入れることができる（過当り1時間使用するものとして）。

一斗カンをもう一つ間にはさむと、通過後は、しゃへい物から5cmの距離で0.5 mR/hというICRPの勧告する基準も達成される（火花間隔4cm、誘導コイルの針電極⊖、クルックス管の十字電極⊕のとき）。

(5) GMカウンターの計数と照射線量率

中学校、高等学校にあるのは、ほとんどの場合、GMカウンターである。そこで、あくまでも目安であるが、本実験におけるクルックス管から出るX線について、GMカウンター（GM管の窓の径10mm、自然計数約20：中村GM-100）で測定した結果と、電離箱式サーベーター（Aloka ICS-151）で測定した結果との関係を図13に示す。GM管の計数効率がX線のエネルギーにより変化するため、クルックス管に加える電圧によっても図13は変化する。このため、この結果はあくまでも目安である。

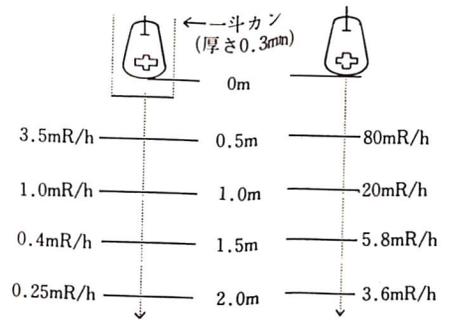


図12 一斗カンによるX線のしゃへい

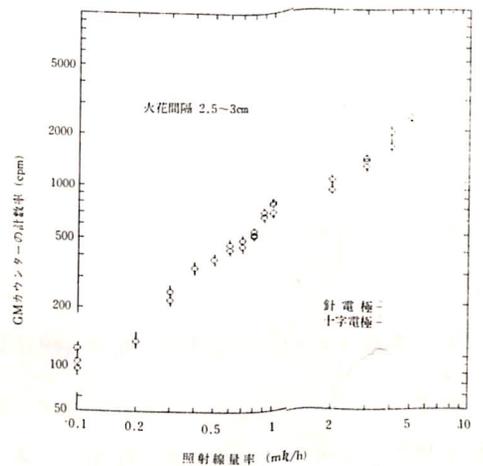


図13 GMカウンターの計数と照射線量率

GMカウンター（GM管の窓の径10mm、自然計数約20：中村GM-100）で測定した結果と、電離箱式サーベーター（Aloka ICS-151）で測定した結果との関係を図13に示す。GM管の計数効率がX線のエネルギーにより変化するため、クルックス管に加える電圧によっても図13は変化する。このため、この結果はあくまでも目安である。

参考文献

- 1) 文部省 高等学校学習指導要領解説 実教出版株式会社 昭和54年5月
- 2) 久保倉 民彦：日本理化学協会研究紀要 第13巻 6頁 (1981)
- 3) 後藤 道夫：日本理化学協会研究紀要 第13巻 12頁 (1981)
- 4) 豊原 久夫：新潟県立教育センター研究報告第9号 1頁 (1976)
- 5) 野内 清忠：私信
- 6) 池田 雄彦：新潟県立教育センター 理科長期研修員選択研修レポート (1983)
- 7) 笠原 中庸・野内 清忠・坂井 章・三ツ井富士夫：新潟県立教育センター実践研究集録第21集 理科編(高等学校) 昭和58年度
- 8) 理学電機株式会社 X線回折の手引(改訂再版) 3頁 (1982)
- 9) 電離放射線障害防止規則 第2章第3条, 第3章第15条など